国際雑誌 グローバルテクトニクスの	)新概念
NCGT International Journal for New Concepts in G [英語版 Vol. 1. No. 1 <http: www.ncgt.org=""></http:> から翻訳	<i>lobal Tectonics</i> ]
日本語版 Vol 1, No. 1-1 (2013 年 7 月) ■ Print edition ISSN 2186-9693 ■ Online edition <http: td="" ł<=""><td>)オンライン版をご覧ください kei.kj.yamagata-u.ac.jp/ncgt/&gt;</td></http:>	)オンライン版をご覧ください kei.kj.yamagata-u.ac.jp/ncgt/>
編集長: Dong CHOI, 編集委員: Ismail I com); Peter JAMES, Australia (glopmaker7 GREGORI, Italy (giovanni.gregori@idac.rm.c (ms_leo@hotmail.com); Cliff OLLIER, Austra Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru) (dp@daividpratt.info); N. Christian SMOOT, US com); Karsten STORETVEDT, Norway (Ka VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru); Takao Y	BHAT, India (bhatmi@hotmail. 75@hotmail.com); Giovanni cnr.it), Leo MASLOV, Russia lia (cliff.ollier@uwa.edu.au); ; David PRATT, Netherlands A (christiansmoot532@gmail. rsten@gfi.uib.no); Boris I. ANO (yano@rs.tottori-u.ac.jp)
<ul> <li>第1分冊</li> <li>編集者から</li> <li>編集者への手紙</li> <li>[小v]</li> </ul>	[小松宏昭 訳]
■ 原著論文 Rockall Plateau/Maury Seachannel interacton N. Christian SMOOT ロッカール海台 / モーリー海底峡谷の相互作用 54/56 year cycle: World megaquake clustering David MCMINN 54/56 年周期: 巨大地震の世界的群発 Microseisms and spreading of deformation waves around the globe	[柴 正博 訳] ······· 12 [矢野孝雄 訳] ······ 17
Pavel KALENDA, K. HOLUB, J. RUSAJOVA and L. N 脈動と地球周辺の変角振動波 The Christmas earthquakes: seasonal seismic recurrences near Parma, north-western Apennines, Valentino STRASER	EUMANN B史雄・矢野孝雄 訳]
クリスマス地震:バルマ近郊での李節地震の反復,北西アベニン,イタリア ■財政的支援について/ニュースレターについて (第2分冊)	[岩本広志 訳] 35 40
Palaeomagnetism, plate motion and polar wander David PRATT 古地磁気,プレート運動,および極移動 [山内靖喜・小坂共栄・小泉 潔・久保E	田喜裕・矢野孝雄 訳] 42
Origin of the Pacific ring of fire Takao YANO 太平洋の「火の輪」の起源 Further discussion of Nina Pavlenkova paper Karsten STORETVEDT	[矢野孝雄 訳] <sup></sup> 107 [矢野孝雄 訳] 111
<ul> <li>■ 出版物</li> <li>■ ニュース</li> </ul>	[窪田安打 訳] ·········· 116 [矢野 孝雄 訳] ······· 119
<ul> <li>連絡・通信や投稿原稿には、次の方法をご利用下さい: NEW CONCEPTS IN GLOBAL TCTONICS</li> <li>1) Eメール: editor@ncgt.org, ncgt@ozemail.com.au, または ncgt@hotmail.com; 1 ファイルは 10 MB以 イルは ncgt@hotmail.com へ. 2) ファックス(少量の通信): +61-2-6254 4409, 3) 郵便・速達航空 ACT 2615, Australia (ファイルは MS Word フォーマット, 図面は jpg, bmp, tiff フォーマット), 4</li> <li>放棄 [DISCLAIMER] この雑誌に掲載された意見,観察およびアイデアは投稿者に責任があり、当然 編集委員会の責任ではありません.</li> <li>NCGT JOURNAL 公開され、査読された季刊国際オンラインジャーナルで、3 月、6 月、9 月、12</li> </ul>	下,10 MBを超えるファイルファ 空便など:6 Mann Place, Higgins, 4) 電話:+61-2-6254 4409. ぶのことながら,NCGT の編集者と 月に発行されます.
日本語版発行: New Concepts in Global Tectonics Group 連絡先 〒 680-8551 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学地域学部地域環境学科 矢野孝雄 Phone/Fax 0857-31- 翻訳・編集: NCGT ジャーナル 翻訳グループ 赤松 陽 岩本広志 川辺孝幸 国末彰司 窪田安打 久保田喜裕 小 小松宏昭 佐々木拓郎 柴 正博 角田史雄 宮川武史 宮城晴耕 山内朝	● 日本グループ 5113 EM yano@rs.tottori-u.ac.jp へ泉 潔 小坂共栄 靖喜・輝子 矢野孝雄

# 編集者から FROM THE EDITOR

(小松 宏昭 [訳])

## NCGT Journal — 私たちの勝利をもたらす戦いの概要

私たちは NCGT Journal の発行が実現したことを誇らし く思う! この新しい定期刊行物は,その先駆けとなる NCGT Newsletter の偉大な業績によって成し遂げられた ものである.それは 16 年間発行され,65 号をもって終 了した.

ニュースレターは 1996 年の 12 月,第 30 回 IGC 総会 のすぐ後にわずかな人々によって開始された.そして またたくまに,現在はびこっている (プレートテクトニ クスという)造構モデルの枠組みとは相いれないデータ やアイデアを公開する人気のある論壇へと発展していっ た.それは,論文の中に現実世界からの疑うべくもない 確かな証拠を示すことに焦点をあてている.それはまた, 人類の福祉や生活に直接・間接に影響を与える新しい分 野一例えば鉱物資源探査,地震,そして全地球的な気候一 に挑戦する勇気を与えてきた.

われわれの努力は,結果として2つのより大きな新しい 境界科学の幕開けをもたらした.1つ目は海洋地殻の真 の性質である.それは部分的に海洋化された大陸地殻あ るいは沈んだ大陸から構成されている.2つ目は地震と テクトニクスである.前者は,混沌とした現在の全地球 テクトニクスを正しい方向に向かわせた.そして最も重 要なことは,世界中の海洋の鉱物資源(炭化水素)開発 の見通しを広げたことである.皮肉にも海洋鉱物資源は 世界の多くの地域で海の領有権争いの引き金になってし まったが.一方後者は地震の基本的な機構や太陽や惑星 の引力との相互作用を理解することに寄与した.それは 巨大地震の発生を数か月から数年前に予想することを可 能にした. NCGTから発展した国際地震火山予知センター の連続的な予知の成功は,彼らの地震モデルの正確さを 確証にしている.またニュースレターは,地球深部の構 造や活動に関する最先端の論文を公表してきた.

これらの業績のおかげで、ニュースレターはよく知られ た著名な雑誌となり、ncgt ウエブサイトに毎月 10 万件 近くの膨大なアクセスがあることに示されるように、地 球科学の最前線の中心となった.世界の科学界における ニュースレターの現在の地位を反映するために、NCGT 編集委員会はより適切な雑誌名— NCGT Journal —に変 更することを決定した.この新しい雑誌は、この冊子の 末尾の「NCGT Journal について」に書かれているよう に独自の使命を持ち続けていかなければならない.そし て地質学が正しい道を歩む見張り役としての先導的な役 割を果たし続けるであろう.

われわれの成功は偉大な先輩や先駆者の残した業績なし には成し遂げられなかった.特に晩年のアート・メイア ホフ氏とマックディキンス氏そして同時に多くの熱心な 支持者たち,特に日本の藤田至則氏に負うところが大き い.下の写真は1989年にスミソニアンで行われた「グ ローバルテクトニクスの新概念」の設立シンポジウムの 時のものである.ワシントンにおけるこの会議がNCGT グループの本格的な誕生となった.自らの貴重な時間, 資金,エネルギーを捧げ,NCGT Journalの発刊を可能 にするための援助をしてくれたすべての人々に感謝す る.私は乾杯をしてこの稿を終えたいと思う.未来のた めに!



スミソニアンでの設立シンポジウム参加者の一部 の人々. 左から右に, Sankar Chatterjee, Charles Smiley, Forese-Carlo Wezel, Art Meyerhoff, Paul Lowman, Nicholas HottonIII, Irfan Taner, Kaesten Storetvedt, Dong Choi, そして Mac Dikins.

# 編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

(小松 宏昭+矢野 孝雄[訳])

#### 親愛なる NCGT Journal の編集者 様

若い地質学者を夢中にさせた,そして,魅力はあるが誤っ たプレート運動,地磁気,気候についての理論から彼ら を引き離し,その結果,彼らが正しい道に進むのに,今 はちょうどよい時期と考えます.事実を満載した私の2 冊の本にあなたの関心を向けてほしい,と私は念願して います(著者は最善を尽くしていますが,自らそのよう に述べることはあまり嗜みの良いことではありません).

- I. V Raiverman, 2002. ヒマラヤ造山運動における前縁地 帯の堆積作用:造山運動のプロセスの見直し.Bishen Singh Mahendra Pal Singh 23-A, New Connaught Place, Dehradun-248001 (India), 378p.
- II. V Raiverman, 2012. 不整合一前縁に広がる新生代 堆積盆地とヒマラヤ山脈の上昇. Indian Geological Congress, 35-A Civil Lines, Rookee-247667(India), 147p.

これらの本は,今日のほとんどの地質科学者に見落とさ れています.反プレートテクトニクスの立場に立つ雑誌 を見直すことは,彼らにとって難しいからです. AAPG Bulleitin の編集者は,USA の4人の専門家が論争に巻き 込まれたくないという理由で,第1の著書の書評を断っ たことを率直に認めました.しかしながら1人の編集者 (Crook, 2003)は,17章のうちの5章のみが解説的であ り,残りはすべてデータの提示と解釈であるという事実 を高く評価しています.私はここに(データの)解釈は 最小限にして,説明のための可能な限りのデータを提示 してきました.私のアプローチは第2の本においても同 じであります.

これら2つの著書は、火成活動、大規模花崗岩体の定 置、そして地設の破片を山体に持ち込むマントルダイア ピルといった地殻下のプロセスが造山運動に含まれるこ とを強調しています。鉛直変動に関連した概念は新しい ものではないのですが、多くの研究者がこの仮説に賛成 しています。その先頭に立つ人物がおそらく Beloussov 教授でしょう。第1の著書(堆積場の前縁……)は、こ の作用を、盆地における堆積作用のルートと、前縁盆地 と後背山地の地質構造的枠組みの継続的な発展を通じて 検証しています。さらにそれは、堆積学研究者にとって は多大な恩恵をもたらすであろう構造地質学と堆積学と の間の直接の関係にかかわる多くの新しい見方をもたら します。第2の著書は、これらすべてのことを支持し、 Higher Himalaya と Lesser Himalaya にある Karakoram や Kohitan-Ladakh の高山中心部の結晶質岩石の放射性 元素のデータ分析によって,強力な証拠にもとづいて内 因的過程についての議論をさらに一歩進めています(第 1図). この驚くべき効果的な調査方法は,地殻の上昇 や鉱物の冷却の結果を知るという放射性年代学の非常に 単純な地質学的役割によるものです.その結果は,ITSZ [インダス - ツアンポー縫合帯]の反対側にある2つの 活動的山脈である Higher HImalaya と Karakoram の上 昇システムに明示されています.時代は,放射性元素デー タによって正確に示されます.そして同様にITSZの反 対側にある2つの休眠状態の Koshitan-Ladakh と Lesser Himalaya 帯においても同様のことが言えるのです(第2 図). このことは, Indus-Tsangpo Suture Zone がプレー トの衝突や造山運動に何らの役割も果たしていないこと を示しています.地殻の下から共通して働く力は,ITSZ の両側の山脈を持ち上げてきたのです.

この発見の重要性は、かびすましい幾多の主張やアルプ スの地質学者の反撃の主張が見失われてはいないという 点にあります.それはずっと先にある結論に接近するこ とを期待させるものです.私は,第2の著書 (Raiverman, 2009 and 2012)を含む様々な機会を捉えて、この技術 を詳細に検討してきました.この話題は、インド地質 学会によって公表された冊子でも簡単に紹介されていま す.ヒマラヤで発展したこの調査方法はアルプスやロッ キー山脈、アンデス山脈でも試されるべきと考えます. われわれは、最初にアルプス地域の放射性年代に関する



図 1 西部ヒマラヤとその周辺地域の構造区分. SSZ-Shyok Suture Zone; MKT-Main Karakoram; KKR-Karakoram Ranges; NPHM-Nanga Parbat-Haramash; ITSZ-Indus-Tsangpo Suture Zone; MMT-Main Mantle Thrust; TSZ-Tethyan Shear Zone/ZSZ-Zanskar Shear Zone ( = Trans Himadri Fault/South Tibet Detachment); MCTII-Main Central ThrustII( = VT-Vaikria Thrust); MBT-Main Boundary Fault; HFB-Himarayan Frontal Boundary. 放射性地質年 代研究地域が網かけされている. (Raiverman, 2002 にもとづく)



図 2 ITSZ の両側のインドーユーラシア山脈の隆起様式. 隆起 事件の百分率頻度 (100 万年ごとの放射年代値数) と 9 点移動平 均関数によって描かれた同じ現象の時間曲線. 頻度は細い継続線, 移動平均は点線で表示.

A: インドーユーラシア山脈とそれらの区分線. 黒色部分は活動的山脈,明色部分は非活動的山脈. MKT-Main Karakoram thrust, SSZ-Shyok Suture Zone, MMT-Main Mantle thrust, ITSZ-Indus-TsangoSuture Zone, Vt-Vaikrita Thrust, MCT-Main central Thrust, MBT-Main Boundary Thrust

B-E: 頻度と傾向曲線.B:Karakoram, C-Higher Himalaya, D: Kohistan-Ladhakh, E:Lesser Himalaya.U1 — 第1隆起時相, UII-第2隆起時相.Umdyn-活動的山脈の最大隆起,Umdor-非 活動的山脈の最大隆起.Kohistan-LadhakhとLesser Himalayan blocksにおける反転と地理的な完成を強制されたUIIとUmdor の間の時間間隙は,UIIとUmdynの間の時間間隙に比較される (Raiverman, 2009, 2012に基づく).

ウエブサイトを閲覧し,新生代のアルプス地域の構造図 を編集することから始める必要があるように思われま す.ヒマラヤの構造図(図1)は,私が地質年代データを 入手する前に,一定の統一性と広域的に適切な抽出条件 (Raiveman, 2002)にもとづいて編集されたものです.言 い換えると,構造的な配置と地質年代学の間に齟齬はな いのです.

私の個人的履歴を簡単に紹介しておくことは、私の立場 を明らかにするために必要なのかもしれません. 今日の 世界における古典的方向で生き残った最後のフィールド ジオロジストの一人として、私の論述は一特にデータに 裏付けられた私の専門分野においては一学説にしたがっ た洗練をあまりうけてないでしょう. 私の考えは、純粋 より少しましのように見える分野に非常に近いもので す. 理論化と思索は、わずかながら私が見いだした本質 的データに関するものです. そしてそれは, 一層の調査 を切望しているのです. 1956年にインドにおける石油 と天然ガスの委員会が統合され、私にはヒマラヤ山脈の 山麓部の調査が割り当てられました. 私は、そこで、そ の後の 20 年間にわたって仕事を行い (0.5 マイル格子ご とに観察をおこなうように基準を決めて)観察内容を記 録し,層序表を作成するためにルート調査を行い,室内 分析のために岩石試料を収集しました.そして,最後に は、ヒマラヤの調査をしている世界中の地質学者に利用 されている近代的な地質図を作成しました.役立つよう に、20年以上にわたって調査を行い、柱状図を描くた めに断面図を作成し、分析のための岩石サンプルを採集 し,地質図を作成しました.私は南東部のインド-ネパー ル国境の丘陵地帯から北西部のジャムー〜カシミール地 方の地質について非常によく理解しています.しかしな がら,私の能力は,北はLadakhのIndus-Tsuanpo(ITSZ) 地帯 (調査密度は小さい),南はボーリングと地球物理学 データに基づいたIndo-Gangetic Foredeepの地下地質ま でしか及びません.ヒマラヤの地質の謎は,全世界の構 造運動そのものが理解されるまでつづく長い道のりなの です.

NCGT ニュースレターに掲載された Storetvedt and Longhinos (2012) による最近の論文には、いくつかの疑 問があります. 例えば,ことでグローバルテクトニクス を性格づける際に、なぜ「ねじり」という用語を挿入す るでしょうか.というのは、いかなる場合でも、「ねじり」 は副次的作用であるからです. 深部断層帯においては, 確かに一定の側方変位一左か右の一があります. その結 果として断層は地表に到達します. 側方への変位は鉛直 変動と同時に起きるか、あるいは、それの後で起きるの かもしれません. 西部ヒマラヤとヒマラヤ中央部の構造 図をみてください (図 1). Jhelum 横ずれ断層帯の両側 の層序は, (図1には描かれていないが)北部に始新世 堆積物が点在する古生代~中生代堆積物が分布する西側 とは明らかに異なっています. そしてこの相違は sub-Himalayan Siwalik 帯の南側につながっているのです. そこでは始新世の地層の上にある Siwalik 層は, Jhelum WFZ の西まで中生代層を覆っているが、東方では新生代 層は原生代層を直接覆っています. もし、Jhelum 断層 帯に沿った南北方向の境界断層が中生界の堆積期まで活 動的であったとしたら、その西方まで進むことは可能で す.しかしながら、その源が深くて基盤まで到達してい る断層であるにも拘らず, Jhelum 断層は左横ずれ断層 地帯として現れています. 山脈が造山期に上昇し, 重力 性の陥没を被るため,基盤を横切る既存断層は,側方変 位を促進します. Manai 走向移動断層が, 東に走るのを 見てください. Manali と Jhelum WFT-s の間では小ヒマ ラヤ帯はわずか数 km にまで劇的に圧縮されています. Manai WFZ の変位は右横ずれで, Jhelum のそれは左横 ずれです. Jhelum と Manai WFZ は線状断層地帯です. 走向方向への移動を伴う湾曲した基盤断層はスコットラ ンド高地やインド楯状地をはじめ世界各地に存在します. しかしそのような走向移動断層―湾曲するものあるいは 直線のもの一の実移動は,大陸規模でみると大きくはあり ません. というのは Storetvt and Longhinos (2012) も認 めているように、断層には様々なセンスがあるからです.

小ヒマラヤ帯の厚さ16-17kmの新生代堆積物は,断層の 起源を調べるには理想的です. 亜ヒマラヤ帯の外縁部で は縦走断層の両側に沿って同時代の様々な厚さの地層が 堆積しています(第3b図). それは,堆積時断層に沿っ て沈む堆積盆の沈降の規模が,様々であったことを示し ています. これは初期の構造運動ですが,これらの断層 の大部分は,走向方向の運動に影響されており,また断 面ではフラワー構造を示しています. 覆瓦構造を形成す



図3亜ヒマラヤ褶曲帯 と前縁盆地の典型的な 地質断面図一 a,b,c-. 地 下隆起帯による構造区分 と個別的盆地は図 3d に 示される. 断面は地表露 頭, 地下ボーリング, お よび地球物理学的探査に もとづいて編集され、構 造地質学的に検証されて いる. それらは. 個別盆 地において, 前縁盆地と 原地性あるいは準原地性 岩体との間の様々な関係 を解明していて,褶曲帯 全体にわたる単一の盆地 堆積物という概念を否 定し, また, プレートの 衝突によって形成された 表層の衝上断層は認めら れません.図3bは、断 層を横切る原地性と準原 地性岩体と同時期の堆積 物の層厚変化を示す.図 3cは、Aravalli 地塁のヒ マラヤ褶曲帯への地下延 長部が, 堆積作用(地塁 上の圧縮された新生界) と構造的節構造(前縁盆 地に対して直接に衝上し ている覆瓦構造, 異地 性岩体は存在しない)に 影響を与えるか、妨げと なっています. すべての 断面は、比較しやすいよ うにスケールが統一され ている. 3c' はよりはっ きりわかるように3c と同じスケールで描画 (Raiverman, 2012a に基 づく).

る亜ヒマラヤ帯内帯の現地性岩石と異地性岩石の中間の 岩石は、衝上断層の両側で異なる層厚に反映された基盤 運動と同じ現象を示しています(図3b). 衝上する前の 走向移動の動きは、もしあったとしても消されています が、現地性と異地性の中間の岩石は、地殻下の火成活動 によって移動し、上昇するまでは、現地性の岩石として ふるまっています. その証拠は、第三紀初期の地層に覆 われた、アルプス地帯の始新世型の変成作用を受けた中 間層に見ることができます.

Siwalik 構造帯の中の一つの右横ずれ断層帯-Barsar-

Suruinsar-malwara 一は, Hazara と周辺の地域の構造方 向を切って, Sutlrj 川から 400km 以上にわたって追跡で きることは,注目に値します (Raiverman, 2002). それは, 湾曲した輪郭をもち,走向移動方向の大規模な破砕帯に なっています. その走向はヒマラヤの主要な圧縮方向に 対して斜交しますが,後者に対しては高角で交わる衝上 断層のようにふるまうのです. そのため,その水平変位 は場所により様々ですが,どこでも5km 以上に達する ことはほとんどありません. したがって,断層の総延長 は,これらの以前から存在する破砕帯の側方変位の程度 をそのまま示すわけではありません. そのような断層に



図4 左一海水温における180頻度にもとづく 新生代の高緯度地域と低緯度地域の気候変動. 太い曲線は南半球の高緯度域の平均海水水温, 細い線は低緯度の平均海水水温 (Shackleton, 1984 の図 2.1 に基づいて改変). 右側の小区 画は,ヒマラヤ前縁盆地の新生代赤色堆積物の 含有率. 高緯度地域に見られるように温暖期 (赤色層が多い)と寒冷期(赤色層が少ない)の 指標になる. 層序区分は、エネルギー順位分類 に基づいている. 堆積物中の岩片や砕屑性鉱物 には、それらを支持する証拠が認められる(こ こでは詳述しない). 高緯度地域の海水温とヒ マラヤ盆地の陸水温の一致は,最近70万年前 以降に限られている(下の挿入図, 縮尺を拡 大). この期間に、後者が北半球の大陸気候と 同調したように思える (Raiverman, 2002 の考 察参照). 前者の変化幅が著しく小さいために, 南半球の高緯度域の海洋とヒマラヤ地域の間の 変化が明白でるのならば、それを読み解くこと は困難である.

おける鉛直変位は重要な問題です.そのような断層の別 の見方は,それらの断層は異なったレベルにおいて異な る動きをするかもしれないということです.Dehradun 南方の Mohand の山麓断層は,地表では衝上断層のよう に見えますが,地下では左横ずれ断層なのです.断層露 頭の微小線構造の研究から,私の友人はこの断層は衝上 断層であるという結論を得,論文として公表しました-微小構造は大きな地質現象を反映しているという信念の もとで一.

要約すると, 走向移動断層はグローバルテクトニクスの 内容を規定する基本的な鉛直断層の二次的な現れです. そしてそれらは、大陸的規模でのブロック回転にはほと んどその役割を果たしていません. さまざまな事例にお いて、走向移動断層はグローバルテクトニクスに対して 補足的な副次物のように見えます. 先カンブリア時代に さかのぼる (Raiverman, 1992) アジアを横切る線状構造 は、ベンガル湾からインド楯状地とヒマラヤを横切り、 アジア大陸にまで及んでいます. 北極点を横切る南北方 向の線状構造の1つは、フロリダ湾にまで及んでいます (この論文では議論していませんが).地殻を十文字に交 差する異なった方向の線状構造とヒマラヤ造山運動は, かつての基盤構造の上に重なって生じています.そして、 2つの構造方向が交差するところでは,干渉しあってい ることがわかります (Aravalli と Himalaya の構造方向, Auden,1935; Raiverman, 2002, 2012, 図 3c と図 3d 図). しかし、ブロックの回転は含まれていません.

地磁気学者に好まれない問題を私に言わせてください. 私は地磁気極の軸と世界的気候の間の因果関係を明らか にすることは困難であることを発見しました.地球は, 2.5 億~3億年間隔で数千万年続く氷河時代に入ること が証明されています.この間隔で太陽と太陽系の惑星 は、天文学的な要素である宇宙塵帯に入ってしまい、温 度が低下することが提案されました. ヒマラヤの前縁盆 地における新生代の気候変動は,世界的気候変動と地 磁気極性に密接に関連していることは明らかです. 図4 は、新生代の南半球の高緯度地域の海洋水、低緯度地域 の海洋水、およびヒマラヤ前縁盆地の陸水の水温変動を 比較したものです. 高緯度地域の水温は, 何回かの小規 模の逆転を繰り返しながら全体として次第に低下してい ます. 高緯度と低緯度の水温の違いを見てください. 後 者は多かれ少なかれほぼ同じ水温を保っており、高緯度 地域の厳しい条件を反映していません. しかしながら, 大陸内部にセットされたヒマラヤ前縁盆地の堆積物の色 調は異質なものを映し出しています. ヒマラヤの堆積物 中の岩屑の鉱物集合体も同様の状況を支持しています. Raverman (2002, p.255-258) の考察を見てください. 前 縁盆地の堆積物は、高緯度地域の海洋にみられる温暖期 と寒冷期の記録に忠実に連動していて、任意の時点での 全世界の気候の一体性を示しています. そして, これは いからなる地磁気極性とも無関係なのです (Raiverman, 2002, 2012). ヒマラヤ山脈はこのこととは何の関係も なく、その隆起が最高に達した後になってはじめて、気 候に対して広域的影響をおよぼすようになったのです (Raiverman,2002). そういうわけで,世界的気候変動の 根本要因は天文的なものであって,惑星的要因(山脈や 大気循環,緯度的位置,陸地と海洋の近接性,など)は2 次的なものです.しかし,惑星的要因は重要であり,そ れらの影響は世界的ではないにしろ、広域的には大きな ものがあります. ここでは,地磁気極性は考慮されてい ません.



図5ペルム紀の氷河分布 図(様々な資料から編纂). 下の矢印は Horlick 山脈の ペルム紀の氷礫岩の位置を 指し示している.ペルム紀 には史上最も厳しい氷河 期があり,海陸の動物の 95%が絶滅している.こ れに対して白亜紀での絶滅 はわずか 25% である.図 は(地球)全体の様子を示 していて,氷河域には数回 の膨張と収縮が含まれてい る. 巨大な氷冠は暖帯を含 む熱帯地域では著しく狭く なる(古気候の指標のため の調査一生物層序あるい は堆積学的な―が必要であ る). 極Aと極Bは, K/T 境界の隕石衝突によって移 動する前の磁極を示す.(そ れに)対応した古赤道も図 示されている.

今度は気候への影響や、地球の自転極の変化などを見 てみましょう. 氷礫岩は、過去の氷河時代の証拠です. 「アフリカの先カンブリア時代後期の氷礫岩は、二畳 紀一石炭紀の氷礫岩と同じくらいの広さに分布してい る」(Holmes, 1965, p.737). この長い期間に自転軸の極 の位置が変化しなかったと想定することは合理的でしょ う. この不動の極の位置を, 白亜紀末まで敷衍してみま しょう. ある破滅的な事件がこのとき起こりました. ユ カタン半島に隕石が衝突して塵の雲 (イリジウム)が湧 くき起こり、そして恐竜が絶滅しました. 私はより激烈 な事件が隕石の衝突とともに起こったと推測していま す. 衝突は非常に激しかったので, 惑星(地球)は自ら の回転を維持できなくなり、新しい自転軸が発達しまし た. それが現在の極で、古い極は現在の熱帯へ移動しま した. ノルウェーから南フランスそして北部ロシアまで の寒冷地に、熱帯気候で形成されるボーキサイトやラ テライトやそれに関連する鉱物が産出します (Dana and Ford, 1966). この異常は、もし私たちが、これらの国々 が K/T 境界での自転極の移動の前までは熱帯ベルトに位 置していたと考えれば (図 5), 容易に説明することがで きます.私は、ローカルな雑誌に気候帯の移動について の論文を発表してきました.しかし、今それについて言 及することは、私にとって有用ではありません. しかし ながら、K/T 境界の頃に移動した極の位置を示す地図を、 ここに示しておきます (図 5). このアイデアは狂気じみ ているかもしれません.しかし,即座に却下されるべき ものではありません. 私の地球科学者への望みは地球科 学の事実を整理し、それらを冷静に見てほしいというこ とです.

磁極が自転軸と連結していないという問題は,未解決の ままです.それは実際には,単純な問題であるかもしれ ません.しかし、それは私の専門外であるので、いくつ かの提案について危険を冒してまで検討しようとは思い ません.この問題は地磁気学者が解決すべきでしょう.

最後の1つの要点一炭化水素鉱床の供給源としての地 球内部からの脱ガス作用 (Storetvedt and Lonnghions, 2012) 一それは可能性という点では魅力的な学説です が、炭化水素の集積への効果については議論の余地があ ります. 堆積盆地における生物起源物質の量,移動経路, そして集積した炭化水素の量を計算するための貯留能力 に関する定量的方法は、今日では有効な方法になってい ます. それは,実際の回収率と符合します. 私は東イン ドの ONGC の Borhira-Champang 地域の油田地帯の基盤 に関する知識をもっています. それは,生物起源の母岩 とは無関係の基盤岩の破砕性孔隙に貯留された唯一の事 例で,脱ガス理論を支持するかもしれません. しかし, そこでは生物起源の始新世母岩との関連が大いに認めら れます. 貯留された石油と隣接する源岩の同位体的類似 性を無視することはできません.

この手紙は幾多の学説をごちゃまぜにしたものにみえる かもしれません.しかし,それは,現在普及しているグ ローバルテクトニクスに関する概念―衝突か否か―に対 するパラダイムシフト(科学革命)として十分な役割を 果たすものと考えます.

> 親愛なるあなたへ V. Raiverman

#### 文献

Auden, J.B., 1935. Traverses in the Himalaya. Rec. Geol. Surv.

India, v. 69, p. 123-167.

- Crook, K. A.W., 2003. Book review Foreland sedimentation in Himalayan tectonic regime: a re-look at the orogenic process, by V. Raiverman. Sedimentary Geology, v. 161, p. 339-340.
- Dana, E.S. and Ford, W.E., 1966. A textbook of mineralogy. Asia Publishing House, Bombay, Fourth edition nineteenth printing, First Indian edition reprinted 1966, 851p.
- Holmes, Arthur, 1965. Principle of Physical Geology. Thomas Nelson and Sons Ltd., London, 1288p.
- Raiverman, V., 1992. Trans-Asiatic lineaments and Himalayan Orogeny. In : Sinha, A.K., (ed.), Himalayan Orogen and Global Tectonics, Oxford and IBH Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi, and A. A. Balkema, Rotterdam, p. 121-155.
- Raiverman, V., 2002. Foreland sedimentation in Himalayan tectonic regime: a re-look at the orogenic process, Bishen Singh Mahendra Pal Singh, Dehradun, India, 378p.
- Raiverman, V., 2009. Isotope geochronology and orogeny

related sedimentation cycles from Himalaya and adjacent ranges to ocean basins. Indian Jour Geol, v. 81, nos. 1-4, p. 1-25 (Published July, 2011).

- Raiverman, V., 2012. Unconformity-riddled Cenozoics of the Foreland Basin and elevation of the Himalaya.
- Indian Geological Congress, Roorkee (India), 147p.
- Raiverman, V., 2012 a. A brief account of the continuum from Karakoram and Himalayan ranges to foreland and ocean basins (in press).
- Shackleton, N.J., 1984. Oxygen isotope evidence of Cenozoic climatic change. In: Brenchley, P. (ed.), Fossils and climate, John Wiley & Sons Ltd., London, p. 27-34.
- Storevedt, K.M. and Longhinos, B., 2012. The Atlantic and its bordering continents—a wrench tectonic analysis: lithospheric deformation, basin histories and major hydrocarbon provinces. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 64, p. 30-68, www.ncgt.org.

## 科学的パラダイム, 意図的無視, および間違った行為 SCIENTIFIC PARADIGMS, CONSCIOUS IGNORANCE AND FALSE PLAY

Stephan Foster は Geoscientist 誌の編集者たちに落胆し た経験を,本誌 12月号 (NCGT #65) でつまびらかにした. しかし,私自身の永くつづいた戦いからみると,地球科 学の主流雑誌における専門家査読という手続きは,もは や時代遅れであり,腐敗していると判断される.事実は, そして PT を疑問視する概念化は,無視されるか,言い 逃れ的に説明され,血族的信条に決定的問題を提起した 原稿は掲載拒否される.掲載拒否の理由は,非科学的で 偏見に満ちている場合が多い.

大陸の水平漂移とプレートテクトニクスという革命的考 え方が、増大する事実がそれを必要とするために採用 された、というのは錯覚である.むしろ、地球リソス フェアの超移動論的観点への集団的転向は, 1950年代 後半における古地磁気研究に扇動された新しいワナ以外 の何者でもなかった. それにかわる. あまり可動的で ない解釈はとりあげらなかった.私は、著書や論文で (Storetvedt, 1997, 2003, 2005: NCGT 55, 61), 批判 的観察が無視されてきたことをくりかえし議論した.し かし、1960年代には、にわか Alfred Wegner たちの全 員が、英雄-全地球地質学における真のニュートン-と して歓呼に迎えられた. 彼らのモデルは "James Hutton 以来の地球科学における最大の革命 "(Geoscientist, 2012 年 10 月号, p. 12) と評された. Wegener の栄誉 をたたえる植物群とは逆に、検証実験が行われることも なく、また、(うわべだけのモデルの保持をめざす)場当 たり的決着が増大しつづけたことも手伝って、地球科学 界が陥った混乱は拡大しつづけた. この混乱状態は, 重 大な論理的乖離をもたらした. 私がこの数10年にわたっ て世界中でおこなった多くの講演やセミナーにおいて, 確実な証拠にもとづいて PT を弁護しえた仲間に出会っ たことはない.感情的反応はあるものの,全世界的地質 学が不確定で混沌とした状態に陥っていることを認める 地球科学者に出会えたのも,2,3名にすぎない.

地球テクトニクスの今日的状況は、科学研究における Thomas Kuhn(Kuhn, 1970)の有名な論述—発見と認知 をくりかえす確実かつ慎重な方法となった理想的科学観 の転覆--を,思い出させる. そして Kuhn は,科学が人 為的・非合理的要素によって強く影響されていることを 描写する. すなわち, 既存の学説に全面的に専心し, 感 情的に追従することが科学的常識となるため、それに 反する証拠がごく身近に存在する結果になる. これを Kuhn は次のように表現している. すなわち,「それら (科学的常識)は信頼を失いはじめるが……,危機へ向 かうパラダイムそのものと縁を切ることはない」(Kuhn, 1970), と. Kuhn は, 科学というものは, 教科書に書か れた固定的知識の塊とは別物であると論じている.むし ろ、それは、一群の閉塞的知識で構成されていて、事実 の限りない収集と場当たり的な論理的説明の増大によっ て特徴づけられ、劇的な知能革命―パラダイムシフト― に終わる.しかし、科学的常識にとっては、差し迫った パラダイム革命は著しく重大な事件である.科学的常識 は、その支持者のまじめな努力の総体でもって革命を妨 害し、その科学的貢献に比べてはるかに破壊的役割をは たす.

いかなる社会でも井の中での思考はたいへん強力でで

あるが,実際には科学の大きな前進に大きく阻害する. 流布した考え方(学説)は広く受け入れられているた め,ほとんどすべての人々の会話や思考がそれらの影 響下にある.この固定化された枠組みが,"安寧"や科 学的常識になるのは必定である.ゆえに論理の"現状 "を維持するために,虚偽の主張や不正直がまかり通っ てしまう.さまざまな機関で行われる科学が階層的であ るため,このような間違った状況を正当に評価すること は困難である.アメリカの小説家 Upton Sinclair は階層 的圧力の本質を次のように表現する.「不理解な機関に 給与を依存しているかぎり,人が何かを理解することは 困難である.」

同じ信条をもつ人間集団に対する潜在的脅威となる問題 を封じ込めようとする人間の性癖は,自然のなりゆきと して,根本的問いかけを妨げようとする精神的障壁をつ くりだす.科学界での今日的慣習を維持するために,受 容されている論理パラダイムの文脈に沿ってデータが解 釈されるのは必然である.観察事実にかんする別の解釈 は,たとえきちんと認知されたとしても,ぞんざいな扱 いを受けるにすぎない.しかし,正直な科学者はだれも, Schumacherの観察を思い出すだろう.すなわち,彼は 有名な著書 "Small is beautiful"(1973)で次のように述べ ている.「私の経験では,より洗練され,より複雑な方 向に進みつづけることに比べ,方向性のない単純なくり かえしははるかに困難である」,と.

「すべては金と性的アピールにかかわっている」と述 べたのはオーストリアの科学分析家 Paul Feyerabend である. 彼の記念碑的著書 Anything goes (1975)で, Feyerabend は, Kuhn のような科学におけるパラダイ ム転換の合理的様式を発見することはできなかった.彼 は、歴史的経緯にもとづいて、学術文化全体についてか なり起伏に富む記述を行い、科学界における基本的な法 則と視点の転換は社会過程以外の何ものでもない、との 議論を展開した.つづいて、フランスの社会学者 Pierre Bourdieu は彼の古典 Homo Academicus (1984) のなか で, 強力なグループによる科学界の支配を強調した. Bourdieu は、パリにおける彼自身の大学内での支配メカ ニズムを分析し、社会資本・ネットワーク・金銭および 名声のための争いといった要素が、科学的能力や創造的 力量よりももっと重要になることがしばしば起きること をを発見した.

人的要素はどうしても強く働くために,集団行動が,い かなる学問分野においても活動を強く支配するのが常で ある.たとえ,多数の場当たり的修正や完全に間違って いることを示す決定的検証によって支配的学説がしだい に変質したとしても,それは容易に放棄されることはな い(図参照).最近数10年間における教義化された地球 科学教育のために,あまりにも多くの科学者が若年期— 大学や研究の初期段階—に,漂移テクトニクスが地球表 層球殻で真の姿であると学習する.たとえ警告的な反証 がもたらされても,再考のコストや,経歴の半ばでのコー



ス変更のコストは、ほとんどの人々にとっては、あまり にも高くつくように見えるようだ、それらを認めること を避けるために、彼らは、信条を大転換したり、観察を 無視することもなく、あらゆるものが不確実であること を口実にするだろう.

H.C. Anderson の有名な童話『裸の王様 The Emperor's New Clothes』(図)は、今日の全地球テクトニクスにお ける the state-of-the-art にぴったりあてはまる隠喩であ り、それはプレートテクトニクス形式主義によって推進 されてきた.基本的論理がとりざたされることなく、多 数の傍観者たち―最大の集団は地球科学界―は王様 (PT 教義)の美しい着物を、王様がほんとうは裸であるとい う事実にもかかわらず、喝采しているのである.教義に あまりにもひどく傾倒していない、それゆえに、自らの 視点が比較的損なわれていない地球科学者たちは、基金・ プロジェクト・経歴のために発言をひかえる傾向にある.

19世紀後半の物理学における不可思議なエーテルは, 宇宙を満たしていると信じられていた物質で,光を伝播 する媒質であった.エーテルは暗室にひそむ黒猫のよう なもので,宇宙をみたす仮想物質の解明のために数 10 年間にわたる実験と論理的解析がおこなわれた.この実 りのない探求は,有名な Michelson-Morley による実験 の否定的結論で幕を閉じた.猫のようなエーテルは,結 局のところ存在しなかったのである!! この結論は,宇 宙の本性についての再考と,Einsteinの相対性理論を含 む現代物理学の発展を促した.

物理学とはちがって,地質学には,決定的に否定的な事 実や実験が欠けていることは明らかである.それゆえ, この非科学的傾向は,支配的な全地球造構モデルに対し て,別の方法で克服されなければならない.そのモデル の説明能力の著しい欠如,周知の事実から乖離した多く の説明,および,場当たり的修正の定常的増大を明らか にしつづけることによって深く浸透した教義を"緩和" していくと,最終的にこのモデルが崩壊するであろう, と私は考える.この道のりに,NCGT Journal はまちが いなく重要な役割をはたすだろう.にもかかわらず,は やりの"世界観"は深く根づいていて,ゆっくりと凋落 していく傾向にあるように思われる.しかし,必要条件 がととのえば,新しい科学パラダイムがにわかに生まれ るだろう.

猫のようなエーテルの存在を排除したことで著名な Albert Michelsonは、その業績によって1907年にノー ベル賞を受賞した。60年来の機能しない仮説を効果的に くつがえす実験および観察事実がやがて現れ、統合され て、PTの矛盾に権威ある賞が与えられるだろう.こうしてみると、James Clerk Maxwellの次の言葉は印象的で、 この手紙の結びにふさわしい:「意識的におこなわれる 完全な無視は、つねに、真の科学進歩の前奏となる」.

Karsten M. Storetvedt karsten.storetvedt@gfi.uib.no

## 先カンブリア紀における造山運動の制御 PRE-CAMBRIAN CONTROL OF OROGEN

次の記述は、地向斜から褶曲山脈への転換の理由をより 良く説明する.これによって、私はまずもって、NCGT で以前に行われた議論について弁明したい.

■ 図1は, The Times ATLAS of the Worldのp.2から 引用されたもので,地球の地殻構造の概要を示している. 地表に露出する先カンブリア紀岩石は濃いピンク色,堆 積物に被覆された楯状地は淡いピンク色で示される.こ れらの地域は黒の太枠線によって強調されているが,こ れらの枠線の外側にも,先カンブリア系が埋没して存在 することに疑いの余地はない.

■ 図1でみると,主要な褶曲山脈群は楯状地周縁に限られていて,楯状地内部には存在しないことがわかる.

■ 30 年前に, Sam Carey 教授は, オーストラリア地質 学会の会長講演で, 野外事実にもとづいて, すべての褶 曲山脈が赤道に由来すると説明した. ジオイド造構モデ ルとその後の発展においても,赤道と地向斜のあいだに 同様の関連を予想していたので,私はうれしくなった.

■ ところが、ジオイド造構モデルは、古赤道と地向斜の 関係性にもうひとつの前提を必要とする.すなわち、地 向斜をうみだす古赤道はいずれも、主要な地殻境界(た とえば、先カンブリア紀楯状地と、それに接する海洋地 殻との境界帯)に沿う必要がある.

もし上記の事項が妥当であるとすると,図1に示される 先カンブリア紀楯状地の縁辺に配置された地向斜は当時 の古赤道で形成されたものであり,地質時代を通じて発 達してきたことになる.この想定は,証明されていない. 地質時代の赤道の位置は古気候記録と古地磁気データか ら求められる.(古地磁気データについていえば,喧伝 される大陸漂移がもたらす複雑性はいずれも,研究対象 とする大陸から得られた古地磁気データを使用すること によって回避される.)



次の第2項目も満される必要がある.間欠的あるいは 持続的な極移動が想定される場合,赤道沿いの膨らみの 境界が次々に移動するために,引張から圧縮へと応力条 件が変化する.新しく形成された地向斜を満たしていた 堆積物の剪断強度は,現在わかっている固結堆積物の強 度/深度関係から予測でき,筆者は次のように計算した. すなわち,中程度の極移動(約40°)は,深度10kmの地 向斜堆積物を変形・褶曲・衝上させ,局所的地殻短縮を もたらしうる圧縮応力を生じさせる.

そうだとすると、この提案は、地史をどのように説明す るのだろうか?北アメリカから検討をはじめよう.

#### 北アメリカ

カンブリア系下部に関する古地磁気研究の結果と古気候 データはともに、カナダ楯状地西端に沿って、赤道がほ ぼ " 南北 " 方向に存在していたことを示す. こうして地 向斜発達の条件が満たされ、実際にも、隣接する楯状地 から供給された結晶質岩石片を含む厚さ 20km ほどの堆 積物が存在することが知られている.

古生界下部の古地磁気データは、相対的極移動によて赤 道がカナダ楯状地を横切って東へ移動し、南西-北東方 向にのびていたことを示す.古気候データによると、赤 道がデボン紀までには楯状地の東端に沿っていたことは 確実である.ただし、赤道移動には1°の振動的運動が あり、それ以前にも、赤道がこの地殻境界にときどき到 達した.重要なことは、赤道がカナダ楯状地を横切る際 に、地向斜が形成されなかったという点である.ところ が、赤道に沿う膨らみが楯状地の東端に到達すると、そ こでは地向斜沈降が再び発生した.その後、赤道沿いの 膨らみが移動すると、アパラチアは圧縮場となり、古い 褶曲山脈になった.

ちなみに、古生代前期の赤道配置を大西洋を越えて延長 すると、それらはスカンジナビア楯状地の北端を通過し、 一部はブリテン島の北側を通ることがわかる.そこでの 地向斜形成とその後の隆起という類似した変動様式が、 これらの地域にカレドニア造山運動をもたらした.

#### 南アメリカ

アンデスの歴史はより複雑で,北アメリカよりも長期に わたっていて,筆者の能力を超える.しかし,アンデス 山脈が南アメリカの先カンブリア紀楯状地の西縁に接し ていることは図1からも明らかであり,北端では楯状地 をとりまいて湾曲している.

#### ヨーロパ~アジア

古生代中頃には赤道環境となり,赤道が全ヨーロッパを

行き来した.その結果,ヘルシニア期の沈降と隆起がも たらされた.アルプス変動帯は東南アジアまでひろがり (古期テチス水路),北側の先カンブリア紀楯状地群と 南側のアフリカおよびアラビア楯状地群との間に位置し た.インド楯状地は,ヒマラヤ山脈の南縁をなす.

#### アフリカ

アフリカは単一の楯状地でできた大陸であり,広範囲に わたって褶曲帯を欠く.唯一の褶曲帯は北海岸のアトラ ス山脈で,ヨーロパのヘルシニアサイクルの南縁を形成 する.

#### オーストラリア

オーストラリアは、その東部を除くと、アフリカと同様 に大半が先カンブリア紀の楯状地からなる.東部は、現 在は Great Divide Range(大分水嶺山脈)になっていて、 しばしば混乱をもたらす.この地帯は、オルドビス紀に 赤道地帯であった.それ以来、この大陸のところどころ を赤道帯がさまざまな方向に横切った.おそらくそのた めに、東部を除くと、連続的な地質構造が発達しなかっ たのだろう.

#### パプアニューギニア (PNG)

PNG は、地殻境界に沿って配置された赤道域の今日的事 例である.おおよその中央線が " 鳥の頭 " から東南東へ 向かって島を通過し、この島を、北半部の海洋地殻域と 南半部のオーストラリア卓状地域に二分している. 鮮新 世の赤道が、この境界域を通過し、その後の隆起が PNG の " 刺 " とよばれる高地を形成した.

したがって,極移動-ジオイド造構モデルは,地球上の 褶曲山脈群の位置,ならびに,地向斜/褶曲山脈の転換 を論証するものと考えられる.これには,プレートテク トニクスの移動論はまったく関与しない!

地殻の引張性破断に関する上述の議論を支持する定量的 解析は,筆者の著書原稿 Geoid Tectonics(未公表)や, 以下の New Concepts in Global Tectonics 誌の論文に掲 載済みである.NCGT#17:応力状態,貯水池起源の地震, #24:極移動場での海洋環境,#40:極移動はどのよう にして地球をかたちづくるか,#41:極移動の1事例, #49:極移動場でのジオイド応力,#50:地殻応力状態 の解析,#51:地殻の変形と破断,#52:地向斜の形成 と隆起.

> Peter M. James Tasmania, Australia glopmaker75@hotmail.com



# 原著論文 ARTICLES

# ロッカール海台 / モーリー海底峡谷の相互作用 **ROCKALL PLATEAU/MAURY SEACHANNEL INTERACTION**

N. Christian SMOOT 6460 Falling Water Lane, Hoschton, Georgia 30548 USA Christiansmoot532@gmail.com

> (柴 正博[訳])

要旨:ロッカール海台とモーリ海底峡谷は、対になった存在である.この対を作ったテクトニクスについてはまだ探 究と討論をされているところで、多くの異なったシナリオが今でも提出されている. この地域はアイスランドと大ブ リテン島の間にあって、海底には多くの特徴的な海底地形が見いだせる(図1). 下層は大陸起源であるが、後の火山 活動がその上を大きく変化させて覆っている. 堆や斜面, 崖や海底面のような地形は火山活動によって作られた. 水 の流れが地形に影響を与えている. 北大西洋の深海底層水は一般に WSW に流れるが. フェロー - アイスランド海嶺 によって妨害される.フェロー - アイスランド海嶺は、ロッカール海台を横切って南アイスランドから転換した活発 な海底峡谷と連結し、アイスランドと西ヨーロッパ海盆の間にあるモーリ海底峡谷と連結している.  $\neq - \nabla - F$ : Rockall Plateau, Maury Seachannel, Iceland Basin, topography, oceanography

はじめに

Doggerland についての最近の「ナショナル・ジオグラ フィック」の論文が、その地域に対しての興味をひき起 こした. それらの地図はフェロー諸島の周りにとどまっ ていた. その地域の海底地形をチェックした後で、含ま れていなかったもう1つの地形の高まりを発見した. さ らなる点検で、ロッカールと呼ばれる小さい小島がまだ 小島であったことが見いだされた. その小島が何の上に 位置するのかが、この論文を執筆した理由である:

海膨と海台はいろいろな主要造構作用によって形成され うる (Mohriak et al., 2010). 大洋底のおよそ 10% を占 めるその大規模な火成岩体は,特に断裂帯の交差部で は、過剰な火山活動量によって作られたのかもしれない (Smoot, 2005). それらは以前にあった大陸地殻が隆起 したものである可能性もある. それらは、より古い海洋 地殻か大陸地殻の構造的頂部に、後から起こった火山活 動でできたのかもしれない. あるいは、それらは海底拡 大によって引き裂かれた大陸地殻である可能性もある. 私はロッカール海台が停止して閉じた象徴的で古い拡大 中心であったということを以前に読んだことがある.こ れはロッカール海台が大陸地殻を基盤としているという 事実を考慮すると、とても斬新な考えである.

どんなものでも海膨と海台は大きい. ロッカール海台は 長さ約 540 海里 (1000 km) で,幅は 350 海里 (650km; 図 2) である. 海台は大ブリテン島の西でフェロー諸島 の南にあり,そして北東大西洋海盆のアイスランドの南 東にある. それは大西洋中央海嶺のレイキャネス セク ションによって西を区切られ、その海嶺のもう1つのセ クション、より具体的にはチャーリー - ギブス断裂帯に よっての南を区切られているか, そこが境界になってい る. ロッカール舟状海盆は海台をブリテン島から分離し. アイスランド海盆が西側にある.

海底峡谷は、二次的造構作用の結果である. それらはい ろいろな方法によって形成される;たとえば、遠洋性堆 積作用、大量の岩屑のような重力流、塩熱作用、造構作 用である.水のようなものはどこでも、斜面方向へ流れ、 抵抗が最も小さいところに沿って流れる.流れ出てた水 は同じく侵食テクトニクスの世界の中では主要な原因と なる.

#### 広域的地形学

この地域の海底地形はいくつかの情報源からの複合物 で,米国海軍海洋学研究所で世界海底地形グループに



図1 北東大西洋海盆の位置図:1=レイキャネス海嶺,2=チャ・ リー-ギブス断裂帯,3=アイスランド海盆,4=ハットン堆,5= ロッカール海台,6=ロッカール舟状海盆,7=フェロー-アイラ ンド陸橋,8=イルミンガー海.



図 2 ロッカール海台とその周辺の海底地形図 (等深線間隔 200 m). 編集:米海軍海洋局世界海底地形グループ

よってすべてが編集された. 音波速度断面は 1500m/sec で作成されているので,より新しいデータにはいくぶん の違いがある.しかし,おおまかな地形学の研究にとっ て,これらのデータは十分に適切であった.

ロッカール海台ではグラブ式採泥や掘削,海底地形,地 震探査、採泥曳きなどによって数年の間に繰り返し採集 の試みが行われたが. その多くはそれらの計画された目 的において失敗し、いくつかはこれまでに成功した. ア イスランド南東部と大ブリテン島から海台(ハットン堆 とエドラス堆)の上で採集された岩石は、すべてが17 億~18 億年前のオーダーであった (Morton et al., 2010: 図 3). 白亜紀後の火山活動には 55~57Ma の確定的年 代が得られた (Sinton and Duncan, 1998). この地域の 堆積盆はハットン - ロッカール盆地と、ロッカール舟状 海盆と Porcupine 海湾からなる. それらは古第三紀後で あり、そしてすべてが大陸地殻の上に横たわる (Roberts, 1975). そのために、海台自体は大陸起源であり、その 後に火山活動を受けている.海台の以前の地理的位置は, もし実際にその位置が現在のものと異なっているのな ら、未解明である.

ロッカール海台は、東のロッカール堆と西のハットン堆 に分岐するように思われる.ハットン堆はここで重要で ある.長さ500kmと水深約1000mの大規模地形は. 南向きに流れる北大西洋底層水の滑らかな流動パターン を妨げるような形になっている.このどちらかと言うと 散漫なイベントの結果として、水塊はフェロー - アイス ランド海嶺の後ろでせき止められたようになるか、ある いは、障害的地形によって分岐する.



図3 北大西洋盆地の上に境界から集められた岩石試料年代.年代は百万年 (Ma).それらは、いすれも基本的に同年代であり、 大陸的構造に周囲をかこまれた Rockall 海台のある種の組み合わ せ構造を示している (インターネットから).



図4 ロッカール海台西側のハットン堆の海底地形図の拡大表示 (等深線間隔:100 m). モーリ海底峡谷と2,3の支流を示して いる.流水の影響を受けている領域は,水塊運動の侵食効果のた めに非常に明瞭である.

3つの側面はいくぶん緩やかな斜面に囲まれていて,西 側斜面は海底地形としては極めて急勾配である(図4). これらの斜面は,100kmで2200m低下する勾配をもつ グレートメテオール複合堆の西斜面やコーナー海山の東 斜面に類似する (Smoot,1995;Bhat et al.,2010). こ の不釣り合いには理由が存在するずであり.実際に存 在する.その明瞭な斜面地形は.海台斜面を下刻・浸 食する底層流によって規制されている (Sayago-Gil et al., 2010).

#### 海洋学

アイスランド海盆まで北上する表層水はメキシコ湾流 で、そしてそれはおよそ 1000 ~ 1500 m の深さから北 東へ向かっている (Malmberg、2004;図5). レイキャ ネス海嶺を横切って流れるラブラドルとイルミンガー 海盆の海水は中層流をつくっている. 底層水 (北大西洋 深層水)はフェロー - シェットランドとフェロー堆から フェロー - アイスランド海嶺を横切ってロッカール海台 の北にあふれてた水である. この水はアイスランド海盆 をめぐり、レイキャネス海嶺を越えて西側のイルミン ガー海に入る.

北からの深層水の流れは西側にあるロッカール堆の上に 上昇させられ,ルーシー,ジョージブライトとハットン 堆の間に押し込まれる. こうして,他の水塊に比べて, 流速がより大きくなる. その結果,700-1400 mの間 と1800~2200 mの間に多くのモート(堀)ができる. およそ 0.5 m/sの流速はこれらの海域の地形を変形させ るのに十分である. このような堆積物が,アイスランド からすでに海底峡谷に流入しているとすれば,ロッカー ル海台の西側斜面を洗掘する力は巨大である.

その底層流はモーリー海底峡谷である. そしてそれは本 質的にアイスランドの南東に始まり,そこでは溶氷水に よって運ばれたタービダイトが大陸棚を削った大きな海 底峡谷を形成する(図6). これらの峡谷は沖合で合流し て,60°Nにおいてモーリ海底峡谷の主部を形成する. 図4に示されるように,もう1つの谷系が主要谷に流れ 込む.そしてそれはフェロー - アイスランド海嶺の斜面 とベアー島トラフの入口から,近隣の堆積物を供給した と考えられる(Loberg and Vorren. 2000). それは,ちょ うどスピッツベルゲン南部およびノルウェー海のタービ ダイト谷である.

モーリーは,西縁に堤防を伴った底平な海底谷である (Smoot, 1993). チャーリー - ギブス海嶺に到達する以 前に,海底峡谷にはいつものくぼみやねじれが存在する (Smoot and Sharman, 1985). そこで峡谷は東へ急に屈 曲したあとは,分散して西ヨーロッパ海底平原を形成す る. この峡谷は海面から水深約 4000 m に達し,堆積物 を運搬するのに最適な勾配をもつ.

堆積物は,海台上のハットン堆の西側斜面全体に沿って 運搬される.過傾斜化した斜面は,その長い寿命の間に 多くのスランプと地すべりを経験し,そして水流が下刻 し,それらの砕屑物を供給源から運搬する最も重要な役 割をはたしている.実際に,南へ1300海里(2400 km) にある西ヨーロッパ海盆のサイト調査を行うと,アイス ランドとロッカール海台の両方に類似した大陸性物質が 発見されるだろう.

#### 討 論

興味深いことに,ある人の見方にしたがえば,大西洋海 洋盆は動きにおいて海洋底拡大の教科書通りの例であ る.チャーリー - ギブス断裂帯(図1)において顕著な東 側へのオフセットをともなう大西洋中央海嶺の拡大中央 が存在している.西からの何らかの圧力が必要で,それ はレイキャネス海嶺であろう.西ヨーロッパの近くには どこにも沈み込み帯はなく,過去180 Ma あまりの期間 にわたってこの圧力のすべてが,広域的地形に影響を与 えてきたのだろう.逆に,この圧力はさらにそれからの 北米を以前の地理的位置からさらに押すだろう.

多くの圧縮性の背斜構造がフェロー - ロッカール海台の 西部と北部で識別されている (Boldrell and Andersen. 1998).海台のこれらの部分は,暁新世における台地玄 武岩の溢流の最終段階には海面上にあり,これらの地質

deep water formation Surface deep water-formation deep water-fo

**Thermohaline Circulation** 

図5世界の海流を示す熱塩循環図.凡例色は塩分濃度(‰)を示 す.赤線はベンジャミン・フランクリンのメキシコ湾流のような, より暖かい表層流である.青線はもっと冷たい底層流である.(イ ンターネットから)

構造はそこで形成さ れた.3玄武岩溢流後 の3回の圧縮時相が 海台に影響を与えた. 海台北部における 圧縮性構造の大部分 は, 暁新世末期~始 新世初期の NE-SW ~ ENE-WSW 方向の応 力にかかわって形成 された. 古地磁気異 常パターンを合わせ た生層序学的データ (Stokera et al., 2012) は, 始新世中頃~後 期にハットン隆起の 上に東へ前進するく さび状堆積物が発達 したことを示してい る. ハットン隆起は, 海洋縁に沿う始新世 中頃~後期の圧縮力 によって,ある背斜 の中に押し込まれた. これは,必然的に,過 剰なスランプと地す べりをひきおこすこ とになった.底層流 がこの砕屑物の下部 を取り除くには,長 されたに違いない.



図6アイスランドから西ヨーロッ パ海盆までのモーリ海底峡谷の谷系 図で.チャーリー - ギブス海嶺(中 図)の周辺と盆地の消散パターン の拡大図が付されている(下図は, Smoot, 1993による).

時間を要したであろう.その結果,その末端部が平滑化 されたに違いない

この圧縮段階は,漸新世〜中新世を通してつづいた (Boldreel and Andersen, 1998). 私は. その圧縮が今日 まで継続していると提案をする. この地域において拡大 は起こっていないで,圧縮力は地球収縮に起因する可能 性があり,それは地球(とくに外殻)の冷却に由来する ことが予想される. そうではなく,圧縮力はレイキャネ



図7過去130 Ma間にお ける海底拡大事件を解釈 した夢のシート (インター ネットから). これらの事 件によってひきおこされる どんなことがらをもカバー するであろう間に合わせの 「説明」であるということ に、だれも気付かせてくれ ない. 読者は真偽の程は分 からないが、この図を得る ことができる.私にとって は、何の意味もない、この 領域におけるどこにも, 昔 の拡大軸のわずかな痕跡を 示す海底地形の証拠はいさ さかも存在しない.

ス海嶺からの海底拡大によってもたらされているかもし れない.そして,その応力を軽減するために.沈み込み 帯を持たないヨーロッパのような大きく動かない大陸を 押しているのかもしれない. Boldreel and Andersen は, 後期の2つの変形時相は,局地的にいくぶん変化しな がら北西ヨーロッパの広域応力系に関係すると信じてい る.

抵抗できない力が動かせない物体に遭遇すると,何かが 起きる.頭部の凹地と急傾斜の側面からなるハットン堆 北部の形状(図4)は,次のような地形制御の可能性を 示唆する.すなわち,「ジェット気流」のような水流が NNE 方向から到来して,ハットン堆とルーシー堆の間を 通り抜けている.より南方にある2,3の段丘を除くと, これらの急傾斜した側面は海台の麓まで続いている.

そのために,フランクリン氏の流れの方向が正しいが, 南アイスランドの大陸棚から流下する混濁流がモーリ海 底峡谷に流入する時には,北大西洋深層水の流動の一部 が遮断されるために分流して,その谷の中を SSW 方向 に進んで, チャーリー - ギブス海嶺のところで急に左に 旋回する (Smoot and Sharman, 1985; Smoot, 1993).

モーリー 海底峡谷はそれ自身, それほど古いものではな いかもしれない. ロッカール海台の周りに想定される圧 縮によって, 西側斜面の地殻に沿って割れ目ができたか もしれない. 明らかにこれはアイスランド沖の海底峡谷 から来るもう1つの水流の通過ルートを確保するために 必要とされたことがらである. そしてそれは始まった途 端に,後には戻ることができなくなった.

#### 結論

海洋底の上に大きい火成岩体として定置して形成された 可能性について,長年にわたる研究によって,多くのさ まざまな解が提案されてきた.それはロッカール海台も 例外ではない.しかし,チャーリー - ギブス断裂帯以北 の北大西洋盆地に裂罅帯はなく (Smoot, 1989),断裂帯 の交点においての過剰なマグマ漏れだした可能性は想定 できない.ロッカール海台西端の砂岩から発見された1.7 ~ 1.8 Ga のジルコンの存在は. 海台が古い大陸地殻でで きていることを確信させるだろう. アイスランドから大 ブリテン島までの地帯にわたって同様の岩石が分布して いることは,これらの海底地形のがすべてが,かつては 一体のものであったことを信じさせるだろう. 火山性の 皮殻を取り除けば,海台自身がジュラ紀~白亜紀に地表 に露出していたとは考えられないことがわかるであろう.

この地域に関して, もう1つの可能性が存在する. それは, これらの地形はいずれも, 今までに造構作用に よってどこにも動いたことがないということである. グ リーンランド - アイスランド - ノルウェー - 大ブリテ ン島ギャップを渡る陸橋を示す多くの論文 (たとえば. Canudo et al., 2009; Noonan and Chippendale, 2006) がほとんどどこにでも知られている. 地球収縮は背斜 / 向斜として表示された地形の原因になりうる. もし膨張 が原因であったなら, 圧縮的地形は観察されないであろ う. これは, それらのすべての中で最も単純な説明であ り得る. 我々は, プレートテクトニクス仮説に適合しな い事象のすべてを説明するための場当たり委員会によっ て至る所に想定された海嶺ジャンプ (図7)を必要としな い. それにもかかわらず, ミシシッピ川のように, モー リ海底峡谷は独自に存在するのである.

### 文 献

- Bhat, M.I., Smoot, N.C. and Choi, D.R., 2011. Scientific logic behind surge tectonic hypothesis. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 58, p. 50-63.
- Boldreel, L.O. and Andersen, M.S., 1998. Tertiary compressional structures on the Faeroe–Rockall Plateau in relation to northeast Atlantic ridge-push and Alpine foreland stresses. Tectonophysics, v. 300, nos. 1-4, p. 13-28.
- Canudo, J.I., Barco, J.L., et al., 2009. What Iberian dinosaurs reveal about the land bridge said to exist between Gondwana and Laurasia in the Early Cretaceous. Bulletin de la Societie Geologique de France, v. 180, no. 1, p. 5-11.
- Due, L., van Aken, H.M., Boldreel, L.O. and Kuijpers, A., 2006. Seismic and oceanographic evidence of present-day bottom-water dynamics in the Lousy Bank—Hatton Bank area, NE Atlantic. Deep-sea Research Part I-oceanographic Research Papers, v. 53, no. 11, p. 1729-1741.
- Laborg, J.S. and Vorren, T.O., 2000. Flow behavior of the submarine glacigenic debris flows on the Bear Island Trough Mouth Fan, western Barents Sea. Sedimentology, v. 47, no. 6, p. 1105-1117.
- Malmberg, S-A., 2004. The Iceland Basin: Topography and oceanographic features. Marine Research Institute Report 109, 43p.
- Martin, J.E., Case, J.A., Jagt, J.W.M., Schlup, A.S. and Mulder,

E.A.W., 2005. A new European marsupial indicates a high-latitude trans-Atlantic dispersal route. Journal of Mammalian Evolution. v. 12, nos. 3 & 4, p. 495-511.

- Morton, A.C., Hitchen, K., Fanning, C.M., Yaxlet, G., Johnson, H. and Ritchie, J.D., 2010. Detrital zircon age constraints on the provenance of sandstones on Hatton Bank and Edoras Bank, NE Atlantic. Journal of the Geological Society, v. 166, no. 1, p. 137-146.
- Noonan, B.P. and Chippendale, P.T., 2006. Vicariant origin of Malagasy reptiles supports Late Cretaceous Antarctic land bridge, The American Naturalist, v. 168, no. 6, p. 730-741.
- Roberts, D.G., 1975. Marine Geology of the Rockall Plateau and Trough (www.adsabs.harvard.edu/abs/ 1975SPTA.278.447R)
- Sayago-Gil, M., Long, D., Hitchen, K., Diaz-del-Rio, Fernandez-Salas, L.M. and Duran-Munoz, P., 2010. Evidence for current-controlled morphology along the western slope of Hatton Bank (Rockall Plateau, NE Atlantic Ocean, Geo-Marine Letters, v. 30, no. 2, p. 99-111.
- Sinton, C.W. and Duncan, R.A., 1998. 32. 40Ar-39Ar ages for lavas from the southeast Greenland margin, ODP Leg 152, and the Rockall Plateau, DSDP Leg 81. In: A.D. Saunders, H.C. Larsen, and S.W. Wise Jr (eds.), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, v. 152, p. 387-401.
- Smoot, N.C. and Sharman, G.F., 1985. Charlie-Gibbs: a fracture zone ridge, In: G.F. Sharman, III and J. Francheteau (eds.), Oceanic Lithosphere. Tectonophysics, v. 116, p. 137-142.
- Smoot, N.C., 1989. North Atlantic fracture-zone distribution and patterns shown by multibeam sonar. Geology, v. 17, p. 1119-1122.
- Smoot, N.C., 1993. Bathymetry: Collection, Processing, Interpretation. (Naval Oceanographic Office Training Manual, TM 03-93), 299p.
- Smoot, N.C., 1995. Mass wasting and subaerial weathering in guyot formation: the Hawaiian and Canary Ridges as examples. Geomorphology, v. 14, p. 29-41.
- Smoot, N.C., 2005. Seamount chains, fracture zones, and oceanic megatrends. Bolletino della Societa Geologica Italiana, Special Issue: Earth Dynamics Beyond the Plate Paradigm, v. 5, p. 25-52.
- Smoot, N.C. and Meyerhoff, A.A., 1995. Tectonic fabric of the North Atlantic Ocean floor: speculation vs. reality. Journal of Petroleum Geology, v. 18, no. 2, p. 207-222.
- Stokera, M.S., Kimbellb, G.S., McInroya, D.B. and Morton, A.C., 2012. Eocene post-rift tectonostratigraphy of the Rockall Plateau, Atlantic margin of NW Britain: Linking early spreading tectonics and passive margin response. Marine and Petroleum Geology, v. 30, no. 1, p. 98-125.

## 54/56 年周期: 巨大地震の世界的群発 54/56 YEAR CYCLE: WORLD MEGA QUAKE CLUSTERING

David McMINN IIndependent cycle researcher Mcminn56@yahoo.com

Twin Palms, Blue Knob, NSW 2480, Australia

(矢野 孝雄 [訳])

要旨:9/56 年地震周期が,多くの地域・国で確立された.1900 年頃以降の世界的巨大地震については,54/56 年 格子がより重要であることがみいだされた.この論文では,この概念を拡張して,過去3世紀にわたる巨大地震と 54/56 年格子の関わりが考察される.興味深いことに,大規模な地震はおよそ50 年毎に群発してきた.これらの群 発期からはずれるのは,1700 年頃以降でわずか2つの大地震にすぎない.1895 年以降でみると,17 個の巨大地震(M ≥8.6) のすべてが 1/56 年周期の1つの枠内で発生していて,この発見はきわめて重要である.このような54/56 年 地震効果は,月 -太陽潮汐によるひきがね作用によって発生していると仮説される.56 年周期と9 の倍数に束ねら れるすべての地震が,月 -太陽に密接にかかわっているのだろう.一等三角点の改測資料によるひずみの分析データは, 環状配列を伴うそれぞれの単元における脈動を示している.

 $\neq - \nabla - F$ : 54/56 year cycle, 9/56 year cycle, mega earthquake, clustering

#### まえがき

9/56 年周期は,さまざま地域・国における地震の発生 時期の基本になっている (McMinn, 2011a, 2011b お よび 2011c). 20 世紀における世界の巨大地震にみられ る 54/56 年周期はこの命題の変形で,McMinn (2011b および 2012b) によって初めて確立された.この論文は この概念を拡大し,過去3世紀にわたる世界の大規模 地震との関係において 54/56 年格子を評価する.また, 2004, 2005, 2010, 2011 および 2012 年に発生した最 近の巨大地震をもたらした地震学における議論の多い話 題についても検証する.

世界の大規模地震 (M≥8.6) リストは, 国立地球物理学デー タセンター (National Geophysical Data Center:NGDC) の データーベースにもとづいて, 1700 年以降のものが編 集された (付録1参照). NGDC は, 歴史地震をもっと も広汎に収集しいているので,基本的情報源として選ば れた.残念ながら,時代を遡るにつれて,とくに推定マ グニチュードに関して,すべてのカタログの信頼性が減 少する.さらに,1890 年以前のアラスカ地域の地震に 関する情報はほぼ完全に欠落していて,入手できるデー タに大きな空白がある.これらの問題を解決することは ほぼ不可能である.

大規模地震は,月-太陽潮汐効果によって引き金がひか れると仮説される.54/56 年周期は,月-太陽食周期に 直接に関連している.54 年 (3 倍の Saros - 669 陰月)と 56 年 (692.6 陰月)という鍵になる期間は,月,太陽, 昇月点,および遠地点の間のさまざな角度配置にもとづ いている.56 年および 9 年の倍数年を基礎とした格子 にプロットされるすべての地震が,月-太陽にかかわる 共通性をもつだろう (McMinn, 2011a). と縦軸に 56 年間隔 (系列と呼ぶ)をとった格子で構成 される.世界の主要地震については,2種類の 54/56 年 格子が知られている.1つは,末尾が偶数で終わるのす べての年で示され (末尾偶数年の 54/56 年周期と呼ぶ), もう1つは末尾が奇数で終わるすべての年で示される (末尾奇数年の 54/56 年周期と呼ぶ).それぞれ,付録 2,および付録 3 を参照されたい.56 年系列は McMinn (付録 2, 2002) にしたがって番号がふられ,系列 01 は 1817 年,1873 年,1929 年,1985 年からなり,系列 02 は 1818 年,1874 年,1930 年,1986 年からなる, といった具合である.

同じ国 / 地域で1日あるいは2日のうちに起きた複数の 地震は、単一の地震として処理された(たとえば、日本 の1707年10月および1854年12月の地震、フィリピ ンの1897年9月の地震).最適年はさまざまな表に適 用され、通常は11月25日に終わる12ヶ月として扱わ れる.最適年は数世紀にわたって変化すると思われるが、 これは実証の必要がある.

#### 1895 年以後における末尾偶数年の 54/56 年周期

末尾が偶数の年に発生した大規模地震 (M≥8.3) は,表1 に示されるように,系列 42 と系列 20 の間で発生する 傾向にある.末尾偶数年に発生した 10 個の巨大地震 (M ≥8.6) のすべてがこの配列に含まれる.

#### 1895年以後における奇数年の 54/56年周期

約6個の巨大地震 (M≥8.6) が末尾奇数年に発生し,それらのすべてが表2に含まれる.

#### 2/56 年および 1/56 年周期

54/56年周期は、横軸に54年間隔(サブサイクルと呼ぶ)

これまでに筆者の地震論文であつかったのは、縦軸に

56年,横軸に9年の倍数の格子に限られている.これ らの書式の対角線上に,さまざまな間隔をもつ他の格子 が現れる.たとえば,表1と表2を再編すると,表3に 示される2/56年格子になるだろう.このような変化は, 加工的サブサイクルと呼ばれる.というのは,それらが 56年と9の倍数年にもとづく元々の格子から派生した ものであるからだ.

					Tat	ole 1								
	54/56 YEAR CYCLE EVEN: MAJOR WORLD EARTHQUAKES													
	1895-2012 M $\geq$ 8.3 NGDC Vear ending November 25													
Sa	Sa													
42	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20			
	1892													
										1894	1948			
											0124			
									1896 0615	1950 0815	2004			
								1898 0605	1952 1104	2006 1115				
							1900	1954	2008					
							1009							
							1900							
						1002	1029	2010						
						0822	1950	0227						
					1904	1958	2012							
					0625	0710	0411							
					1904	1958								
				1007	10(0	2014								
				0121	1960	2014								
'				1906			•	•	•					
				0131										
			1908	1962	2016									
		1910 0616	1964 0328	2018										
	1912	1966	2020											
1914 1124	1968	2022												
Events	s in <mark>red</mark>	appeare	d in NC	DC's li	sting (N	$1 \ge 8.6$								
Events	s in <mark>blue</mark>	appear	ed in N	GDC's	listing (l	$M \ge 8.3$	$\leq$ 8.5).							
Sourc	e of Ra	w Data:	NGDC											

	EAIECS	FAD 4	VCLE	ODD.	Table 2		IDEA	ртио	UARES	,
	54/50 1	EAR	YCLE 18	0DD: 895-201	MAJUI 2 M > 8	K WUR 3.3 NGI	LD EA DC	KTHŲ	UAKES	)
			Y	ear end	ing Nov	ember	25			
Sq 27	Sq 25	Sq 22	Sq 21	Sq 20	Sq 27	Sq 25	Sq 22	Sq 21	Sq 10	Sq 17
37	35	33	51	29	21	25	23	21	19	1889
										0711
									1891	1945
								1002	1027	
								1893	1947	2001
							1895	1949	2003	0023
							10,5	1717	0925	
						1897	1951	2005		
						0207		0328		
						1897		2004		
					1800	1053	2007	1220		
					0124	1955	0912			
				1901	1955	2009				
				0809						
			1903	1957	2011					
			0602	0309	0311					
		1905	1959	2013						
		1905								
		0723								
		1904								
		1220								
	1907	1961	2015							
	0417 1906									
	1222									
1909	1963	2017								
	1013									
	1963									
10/7	1104									
1965 0204	2019									
Events	s in <mark>red</mark>	$M \ge 8.6$	j <u>.</u> 5.		I	I				
Events	s in <mark>blu</mark>	$M \ge 8$	3 ≤ 8.5							
Sourc	e of Ra	w Data	NGDC	2.						

末尾偶数年の54/56年周期および末尾奇数年の2/54年 周期という2つの格子は結合して,年代順に56年の系 列をもつ1/56年周期をもたらす(付録4参照).1895 年以降の17個の巨大地震(M≥8.6)のすべてが,1/56 年格子(信頼度p<.001)全体の53%を占める系列21と 系列42の間に発生した.1895年以降に37個のより 小さい地震(8.5≥M≥8.3)が発生したが,そのうち22個 が系列23と系列35の間で発生していて,1/56年格子 (信頼度p<10-4)の28%に相当する.しかし,後者の発 生は偏っていて,より小規模な地震の49%が1896~ 1907年に記録されている.そのため、この発見はゆが められている.不思議なことに、Fujitaのカタログには 2つの出典が用いられていて、この期間において該当す る地震は4個しか記録されていない.

注目されるのは, 1700 ~ 1895 年に 17 個の巨大地震 (M≥8.5) が発生し, そのうちの5 個が系列 52 に限っ て 1700 年, 1755 年, 1811 年, 1812 年 (10 月 31 日 に終わる年) に発生したことである. この 56 年という 系列には, 多くの記録的地震が発生してきた (McMinn, 2011b). もう1 つ不思議なのは系列 27 で, この系列に は数世紀にわたって多数の大地震 (M≥8.3) が発生してい る (表4参照). これらは日本 (東および東北), メキシ コ (Oaxaca) およびチリ - ペルーにおいて地震をくりかえ し発生させてきたもので, 同一地域でくりかえす傾向を

	Table 3											
	2/56 YEAR ARTIFACT CYCLES: MAJOR WORLD EARTHQUAKES											
	1895-2012 M ≥ 8.3 NGDC											
	Year ending November 25											
	EVEN ended years											
Sq22	Sq24	Sq26	Sq28	Sq30	Sq32	Sq34	Sq36	Sq38	Sq40	Sq42		
1894	1896	1898	1900	1902	1904	1906	1908	1910	1912	1914		
	0615	0605	1006	0822	0625	0121		0616		1124		
			1900		1904	1906						
		10.8.1	1029		0827	0131		10.00	10.00	1080		
1950 0815	1952 1104	1954	1956	1958 0710	1960 0522	1962	1964 0328	1966	1968	1970		
				1958	•			1	•	•		
				1106								
2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022				
		0227	0411									
				ODI	ended	years						
Sq17	Sq19	Sq21	Sq23	Sq25	Sq27	Sq29	Sq31	Sq33	Sq35	Sq37		
1889	1891	1893	1895	1897	1899	1901	1903	1905	1907	1909		
0/11	1027			0207	0124	0809	0602	0709	0415			
				1897				1905	1906			
				0921	I	I		0725	1222	I		
								1904 1220				
1945	1947	1949	1951	1953	1955	1957	1959	1961	1963	1965		
						0309			1013	0204		
									1963			
									1104			
2001	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2019	2021		
0623	0925	0328	0912		0311							
		2004										
		1226										
Events	in <mark>red</mark> M	$l \ge 8.6.$										
Events	in <mark>blue</mark> N	$\Lambda \ge 8.3 \le$	8.5.									
Source	of Raw	Data: N	GDC.									

		Table 4							
N	1AJOR QU	AKES IN SEQUENCE 27 M $\geq$ 8.3							
Year ending May 1									
Date	М	Location							
Feb 14, 1619	8.6	Peru: Trujillo							
1675									
Jul 08, 1730	8.7	Chile: Valparaiso							
Mar 28, 1787	8.3	Mexico: San Marcos, Oaxaca							
Feb 08, 1843	8.3	Guadeloupe: Pointe-A-Pitre							
Apr 25, 1843	8.4	Japan: Hokkaido							
Jan 24, 1899	8.4	Mexico: Guerrero-Oaxaca							
Jun 05, 1898	8.7	Japan: Offshore east Honshu							
1955									
Mar 11, 2011	8.9	Japan: Offshore north east Honshu,							
Events denoted in re-	d recorded l	$M \ge 8.6.$							
Source of Raw Data	: NGDC.								

Table 5									
CLUSTERS OF WORLD MEGA QUAKES SINCE 1700									
Era	M	Major Quakes							
1700-1716	$\geq 8.6$	<b>1700</b> , <b>1716</b> , 1716							
1730	8.7	Anomaly							
1751-1761	≥ 8.5	1751, 1755, 1761							
1812-1822	≥ 8.5	1812, 1812, 1812, 1818, 1819, 1822							
1837	8.5	Anomaly							
1855-1868	≥ 8.5	1855, 1861, 1868							
1897-1914	$\geq 8.6$	<b>1897</b> , <b>1898</b> , 1902, <b>1906</b> , 1910, <b>1914</b>							
1950-1965	$\geq 8.6$	1950, 1952, 1957, 1960, 1964, 1965							
2004-????	$\geq 8.6$	2004, 2005, 2010, 2011, 2012							
Events denoted in re	d recorded M	≥ 8.7.							
Source of Raw Data	a: NGDC.								

示す. ほとんどの地震は, 4月25日に終わる3.1ヶ月 に発生している.

NGDC データにもとづくと,過去3世紀にわたって50年ごとに巨大地震が集中的に発生するという性癖がある(表5参照,1730年および1837年は異例).個々の集中はすくなくとも10年間は続き,最大では17年間になる.現在の集中は2004年後半にはじまり,巨大地震が2005年,2010年,2011年および2012年に続いている.歴史的傾向からみると,集中的地震災害が今後数年にわたって発生しやすい傾向にある.

これらの集中期間以外では、巨大地震はほとんど発生し ない. とくに、1966 ~ 2000 年には、1944 年 (M8.3) に唯一発生しただけである.加えて、NGDC データベー スによれば、1740 ~ 1895 年に発生したのは、2つの 巨大地震 (M≥8.6) だけであり、相対的な地震静穏期を反 映している.これは、1700 ~ 1740 年および 1895 ~ 2012 年に巨大地震がふつうに発生したのに比べると、 異常にみえる.NGDC 地震データによると、16 および 17 世紀における M≥8.5 地震の発生は、1513、1555、 1575、1586、1604、1609、1619、1668 および 1687 年に限られている.この一連の地震は、巨大地震の集中 的発生を支持しない.

#### 議論と結論

大規模被害をもたらした古い地震の推定マグニチュード は、出典によってかなり異なる.単なる推測であったり、 記録ごとに異なることが頻繁にある.たとえば、Fujita は日本で1933年3月2日に発生した地震を M8.6と 評価したが、そのため、1897~1914年および1950 ~1965年の地震集中期間の間に異様な巨大地震が単独 で発生したことになる(表3).対照的に、NGDCはこの 地震を M8.4としていて、巨大地震とはみなされない. Wikipeia は1833年のスマトラ地震を M9.0と記述して いるが、NGDCは M8.3とみている.1812~1822年と 1855~1965年に強い地震集中期が知られている.マ グニチュードの不一致の事例は、他にもたくさんある. 地震集中に関する筆者の発見には本質的欠点があること は明らかであり、それは NGDC データーベースの正確さ と網羅性に大きく依存している.

これらの周期性の原因は何であろうか? 月-太陽潮 汐の調和(共鳴)が,大規模地震の引き金であると仮説 される.56年と9の倍数年の格子において集中がみら れる地震は,月-太陽に密接な関係性をもつ (McMinn, 2011a).54/56年格子は月-太陽食周期と直接に結びつ いていて,それらの間隔は54年 Triple Sarosと56年食 周期にもとづいている (付録6参照).669朔望月 (1Triple Saros)ごとに,月と太陽の相対角,昇月点,および遠 地点は著しい接近をくりかえす.692.5朔望月 (1回の 56.0年周期)ごとに,太陽は角度円の反対側に180°を 隔てて月と同じ角度の上昇点に位置する.月および太陽 に対する遠地点の相対角,ならびに上昇点も,60°の倍 数で変化する.1.90年の Half Octon において,太陽は, 角度円の反対側に180°を隔てて昇月点に対して同じ角 度にある.遠地点は,角度円の反対側に180°を隔てた 太陽に対して,月と同じ角度にある.

56 年ごとに同じ日に,昇月点は,18.6 年の月の nutation 周期と太陽年の間の密接な配置を反映するた いへん類似した食の位置に達する.したがって,おなじ 56 年系列にならぶ地震は,例外なく食周期の狭い領域 に配置される上昇点をもつだろう.

18.03年Saros周期は,6,585.32日で月-太陽の角度配置, 上昇点および遠地点を同じくする.この期間における. 32日は,地球が1日に1/3だけ余分に自転することを 意味し,地表からみると,その配置は経度で約120°後 戻りすることになる.3Saros周期後には,同様な角配列 が地表のほぼ同じ経度で発生する.これが,地表のある 特定の場所でどのようにして月と太陽の日周期に変換さ れるかは未解明である.

Lunisolar Cycle	Half Octon x 10		Metonic
Lunar Months	23.5 x 10	=	235
Solar Years	1.9 x 10	=	19.0

1.90 年 Half Octon が整数になることはなく,したがっ て太陽年にはならない. Half Octon の 10 倍は 19.0 年, すなわち 1 Metonic 周期になり,この周期で月と太陽は, 春分点に同じ角度をなす位置で同じ月相をくりかえす. これが月 - 太陽周期や大規模地震の発生時にどのように 影響するかも,未解明の問題である.

54/56 および 2/56 年地震格子において, 鍵になる食周 期は 56 年周期, Triple Saros および Half Octon であり, それらは次のような関係にある.

Lunisolar Cycle	Triple Saros	Half Octon			56 YC
Lunar Months	669	+	23.5	=	692.5
Solar Years	54.1	+	1.9	=	56.0

9/56 年周期の格子構造は再配置すると,多数の加工的 パターンをもたらす.そのようなざまざまなサブサイク ルは金融にもみられ,20年,38年,47年,65年など の幅広い周期性をもたらす.それらは,月-太陽周期と 直接にむすびついている (McMinn,2004).この論文で は,表3に示す2/56年格子は表1および表2の54/56 年格子から導かれたものである.さらに,9-45/56年格 子は,20世紀における世界中の巨大地震を説明するこ とができる (McMinn, 2011b, 2012b). このパターン は横軸では 9, 45, 9, 45, 9..... 年をくりかえし,縦軸 は 56 年である (付録 5 参照). この格子レイアウトには, 1895 年以降に発生した 7 個の M≥8.8 地震のすべてと, 17 個の M≥8.6 地震のうち 14 個が含まれる. 重要なこと に, 2/54 年, 9-45/56 年および 54/56 年周期は, 共通す る 56 年系列を含んでいるが,横軸の間隔は異なっている.

NDGC リストにもとづくと,最近数世紀における巨大地 震の集中が確証される.その効果は,およそ50年ごと の地震群—1700~1716年,1751-1761年,1812~ 1822年,1851~1868年,1897-1914年,1950~ 1965年,および,2004~????年—に一貫して認めら れる.この概念はおおむねうまく適合していて,これら の集中期以外に発生したのは1730年と1832年の異常 な2つの地震だけである.最近の3回の集中は,1/56 年格子の同じセルで発生し,1895年以降の17個のM≥ 8.6 地震のすべてが系列21と系列42の間でおきている. それは,付録4(信頼度p<.001)に示される1/56年格子 の53%を示す.1895年以前の巨大地震は,理由はとも かく,系列52に集中する.

巨大地震の集中発生がほんとうの現象なのか,それとも 単なる偶然であるのか,という問題については多くの議 論がされてきた (Kerr, 2011). Shearer and Stark(2012) によれば,「チリで発生した大規模地震と日本における 大規模地震を結びつけるもっともらしい物理的メカニズ ムがないので,それらは真にランダムな事象である可能 性がもっとも大きい」という. Stark には,月 - 太陽潮汐 による引き金仮説が精密に説明しうることが,認知され ていないようである.もしこの仮定が有効であるとする と,それは,巨大地震がいかにして時間的相関性を示す かを説明するだろう.望むらくは,筆者の9/56年およ び54/56年周期がこの重要な研究分野のなかでより広く 研究されるようになってほしいものである.それは,地 震研究の新しい分野であり,未発見の事象を推測するも のである.

謝辞 筆者は、この論文の出版にこぎつけられた編集長 Dong Choi と査読者たちにお礼を申し上げる.いつもな がら、たいへん感謝している.

#### 文 献

- Fujita, K., Magnitudes of the Largest Events of the 20th Century. www.msu.edu/~fujita/earthquake/bigquake.ht ml
- Kerr, R A., More mega quakes on the way? That depends on your statistics. www.sciencemag.org/content/332/6028/411. summary
- McMinn, D., 2004. Market Timing by the Moon and the Sun. Twin Palms Publishing. 153p. McMinn, D., 2011a. 9/56 Year Cycle: Californian Earthquakes. New Concepts In Global Tectonics Newsletter, no. 58, p. 33-44.

McMinn, D., 2011b. 9/56 Year Cycle: Record Earthquakes.

New Concepts In Global Tectonics Newsletter. no 59, p. 88-104.

- McMinn, D., 2011c. 9/56 Year Cycle: Earthquakes in Selected Countries. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 60, p. 9-37.
- McMinn, D., 2012a. 9/56 Year Cycle: Earthquakes in Peru, The Philippines and Selected US States. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no 62, p. 23-30.
- McMinn, D. 2012b. Financial Cycles: A Key to Deciphering Seismic Cycles. New Concepts in Global TectonicsNewsletter, no. 63, p. 15-36.
- National Geophysical Data Center. Significant Earthquake Database.www.ngdc.noaa.gov/hazard/earthqk.sht ml
- Shearer, P. and Stark, P., 2012. Global Risk of Big Earthquakes Has Not Recent ly Increased. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 169, no 3, p. 717-721. January 17.

		M	Appendix 1 AJOR WORLD E ARTHQUAKES 1700–2012 M ≥ 8.3 National Geophysical Data Center	
YYYY	MM	DD	Location	M
1700	1	26	CASCADIA	9.0
1707	10	28	JAPAN: ENSHUNADA	8.4
1707	10	28	JAPAN: NANKAIDO	8.4
1716	2	6	PERU: PUEBLO DE TORATA IN TACNA	8.8
1716	2	11	PERU	8.6
1730	7	8	CHILE: VALPARAISO	8.7
1751	5	25	CHILE: CONCEPCION	8.5
1/55	11	01	PORTUGAL: LISBON	8./
1/01	3	30	PORTUGAL: LISBON	8.5
1/8/	5	28	MEXICO: SAN MARCOS, OAXACA	8.5
1792	8	22	KUSSIA: NEAK KAMUHATKA	8.4
1795	2	17	ECUADOR: PIOPAMPA	8.5
1811	12	16	ARKANSAS: NORTHEAST	8.5
1812	12	23	MISSOURI: NEW MADRID	8.4
1812	2	7	MISSOURI: NEW MADRID	8.8
1818	11	8	INDONESIA: SUMBAWA ISLAND: BIMA	8.5
1819	4	12	CHILE: COPIAPO	8.5
1822	11	20	CHILE: VALPARAISO	8.5
1828	3	30	PERU: LIMA_CALLAO	83
1833	11	24	INDONESIA: SUMATRA: BENGKULU	8.3
1837	111	7	CHILE: VALDIVIA	8.5
1841	5	17	RUSSIA: OFF KAMCHATKA	8.4
1843	2	8	GUADELOUPE: POINTE-A-PITRE	8.3
1843	4	25	JAPAN: HOKKAIDO: YEZO, KUSHIRO, NEMURO	8.4
1852	11	25	INDONESIA: MALUKU: BANDANAIRA	8.3
1854	12	23	JAPAN: ENSHUNADA SEA	8.3
1854	12	24	JAPAN: NANKAIDO	8.4
1855	7	25	SWITZERLAND: HAUT-VALAIS	8.5
1857	1	9	CALIFORNIA: FORT TEJON	8.3
1861	2	16	INDONESIA: LAGUNDI, SIMUK, TELLO	8.5
1868	8	13	CHILE: ARICA	8.5
1877	5	10	CHILE: OFF NORTH COAST	8.3
1882	9	7	PANAMA: SAN BLAS ARCHIPELAGO	8.3
1889	7	11	KAZAKHSTAN: CILIK, ALMA-ATA	8.3
1891	10	27	JAPAN: MINO-OWARI	8.4
1896	6	15	JAPAN: SANRIKU	8.3
1897	2	7	JAPAN	8.3
1897	9	20	PHILIPPINES: NW MINDANAO: DAPITAN	8.6
1897	9	21	PHILIPPINES: MINDANAO, ZAMBOANGA	8.7
1898	6	5	JAPAN: OFF EAST COAST HONSHU	8.7
1899	1	24	MEXICO: GUERRERO-OAXACA	8.4
1900	10	9	ALASKA: KODIAK ISLAND	8.3
1900	10	29	VENEZUELA: MACUTO	8.4
1901	8	9	NEW CALEDONIA: LOYALTY ISLANDS	8.4
1902	8	22	CHINA: XINJIANG, TURKESTAN	8.6
1903	6	2	ALASKA: SOUTHWEST	8.3
1904	6	25	KUSSIA: UFF KAMCHATKA	8.3
1904	8	27	ALASKA: KAMPAKI	8.5
1904	12	20	UUSTA RICA	8.3
1905	1 7	22	INDONESIA: MINAHASSA PENINSULA	8.4
1905		22	MONGOLIA	8.4
1905		23	MUNGULIA LABAN, NEAD & COAST HONSEP!	8.4
1900	1	21	FCUADOR: OFF COAST	8.4
1900	1 12	22	CUINA- VINITANC BROUNCE	0.0
1900	12	15	MEXICO: CUEDDEDO	0.3
1907	4	15	VANIJATU ISI ANDO	0.5
1014	11	24	LADAN- VOL CANO ISLANDS	0.0
1914	6	24	SAMOA ISLANDS	8./
1919	8	15	PHILIPPINES: MINDANAO: COTABATO	8.3
1018	0	7	RUSSIA: KURILISLANDS	8 2
1910	1	1	FILLISE ANDS	8.5
1910	1	30	TONGA ISLANDS	83
1922	11	11	CHILE: ATACAMA	8.5
1923	2	3	RUSSIA: KAMCHATKA	83
1923	4	14	PHILIPPINES · E MINDANAO· MATI SUDICA	8.5
1933	3	2	JAPAN: SANRIKU	8.4
1938	2	Ť	INDONESIA: NEW GUINEA	8.5
1939	1	25	CHILES CHILLAN	83
1941	1 ii	25	ATLANTIC OCEAN: NORTHERN	83
1948	1	23	PHILIPPINES: PANAY ILOU O CITY ANTIQUE	83
1940	1 8	15	INDIA-CHINA	8.5
1052	11	15	RUSSIA: KAMCHATZA DENINISTILA	0.0
1952	3	4	AI ASKA	9.0
1958	7	10	ALASKA: LITUYA BAY	83
1958	1 ii	6	RUSSIA: KURILISLANDS: S	83
1750	1 **		KOODIA, KOKIL IDLANDO, D	1 0.5

## 国際雑誌 グローバルテクトニクスの新概念[日本語版] Vol. 1, No. 1

1960	5	22	CHILE: PUERTO MONTT, VALDIVIA	9.
1963	10	13	RUSSIA: KURIL ISLANDS	8.
1963	11	4	INDONESIA: BANDA SEA	8.3
1964	3	28	ALASKA	9.2
1965	2	4	ALASKA: ALEUTIAN ISLANDS: RAT ISLANDS	8.
1994	10	4	RUSSIA: KURIL ISLANDS; JAPAN: HOKKAIDO	8.
2001	6	23	PERU: AREQUIPA, MOQUEGUA, TACNA	8.4
2003	9	25	JAPAN: HOKKAIDO	8.3
2004	12	26	INDONESIA: SUMATRA: OFF WEST COAST	9.
2005	3	28	INDONESIA: SUMATRA: SW	8.1
2006	11	15	RUSSIA: KURIL ISLANDS	8.
2007	9	12	INDONESIA: SUMATRA	8.4
2010	2	27	CHILE: MAULE, CONCEPCION, TALCAHUANO	8.8
2011	3	11	JAPAN: HONSHU	9.0
2012	4	11	INDONESIA: N SUMATRA: OFF WEST COAST	8.0

		54/56	YEAR C	YCLE I M≥	EVEN: M 8.3 NGI	Appe MAJOR DC Year	ndix 2 WORLI ending	D EART Novemb	HQUAF er 25	KES 170	0-2012		
Sq 54	Sq 52	Sq 50	Sq 48	Sq 46	Sq 44	Sq 42	Sq 40	Sq 38	Sq 36	Sq 34	Sq 32	Sq 30	Sq 28
												1734	1732
										1720	1736	1790	1844
										1/38	0822	1846	1900 1006 1900
									1740	1794	1848	1902 0822	1956
								1742	1796	1850	1904	1958	2012
											0625 1904 0827	1958 1106	0411
							1744	1798	1852 1125	1906 0121	1960 0522	2014	
										0131			
					1748	1746	1800	1854	1908	1962	2016		
					1740	1002	1050	0616	0328	2010			
			1752	1750	1804 1860	1858 1914	1912 1968	1966	2020				
	1700	1754	1909	19(2	1016	1124	2024						
	0126	1/34	1808	1802	1910	1970	2024						
1702	1756	1810	1864	1918 0815 1918	1972	2026							
1758	1812	1866	1920	0907 1974									
	0123 1812 0207 1811 1216												
1814	1868 0813	1922 1111	1976										
1870	1924 0414	1978											
1926 1982	1980												
Contin	nued	   Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa
26	24	22	20	18	16	14	12	10	08	06	04	02	56
	<u> </u>											1706	1760
										1710	1708	1762	1816
										1/10	1704	1108	1072
								1714	1712	1766	1820	1874	1928
								1/14	1700	1120	1070	1750	1704
							1716 0206 1716 0211	1770	1824	1878	1932	1986	
					1720	1718	1772	1826	1880	1934	1988	_	
					1720	1//4	0330	0907	1930	1990			
			1724	1722	1776	1830	1884	1938 0201	1992				
		1726	1/24	1//8	1832	1886	1940	1994 1004					
	1728	1720	1836	1854	1944	1942	1990						
1730 0708	1784	1838	1892	1946	2000								
1786	1840	1894	1948 0124	2002									
1842	1896 0615	1950 0815	2004										
1898	1952	2006											
0605 1954	2008												
0605 1954 2010 0227	2008	to in	MSPZ										
0605 1954 2010 0227 Post 1 Post 1	2008 895 even 895 even	ts in red ts in blue	$M \ge 8.6$ $M \ge 8.3$	s ≤ 8.5.									

Pre	1894	events	in	bold	M	$\geq 8$	.3.
Son	rce of	f Raw	Da	ta: N	JGI	DC	

							11 1						
		51/56	VEAD	VOLE	000. X		ndix 3	FADT	HOUAR	TS 170	2012		
	S4/56 YEAR CYCLE ODD: MAJOR WORLD EARTHQUARES 1/00–2012 M > 8.3 NGDC Year ending November 25												
Sq	Sq S												
07	05	03	01	55	53	51	49	47	45	43	41	39	37
													1741
												1743	1797
													0204
											1745	1799	1853
										1747	1801	1855	1909
												0725	
												1854	
												1224	
												1854	
										1000		1223	
									1749	1803	1857	1911	1965
										10.00	0109		0204
								1751	1805	1859	1913	1967	
								0525	10/1		10.00		
							1753	1807	1861	1915	1969		
	L			L			1000	10/0	0216				
					1701	1755	1809	1863	1917	1971			
	L			1800		1101	10/1		0020				
				17/03	1757	1811	1865	1919	1973				
		1	1		1	1		0101	1		1		1

								1919					
								0430					
			1705	1759	1813	1867	1921	1975					
		1707	1761	1815	1869	1923	1977						
	1709	1763	1817	1871	1025	1070							
1711	1765	1819	1873	1927	1981	1010							
		0412											
1767	1821	1875	1929	1983									
1823	1877	1931	1985										
1870	0510	1097											
10/9	0302	1967											
1935	1989												
1991													
Contir	ued						~					-	
Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq 25	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq 12	Sq	Sq
35	33	31	29	21	25	23	21	19	1/	15	15	11	1713
												1715	1769
									i		1717	1771	1825
										1719	1773	1827	1881
									1721	1775	1829	1883	1937
								1723	1777	1831	1885	1939 0125	1993
							1725	1779	1833	1887	1941	1995	
									1124		1125		
						1727	1781	1835	1889	1943	1997		
					1720	1792	1927	1901	1045	1000			
					1/29	1/65	1107	1027	1945	1999			
				1731	1785	1839	1893	1947	2001				
									0623				
			1733	1787	1841	1895	1949	2003					
		1735	1789	1843	1897	1951	2005	0923					
				0208	0207		0328						
				1843	1897		2004						
	1727	1701	1945	0425	0921	2007	1226						
	1/3/	1/91	1845	0124	1955	0912							
				0124		2006							
						1115							
1739	1793	1847	1901	1955	2009								
1795	1849	1903	0809	2011									
.,,,,	1049	0602	0309	0311									
1851	1905	1959	2013	0011		1		1	1	1			
	0709												
	1905		1										
	0723		1										
	1904												
1907	1961	2015											<u> </u>
0415													
1906			1										
1222	2017								L				
1963	2017												
1013			1										
1104			1										
Post 1	395 even	ts in red	M ≥ 8.6										
Post 1	895 even	ts in <mark>blu</mark>	$M \ge 8.3$	$3 \le 8.5$ .									
Pre 18	94 events	n bold	$M \ge 8.3$										
Some	. or naw	Data. D	NULL.										

		тн	E 56 YE	AR SEC	QUENCI ≥ 8.3 NG	App ES IN CI GDC Yea	endix 4 IRONO r ending	LOGIC.	AL ORD ber 25	ER 170	0-2012		
Sq 01	Sq 02	Sq 03	Sq 04	Sq 05	Sq 06	Sq 07	Sq 08	Sq 09	Sq 10	Sq 11	Sq 12	Sq 13	
1705	1706	1707 1028	1708	1709	1710	1711	1712	1713	1714	1715	1716 0206 1716 0211	1717	1
1761 0330	1762	1763	1764	1765	1766 1021	1767	1768	1769	1770	1771	1772	1773	1
1817	1818 1108	1819 0412	1820	1821	1822 1120	1823	1824	1825	1826	1827	1828 0330	1829	13
1873	1874	1875	1876	1877 0510	1878	1879	1880	1881	1882 0907	1883	1884	1885	13
1929	1930	1931	1932	1933 0302	1934	1935	1936	1937	1938 0201	1939 0125	1940	1941 1125	1
1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994 1004	1995	1996	1997	19
Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	
1719	1720	1721	1722	1723	1724	1725	1726	1727	1728	1729	1730	1731	1
1775	1776	1777	1778	1779	1780	1781	1782	1783	1784	1785	0708 1786	1787	178
1831	1832	1833	1834	1835	1836	1837	1838	1839	1840	1841	1842	0328	1
1051	1002	1124	1001	1055	1050	1107	1050	1000	1010	0517	1012	0208 1843 0425	
1887	1888	1889 0711	1890	1891 1027	1892	1893	1894	1895	1896 0615	1897 0207 1897	1898 0605	1899 0124	1 1
1943	1944	1945	1946	1947	1948 0124	1949	1950 0815	1951	1952 1104	1953	1954	1955	1
1999	2000	2001 0623	2002	2003 0925	2004	2005 0328 2004	2006	2007 0912 2006	2008	2009	2010 0227	2011 0311	2 0
						1226		1115					
Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	
1733	1734	1735	1736	1737	1738	1739	1740	3/	1742	1743	1744	41	
1789	1790	1791	1792 0822	1793 0217	1794	1795	1796	1797 0204	1798	1799	1800	1801	1
1845	1846	1847	1848	1849	1850	1851	1852 1125	1853	1854	1855 0725	1856	1857 0109	1
										1223 1854 1224			
1901 0809	1902 0822	1903 0602	1904 0625 1904 0827	1905 0709 1905 0723 1904	1906 0121 1906 0131	1907 0415 1906 1222	1908	1909	1910 0616	1911	1912	1913	1
				1220									
1957 0309	1958 0710 1958	1959	1960 0522	1961	1962	1963 1013 1963	1964 0328	1965 0204	1966	1967	1968	1969	
	2014	2015	2017	2018	2010	1104		L			L	L	
2012	2014	2015 Sa	201/ Sa	2018 Sa	2019 Sa	2020 Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	
2013 Sa	l Sa		1 94		40	10	50	51	52	53	54	64	L '
2013 Sq 43	Sq 44	45	46	47	48		50	51	1700	1702	1702	1702	<b>.</b>
2013 Sq 43	Sq 44	45	46	47	48	47	50	51	1700 0126	1701	1702	1703	1

1									0123			1		1	
									1812 0207						
									1811						DAY
1050	10/0	10/1	10/2	10/2	10/1	10/2	10//	10/7	1216	10/0	1070	1071	1072	1	18.0 Year S
1859	1860	0216	1862	1863	1864	1865	1866	1867	0813	1869	18/0	18/1	18/2		6,574
1915	1916	1917	1918	1919	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1	6,585.
		0626	0815	0101			1111	0203	0414						6,585.
			0907	0430											6,584
1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1	6,585
															6,585.
Post 18	95 event	s in red l	$M \ge 8.6.$	- 0.5											54.1 Year T
Post 18 Pre 189	95 events	s in blue	M ≥ 8.3 M ≥ 8.3	≤ 8.5.											Day
Source	of Raw	Data: N	GDC.												19723
															19757
						Арре	ndix 5							1	19755
		9-4	5/56 YE	AR CY	CLE: M	AJOR W	ORLD	EARTH	QUAKI	ES 1885-	2012				19753
					NGDC	M Year er	≤ 8.3 iding Oa	tober 31	1						19756
Sq		Sq 38		Sq	1	Sq		Sq		Sq		Sq	1	1	19756
29				27		36		25		34		23		]	56.0 Year C
												1895	+9	1	20,453
								1897	+9	1906	+45	1951	+9		20,450
								1897		1906					20,449
								0921		0131					20,450
				1899	+9	1908	+45	1953	+9	1962	+45	2007	+9	1	20,449
			I	0124	1	1	1	1952	1	1		0912	1		20,450
1901	+9	1910	+45	1955	+9	1964	+45	2009	+9	2018		-	1	{	1.90 Year H
0809		0616				0328									693.9
						1963		•	•			•			693.2
1077		1077	1 . 15	2011	1 .0	1104							-		693.9
0309	+9	1966	+45	0311	+9	2020									696.
2013	+9	2022							-	-	-	-		1	693.9
Contin	ued													1	688.8
Sq		Sq		Sq		Sq		Sq		Sq		Sq		1	Synodic Mo
32		21		30		19		28	_	17		26		-	29.5306 days
										1889	+9	1898			I ropical Ye
					<u> </u>	1891	+9	1900	+45	1945	+9	1954		1	Tropical M
						1027		1009							acuinos to s
								1900							Nodical Mo
		1902	+0	1 1002	+45	1047	1 +0	1025	+45	2001	+0	2010	-	1	ascending no
		1095	19	0822	743	1947	19	1950	743	0623	+9	0227			Nodical Yea
1904	+45	1949	+9	1958	+45	2003	+9	2012				-		1	node to asce
0625				0710		0925	1	0411		1					Apogee Mor
1904															apogee to ap
1960	+45	2005	+9	2014	1	r –	T	1	-	<u> </u>	-	-	<b></b>	1	Source: Mcl
0522	. 15	0328	1 °	2014											
		2004													
		1226												1	
Events	in red ha	ive M≥8	5.8. 83<8'	7											
Source	of Raw	Data: NO	GDC.												
														•	

Appendix 6										
	LUNIS	OLAR CYCLES								
DAYS	YEARS	MOON-SUN CYCLE								
18.0 Year Saros										
6,574.36	18.00	18.0 Tropical Years								
6,585.78	18.03	19.0 Nodical Years								
6,585.32	18.03	223.0 Synodic Months (One Saros)								
6,584.51	18.03	241.0 Tropical Months								
6,585.35	18.03	242.0 Nodical Months								
6,585.55	18.03	239.0 Apogee Months								
54.1 Year Triple Saros										
Days	Years	Lunisolar Cycles								
19723.08	54.00	54.0 Tropical Years								
19757.34	54.09	57 Nodical Years								
19755.96	54.09	669.0 Synodic Months (One Triple Saros)								
19753.53	54.09	120.5 Tropical Months								
19756.05	54.09	121.0 Nodical Months								
19756.65	54.09	119.5 Apogee Months								
56.0 Year Cycle										
20,453.44	56.00	56.0 Tropical Years								
20,450.58	55.99	59.0 Nodical Years								
20,449.94	55.99	692.5 Synodic Months (One 56 Year Cycle)								
20,450.23	55.99	748.5 Tropical Months								
20,449.97	55.99	751.5 Nodical Months								
20,450.06	55.99	742.17 Apogee Months								
1.90 Year Half Octon										
693.96	1.90	1.9 Tropical Years								
693.24	1.90	2.0 Nodical Years								
693.97	1.90	23.5 Synodic Months 1972 (One Half Octon)								
696.70	1.91	25.5 Tropical Months								
693.91	1.90	25.5 Nodical Months								
688.87	1.89	25.0 Apogee Months								
Synodic Month (or Lu	nar Month) is the inter	val between successive new Moons and is equal to								
29.5306 days.										
Tropical Year (or Sola	r Year) is the time tak	en for the Sun to complete one cycle of the ecliptic								
from spring equinox to	spring equinox and is	equal to 365.2422 days.								
Tropical Month is the	time taken for the Mo	on to complete one cycle of the ecliptic from spring								
equinox to spring equin	nox and is equal to 27.3	3216 days.								
Nodical Month (or Dra	aconic Month) is the ti	me taken for the Moon to complete one cycle from								
ascending node to ascen	nding node and is equa	l to 27.2122 days.								
Nodical Year (or Eclip	ise Year) is the time ta	ken for the Sun to complete one cycle from ascending								
node to ascending node	and is equal to 346.62	to ays.								
Apogee Month (or An	omalistic Month) is the	e time taken for the Moon to complete one cycle from								
Source: McMinr 200	s equal to 27.5546 day:	8.								
source: McMinn, 2004	+.									

## 脈動と地球周辺の変角振動波

## MICROSEISMS AND SPREADING OF DEFORMATION WAVES AROUND THE GLOBE

## Pavel KALENDA<sup>1</sup>, K. HOLUB<sup>2</sup>, J. RUŠAJOVÁ<sup>2</sup> and L. NEUMANN<sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Institute of Rock Structure and Mechanics AS CR, v.v.i., V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8,

Czech Republic. E-mail: pkalenda@irsm.cas.cz

<sup>2)</sup> Institute of Geonics AS CR,v.v.i., Studentská 1768 , 708 00 Ostrava, Czech Republic

<sup>3)</sup> Anect a.s., Praha, Antala Staška 2027/79, 140 00 Praha 4

(角田 史雄・矢野 孝雄 [訳])

要旨:間接的に応力測定のできる新しい装置,すなわち上下方向の静力学的な振り子,で測られたノイズと,地震観 測所 OKC (チェコ共和国) で記録された脈動の記録とを比較・対照した.その結果,高い確率で両者が対応したので, 本論で報告する.つまり,大地震 (2009 年のサモア [M8.1] と 2010 年のチリ [M8.8] および メンタワイ =Mentawai [M7.7]) の後で,脈動の異常が「変角振動波 (deformation wave)」として解析された.脈動と変角振動波の異常は,「変 角振動波」のピークが引き金となって発生している.これらの波の速度は,1時間に数百キロというオーダーで,地 球の周りを 1 ~ 3 週間かけて回っている.チリ地震の後では,これが 3 回転していて,その後の地震や火山活動のきっ かけをつくった.脈動の発生には,このように,変角振動波あるいは応力波 (stress wave) が影響している. キーワード:脈動,二次的脈動,広振動域地震計,振り子,傾動,変角振動波散

#### 1. 概 説

今日, 脈動は, 海洋の波浪 (Webb, 2007), とくに, 冬季の波浪 (Zátopek, 1964, 1975) によって発生する, という見方が広く受け入れられている. 脈動全体で見られる周期は, 大きくみて, 1次と2次の2つのグループに分けられる. これら2つの違いは, 振動の周期の

長さであるが,その上限には幅がある. Cessar (1994), Bromirski (2001), Kurrle and Widmer-Schnidring (2006) などによれば,T=10~25秒か,それ以内の時間の周 期で占められる1次の脈動が存在する.この脈動は,大 洋の波の波群から生じたものである.これに対して,2 次の脈動はT=4~10秒という,1次のそれより高いス ペクトルの振幅になっている.このような大きな振幅 は、ふつう、大洋の波浪の反作用として現れる非線形 の交互作用で発生する. この考えは Longuet-Higgens (1950) が最初に指摘し、それから Tanimoto (2006) と Webb (2007) が発展させたものである. この新しい仮説 から、2 次の脈動は、海岸近くの浅い海で発生すること が推定でき、実際に、多くの報告がある (Haubrich and McCamy, 1969; Bromirski and Duennebier, 2002; Rhie and Romanowicz, 2006; Tanimoto, 2007; Gertsoft and Tanimoto, 2007).

1 次の脈動の典型的な周期は 5 ~ 20 秒だが,その場合 の基本的なモードはラブ波とレイレイ波である;しかし, 短時間では,表面波の複雑な合成波,つまり,より高モー ドの表面波や実体波 (Bonnefoy and Claudet et al., 2006) になることもある.小さい相速度は表面波の特徴でもあ る (Koper et al., 2010).

筆者らの脈動と変角振動波の波群との観測によって、二 次の脈動は「応力波」(Kalenda et al, 2010), または「変 角振動波」あるいは「構造波」(Khalilov, 2009) などの どれかが原因となって発生する、という二者択一的な 仮説をたてた.これは、「地球のうなり (hum)」とは少 し違っていて、2~8分の周期 (Nishida et al., 2000; Tanimoto, 2001) が卓越しているといえる. また, それ は、共鳴振動とは別の地球の捻じれによって生み出さ れ (Rhie and Romanowicz, 2004), 固体地球と宇宙との 偶力 (Nishida et al., 2000; Tanimoto, 2001; Rhie and Romanowicz, 2004) および浅水域で発生する脈動と同じ メカニズムで増幅されたものである.筆者らはここで, 大地震に伴って発生するスロースリップ変動波を提案す る.この波は、遠く離れた地域の発震機構と関連をもち、 スロー地震あるいはサイレント地震の後で発生するもの で, Rhie and Romanowicz (2004) によって発見された.

#### 2. マシーフノイズと変形ノイズの傾動

「ノイズ」とその傾動は,2007年の2月からボヘミアで, 最新式の縦型静電気振り子 (Kalenda et al., 2009)によっ て観測されてきた.地域特性と振り子の長さとによっ て,測定精度は10~100nラジアンである.電磁波反 射装置 (window) の3分間と30分間の平均的な観測精 度は1~10n ラジアンである. 傾動以外は, NS 方向と EW 方向のそれぞれの「ノイズ」パラメーターが測定さ れた. これらのパラメーターは、中央を取り巻く部分に おける傾動の変化、と定義され、2つの方向のそれぞれで、 電磁波反射装置で3分間と30分間の2回ずつ測られた (Neumann and Kalenda, 2010). こうしたノイズ (訳者 注;マシーフノイズ)は,弾性限界を超えた応力の作用で, 岩塊が弾性変形したり, 非線形の変形をしたりした時に 発生する. それらの線形, 非線形の変形時における例は 図1に示した.振り子のP1は鉱山の地下1mにある坑道. P7 は地下 96m にある坑道に、それぞれ取り付けられた. P1 のデータは毎日,熱弾性波 (thermoelastic wave) とし て日中に観察された (Hvozdara et al., 1988). より大き な応力は、その日の午後に観察されたが、外力が加わっ た場合、その時の変形はとり除くことができない.

筆者らは、2011年末から振り子の装置を使って、ノイ ズパラメーターの測定を始めた. ノイズの傾動は、振り 子の装置で地表あるいは浅層部における日中に得られた 値を測った (Neumann, 2007). 深部に設置された振り 子の装置では、ほとんどが傾動とノイズの両方とも1年 の周期を示したが、その極大値は冬季に現れた (Kalenda ほか、2009). この値は、ウィーンの聖パウダの回廊と スロバキアの変角振動波の速度 (deformation velocity) あるいは変角振動波のノイズ (deformation noise),ポ リス盆地に掘られた掘削孔に設置された歪み計の水平 成分 (Stejskal et al., 2007; Brimich ほか, 2006) などの 測定結果とよく対応する.また、この地下の歪み計は、 地下の水位レベルや活断層の変位量 (Bruestensky et al., 2010) なども明らかにしつつ (図2), 地下数百メート ルという深い所の1年周期をもつ熱弾性波も発見した (Hvozdara et al., 1988).

1年の周期より短い間隔を示す高ノイズ異常が,おそら く,図3に細いピークで示されているレイレイ波とラブ 波,つまり地震波と関係しているのである.一方,異常 ノイズが現れる時間帯は,大地震のおよそ2日後,ある いは,数日から数週間後のことである(図3参照).ノ イズのピークのいくつかは,震源域の断層に沿う動きと



図 1 プリブラム (Přibram) の Prokop 坑道における振り子 P1 と振り子 P7 の傾動. 青い横線は X 方向 (カメラと直交する方向) の傾きで,赤い横線は Y 方向 (カメラと平行で,壁とは直交する方向)の傾動.



図 2 2007 年における, ボヘミ アのポリス盆地にある VS3 孔井 の地下水位 (Stejskal et al., 2007 参照)と, スロバキアの Vyhne にある 歪み計 (Brimich の私信) の記録. 黒色;VS3 の地下水位記 録 (左の欄). 青色;ひずみ計の 記録. 赤色;サンプル間のズレか ら求めた歪みのノイズ.

![](_page_23_Figure_3.jpeg)

図 3 Přibram に設置された P7 振 り子のノイズの変化. 青色;南北 方向のノイズ,赤色;東西方向の ノイズ. ノイズは,30 分間 (長 時間の電子窓; window) での傾 動の変化で測った.矢印は,変角 振動波 (deformation wave) から 読み取った M7.5 以上の大地震. Eyjafjajokull という記号は,アイ スランドの Eyjafjajokull 火山の異 常な活動.

![](_page_23_Figure_5.jpeg)

図 4 Moravian カルストの 13C 洞 窟に設置された振り子の傾動と ノイズ. この装置は南北方向の活 断層上に取り付けられていて,南 北方向の応力変化にはきわめて 敏感に反応する (Kalenda et al., 2009). 青色;南北方向の傾動(ノ イズ),赤色;東西方向の傾動(ノ イズ). 傾動は, 30分間の電子 窓 (window) で測られた 180 の記 録を平均化したデータ.ノイズは, 同じ30分間の電子窓で測られた 傾動のデータの変化を抽出したも の. 左側のノイズのピークを示し た矢印は, 日中の熱弾性波から発 生したものである.右側の矢印は, スラウェシ, 北極海, 千島列島 (M7.3) などの地震を示したもの.

直接的な関係をもっている (図 4).

インドネシアで発生した大地震のうちで,最も異常な 活動が著しかったことを示したのは全て,Ida 鉱山で観 測された前の年の振り子の記録だった(図5).問題の 振り子は地下200mの深さに設置されたもので,北西-南東方向のPorici 断層がそのすぐ近くにあった.ちな みに,その断層の延長にインドネシアがある(Vyskocil, 1988).この断層の活動度は,Ida 鉱山に観測点が設け られた,過去30年間に50~70cm(訳者注;1000年 に 20m 前後の A 級あるいは AA 級の活断層) である. こ れくらいの活動度であれば,小地震や群発性の地震を発 生させられる (Maleket al., 2008).

### 3. 限られた時間内における脈動と 変角振動波のノイズ (deformation noise) との対照

振り子による平均的な日中の変角振動波のノイズと,二 次の (secondary) 脈動 (以下,脈動)との比較対象は重 要なので述べておく.地震計は,チェコ共和国の北モラ

![](_page_24_Figure_1.jpeg)

![](_page_24_Figure_2.jpeg)

図 5 Ida 鉱山の振り子によ る傾動とノイズ. 振り子 は北西 - 南東方向の活断層 の上に設置され、インドネ シア,トンガ,チリなど の地震の感度が良い.青 色;南北方向の傾き(ノイ ズ),赤色:東西方向の傾 き(ノイズ). 傾きは, 30 分間の電子窓による観測値 (180)の平均値で表してあ る. ノイズは,同じ30分 間の電子窓で観測した傾動 の変化から読み取った. 矢 印は,「インドネシアの方 向」からの Maule と 2010 年のチリ(M8.8)との地震 のピークを示す. これら の多くのピークが現れる前 に、振り子は南へ傾いてい る.

図 6 OKC 地震観測点にお ける 微小 地震 (赤), Ida 鉱山 (紺) および Pribram の P6(水色) における変角 振動波の変形ノイズ. 〇 印は M>7.5 の地震を示す. 変形ノイズは 30 分間の電 子窓における傾動量の変 化として計算される. P6 観測点における 2010 年 2 月末~4 月はじめの変 形ノイズは, グラフ上で 0.45  $\mu$  Rad を超える.

ヴィア地区 (緯度 49.8353°N, 経度 18.1423°E) に設置 されている. この観測所で取られた脈動は 3 軸広域サ イスモグラフ (GURALPCMG-3ESP)(30 秒用) を内蔵す る SeisComP データ取得装置で, 20 サイクルの周期をつ かって記録された. 地震記録は, 1 時間電子窓を用いて, 23.00 ~ 24.00 中央ヨーロッパ時間 (CET) 内に得られた 二次の脈動の最大値を求めるように解析されたものであ る (図 6).

全観測期間中に得られた,OKC 観測点での脈動と Ida 鉱 山での振り子の変形ノイズの変動パターンは,r=0.79 の ときに計算される両地点 (OKC と Ida) 間で得られた係数 の変化の傾向ときわめて良く対応している.それにも関 わらず,OKC と Pribram の P6 の両地点間においては, 2010 年 2 月 25 日のチリ地震 (M8.8) と 2010 年 10 月 25 日の Mentawai 地震 (M7.7) との後は,まったく相関 性が認められない (図 6).つまり,チリ地震後の P6 の 振り子の値は,Ida 鉱山の振り子と OKC の脈動の 7 倍に なっている.その一方で,Mentawai 地震の後においては, Pribram の P6 の振り子の値が低くなっているにも関わ らず,OKC の脈動と P6 の振り子のそれはまったく逆に なっている.

筆者らは、2007~2010年の間、全ヨーロッパの振り

子と、OKC の地震観測点における異常な脈動とで認めら れる異常な時間差とによって、ノイズ期間を見分けられ た.そのなかでも興味深いのは、ノイズ異常の高い時期 が、サモアの M8.1 地震、チリの M8.8 地震、Mentawai の M7.7 地震などの巨大地震の後で、一定期間をおいて 現れることである (図7と表 1).

### 3.1 Mentawai 地震に関係する傾動, ノイズおよび脈動 の発達

2010年10月25日のMentawai 地震(M.7.7)の前に 発生した傾動異常は、中部ヨーロッパで観測された(図 8). この異常は2010年4月6日の北スマトラ地震 (M7.7)に先立つ別の異常に匹敵するが、2010年2月 27日のChile 地震(M8.8)の前の異常よりは小さかった. Ida 鉱山におけるマシーフの突然の傾動によって2010 年9月27日にはじまる応力異常は南および東向きであ り、経験的には南東からの増大する応力に対応するもの である(Kalenda and Neumann, 2010). この応力異常 (図 8-A)は、2010年10月13日(M>6.5と予想)お よび10月20日(M>6.3と予想)にMDCBによって確 認され(Wang, 2005)、また、カリフォルニアのQuake Finderによっても確認された(Bleier, 2010). 図8から は、震源域での応力がその地域の強度限界に近づきつつ

![](_page_25_Figure_1.jpeg)

表 1 2008	Time	Latitude	Long.		Depth	Mw			
2010 年 12 月	2008-05-12	06:28:00.6	31.11	N	103.32	E	10	7.9	EASTERN SICHUAN, CHINA
31日に発生し	2008-07-05	02:12:04.3	53.94	N	152.90	E	632	7.7	SEA OF OKHOTSK
た M7.5 以上の ナ 地 雲 (EMSC	2009-01-03	19:43:57.0	0.55	s	132.78	E	52	7.6	NEAR N. COAST OF PAPUA, INDONESIA
CSEM 2010).	2009-03-19	18:17:37.9	23.00	s	174.72	W	10	7.9	TONGA REGION
,	2009-07-15	09:22:29.6	45.73	s	166.57	E	2	7.8	OFF W. COAST OF S. ISLAND, N.Z.
	2009-08-10	19:55:38.9	14.06	Ν	92.90	E	25	7.6	ANDAMAN ISLANDS, INDIA REGION
	2009-09-29	17:48:11.2	15.42	s	172.13	W	10	8.1	SAMOA ISLANDS REGION
	2009-09-30	10:16:09.9	0.76	s	99.84	E	80	7.6	SOUTHERN SUMATRA, INDONESIA
	2009-10-07	22:03:15.9	12.98	s	166.33	E	30	7.6	SANTA CRUZ ISLANDS
	2009-10-07	22:18:23.8	12.57	S	166.35	E	10	7.8	SANTA CRUZ ISLANDS
	2010-02-27	06:34:14.1	35.89	s	73.04	W	30	8.8	OFF SHORE MAULE, CHILE
	2010-0406	22:15:03.0	2.30	Ν	97.12	E	40	7.7	NORTHERN SUMATRA, INDONESIA
	2010-10-25	14:42:21.4	3.46	s	100.12	E	10	7.7	KEPT. MENTAWAI REGION, INDONESIA

![](_page_25_Figure_3.jpeg)

図8 2010年10月25日の Mentawai 地震前後にみられた Ida 鉱山における振り子の傾動およびノイズ,ならびに,QuakeFinder ネットワークの ElMag 観測所の1つによって観測されたカリフォルニアの Healdsburg 600 における磁気パルス(Bleier and Freund, 2005). 楕円 A:本震前の傾動と応力異常,楕円 B:変角振動波.Mentawai 地震の3週間前に ElMag 異常パルスの数が増加し,同時に Ida 鉱山("インドネシア"方向にもっとも敏感)で傾動異常がはじまった.これは,異常に高い応力場の反映であり,それは,Ida 鉱山における振り子に働く"応力波"の場合のように見ることができる.Mentawai 地震後に ElMag パルスは観測されないが,いっぽうで,Ida 鉱山における振りける振り子には高レベルの変形ノイズが観測された.

あった 2010 年 10 月 13 日が本震発震時の第 2 候補で あったことを意味する.

この変形は Mentawai 地震後にはじまり,つづいて 2010年10月25~27日には一連の余震が発生した. 南西ブロックに対する北東ブロックの側方運動(図 9A)は,周辺地域に変角振動波をもたらした(Ekström, 2010).最初の変角振動波は本震後1日で中部ヨーロッ パに到達し,第2の変角振動波は2010年11月1日に 発生した. OKC 地震観測所における振り子と脈動は、そ れぞれ、2010年の10月29日と11月2日に最大に達 した(図9B~D参照).

最大脈動の到達時刻を解析すると、ヨーロッパの地震観 測所(表2)では2010年10月27~30日に変角振動 波が観測され(図10),観測所は3つのグループ(南西, 中央,および北東観測所群)に区分される(図11).

![](_page_26_Figure_5.jpeg)

図 9 Mentawai 地 震の余震活動(A) と他の変動(B~D) との比較. B:坑道 No. 13C における振 り子の東西傾動と傾 動の南北ノイズ(水 平面での運動の変 化), C:Ida 鉱山に おける東西傾動とノ イズ, D:OKC 観測 における鉛直脈動.

![](_page_27_Figure_1.jpeg)

図 10 観測所 BFO, OKC, WDD, MAM および SER において記録 記録せれた脈動発達の事例.

							amplitude	
L	station	latitude	longitude	altitude	date	maximum	(arbitrary	diff. time
							u.)	(days)
	JSA	49.18780	-2.1717	39	29.10.2010	12:16:12	1570	0.881
A	BFO	48.33010	8.3296	509	29.10.2010	13:16:14	1058	1.024
	CLF	48.02580	2.2600	145	29.10.2010	13:38:46	15450	0.998
L	CALF	43.75230	6.9220	1242	29.10.2010	12:09:21	221581	1.063
				1				
в	OJC	50.21950	19.7984	391	28.10.2010	14:54:42	4953	0.145
	KWP	49.63140	22.7075	448	28.10.2010	13:55:36	25163	0.139
	COP	55.41070	12.2557		28.10.2010	17:19:11	2189	0.076
L	SOFL	62.06890	-6,9658	721	28,10,2010	23:03:54	4940	0.021
L	JAVC	48.85910	17.6707	827	28.10.2010	11:26:14	1264	0.011
L	GUNZ	50,36350	12.3316	669	28.10.2010	13:09:08	378	0.009
L	PRU	49,98830	14,5417	302	28.10.2010	12:29:59	951	0.007
L	WERN	50.28740	12.3761	672	28.10.2010	12:56:10	413	0.002
	TANN	50.41500	12.4610	600	28.10.2010	12:56:52	1174	0.000
10	окс	49.83530	18,1423	250	28,10,2010	11:29:48	5489	-0.003
L	PVCC	50.52823	14,5690	311	28,10,2010	12:30:19	621	-0.004
L	ROTZ	49.76690	12.2070	430	28.10.2010	12:30:14	7830	-0.007
L	KONO	59.64910	9.5982	216	28.10.2010	17:57:33	41482	-0.008
L	GRFO	49.69190	11.2217	425	28.10.2010	12:31:20	1860	-0.012
L	VRAC	49.30830	16.5935	475	28.10.2010	11:16:32	9007	-0.013
L	MOX	50.64610	11.6161	454	28.10.2010	12:48:26	2612	-0.017
L	CLL	51.30770	13.0026	230	28.10.2010	12:47:36	1563	-0.021
L	OUL	65.08530	25.8964	60	28.10.2010	16:45:03	1172	-0.042
	RUE	52.47590	13.7800	40	28.10.2010	12:41:28	1850	-0.043
D	HFC2	60.13350	13.6945	297	28.10.2010	15:23:50	49129	-0.092
	VTS	42.61600	23.2350	1345	28.10.2010	3:25:11	1400	-0.147
	PGB	42.51400	24,1730	554	27.10.2010	23:03:46	2290	-0.319
L	MAMO	38.15220	22.0573	650	27.10.2010	22:25:29	600	-0.271
F	SERG	38,41420	22.0573	480	27.10.2010	22:49:58	3000	-0.259
<u> </u>	WDD	35.86700	14.5230	41	27.10.2010	21:04:08	3350	-0.340
	TRO	69.63530	18.9128	15	28.10.2010	12:40:04	3315	-0.364
F	AGRB	39.57500	42.9920	1820	27.10.2010	12:35:02	48	-0.543
	BNN	38.85200	35.8470	1380	27.10.2010	13:38:46	828	-0.541
	SER	38.41420	22.0573	480	28.10.2010	13:21:28	3800	0.346
G	MAM	38,15220	22.0573	650	28,10,2010	22:33:30	900	0.735
1	SER	38,41420	22.0573	480	28,10,2010	23:05:13	4000	0.751

地震観測所の分布は、2直線座標平面によって最大脈動 の発生を書き入れることを可能にする.最大脈動の到達 時刻は、緯度と経度に依存していて、それぞれ図12と 図13に示される.すべての地震観測所は、到達時刻に もとづいて西ヨーロッパグループ(A)、中央ヨーロッパ グループ(B+C)、南東ヨーロッパグループ(E)にわか れる.中央ヨーロッパの観測所に比べて、ポーランドの 観測所 OJC と KWP では2時間遅延し、観測所 HFC と VTS(D)では2時間早く到達する.最初の最大(G)の 到達に比べて、アジアの観測所 AGRB と BNN(F)では 12時間早く、ギリシアの観測所 SER と MAM では12時 間と24時間の複数の最大遅延を示す(図10と図11). これらには、グループEとAの間に位置する2つの観測

![](_page_27_Figure_5.jpeg)

図 11 脈動解析につかわれた地震観測所.枠で囲った数値に示 されるように、一群の地震計に、中央ボヘミア地震計 [複数] に 比べて典型的な遅延 / 早まりが発生する.

![](_page_27_Figure_7.jpeg)

図12 緯度に対する最大脈動の到着時刻の依存性.3つのグループの地震計—24時間の遅延を示す西ヨーロッパグループ(○), 中央ヨーロッパグループ(比較基準,+),12時間早くなる南東 ヨーロッパグループ(△) —が示される.

![](_page_27_Figure_9.jpeg)

図13 経度に対する最大脈動の到着時刻の依存性.3つのグループの地震計—24時間の遅延を示す西ヨーロッパグループ(○), 中央ヨーロッパグループ(比較基準,+),12時間早くなる南東 ヨーロッパグループ(△) —だけが認められる.

#### 所が含まれる.

最大脈動の到達時刻の緯度そして / あるいは経度への依存性は中央ヨーロッパの地震観測所においてたいへん顕著で、南東ヨーロッパの観測所ではかなりきまぐれであるのは明瞭である.西ヨーロッパにおける脈動発生の遅延は、中央ヨーロッパにおける脈動後ほぼ 24 時間であり、最大振幅時刻はほぼ一定である.

さまざまな脈動の到達時刻がみられる観測所の境界地 帯は、南西側をボヘミア地塊に、そして、北東側を Teisseyere-Tornquist帯に一致している(図11).中部ヨー ロッパにおけるこの変角振動波の見かけ上の方位は約 156°で、中部ヨーロッパから Mentawai 地域を結ぶ方位 (93°)とは最大 60° ずれていて、それは本震の震源メカ ニズム(図9A)と調和的であり、Teisseyere-Tornquist 帯(153°)とほぼ平行する(図11).

中央ヨーロッパの観測所に比べて,バルカン半島域の観 測所の反応は最大で9時間早く,トルコの観測所 BNN と AGRB の反応は最大12時間も早い.最大脈動の見か け上の時刻の相違は連続値ではなく,一日および準一日 に変調されている(図 9B, 10, 12 および13).

南北方向の断層があるところ(たとえば、モラビアカル ストの洞窟 No. 13C の振り子)での変角応答は、北西-南東方向の断層のあるところ(たとえば、Ida 鉱山)に 比べて、第1波、たとえば変角振動波で見て、かなり 早い(図 9B と図 9C を比較せよ). 半日周期は、ノイ ズにもみいだされるが、真夜中頃の最大ノイズは人工 的(すなわち交通によるもの)ではなく、一日周期の 熱熱弾性波によるものであり、ヨーロッパとアメリカ のリソスフェアプレートの接合部で発生する(Kalenda and Neumann, 2010). この波は変角振動波と重合され, 2008年11月24日の千島地震の場合のように,南北方 向に応力テンソルの主成分をもつ(図4).12時間の長 周期でみると,潮汐波が変角振動波と熱弾性波に重合さ れていることがわかる(図10).

一般に、"変角振動波"はヨーロッパを南東から北西へ 横切り、その位相速度は数 100km/時であり、群速度は 100km/時以下であることがわかる(図 12・図 13).変 角振動波運動の不連続は、運動方向に直交する大規模な 地質ブロックの境界に一致する(図 14).波の拡散に平 行なリニアメントの場合は、変角振動波に不連続性はみ られない.

## 3.2 チリ地震 M=8.8 に関係する傾動, ノイズおよび脈 動の発達

過去5年間での最大級の地震-2010年2月25日に発 生したチリ地震 M=8.8 に先行して Ida 鉱山で発生した振 り子の傾動異常は,2009年12月末にはじまった(図5). 短期的傾動異常(狭義の地震準備期)は,2010年2月 25日頃,すなわち本震の2日前にはじまった(図15). この本震の10時間前の2月26日に発生した琉球地震 M=7.2 は,地球のちょうど反対側に位置することから,

![](_page_28_Figure_8.jpeg)

図 14 2010 年 10 月 28 日 標 準 時 12:15 (中部ヨーロッパ基準枠)から の最大脈動の時間的差異(単位:時間)

![](_page_29_Figure_0.jpeg)

切迫した引き金であったのかも知れない.

最大の変角振動波が中部ヨーロッパに到達したのは 2010年3月6~9日で、本震の7~10日後であった. そのはじまりは、Mentaway 地震の場合のように急激で

図 15 チリ地震の余震活動 (A) と他の要素と の比較. (B) 東西方向の傾動と振り子 P6 のノ イズ (南北方向), (C) Přbram における振り子 7 の東西方向の傾動とノイズ, (D) OKC 地震観 測所における鉛直脈動.

図 16 Ida 鉱山における振り子の傾動とノイズ(A) と Sevastopol における要塞 No. 35 の歪計のノイズ(B) の比較(O. Boborykina 私信). 赤帯はチリ地震によって引き起こされ,中部 ヨーロッパで検出された同一変角振動波を示す.この波はトルコの地震(M=6)の引き金になり,チリ地震の本震の13日後の2010年3月11日に発生した最大余震(M=7.2)よりも 1日早くクリミアで検出された.この地球をめ ぐった波動の平均移動速度は125km/hで,ト ルコおよび/あるいはクリミアと中央ヨーロッ パの間での1日の遅延に調和的である.

はなく、変角結果はより塊状であった(図9と図15を 比較せよ).

この変角振動波は、3月4日の台湾地震(M=6.4)と バヌアツ地震(M=6.4)、3月5日のインドネシア地震 (M=6.6),3月7日のクリミア地震(図16),および3 月8日のトルコ東部の地震(M=6.4)の引き金になっ た.3月11日に発生したチリ地震の最大余震(M=7.2) は,第2の地球をめぐる変角振動波を発生させた.この 変角振動波は、地球全体に伝播し、3月20日には、そ の集結部でEyjafjallajökull火山の噴火の引き金になっ た.このことは、火山周辺における地震活動の活発化 によって実証される.そして、変角振動波が3回目に地 球をまわったところで、4月14日の大噴火がはじまっ た(Eldgos í Eyjafjallajökull,2010に報告).5月には、 Eyjafjallajökull火山の山頂噴火が、振り子P7の最大変 角ノイズ(図3)と同時に観測された.

第2の変角振動波が地球全体にひろがっていく途上で, きわめて大きな地震が4月4日にBaja California(M=7.2) と4月6日にスマトラ(M=7.7)で引き金をひかれた. 第2の変角振動波は第1のものよりもかなり長く,より 長い変角および振動の時間をもっていた.これが,つづ いて火山噴火(とくにカムチャツカ半島における)を引 き起こすのではなく,第2の変角振動波によって大き なエネルギー消散と地震摩擦がおこった理由であろう (Global Volcanism Program 2010; KVERT, 2010).

# 3.3 サモア地震 M=8.1 に関係する傾動・ノイズ・脈動の発達

最近2年間において2番目に大きい地震は2009年9月 29日にサモアをおそった M=8.1の地震であり、それに は、8月末 " 応力波 " にはじまる長期にわたる傾動異常 が先行した.切迫した余震(M=7.5)が、9月30日に スマトラで発生した.2日間の空白の後に、切迫した余 震が発生したことがわかった(図17A).

変角は 2009 年 10 月 6 日に中部ヨーロッパに到達し(図 17B および 17C),最大値に達したのは 10 月 8 日であったが,顕著な影響はでなかった.唯一,小規模な変角ノ

![](_page_30_Figure_7.jpeg)

図 17 サモア地震の余震活動 (A) と諸要素との比較. (B) 振り子P7の傾動とノイズ, (C) Přibram における振り子 P6 における 東西方向の傾動とノイズ, (D) OKC 地震観 測所の鉛直脈動.

![](_page_31_Figure_1.jpeg)

![](_page_31_Figure_2.jpeg)

イズが最大変角の前後に発生し,傾動にわずかな変化が 認められた.脈動は,それ以前のレベルにとどまってい た(図 17D).

#### 2. 変角振動波によって起こりうる 脈動の発生メカニズムの概要

脈動は、冬期に最大振幅をもつ基本的年周期をもつ (図18). このパターンは井戸における地下水位測定 (Breitenberg et al., 2006), 歪計測定 (Brimich, 2006), ハム(低周波うなり)の変化(Nishida et al., 2000), そして / あるいは振り子による変角測定 (Kalenda et al., 2011) を示唆する. この変角と応力の年周期は, Hvoždara et al. (1988) によって記載され, 論理的に説 明された年周期の熱弾性波に関係している. 冬期におけ る最大応力は、未風化岩石からなる深部への熱波伝播の 遅延による.分析結果によると応力テンソルの主要要素 は,大陸の位置に依存して,その年に方位を変化させる (Kalenda et al., 2011). 冬期に応力の最大値が観測され ると、中部ヨーロッパにおけるその主要要素は、N-S~ NNE-SSW 方向にあり、つまりは、ユーラシアと北米の リソスフェアプレートの境界にほぼ依存しているのであ る. その時, 岩石中の断層と裂罅は, 応力波と変角振動 波をより容易に伝播させることができるほど閉じている わけである.

地震発生深度における断層と裂罅は一般に開離している ため、岩体中の応力状態は夏期には低いレベルにある. ブロックの鉛直運動は、水平運動よりもより頻繁に観測 され(J. Stemberk 私信),それゆえ,変角(あるいは応力) の伝播は冬期ほど容易ではない.

応力波(あるいは変角振動波)は、バックグランウド程 度の応力に加算される.応力波に数日~数週間の持続期 間があることを考えると、それらの波長は地球円周より も長く、それゆえ、それらの減衰は小さく、ブッロク境 界の性質におおきく依存する.マシーフにおけるより高 い応力期間中には、1日周期の応力波が、千島列島地震 の前(図4),2008年5月12日の文江地震の前(Kalenda and Neumann, 2010),そして,Mentawai 地震の後(図 9B),および,チリ地震の後でも一部(図15C)で観測 された.ヨーロッパにおけるさまざまな到達時刻で最大 脈動が生じることは、2つの波の合成によって説明され る.すなわち、1つ目は大陸地殻が太陽光にさらされる ことによって発生する1日周期の応力波で、2つ目は震 源域から入射してくる応力波である.

Mentawai 地震後の最大脈動の経緯を詳細に解析すると, Teisseyire-Tornquist 帯の方向に沿って東から西へ,そし て南から北へと最大振幅時刻がヨーロッパ全体を移動し たことがわかる (図 11). 観察された変角振動波の西向 きの運動は,マントル上のリソスフェアの西向き漂流に 一致する (Scoppola et al., 2006).

"変角振動波"の群速度は数 100km/h の桁であり,表面 波速度にくらべて数桁小さい.

チリ地震後の " 変角振動波 " の伝播解析は同様の結果を 示す.すなわち,最初の2つの波は,地球全体をに 14 日でひろがり,平均速度は 120km/h であったが,第 3の変角振動波はよりゆっくりと移動し,平均速度は 100km/h 以下であった.

このような解析は、以前に Khalilov (2009) が行った観 測と整合的である.彼は、ユーラシアのリソスフェアプ レートにおける造構波の平均速度を見積もるために重力 場を用いて、その速度が 300 ~ 500km/h であると見積 もった.この解析は、脈動の起源が海岸ではなく、たと えばクーロン則がなりたつ大陸棚のように、断層、裂罅 あるいは弱帯があるあらゆるところに存在することを示 す.そのため、この "応力波 "へのマシーフの応答がど こでも同じではなく、それが地震や変角の観測所の位置 に依存するのである.もし観測所が、入射してくる応力 波の進行方向にある活構造(断層,裂罅)の近くにあると、 地震または変角の応答は、進行方向とは異なる方向の構 造の場合と比べてより急速に、そして、より大きく出現 するだろう (図 9B および図 9C を比較せよ).

応力波あるいは変角振動波による第2の脈動の発生は, たとえば台風, 嵐および洪水による脈動とは別の発生メ カニズムの存在も否定しない. それらのメカニズムは, たとえば, Donn (1951), Bromirski (2001), Takagi et al. (2006), Holub et al. (2008, 2009) など, 多くの著者が 記載してきた. 他方,海洋波や固体地球 - 大気相互作 用によって発生する初生的脈動 (Nishida et al., 2000; Tanimoto, 2001) も起こりうる. そのような他の外力が マシーフを変形させ, 地震のように応力波あるいは変角 振動波を発生させるのである.

#### 5. 結 論

結論は次のとおりである:

脈動とマイクロ変形(傾動,変角,ノイズ,および地下 水位)にみられる年周期は,Hvoždara et al. (1988)によっ てすでに認識されいるように,熱弾性波が深部へ浸透す ることによって発生する.変角ノイズそして/あるいは 脈動の最大値が,とくに,熱波が未風化岩石に到達して 最大値に達する(可能性がある)冬期に観測される.

すべりに由来する応力あるいは造構波は,この応力の バックグラウンドレベルに加算される.この事実は,海 洋潮汐,海岸近くでの波浪の振動,嵐,台風のような, 他の岩石変形の発生メカニズムを排除しない.

応力波はおもに大きな地震の前に観測されるが,変角振 動波はそれらの前に観測される.

マシーフのノイズは、入射してくる応力波の方位と、振 り子が設置された地域の卓越断層系の方位に依存する.

応力波および / あるいは変角振動波は数 100 ~ 数 1,000km/hの速度をもつので,それらが地球を周回する 間にくりかえして検知される可能性がある.それらの減 衰は,地震波の減衰よりもはるかに小さく,本質的には ブロックや造構プレートの間の接合性に依存している.

そのような応力波あるいは変角振動波は、断層クリープ, 変角ノイズ、脈動を発生させ、火山活動をもひきおこす こともある.最大の弱帯は大陸棚、大陸縁、および主要 断層帯であり、変形エネルギーの大半はそこで放出され る.

謝辞 この調査は firms CoalExp Ostrava, Anect Praha, チェコ共和国科学アカデミー研究プログラム No. OZ 30860519 および No. OZ 0860518 によって財政支援 された.同時に,この研究はヨーロッパプロジェクト CzechGeo/EPOS-ID LM2010008 における観測事業と して実施された.ヨーロッパデータセンター ORFEUS のデータを使用できたこと,さらには,Prague-Patras 合同地震観測所 SERG および MAMO(http://seis30. karlov.mff.cuni.cz)のデータを自由に利用させていただ いたことに深く感謝する.私たちは,Sevastopol に設 置されたレーザー干渉計のデータを提供していただい た国立 Taurida V. Vernadsky 大学(ウクライナ)の O. Oboborykina 博士,ならびに,Vitosha (VTS)の地震観 測所のデータを提供いただいたソフィアの BAS 地球物理 学研究所の L. Dimitrova 博士にお礼申し上げる.著者ら は、ヨーロッパのいくつかの地震観測所からのデータ収 集に大きく貢献されたプラハの地球物理学 AS 研究所の J. Zednik 博士にも心より感謝する.最後になるが,査読お よび有益なコメントをいただいた Giovanni Gregori 博士 にお礼申し上げるしだいである.

#### 文 献

- Bleier, T., 2010. QuakeFinder network. http://www.quakefinder. com/ .
- Bleier, T. and Freund, F., 2005. "Earthquake [earthquake warning systems". Spectrum, IEEE, v. 42, p. 22–27.
- Braitenberg, C., Romeo, G., Taccetti, Q. and Nagy, I., 2006. The very-broad-band long-base tiltmeters of Grotta Gigante (Trieste, Italy): Secular term tilting and the great Sumatra-Andaman Islands earthquake of December 26, 2004. Jour. Geodyn., v. 41, p. 164–174.
- Briestenský, M., Košťák,B., Stemberk, J., Petro,Ľ., Vozár, J. and Fojtíková, L., 2010. Active tectonic fault microdisplacement analyses: a comparison of results from surface and underground monitoring in western Slovakia. Acta Geodyn. Geomater., v. 7, no. 4 (160), p. 387–397.
- Brimich, L., 2006. Strain measurements at the Vyhne tidal station. Contributions to geophysics and geodesy, v. 36/4.
  Bromirski, P. D., 2001. Vibrations from the "Perfect Storm". Geochem. Geophys. Geosyst. Res. Lett., v. 2,2000GC000119.
- Bromirski, P. D. & Duennebier, F.K., 2002. The near-coastal microseisms spectrum: Spatial and temporal wave climate relationships. Jour. Geophys. Res., v. 107 (B8), 5.1 – 5.20. doi:10.1029/2001JB000265.
- Bromirski, P.D., Duennebier, F.K. & Stephen, R.A., 2005. Midocean microseisms, Geochem. Geophys. Geosyst., v. 6, doi:10.1029/2004GC000768.
- Cessaro, R.K., 1994. Sources of primary and secondary microseisms. Bull. Seismol. Soc. Am., v. 84, p. 142–148.
- Donn, W. L., 1951. Cyclonic microseisms generated in the western north Atlantic Ocean. Jour. Atmos. Sci., v. 9, p. 61– 71.
- Ekström, G., 2010. The Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) Project. http://www.globalcmt.org/. Eldgos í Eyjafjallajökli, 2010. http://www.vedur.is/um-vi/ frettir/2010/nr/1844.
- Gerstoft, P., & Tanimoto, T., 2007. A year of microseisms in southern California. Geophys. Res. Lett., v. 34, L20304, doi:10.1029/2007GL031091.

Global Volcanism Program. Shiveluch. Accessed March 29, 2010.

- Haubrich, R.A. & McCamy, K., 1969. Microseisms: Costal and pelagic sources. Rev. Geophys., v. 7, no 3, p. 539–571.
- Holub, K., Rušajová, J. and Sandev, M., 2008. The January 2007 windstorm and its impact on microseisms observed in the Czech Republic. Meteorol. Z., 17, No. 1, 047-053 (February, 2008).
- Holub, K., Rušajová, J., Sandev, M., 2009. A comparison of the features of windstorms Kyrill and Emma based on seismological and meteorological observations. Meteorol. Z., v. 18, no. 6, 607-614 (December, 2009).
- Hvoždara, M., Brimich, L. and Skalský, L., 1988. Thermoelastic deformations due to annual temperature variation at tidal station in Vyhne. Studia geophys.et geod., v. 32, no.2, p. 129-135.
- Kalenda, P., Neumann, L. and Wandrol, I., 2009. Indirect stress measurement by static vertical pendulum. Proc. 47th Int. Sci. Conf. Experimental stress analysis 2009, TU Liberec, p. 120-128.
- Kalenda, P. and Neumann, L., 2010. Static vertical pendulum – observations of anomalous tilt before earthquakes (case study). In: Rock stress and earthquakes (F.Xie ed.), p. 795-803.
- Kalenda, P., Neumann, L. and Kvetko, J., 2010. Indirect stress measurement and earthquake prediction. Proc. of "XV Int. Sci.-Tech. Symp. Geoinformation Monitoring of Environment: GPS and GIS Technologies", September 13-18, 2010, Alushta (Ukraine, Crimea), p. 57-65.
- Kalenda, P., Neumann, L., Málek, J., Ostřihanský, L., Procházka, V., 2011. Tilt, global tectonics and earthquake prediction. SWB London, 247p. (in press)
- Khalilov, E., 2009. Global network of forecasting the earthquakes: New technology and new philosophy. SWB, London, p. 65. http://icep-atropatena.com/images/broshura. pdf.
- Koper, K. D., Seats, K. and Benz, H., 2010. On the Composition of Earth's Short-Period Seismic Noise Field. Bull. Seismol. Soc. Am., v. 100, no. 2, p. 606-617.
- KVERT 2010, Kamchatkan and Northern Kuriles Volcanic Activity. Accessed March 29, 2010.
- Longuet-Higgens, M.S., 1950. A theory of origin of microseisms. Philos. Trans. R. Soc. London A, v. 243, p.1– 35.
- Málek, J., Brož, M., Stejskal, V. and Štrunc, J., 2008. Local Seismicity at the Hronov-Poříčí Fault (Eastern Bohemia). Acta Geodyn. Geomater., v. 5, no. 2 (150), p. 171–175.
- Neumann, L., 2007. Static pendulum with contactless 2d sensor measurements open the question of gravity dynamic and gravity noise on the Earth surface. Physics Essays, v.

20, no. 4, p. 535-551.

- Neumann, L. and Kalenda, P., 2010. Static vertical pendulum apparatus for in-situ relative stress measurement. In: Rock stress and earthquakes (F.Xie ed.), London, p. 255-261.
- Nishida K., Kobayashi N., Fukao Y., 2000. Resonant oscillations between the solid earth and the atmosphere. Science. 2000 Mar 24; 287(5461):2244-6.
- Rhie, J. and Romanowicz, B., 2004. Excitation of Earth's continuous free oscillations by atmosphere-ocean-seafloor coupling. Nature, Lond., v. 431, p. 552-556.
- Rhie, J. and Romanowicz, B., 2006. A study of the relation between ocean storms and the Earth's hum. Geochem. Geophys. Geosyst., v. 7, doi:10.1029/2006GC001274.
- Scoppola, B., Boccaletti, D., Bevis, M., Carminati, E. and Doglioni, C., 2006. The westward drift of the lithosphere: A rotational drag? GSA Bulletin, v. 118, no. 1/2, p. 199-209.
- Stejskal, V., Skalský, L. and Kašpárek. L., 2007. Results of two-years' seismo-hydrological monitoring in the area of the Hronov-Poříčí Fault Zone, Western Sudetes. Acta Geodyn. Geomater., v. 4, no. 4 (148), p. 59-76.
- Takagi, T., Sato, H., Nishimura, T. and Obara, K., 2006. Rayleigh-wave group velocity in Japan revealed from the cross-correlation analysis of microseisms excited by typhoons. – Proc. 8th SEGJ Symp., Kyoto, p. 207–210.
- Tanimoto, T., 2001. Continuous Free Oscillations: Atmosphere-Solid Earth Coupling. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2001, v. 29, p. 563–584.
- Tanimoto, T., 2006. Excitation of normal modes by nonlinear interaction of ocean waves. Geophys. Jour. Int., doi:10.1111/ j.1365-246X.2006.03240.
- Tanimoto, T., 2007. Excitation of Microseisms. Geophys. Res. Lett., v. 34, L05308, doi:10.1029/2006GL029046.
- Vyskočil, P., 1988. The dynamics of the Hronov-Poříčí seismoactive fault. Proc. of VÚGTK 17, VÚGTK Zdiby, p. 93-111.
- Wang, W.-X., 1997. The Shun theory and earthquake shortterm/imminent prediction. Beijing. (in Chinese with English abstract).
- Wang, W.-X., 2005. MDCB network and earthquake prediction. (in Chinese with English abstract).
- Webb, S. C., 2007. The Earth's 'hum' is driven by ocean waves over the continental shelves, Nature, Lond., v. 445, (7129), p. 754-756; doi:10.1038/nature05536.
- Zátopek A., 1964. Long-period microseisms generated in eastern part of Atlantic frontal zone. Studia geophys. et geod., v. 8, p. 127-139.
- Zátopek A., 1975. On the long-term microseismic activity and some related results. Studia geophys. et geod.., v. 19, p. 14-24.

# クリスマス地震 : パルマ近郊での季節地震の反復,北西アペニン,イタリア THE CHRISTMAS EARTHQUAKES: SEASONAL SEISMIC RECURRENCES NEAR PARMA, NORTH-WESTERN APENNINES, ITALY?

## Valentino STRASER

vstraser@ievpc.org

(岩本 広志[訳])

要旨:パルマ州は,2006~2012年のクリスマスの日には毎年,いつも同一の地震エリアに震源をもつ浅層地震に 襲われてきた.地震のマグニチュードが M5.1を超えることはない.一年を通じて,幾つかの例外を除くと,この地 震エリアに発生する地震は非常に稀で,12個ほどにすぎない.12/25という日における反復性,ならびに,震央が 北西アペニンの2つの河川の間の細い回廊に位置するという事実はともに,地震の周期性が,ある因果関係をもつ物 理的・地球物理的作用の現れであることを示唆している.この論文では,太陽と地球が軌道上の近日点にあるときに 起きるジオイドの変形や重力的作用のいずれかによって引き金がひかれるという現象の背後にあると考えられるメカ ニズムについて,考えられる説明を試みる.惑星相互作用に加えて,テクトニックに活発な北西アペニン地域におい ては,太陽の重力的作用へ相乗効果として大気圧による追加的作用もはたらいているだろう. キーワード:周期的地震,重力的相互作用,地震前兆信号,地球重力の変動,季節的地震の反復発生

#### まえがき

地球規模の地震活発帯における地震の周期的発生は、例 えば北西アペニン(イタリア)のような大規模断裂帯と 層序系に関する多くの研究で報告されてきた.本論は 2006~2012年の期間を対象にして反復性を研究する もので、その反復性は12月25日のクリスマス日をは さむ数日間に地震が発生することによって示される.パ ルマ州の北西アペニンの同一エリアで、震央が数 km 離 れた位置で2008年12月23日に起こったM5.1の地震 を除くと、浅発地震のマグニチュードは普通M3.5以下 である(図1).

No./Day	Time (UTC)	Lat.	Long.	Depth	Magnitude
<b>1-</b> 2006/12/24	10:55:20	44.660°N	10.220°E	15.2km	M3.1
<b>2-</b> 2007/12/28	05:05.33	44.61°N	10.25°E	13.8km	M4.1
<b>3-</b> 2008/12/23	15:24:21	44.519°N	10.3820°E	27km	M5.1
4-2009/12/25	05:58:40	44.211°N	10.5°E	10.2km	M2.6
<b>5</b> - 2010/12/25	18:31:20	44.519°N	10.127°E	10.2km	M2.2
<b>6-</b> 2011/12/23	16:59:51	44N33.83	9E35.98	17.21km	M1.2
7-2012/12/25	06:03:40	44.64 <b>7</b> °N	10.090°E	23.62km	M2.1

ー年の同じ日に,同じ地震エリアでの反復地震は,アペ ニンのテクトニクスに関係した季節的周期を示唆してい るのかもしれない.北西アペニンのケースは特異で,サ ンアンドレアス断層(ストラッサー,2008b)のように, たとえ反復が主体であってもより長い周期は他の地震エ リアでも既に見つかっている.日本と米国における他の 研究(クリスチャンセンほか,2005;コスケ,2003;村上・ 宮崎,2001;大竹・中原,1999)は,中規模エネルギー の地震のみならず,大規模な地殻断裂帯の中で発生した 破壊的な地震であっても季節的反復の可能性を述べてい る.

![](_page_34_Figure_10.jpeg)

図12006~2012年のクリスマス頃に起きた地震の震央位置図

調査エリアは北西アペニンに位置していて, バル ディ タロとフリグナノに伸びる地震帯で、中規模地震によっ て特徴づけられている. これらの2つの地震帯の地震は 1年を通じてそれほど頻繁ではなく、最近4年間のM5 を超える 2 つの例外や、代表例の 2008 年 12 月 23 日 (M5.1) と 2012 年 1 月 27 日 (M5.4) を除いて、それら のマグニチュードは普通 M2.0 から M3.5 の間に位置し ている. 最近 150 年のパルマ州の地震の歴史 (ペトルッ チほか, 1996; CPTI,2004) もまた, マグニチュード5 を超える地震の出現はもはや散発的と確認し、震源は普 通 30km を下回るとしている. それにもかかわらず, こ れらの地震がマグニチュード2よりも小さいものはこの エリアで研究されつつある完全に頻繁なものであること を覚えておかなければならず、ただその数が月に2~3 が限度. この平均は、それ故に年間についての正確な代 表とはなり得ず、2011年の9月から10月にかけての 群発地震が最も記録的で,フリグナノ地方のみで,ほん の2日で50を超える振動がマグニチュード幅 M2.0か らM3.7で記録されている.バルディタロとフリグナ ノで起きる異種の少数のケースは,大きな褶曲が白亜紀 から始まった堆積岩の強力なパケットに影響されたアペ ニン山脈の特別な地質構造に関係している.変形過程の 最後に,地質構造はその地方に関係した地層に変換され, 複合的な方法で重複する.メッシニアンから鮮新世末期 には,ポー谷平野下部に続いた深部変形原因した東方向 からの段階的な変換.バルディタロとフリグナノ地方 の地震活動は地質構造の並走とその変形過程...まだ続い ている...チレニア海の膨張エリアからアペニンの地層の 収縮エリアへエネルギーの変換の応答として...による引 張によって影響されている (ベルニニ・パパニ, 1987; ザンツッチ, 1980).

#### データ

この研究で議論するデータは、以下のデータベースから 取得した:

- a) 地 震: INGV (イタリア地球物・火山研究所) (http://www.ingv.it/it/), スイス地震サービス (http:// www.seismo.ethz.ch/index), 北西イタリア地域地震ネッ トワーク (http://www.dipteris.unige.it/geofisica/ITA/ index.html), 米国地質調査所 (http://earthquake.usgs. gov/earthquakes/recenteqsww/).
- b) 気象データ:アーキーボメテオ (http://www.ilmeteo. it/portale/archivio-meteo).
- c) 電波異常モニタリング 24/7 以下の機材を利用
- アンテナタイプ: 強磁性コアに巻き付けた3マルチレー ヤーコイル
  - 巻線数: 60,000 + 33,400 + 375,000 = 468,400 総インダクション: 1,178,900 ヘンリー アンテナの発明・作成者: Gabriele Cataldi
- モニタリング局の発明・作成者: Gabriele Cataldi, Daniele Cataldi
- 使用した増幅システム: N.A.S. A.I.N.S.P.I.R.E. VLF3
- 使用したソフトウェアー: Spectrum Lab
- モニタリング・サイト: Albano Laziale (Rome, Italy) 緯度: 41°41′4.27″N, 経度: 12°38′33.60″E

ネットワーク・モニタリング: Italian (Radio Emissions Project & FESN)

活動局の数:2

#### 重力測定法

重力測定装置は気圧変化や熱膨張に起因する最大誤差の 低膨張ロッドを用いた振子とは独立したもの. 位置ファ インダーを持った発信器は,大変正確な同期信号を作る ことが可能で,電磁気干渉がなく,8桁から9桁の有効 数字で正確な電気式時計に接続されている.

このシステムは計算機によって制御されていて,地球重 力場の52値について1回の測定からその次の測定まで に連続的なデータを採取し,データはディスクに保存される.相対誤差は1,000の測定に対し0.00000089. 重量測定局(ロヴィゴ.イタリア)は45°05'N;11°48'E.

#### 討 論

地球は進化するダイナミックシステムで絶えず変化の影響下にある.これらの過程は陸上地形や地球内部の質量 分布,これは重力場のこと.もし我々が偶然の要素を除 外するならば,調査下にある地域での地震の反復の仮説 は12月25日頃に推定される地球の位置によって誘発 される重力の効果,例えば近日点,ことによると大気圧 と併せてかもしれない.重力もしくは潮汐の効果は当面 の間は,通常の地球物理的なメカニズムのこの論文で述 べた季節的反復に関係し,近日点の宇宙空間上の地球に よって推定される位置として,もはや繰り返しはない.

同様なトピック,他の著者が地球システムに於ける月と 太陽に誘発される引張が陸上の地震活動に関連してい るだろうことを示唆している(ストラッサー,2008a; ベンカタナサンほか,2005;コルバンカール,2007), 例えばサンアンドレアス断層の明白な配列(コクス, 2006;ストラッサー,2008b;ナデウとマックエビリ, 2004). このメカニズムはまだしも理解されていないが, 天体と地球による相互作用の実験を理由に長期間に渡っ て行動する.この効果は地震的に活発なエリアのテクト ニックな変動に変化し,北西イタリアを含み,アペニン の中規模地震を作る.

季節的な地震反復の証拠は海洋領域の大きな破壊的地震 との対応を記録し,大竹・中原 (1999)の指摘として, 他の貢献はヘキ (2001・2003)で衛星データを用いて, 季節地震反復が確かに可能であることを確かめ,他の自 然イベントとして破壊的地震が能力的に含まれると述べ た.類推的な確認はクリスチャンセンほか (2005)が米 国で観測された地震反復について,火山活動のデータと 地震データを複合して取得した.この試算を惑星スケー ルまで拡張し,一つとして天体は地球のテクトニクスへ の影響を実験し,他の一つは,地球での地震の震動で類 推的に原因できることは,例えば月でも起こっている, と仮説できるとした.

事実,アポロ計画によって示されたデータでは月で地震 反復が存在する,関係した位置で月間サイクルで推定さ れることを確認した.よく知られた事として,月の地震 は大体14日間隔で起きていて,月での月間を通じて中 ほどに,地球の場合と異なった様式での営みであり(ア ラヒ,2001;ゴウルティ,1979;シレン,1972),地 球の衛星が発見した新しい月もしくはフルムーンフェー ズの中で.

このような重力の構成要素(他の相互作用,例えば電磁 気の影響などは無視されたら),この研究によって仮説 プロセスの基本的な役割が動くだろう.
調査中の地域での地震反復は、既に考慮されたことで、 太陽からの距離が最近な時に発生し、たとえば近日点、 現在では1月の5日か6日に起きている.もし我々が重 力の効果を考慮すれば近日点日に先立った日が、我々が それを妥当に期待するかもしれない、12月25日、多少 の軌道対称を通過して、少なくとも1月の一両日中に、 追加的に地震反復が起こるだろう.

これは 2012 年と 2013 年の 12 月 25 日: その時の 2 つの地震,各々 M4.9 と M4.8,調査中の同じ地域で連 続して発生した. (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/ recenteqsww/;http://www.ingv,it/it/;http://www.dipteris.unige. it/geofisica/ITA/index.html).

Day	Time (UTC)	Lat.	Long.	Depth	Magnitude
2012/01/25	08:06:36	44.854°N	10.538°E	33.2km	M4.9
2013/01/25	14:48:18	44.168°N	10.454°E	15.5km	M4.8

図2に示す2つの地震の震源はタロ川の谷とエンザの間 の地震地帯回廊に位置していて、ことによると太陽に最 も近い日で、これらの同一な谷の間の地質に及ぼされた 並走した応力に依存している.

これら2つの地震のマグニチュードは M5.0 に近い,電磁気タイプとそれに加えた電波異常の地震前兆の解析が可能で,来たる地震が普通に形成され,そのマグニチュードは M5.0 に近い (ストラッサー, 2012). モニタリングの方法はコルバンカー (2007) に示された他の地震エリアで試されていて,その仮説は天体による影響と電磁気の放出の間に結びつき,造構造応力に関係した岩石中に引張が形成された.

図3は、2012年と2013年の1月25日の地震に関する2つのスペクトル図であり、地震発生の数時間前に電磁気的バックグラウンドが増加し、本震の直前には"通常化"したことを示す.もし、仮説のとおり、もし電波

異常の発生が岩石中に発生した応力に関係したものであ るとすれば、2つのスペクトル図を比べることによって、 これらの地震の初期相に類似性が認められるばずであ る.

もし我々が天体による重力活動の仮説が認めるならば, 地球で作られる引張が土壌の垂直運動に変換されるとい う仮説も成り立つ.2012年の1月25日の地震,重力 パターンのデータが使用可能で,図4は地震の震源から 数10km離れた場所で測定されたもの.この痕跡は地殻 の垂直的な震動が本震に関係し先立ったもの.グラフ上 では重力震動が観測され,それに先立つ地震に応答した 電波異常が出現する.

とはいえ,我々は地震に関係する土壌の垂直運動が特定 な大気圧によるものよりも好都合なことを覚えておかな くてはならない.

	and the book of some description		and should be a start of the st	
Date	P (mb)	T min.	T max. N	fet. Conditions
2006/12/24	No data	-2°C	8°C	cloudless
2007/12/28	1034	-4°C	1°C	cloudless
2008/12/23	1027	-2°C	2°C	cloudless
2009/12/25	999	1°C	8°C	rain
2010/12/25	1003	6°C	8°C	rain
2011/12/23	1024	-4°C	7°C	cloudless
2012/12/25	1021	4 °C	5 °C	cloudless

2012~2013 年 1 月 25 日のクリスマス地震もまた,大 気圧は通常 1,000mb よりも高く,晴天か晴曇りの応答.

Date	P (mb)	T min.	T max.	Met. Conditions
2012/01/25	1018	0°C	11°C	cloudless
2013/01/25	1009	0°C	7°C	broken clouds





図2 2010年 (a) および 2013年 (b) の1月 25日に発生した地震の震央 (http://www.dipteris.unige.it/geofisica/ITA/index.html)







図 4 2012 年 1 月 25 日の地震に関して震央 から 68km 離れた場所 で観測された重力パターン.(マリオ チャンピオ ンのご厚意).このグラ フは,重力値(mGa)と 約 28 分間(横座標)に おけるギャップとの間の 関連を示している.本震 前後の瞬間に,地震発生 に一致する重力変化(減 少)が観測された.

## まとめ

クリスマス地震の反復は調査域における特別なジオイド の変形に関係しているだろう(ドリツキー・セルゲーエ バ,2002).近日点の時の地球の重力効果は他に正確な ものはなく,それらのケーススタディのような反復した 地球物理学的なメカニズムが存在するのみである.地震 研究の震源は同じような地形上の通路に位置していて, それはアペニンの地質構造に誘発される応力と惑星ス ケールで誘発される応力との関係の存在を仮設する事が 可能である.広い事情では,クリスマス地震は地球を伴っ た天体との相互作用によって誘発される応力の点状効果 を受けたものであり,その上,テクトニックな変形はこ の研究で述べたダイナミクスの長期間効果に代表される はずである.

**謝辞**: データを提供頂いたガブリエレとダニエレ ダニ エーレとマリオ チャンピオンへお礼申し上げる.

## 文 献

- Arahi, H., 2001. Focal Processes of Deep Moonquakes. Journal of the Geodetic Society of Japan, v. 47, no.1; p. 508-513.
- Bernini, M. and Papani, G., 1987. Alcune considerazioni sulla struttura del margine appenninico emiliano trail T. Stirone eil T. Enza. Ateneo Parmense, Acta Naturalia, v. 23, no. 4. Atti del Meet ing <Bridle deformation analysis In Neotectonics> Firenze, 17 aprile 1986.
- Christ iansen, L.B., Hurwitz, S., Saar, M.O, Ingebritsen, S.E., Hsieh, P.A., 2005. Seasonal seismicit y at western United States volcanic centers, Earth and Planetary Science Letters v. 240, p. 307–321.
- Dolitsky, A. and Sergeyeva, A., 2002. Global stress of the Earth, its variations and predict ion of the earthquakes. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 25, p. 22-29.
- Gruppo di Lavoro CPTI, 2004. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04). INGV, Bologna. http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/
- Goult y, N.R., 1979. Tidal triggering of deep moonquakes. Physics of the Earth and Planetary Interiors, vol. 19, Issue 1, p. 52-58.
- Heki, K., 2003. Snow load and seasonal variat ion of earthquake occurrence in Japan. Earth and Planetary Science Letters, no. 207, p. 159-164

- Ko lvankar, V.G., 2007. RF emissions, types of earthquake precursors: Possibly caused by the planetary alignments. Jour. Ind. Geophys. Union, v. 11, p. 157-170.
- Kokus, M., 2006. Earthquakes on the Parkfield segment of the San Andreas Fault and lunar phase, Proceedings of the Natural Philosophy Alliance, 12th Annual Conference, U of Connect icut, Storrs, 23-27 May 2005.
- Murakami, M. and Miyazaki, S., 2001. Periodicit y of strain accumulat ion detected by permanent GPS array: possible relationship to seasonalit y of major earthquakes occurrence. Geophys. Res. Lett., vol. 28 p. 2983-2986.
- Nadeau, R. M. and McEvilly, T.V., 2004. Periodic pulsing of characterist ic microearthquakes on the San Andreas Fault. Science, v. 303, no. 5655, p. 220-222.
- Ohtake, M. and Nakahara, H., 1999. Seasonalit y of great earthquake occurrence at the northwestern margin o f the Philippine Sea Plate. Pure Appl. Geophys, v. 155, p. 689-700.
- Petrucci, F., Careggio, M. and Conti, A., 1996. Dinamica dei versant i e della pianura della Provincia di Parma. L'Ateneo Parmense, Acta Naturalia, v. 32, p. 1-39.
- Shlien, S., 1972. Earthquake-Tide Correlat ion. Geophysical Journal of the Ro yal Astronomical Society, v. 28, p. 27–34.
- Straser, V., 2008a. Planetary perturbations and 'Twin Earthquakes': a model for the long-term prediction of earthquakes. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 46, p. 35-50.
- Straser, V., 2008b. 300-day seismic cycles in the southern segment of the San Andreas fault, California. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 49, p. 30-53.
- Straser, V., 2012. Can IMF and the electromagnet ic coupling between the Sun and the Earth cause potentially destructive earthquakes? New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 65, p. 27-34.
- Venkatanathan, N., Rajeshwara, Rao, N., Sharma, K.K. and Periakali, P., 2005. Planetary Configuration: Implicat ion for Earthquake Prediction and Occurrence in Southern Peninsular India. Jour. Ind. Geophys. Union, v. 9, no. 4, p. 263-276.
- Zanzucchi, G., 1980. Lineament i geo logici dell'Appennino parmense. Note illustrative alla Carta e sezioni geo logiche della Provincia di Parma e Zone limitrofe (1:100.000). In: Volume dedicato a S.Venzo, Step Parma, p. 201-233.

# 財政的支援について FINANCIAL SUPPORT

この NCGT Journal は公開オンライン雑誌で,すべての 個人や組織が無料で入手することができる.これは,増 大する雑誌発行経費を賄うために,私たちは読者からの 善意の寄付と広告収入に頼らなければならないことを意 味する.私たちはみなさまがたの寛大な財政支援を歓迎 する.

私たちは,希望に応じてごく限られた数の印刷版をつ くっている.オーストラリアでのたいへん高額な印刷費 のために,読者のみなさまには電子版をダウンロードし て個人で印刷されることをお勧めしたい.2013年の印 刷版購読料は,オーストラリアの購読者ではAS\$150/年, 他の国々の購読者ではU\$180/年(航空郵便料金を含む) である.

自作広告の料金:裏表紙の全面広告でUS\$400/号, US\$1500/年(4号)である.それ以外の位置の場合は, US\$300/号,US\$1100/年(4号)となる.半ページ広告は, 全ページ料金の80%である.詳細は editor@ncgt.org.へ.

## ■ 支払方法

もしあなたが PayPal 口座をお持ちであれば,下記口座 へ送金されたい (PayPal は,クレジットカード Visa・ MasterCard での支払いも可能で,みなさまがたにこの 方法 [http://paypal.com/cgi-bin/] の利用をお勧めする). 口座名 :New Concepts in Global Tectonics E-mail: ncgt@ozemail.com.au (editor@ncgt.org ではない)

■ 銀行振替あるいは個人小切手でお支払いの場合は 宛名 :New Concepts in Global Tectonics 郵送先 : 6 Mann Place, Higgins, ACT2615, Australia

■ 現金で銀行送金する際の銀行口座の詳細 銀 行 名 :Commonwealth Bank (Swift Code: CTBAAU25), Belconnen Mall ACT Branch (BSB 06 2913) 口座番号 :06 2913 10524718 口座名義 :New Concepts in Global Tectonics

# NCGT ジャーナルについて ABOUT THE NCGT JOURNAL

New Concepts in Global Tectonics ニュースレターは, NCGT ジャーナルの前身誌で,1996 年 8 月に北京で開 催された第 30 回万国地質学会シンポジウム "Alternative Theories to Plate Tectonics" の際の討論にもとづいて生 まれた. その名称は,1989 年のワシントンにおける第 28 回万国地質学会に連携してワシントンのスミソニア ン研究所で開催されたより早期のシンポジウムにちなん でいる.

#### 目的は次の事項を含む:

1. 組織的照準を、プレートテクトニクスの観点に即座に

は適合しない創造的な考え方にあわせる.

- 2. そのような研究成果の転載および出版を基礎とする. とくに検閲と差別の行われてきた領域において.
- 3. 既存の通信網では疎外されているそのような考え方や 研究成果に関する討論のためのフォーラム. それは, 地球自転の効果や惑星・銀河の影響,地球発達に関す る主要学説,リニアメント,地震の研究と予知,造構 的・生物的変遷の主要ステージ,などの視点から,た いへん広い分野をカバーするべきものである.
- 4.シンポジウム,集会,および会議の組織.
- 5. 検閲, 差別および犠牲があった場合の広報と援助.

国際雑誌 グローバルテクトニクスの新	「概念				
NCGT International Journal for New Concepts in Glob [英語版 Vol. 1. No. 1 <http: www.ncgt.org=""></http:> から翻訳]	al Tectonics				
<ul> <li>日本語版 Vol 1, No. 1-2 (2013 年 7 月)</li> <li>■ Print edition ISSN 2186-9693</li> <li>■ Online edition <a href="http://kei.kg"></a></li></ul>	/ライン版をご覧ください j.yamagata-u.ac.jp/ncgt/>				
編集長: Dong CHOI, 編集委員: Ismail BHAT com); Peter JAMES, Australia (glopmaker75@H GREGORI, Italy (giovanni.gregori@idac.rm.cnr.it (ms_leo@hotmail.com); Cliff OLLIER, Australia (d Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); Da (dp@daividpratt.info); N. Christian SMOOT, USA (cl com); Karsten STORETVEDT, Norway (Karster VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru); Takao YANO	F, India (bhatmi@hotmail. notmail.com); Giovanni ), Leo MASLOV, Russia cliff.ollier@uwa.edu.au); vid PRATT, Netherlands hristiansmoot532@gmail. n@gfi.uib.no); Boris I. (yano@rs.tottori-u.ac.jp)				
<ul> <li>■ 編集者から</li> <li>■ 編集者への手紙</li> <li>[小松宏<sup>t</sup>]</li> </ul>	【小松宏昭 訳】・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・				
■原著論文					
Rockall Plateau/Maury Seachannel interacton N. Christian SMOOT ロッカール海台 / モーリー海底峡谷の相互作用	「柴 正博 訳] 12				
54/56 year cycle: World megaquake clustering David MCMINN					
54/56 年周期:巨大地震の世界的群発 Microseisms and spreading of deformation waves around the globe	[矢野孝雄 訳] 17				
Pavel KALENDA, K. HOLUB, J. RUSAJOVA and L. NEUN	IANN				
脈動と地球周辺の変角振動波 [角田史雄・矢野孝雄 訳] 22 The Christmas earthquakes: seasonal seismic recurrences near Parma, north-western Apennines, Italy?					
Valentino STRASER クリスマス地震:パルマ近郊での季節地震の反復,北西アペニン,イタリア ■財政的支援について/ニュースレターについて	[岩本広志 訳]				
■ 総説					
Palaeomagnetism, plate motion and polar wander David PRATT 古地磁気,プレート運動,および極移動 [山内靖喜・小坂共栄・小泉 潔・久保田喜裕	吟・矢野孝雄 訳〕・・・・・・・・・・・・・・・・・・42				
Origin of the Pacific ring of fire Takao YANO 太平洋の「火の輪」の起源	「矢野孝雄 訳] 107				
Further discussion of Nina Pavlenkova paper Karsten STORETVEDT					
N. Pavlenkova の地球造構命題に関するさらなる議論 ■ 出版物	[矢野孝雄 訳] 111 [窪田安灯 訳] 116				
	[矢野 孝雄 訳] 119				
<ul> <li>連絡・通信や投稿原稿には、次の方法をご利用下さい:NEW CONCEPTS IN GLOBAL TCTONICS</li> <li>1) Eメール:editor@ncgt.org, ncgt@ozemail.com.au, または ncgt@hotmail.com; 1 ファイルは 10 MB以下, 1 イルは ncgt@hotmail.com へ. 2) ファックス(少量の通信):+61-2-6254 4409, 3) 郵便・速達航空便な ACT 2615, Australia (ファイルは MS Word フォーマット, 図面は jpg, bmp, tiff フォーマット), 4) 電話 放棄 [DISCLAIMER] この雑誌に掲載された意見,観察およびアイデアは投稿者に責任があり,当然のこ 編集委員会の責任ではありません.</li> <li>NCGT JOURNAL 公開され,査読された季刊国際オンラインジャーナルで,3月,6月,9月,12月に表示</li> </ul>	10 MBを超えるファイルファ など:6 Mann Place, Higgins, 話:+61-2-6254 4409. とながら,NCGT の編集者と 発行されます.				
日本語版発行: New Concepts in Global Tectonics Group 日	本グループ				
連絡先 〒 680-8551 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学地域学部地域環境学科 矢野孝雄 Phone/Fax 0857-31-5113 EM yano@rs.tottori-u.ac.jp					
翻訳・編集:NCGT ジャーナル 翻訳グループ					
赤松 陽 岩本広志 川辺孝幸 国末彰司 窪田安打 久保田喜裕 小泉 潔 小坂共栄					
小松宏昭 佐々木拓郎 柴 正博 角田史雄 宮川武史 宮城晴耕 山内靖喜	・輝子 矢野孝雄				

# 総説 **REVIEW PAPER**

# 古地磁気,プレート運動,および極移動 PALAEOMAGNETISM, PLATE MOTION AND POLAR WANDER

**David PRATT** dp@davidpratt.info

(山内靖喜・小坂共栄・小泉 潔・久保田 喜裕・矢野 孝雄 [訳])

要旨:本論では古地磁気データに関連した仮定、不確実さと問題点及びそれらの解釈を検査し、プレート運動と極移 動の関連した理論を吟味する.古地磁気データに基づいた理論はしばしば地質学と地球物理学の証拠によって否定さ れている. このことは、古地磁気データが地球の地理学的極の過去の位置についての信頼できる導きでないことを示 唆している. さらに、少なくとも後期原生代以降の古気候と古生物のデータは、大陸と極の安定性に合致している. キーワード:古地磁気、プレート運動復元、極移動、海洋底年代、大陸の根、古気候、サージテクトニクス、横ずれテクトニクス

# 地磁気と古地磁気 (Geomagnetism and palaeomagnetism)

#### 地球の磁場 (Earth's magnetic field)

地球の北と南の磁気の伏角極 (dip pole)<sup>\*1</sup>- コンパスの 針が鉛直方向を指す地球表面の場所-は現在85.9°N, 147°Wと64.4°S, 137.1°Eとにある。従って、それら は地球上の正反対側にはない.地球磁場の約90%-主要 磁場―は地球の中心に位置する仮想双極子磁石によって 作られるであろう磁場に一致している.しかし、その軸 は地球の自転軸から約10°ずれている. 双極子軸が地表 と交差する2つの位置は北と南の地磁気極として知られ ている.近年,双極子磁場は地理学的極の周りを西に向 かって約0.08°/年の平均速度で動いており、他方、非 双極子磁場は0.18°/年のより速い平均速度で動いてい

る (McElhinny & McFadden, 2000). 図 1.1 は、南北の 磁気極(非双極子磁場)と地磁気極(双極子磁場)の位置 と1900年以降のそれらの動きを示している. 図1.2は 過去 2000 年間の北地磁気極の位置を示している.

\*1:図1.3右下部で等偏角線が集中している位置をいう.(訳 者注)

地磁気の磁場は地球表面の各地点においてその強さと方 向によって明確に示される. その方向を示すのに必要な 2つの用語がある.つまり、一つは偏角(地磁気の北--コンパスの北の針が指す)と真の北の間の角度,二つ目 は磁気的伏角(それぞれの地点でのコンパスの針と水平 面がなす角度)である.

地球は一律に磁化した球とは大きく違っている. このこ





図 1.2. 過去 2000 年間の地磁気北極の位置. 各データ地点の黒 丸は 100 年間の平均地磁気極である. 数字は西暦で示した年代. 900 年, 1300 年及び 1700 年の地磁気極を取り巻く円は 95% 信頼範囲である. 過去 2000 年間の平均地磁気極の位置は四角で, その 95% 信頼範囲を打点部で示した. (Butler, 2004, 図 1.9)

とは、コンパスの針はめったに最も近い磁極の方向を指 さないことを意味している.例えば、北磁極方向に旅 行するため、モスコーから出発した人は北から 0.5° 東 に向かう必要があるが、他方コンパスは北から 10.4° 束 を指している (www.ngdc.noaa.gov; www.movable-type. co.uk).最後には、コンパスは旅行者を北磁極に導くが、 それは最短のルートではない.同じように、磁気的伏角 はまれに磁気緯度と正確に一致する.図 1.3 と 1.4 は偏 角と伏角の最近の地球規模での違いを示している.現在 の地磁気磁場は完全な地心軸双極子<sup>\*2</sup>(GAD) とは明らか に大きくずれている.

\*2: 地球の中心にあり,自転軸と一致した軸をもつと仮想された 双極子.地心双極子ともいう.地球磁場の約90%がこれによっ てつくられるであろう磁場と一致する.(訳者注)

Tauxe (2013) によれば,地磁気磁場を記載する私たちの 能力は "その起源の理解をはるかに超えている".その 磁場は主に地球の液体的外核中での電気伝導性流体の運 動によってつくられていることは一般的な考えであり, 外核は自立した磁性流体力学のダイナモ(発電機)を創





図 1.5. (a) 過去 500 万年 間の緯度毎の古地磁気の 磁力. 平均古磁力結果(◇ 印)は緯度15°区間につい て 95% 信頼範囲をもって 計算された. 南半球のデー タは北半球へ移した. 黒線 は 2005 年国際標準地球磁 場モデル係数によって定 義されている今日の磁場 に関する平均磁力を表して おり,他方,赤色の点線は 30µT(マイクロテスラ)の 双極子をもつ地心軸双極子 に関連した強度を示す.(b) 理論上の外核での流れ図.

造する. 磁場全体のその他の源は,イオン化した上部大 気圏中を流れている電流,地殻中流れている電流及び磁 化した地殻岩石である.公式的理論によれば平均的地磁 気の磁場強度は緯度とともに増加(ほぼ二倍)しなけれ ばならないが,しかし入手されたデータによればそれは 65°上で弱まっている(図 1.5).

#### 古地磁気の仮定 (Palaeomagnetic assumptions)

古い時代の岩石と堆積物中の含鉄鉱物の化石磁性の研究 から,検討中の試料の位置と関連して仮想磁極を決定す ることができる.平均が一般的変差に落ち着くのに充分 なだけの多数の仮想磁極の平均は古地磁気極として知ら れている.それは過去の地理学的(自転の)極に対応す ると仮定されている.特定の大陸の古地磁気極の位置を 地図上に記入したら,採集された岩石単位の年代が古く なるほどそれらは回転軸から離れるように移動する傾向 がある.もし古地磁気データが信頼できるもので,基礎 をなす仮定が妥当であれば,極が固定され続けているに もかかわらず問題の大陸が移動していることを,あるい は大陸は固定しているが磁極か地理学的極が移動してい るか,あるいは両者の組み合わせをこれは意味している に違いない

いろいろな大陸がいろいろな極移動の軌跡をもたらして いるので(例えば、ヨーロッパの古生代と中生代の岩石 から求められた極は、北アメリカの対応する岩石から求 められた極とは系統的に東方に変位している)、地球の 表面上を移動したのは磁極や地理学的極ではなく主に大 陸であると1950年代の多くの古地磁気学者は結論した. 現在の全体的な合意では、ある程度の真の極移動もあっ たとされている - 例えば、地球全体(あるいは少なくと もその外殻)に関連した回転軸の移動である.古地磁気 極は古緯度を求めるのに使われているが、古経度は古磁 極だけからは決められない.

Alfred Wegener (1912, 1929)の理論は、大陸 (シアル すなわち珪素とアルミニュームからなる)はより重い海 洋地殻 (シマすなわち珪素とマグネシウムからなる)の 中をゆっくりと進むというものであるが,新しいリソ スフェアーが"拡大している海嶺"でつくられて,"沈 込み帯"で消費尽くされており,動いているリソスフェ アープレートが大陸を一緒に運んでいることは現在のプ レートテクトニクスの前提である.見かけ極移動軌跡 (APWPs) は鋭い曲がり角あるいは"突端"でつながれた 長く,緩やかな曲線からなる傾向にある.曲線状の軌跡 は一定のプレート運動の時期に一致すると仮定されてお り,一方では突端はプレート運動における急激な変化("プ レート再編成")に対応すると仮定される.2つの相対的 運動はオイラー回転極 (Euler rotation pole)の周りでの 回転によって表すことができる.いろいろな軌跡はいろ いろな極の周りでのプレート回転を表すと言う.

従って、古地磁気データの慣習的な解釈は2つの基本的 な仮定に基づいている.すなわち、①岩石が形成された とき、それらはその時、その場に存在した地磁気磁場の 方向に磁化され、獲得された磁性は地質時代を通して少 なくとも部分的に岩石中に保持される、②210万年規模 のいかなる時代(磁帯磁期を除く)の平均された地磁気 磁場は地球の自転軸に沿うような双極子場である、とい う2つの仮定である.この2つの仮定は問題である.事 実、古地磁気は不確実さに苦しめられている.Merrill et al. (1996, p.69) は次のように述べている.

岩石形成時に,岩石は周囲を取り巻く磁場(地球磁場と 一般に推定されている)に平行に磁化を獲得するが,こ れは初生磁化とよばれている.その後,この初生磁化は その岩石形成時の磁場の方向と強さについての情報を与 える.しかしながら,不注意なものを待ち受けている無 数の落とし穴がある.第一に,二次磁化(形成後に獲得 した)から初生磁化のより分けにおいて,第二に,初生 磁化の特質を地球の磁場の特質に外挿するときである.

今や再磁化は一般的な現象として受け入れられており, とくに堆積岩においてそうであり,この問題は岩石の年 代とともに増加する.もう一つの複雑に入り組んだ要因 は、過去のどんな特定の時代における地磁気の場が正極 性か逆極性(すなわち、どの方向が北か南か)かは常に 確かであるとは限らないことである.このことは、とく に古生代前期と先カンブリア代の岩石に関して問題であ る.岩石磁気はまた風化作用,熱効果,変成作用,化学 変化及び構造変形による変更を受けやすい.伏角が浅く なること(堆積物の圧密による)と、鉛直と水平でのブ ロック回転及びその他の地殻運動は、誤差の潜在的な原 因とみなされている(Butler, 2004).磁気歪み—作用し た応力によって磁化の方向が変わること—もそうである (Graham etal., 1957; Jeffereys, 1976).

どんな特別な時代でも地磁気の磁場は地心軸双極子 (GAD)から著しくそれているけれども、磁場の長期間に わたる変動(たとえば、西方への移動)は時間で平均さ れた磁場が地心軸双極子に非常に近似するであろうこと を意味する、と古地磁気研究者は論じている.この仮定 は古地磁気学において基本的である.一般的な観点は、 過去 500 万年間の時間平均の磁場はほぼ地心軸双極子で あり、それは全磁場の約2~6%を表す補助的な地心軸 四極子 (quadrapole)<sup>33</sup>と全磁場の最高 5%までを表す持 続的帯状の八極子 (octupole)を伴う (Basse & Courtillot, 2002; Domeier et al., 2012).これらの非双極子磁場は たいていは帯状であったと考えられており(すなわち, 自転軸の周りで対称である),約5°の古緯度の誤差をも たらすと見積もられている(Van der Voo, 1998).

\*3:四極子:モーメントが等しい2つの双極子が逆向きに並列 した単極子の配列をいう.同じく,八極子は4つの双極子が立 方体状に配列しているような単極子の分布をいう.(訳者注)

試料採集地点からみたとき,古地磁気極は双極子の右側 に向かって位置するという持続的な傾向がある. Gordon (1987)は、このことは採集によるゆがみと組み合わさっ た極移動によるかも知れないと指摘した.同じく,浅 い伏角は古地磁気の伏角の頻度分布における表現のし すぎの傾向がある (Andrews, 1985; Kent & Smethurst, 1998). Kent & Smethurst は, 堆積岩における伏角の平 坦化は本源的な原因ではなく、先カンブリア代と古生代 の古地磁気の磁場が強い帯状の四極子と八極子の成分 (それぞれ 10% と 25% と見積もられている)を含んでい たのであろうと論じている. この考え方では、古緯度は 中緯度において最大約 15° 低く見積もられる.地心軸双 極子モデルで計算された古緯度は真の古緯度とは最大で 18°違うことがありうるし、2つの同時代の古地磁気の 位置間の相対的な古緯度差には 30° 以上の誤差がありう ると Van der Voo(1998) は述べている.

Tauxe (2013, 16.8) は次のように述べている. "逆転頻度 における訳の判らない変化はさておいて,磁場が古代に は大いに違った方法で作用したという有無を言わせない 証拠はまったくない." 例えば, 125~84Maの時代 (白亜紀正磁極スーパークロン)において,磁場は4000 万年間主に単一の極性であったが,最後の500万年間に



図 1.6. 過去 500 万年間の古地磁気極 (●) と現在の磁極 (★) (http://web.ics.purdue.edu)

おける平均的逆転頻度は 4.0/100 万年である (Briggin et al., 2008).

すでに述べたように、地球の磁気軸は今のところ自転軸 に対して約 10° 傾いている.木星の磁場も同じ量だけ傾 いている.外惑星のいくつかについてもっと大きな傾き が見つかっている.すなわち,海王星の場合 47°,天王 星の場合 60° である (Russell & Dougherty, 2010).地球 の磁極も、過去において地理学的極から相当にはずれた 可能性がある.その上、もし過去の地質時代において現 在の東アジア異常と同じ強さ (あるいは僅かにより大き な強さ)の安定した磁気異常があったならば、地心軸双 極子仮説を無価値にする (図 1.7 参照).

過去において仮定された地心軸双極子が地球の自転軸と 一直線であったかどうかを調べるため、古緯度を別々に 求めることが要求され、古気候の指示物が最も有効であ ると考えられている (Butler, 2004). 古生物学的データ の他にいくつかの主要な古気候の指示物が大陸と極の大 規模な移動を除いた地球モデルと充分に合していること を私たちは後ほどみるであろう.

# 古磁極の信頼性と分散 (Palaeopole reliability and scatter)

1925年以来10,000個以上の古地磁気の磁極が出版されてきた. IAGA 全地球古地磁気データベースにはノルウエー地質調査所のウエブサイト www.ngu. no/geodynamics/gpmdb で自由にアクセスできる. 古地磁気の文献は不一致で充満しているといわれている (Storetvedt, 1997, p.79). Tauxe (2013, 16.2) によれば, "公表されたデータから有意義な極を見分けることは古地磁気学の芸術の一部である".他の芸術形式と同様に, それは高度の主観性をともなう.





信頼できるとされた磁極決定の研究に基づいて, Rezanov (1968, p.772) は次のように述べている. "任意 のある地域に関しての古地磁気測定数が増えれば増える ほど、まったく同一の大陸において、またはまったく同 一の地域においてさえ,ある特定の時代の岩石から求め られた古地磁気極の分散は広がる. "いかなる地質時代 でも、磁極の最小分散は 5,000 ~ 6,000km であり、石 炭紀より古い地質時代における分散は 10,000km である ことを彼は見つけた. 複数個のかなり大きな地塊が同じ 時代に同じ場所に存在することを古地磁気データはとき には意味する、たとえば、中期白亜紀のアゼルバイジャ ンと日本である.彼は以下のような結論をだした."古地 磁気データは未だとてもあてにならないし、矛盾してい るので、大陸あるいはその一部の相対的な移動の仮説の 賛成あるいは反対のどちらの証拠としても使うことはで きない "(p.775).

シベリア台地のオルドビス紀の古地磁気極の間の 6,000~9,000kmの食い違いが再磁化によることを, Rezanov は指摘した. "もし, 90°の違いがシベリアの場 合には誤差によるものと信じられるならば、オーストラ リアの場合には同じ違いが石炭紀初期の大陸の膨大な再 配置および新生代での再度の再配置の証拠としてなぜ取 り上げられなければならないのか?"と彼は質問してい る (p.773). N.A. Khramov はヨーロッパとシベリアのオ ルドビス紀の磁極の違いをシベリア台地、あるいはロシ ア台地とウラル山脈に関係したその一部の相対的な移動 に因るものとした. 辻褄を合わせるために、シベリアの 一部の回転と移動をペルム紀以後にも仮定したが、しか しシベリアの大半はペルム紀までにはすでに固結してお り、さもなければ"現実を見る目を故意に閉ざすことを 意味している "と信じられると Rezanov は指摘した.大 陸やその一部のすさまじい水平移動や回転を結論づける 前に,古地磁気の不一致の原因が研究されるべきである, と彼は力説した.

Rezanov と同様に, Meyerhoff(1970a)は, 特定の時代 についての平均化された極位置よりむしろ個々の古地磁 気極の位置を地図上にプロットしたならば、単一の地点 や地質区からのデータでさえその分散は典型的に大変大 きく, 更新世と完新世に関してさえ誤差の円は大西洋よ り広いという事実を強調した. その結果, 古地磁気デー タは大陸移動あるいは極移動のどちらの証明にも使えな くなった. Northrop & Meyerhoff(1963) は次のような 指摘をしている.もし、特定の時代の特定の大陸のすべ ての古磁極を平均化することによる見かけ上の極移動軌 跡をつくる替わりに、さまざまな地域に関するさまざま な見かけ極移動軌跡が決められたならば、結果として求 められた曲線は地質学的に隣接する区域の移動し、回転 した別の部分によって一致させることができるだけであ り、信じやすさを乱用するように要求される回転は大変 複雑で、風変わりになる.

古地磁気学は"どちらかといえば不正確な道具"であ り、"正確な復元を行うためには使うことができない", と Barron et al. (1978) は考えた.彼等は以下のように述 べている."古地磁気極決定の誤差は、とくに個々の地 層の結果に関して、経度の不確定性原理すら考慮しない で 1,000 ~ 1,600km 程度の転移を意味することができ る"(p.437).地質時代の同じ「紀」の間の同じ大陸から の個々の古地磁気の位置の誤差が最大 16°にも達するこ とが一般的である.その上、アイスランドの東部と西部 での磁極の位置は 14.3° ずれており、これらのデータの 厳密な解釈は"途方もない量の回転"を必要とするであ ろうと、彼等は述べている.これらの結果が一般的にど のようにしても異常な古地磁気の結果にあることを信ず る理由はなにもないと彼等はつけ加えている.

古地磁気学のデータベースを信用しないのはあまりにも 安易すぎる,と Tarling (1982a) は述べている.不確実 さは広大であり,主観的な評価を必要とする. "不幸なこ とに", "分散したデータは点検され,以前の観測に近い



図 1.8. 北方系大陸におけるペルム紀古地磁気極の位置図. 信頼 性の最小基準を満たしていない極も示している (Meyerhoff & Harding, 1971 の図 1).



図 1.9. 楯状地の単一地域おける原生代~トリアス紀末の古地磁 気極の位置図. これは一事例や "例外 " ではない (Meyerhoff & Harding, 1971の図 3).

奇妙な点が公表され,残りは公表されるとしても入手で きにくい論文の付録中に示されるという行動様式がとら れる " と彼は述べている.

Van der Voo (1990) は、古地磁気データの信頼度を測る ための7つの基準を提案している.もし、古磁極が次の 基準をすべて満足した場合には最高点 (Q=7) が与えられ る. ①適切に求められた岩石年代;②充分な数の試料; ③十分な実験装置の消磁;④野外調査で検証された磁化 年代; ⑤関係するクラトンあるいはブロックとの構造規 制と構造運動の一貫性;⑥逆転の存在;⑦古磁極が極移 動軌跡の若い部分の上に決して落ちない. Van der Voo は、7つの基準の多くがしばしば満たされないことを指 摘した. すなわち, ごく僅かの磁極しか7つの基準のす べてを満たしていない.多くの著者は Q>2の磁極を使っ ており、幾つかの Q=4 の結果は再磁化作用に因ることが 知られている.そして,最高点は,その結果がより低い 点の磁極より磁場のより良い指示物であるという保証で は全くない. 出版物のデータに従ってデータを単純に取 り除くことは不適当であるとも,彼は述べている.そし て、"1960年代に公表された幾つかの結果は今日でさえ

大変有効であり,この10年間に出されたその他の結果 は,例えば,その年代決定,構造的対比あるいは特徴的 な方位の決定において,不正確であることがすでに示さ れている "(p.1).

古地磁気学の研究の基本的な教義はつぎのことである, "古代の磁場の信頼できる指示物を考えるために,区別が つかない年代の複数の岩石のからの磁化は良くまとまっ た方位を作るであろう"(Cottrell & Tarduno, 2000). 矛 盾するデータあるいは,質の悪さのために,または再磁 化作用,伏角が浅くなる作用,構造運動による回転や変 形,非双極子磁場の成分などによって,理論的予想に当 てはまらないデータが取得されるのは必然的な傾向であ る.これらの問題のいくつかあるいはすべてが良く適合 するが,精選と主観性に関して大変大きな自由度をもつ 余地が広く残されている.

# プレートテクトニクス : 失敗した革命 (Plate tectonics : a failed revolution)

地球表層部の岩石中には、不規則な間隔で生じた過去の 磁極の変化が残されている. この古地磁気のデータが、 これまで 50 年以上にわたって地磁気タイムスケールと して使われ、海洋底拡大やプレートテクトニクス説の確 固たる証拠、消滅した超大陸が再集合した証拠、などと されてきた (Torsvik et al., 2012, p326).

大陸が大規模に漂移するというアイデアそのものは 200 年も昔からあったのだが,詳細な理論と言えるほどのも のが現れたのは,1912年の Alfred Wagener によるもの 以来である.Wagener は,そもそも大陸は Pangea と呼 ばれる超大陸として一つのものが存在していて,それが その後に分裂して漂移し始めたと考えた.彼は軽くて塑 性的な sial 的な大陸が,重力や自転力の影響のもとで, 重い海洋地殻の中へゆっくりと侵入していくと考えた. 彼のこの考えは,大論争を巻き起こし,多くの反対論に 立ち向かわざるを得なかった (Le Grant, 1998).

この大陸漂移説は、1950年代になると極移動や大陸の 移動を支持する古地磁気学という学問の出現によってふ たたび息を吹き返すことになる。1960年代初めになる と、海洋調査データから海洋底拡大というアイデアが導 かれ、その数年後にはそれに関係する考えがプレートテ クトニクスというモデルに統一される。1970年代初め 頃にはそれがグローバルテクトニクスの研究分野で正統 なものとされてゆく、Le Grand (1998, p.229)は、プレー トテクトニクスを、≪それまでに残されていた、ありと あらゆる抵抗するものをすべて破壊しつくしてしまう巨 人≫と表現している。今日でも、プレートテクトニクス 説は地球科学の世界では支配的な理論である。それにも かかわらず、それは基本的な点で重大な疑問を呼びこし ている (たとえば、Meyerhoff et al., 1996a; Stretvedt, 1997; Pratt, 2000, 2001).



図 2.1. (a) ~ (d) は 古 地 磁 気データに基づく大陸の復 元. (e) は 5 つの大陸の過去 200Ma 間の極の移動 (間隔 は 5Myr). (Tauxe, 2013 の 図 16.8).

海洋底の年代 (Age of the seafloor)

海洋底拡大説によれば,新しく誕生した海洋リソスフェ アは大洋の中央海嶺(互いに拡散する別々のプレート同 士の境界とされている)において,マントルから湧昇す る溶融体が冷却とともにそのリッジから拡散することに よって生産される,という.水平方向へ移動するプレー トは,海溝あるいは沈み込み帯と呼ばれる場所(収束プ レート境界)で再びマントルへ沈み込んでいくと考えら れている.

古地磁気学のデータによれば,現在のすべての大陸は 今から 250Ma 前,古生代 Permian 末までは巨大な超 大陸 Pangaea の一部をなしていた. Pangaea はその後 180Ma 前の中生代ジュラ紀になると分裂を始めた.そ の結果,海洋底の年代は これよりも古いものはないと考 えられている.ところが,この基本的な主張(図 2.5 参照) に対して,それを否定する数十にも達する事実が出てき たのである.

現在では、大西洋・太平洋・インド洋などで 180Maよ りも古い年代を示す岩石が多数発見されている (Vasiliev & Yano, 2007 ; Vasiliev & Choi, 2008 ; Yano et al., 2011 などの概説を参照のこと). これらの事実だけで も,大陸が地球表層部を数千マイルも移動するという古 地磁気データにもとづく空虚な漂移説を否定するのに十 分である. またそれらの事実は, 地球が 200Mys 前に は今よりも小さくて, 現在のような海洋は存在していな かったとする地球膨張論者〈earth expansionist〉にとっ ても致命的なことである. プレート論者たちは、このよ うな海洋域での古い年代の岩石の発見に対しては、その 場しのぎの反論のために実にさまざまな説明を持ち出 してきた. 例えば、それは氷河が運んだ迷子石である とか,船が捨てたバラストであるとかである (Heezen et al., 1959). また, リフティングの間にトランスフォーム 断層が原因となって拡大に取り残されたブロックである との考えも持ちだされた (例えば, Bonatti & Honnorez,

1971 ; Bonatti & Crane, 1982 ; Bonatti, 1990 ; Pilot et al., 1998). しかし、プレートテクトニクスの体系を根 本から否定するような発見という事実はことさらに、ま た全くといっていいほどに無視された. 例を上げれば、 Carlson et al. (2008) のテキストでは, 『海洋域のリソス フェアの年代は若い』とまるでマントラのように繰り返 し述べ、これに反する事実に対しては全く触れてもいな い. Tauxe (2013) の古地磁気学の最新のテキストでも, 読者に対して『最も古い海洋底の年代は, 180Ma であ る』と堂々と述べているのである.しかし、事実はこれ と全く異なっている. 大西洋中央海嶺とバーミューダ海 膨における DSDP Leg37 と 43 での掘削コアから,古生 代と原生代の火成岩が採取されている (Reynords & Clay, 1977 ; Houghton et al., 1979). Reynords & Clay (1977) は、 大西洋中央海嶺のクレスト付近で採取された岩石の 年代 (635 ± 102Ma) は、そこでの逆帯磁した地磁気か らして 10Ma より古い岩石は含まれているはずもないの で,年代値は誤りだとレポートしている.

Aumento & Loncarevic (1969) は、大西洋中央海嶺の北 緯 45° に位置する Bald mountain 西側でドレッジされ た84ケの岩石のうち74%は大陸起源タイプの岩石だ と報告し、「注目すべきことだ」としたが、それらは氷 河によって運ばれた岩石(漂礫)だとみなしてそれ以上 の注意を払わなかった. Bald mountain は約 80km<sup>3</sup>の 体積をもっており、それらをつくる岩石が氷河によって 陸から運ばれたり、船がそこに捨てたものと考えること は到底出来ない. それらの岩石は、年代的には 1,690~ 1.550Maまでの花こう岩~珪質変成岩などからなり、 785Maの年代の塩基性岩の貫入を受けているのである (Wanless et al., 1968). それらは 10Ma かそれよりももっ と若いと考えられていたのである. Kane fracture zone 付近の大西洋中央海嶺の下のはんれい岩の中から 330~ 1,600Ma という年代の zircon が見つかっている (Pilot et al., 1998).赤道のすぐ北の大西洋中央海嶺のクレスト付 近にある St Peter and Paul's Rocks の年代は 35Ma と予 想されていたが、Nelson et al. (1972) は、350、450Ma



図 2.2. 大西洋において大陸的で〈異 常に〉古い岩石の発見された地点. この地点は,プレートテクトニクス によって理論上表現されている年代 の上に重ねて示されている (Yano et al., 2009 の図 1)

の年代を示す岩石とともに 835Ma の年代を示すかんら ん岩を発見している.

現在の浅海域の堆積物の広がりや掘削データからみた岩 石の垂直方向の重なり方は,海洋底拡大説による考えと 矛盾している (Ruditch, 1990; Orlenok, 1986). 現在の 海洋は,中生代ジュラ紀以降に大規模な沈降を被ってい るが,それは海嶺から等距離で規則的に生じたと言うよ りはモザイク状に起こっている.海嶺軸から遠方のとこ ろほど若い堆積物が見られることもしばしばであり,地 域によって海域は変化に富んだ沈降や隆起を起こしたよ うに見える.

一般に基盤とみなされている玄武岩質層のさらに下に 古い堆積岩が存在するか否かを明らかにするためにも, もっと深部までの掘削が必要であろう.なぜなら,玄武 岩を覆うようにしてその上にみられる堆積物が玄武岩に よって焼かれている事実や,玄武岩に chilled margin が 見られる事実,堆積物と玄武岩が互層しているような事 実などがあるからである.また,堆積物が dike や shill などの貫入岩に貫かれている事実もある (Meyerhoff et al., 1992a; Choi, 2001).玄武岩は,実際はその下にあ る真の海洋基盤の上を覆って,その上に流れ出た溶融物 である.そのことは中央海嶺上で掘削された Site 10 で 明確に認められている.ここでの最深部の堆積物は白亜 紀(約 80Ma)のものである.玄武岩の sill(誤って基盤 とされているが)の fission track 年代は 15.9Ma である (Macdougall, 1971).

海洋底からの岩石の採取,掘削,震探などのデータ,古 流向や堆積物の後背地に関するデータ,海洋底から得ら れる植物や動物に関するデータなど,どれも今は水中に 没してはいるが,かつてはそこに大きな大陸地塊が存在 していたことを示している (Dickins et al., 1992; Dickins, 1994b; Choi et al., 1992; Choi, 1999, 2001).海域にみ られる準大陸的な地殻をもった島々や海台などは,より 大きなかつての陸の名残であり,そもそもの大陸地殻が さまざま過程で海洋地殻化したことを示している.



図 2.3. DSDP の Legs 1-54(1969 ~ 1980 年 の間)の掘削コアのデータにもとづく, East Pacific Rise のクレスト部分からの距離を横軸 にして示した岩石の年代.太平洋東部での海洋 底拡大にもとづく Leg 9 のデータが示されて いる.ドレッジ (Budinger & Enbysk, 1967; Ozima et al., 1968)された新生代~白亜紀の 岩石の年代は,海洋底拡大の考えで言われる拡 大軸からの距離と年代との間の直線的な関係が まやかしであることを示している.Shipboard Scientific Party は, Site 78 のデータがプレー トテクトニクス論に合わないためにそれを除外 している (Meyerhoff et al., 1992a の図 25).



海洋底拡大説が誤りであるなら、プレートの沈み込み説 も誤りということであり、そのことについては豊富な事 実がある. Benioff zone についての一つの見方は、それ を地球のかつての冷却によって形成された fracture とみ なすものである.

#### 海域の磁気異常 (Marine magnetic anomalies)

海洋地殻を,地質学的には新しい時代に大陸の大規模な 移動によって形成されたとするプレートテクトニクス は,海洋域の地磁気異常という事実一海嶺の両側での古 地磁気の強弱の縞模様は,グローバルな地磁気の反転に 対応した海洋底の拡大によって形成されたとみなすので あるが一に支えられてきた.しかし,地磁気異常の直線 図 2.4. 太平洋やインド洋でかつ て存在した陸地. それらには, 陸地が存在したことを示す十分 な証拠がすでに存在する. その アウトラインについてはまだ十 分に明らかではない. G1: セイ シェル地域, G2:Great Oyashio land, G3:Obruchev Rise, G4: Lemuria, S1:Ontong-Java Plateau, Magellan Seamounts, Mid-Pacific Mountains 地域, S2: Northeast Pacific, S3:Chatham Rise と Champell Plateau を 含 む Southeast Pacific 地 域, S4: Southwest Pacific, S5:South Tasman Rise を 含 む 地 域, S6: East Tasman Rise と Lord Howe Rise, S7:Northeast Indian Ocean, S8:Northwest Indian Ocean (Dickins, 1994bの図1).

的な縞模様は,地震活動の活発な中央海嶺の 70% の部分 に見られるにすぎない.そして,多くのプレートテクト ニクスの出版物中に描かれている対称的な地磁気異常の 縞模様は実際とはかけ離れたものである.海嶺軸にみら れる磁気異常の中で,軸に対称的な縞構造は全体の 50% 以下にすぎない.また,そのうちの 21% は海嶺軸に斜交 している. 直線状の磁気異常の縞模様が,海嶺の全く存 在しないところでも認められる.さらにそれらは,海洋 地殻物質だけに特有のものでもないのである (Meyerhoff, 1974b; Grant, 1980; Choi et al., 1990, 1992).

海洋での地磁気異常の起源を説明するための,最初の単 純な海洋底拡大モデルは,海洋掘削によって誤りである ことが明らかにされた (Hall & Ryall, 1977; Rebinson,





1979; Pratsch, 1986; Storetvedt, 2010). 磁気異常は, 当初は海洋地殻の上部 500m の部分に限定的に認められ るとされてきた. 深さによって異なる磁気強度,極位置 方向などは,磁気異常の起源が海洋地殻のより深いとこ ろに由来することを示唆している. また海嶺にそって存 在が予想さていた貫入岩がないことや,豊富な大陸性岩 石と動力変成岩の存在などは,海洋底拡大や地球膨張と いう考えに矛盾するものである.

上述のとおり,矛盾している多くの事例が存在する.磁 気異常のバンドが16地点では大陸の内部に向かってい るし,原生代ないしそれより若い岩石の下へ潜り込んで いる.それらは始生代楯状地の周辺に集中している.こ のことは,それらが一部原生代に形成され,その後に 再活動したものであることを示している (Meyerhoff & Meyerhoff, 1974b).

磁気異常や海洋底の年代が実際に測定された岩石の年代 と海嶺両側の磁気の縞模様や,異なる海域どうしの広域 的な対比は,定性的・主観的に行われるため極めて疑わ しいものである.実際,それらを極に対して動かすこと によって定量的に検証しようとの努力は何もなされてい ない. Reykjanes Ridge の磁気異常は,海嶺に平行する 対称的異常だとされた最初の事例だが,定量的で詳細な 検討の結果, Agocs et al. (1992) は海嶺両側の磁気異常 図 2.6. 太平洋西部の Jurrasic Quiet Zone における深海の deep-tow profile の主観的な対比 (Sager et al., 1998の 図 5: American Geophysical Union によ る転載許可済み)

の相関性は非常に小さいと結論づけた.ちなみに,軸方 向の相関係数は 0.31,直交する方向では 0.17 である. 一方,磁気異常と海底地形との間の相関係数は 0.42 で ある.この磁気異常はむしろ岩石中の断層に関係した 帯磁率の違いとして説明できるのである (Agocs et al., 1992; Choi et al., 1992; Storetvedt, 2010).海洋地域 の岩石の磁性に関する報告は,磁気異常の報告よりも もっと多数である (Luyendyk&Melson, 1967; Opdyke & Hekinian, 1967).

Side scan radar 画像は、中央海嶺が軸に平行で長い直 線状の割れ目や断層で切られる様を示している. このこ とは、海嶺部分ではその下の比較的浅い部分に軸に平行 して水平方向に延びるマグマチャネルーそこでは流動 的な溶岩が水平方向に動くのであるが一が存在するこ とを強く示している (Meyerhoff et al., 1992a, b). 磁気 異常は、この海嶺軸に平行する割れ目に関係しているの であるが、このような考えは異なった場所での異なった 時代、異なった方向の拡大軸の存在を仮定することを必 要としない. たとえば、Larson & Chase (1972) は、西 太平洋におけるさまざまな磁気異常パターンを5つの spreading center が二つの3重点で会合しているという 考えで説明した. これに対し、サージテクトニクスが主 張するように、磁気異常が1つの活動的 magma-channel によって形成されるものと考えれば、その場における内



図 2.7. 太平洋海盆における さまざまな磁気の線状模様 のセット.それらは過去のさ まざまな時期に活動したサー ジチャネルの上に生じたも のである (Meyerhoff et al., 1992bの図 21).

部流動するマグマパターンに調和的な磁気異常パターン が生ずるのである (図 2.7).

## プレート運動 (Plate motion)

プレートテクトニクス説によれば、地球の外殻ないしリ ソスフェア(地殻+最上部マントル)は13の主要なプ レートに分かれている. それらのプレートは 4,000 × 5,000km ないし 10,000 × 10,000km の大きさを有する とされる. それにつじつまの合わない古地磁気的な極を 説明するために 100 を超えるマイクロプレートないし外 来テレーンというものが次々と追加されてきた. 固いリ ソスフェアが、それに比べてやや柔らかくて熱い (低速 度の)アセノスフェア上を動くとされてきた. 海洋域の リソスフェアの厚さは平均約 70km, 大陸域では 125~ 250km と信じられてきた. アセノスフェアは海洋域で は約200kmの深さに達するといわれているのに対し, 大陸域での厚さやその深さについては様々に議論され てきた (Carlson et al., 2008). そもそも大陸域のリソス フェアの厚さは 150km を超えないものと考えられてき たのだが、地震波速度のデータや熱流量・重力について の研究によって、大陸の一部、たとえば Fenoscandian、 Siberian, Canadian, Australian, Antarctic shield などの古 い安定大陸などでは極めて大陸の根が深く存在している うえに、アセノスフェアが薄いか欠けてさえいる (たと えば, MacDonald, 1963; Jordan, 1975, 1978, 1988; Pollack & Chapman, 1977 ; Pavlenkova & Pavlenkova, 2006; Artemieva & Mooney, 2002 など). 地球内部の 3 次元的なイメージを提供してくれる地震トモグラフィ データは,大陸のある場所では,リソスフェアの厚さが 400km かそれ以上であることを明らかにした (Legendre et al., 2012; OReilly et al., 2009; Begg et al., 2009; Kustowski et al., 2008; Pristley & Mckenzie, 2006; Zhou et al., 2006; Conrad & Lithgow-Bertelloni, 2006; Shapiro et al., 2004; Hirth et al., 2000; Rundnick et al., 1998; Masters et al., 1996). 大陸の根の付近で地震波 速度が高くなっているのは,そこで地殻物質の化学的変 化や熱伝導性の低下などによる冷却が起きているためと 考えられている.



図 2.8. Canadian Shield のリソスフェアの厚さ (Shapiro et al., 2004 の図 5).





図 2.10. 地震トモグラフィーによる 3 つの大陸を横断する地殻断 面 (位置は上図). 左は SH 波によるもの. 右は SV 波によるもの. SH 断面では, 220km の深さまで連続的に高速度帯が伸びている ことが示されているが, SV 断面ではそれがみられない (Gung et al., 2003 の図 4).

このような結果は、それまでの地震学の観測手法とは違 う方法から得られたものであり、また異なったモデルか ら得られたものであるため、受け入れられていない.あ るプレート論者たちは、リソスフェアの最大の厚さを 200~250kmと限定的に見ている (Cung et al. 2003; Van Summeren et al., 2012; Yuan & Romanowicz, 2010). Cung et al. (2003) は、水平方向のS波 (SH)速 度構造から得られる大陸の根の深さは、鉛直方向のそ れ (SV) から得られる値より 100km 以上も深いという

ことに注目している (図 2.10). 彼らはこれを, 安定大 陸の深さ 250~400km では水平方向の S 波が, 垂直 方向のS波に比べて伝播速度が大きく異方性を持って いるためだとした.同じような異方性は、海洋域下の 80~250kmの深さのところでも見つかっている.彼ら は、大陸・海洋双方での地殻の異方性はアセノスフェア のグローバルな低速度帯に起因するとみなしている.彼 らはまた,ほとんどの大陸下 200~250km で認めら れる Lehmann discontinuity, 海洋下 60 ~ 80km に認 められる Gutenberg discontinuity について同意し、そ れらはアセノスフェアからリソスフェアへの遷移現象を 示しているとしている.しかし、この主張に対しては O'Reilly et al. (2009) が反論している. すなわち, 彼ら は大陸塊深部での高S波速度構造は単純な異方性によっ ては説明できず、クラトン的なリソスフェアと対流を起 こしているマントルとの境界を表すとされる Lehmann discontinuity が存在するという確かな証拠は何もないと 述べている.

アセノスフェアは均一的で連続的な層構造であるが,そ こから遠く離れた熱流量の高い地域でのみ不連続的なレ ンズ構造が認められる.地震波による研究は,上部マ ントルが強度(固さ)の異なる高い速度構造と低い速度 構造の層の繰り返しからなっていることを明らかにし た.この構造は,造構作用が活発な地域で特に顕著であ るが,古い楯状地の下でも認められる.アセノスフェア に伴ってその内部にみられる個々の低速度層は,さまざ まな地域,さまざまな深さで認められるが,それらは単 一で連続的なものではない.しかもそれらは,表層部の 地質学的性質や地殻構造・熱流量・ジオイド異常などに 強い関係性を持っている.また,上部ならびに下部マン トルの不均質性とも関係をもっている.このような表層



部と深部との関係性は、リソスフェアのプレートがマン トル深部の構造に関係して水平に移動するという考えに 反して、地質学的にも長期間にわたって安定的である (Pavlenkova, 1990, 1995, 1996).

表面波の平均的な観測結果では,アセノスフェアは海洋 地域の下に広く存在すると考えられている.しかし,こ こでアセノスフェアにレンズ状の構造のあることを思い 起こさなければならない.海洋域のマントル中にはいく つかの低速度帯が存在する.しかしこれが中央海嶺から の距離や深さの点で規則的であるとみなすことはできな い.さらに,中央海嶺との関係でみると,マントルの構 造は海洋底拡大のプロセスに反して,海嶺軸を境にして 非対称であり,ブロック状構造をなしている (Pavlenkova, 1990, 1996).

リソスフェアがプレート状だとする証拠があいまいなこ とと同様,プレート境界なるものもあいまいであり,存 在すらしていないものもある.たとえば,太平洋プレー トと北米プレート,ユーラシアプレート間の太平洋北西 部での境界や,北米プレート・南米プレートとカリブプ レートの境界,南米プレート・南極プレートと Scotian プレート境界 (Oard, 2000a) などのようにである.プレー ト境界は,当初はごく幅の狭いものと考えられていたが, 現在では数百キロメートルから 1,000km の幅までさま ざまである.拡大境界が占める面積は,今では全地球表 面の 15% を占めるまでになっている (Gordon & Stein, 1992).

地殻は定常的な動きを保っている.表面の形で見れば海水準の上8.8kmから下10.8kmまでの凹凸をなしている. マントル内の熱流や物質移動が地殻の厚さや組成・密度の変化をもたらしていることを示す豊富な証拠が存在す

図 2.11. 3つの深さに分けて示された大西洋の地下の地震トモグラフィーによるイメージ画像.赤-白色系の色は地震波が高速度であること,青-緑系の色は低速度を示す.数字のついた地点は,海洋性玄武岩のみられるところ.地震波の高速度帯のあるものは,大陸地域のそれと連続的であるが,中には海洋盆内に孤立して点在する高速度領域がある.(このような高速度領域は,太平洋地域でも不規則であるが集中的にみられる). O'Reilly et al. は,「このような高速度領域は,かつてそこに存在した大陸が海洋盆のリフティングの過程で分裂したり合体したりしたリソスフェアの残滓である」と述べている.



図 2.12 古い East European platform から, Urals, young Siberian platform, Siberian craton まで横断する震探断面. これは平和時の核爆発の際の 地震を利用したものである. Legend1:等速度線 (km/s), 2: 強い反射波が得られている地震 波境界, 3:低速度層, 4:高速 度領域, 5:高速度ブロック. こ の断面図は, Northern Eurasia の下には部分的に溶融している アセノスフェアが存在しないこ とを示している (Pavlenkova, 2012 の図 6).

る. そしてそれらがプレートの衝突や沈み込みなどを必 要とすることなく隆起や沈降などの現象を引き起こして いるのである (Pratt, 2000). 鉛直方向の変位量は, 山脈 地域での海成層の一般的な厚さが 10km, 時には 23km にも達している事実から見積もることができる (Bucher, 1933). 水平方向の移動に関してみる限り, 野外での事 実によれば、地殻をつくる層は数十キロ(数百キロで はない!)の衝上を引き起こし、それによる地殻の伸長 や短縮量は100kmを超える.ある横ずれ断層沿いでも 100kmを超える変位を起こしている.しかし、リソス フェアの厚さの変化が広域で起きていること、大陸の根 が深いこと、アセノスフェアが不連続的であること、プ レート境界のあるものが存在しないこと、表層部とマン トル深部との関係性等々を考えても、リソスフェアの断 片が、固い物体として100kmや1.000kmを超えて動 くことなど土台不可能なことである. それでもなお、プ レート論者たちは、彼らのプレート運動モデルが古地磁 気データや海洋磁気異常データ,重力異常データ 〈それ らがプレートテクトニクスモデルと矛盾しているにも拘 わらず〉によって支持されていると固く信じ込んでいる のである (Pratt, 2001).

# プレートテクトニクスによる復元 (Plate-tectonic reconstruction)

今日,地質学者と地球物理学者は,構造が特別なモデル を満足させるものについては何でも勝手に使って,部屋 いっぱいの家具のように地殻の一片を扱う傾向がある. あいにく,地殻が地質データと同じように物理法則に 従っているとすると,地殻はそれほど容易にコントロー ルすることはできない.その代わり,堅い地殻と最上部 マントルは,巨大な組み合わさったモザイク,リソスフェ ア ........を形成している.

リソスフェアモザイク内の物体が,垂直的にも水平的に も十分な距離を動くことを,我々は地質調査から分かっ ている.しかしながら,それぞれの厚さが 50 ~ 200km で,すべての方向に数 1,000km の広がりを持ち,測定 不能な重量を持つ巨大なリソスフェアプレートが地球表 面を自由に系統的に移動するという議論は,すべての物 理法則や一般常識に反している (Meyerhoff et al., 1996a, p.1-2).

#### 超大陸 (Supercontinents)

特に古地磁気データは、現在のほとんどの大陸ブロック が集合してできた少なくとも三つの超大陸が、地球史上 に存在したことを信じるようにプレートテクトニクス論 者を導いてきた.それらは、コロンビア・ロディニア・ パンゲアと名付けられた (Meert, 2012).それらの復元 は、いずれも、著しく多様である.

コロンビアの最終的な合体は約18億年前に起きたということになっており、そして約16億~12億年前に分

裂した (Zhao et al., 2004; Hou et al., 2008; Rogers & Santosh, 2002). さまざまなブロックが分離し回転し, そして 13 億~9 億年前に超大陸ロディニアを形成する ように再集合した. さらに, 7.5 億年前に分裂しはじめ, その過程でいくつかの断片が連結し, ゴンドワナ大陸 を形成した (Li et al., 2008; Evans, 2009; Dalziel et al., 2000).

パンゲア超大陸は3億~2.5億年前に形成されたとされ





~1.0 billion-year-old collisional belt



図 3.4. 復元されたロディニアの集合. Li et al. (2008)の図 9.





図 3.6. デボン紀のローラシア (ユーラメリカあるいは古 赤色大陸として知られている)(http://en.wikipedia.org). プ レート境界は赤で示されている. ローラシアが仮に Baltica と Avalonia に衝突した時 (4.3 億年以上前),現在のブリテン島と アイルランドの北半と南半部の間に作られた同時に起こるぴっ たりな組み合わせ方に注意.



図 3.7. 暗緑色の地域の古地磁気データに基づく前期オルドビス紀 (4.8億年前)のゴンドワナと周ゴンドワナテレイン. ATA=Amorican テレイン集合体;MBL=マリーバードランド;FI= フォークランド諸島;DML=Dronning Maud ランド;MAD=マダ ガスカル. (Torsvik et al., 2012の図 10)

図 3.5. ロディニアの復元図: Evans (2009) の図 11:(a) 集合直後 (10.7 億年前);(b) 分 裂直前 (7.80 億年前). 初期の分裂リフトマー ジン(赤)とトランスフォーム断層(黒)を 示す.

ている. Torsvik et al. (2012, p.340) によると、 'パンゲア はいくらかでも信頼できるモ デルをつくることのできる地 球史における唯一の超大陸で ある'. プレートテクトニクス 神話では、パンゲアの形成は 次のようなことを起こしてき た. 中期シルル紀 (4.3 億~ 4.2 億年前)に、クラトンの北米・ グリーンランド・エルズミー ア及び現在のヨーロッパの部 分(スコットランド・北西ア イルランドとスバールバル諸 島など)よりなるローレンシ アは、Baltica (北東ヨーロッ パ内部)と Avalonia (現在の 大ブリテン島と北米東岸より 構成される)に衝突され、カ レドニア造山運動を起こして いる. その結果, ローレンシ アはローラシアの西側の一部 になった.後期カンブリア紀 と前期オルドビス紀には、ゴ ンドワナは南極(北部アフリ カ)から赤道(オーストラリ ア) へ引かれた; 大きさはほ ぼ1億km<sup>2</sup>で地球表面の約 20% を占めた. 巨大なパンゲ アは、ゴンドワナ・ローレン シアとその間のテレインが衝 突し後期石炭紀に形成され, 西ヨーロッパにヘルシニア 造山運動を引き起こした.後 期ペルム紀から, シベリアが Baltica に加わり,他のヨー ロッパとアジアの要素ととも に,パンゲアと連結した北半 分がローラシアとなった. 最 初の大分裂は前期ジュラ紀に 中央大西洋の開裂とゴンドワ ナとローラシアの分離で生じ た.

移動速度は 10cm/ 年より大 きいことは稀であったとい われており,回転速度は普 通 4°/100 万年より小さかっ た (Torsvik et al., 2012).例 えば,カンブリア紀には,中 央アフリカは 10cm/ 年ある いはそれ以上の速度で南方へ 漂移し,2°/100 万年の速度 で反時計回りに回転したとい





図 3.11. ゴンドワナにおけるカンブリア紀〜石炭紀の 個々の古極点(北極):西アフリカ座標に回転投影.見 かけ上の極移動の最適経路が重ねて表示される.



図 3.12. (a) ゴンドワナにおける古生代の見かけ上の極移動経路は、シルル紀〜前期デボン紀のループを含んでいる; APWP のシルル紀から前期デボン紀の位置の'伝統的な'原文改竄が破線で示されている; 古地磁気 南極が、アフリカに固定された現在の地理的グリッドに記入されている. (b) ゴンドワナと北米のオルドビス 紀の古地理図. (c) 前期デボン紀の古地理図. (d) 後期デボン紀の古地理図. (Butler, 2004 の図 10・図 11)

われている. Baltica はカンブリア〜デボン紀に反時計回 りに 1° ~ 2°/100 万年 (5 億~ 4 億年で合計 160°まで) 回転した. デボン紀から,ゴンドワナは大きく時計回り に回転 (3.6 億年前に最大になった [4°/100 万年以上]) するとともに,北方へ漂移した.

古地磁気データ (Li et al., 1990) によると, オーストラリ アは前期オルドビス〜中期シルル紀の間に急激に時計回 りに 130°,前〜中期デボン紀には反時計回りに 30°,そ してさらに後期デボン紀に反時計回りに 15°回転した. この時代には,オーストラリアは低緯度の赤道地域に留 まっており,そしてこれが中期石炭紀に南方へ急激に移 動し続けた. Laing (1998) は,このシナリオは古地磁気 データがあまり役立たず地質学的にありそうにもないと ことと結論づけた.

パンゲアは 2.5 億年前には 1.6 億 km<sup>2</sup> の地域, あるいは 地球表面の 30% を占めていたといわれている. パンゲ アは '全陸地' を意味しているが, プレートテクトニク ス論者はそれがすべての大陸地殻を含んでいると信じて いる. 例えば, 南北中国ブロックはその一部ではなく, パンゲア集合体の前期ペルム紀段階には新テーチス海 が開き, Lut・Helmand・Qiangtang (北部チベット)や Sibumasu のような Cimmerian テレーンが, 北東ゴンド ワナ縁からはるか遠くに漂移した.

連結したゴンドワナ大陸についての公表された APW 経路には、大きな違いがあり、著者のデータ選択 / 拒否基準に大きく左右され、その形態やループにみられる大き

な多様性の原因となっている (図 3.10).

図 3.12 に示されている古地磁気に基づいた復元による と、ゴンドワナ大陸はおそらく前期デボン紀に北米と衝 突し、現在のニューヨークからニューファンドランドに かけて Acadian 造山運動を引き起こし、Avalon テレーン を北米 (そこは今はアパラチア山脈の一部)に移動させ ている.それからゴンドワナ大陸は南方へ再び移動し、 パンゲアの分裂の間に再び引き裂かれる前に、ついには 石炭 / ペルム紀に北米と再びドッキングした.Scotese & Barrett (1990) はオルドビス末期~前期シルル紀のゴン ドワナの北方への急激な移動を認めているが、続くデボ ン紀の南方への移動については認めていない.

# 海陸分布 (Distribution of land and sea)

現在の海陸分布を特徴づける顕著な規則性と上記の仮想 的超大陸の時代の間の非常に不均衡な海陸配置を比較す ることは興味深い.第一に,大陸は南方に頂点をもつ三 角形の形を持つ傾向がある.第二に,北極海はほぼ完全 に南方の三つの大陸に囲まれれている.それに対し,南 極の大陸塊は北方の三つの海に囲まれている.第三に, 海洋と大陸は正反対の位置に配列している一例えば,地 球の一地域に大陸があると,地球の反対側の対応する地 域に海洋がある傾向がある (Gregory, 1899; Bucher, 1933; Steers, 1950). 北極海は南極大陸の正反対の位 置にある;そして北米はインド洋の正反対の位置に;ヨー ロッパとアフリカは太平洋の中央部と対蹠的位置に; オーストラリアは北大西洋の小海盆の正反対の位置;



図 3.13. 対蹠的な海陸分布. 北半球における重複部の輪 郭が描かれている. (http:// nwhyte.livejournal.com)



図 3.14. 深度 250km での鉛直方向の地震波移動時間の遅れの分 布図. CUB2. 0 全地球トモグラフィーモデルから計算. 青色は 速い地域 (古代のクラトン)に相当し,赤色は遅い地域に相当す る (Poupinet & Shapiro, 2009の図 2).

そして南大西洋は一余り正確ではないが一アジアの東半部に対応する.地球表面のわずか 6% のみがこの規則性 に従わないだけである. Harrison et al. (1968) はこの配 列の確率を 14 分の 1 と計算した.

大陸と海洋の対蹠的配置は四面体一面が頂点の常に反 対側にある正多面体を想起させる (Umbgrove, 1947; Bucher, 1933). 仮想的な四面体が南極点の南極に一つ の頂点を持つ地球に設定すると,他の三つの頂点は北半 球の非常に古い始生代の岩体の三つの巨大なブロック: カナダ盾状地・フェノスカンジナビア盾状地とシベリア 盾状地が横たわっていることになる.そして三つの境界 は,大陸の三つのペア:南北アメリカ・ヨーロッパとア フリカを通る三つの子午線にほぼ相当する南極で途切れ ている.Umbgroveが指摘したように,大陸と海洋の対 蹠的で軸対象である '四面体' 的な配列は,単なる偶然 の一致として退けられない限り,極移動と大陸漂移両方 と相いれないものである.

Gregory (1899) は,後期古生代には四面体が北極に一つ の頂点を持っており,現在と反対になっていたと推測した.連続的な南の海洋地帯が大陸の三つの頂点を分離し ている代わりに,その時には三つの大きく離れた頂点に よって支持された南の大陸地帯があった:すなわち南米・ 南アフリカとオーストラリアである.一方,Meyerhoff (1995, p.172)は,海洋と大陸の対蹠的配置は,地球の 大陸が地球創成期の溶けた状態の時に現在の位置に到達 し,おそらく地球の自転に対して表面物質を回転安定性 に多少なりとも軸対称に分布するようにした反応と考え た.より多くのデータが蓄積し,大雑把には大陸と海洋 が対蹠的に分布することが,現在の大陸が海中に没し, 大陸塊が現在の海洋の部分に存在していた地質学的過去 に適応できるかどうかは興味あるところである.

# 古地磁気 対 地質 (Palaeomagnetism versus geology)

## パンゲアにともなう問題 (Problems with Pangaea)

図 4.1 は,パンゲアの 4 つの違った復元を示している. パンゲア A(あるいは A-1) は Smith & Hallam(1970) に よって拡大適用されたコンピュータでつくられた Bullard et al. (1965) のはめ絵 (水深 500 尋)である.ジュラ紀 の大西洋の開裂は,その出発点として広く受け入れられ ており,ヨーロッパと北米の古極点とよく一致すること で支持されている.しかしながら,大陸がこの方法で集 合していた時にローラシアとゴンドワナが提供している 石炭紀・ペルム紀と三畳紀の古極点の間で不一致があ る (Kent & May, 1987).不一致を最小限にするために, 代換案としてゴンドワナを北方の大陸に対して,パン ゲア A-2 では約 20° (Van der Voo & French, 1974) か らパンゲア B では 35° (Irving, 1977; Morel & Irving, 1981),さらにパンゲア C ではもっと大きく (Smith et al., 1981),時計回りに回転させている.

パンゲア A-2 のはめ絵では,南米の北西がメキシコ湾に きつく合わされている.メキシコの北部がなくなり,そ の隣の大陸ブロックとなっている (Yucatán, Cuba など). A タイプモデルの経度方向の制約では,パンゲアの復元 は西ゴンドワナとローラシア間の地殻の重複は 1,000km 以上にもなるだろう (Domeier et al., 2012). パンゲア B のはめ絵は,古地磁気による復元では経度 方向の特異性がないということは有利であり,北米東 部に隣接して南米北西部が位置する.ほとんどの大陸 の(前期)ペルム紀の極点がパンゲア B のはめ絵と一致 しているが,ヨーロッパのものとはまったく一致してい ない(Tauxe, 2013, 16.5). Morel & Irving は,パンゲ ア B が石炭紀末期~前期ペルム紀の間存在しており,後 期ペルム紀から三畳紀の間にゴンドワナはパンゲア A の 配置に対して反時計回りに回転したと提案した.これは ゴンドワナとローラシアの間に 3,500km 以上の右ズレ の巨大な剪断を必要とするが,そのような証拠はない (Domeier et al., 2012).

パンゲア C では、ゴンドワナはパンゲア B の位置に比べ てさらに東方に動かされた.そして大陸間の重なりを除 くと古地磁気データと一致させるようにゴンドワナを北 方に動かしている.パンゲア C はパンゲア B と同じ問 題を抱えている、しかしゴンドワナとローラシアの間の より大きなオフセットを悪化させている.パンゲア C が



図 4.1. パンゲアについての4つの復元図 (McElhinny & McFadden, 2000の図 7.10)

ペルム紀あるいは三畳紀にパンゲアAに変わったとす ると、6,000km以上の大きな剪断が必要になるだろう (Domeier et al., 2012). パンゲアBとCの復元は、ロー ラシアの影響力がある間、ゴンドワナを一時的に動かす ことによって古地磁気データと完全に一致させることが できる.

前述したプレートテクトニクスのシナリオは,後期三畳 紀にパンゲアAの配置に進化する初期の石炭紀とペルム 紀のパンゲアA-2の配置である.Domeier et al. (2012) はローラシアとゴンドワナからの後期古生代~前期中生 代の古地磁気データが,それを引き起こす代換手段の復 元あるいは非双極子磁場なしに,Eule 変数を精緻化した 最新の古地磁気データによってAタイプのパンゲアとよ りを戻すことができることを示し,そして理論的な伏角 減少補正 (inclination shallowing corrections)を適用して いる.

すべての他のパンゲアの復元は役にたたない課題であ る:それらは現在の海洋下の地殻が数十億年以上古く, 他にも多くの明白な欠陥を含んでいることを示すたくさ んの証拠を無視している. 例えば, Bullard et al. (1965) のはめ絵では、古生代と先カンブリア紀の大陸性岩石の 広大な分布地域がそこに存在するという事実があるに もかかわらず、中米の全体とメキシコ南部が除かれて いる. およそ 2,100,000km<sup>2</sup> のこの地域は, 少なくとも 20億年前のクラトン地域で、南米と重複している.西 インド諸島全体がまた除かれている.要するに、多くの カリブ海地域の下には古い大陸地殻が存在し、全地域は 300,000km<sup>2</sup>を含み,アフリカと重なり合っている;重 なり合いは東西方向に 1,500km にも広がっている. カー ボベルテ諸島―セネガル海盆にもまた,古い大陸性地 殻が下にあり,800,000km<sup>2</sup>のさらなる重なりをつくっ ている (Meyerhoff & Meyerhoff, 1974a; Meyerhoff & Hatten, 1974). 中米とカリブ海との重なりは, A-2 復 元ではなおさらダメである.いくつかの Bullard 後のモ デルは、メキシコ湾-メキシコ南西部に平行している位 置の大陸ブロックマヤ(ユカタン半島)とチョルティ(ホ



図 4.2. 古 地 理 の 復 元 図. Domeier et al. (2012) の図 23.



図 4.3. アフリ カ (AFR) と南米 (SAM) の間の不 ・致 (実線は現 在の形). Van der Voo は, 先 白亜紀のアフリ カの外形が破線 で示されている ように, この不 一致は「アフリ カ内に仮定され てているプレー ト境界によって 修正されるべき である」と述 べている. FP= フォークラン ド 台 地, AFZ= Aguilhas 断 裂

帯. Euler 回転軸が示されている. (Van der Voo, 1993の図 6.7: ケンブリッジ大学出版の許可を得て転載)

ンジュラス―ニカラグア―ジャマイカ)を判別すること によって中米で独創的に復元された.そこでは,現在の 位置からそれぞれ135°と180°回転している.しかし, 地質的データはこれと矛盾している (James, 2012).

すべてのパンゲアの復元は、フェロー諸島―アイスラン ドーグリーンランド海嶺・ヤンマイエン海嶺・Vøring 台 地・Walvis 海嶺・リオグランデ海嶺及びフォークランド 台地を含む大陸起源のように見える大西洋のいくつかの 大海底構造を無視している.しかし、Rockall 台地は'く り込まれる'唯一の理由に含まれている.ゴンドワナ大 陸の Smith & Hallam (1970)復元では、南オークニー諸 島と南ジョージア諸島がインド洋の Kerguelen のように 除かれており、オーストラリアの西に大きなギャップが ある.他のはめ絵のように、オーストラリアにインドを 合わせることは、西インド洋に相当するギャップをその ままにしておくことである (Hallam、1976).図4.3 に 示すように、南米とアフリカの海岸線の特別な問題だけ の調整を必要とする.

## 地質的関連(Geological connections)

大西洋の開裂はユーラシアとアメリカプレートが割れ ることによってジュラ紀に始まったと言われている. しかし,地球の反対側で,北東アジアはベーリング— Chukotsk 大陸棚によって北米と結合した.そこにはアラ スカからシベリアに連続する先カンブリア紀の大陸地殻 が下に横たわっている.地質的にこれらの地域は単一の ユニットを構成しており,それらがかつては数 1,000km もの大西洋の開裂を相殺して閉じた海に隔てられてい た,との想定は非現実的である.縫合線がそこにあれ ば,それはユーラシアあるいは北米に見つかるはずであ るが,そのような縫合は存在しないようである (Shapiro, 1990).ベーリング— Chukotsk 大陸棚とロモノソフ海 嶺間の地質的な連続性は,原生代以来の北極海における 海洋底拡大あるいは大陸移動を不可能にしている.シベ リアが後期古生代に現在のウラル山脈の線に沿ってヨー ロッパに衝突したというアイデアは、シベリアと東ヨー ロッパ(ロシア)卓状地が始生代から前期原生代を通じ て単一の大陸を形成したいたことを示す多くの証拠から 否定されている.東ヨーロッパのTiman領域の構造と岩 石ユニットは、ウラル山脈の下で繋がり、東側で再び現 れており、そして西シベリア卓状地を覆う中生界の下に 横たわっている (Meyerhoff & Meyerhoff, 1974a).

バフィン湾とラブラドル海がグリーンランドと北米の分 裂で形成されたのであれば、グリーンランドとエルズ ミア島の間のネアーズ海峡を横切って数 100km の横方 向オフセットが生じているはずであるが、地質の野外 調査ではそのようなオフセットを明らかにされていな い (Grant, 1980, 1992). グリーンランドは 1000 尋の 等深線ではたった 50 ~ 75km, ヨーロッパからスピッ ツベルゲンの西に分離しただけであり、大陸性のフェ ロー諸島--アイスランド--グリーンランド海嶺によって ヨーロッパと繋がっている.要するに、北大西洋の北 緯 60°と 82°の間の海水に覆われた地域の 60% 以上は、 大陸地殻が下に横たわっているようである (Meyerhoff, 1974; Meyerhoff & Meyerhoff, 1974a). すべてのこれ らの事実は北半球において東西方向の漂移の可能性を排 除している.

プレートモデルは、地中海の長軸に沿って走る縫合帯を 必要としているが、ヨーロッパとアフリカの間に層序的 な連続性がある.少なくとも古生代末期以降、一方はジ ブラルタルと Rif 帯及び他方ではカラブリアとシシリー 帯を横切るヨーロッパとアフリカの間に直接的で構造 的な繋がりがある.この時代を通じてヨーロッパとア フリカの間の数 km の横ズレがあるというプレートテク トニクスの主張とは矛盾している (Kent、1969; King、 1971; Trümpy、1971; Beloussov、1990).古地磁気デー タに基づくと、プレートテクトニクス論者はビスケー湾 が 40°程度反時計回りに回転したイベリア半島によっ て形成されたと主張してきたが、これは地質的にも地球 物理的にも矛盾している (Kent、1969; Jones & Ewing、 1969; Bacon & Gray、1971; Maxwell、1970).

プレートテクトニクス論者は、中東地域で幅広くいろい ろな見解を維持してきた.一部は一つあるいはそれ以上 のプレートの存在を以前から支持し、一部はいくつかの マイクロプレート (Reilinger et al., 2006 によると 19 個) を自明のこととして仮定し、もう一つは島弧の解釈を支 持し、そして多くは大陸 - 大陸間の衝突の位置を記す少 なくとも一つの縫合帯 (と沈み込み帯)の存在に賛成し ている. Kashfi (1992, p.119, 128) は次のようにコメ ントしている:それらの仮説のほぼすべては、互いに排 他的である.野外のデータが高く評価されるなら、ほと んどは存在しえないだろう.中東の遺跡からアラビア— アフリカの過去に起きた分離を支持する地質学的記録は 何もない ....... イラン高原・南西イランやアラビアは,次の事実に示さ れるように,原生代に始まって以来,単一の地質帯であっ た.すなわち,(1)後期原生代から第三紀までイランと 全中東を横断しインドからイエメンおよびヨルダンにか けて層序的な対比と連続性,(2)中東からアジアにかけ ての生層序対比,(3)より広域なペルシャ湾地域を横断 する構造的単一性,(4)西インド・パキスタン・イラン・ ペルシャ湾とアラビアに沿う先カンブリアーカンブリア 紀の岩塩の連続性,(5)主張されている沈み込み帯から 離れた大地震活動の存在,(6)中東におけるオフィオラ イトと火山岩のランダムな分布,がそれらの事実である.

中東 (イラン・イラクとアラビアを含む) に厚い蒸発岩 や炭酸塩岩が広がり,横方向に連続するという事実は, 数 1,000kmの構造的な移動を必要とする縫合帯が古生 代あるいは中生代にこの地域を通ることは絶対になかっ たことを示す (Meyerhoff et al., 1996b). 地質的・地球 物理的データは,アフリカ - アラビアブロックと南西ア ジアの間の地殻の水平的 (接線方向) 圧縮を単純に指摘 しているに過ぎない.

#### 東南アジア (Southeast Asia)

プレートテクトニクス論者と古地磁気論者は、大陸を 切り刻み、個別の断片としてあちこちに移動させるこ とを溺愛している.このことは中国にも当てはまる.北 部と南部中国のブロック(微小大陸)はおそらくかつて は遠く離れていた;ひとつの見方として、それらの東端 が後期二畳紀にまでには衝突したが、その後、両者は相 互に 67°回転した (Zhao & Coe, 1987).それとは対照的 に、Meyerhoff ほか (1991)は、詳細な層序と古地理の 研究にもとづいて,一体性 (cohesion) が,中国だけでな く,巨大なアジアの広い地域を 30 億年もの地質学的時 間を通して特徴であった,と結論した.アジアがかつて は離散しいて,後に衝突したマイクロプレートないしは 微小大陸の寄せ集めであるという考えは,多くの詳細な 野外のデータから完全に否定される.野外研究にもとづ くと,多くの'縫合線'は衝突帯ではなく,塩基性〜超 塩基性岩が引張性のリフト型造構場で形成された断裂系 に沿って地表へ上昇してきた地帯なのである (Meyerhoff, 1995).

氏の東南アジアのサージテクトクニクス研究にもとづい て,Meyerhoff(1995)は、先カンブリア時代後期以降の 東南アジアにおけるサージ流を示す図を提出した.この 図によると、地球自転のために全般的な流動方向は東向 きになっているが、この地域の西半部ではサージチャネ ルは、北(アンガラ)と南(ゴンドワナ)の卓上地の間に 存在するさまざまな地塊の間を縫うように通り抜けてい くが、チャネルの東半分ではチャネルが北東と南東へ向 かって扇状に拡がる(図4.4および4.5参照).西太平洋 海盆における古期剛塊域とベニオフ帯は、おそらくマン トルに根をもつサージチャネルに対する障壁としてふる まっているようにみえる.

全体像は、左から右 (西から東) へ移動する液体が幅 の狭い隙間から、より大きな容器の中へひろがってい くときに形成されるパターンに類似している. チャネ ルの位置とチャネル網は時間とともに多少は移動する ものの、それらはわずかである. 局所的な小規模チャ ネルは行ったり来たりするが、全体的パターンは変化 しない. Meyerhoff (1995, p. 159) はこう述べている:



図 4.4. 東南アジアの卓状地, 地塊, 主な不連続部 (principal gaps), 北 - 南帯, ハノイ - 大興 安嶺 gradient, および海底磁気異 常を示した図. 挿入図はアジア におけるサージテクトニクス概念 の基本的 'Y 字 ' 構造を示してい る (Meyerhoff et al., 1996a の図 5.2.; Springer Science+Business Media BV の許可を得て転載).



「サージチャネルと安定ブロック(地塊と卓状地)の網状 (anastomosing)パターンは... それら自身が語っている. 大陸あるいは微少大陸などと夢想されたパターンは存在 せず,"衝突"は、このパターンが基本的には流動模様で あることの単純性を説明するにすぎない」.少なくとも 原生代後期以来,東南アジアの主要な流動パターンの安 定性は、その地域の地質発達を説明するプレートテクト ニクスモデルとは矛盾し、大規模な極移動にも疑問を投 げかける.

# インドとテーチス (India and Tethys)

インドは少なくとも中期原生代以降、アジアを構成す る不可欠な部分として存在し続けてきたという、圧倒 的な地質学的・古生物学的証拠がある (Chatterjee and Hotton, 1986; Ahmad, 1990; Saxena et al., 1985; Saxena & Gupta, 1990; Meyerhoff et al., 1991). しか し古地磁気データや海底地磁気異常に基づいて、プレー トテクトニクスは、インドは中生代のある時期に南極か ら分離し、北東方へ 18cm/vr の速度で 7,500km も漂よ い, 始新世 (55 Ma) についにアジアに衝突し, ヒマラヤ 山脈とチベット高原を押し上げた、と主張している.ア ジアの凹部が挿入されたインドとほぼ同じ形状と規模を もち、ぴったりの位置にあることは、たしかに特筆すべ き一致である (Mantura, 1972). 衝突モデルは一般的に, チベット高原の隆起は前期始新世以降に始まったと想定 するが,古生物学的,古気候学的,古資源学的,および 堆積学的データからは、主要な隆起は前期鮮新世 (5 Ma) に始まり、約2 Ma までは現在の隆起速度 (5 mm/yr) に 達していないことが確実に示されている.

なぜ想定された衝突帯の両側の地層があまり乱されてい なく緩傾斜のまま残っているのか、衝突モデルでは説明 できない. そうではなく, ヒマラヤ山脈は, 数 100 km 離れたチベット高原北部のクンルン (崑崙)山脈ととも に隆起してきた結果であろう. ヒマラヤ山脈のさまざ まな場所の河岸段丘はほぼ完全なまでに水平であり、傾 動していない. このことはヒマラヤ山脈が, 水平圧縮よ りもむしろ、鉛直方向に隆起したことを示唆している (Ahmad, 1990). 衝突帯はオフィオライトで特徴づけら れると考えられているが、これらは ' 縫合帯 ' の中では 連続せず, Yarlung Zangbo 谷に沿って不規則に露出して いる.オフィオライト帯は、実際は、Xizang (チベット) のかなり北方の二つの地帯に並走していて、これらの事 実は、一般に言われているプレートテクトニクスモデル とは矛盾している.フィールドのデータは、中国中央部 とインド亜大陸間の地殻短縮が最大でも 300 ~ 700km を超えないことを示している (Saxena et al., 1985).

図 4.6. に示されたアジア横断リニアメントは,先カンブ リア期に端を発しているようにみえ,そのいくつかはイ ンド洋に延びている.これは,インドが長距離にわたっ て移動したとするプレートテクトニクスモデルに反して いる (Raiverman, 1992).

もしインドの長距離移動が実際に起こったとしたら,数 百万年間もの期間-白亜紀や前期第三紀という,他とは 全く異なる固有の動物群に進化するには十分な時間--に



わたって,孤立した大陸島であったはずだ.しかし,中 生代や第三紀動物群は,そのような固有種がいないこ とを示しているだけでなく,インドがこの期間を通し て,オーストラリアや南極大陸ではなく,アジアに近接 していたことを示している (Chatterjee & Hotton, 1986; Meyerhoff et al., 1996b).インドのは虫類と両生類の 60% は北半球にのみ知られる種属に一致し,残り種属は 両半球に知られている.

Meyerhoff & Meyerhoff (1978) は、プレートテクトニ クスが「南アジア全域にわたって連続する先カンブリア 紀〜新生代の地質層序や生層序、ならびに、ゴンドワナ とテーチス、さらにはソビエトやチベットの一部にさえ みられる生物相と地層の指交状態 (intertonguing) につい て納得のいく説明ができない限り、南極大陸やオースト ラリアからの "インドの長大な北方逃避 (flight)" は空想 以外の何物でもないように思われる」と記している.

プレートテクトニクスによれば,三角形のテチス海が, 南方のアラビア、インド、オーストラリアから、北方の ユーラシア中~東部を隔てていた. この考えは, Bullard et al. (1965) が大西洋をはさんだ大陸を一致させようと した際に (最小面積を基準に用いた), ユーラシアを北 アメリカに対して反時計回りに、南アメリカに対しては 時計回りに回転させなければならなかったことに起因す る.得られた古生物学的データにもとづいて、Dietz & Holden(1970)は、テチス海の南岸沿いに、北東アフリ カ、アラビア半島、インド、マダガスカル、南極および オーストラリアだけを配置した. それに比べて, Drewry et al. (1974) はトルコや、中東のイラクやイランもゴン ドワナ大陸に含めた. というのは、これらの地域である ゴンドワナ生物相の隔離分布が報告されていたからであ る. 多くの異なった筋書きが提案され, さまざまな大き さの大陸塊がはるか北方へ移動し、中国~西ヨーロッパ にいたるユーラシアに衝突・付加した、と主張した.



図 4.9. 西インド, 東地中海におけるテ チスの二畳紀古地理図. (Meyerhoff & Meyerhoff, 1974a の 図 22, Wolfart, 1967;Urban-Verlagから許可を得て転載).

Meyerhoff et al. (1996b) は、ローラシア地域の 30~ 50% はさまざまな年代のゴンドワナ生物相を含み. ゴン ドワナ大陸の 50~80% はさまざまな年代のローラシア 生物相を含んでいること、カンブリア紀~前期白亜紀の すべての年代で, 生物の広域的遷移帯がゴンドワナ大陸 とローラシア間に存在していることを示した. そこでは, これら両地域の生物相は指交しており、多くの場合、同 じ地層中に混在している. このことは広域的テチス海と いう概念を支持しない.現在のアルプス-ヒマラヤ造山 帯にあたるテチス海は決して深くて広い海洋でもなく, むしろ,幅が狭く,大部分は浅い大陸内水路であったこ とを示す膨大な事実がある (Bhat, 1987; Dickins, 1987, 1994c; McKenzie, 1987; Stöcklin, 1989; Brinkmann, 1972; Trümpy, 1971). すべての生層序学的事実 は、すべての地層が浅海で形成されたことを明示する (Meyerhoff, 1991).

Meyerhoff & Meyerhoff (1974a) は, 次のように記した:

「岩石の記録は、テチス海が原生代(おそらくは始生代) からずっと、ジブラルタル海峡西部の大西洋からニュー ギニアーオーストラリアにいたる地質単元を構成し続け てきたことを示している.北アフリカの岩石は地中海 ヨーロッパに連続し、アラビアの東方でせん滅する.ア ラビアとイランの岩石の連続性(sequence)はインド亜大 陸に達し、中央・東アジアー南北ヒマラヤ帯(低ヒマラヤ) までたどることができる......

もし温度が動物群の分布を決定するものであるならば… テチス海は東 - 西方向にのびた地帯の典型例であるはず で,その緯度は原生代の前期ないし中期以降に大きくは 変化していない.」

# 外来テレーン (Exotic terranes)

もうひとつの疑わしい、古地磁気主義に染まった概念 は ' 異地性構造層序テレーン' であり、' 外来テレーン 'や'疑わしいテレーン'として知られている (Frisch & Meschede, 2011). 断層で境されたテレーンの大きさは, 100km<sup>2</sup>に満たない小地塊から数 1,000km<sup>2</sup>の微小大陸 片までさまざまである. それらが地質学的に付近の地殻 ブロックとは別のものであることは明らかだが、古地磁 気データにもとづいて,多くのものが現在の位置からか なり離れた場所に由来したと信じられている. それらは おそらく,別のテレーンやより大きい大陸地塊に衝突し て接合・付加され、あるプレートから別ののプレートに うけわたされるまで、移動プレートに乗せられて、時と して数 1,000km もの距離を、海洋底を横切って運ばれ てきた. 付加後, それらはたぶん大陸の縁に沿って, 数 100~数1,000kmも横すべりするようなことも想定さ れる. 海台-それはたいてい半大陸地塊からなるが-今 もって地球表層を移動していて、大きすぎるために、沈 み込み帯で消え去ることはないだろうと考えられてい る. 島弧もまた, 付加テレーンになる可能性をもつ.

ほとんどの造山帯-アパラチア,アルプス,およびヒマ ラヤ山脈を含む-の大部分は異地性テレーンで構成され ている,という.アパラチア造山運動は '困惑するほど の数と種類の外付けテレーン'からなりたっているとさ れる (Williams & Hatcher, 1982).北米コルディレラの 70%以上が '疑わしいテレーン'の寄せ集めと考えられ, それらのほとんどは太平洋の遙か彼方から移動してきた と信じられている.テレーンの数は多くの場合 50以上 と見積もられているが (Coney et al., 1980),それらの数 と移動距離については意見が分かれている (Carlson et



al., 2008; Colpron et al., 2007). 環太平洋テレーンマッ プには,太平洋岸に 300 以上のテレーンが示されている (Howell et al., 1983).

プレートテクトニクス論者の中には、古地磁気に不都合 な結果 (すなわち、大陸に対する見かけの極移動 [APW path:Apparent polar wander] が一致しないという問題) を長距離水平移動で説明する代わりに、鉛直方向での ブロック回転、傾動運動、褶曲作用、そして / あるい は、伏角の減少を提案した (例えば Butler et al., 1989; Butler et al., 1991; Butler et al., 2002; Calderwood, 1991; Irving & Archibald, 1990; Hodych & Bijaksana, 1993). 多くの場合、野外データはテレーンの長距離移 動に矛盾している (例えば Laubscher, 1975; Donovan & Meyerhoff, 1982; Parnell, 1982; McDowell et al., 1984; Saul, 1986; Seiders, 1988; Hansen, 1988; Newton, 1988).

幾人かの地質家による入念な研究によると、シエラネバ ダからコルディレラ西部のロッキー山脈中央・南部の構 造層序帯は本来現地性で、おそらくスラスト運動を除く と、長距離移動はないという.研究者の中には、1世紀 以上も前にヨーロッパアルプスで提唱された岩相帯や ナップの概念に戻りつつある者もいる (Meyerhoff et al, 1996a). Sengör (1990) は、この古いヨーロッパの概念 と、現存する異地性テレーンの概念が放棄された理由を まとめた. Dickinson (2003) が指摘したように、'古緯 度の信頼できる記録として、変形した岩石の古地磁気記 録への過度の依存は、架空の考えにお墨付きを与えるも ので、不必要な拘束だろう'.テレーンの運動の評価は、 多面的な方策をとることによってのみ、信頼できるもの になる.

# ウェゲナーと大陸移動 (Wegener and continental drift)

アルフレッド ウェゲナーは大陸移動説の時代を先取りし た予言者で,保守的で教条的な地質家によって邪魔され, プレートテクトニクスは彼の多くの洞察力によって確た るものになったという,今日広く知れ渡った神話がある. 例えば,Hal Hellman (1998, p. 158)は,次のように美 しく塗り固めている.「彼 [Wegener] が 1930 年に死去 した際,彼の学説は科学的にどっちつかずの状態におか れたままであった.しかしながら,彼の遺産は,彼が思っ ていたよりも,より大きく,壮大で,より包括的で,威 厳あるものとして生きている.」このような見方は,実際 とはかけ離れている.ウェゲナーの学説に反対の意見の 多くは完全に根拠のあるもので,そのいくつかは,プレー トテクトニクスにも適用することができる.

Charles Schuchert (1928, p. 111) は「ウェゲナーは,地 球の固定した地殻について途方もない特権を得たため に,アメリカ大陸を北南に 1,500 マイルも引き伸ばすと いう柔軟なものにした」と述べた.. Philip Lake (1922, p. 344) は,もし大陸塊が移動することに加えて,「我々 がそれらを思いどおりの形にするようなことを許したな ら,それはもうかつての真実から離れた想像力の産物に なってしまう」と述べている.

大西洋両岸の地質学的類似性について,J.W. Gregory (1929) は次のように記している.「最も顕著な類似性が ニューファンドランドとイギリス諸島南部の間や,アン チルス島列と地中海の間,さらに南アフリカと南米など の両岸にみられる.これらの類似性は,同程度に離れて いるユーラシアの山脈列に沿って見られるものほどは大 きくはない.ニューファンドランドとアイルランド間, 南アフリカと南米間の細かい相違点,......そしてベネズエ ラとアトラス間の類似点は,それらの国々が同じ一般的 地理変化を受けてきたにもかかわらず,遠く離れていな くてはならないことを強く示している.その類似性は, その地域が同様の造構帯におかれてきた地域であること に起因する.そして,その相違点はその地域が造構帯の 異なる場所に位置していたことを示すに十分である」(p. 116).

Gregory は次のようにも記した.

「アパラチアおよび Armorican 山地は,実際に接近する ことなく,これまでずっと連続する山地帯に属してきた が,同じように,ピレネーやコーカサスは,常に全ヨー ロッパの幅ほど離れていたが,一つの山地系の一部と見 なされてきた.事実,西ヨーロッパのアパラチア類似山 地との違いは,おそらくある程度離れた場所で形成され たことを示唆している.」

問題は、大西洋の対岸にある類似の構造が、中間地帯の 2マイルの沈降によって引き離されてきたか、あるいは アメリカの 2,000 ないし 3,000 マイルもの水平移動によ るものかどうかである (1925, p. 256).

Lake (1922) は,注目すべき事実としてアパラチア褶曲 帯と Armorican 褶曲帯が 1 つの大円上に位置し,それら はかつて連続的な褶曲系として形成されたが,それらの 元々の位置に現在も存在することを示す,と考えている.

Schuchert (1928) も、大西洋岸の大陸の地質学的類似性 は、もし移動説が正しいとしても、期待されるよりもは るかに少ないと述べた.ブラジルと西アフリカは、例え ば、少なくともシルル紀以降は、無関係にかなり離れて 存在していた.ウェゲナーは、北西ヨーロッパのカレド ニア帯の地殻構造方向が北ニューファンドランドのそれ に連続するという点では正しかったが、それらを直接に 接続させたことは誤りであった.ニューファンドランド は決してアイルランドの一部ではなく、それぞれの大陸 はかなり異なった性格の地質区に属している.

Longwell (1944) は、ウェゲナーが主張する大陸移動の '説得力のある'証拠として、南方大陸のグロッソプテ リス植物相 (シダ絶滅種)の広い分布域は「人気のある 学説を支持するために、事実を取捨選択するという非 科学的な行為もどきであり、危険に思える」と反論し た.Lake (1922), Gregory (1925, 1929), Berry (1928), Simpson (1943) および他の研究者は、大陸移動は動植 物相分布の説明の解答になるわけではなく、より多くの 問題を生みだしていることを示した.さらに、古生物学 的事実は、大西洋を横断する陸橋 (land connection)がし ばしば造られては壊されてきたことを示している.した がって、アメリカは西方へどんどん移動するのではなく、 アコーディオンのように行き来したはずである.

Schuchert (1928) は, もし大陸移動説が正しいとしたら, 多くの海生化石動物は, 5% どころか, 50 ~ 75% の同 一種をもつであろう.大西洋が閉じると,シベリアとア ラスカの間に 600 マイルもの隙間ができる.Schuchert はウェゲナーの学説に対し,化石の事実から,ベーリン グ海域がカンブリア紀前期以降,ずっと浅海ないしは陸 橋であったため,太平洋岸ではアジア側とアメリカ側の 間で,さらには大西洋までも移動が可能なるという決定 的な結果を記した.地質年代の動植物群の放散を説明す るために,Schuchert は,風や海流,渡り鳥によるもの, 陸棚海域に沿う拡散も含めて,さまざまな時期のさまざ まな陸橋の存在 (例えば,ベーリング海峡,ブラジルと 北米間,南米と南極間,南極とオーストラリア間,オー ストラリアとボルネオ・スマトラ間など)を仮定した.

ウェゲナーの支持者のひとり, Alexander du Toit (1937) は、南米とアフリカの海岸線は 400 ~ 800km 以内に近 づいたことはないと主張することによって、大陸移動は 対岸との層相や動物相にかなりの類似性が必要であろう との議論に応酬した.このことはある困難を回避できる が、層序学的類似性にもとづく大陸移動の場合は、幾人 かの移動論者たちが我々を信じさせようと望んでいるほ

#### どの説得力はない (Longwell, 1944).

ウェゲナーは大陸の西方移動だけでなく,石炭紀以降に 60°,そして,後期鮮新世以降でも15°におよぶ大規模 な極移動を想定した.大陸移動と極移動によって古気候 を説明しりょうとする Köppen & Wegener (1924)の試 みは,厳しく批判された(例えば,Berry,1927,1928; Brooks,1949). Brooks (1949)は,彼らの学説の欠点を 入念に調べ,彼らが自らの主張に反する事実を捨て去る 傾向があることを記した.彼は「移動仮説は,それに適 合しない事実は,適合しないがゆえに誤りであると主張 できるほどの実証された段階に到達していないことは確 かである」(p.234)と述べている.

ウェゲナーが提案したように,もし現在のすべての大陸 がパンゲア超大陸として相互に接合していたとするなら ば,石炭紀~二畳紀前期に氷河作用を被った地域の多く は互いに連続して並んでいたであろう.ある科学者は, これを大陸移動の説得力のある証拠と考えていた.しか し,Coleman (1925, 1932)が指摘したように,寒冷で あることだけでは氷床はできず,暖海からの湿潤な風が 必要である.復元されたパンゲアには,いくつかの氷河 域はかなり内陸深くに存在していて,湿気をたっぷりふ くんだ風の到達範囲の外に位置していただろう.これは, シベリアが北極海のすぐそばにありながらも,更新世に 氷河が大きく拡がることがなかった理由である.

Lake (1922, p. 338) は、ウェゲナーは「真実を探し求め たのではない. 彼はひとつの原因を擁護するあまり、そ れに反するすべての事実や反対意見に盲目であったので ある」と述べた. Berry (1928) は、移動仮説に対する主 な反論は、ウェゲナーの手法が「科学的でなく、最初の 思いつきを大切にする手法をとり、調和的証拠を求めて 文献を選択的に研究したため、その考えに反する事実の ほとんどを無視するようになり、主観的な考えを客観的 事実とみなす自己陶酔に終わった」という.

#### 真の極漂移 (True polar wander)

# 極運動 (Polar motion)

地軸の位置は、地殻に関して完全に固定しているわけで はなく、わずかに変動している.この極運動はふたつの 要素からなりたっている.その1つは、チャンドラー変 動 (Chandler wobble) として知られていて、約 435 日間 の周期と約 0.1 ~ 0.2 弧度秒の振幅をもつ自由振動であ る.もう 1 つは年周期の強制振動で、ほぼ一定の振幅(約 0.1 弧度秒)をもつ.この振動は、主に海洋や大気の作 用による (www.iers.org; Gross, 2000).極は外側や周囲 に螺旋形を描き、約 6.5 年間の平均的位置からずれてい て、その周辺を移動し、そこへ戻ってくる.この期間、 実際の地軸と平均的位置との最大の隔離は平均すると約 0.25 弧度秒である (www.britannica.com).1990 年以来、 平均極は、全体的には 79°W 方向に、約 107mm/年の 速度で不規則に移動している (Besse et al., 2011; http:// hpiers.obspm.fr). 数百万年もの間,極が同一方向へ移動 し続けてきたという証拠はない.

極運動は、地球の自転軸が、最大慣性モーメントをもつ 地軸(あるいはは形状軸),すなわち、惑星内部の質量 分布によって決定される地球回転楕円体の対称軸に自ら を一致させようとする傾向をもつことを示している.一 般に、自転極あるいは地形極は、地球内部や地球上の質 量の再分配に応じて移動し、それには気候システム、大 気・水塊の季節変動、地殻の鉛直・水平運動、さらにマ ントル・核内部の運動と密度変化が影響する(Dickman, 2000).プレートテクトニクスの用語でいうと、これに はプレート運動やマントル対流、マントルプリューム、 プレートのもぐり込みが影響している.

幾人かの研究者は、回転軸の長期的定常移動の3/4 は、最終氷期末の融氷河作用に由来すると信じている (Cambiotti, 2012; Peltier & Wu, 1983). Gordon (1995) によると、過去1,000 ~ 2,000 万年間における極移動は チベット高原と他の山脈の隆起に関連するという.



図 5.1. 青:2008-2012 年における地理極の軌跡. 緑:1900 年以来の中間極の位置. (http://hpiers.obspm.fr)

#### 真の極移動のさまざま (Variants of true polar wander)

これらの極の周期的運動と長期にわたる移動は,真の極 移動 (TPW) の例で,それは常に,自転軸に対して全地 球 (地殻,マントル,核)が移動することを意味すると 解釈されている.その結果,地軸の傾きはかわらなもの の,地球表面における地理極と赤道の位置が変化する. 真の極移動 (TPW) には他のいくつかの異なるタイプが 考えられ,そのなかには地球全体が移動するのではなく, 次の部分が移動すると想定される:①地殻,②マントル, ③リソスフェア(地殻+上部マントル),④リソスフェ アとサブリソスフェアマントルのすべてないしは一部<sup>1</sup>.

1 何人かの著者は、少なくとも、変化しやすい ①と② につい ては ' 真の極移動 ' ではなく、' 見かけの極移動 ' とよぶだろう (Northrop & Meyerhoff, 1963 参照). ' 見かけの極移動 ' は、も ちろん、個々のリソスフェアプレートが自転軸のまわりを移動 するという、プレートテクトニクスの筋書きにもあてはまる.

表層侵食がきっかけとなって起きる,モホ面あるいはその上面での地殻全体の急速な滑動は,Gussow (1963) によって提案された.Hargraves & Duncan (1973) は,リソスフェアと核の間,すなわちサブリソスフェアマントルだけの運動を提案し,マントル回転 mantle roll 'と呼んだ.Damian Kreichgauer (1902) および Charles Hapgood (1958, 1970) は,動くのはリソスフェア全体だと提案し,この考えは,幾人かの通俗的な天変地異論者たちの間で流行っている (例えば,Hancock, 1995).彼らはそれを '地殻変位 crust displacement 'と呼んだ.Hapgood は,過去10万年間に3回の地殻変位が発生し,最新の変位では1.7~1.2万年前に,北極が現在の位置に向かって30°(3,300km)移動したと信じている.このような3回の真の極移動 (TPW)の様式は,いずれも全く不可能だろう.

プレートテクトニクス論者たちの一般的な見方では,真の極移動 (TPW) には,自転軸を基準に,惑星全体の方向が相対的に変化することが含まれている.しかしながら,幾人かは,地殻とマントルが外核の上を滑動する



図 5.2. 真の極移動 (TPW) のプ レートテクトニクス挿絵 (Evans, 2003; Raub et al., 2007). 地球の 慣性モーメントの変化は、マントル の質量再配分と表層荷重によって引 き起こされる. (a) マントル対流は 密度異常の上昇と沈降 (それぞれ, 淡灰色と暗灰色)を含む.粘性のた め、これらの鉛直運動は、マントル の上部と下部の境界や、内部不連続 面を乱す.動的な惑星は、赤道方向 へ正の慣性異常 (湧昇) や, 真の極 移動 (TPW) を通った極方向へ負の 慣性異常 (沈み込み) へ変化するこ とによって, 安定に回転し, 運動量 を保存する. (Evans, 2003の図 1)

と提案している (例えば, Andrews, 1985; Kirschvink et al., 1997; Evans, 2003; Raub et al., 2007; Piper, 2006). Pavlenkova (2012) もこれを提案していて, 彼 女は, それ以前には 400km あるいは 600km のマント ル不連続面に沿って滑動が生じたであろうと提案してい た. 相対的に固定されたホットスポットにかんする古地 磁気データとプレートテクトニクス説によれば, Gordon (1987, 1995) と Kent & May (1987) は, 真の極移動 (TPW) が過去 2 億年間に 20°を超えないと考えている. Besse & Courtillot (2002, 2003) は, 過去 2 億年間で 30°の, Steinberger & Torsvik (2008) は過去 3.2 億年間 で 56°の真の極移動 (TPW) を見いだしたが, 真の極移 動 (TPW) は実質はゼロに等しい.

# 歴史的背景と理論的議論 (Historical background and theoretical debate)

18世紀に、フランスの博物学者、Comte Georges-Louis de Buffon と Georges Cuvier は、極地域の著しい温暖化 や赤道付近の凍結のような、現在とはまったく異なる過 去の気候を極移動で説明できそうだと考えた. この見方 は、19世紀の地質研究者 Henry James (1860) や天文研 究者 John Evans (1866)、John Lubbock (1848) および Giovanni Schiaparelli (1889) のによって受け継がれた. 極移動は、極へ向かって移動する領域では圧縮を、赤道 へ向かって移動する領域では引張をひきおこし、その結 果、離水あるいは沈水が起こるだろうと考えられた.

真の極移動が起きる可能性については,長期にわたって 議論されてきた. George Airy (1860) は,もし地球が完 全な剛球であるなら,赤道域の膨らみをつくる質量の 1/1,000 の質量の山地が形成されたところで,わずか 2-3 マイルの極移動しか起こさないだろうと述べた. James Croll (1886) は,地球の表層全体の 1/10 が 10,000 フィートの高さまで上昇したとしても,極は 3°17' しか 移動せず,また,もしヨーロッパ大陸ほどの大きさの大 陸が 10 倍上昇しても,2マイルしか移動しないだろう, と述べた. このことは,ロンドンをせいぜいエディンバ ラの緯度まで,あるいは,その逆の移動しかもたらさな いことを意味する.

George Darwin (1877, 1878) は、もし地球が多少とも塑 性的であれば、極は自在に移動するだろうが、剛体であ ればそうはいかない、と考えた. 彼は、極はどの地質時 代でも 3°までは移動しうるが、地球の固化以降、おそ らく '曲がりくねった路'を最大 10° ~ 15°ほど移動し、 その結果、元の位置の近くまで戻っている可能性があ る、とした. ダーウィンの見解にしたがって、William Thomson (Lord Kelvin) は地球が実際に剛体であること を示した. Thomson (1876) は、地球の剛体外殻が内部 の液体を封じ込めているとの考え方を否定し、極の突然 の大規模移動は不可能であると考えた. 彼は、'いかな る地質時代でも、陸や海がかなり突然に変動することな く'、かつての地理上の極は、40°あるいはそれ以上にわ たって徐々に、現在の位置にまで移動したと信じていた.

Chandler は 1891 年に約 428 日周期の極のゆらぎを 発見し,地球は完全な剛体でないことを示した.この 地軸の自由振動の存在は,Isaac Newton の Principia Mathematica (1687, bk. 1, prop. 66, cor. 20-22) および, Leonhard Euler の 1765 年の著作によって予測されてい た.Euler は、剛体でできた回転楕円体では、もし自転 軸が形状軸に完全に一致していなくても、自転軸は形状 軸のまわりを周転するだろう、と指摘した.そして、地 球の扁平率にもとづいて、の周期が 305 日間であると予 測した.Newcomb は 1892 年に、予測された周期と実 際の周期との不一致は、地球が完全剛体でないことに起 因することを示した.この相違は、地球が鋼鉄と同様の 弾性をもつが、塑性はもっていないことを意味する.

20世紀の初めに、Germans のグループは 次のような '極振動'学説を提案した.極はおそらく 10°E の子午線 に沿って往復振動し、振動軸はエクアドルとスマトラを 通過し、その緯度が変化することはなかった (Reibisch, 1901; Simroth, 1907).他方、Kreichgauer (1902)は、 先カンブリア紀に北極が、南極から太平洋を通ってアラ スカとグリーンランドを横断して、現在の位置へ移動し たと主張した.しかし Jacobitti (1912)は、北極はカン ブリア紀には南大西洋にあり、その後、南アフリカや インド、オーストラリア、太平洋、カナダ、そしてグ リーンランドを横切り、現在の位置に到達したと考えた. 1912年、Alfred Wegener は大陸漂移だけでなく、北極 が古生代以降、ハワイ付近から現在の位置まで移動した ことを古気候を根拠に提案した (Wegener, 1912, 1929; Köppen & Wegener, 1924).

Barrell (1914) は、いろいろな極移動学説に矛盾するさ まざまな古気候・古生物データを引用したが、「そのよ うな反論は常にあることであり、充分な才ある支持者に よって克服されるのが常である」と記した.幾人かの支 持者は、いくつかの地域における地殻伸長(赤道方向へ の移動が主張された)と他の地域における圧縮を引用し て、さまざまな時代の極移動を実証しようとした(極方 向への移動を主張した)が、Barrell は納得するまでには 多くの障害があると述べた.

Gold (1955) は,地球が塑性変形しうる場合には,地質 時代を通じて大規模な極移動が生じ得る,と仮定した. すなわち,もし地球が扁平楕円体ではなく,完全球体で あったら,「その上を這い回る小さなカブトムシが随意 に,自転軸に対してとても大きな角度変化をもたらすだ ろう.その場合にも,宇宙空間での自転軸は,わずかな 角度しか変化しないだろう」,と.Gold はチャンドラー 振動の減衰から,もし南米サイズの大陸が 100万年間に 3m 上昇したら,地球の方位に,同時代の自転軸を対し て'大きな角度変化'がもたらされるだろう,と推測した. 彼は,地球史に比べて,'それほど長くないだろう 10<sup>5</sup>年~ 10<sup>6</sup>年オーダーの時間'のうちに'気候の劇的変化'をひ きおこしたであろう 90° に達する移動が自転軸に何回か 発生したと信じた. Jeffreys (1976) は,もしこの仮説が 却下されたなら,'極移動についてのすべての解釈がだ めになってしまう'(p. 481) ということを付け加え,チャ ンドラー振動の減衰の原因を弾粘性に求めるのははかな り難しいと述べた.

Gold は、地球が限定的な強度をもつという Kelvin-Voigt (強粘性 firmoviscous) モデルよりも、地球が限定された 強度をもたないという Maxwell (弾粘性 elastoviscus) 地 球モデルを考えた. Maxwell 地球では、地球構成物質は 任意の小さな応力差のもとでの流れによって降伏し、い かなる励起力によっても (Gold のカブトムシによって引 き起こされることを含む、小さな力によっても)極移動 が生じる. しかしながら、もし地球が限定的強度(ゼロ ではない降伏応力)をもっていれば、その巨大な慣性モー メントが打ち勝ち、極移動は励起応力が閾値を超えた時 にのみ起きることになる.

地球がある強度をもつ証拠として,深さ700km に達す る地震発生があげられる (Northrop & Meyerhoff, 1963). さらに可能性のある根拠は赤道方向の膨らみで,それは 地球自転の結果と信じられているが,静水圧的地球で起 こる膨らみよりも約 200m 大きい. MacDonald (1963, 1965) および McKenzie (1966) は,この膨らみが地球 がより速く自転していた約 10<sup>7</sup> 年前に生じたと述べた. この 10<sup>7</sup> 年の地球の応答の遅れは,10<sup>25</sup> Pa s (pascalseconds) オーダーの下部マントルの粘性を意味し,後氷 期隆起運動の研究から推定された上部マントルの 10<sup>20</sup> ~ 10<sup>21</sup> Pa s の値と比較され,大規模極移動の可能性を排除 するであろう.

Goldreich & Toomre (1969) は,地球の赤道方向の膨ら みにみられる過剰な (非静水圧的)成分は明らかに三軸 的で,それゆえ,かつての高速の地球自転に起因するも のではないという理由から,MacDonald の化石膨張論に 幕を引いた.地球は準剛性的 (quasi-rigid) で,マントル は極移動を妨げる十分な粘性や永続的強度をもたないと 仮定して,マントル対流による地球内部における適度な 質量再配分が,4億年間に90°に達する大規模な,そし て,高速になることがある極移動をもたらしただろうと, 彼らは考えた.彼らは,地球は永続的強度をもたないこ とは決してないことを容認した.

Munk & MacDonald (1975) は、マントルが大規模極移 動が可能なほど非弾性的であれば、極は赤道上の膨らみ の頂部に移動する可能性があるだけではなく、大陸上へ も配置するように移動するであろう。大陸の現在の配 置を考えれば、地理的北極はハワイの近くに位置する か、少なくともその方向へ移動しなくてはならないだ ろう。そうではない事実は、地球(あるいは少なくとも 外殻)が大陸 - 海洋系がもたらす応力に耐えられるよう な充分な有限の強度をもていることを意味する。Munk & MacDonald は、問題の応力が、マントル不均質性に

よって相殺されていると推定することによって、この結 論を回避できると指摘した.地球には大陸による励起作 用に対して極移動を妨げる 10 bars (1 MPa)の有限強度 が必要であろう.マントル不均質性に起因する励起作用 は、大陸のそれよりもはるかに大おおきなものだろう. Munk & MacDonald は、地球は 100 bars の強度を確実 にもつだろう、と述べている. さらに、大規模な重力異 常は古生代の山脈にともなっているという事実は、大き な差応力がきわめて長期間にわたって存続し、上部 600 km では 150-300 bars の強度に相当することを示してい る. それゆえ, 著しい極移動に起因する惑星表層~内部 の物質配置の変化を妨げるのに充分な強度を地球はもっ ている、という.もし極移動が薄い外殻だけで起きてい る場合, Munk & MacDonald は, 古気候と古生物データ は、古地磁気データから推測された規模の極移動を支持 する ' 積極的証拠になることはほとんどない ' と述べた. 彼らの全体的結論によると、極移動の問題は '未解決で ある 'という.

弾粘性マントルは、プレートテクトニクスの基本的主張 になっている.単純な Maxwell (弾粘性的)地球、マン トルの平均粘性は 3 × 10<sup>22</sup> Pas、マントル対流セルの存 在.および、赤道の膨らみの非静水圧成分がマントル対 流に起因すると仮定して、Tsai & Stevenson (2007)は真 の極移動 (TPW)の最大値を1億年で61°、1,000万年で 8°と見積もった.彼らは、TPW の最大速度は 2.4°/Myr であると述べたが、この値は TPW イベントの中頃の比 較的短期間に限って達成される.彼らは、TPW の見積も りにおいてもっと大きな不確実性はマントルの粘性構造 であると考え、下部マントルが現在信じられているより もはるかに大きな粘性をもつとみている.

# 対流とアイソスタシー (Convection and isostasy)

プレートテクトニクスでは、マントル対流はプレート運動の大規模な駆動力と考えられたが、今日ではその妥当性がかなり疑わしくなり、'スラブの引き (slab-pull)', '海嶺の押し (ridge-push)' や '海溝の引き込み (trenchsuction)' が強調されている (Lowman, 1986; Keith, 1993). すでに述べたようにマントル対流は極移動の基本的要因と考えられているが、大規模な対流の存在はか



図 5.3. 極移動模擬 曲線 (Goldreich and Toomre, 1969の図 3). 子午線および緯 度の大円は両者とも 30°離れて描かれて いる. 経路に沿う 印は '時刻't =0.2, 0.4, 0.6, ......を意 味する.

なり不確かである. プレートテクトニクス論者は, マン トルの深部対流が中央海嶺直下から湧き上がり,海溝(も ぐり込み帯)で沈み込むと提案した. マントル内におけ る層構造の存在は全マントル対流に疑問を投げかけ, 二 層対流モデルの発展に導いた. しかし, 地震波トモグラ フィーは, 上部および下部マントルのいずれにおいても, プレートを動かす大規模な対流セルの明白な証拠を得る ことができなかった (Anderson et al., 1992; Jordan et al., 1993). 上部マントルにおける大規模水平対流が深度 400km に達するマントルの根の存在と整合するのは困 難であろう (O' Reilly et al., 2009). さらに, Sandwell & Renkin (1988) は, 幾何学的な対流セル形状はジオイド に何ら反映されていないことを見いだした.

Meyerhoff (1995, p. 165) は, つぎの問題を強調した:

ほとんどすべての論理的取り扱い方は... 実験室での Rayleigh-Bénard のセル状対流 (cellular convection) に全 体的に類似した形態をとると記している... 仮定された すべてのセルの鉛直壁は,緩く湾曲しているだけで,比 較的直線的である.これまで提案されたどんなセル対流 モデルも,いかに想像をひろげようとも,東南アジアに みられる現在および過去の島弧のうねった渦状のねじ曲 がりを説明することはできない.そうするためには,イ ンド西方から Banda 弧を通ってフィリピン弧までの間の いくつかの地点で,それ自体に 180°の回転をもたらす ねじ曲がった壁をもつ対流セルを構成することが必要で あろう.東南アジア地域の実際の地形は,提案されたす べての対流モデルを明瞭に否定している...

対流はおそらく不可能である.というのは、マントル は、多くの地球物理家が考えている弾粘性ではなく、 Lomnitz の修正非弾性則にしたがっているようだからで ある (Jeffreys, 1974, 1976; Wesson, 1974a,b). このこ とは、対流は自己抑制過程であることを意味する. もし 対流が発生しても、流速はゼロに向かって減少していく だろう. 修正 Lomnitz 則は、過去の重力異常や地球の赤 道に沿う非静水圧的膨らみ, Chandler 振動の存在と減衰, 月の軌道, 自転, 地球形状, 自由秤動に関するデータに よって支持されている.

Wesson (1974a,b) は、対流セルはおそらく存在しない だろうと述べた.その理由は、対流とジオイド、対流と 熱流量、対流と火山活動度の間に何らの相関もないから である.地球化学や地震のデータにもとづいて提案され たマントル内の化学的境界は、たとえ流れがマントルの 相変位境界を通過するとしても、対流とは矛盾する.上 部マントルが弾粘性則にしたがい、下部マントルだけが 修正 Lomnitz 則にしたがって挙動するとしても、対流は 700km 以浅で起こり、下部マントルの著しい髙粘性の ため極移動は生じないだろう.

アイソスタシーは、地殻が重力的均衡状態を保ったまま、 荷重の増加 (例えば、氷河など)や荷重の減少 (例えば、 侵食など)に対応して、それぞれ沈降および上昇する、 という学説である.それは、地殻がマントルの上に、あ るいはリソスフェアがアセノスフェアの上に'浮かんで いる'という事実に由来するとされる.Jeffreys (1976) は、アイソスタシーは事実に対する一次近似にすぎない と、次のように記している.

「それがもし一般的な事実としたら,すべての正の重力 異常域は沈降し,負の重力異常域は隆起するはずだ.削 剥されている山系ではどこでも,削剥に同期してアソス タシー補償が進行するか,系統的なアイソスタシー的重 力異常がみられ,同期できずに負の重力異常が現れるだ ろう.最近になって荷重がかかった地域でも同様に,重 力異常がみられないか,系統的な正の重力異常が出現す るだろう.これらの結果は,あらゆる地点において,事 実と矛盾する (p. 458-9)」

産学地帯では、しばしば、著しい残留荷重が見られる. それらは、ひどく脆弱な領域(アセノスフェア)の大き な強度によってのみ支持されうる荷重である.

スカンジナビアとカナダの一部における後氷期の隆起は 'アイソスタシー回復'の古典的な事例として引用されて おり,マントルの弾粘性値を決めるのに使われている. Jeffreys (1974, 1976)は、スカンジナビアとカナダの研 究から見積もられた粘性は偽りだと言っている.その隆 起はおそらく氷床の融解につづいて起きた粘性回復によ るものであるが、フェノスカンジナビア内の隆起速度は 重力異常とはほとんど相関しない.それどころか、フェ ノスカンジナビアは正の重力異常域内に位置しているた め、沈降していてしかるべきである.James (1997)は、 リソスフェアは大陸氷床によって押し下げられるのでは なく、それを支える十分な強度をもつと述べている.

Jeffreys (1976, p. 459-60) が述べたように,フェノスカ ンジナビアやカナダより大きな重力異常がインドに存在 しているが,そこには系統的鉛直運動はみられない.キ プロスは強い正重力異常域にあるが,鮮新世以降隆起し つづけている.他の地中海域,とくにシシリー (Sicily: シチリア島)には同様の異常が見られるが,ある場所は 歴史時代に沈降し,他の場所は隆起し,場合によっては, これらの早期の運動が反転した場所もある.顕著な削剥 が長く続いてきた地域とみなされているウェールズ山地 とスコットランド高原には,系統的な正重力異常がみら れる.大コーカサス山脈は過剰な荷重がかかっているが, 沈降しないで,隆起している.いっぽう,北部の前縁沈 降帯は荷重が取り除かれているが,隆起ではなく沈降し ている (Beloussov, 1980, p. 260).

地球は、10<sup>7</sup>年間にわたって逆向きに大規模に変化して きたという事実があるにもかかわらず、常に完全なアイ ソスタシー状態に向かっていると、未だに広く考えられ ている.多くの古期山系は元々はアルプスと同様の高さ であったが、高さ約 1km まで削剥された.もし、アイ ソスタシーがこの過程で維持されていたなら,削剥作用 は堆積物をすべて削り去り,花崗岩層まで深く削り込ん だはずだ.このようなことは起きていないので,山地は 下方へひっぱられてきたにちがいない (Jeffreys, 1976, p. 492). Jeffreys は,「常に完全なアイソスタシーに向かう という'粘性流仮説'は,明白な誤りだ」と結論づけた. 大深度の岩石の強度はゼロではなく,粘性流は差応力が 岩石強度を超えない限り,無視できる (p. 460-1).変動場 ではアイソスタシー則の顕著な破綻がおきるが,安定し た古期楯状地や深海堆積盆地はアイソスタシー状態によ り近い.

上部マントルの粘性に関する最近の見積もりは、3× 10<sup>18</sup> ~ 3×10<sup>22</sup> Pa s である (Sato, 1991; Vermeersen et al., 1997). フェノスカンジナビアにおける地殻変形に 基づいて, Zhao et al. (2012) は、上部マントルの粘性が 3.4 ~ 5.0 x 10<sup>20</sup> Pa s、下部マントルのそれが 7 ~ 13 x 10<sup>21</sup> Pa s であることを見いだした. それとは対照的に、 MacDonald (1965) によると、衛星観測から得られた地 球の形状比較は、地球が静水圧的均衡にあると仮定して 計算すると、マントル内部には 100 bars オーダーの差 応力が存在することを示した. もしマントルが弾粘性的 であるなら、平均粘性は 10<sup>25</sup> Pa s 程度でなければなら ず、大きな重力異常をともなうかつての地質地形の存在 は、この数値さえも小さすぎることを意味している.

# プレート運動さらに極漂移 (Plate motions plus polar wander)

プレート論者は,真の極移動は,スラブのもぐり込み, 湧昇するプリュームやマントル対流に結びついた質量再 配置によって引き起こされた,惑星の慣性モーメントの 変化の結果であると信じている (Besse et al., 2011). 赤道 の膨らみは地球がのたうちまわらないよう安定させよう としているが,自転軸は 2 ~ 6 Myr の期間で最大主慣性 軸に適合しようとする (Greff-Lefftz & Besse, 2011). 過剰 な膨らみはマントル対流のせいにされてきた (Cambiotti, 2012).

TPW (真の極移動)の多くの研究は、ホットスポット (長期にわたる活火山)がマントルに関する基準位置に なる、という仮定に基づいている.ホットスポットはプ リュームの表層での現れで、マントル深部に由来すると すると想定され、それらの上方を通過するプレート上に 死火山のほぼ直線的連鎖の痕跡を残してきた.最初は約 20のホットスポットが提案されたが、今日では、約6 個の初源的なマントルプリュームと5200 個ほどの中規 模のプリュームがあると言われている.ホットスポット のほとんどが表層の構造要素であるという事実が蓄積さ れているので、深部由来のマントルプリュームの存在に は、プレート論者の間でも異論がある.地震波トモグラ フィは、ホットスポット直下の狭長な湧昇流の確実な証 拠を見いだせないでいる (Anderson & Natland, 2005; Anderson, 2007).太平洋のホットスポットは、イン ド-大西洋やアイスランドのホットスポットに連動いて いることが広く認められている.あるグループでは速度 3mm/yr,別のグループでは 20 mm/yr ないしそれ以上 の速度が,主張されている (Gordon, 1995).しかしなが ら、多くの研究者は,確実なホットスポットは有効な位 置基準になる程度に充分固定されている,と未だに信じ ている.もし大規模なプレート運動が架空のものであっ たら,ホットスポット上を通過するプレートは無意味に なり,ホットスポットの痕跡は他の原因,たとえば伝播 性リフトを考えねばならない.

Steinberger & Torsvik (2008) は、古地磁気学的に導か れた過去 320 Myr 以上にわたる大陸移動と回転につい て研究し,北方への定常的移動と,時限的な時計回りと 反時計回りの回転の両者を認め、それを彼らは真の極移 動の証拠と解釈した.彼らは、約250~220 Maに、約 18°の反時計回り回転を見いだし、195~145 Ma に は時計回りに同程度, 145~135 Ma には時計回りに 約 10°, 110~100 Ma には反時計回りに同程度の回転 を見いだした. ところが、この期間全体の実回転はほぼ ゼロであった. 彼らはいくつかの大陸移動はこの図式に 適合しないことに気づいたが、その原因を古地磁気デー タの不足に帰した.彼らは、定常的北方移動が真の極移 動を表していることはない考えた. 真の極移動の速度 は 0.45-0.8°/Myr の規模であるが、両方の期間における 時計回りと反時計回りの真の極移動の中心が 0°N - 11°E に位置していたために,後期石炭紀以降に累積された真 の極漂移はゼロに近い (Torsvik et al., 2012). (注:1°~ 110 km)

図 5.4 は, Besse & Courtillot (2002) によって決定された, ホットスポットを基準にした経時的な真の極移動経路を 示している.彼らは、より速い真の極移動の期間と(準) 停止期間が交互に起きることを見いだした. その移動経 路は、160~130 Ma における停止、130~70 Ma の 準環状軌跡 (30 km/Myr), 50~10 Ma における停止, その後,現在までのより速い移動 (100 km/Myr) を示し ている. 一方 Prévot et al. (2000) は, '厳密に選定され た古地磁気データベース 'を使って, 過去 200 Myr にわ たって,現在から 80Ma とおおよそ 150~200 Maの ふたつの長期にわたる停止と, 80 Ma ~約 150 Ma 間に 起こった唯一の真の極移動 (マントルプリュームの過活 動に起因)を見いだした(図 5.5 参照).後者の期間は約 110 Ma に最高潮になり、極が突然 20° 移動し、その期 間には 5°/Myr (0.5 m/yr) を超える速度に達したと思わ れる. いっぽう, Cambiotti et al. (2011) は、第三紀前期 (50-60 Ma) 以降, 極はグリーンランドへ向かって 4°~ 9°移動した述べている. ただし, 彼らは 10~50 Ma ないし0~80 Maに(準)停止期間を設けてはいない.

0.5 m/yr の真の極漂移が白亜紀に起こったという, Prévot et al.'s (2000) の主張とは対照的に,中~新生代 の長期間にわたる真の極漂移は約 1 ~ 5 cm/yr と見積も られ,それは 130°E と 310°E の子午線に沿って行った


図 5.4. 過去 200 Myr のホットスポットを基本とした真の極 移動. 95% 信頼できる楕円に結合. (Besse & Courtillot, 2002; Besse et al., 2011 の図 3, Springer Science+Business Media BV から許可を得て転載)



図 5.5. 時間平均された極位置,および 4 つの連続期間における インド - 大西洋ホットスポットの基準位置についての 95% 信頼 度円. 純粋な双極子磁場モデルに関連した黒印および四極場モデ ルに双極場を加えた白印. (Prévot et al., 2000 の図 2)



図 5.6. ゴンドワナ (Evans, 2003 の図 3) における原生代末期~ 古生代後期の見かけ上の極移動 (APW) 軌跡. Evans (2003) およ び Raub et al. (2007) は,東オーストラリア付近の一般的に長期 間の最小慣性軸 (Imin) を,見かけ上の極移動 (APW) の振動的回 転と解釈した. り来たりしている (例えば, Besse & Courtillot, 1991). 真の極移動の急速な暴走は,他の研究者によっても提 案されている. Van der Voo (1994) は,古生代中期の ある時期に 70 ~ 110 km/Myr の速度を見いだした. Kirschvink et al. (1997), Evans (2003), Raub et al. (2007) および Piper (2006) は,地球は慣性主軸のうち,ふたつ が劇的に交代したこと (慣性による真の極交代, inertial interchange true polar wander, IITPW),すなわちリソ スフェアとマントル全体が数百万年間のうちに 90° も回 転した可能性を議論した.プレート論者の大半は,超高 速移動を支持する事実に説得力がないと信じている.

Kirschvink et al. (1997) は、カンブリア紀前期~中期 におけるプレートの大規模な造構的再編の結果とし て、535~520 Ma (525~ 508 Ma, Evans, 2003 によ る)の約90°の真の極移動が600 km/Myr 以上の速度 で生じたと推測した. Torsvik et al. は、より完全な古 地磁気データセット解析が「伝統的なプレートテクトニ クスの構造系'に適合することに反対した. それに答え て, Kirschvink と彼の共同研究者は, 彼らの結論は 'さ らに信頼できるデータのサブセットや真の極移動仮説が カンブリア紀前期の地質記録の多くの特徴を説明する (Torsvik et al., 1998)' ことに気づいた. Tsai & Stevenson (2007) は, Kirschvink et al. の真の極移動の筋書きを信 じられないと却下した. それは、下部マントルの粘性と してはありそうもない 7x10<sup>21</sup> Pas 以下の小さい値しか 設定しなかったかったからであろう. Piper (2006) は, デボン紀の 410~390 Ma 間に起こった 90° におよぶ 真の極移動の慣性変換 (4.5°/Myr) について述べ、それは 下部マントルへなだれくだる長いリソスフェアに確かに 関連しているとした.

プレートテクトニクスの真の極移動の見積もりが著しく 矛盾していることは、明らかである.彼らがよりどころ にした選別された古地磁気データ、およびプレート仮説 のほかに、何らの信頼できるデータもない.もし大規模 なプレート運動に関する古地磁気データの説明が誤りで あったなら、それらのデータの他の特徴を説明するため の極移動仮説も誤いだろう.

# レンチテクトニクス (Wrench tectonics)

#### 極漂移 (Polar wander)

選択された古地磁気データにもとづいて,レンチテクト ニクスは大規模な真の極移動と'控えめな'大陸/プレー トの回転と並進を仮定する (Storetvedt, 1997, 2003).極 移動は,自転軸に対する地球全体の方向転換を意味し, 主に内部脱ガスとそれに関わる地殻デラミネーション (剥離)に起因する惑星内部の大規模な質量再配置によっ て引き起こされる,とみられている.極移動は比較的急 速な事変 [複数]として起こり,それらは長期にわたる 造構的静穏期によって境されるという.自転軸は,古生 代中頃~現在まで,0°/180°の子午線面において地表に 対して緯度で最大約 70° 移動した.始新世 / 漸新世 (E/O) 境界の頃, すなたち約 35Ma に, 極は 2 ~ 3 Myr の間に, 現在の位置近くまで約 35° 移動したと喧伝されている.

レンチテクトニクス (Storetvedt, 1997, p. 246-50; Storetvedt & Bouzari, 2012) によれば,北極の漂移は, 全体的には太平洋へ向かっていたが,方向の反転も生じ た.古地磁気データによると,ジュラ紀〜白亜紀前期の 極は現在と大きく異なることはなく,古赤道はサハラ中 央を横切っていた.約 100 Ma に,赤道はアフリカ大陸 の北縁に移動したが,その後,80~60 Ma にはサハラ 中央に戻り,第三紀前期に地中海の南縁に移動するとい う.約 35 Ma における急速な極移動の際に,赤道は地 中海から中央アフリカを横断して現在の位置付近に移動 し,中新世中頃にアラバマ州中央を横断する位置まで再 び北上し,約5 Ma に現在の位置にもどった.

レンチテクトニクスは、少なくとも 450 Myr にわたっ て (Storetvedt, 1997, p. 60), 極移動が事実上同じ面に固 定されていたと主張する.極移動の期間中に地球が反転 する軸は赤道上の2地点,0°N/90°E,そして0°N/90° W(これは事実上,前述の振動仮説と同様の軸である) を通過する.このことは、地球内部での密度異常が断続 的に発生する場合に限り、起こり得る.現在の座標系に おいて、北極が太平洋へ移動するには、180°子午線上 に中心をもつ北半球の四分球,および / あるいは,対蹠 的四分球に正の質量異常が生じるはずであり、これれに は北緯ないし南緯 45°における質量過剰がもっとも効果 的であろう. 極移動 (それが起こるにはマントルの粘性 と強度がかなり小さいと思われるが)は、このような過 剰質量を赤道へ向かって移動させることになる. ほぼ同 じ方向へ移動する極移動(あるいは,赤道の反対側の四 分球における逆方向への極移動)のためには、前述のよ うに、正の質量異常が同じ四分球に発生することが必要 であろう.しかしながら、赤道域にすでに存在する正の 質量を赤道から除去するためには、赤道上での異常が減 少するか, 消滅しない限り, 新たなより大きな質量異常 が必要になり、これらの作用が数億年間続いてきたであ



図 6.1. 古生代中期以降の '全球極移動軌跡'. 'アルプス期'の大陸移動の事変から見積もられた,ヨーロッパとアフリカにおける 選択された古地磁気データによる. UT = 上部第三系,LT = 下部 第三系,P = 上部白亜系~二畳系,LC = 下部石炭系. (Storetvedt, 1997の図 9.5)

ろう. 極が同一面上で行きつ戻りつするという, このよ うな筋書きはかなり不自然で, まったく信用できない. もし大規模な極移動がおこりうるとすると, Goldreich & Toomre (1969) (図 5.3. の上図参照) がシミュレートし たようにもっとバラバラの軌跡になるはずである.

レンチテクトニクスによれば、極は、前期石炭紀以降3 億年にわたって35°(逆進を除く)移動し、その後は、わ ずか200~300万年間にさらに35°—100倍の速度で— 移動した. Storetvedt (1990, p. 158)は、これは'仮説の 想定内'のことであると言い、強度ゼロ・低粘性のマク スウェル地球を想定するGold (1955)を引用した. Tsai & Stevenson (2007)は、真の極移動は1000万年間で8° が限界であると計算した. 彼らは、プリュームの上昇と 同様に、マントル対流とスラブのもぐり込みといったプ レートテクトニクスの諸作用の存在を想定した上で、マ ントルの粘性を3×10<sup>22</sup> PaSと推定した(この推定値は、 実際よりも数桁は小さいだろう).

始新世/漸新世境界における35°の極移動に関する Storetvedt の古地磁気学的証拠が図 6.2 に示され、それ はアフリカとヨーロッパにおける選択された中 - 新生代 古地磁気極を表している.対称的で反対向きに運動する 真の極移動軌跡は、おおよそ 180°E/55°N に位置する共 通点まで、2つの大陸が反対方向に回転したことを意味 するとされ, 共通点に達した時期は始新世 / 漸新世境界 とみられている. それにつづく, ほぼ子午線沿いの真の 極移動軌跡は、緯度で35°にわたる急速な極移動期を表 すと言われている. この図には年代データが1つも表示 されていないことに注意されたい. Storetvedt (1992, p. 205)は、古磁極は矢印と反対方向に「年代を遡ることか ら推論した」と述べただけである.同様の不備は、35° の極移動を示した彼の図のすべてに見られる (例えば, 図 6.3). 実際の年代決定データを示し、なぜそれらが不 確かであると考えるのか,そして,なぜ想定年代が論理 的前提概念にもとづいているのかを説明するほうが、よ り科学的であろう. この急速な真の極移動が始新世 / 漸 新世境界における大規模な気候変動を説明するという主 張は、後の節で検証される.

極移動に起因する緯度方向への移動には、0°/180°子午 線上にだけ、最大値(古生代中頃〜始新世/漸新世境界 の35°、および、その後の2-3 Myr 以内の35°の実移動) がみられる.なぜなら、他の位置では、移動量がより小 さくなるだろうからである。Besse & Courtillot (2002, 2003)が様々な大陸に対して、また、Beaman et al. (2007) が太平洋プレートに対して、それぞれ示した古地磁気 データは、上述のレンチテクトニクスの主張をまったく 支持しないようにみえる。例えば、グリーンランド(想 定された極移動の子午線に比較的近い)は、必要とされ る大きさの緯度変化を示さない、少なくとも、このこと は、データの選別にもとづいてたいへん効果的な結論が 導かれたこと、そして、それらがいかに操作され、解釈 されたかを示している。 もし古地磁気データが信頼に耐えると考えるのであれ ば、'グローバルな'極移動軌跡は、ヨーロッパやアフリ カだけのデータではなく、グローバルなデータにもとづ かなければならない.確たる筋書きを得るために、デー タがどの程度選択され、処理されたかを知ることは興味 深い.図 6.4 は、Besse & Courtillot's (2002) による、ア フリカにおける過去 2 億年間の見かけ上の主極移動軌跡 を示している.200 ~ 90Ma の期間に軌跡の逆戻りがみ られることに注意されたい.このことは、図 6.5 に示さ



図 6.2 カナリー・ケープベルデ諸島間における中生代~第三紀 前期の選択された古地磁気極.(Storetvedt, 1992の図 2). 西ヨー ロッパ(三角)とアフリカ(丸)における関連データと比較.



図 6.3. ヨーロッパおよび北米大陸塊における中生代〜第三紀前 期の古地磁気極の比較. Storetvedt (1992, p. 210) は次のように 記している:「古磁極と年代との相関は文字通りに受け止めては いけないし,磁化と岩石の物理的年代は,下部第三系におけるア ルプスプレートの主時相に起因した再磁化作用により,そう簡単 には関連させられなかった」. すなわち,仮想の極に対して決め られた年代(彼は年代を出し損ねている)は,厳密に受け止めら れなくてはならない.再磁化作用の可能性の理由に代わって,我々 は彼自身の連続する '推定'年代(矢印で示されている)を厳密 にチェックしなくてはならない. (Storetvedt, 1992の図 8)

れた南アフリカにおける顕生代の APWP にも見られる. 図 6.6 は南アメリカの APWP を示していて,見かけ上の 極移動がほとんど見られず,大半の極は 80°よりも高緯 度に位置している. どのようにして,これら 2 つの大陸 における APWP が,レンチテクトニクスが主張する過去 3.5 億年間に北へ 70°,そして約 35 ~ 32 Ma の 35°の TPW とに,いかにして調停されたのか,興味深いこと だろう – とくに,大陸回転のはじまりが白亜紀後期にか ぎられるというのであれば.図 3.8 に示されたシベリヤ とバルティカ (Baltica)の APWP は,レンチテクトニク スにとって,面白い挑戦になるだろう.考慮される古地 磁気データが増えれば増えるほど,回転,並進,そして 地質学的連続性には分裂が増すことになるだろう.

Storetvedt (1997) は、カレドニア - アパラチア、ヘルシ ニア,アルプス-ヒマラヤの各褶曲帯(すくなくとも, その一部)は当時の古赤道に沿って分布する,と主張し た (図 6.7. 参照). 彼は, 赤道上での造構的活発化は, (脈 動的に発生する)マントルプリュームにはたらく遠心力 (赤道で最大)に由来すると主張する. であるとすれば、 現在の赤道に沿う造構運動や火山活動が何も見られない ことは奇妙である. レンチテクトニクスによれば, 現在 の赤道と石炭紀前期の赤道との間の地表のすべてが、少 なくとも一回は赤道部の膨らみを経験していなくてはな らない.極が行きつ戻りつしたので、いくつかの地域で は赤道部の膨らみを最大で4回経験したはずだ. さまざ まな時代の造山帯の地理的分布をみる、その大半はレン チテクトニクスのいう古赤道に一致しないことがわかる (図 6.8 ~ 6.10). Storetvedt は,造構運動の活性化帯は, ウラル地帯、オスロリフト、ライン地溝の例のように (p. 359) 古赤道にほぼ直交することが予測される、とも述 べている.しかし、この例示も印象が悪い.

McKenzie & Priestley (2008) は、大陸の造構変形は大陸 '核'-すなわち、厚く冷たいリソスフェアの分布域--に よって規制されてきたという.これらの地域は、すべて の剛塊を網羅しているわけではなく、現在の剛塊の範囲



図 6.4. 過去 200 Myr のアフ リカの主 APWP. 95% の信頼 円 (10 Myr 毎の平均, 20 Myr の移動範囲). 年代枠毎の平均 年代が示されている. (Besse & Courtillot, 2002 の図 1)



図 6.5. 南アフリカの APWP. (a) 南 ア極のみ. (b) ゴンドワナと南アの 合体によるなめらかな雲形軌跡路. (Tauxe, 2013の図 16.10)



Courtillot, 2002の図 9)



図 6.7.石 炭 系,二畳系,二畳系, 下部第三系, 上部先カンブ リア系~下部 古生界のねじ れテクトニク スによる古赤 道 (Storetvedt & Bouzari, 2012の図 3)



図 6.8. 大陸の造山帯. 主要な造山分 布の年代を添えた. (Burchfiel, 1990; www.accessscience.com による)

を超えて非剛塊地域が含まれていることもしばしばであ る. 北米の大陸核 (図 6.11.) は,東をアパラチア山脈, 西をロッキー山脈によって縁取られている. 北部ユーラ シア大陸核 (バルト楯状地と,ロシアおよびシベリア台 地:図 6.12.)の西部はヨーロッパの構造発達を規制し, そこではカレドニアおよびヘルシニア褶曲帯がその周縁 をとりまいて覆っている.大陸核をよこぎるウラル山脈 の形成期にはリソスフェアが薄化していたであろう.

加熱された球体が冷却する際には大円に沿って破断する

という説 (Jeffreys, 1976) と室内実験 (Bucher, 1956) は, 注目に値する.先第三紀の造山帯は,ほぼ大円に沿うか, その一部に配置されている.しかし,今日の地球に残っ ているのは2つの大円の一部をなす断裂帯だけであり, それらは,非常に活動的な環太平洋地震変動帯 (ベニオ フ帯),およびほぼ消滅したアルプス-ヒマラヤ (テチ ス)帯だけである (Meyerhoff et al., 1996a; Meyerhoff & Meyerhoff, 1974a).両地帯はおそらく先カンブリア 紀に発生し,時々再活性化した.



図 6.11. (a) 北米の造構マップ (Holmes, 1965 の図 811). (b) リソスフェアの等層厚線図. 剪断波速度から計算された.マゼンタ色 円 = ダイアモンド含有キンバライト,黄色円 = マントルジュールを含むアルカリ岩の位置.構成鉱物はリソスフェアの厚さの見積も りに使用された.白色四角の数は見積もられたリソスフェアの厚さ (厚さは Shapiro et al., 2004 によるものより約 100 km 薄い:図 2.8.参照).黄色線は 'a' と付された北米大陸塊のおおよその輪郭を示す. (McKenzie & Priestley, 2008 の図 2)

O no diamonds

diamond-bearing



図 6.12. (a) ヨーロッパの造構図 (Holmes, 1965の図 807). (b) 黄色線は 'a' と付された東ヨーロッパ大陸塊のおおよその輪郭を示す. 図 6.11.のキー参照. (McKenzie & Priestley, 2008 の図 3)

# 回転する大陸 (Spinning continents)

レンチテクトニクスによると,後期白亜紀以降,大陸は さまざまな程度の回転をおこなった.この回転には,お そらく,周囲の海洋リソスフェアもともなわれ,その範 囲は公式の"プレート境界"までとされる.提案された 運動は,プレートテクトニクスよりは控えめである.し かし,そのような運動はやはり疑問視され,リソスフェ ア厚度の劇的変化や汎世界的なアセノスフェアの欠如な どが問題になる.レンチテクトニクスが主張する運動は, 次のようにまとめられる.古地磁気データが地質学的に もっともな出来事であると私たちに信じるよう求める場 合,結局のところ,それらのデータをあまり真剣に考え ないことが合理的なのである.

北アメリカは,この大陸の北部に位置するオイラー極を 中心に,ヨーロッパ/ユーラシアに対して最大で約25° 回転した,という (Storetvedt, 1997, p. 72; Storetvedt and Longhinos, 2011, p. 21). Storetvedt and Longhinos (2011)は、今では不活発なユーラシア陸塊も約30°時 計回りに回転したとする.このようにユーラシア陸塊全 体は現位置回転をおこない、実回転は内部変形の結果に ほかならず、北米大陸南半部での時計回りのねじれは もっと大きく、合計で約55°に達する.

始新世 - 漸新世境界以前に, ヨーロッパは時計回りに約 25°回転し, アフリカは反時計回りに同量の回転をおこ なった (Storetvedt, 1997, p. 246). アフリカと全ユーラ シアは現在も回転を続けているとされるが, Storetedt (1997, p. 248) はアフリカとヨーロッパの相対的回転が 始新世 - 漸新世境界で終了したと述べている.

南アメリカは,おそらく始新世のあいだに,ブラジル 北東部のオイラー極に対して時計回りに約20°回転し た.同時に,この大陸の北半部(20°S以北)は反時計回 り回転して,中部アンデス山脈の造構屈曲をもたらし た(Storetvedt, 1992, p. 211; 1997, p. 307-12). それゆ え,南アメリカの回転は約10°に緩和された.南アメリ カは南へ最大 20° 移動したともいわれている (Storetvedt and Longhinos, 2012). 大陸を回転させると想定される 慣性力は,南アメリカを反時計回りに回転させるはずだ が,比較的狭い赤道大西洋の両岸における " 造構的相互 作用 " が,南アメリカを揺れながら時計回り回転させた と喧伝されながら,この応力場は,同時に,この大陸の 北部をゆれながら反時計回りに回転させたというのだ!

大インドは, 暁新世前期にほぼ現在の方位をとってアジ アと再連結する前に, 白亜紀 / 第三紀境界頃に約 135° 回転した (Storetvedt, 1990, p. 141; 1997, p. 243).

南極は時計回りに 140°回転し,オーストラリアは反時 計回りに 70°回転した (Storetevedt, 1997, p. 335, 350). オーストラリアは始新世 / 漸新世境界をすぎても回転し つづけ (1992, p. 209), 南極は今も回転している. さらに, 南極 - オーストラリア - ニュージーランド - メラネシア ブロックは,アフリカに比べて 1,700km(15°) 移動した.

中部イランは, 三畳紀以降に 90°以上反時計回りに回転 した (Storetvedt and Bouzari, 2012). Madeira は, 第三 紀に約 50°反時計回りに回転したのち,約 25°時計回り に回転した (1990, p. 166). イベリア半島は,後期白亜 紀の 100 ~ 90Ma にすくなくとも 40°反時計回りに回 転し,つづいて,75~65Ma には時計回りに約 70°回 転した (1997, p. 281).



図 6.13. ねじれテクトニクスによる,イベリアのうなずき (Storetvedt, 1997の図 9.24)



地球表層は、先カンブリア紀に発生したことが明らかな 構造リニアメントによる十文字状パターンを示す. これ らのリニアメントは海洋盆や大陸を横切ってしばしば数 1,000km にわたって連続していて、プレートテクトニ クスに想定されているリソスフェアの移動を論破する. Storetvedt and Longhinos (2012) は、レンチテクトニク スが提案する大陸と海洋底の運動はこれらのリニアメン トの連続性をひどく分断することはなかった、という. しかし、それらの運動は、何らかの痕跡を残すはずであ る. ところが,図 6.14 に示されたリニアメントは,喧 伝されている南アメリカの 20° におよぶ南方移動と 10° の時計回り回転や、アフリカの25°の反時計回転の証 拠を何ら示さない.オーストラリアを横切り,海洋域へ 連続するリニアメント (図 6.15)は、オーストラリアの 70°反時計回転に矛盾する. 同様に, 大インドの約 135° におよぶ時計回り旋回は、図 4.6, 4.8 および 4.9 に示さ れるリニアメントや層序学的証拠に矛盾する.

図6.16のGPS速度ベクトルは,現在進行中であるはずの, 南北アメリカの時計回り回転やアフリカとオーストラリ アの反時計回転を示してない. Storetvedt and Longhinos (2012)は、GPS データがユーラシア全体の時計回り回転 が現在もつづいていることを支持している、と論じた. 彼らは Zemtsov (2007)を引用したが、この論文は次の いくつかの重要な追加情報をもたらした.第1に,現 在の回転中心は中国の東ヒマラヤ山脈 (95°E/ 30°N)に あり、この大陸の幾何学的中心から遠く離れている. 第 2に、角回転ベクトルは大陸縁辺から回転の中心部へ向 かって大きくなっていて、これは、1つの剛体的単元と してユーラシアが回転している場合に予想されることが らとは逆である.最大の大陸が現在も回転(および変形) しているとすると、いくつかのより小規模な大陸が回転 図 6.14. 南アメリカ大陸とその周辺における主要な構造方 向. CPM= 中央太平洋主要方 向. NPM= 北太平洋主要方向. (Choi, 2002 の図 4)



図 6.15. オーストラリア周辺の海洋底リニアメント (Choi, 1997 の図 2). 主要大陸リニアメント (O'Driscoll, 1986; Elliot, 1994) が重さねあわされている. 深海掘削地点とドレッジ地点が 示される. CLPT F.=Clipperton Fracture Zone.

を終えていながら,周辺部から中心へ向かって速度が増 大するのは不思議であろう.

Storetvedt and Bouzari (2012) は、図 6.17 に示される GPS 速度場にもとづいて,現在は中東が反時計回転して

国際雑誌 グローバルテクトニクスの新概念 [日本語版] Vol. 1, No. 1



図 6.16. GPS による地殻運動 (http://en.wikipedia.org)



図 6.17. ユーラシアに対する中東の GPS 速度 (1σの誤差楕円を 含む). Reilinger et al. (2006) の図 2.

いると結論づける.しかし,この速度ベクトルによると, この地域が相対的に剛性的な単元として一体化的に回転 してはいないことは明瞭である.この回転の極は,(速 度ベクトルの大半に直交して)おそらく地中海東部に位 置し,回転極から遠ざかるにつれて速度が増加するは ずであるが,そうはなっていないことは明らかである. Reilinger et al. (2006)は,次のように述べている.「速 度場は,変形の集中帯 (幅≪100km) に隔てられた非変 形領域群としてうまく特徴づけられる.変形帯は,活断 層,歴史地震の活動帯に密接に関係し,剛体的 (coherent) 地帯は地震活動の静穏帯によって特徴づけられる ......」, と. Storetvedt and Bouzani (2012) は,アラビア,イラン, アナトリアおよびエーゲ海のみならず,現在,アフリカ も一体として反時計回転している,と図 6.17 から推測 されうるかぎりのことを論述しつづけるが,彼らはアフ リカに関する速度場を提示していない.図 6.16 にみら れるように,反時計回転を強いる証拠は何もない.

GPS データは南極の時計回り回転が進行中であることを 証拠づける,という (Storetvedt, 2010). 確かなことは, 南極はその内部にある点の回りを回転していないとい うことである. 南半球のオイラー極は,図 6.18 のよう に,周辺の海洋域に位置する (Bouin and Vigny, 2000; Donnellan and Luyendyk, 2004; Jiang et al., 2009; Dietrich et al., 2004). Jiang et al. (2009)は,全般的に は南極プレートは南アメリカプレートに向かって移動し ていて,オーストラリア大陸からはしだいに離れつつあ る,という.

衛星測地データは,現在進行中の地殻運動と局地的応力 場に関する重要な情報をもたらすが,リソスフェア"プ レート"全体の運動に関する一般的結論を導いたり,そ のデータを数100万年前や数100万年後に敷衍するこ とは,ひどく疑わしい行為である.



図 6.18. 南極における SCAR GPS ネットワークによる測点の水 平速度. 回転極の 1 つの解を示す. (Dietrich et al., 2004;http:// rscs.anu.edu.au)

# 慣性力 (Inertial forces)

レンチテクトニクス (Storetvedt, 2007) によると、半 球的ねじれ、大陸 / プレートの現位置回転、および造 構 - 火成活動帯の形成は、おもに、遠心力、コリオリ 力、エトベシュ (Eötvös, Polflucht, 離極 [pole-fleeing]) 力、および潮汐力 (太陽と月の重力性曵力)に起因す る. Wegener の学説は、これらの力 (そして、のちに はマントル対流)をもちいて、大陸がより高密度の海洋 底の上を西へ向かって移動したと説明した. しかし、こ れには矛盾がある. すなわち、マントル上部はすくなく とも 10<sup>8</sup> dynes/cm<sup>2</sup> (100 bars) の長時間強度をもつとみ られるいっぽう、これらの力はいずれも、大陸底では約 4,000 dynes/cm<sup>2</sup> 以上の剪断応力をもたらすことはでき ないのである (Chadwick, 1962; Jeffreys, 1976).

コリオリ効果は,地球自転とその影響下にある物体の慣 性に起因する.コリオリ効果は,水平運動している物体 に,北半球では右向きの,南半球では左向きの偏向をも たらす事実を記述したものである.さらに,上下方向 に運動している物体を,それぞれ西または東へ偏向させ るが,この効果ははるかに軽微である.「任意の水平運 動のうち,もっとも強力な水平方向への偏向は極で起こ り,赤道では水平偏向が起きない.鉛直運動では逆にな る」(Persson, 1998).コリオリ効果は,水平成分に加え て,Eötvös 効果として知られる鉛直方向の成分をもつ. Eötvös 効果として知られる鉛直方向の成分をもつ. Eötvös 効果は,東向きに移動している物体を上向きに偏 向させる(軽く感じる)が,西向きに移動している物体 を下向きに偏向させる(重たく感じる).コリオリ効果の この特徴は,赤道付近で最大になる. "コリコリ効果"と いう用語は,水平成分だけを示すことがしばしばである.

コリオリ効果は、地球の自転速度と対象物体の運動速度

に比例する.地球自転は1日に1回だけであるので,こ の効果は小さいが,大規模な大気や海洋の循環では顕著 である.北半球では高気圧の風系が右回りに回転し,南 半球では反時計回りである理由を説明する.同様な状況 は,海洋還流(oceanic gyre)にも認められる.すなわち, 高圧還流の循環は北半球では時計回り,南半球では反時 計回りであり,低圧還流の場合は逆向きになる.

Ricard (2007) は, コリオリ力は重力の 20 兆分の1 程度, 遠心力は 291 分の1 であり,最大に見積もっても,「慣 性とコリオリの加速度は,マントル力学では無視しうる 役割しかはたしていない」と述べている. Goldreich and Toomre (1969) も,マントル内では「すべてのコリオリ 力はまったく無視することができるにちがいない」と解 釈している. いっぽう, Hughes(1973) は,コリオリ力 によるマントル対流の擾乱が,地球表層の断裂帯(太平 洋とインド洋,そして,東アフリカリフト系と大西洋中 央リフト系を含む)の存在を説明しうるとした.しかし, 彼のモデルにはさまざまな不合理な仮定がある.たとえ ば,①四面体配置する 4 つの対流セルを示すマントル規 模の二相対流(極対称性を示す),②アセノスフェアの過 大な流速と過小な粘性,③地表下 100km の全地球的ア セノスフェアの存在,などである.

離極 [pole-fleeing] 力 (Eötvös 効果のもうひとつの側面) は、地球自転とアイソスタシー原理の組み合わせ効果で あり、1900年に Kreichgauer が初めて認め (Wegener, 1929, p. 179), Eötvös によってより詳細に説明された (Eötvös, 1913) [Scheidegger, 1963 参照]. Eötvös 力は, 浮遊物体を最小重力域へ向かって移動させる.とくに, アイソスタシー均衡がなりたっている陸塊は赤道へ向 かって運動する傾向にある.しかし、Jeffreys(1976)に よれば,発生する応力は約 4400 dynes/cm<sup>2</sup> にすぎない. Wegener は, Eötvös 力が浮遊物体を赤道へ向かって移 動させ、しかも、自転する惑星上では定常的に西方へ漂 移させる,と想定した. Jeffreys (1976, p. 479-483)は, Eötvös 力は地表部にはたらく剪断力であるので、マント ル粘性は約 10<sup>15</sup>Pa s にすぎなく, Chandler 動揺によっ て2~3日以内に打ち消される、と反論した.緯度変化 データにもとづいて粘性を最小に見積もって 5 x 10<sup>19</sup> Pa sとすると、地殻は約3.000Myの間に1ラジアン(約 57°) 移動するだろう.フェノスカンディナビア隆起から 推定される粘性を仮定すると、この時間は約100倍にな るはずだ. Eötvös 力が地質学的意味をもつ運動をもたら すことはない、と Jeffrevs は結論した.

Gasperid and Chierici(1996) によると、もし境界面が地 殻-マントル境界に位置する場合 (Wegener の学説と同 様), Eötvös 力は2~3 mGals にすぎないが, リソスフェ ア/アセノスフェア境界に位置する場合には1桁大きく なる (中緯度で20~30 mGals). Caputo (1986) は, リ ソスフェア薄片の密度が周囲の岩石の密度よりも小さい 場合, このブロックは赤道へ向かって移動 (Polfuchtkraft) するだろうが, 密度がより大きい場合には, このブ ロックは極へ向かって移動 (Äquatorfluchtkraft) する だろう,と論じた. Gasperid and Chierici は,離漂流 (Polfuchtkraft)が,喧伝されているようにゴンドワナ大 陸を赤道へ向かって 4,000 km も移動させ,その分裂を ひきおこしただろうという.

レンチテクトニクスによると、ねじれ変形はコリオリ力 や遠心力などの慣性力に由来し、古赤道帯で最大とな る (Storetvedt and Bouzari, 2012). これらの力は、物 理的相互作用に由来するものではなく, 非慣性系, すな わち自転する地球の加速度に由来するものであり、"み かけの力 "あるいは " 偽力 " として知られている (Iro, 2010; Price, 2006). 遠心力は赤道で最大であるが、コ リオリ力は水平流動に関するかぎり赤道で最小である. Storetvedt (1992, p. 217)は、伏在マントルに対するリ ソスフェアの可動性は、"マントルにおける熱対流に起 因し, ......地軸自転によって制御されている"とい う. それゆえ, コリオリ力がすべての大陸, 最大のユー ラシア大陸をも回転させていると想定しているのかどう か,不明である.地球自転はアセノスフェア(そして、 リソスフェアのマグマチャネル)中の全般的東方流動 (Meyerhoff et al., 1992b, 1996a) をひきおこすだろうが, 慣性力がアセノスフェア流動に変化をもたらし、個々の 大陸や "プレート "を回転させるということは信じがた い. レンチテクトニクスは、定量的解析において、慣性 力をかなり誇張した主張によって支えられている.南ア メリカ (と周辺海洋底)を南へ 20°, "南極 - オーストラ リア - ニュージーランド - メラネシアブロック "を北へ 15°移動させたと想定されているが、それらの力が何で あるか, これらの問題もよくわからない.

回転極は、同一時刻には、1 点にのみ存在しうる. 大規 模なプレート運動を否定したものの, (一部の)古地磁気 データを過大評価する極移動論者たちは、ある特定期間 の極位置を決定すると,残りの古地磁気データを個々の 大陸や大陸ブロックの回転と並進によって説明するか, 間違ったデータであるとせざるをえなくなる\*2. レンチ テクトニクスがより広域的な古地磁気データと総合され ると、より多くの大陸内ブロックの運動が必要になるだ ろう.たとえば、北中国と南中国ブロック、シベリア、 および " バルチカ ", ブリテン島とアイルランド島の北 半部と南半部,そして,数100もの"外来テレーン"が すべて独立に回転 / 並進しなくてはならなくなり、レン チテクトニクスが想定するように諸大陸が全体として同 じ方向に回転する保証は皆無となる. 仮想されている運 動が地質学的に非現実的で,利用する古地磁気データを 独断的に選択せざるをえないのであれば、それは、過去 の回転極を求める上で、データ自体が信頼のおけない指 標であることを示すものであろう.

\*2 その1つの極端な例が Pavlenkova(2012)の流体回転モデ ルであり,彼女は Storetvedt の極移動のシナリオを適用したが, 提案されていた大陸/プレートの回転/並進を否定した.彼女は, 古地磁気データに示された大陸の全般的な北方移動を認めただ けで,独断的に経度方向への移動を否定した.彼女は,さまざ まな大陸やブロックの古地磁気データにみられる緯度方向の変 化さえもが,石炭紀以降の70°におよぶ極移動に調和しない事 実を無視している.

# 古気候 (Palaeoclimate)

現在の世界の気候帯の境界は赤道に平行ではなく,完全 な軸対称でもない(図7.1). これは,海陸の分布,大陸 の地形,および海底地形によるもので,大気・海洋循環 にも関係している.

地質時代にわたって、地球はさまざまな時間スケールを もつ多数の温暖化 / 寒冷化サイクルを経験してきた. そ のなかで、気候帯の幅は大きく変化した.気候変動の全 地球的サイクルと気候帯の幅の変化は、Svalbard やア ラスカ北斜面 (North Slope) のような高緯度地域に産出 する白亜紀の大型恐竜や樹木、グリーンランド西岸中央 部 Ellesmereland やアラスカ南部における暁新世後期~ 始新世中頃の森林(ワニの骨格やヤシの化石を産出), Hatton-Rockall 海台の貨幣石 (テチス) 石灰岩, ロンド ン-パリ盆地のマングローブ沼,および,南極点から 3°以内の大規模な化石樹木と石炭層、といった存在を 説明するのに有用である. 鮮新世前期以降でさえも, 温 帯の幅は、南北両半球で15°(1,650km)以上も変化した (Meyerhoff et al., 1996b). 高解像度のパラメータデータ に確証されるように、地球は全体として温暖期と寒冷期 を経験するとともに、広域的な古気候変化をもたらして きた. "全体像"が, 図 7.2 と図 7.3 に示される.

全地球的気候は複雑な混沌とした非線形システムであ り、その挙動の制御機構に関する理解は未だ初歩的段階 にある.太陽要素と軌道要素(自転軸の傾き,離心率, 歳差),海洋要素,造構要素,正/負のフィードバック,水-炭素循環の間の相対的重要度や力学的相互作用には大き な不確定性が含まれる.おもな不確定性は、地球の温度 を調整している雲の力学的役割をめぐる問題である.

黄道の傾斜は、日射(insolation)の緯度分布、季節変 化の較差,赤道帯と極域の幅を決定する.傾斜が大きく なると、季節変化が、とくに高緯度地帯で大きくなる. 現在の傾斜は 23.44° であり、ゆっくりと減少している. 計算によると、過去500万年間に、22.08°と24.54° の間を約 41,000 年の平均周期で変化した (Berger and Loutre, 1991). 同様な揺らぎは, 一般に, 地球史の大半 にあったと考えられていて、幾人かの研究者はより大き な自転軸の傾きを想定する. Williams(1993) は, 傾きが 先カンブリア紀のほぼ全期間をつうじて 54°を超えてい て, 650~430Maの間に約60°から26°へ急減したと 論じた.いくつかのモデル研究が示唆するところでは. 先カンブリア紀を通して大きかった傾き(最大 70°)が, 始生代の温暖さと、そして / あるいは、すくなくとも原 生代のいくつかの氷河期を説明するという (Hoffman et al., 1998).



中生代〜新生代前期の全般に暖かく,かなり一様な気候 を説明するために,幾人かの研究者は,自転軸の傾きが 0°~15°であったと考えている (Douglas and Williams, 1982; Xu Qingqi, 1979; 1980; Allard, 1948). 古植物 の証拠にもとづいて, Wolfe (1978, 1980)は,この傾 きが暁新世〜始新世中頃に約 10°から 5°まで次第に減 少し,つづいて,始新世末までわずかに (そして急速に 25°~30°へ)増加し,その後はふたたび減少した,と 論じた. Barron (1984)によると,自転軸の傾きが小さ い場合は高緯度地帯で冬期の日射が増大するが,年間平 均日射量は減少して極域を寒冷化させる,そして,実際 の証拠も中生代〜新生代前期には極域が暖かかったこと を示す,という.ところが,Wolfe (1978)は,自転軸の 傾きにはある臨界値があり,大気循環は(今日ような) おもに cellular (細胞状)循環から子午線循環に変化し, こうして,高緯度帯における年間日射量の減少を補償し, むしろ増大させると示唆した.



北半球の約 60% 以上が陸域で,南半球のわずか 20% と は対照的である.水は陸地よりも大きな熱容量をもって いるので,温度勾配や極端な気候は北半球で最大になり, 南半球はより均一な年間気候を示す.北半球のより広い 陸域は,気候学的赤道が,地球の大部分において大半 の期間にわたって赤道よりも北に位置する結果をもたら す.赤道収束帯 (Intertropical Convergence Zone: IRCZ) に示されるように,それは北半球の夏期に赤道の北側に あって,南半球の夏期になって赤道の南側に移動するの はいつくかの地域に限られる.

風系に密接に関係する海流は,広域的気候を理解するう えで決定的要素になる(図7.4.・図7.5.). それらは,北 緯50°~60°の北大西洋の平均水温が,南緯50°~60° の南大西洋のそれよりも7℃近く高い理由や,北緯30° と北極循環との間の北大西洋全体が,南緯30°と南極循 環との間の南大西洋全体に比べて平均して約5℃暖かい 理由を説明する.大西洋の赤道流の2/3が北半球へ向き を変え,1/3だけが南半球へ向かう.大陸移動のない古 地理復元によると,ほとんどの地質時代を通じて,実質 的にはすべての赤道流が北半球へ向かっていた (Simpson et al, 1930).

過去の海陸分布と過去の大気 - 海流パターンに関する知 識は,きわめて少ない.私たちは現在の大陸域をおおっ ている海についての合理的知識をもっているが,現在の 海洋に存在したかつての陸地の規模,分布および進化を 解明するために必要なデータを収集する努力は緒につい たばかりである (図 2.2.・図 2.4.参照).そのような古 陸における古気候 - 古生物データは,未だえられいない.

Dickins (1994a) によれば,前期二畳紀の " ロッキー山 脈 " および " アンデス水道 (seaway)" に沿ってみられる 異常に暖かい海水温 ( 図 7.6) は,南北アメリカの西側 に存在した大陸地帯によって説明される. Dickins et al. (1992) は,このような大陸地帯の存在を支持するデータ を提示している.



図 7.5. 塩熱循環, あるいは " 巨大海洋コンベア "(en.wikipedia. org).

Brooks(1949)は、後期白亜紀の大きく成長した小型厚 歯二枚貝の分布は、図 7.7.に示される海陸分布によって 生じる別の海流系で説明される、と論じた.

#### 大陸と極の安定性 (Continental and polar stability)

原生代以降における蒸発岩,炭酸塩岩,サンゴおよび氷 縞粘土のような古気候指標の地理的分布は,全地球的温 暖や高温から全地球的寒冷へ向かう気候の周期的変化, ならびに,漂移する大陸ではなく安定した大陸によって もっともうまく説明することができる (Meyerhoff and Meyerhoff, 1974a; Meyerhoff et al., 1996b).大陸や極 の移動は,特定の期間の局所的あるは広域的な古気候特 性を説明するかもしれないが,同じ期間の全地球的気候 を説明しえないのは既定の事実である.



図 7.6. 前期二畳紀の水温 分布を説明する仮想海流系 (Dickins, 1994aの図 9).



図 7.7. 後期白亜紀の古地理. 海陸分布,推定海流系,および 造礁性厚歯二枚貝の分布を示す (Brooks, 1949の図 28).

蒸発岩は蒸散が給水をうわまわる温暖あるいは高温気候 で形成される,と一般に考えられている.しかし,気候 以外の要素も蒸発岩形成にきわめて重要であることを示 すすぐれた地球化学的証拠がある (Hardie, 1990, 1991). Meyerhoff (1970a, b)は,後期原生代〜現在の全蒸発岩 の体積および分布面積の 95%が,今日でいうと年間降 水量 100cm 以下,すなわち,今日の乾燥風地帯に存在 することをみいだした.古生代後期の蒸発岩は礁やフズ リナが繁栄していた地帯に関係していて,後期原生代〜 古生代前期には蒸発岩が暖流域に隣接して堆積するのが 一般的であった (Meyerhoff et al., 1996b).

蒸発岩の分布にもとづいて, Meyerhoff (1970b) は全世 界的な温暖化や寒冷化を示すグラフをまとめた (図 7.8). 縦軸は地質時代,横軸は蒸発岩が堆積した地帯の絶対緯 度である.曲線の右への移動は,地球が均一に温暖化し た時代 (たとえば,原生代後期~カンブリア紀,デボン紀, および二畳 - 三畳紀)を示し,蒸発岩極大期とよばれる. そのような時代の気候帯は,幅広い炎熱帯 (幅 90°~ 120°)と、両極域を占める温帯の2つだけであった.曲線の左への移動は地球が寒冷化した時代を示し、蒸発岩極小期あるいは氷床極大期とよばれる.そのような時代には(今日と同様に)3つの気候帯、すなわち、1つの炎熱帯(幅60°~70°)、中緯度における2つの温帯、および、極域の凍結帯が存在する.図7.8の曲線は、図7.2や図7.3の曲線によく合致することに注意されたい.

このようなさまざまな気候状態は子午線勾配 ( $\Delta$ T) を反 映したもので,この勾配は赤道 - 両極間における熱輸送 効率に関与する. Cronin(2010) によると,現在は,寒冷 な新生代の中では,比較的温暖な時代であり, $\Delta$ T は約 33°C である. 地球全体が温暖であった中生代の $\Delta$ T は 19 ~ 23°C で,同様に温暖であった暁新世 - 始新世の最 温暖期 (55Ma) には 15°C であった. ところが,最終氷 期 (21-22 ka) には約 50°C にも達した.

デボン紀以降の大半の期間には,軸対称に地球をとりま く2つの石炭堆積帯が,蒸発岩地帯の南北両側にそれ



ぞれ1帯ずつ存在した.そして,第3の熱帯性石炭地 帯がときどき,とくに新生代に存在した.全世界の石炭 鉱床の88%が大陸[複数]の東側や,北西ヨーロッパ および北西アジアの北極海沿岸に胚胎し,これらの地域 は、今日でいう温帯の最大多雨地域にあたる.北西ヨー ロッパとそれに隣接する北極圏アジアは例外的存在であ る.というのは,北大西洋に限って,主要な含水蒸気風 系と暖流(メキシコ湾流)が,大陸(北米大陸)東岸から もう1つの大陸(ユーラシア)北西岸へ横切っているか らだ(Meyerhoff et al., 1996b; Meyerhoff and Teichert, 1971). 蒸発岩地帯と石炭地帯の両帯が,今日の気候学 的赤道から北へ大きく変位していることに注目される.

Meyerhoff (1970a, b) は, デボン紀~中新世の蒸発岩と 石炭堆積物の分布が全般的に軸対称性を示す多くの図面 を示した.彼は,高緯度の石炭帯と低緯度の蒸発岩帯の 軸対称性が先三畳紀と中新世にはあまり明確ではないこ と,古生代岩石の世界分布が均一でないこと,そして, 北大西洋と北極海の歴史を論じた.

彼は,後期原生代~二畳紀前期の高緯度蒸発岩がカナダ



図 7.9. 二畳紀の蒸発岩,石炭,および氷縞 粘土の分布.X=石炭,黒塗り=蒸発岩,黒 三角=標高粘土.主要な石炭分布域と主要な 蒸発岩域は,太黒線で境される(現在のメキ シコ湾流の湾曲域では北へ大きく変移してい ることに注意せよ).現在の暖流が矢印付一 本線で,寒流が矢印付二本線で示されている. 水平線ハッチは,現在の年間降水量>100cm 地帯である.(Meyerhoff, 1973の図2: University of Chicago Pressの許可をえて転 載)



図 7.10. 三畳紀の蒸発岩,石炭,および風 成砂の分布.三畳紀は蒸発岩極大期であり, 著しく幅広い蒸発岩地帯に注意せよ.凡例は 図 7.9.と同じであるが,次の2つの相違が みとめられる.(a)三畳紀の氷縞粘土は知ら れていない.(b)風成砂および部分的風成砂 堆積物は,砂目模様で示される.(Meyerhoff, 1973の図3:University of Chicago Pressの 許可をえて転載)



図 7.11. 中生代のアンモナイト類,炭酸塩岩,陸源砕屑岩,および四足動物群の緯度分布.1=炭酸塩岩の南北縁,2=北方型および,いくかのテチス・太平洋型アンモナイトの分布南限,3=炭酸塩岩帯の中央部(気候的赤道と推定される). (Khudoley, 1974の図 1)

やユーラシアに広く分布しているが、同時代の南半球 の蒸発岩は原生代よりも後の時代には常に 20°~40° Sにほぼ決まって存在することに注目した.過去の高緯 度蒸発岩堆積物は、そのほぼすべてが、ユーラシア-北 極海盆と北大西洋から大陸へ侵入した海に堆積した海成 層に関係して形成されている.しかし、カナダ-北極海 盆から侵入した海域とは関係がなく、この海域と上記 海域とは、原生界からなる Lomonosov 障壁があるため に不連続になっていて、また、始生界からなる Bering-Chukotsk 陸棚によって北太平洋から隔てられていた. デボン紀後には, 蒸発岩の堆積中心は大西洋側へ系統的 に移動した. 大西洋には, Franz Josef および Faeroes-Greenland 障壁があった.原生代後期~古生代の蒸発岩 極大期における高緯度蒸発岩堆積物の形成に必要な温度 は,原生代中頃以降つづいてきたメキシコ湾流~北大西 洋海流系が維持されていたことに由来する. Meyerhoff は、北極海と北大西洋を横断する障壁の発達史を精細に 復元し、かつての北半球高緯度帯における蒸発岩の存在、 および、それらの南方への漸進に関する説明としては唯 一の研究成果となっている.

Khudoley(1974)は、中生代の炭酸塩岩、陸源砕屑岩、 アンモナイト (絶滅軟体動物群)、および四足動物群の 緯度分布が現在の大陸と地理極に調和的であることを明 らかにした (図 7.11.)、炭酸塩岩は平均して 40° ~ 45° N および~ 30°S までひろがり、熱的赤道の顕著な北方 偏移を示す.炭酸塩岩帯の幅は,中生代を通じて,三畳 紀の 90° から白亜紀の 65° までしだいに減少した.炭酸 塩岩帯の中央線の北方偏移は,三畳紀では約 24°,ジュ ラ紀に 19°,白亜紀には 12° となり,全地球的気候変化 を反映している.

# 二畳-三畳紀の氷河作用(Permo-Carboniferous glaciations)

石炭紀と二畳紀の氷床は、南極, Malvinas 諸島, 南アフ リカ,南アメリカ,インドおよびオーストラリアのすべ てではないにしても、それぞれの一部を覆っていた. 大 陸漂移の支持者たちは、南極付近に存在したゴンドワナ 大陸という方法でこの氷河作用を説明することができる 主張する.しかし、氷河作用は、暖流、湿潤暖気、および、 氷床氷によって形成された寒冷風の相互作用を必要とす る (Coleman, 1925, 1932; Brooks, 1949). 大陸氷床を 維持するための湿気は 2,500km 以上にもわたって運搬 されないにもかかわらず,提案された超大陸の中央部は, 水蒸気源となる最寄りの海洋から 3,000 ~ 4,000km も 離れている. ローラシア - ゴンドワナ大陸に関するいず れの復元においても、"超大陸"内部にはこの水蒸気量の 1/10 さえも届かない (Meyerhoff and Handing, 1971). 氷床はパンゲアの周辺部にだけ形成され、その内陸部 は(現在のシベリア内陸部のような)広大な極寒の砂漠 地帯であっただろう (Meyerhoff, 1970a; Meyerhoff &

Teichert, 1971). パンゲアの内部の浅い大陸縁辺海では, 必要な湿気を供給しえなかっただろう. というのは,こ れらの縁辺海は,現在のハドソン湾のように,冬期に全 面結氷して蒸散がさまたげられるからである. ゴンドワ ナ大陸とローラシア大陸の氷床域の大部分は,オルドビ ス紀後期にも,湿潤な海洋 - 大気循環の到達範囲よりも はるかに内陸側に位置していただろう.

二畳 - 石炭紀氷河作用は,大陸の現在の位置においてよ り容易に説明される.ほぼすべての大陸氷床の中心部が 現在の海岸線の近くに,あるいは,現在の海岸線から遠 くない高い高原や山地に存在していた.アフリカの南部



図 7.12. 石炭 - 二畳紀における本来の氷床中心の位置—それ らのほとんどは,高い山地域にある.矢印は推定される流動方 向. 南極を除くと,いずれの氷床中心部も,北アメリカの更新 世 Keewatin 氷床の規模の 1/4 以上はなかった. (Meyerhoff and Teichert, 1971 の図 3: University of Chicago Press の許可をえ て転載)

のいくつかと、中央部のほとんどの氷床、アンデスの多 くの氷床、オーストラリアの一部の氷床は、インドとブ ラジルにおける広域氷床と同様に、山岳氷河が大きく発 達したものであろう.北半球に比べて、南半球により大 きな氷床中心が存在する.その理由は、二畳-石炭紀の 大陸は、南半球でより平均高度が高かったことに求めら れる.シベリアの北部と東部の一部と現在のウラル山脈 を除くと、内海によって暖められた低地が当時の北半球



図 7.13. 復元された二畳 - 三畳紀のゴンドワナ大陸.氷床中心域 を示す.各氷床の分布は離れていて,個々に識別される.内陸部 の氷床(ブラジル東部,アフリカ,Malagasy,およびオースト ラリアの一部)は海岸から 3,000 ~ 4,000km も離れていて,湿 潤風の到達範囲をはるかに超えている (Meyerhoff and Teichert, 1971の図 13; University of Chicago Press の許可をえて転載).



図 7.14. 後期石炭紀の古地理 (Brooks, 1949 の図 29). 前期石炭紀には、ゴンドワナ大陸域のうち破線で示された領域は、海面下にあっただろう.

の特徴であった.二畳-石炭紀の南半球における大きな 高度(北半球における小さな高度)から,鮮新世〜完新 世における北半球における大きな高度(南半球における 小さな高度)への変化は,北極海〜北大西洋における障 壁の南方移動とともに,二畳-石炭紀から鮮新世〜完新 世までの大陸氷床の位置変化を完全に説明する.

湿潤大気は、ゴンドワナ大陸の石炭紀以降の堆積層に知 られる豊かな生物の繁殖にも必要であった.ゴンドワナ およびローラシア大陸内部の広範囲にわたる石炭紀、二 畳紀、およびさらに新しい時代の石炭堆積物の形成には、 150~200cmの年間降水量が必要である.したがって、 大陸が相互に接合していたならばこれらの堆積物は形成 されず、湿地ではなく砂漠が存在しただろう (Meyerhoff and Harding, 1971; Meyerhoff et al., 1996b).

Brooks(1949)は、石炭紀後期における陸塊の分布と高 度 (大陸移動も極移動も仮定されていない)と卓越する 風系と海流が、低緯度に氷床を発達させ、比較的温和な 気候がより北半球側に存在した原因であったと考察し た. 当時の南半球から北半球への熱輸送は、それ以降の いかなる時代よりも大きかったとみられる. Brooks は 太平洋へひらいた幅広い漏斗状の海域—テチス海に沿っ て,海域が大西洋まで連続していた―と想定した (Brooks, in Simpson et al., 1930). Brooks は,石炭紀中頃のゴン ドワナ大陸は、南アメリカからオーストラリアまで連続 していたわけではなく、南北方向の海峡によって3つか、 4つの陸塊に分離されていただろう,考えている.これは, テチス海と南半球の海域 [Southern Ocean] との間に自由 な海水循環をもたらし、南半球のの海水温を著しく上昇 させ,石炭紀の前期 / 中期境界における大きな気候変化 を説明するのに有効である.

# 始新世 - 漸新世境界 (Eocene-Oligocene boundary)

レンチテクトニクスによると、始新世 / 漸新世 (E-O) 境界 (33.9 Ma)の前後に、極が約35°移動して、 200~300万年後には現在の位置の近くへ移動した (Storetvedet, 1997, 2003). これが,その時の劇的な寒 冷化を説明するという. こうして,北ヨーロッパ,アイ スランド,およびグリーンランドの温暖環境が終了し た.中新世中頃になると,両極がふたたび以前の位置に もどった.これによって,ヨーロッパが新しい温暖期を 迎え,また,地中海東部における古地磁気伏角が再び水 平近くにもどった理由を説明することができる.両極が 現在の位置に最終的に移動するのは,約5Maである, という (Storetvedt and Bouzari, 2012). Storetvedt and Buchardt の同位体古温度曲線 (図7.15)は,北海南部で 得られた底生有孔虫の同位体データにもとづいている. これは,ヨーロッパ北西部で初めて得られた同位体古温 度曲線である.それ以降,それに代わる高解像度データ が,地球全体の広範囲から入手できるようになった.

Zachos et al. (2001)の底生有孔虫の酸素同位体 (δ<sup>18</sup>O)曲線が,図 7.16 に示される.その変化は、全地球的温暖化と寒冷化や,氷床の成長と崩壊を反映する.過去 6,500万年間に、多くの脈動をともないながら地球がしだいに寒冷化したことがわかる.いくつかの温暖期(たとえば、中期始新世気候温暖期,後期漸新世温暖化事件,中新世中頃気候温暖期)が両半球で認められ、対比されてきた.

図 7.16 は,始新世 / 漸新世境界における 4℃以上にお よぶ気温減少と,漸新世後期における同様の気温増加を 示す.Zachos et al. (2001) は,始新世後期に先立つ全般 的な δ<sup>18</sup>O の増加は深海水温が約 12℃ から約 4.5℃ に低 下したことに由来するという.それ以降のすべての δ<sup>18</sup>O の変化,とくに 34Ma の急変は,氷量と気温の複合効 果を反映する.漸新世初期の寒冷化と南極氷床の急激な 拡大後も,深海 δ<sup>18</sup>O 値は比較的高いままであり,それ は,永続的氷床の形成 (その質量は現在の氷床の 50% に 達する)と約 4℃ の底層水温を意味している.このよう な氷床は,温暖化によって南極氷床の縮小した漸新世後 期 (26 ~ 27 Ma) にも保持された.この時期から中新世



図 7.15. 北海に おける第三紀の同 位体温度曲線.不 確定性は,陰影 領域によって示さ れる (Buchardt, 1978).



中頃までの期間には,数回の短かい氷河期間(たとえば, Mi事件)を除くと,全地球的氷量は少なく,底層水温は いくぶん高めに保たれていた.この温暖期間は中新世中 期~後期高温期(17~15 Ma)に最高潮に達し,その後 はしだいに寒冷化して,10 Maまでには南極における大 規模氷床が復活した.

南極では,始新世後期を通じて小規模な一時的氷床が存 在した.漸新世初期に気候的閾値に達したことは明らか で,大規模な氷床が急速に拡大し,その結果,短期間な がらたいへん顕著な Oi-1 氷河作用が生じた.表層海面 温度は広い範囲にわたって 4°C 以上低下し,深層水温は 3~4°C まで低下した (Salamy and Zachos, 1999). Oi-1 事件は 40 万年間つづいた.この事件は,気候 / 海洋系 の再編成をもたらした.たとえば,海洋生物源堆積物分 布の全世界的移動,海洋栄養の全般的増大,および,炭 酸塩補償深度の大規模な低下,などである (Zachos et al., 2001). 高解像度同位体記録によると,Oi-1 事件を示す δ<sup>18</sup>O の全般的増大が 35 万年未満の期間のうちに起こり, そして,その変化の半分が最後の 4 ~ 5 万年間に発生し たことを示す.この低温と広大な大陸氷床が維持された 期間は,およそ 40 万年間である.この期間には,約 10 万年単位の増減サイクルがすくなくとも 2 回起きていて (Oi-1a と Oi-1b),おそらく,それらにはより短周期の事 件も含まれていただろう (Zachos et al., 1996).

北海南部の漸新統についての De Man and Van Simaeys (2004)の底生有孔虫古水温曲線は E-O 境界を含まない が,漸新世の Rupelian 期と Chattian 期との境界 (28.1 Ma)における約 25℃の急激な水温上昇を示す.一般に Rupelianの群集には寒冷~冷温群が卓越し,計算された 底層水の古水温は 10℃を超えることはない.いっぽう, Chattian 期の始まりは,暖かい海水に生息する豊富な熱 帯~亜熱帯群によって特徴づけられ,計算された底層水 の古水温は 20℃ を超える. Chattian 期のなかでは,時間とともに温暖水温を示す亜熱帯種が減少し,冷水群がより頻繁に出現するようになる. 古気候復元に別の方法を用いた以前の研究も,北西ヨーロッパでは漸新世後期に温暖~熱帯環境が出現したことを確証する.

極移動によって新生代の気候変動を説明しようとするレ ンチテクトニクスは、まちがって信じられたものであ る. 極を移動させることは、気候帯の位置を全地球的に 変化させ、いくつかの地域はより暖かくなり、いくつか はより寒くなる. それが、そのまま全地球的温暖化や寒 冷化を発生させることはない. E-O 境界頃にはじまった 急速な極移動が Oi-1 氷河作用のひきがねになったと喧 伝されるが、氷河作用は100万年以内に終了した.とこ ろが、両極はそれらの現在の位置へ向かって移動しつづ けてきたと想定されている. 著しい温暖化事件が漸新世 後期に急速にすすんだが、レンチテクトニクスが極移動 に由来する気候変動として次に選んだのは中新世中頃の 温暖化である.より多くの極移動事件を追加することも できるが,いずれにしても,全地球的気候変動を説明す るためには他の要因を加えることが必要である. 両極が ヨーヨーのように前進と後退をくりかえせばくりかえす ほど,提案されたシナリオはもっともらしさを失う.レ ンチテクトニクスは確実な古地磁気学的基礎に立脚して 主張する以上, これらの追加的事件を支持する全地球的 古地磁気データが発見されなければならない、そのよう な場合,不都合な古地磁気極の位置と年代測定を除去す るというという戦術をとることによって、この課題は容 易に達成されるだろう.

次の表は,ロモノソフ海嶺 (87.87°N) に関する海洋デー タから推定された海面温度 (SST) である (O'Regan et al., 2011). 最初の2組は暁新世/始新世の,次の9組は始 新世の,最後の2組は中新世のデータである.

Age (Ma)	≤55	55	≤53.5	53.5	49	49	48	46	45	44.4	44.4	18	18
SST (°C)	17.5	23	22	26.5	25	9	13.5	15	8.2	4.7	10	19.7	13

レンチテクトニクスの見解によると、ロモノソフ海嶺の 掘削地点が現在の位置あるいはその近傍に位置していた 最後の2つを除くと、これらのいずれの期間においても 約55°Nよりも南に位置していただろう。約35 Maに突 然に発生したとされる35°の緯度移動は、これらのデー タを説明できない.

E-O 境界では,全緯度にわたって寒冷化した証拠がある. Coxall and Pearson (2007) は,低緯度,中緯度と高緯度の陸域での寒冷化を報告している.また Liu et al. (2009) は,多くの海洋観測点から海面温度の同様な記録にもとづいて,高緯度域では E-O 気候変化期 (37~33 Ma) に海面温度が平均 4.8°C ほど寒冷化したと結論づけた.グリーンランドでは,E-O 境界付近で約 3~5°C のゆっくりとした長期的寒冷化がはじまった (Schouten et al., 2008). ノルウェー - グリーンランド海では, E-O 境

界で約 5℃の寒冷化が起きた (O'Regan et al., 2011).北 アメリカ内陸部では,始新世の平均気温は安定していた が,漸新世前期の約 40 万年間で 8 ± 3℃の寒冷化が起 こった (Zanazzi et al., 2007).北半球低緯度地帯におけ る沿岸海棲魚類の耳石と軟体動物殻の酸素同位体は,夏 期や年間平均水温にほとんど変化がないが,始新世末よ りも後に冬期水温が著しく低下したことを示す (Ivany et al., 2000; Kobayashi et al., 2001).全世界的寒冷化はと くに高緯度で顕著であったが,熱帯の海面温度も約 2.5℃ 低下した (Lear et al., 2008).

南極では、早くも 42 ~ 43Ma に氷床が成長した証拠が ある (Tripati et al., 2005). 伝統的な見方では、北半球 における氷床成長がはじまったのは約 15Ma 以降とさ れる.しかし、氷山由来岩屑にもとづいて、グリーンラ ンド氷河が 44 ~ 38Ma まで遡るとされ (Tripati et al., 2008; Eldrett et al., 2007), 北極海にでは海氷が 46Ma 頃に一時的に形成された (St. John, 2008; O'Regan et al., 2011). レンチテクトニクスによると、当時のグリーン ランド中央部 (72°N/40°W) は 40°N よりも高緯度には なかった.

新生代の全地球海洋は,最初は,表層水・底層水とも比較的温かく.比較的弱く成層していたが,鉛直温度勾配が大きくなったためにより温かい表層水とより冷たい底層水に分離し,強固な成層構造が形成された(Cronin,2010).次の4つの段階を経て,12℃におよぶ水温低下がおこった:始新世前期~中頃,E-0境界,中新世中期~後期,および鮮新-更新世.このようなパターンは,深海有孔虫同位体や,他の海陸の記録にもとづいて推定される気候変動と全面的に合致する.

水道 (ocean gateway)の開閉は、海洋循環と熱輸送に大 きく影響することが知られている.現在の南極は、強い 南極還流 (Antarctic Circumpolar Current: ACC) によって、 世界の他の領域から孤立している.南極の孤立と ACC に よる強い海流帯 (西から東)の形成は2つの主要な海洋 水道—オーストラリアと南極の間のタスマニア水道,な らびに、南アメリカと南極との間のドレーク海峡—が開 口した結果である.とくにタスマニア水道の開口は、E-O 気候転換に関与した.これらの水道の開口と拡幅はふつ うはプレート運動と海洋底拡大に起因するとされるが、 鉛直テクトニクスも同様な改変をもたらすだろう.

タスマニア陸橋は大きく沈降して,漸新世初期にはタス マニア水道域に浅海性水道を形成し,このときに,ACC 表層流が発生した.深海性 (2,000m) 水道が十分に発達 したのは,34Ma頃かその直後であっただろう.南極と 南アメリカの間をつなぐ陸域も,第三紀前期にしだいに 沈降して,ドレーク海峡がゆっくりと開口した.始新世 後期 (約 50Ma) には,沈降した大陸棚を横切って浅海 性水道が発生し,34 ~ 30Maまでに連続的な深海性水 道 (1,000 ~ 3,000m) が形成され,南極大陸全体をとり まく還流が完成した (Cronin, 2010). これらの事件は, 南半球における低緯度から高緯度への子午線方向の海洋 熱輸送をさまたげ,南極氷床を育成し,今日と同様な 塩熱循環を開始させた (Kennett and Shackleton, 1976; Kennett and Exon, 2004).

# 古生物地理 (Palaeobiogeography)

詳細な研究を行った Meyerhoff et al. (1996b) は, 植物群・ 動物群の分布にもとづくと、もっとも主要な生物地理境 界は、プレートテクトニクスによって想定され、また、 一部はコンピュータによって描かれたプレート境界に一 致しないことを示した.提案されている大陸移動は、生 物地理境界に関する既知の、あるいは必須の移動路や方 向と適合しない. ほとんどの場合, これらの不一致はた いへん大きく、概略的な一致さえも主張できる状況では ない. 著者たちは、次のように注意した. 「難題は、プレー トテクトニクスの想定と野外データの間の重大な矛盾--それには数 1,000km にもわたるプレート境界も含まれ る--が、知らされず、認められず、研究されないまま許 容されていることである」(p. 3). Meyerhoff らの原稿に コメントした地球科学専攻の大学院生たちは、次のよう に述べたという.「この,全地質時代にわたる生物多様 性に関する全地球的研究が正しく、十分に信頼できるも のであれば、プレートテクトニクスについて私たちに教 えられてきたものは "Globaloney" (globe 地球 +baloney たわごと: 訳者注) と称したほうがよい」, と (p. ix).

Meyerhoff et al. (1996b) は, 顕生代のすべてではないが, その大半を通じて, "北方系 "および "南方 "系の生物を 含む地層が互層する幅広い—数 100km ~ 5,000km—地 理的地帯が存在し,同一の地層に北方系と南方系の群集 が混在することを確証した.北方起源の温暖帯には古生 代後のテチス帯が含まれるが,より寒冷な南方帯には古 生代中頃の Malvinokaffric と古生代後期以降のゴンドワ ナ帯が含まれる.

図 8.1 と図 8.2 は,カンブリア紀中頃~白亜紀前期の動 植物群集の分布が新生代のそれらにほぼ一致することを 確証する. "さしこまれた地帯"の南北縁や,図 8.2 に 示される特殊な生物群の南北の分布境界は,カンブリア 紀中頃~白亜紀前期の生物分布に顕著な二極性があるこ とを示す.したがって,大規模な大陸漂移や極移動を想 定しなくても,現在の地球上における南北移動によって, 古生物地理がよりたやすく説明されるのである.完全に 緯線に沿ってのびる生物分布や,さまざまな地理的・気 候的障壁を示すすぐれた証拠が,過去のいずれの時期に も存在していたのである.

プレートテクトニクスによると、アマゾン川以北の南ア メリカ (面積 3,300,000km<sup>2</sup>)は、オルドビス紀以来、生 物地理学的には北アメリカ "プレート "に属している. さらに、もう1つの重要な南北方向の生物地理境界が今 日のアンデス地帯にあり、西側の暖水生物群と東側の冷 水生物群を境する.この境界はカンブリア紀に初めて出 現し,時間とともに東西方向に移動しながらも,二畳紀 までつづいた.もしプレートテクトニクスの考え方を適 用すると,南アメリカの太平洋岸から100~300km内 陸寄りに長さ7,500kmの縫合帯が想定されることにな るだろう.プレートモデルは,ヨーロッパとアフリカの 間の層序的連続性にもかかわず,地中海の全長にわたる 縫合帯を必要とする.いっぽう,デボン紀以降の生物地 理的データは,ダカールからアラビアに至るアフリカ大 陸内部に不連続が存在することを示す (Meyerhoff et al., 1996b).

アジア~南西太平洋をみると, Malvinokaffric帯とゴン ドワナ帯を同時代の北方圏 (たとえば,古生代後のテチ ス帯)から境するために用いられる一般的境界は,イン ダス-ツァンポー"縫合帯"である.それは,中央アジ ア南部~東南アジアをよこぎる範囲だけでも 5,000km 以上の長さに達し,さらに西方へはトルコの Taurus 山 脈とキプロスの Troodos 山塊へ伸び,南東へはパプア ニューギニアまで連続する.多くのプレートテクトニク スモデルでは,それは,北方および南方のプレート群の 境界とみられている.ゴンドワナ生物群がこの縫合帯の 北側で発見されると,まずもって,それらの認定が無視 される.それらのいくつかが認められると,衝突帯は北 方へ移され,アジアの広大な領域をつぎつぎに併呑した. Meyerhoff et al.(1996b) は,次のように述べている.

「テチス生物群は縫合帯以南のインド剛塊と他の地域の 多くの産地に知られているが,ゴンドワナ生物群を収容 するために移動をつづけ,決して逆行することはなかっ た! テチス型化石が縫合帯の南側(「北側」の誤植?: 訳者)で発見されると,それらはゴンドワナ大陸の北海 岸を示すとされる.これによって,アンガラ大陸の南海 岸が想定されるが,この問題を議論した文献はほとんど 存在しない」(p.8).

同様に、いわゆるニュージーランドの場に代表的なテチ ス生物群が発見されると、それは外来地帯であることの 証拠とされる.しかし、逆の状況―たとえば、ゴンドワ ナ生物群がチベット北部で発見されるような状況―が生 じると、いかなる年代期間が必要になろうとも、南方大 陸と北方大陸の縫合帯全体が北へ移動させられる.

Taurus- ザ グ ロ ス - イン ダ ス - ヤー ルン 境 界 は Malvinokaffric 帯には有効ではない. というのは, この 縫合帯を越えても生物群が変化しないからである. この 境界は,おもに新ゴンドワナ帯に適用されてきた. しか し,それは,ここでも有効ではない. というのは,ゴン ドワナ要素 (二畳紀前期〜白亜紀前期)が北方へはシベ リアのツングース盆地,モンゴル,中国東北部,沿海州 地域 (ウラジオストク北部),およびシベリア北東部の コリマ川盆地までひろがっているからである. 逆に,北 方の,そして,とくにテチス帯の生物群は南方へニュー ジーランド,オーストラリア西部,オーストラリアの Northern Territory, インド南部,サウジアラビアまでひ



図 8.1. カンブリア紀中頃~白亜紀前期における " さしこまれた地 帯 "(斜め斜線). それは,北方型および南方型生物が混在する地帯 である.太線は,二畳紀初期のゴンドワナ型海棲動物化石産地の北 限. " さしこまれた地帯 " の北限は,南方型生物群のすべての時代 を通じた北限であり,南限は北方型生物群のすべての時代を通じた 南限である. (Meyerhoff et al., 1996bの図 17;アメリカ地質学 会の許可をえて転載.)

ろがっている (Meryerhoff et al., 1996b). 南方大陸にお ける Glossopteris 植物群の広大な分布がかつての巨大な ゴンドワナ大陸の存在を支持する,としばしば主張され る. しかし,この植物群はがわずかながらも北東アジア でも発見された,との指摘も存在する (Smiley, 1976).

前節で述べたように、インドとアジアの間に幅広く深い 海洋を必要とするプレートテクトニクスモデルは支持 できるものではない. というのは,青海-西蔵(チベッ ト) 高原とヒマラヤ山脈を横切って, 動物群集の急激で はない漸移的変化がみられるからである.とくに、前期 二畳紀よりも前の層序と生物群は、インドがアジアに近 接していたことを示す強力な証拠である. プレートテク トニクスによるもっとも普通の(先二畳紀問題を無視し た)" 説明 " は, インドが (北側にひろがっていた古テチ ス海 Paleothetys を狭めながら:訳者注)急速に北へ移 動し、二畳紀に、現在のインダス-ツァンポー縫合線よ りも北にある縫合線に沿って自らをアジアへ付加させ, 二畳紀後期にはゴンドワナ大陸がアジアに衝突した. つ づいて, 三畳紀後期にインダス - ツァンポー縫合線に沿 う大陸分裂によって海洋(新テチス海 Neothetys: 訳者) が開くために、インドが南へ向かって移動し、最終的に は,再び北へ逆走して始新世にこの縫合線で収束した, というものである (Meyerhoff et al., 1996b).

中生代のアンモナイト類とそれらに関係する堆積物を全 世界的に解析した Khudoley (1974, 1988) は,次のよう な緯度方向の帯状分布を示す証拠を発見した.それによ ると,より寒冷型(北方型)のアンモナイトと砕屑性堆 積物の地帯が現在の自転極のまわりに,より温暖型(テ チス型)の地帯が赤道周辺に,そして,寒冷型(半北方型) 帯のいくつかの証拠が南半球の高緯度域に,それぞれ分 布していた(図 7.11 参照).これらの温度依存的な動物 群集-堆積物帯の境界が,全地球的気候変化にともなっ



図 8.2. 次のことがらを示す:(1) オルドビス紀の Malvinokaffric 動物群の北限,(2) ゴンドワナ型三畳紀四足類産地の北限,(3) 二 畳紀前期の "ゴンドワナ大陸 "の概形,および,(4) 三畳紀の温 帯〜暖温帯海棲無脊椎動物化石産地の南限.(Meyerhoff et al., 1996bの図 18:アメリカ地質学会の許可をえて転載.)

て緯度方向に移動したのである. Khudoley は,アンモ ナイト群の帯状配置と拡散パターンは大規模な大陸漂移 と極移動に矛盾する,と結論した.

Smiley (1967, 1974, 1976, 1992) は,古生代後期,中生 代および新生代の陸上植物と四足脊椎動物,および同時 期の海棲動物の分布は大規模な大陸移動も極移動も支持 しない,と論じた.全地球的等温線と動植物の緯度方向 の帯状分布は,過去の古地磁気極ではなく,現在の自転 軸に全般的に整合し,かつての植物帯の境界は現在の等 温線にかなり調和的である,というわけである.Smiley は,特定のデータが全地球的な文脈に用いられると,全 地球テクトニクスに関する全く異なった解釈をもたらす 可能性を認めている.Axelrod (1963, 1964) も,古生 代後期~中生代後期の植物群は移動する大陸や極ではな く,安定性を示唆すると論じた.

Stehli and Grant (1971) は,石炭紀~二畳紀のさまざま なグループの動物群に含まれる多数の種の変化を検証 し、それらの数が今日の赤道へ向かうにつれて(あるい は赤道から離れるにつれて) 増加することを実証した(図 8.3). 二畳紀の北極は現在の位置あるいはその近傍にあっ た,とStehli (1957) は結論した.Smiley (1967) は、も し極移動が起こったとすると、一連の植生帯は(すくな くとも極軌跡の近傍では)、極に近づくときには寒冷化 し、極から離れるときには同一地点において温暖化する と予測されるが、多数の中生代植物群の記録ではそのよ うなことは明瞭ではない、と述べた.幾人かの極移動論 者は, 第三紀前期には赤道が地中海沿いに存在し, 中部 ヨーロッパは熱帯雨林帯にあった (Storetvedt, 2003, p. 48-49), と主張する. しかし, 第三紀後期の海棲動物群 をみると、現在の赤道地帯に加えて、ロンドン・パリ・ ボルガ盆地, 北西インド, 日本南部, 南アフリカ, オー ストラリア南西部, ニュージーランド南部, およびパタ



図8.3. この地図は、二畳紀のテチス海に固有な属が発見された 化石産地を示す.テチス帯が今日の赤道に明瞭な関係をもつこ と、ウラル水道ではテチス海要素が高緯度まで延びていること、 両半球における温度非対称性が強く示唆され、南半球のテチス地 帯は北半球ほどは広くないこと、に注意せよ (Shehli and Grant, 1971 の図 4).

ゴニアに熱帯的要素がみられ,このような配置は現在の 極の位置に調和的である (Day and Runcorn, 1955).

現在のように離れて配置された大陸分布に比べて、過 去にそれらが連結したとすると,より多くの移動問題 が発生する (Simpson, 1943; Teichert and Meyerhoff, 1972; Teichert, 1974). 2,3の指標動物群を選択的に議 論するいっぽうで、かつては合体していたと思われてい るさまざまな大陸における厖大な数の動物群が一致しな いことを無視するのは非科学的である.移行的(ecotonal) 植物群にもとづいて, Smiley(1992)は, 古生代後期には インド大陸がユーラシアのアンガラおよびカタイシア大 陸の植物区の近くに位置し、オーストラリア - ニューギ ニア大陸塊はユーラシア南東部のカタイシア区の近傍に あったことを論じた. 古典的なパンゲアの復元では, 南 半球の高緯度に位置しているインドとオーストラリアは 海に隔てられていたはずで、そうであれば生存していた 植物群の交流は不可能になるだろう. ユーラシアと北ア メリカ西部の間を植物群が往来したことを示す証拠は, すくなくとも古生代後期にはベーリング (Beringian) 地 域をつらねる陸域に拡散路があったことを意味する.と ころが、プレートテクトニクスは、両地域を隔離する、 おそらく数 1,000km におよぶ先新生代海洋を必要とす る (Smiley, 1976).

いくつかの古生物学的証拠は、パンゲアの分裂後にも、 想定されている放散のための陸路が離水と沈水をくり かえすことを求めている.たとえば、哺乳動物の分布 は、ヨーロッパと北アメリカの間に直接の物理的連絡 は、(陸橋上に移動を阻害する障壁がないとすれば)白 亜紀後期~暁新世には存在しなかったが、始新世なっ て一時的な連絡ができたたことを示唆する (Simpson, 1943;Meyerhoff and Meyerhoff, 1974a).いっぽう、大 陸移動は、最初に不連続を形成した後で、再び連絡を生 じさせることはできない.

 2,3の移動論者は、想定される大陸分裂後に間欠的な陸橋の必要性を認めた(たとえば、Du Toit,1937; Tarling, 1982b; Brigg, 1987). さまざまな海嶺・海 膨・海台はかつて,さまざまな時代に離水したことが知 られているので,陸橋をかたちづくっていた可能性が ある (Schuchert, 1932; Willis, 1932; Meyerhoff et al., 1996b; Meyerhoff and Meyerhoff, 1974a). それらには Faeroe-Greenland 陸橋,太平洋中央海山群,ココス海嶺, 南マダガスカル,Kerguelen-Gaussberg 海嶺,リオグラ ンデ海膨 - ウォルビス海嶺,および大西洋中央海嶺の一 部 [複数] が含まれる.地質学・古生物学的データにも とづいて,Gregory (1925, 1929, 1930) は,世界の海洋 には多数の陸塊が存在していたことを論じた.ところが, Simpson (1943) は,生物移動のための多数の海洋横断 大陸の必要性に疑問を投げかけた.これは,かつては広 く陸塊—大半は中新世までには消失した—が存在したこ とを支持する厖大な証拠が存在することを否定するもの ではない.

#### 結論 (Conclusion)

岩石の化石磁気はさまざまな要素に影響され、ある時期 にえられた実際の磁極は大きな分散を示す. 平均的磁極 が過去の地理極にほぼ一致する、との基本前提は証明さ れていない. 古地磁気データの選択, 取り扱い, および 解釈にはさまざまな主観性が介在し、地史的なプレート 移動や真の極移動の復元に不一致や時々の矛盾をもたら す. プレートテクトニクスの主要教義と大陸の分裂・集 合という付随学説は、たくさんの事実に矛盾する. 大規 模な極移動ならびに"小規模な"プレートの回転・並進は, 選択された古地磁気データにもとづいているので、この 学説も深刻な疑念から免れない. 地質学的, 地球物理学 的, 古生物学的, および古気候学的データは, 大規模な プレート運動や極移動を必要としない. それらのデータ は、大陸は漂流しないこと、そして極は安定しているこ とを示し,海陸の分布に周期的変化をひきおこす鉛直造 構運動を支持する.

謝辞:私は,重要なコメントを寄せられた Dong Choi,矢 野孝雄ならびに Giovanni Gregori にお礼申し上げる.図 面の転載をお許し下さったすべての機関,出版社そして 個人にもお礼申し上げる次第である.

## 文 献

- Agocs, W.B., Meyerhoff, A.A., & Kis, K., 1992. Reykjanes Ridge: quantitative determinations from magnetic anomalies. In: Chatterjee, S., & Hotton, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock, TX: Texas Tech University Press, p. 221-238.
- Ahmad, F., 1990. The bearing of palaeontological evidence on the origin of the Himalayas. In: Barto-Kyriakidis, A., ed., Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory. Athens: Theophrastus Publications, v. 1, p. 129-142. Airy, G., 1860. Change of climate. Athenaeum, no. 7171, p. 384.
- Allard, H.A., 1948. Length of day in the climates of past geological eras and its possible effects upon changes

in plant life. In: Murneek, A.E., & Whyte, R.O., eds., Vernalization and photoperiodism: a symposium. Waltham, MA: Chronica Botanica, p. 101-119.

- Anderson, D.L., 2007. New Theory of the Earth. Cambridge: Cambridge University Press, www.gps.caltech.edu.
- Anderson, D.L., Tanimoto, T., & Zhang, Y., 1992. Plate tectonics and hotspots: the third dimension. Science, v. 256, p. 1645-1651.
- Anderson, D.L., & Natland, J.H., 2005. A brief history of the plume hypothesis and its competitors: concept and controversy. In: Foulger, G.R., Natland, J.H., Presnall, D.C., & Anderson, D.L., eds., Plates, Plumes, and Paradigms. Geological Society of America Special Paper 388, p. 119-145.
- Andrews, J.A., 1985. True polar wander: an analysis of Cenozoic and Mesozoic paleomagnetic poles. Journal of Geophysical Research, v. 9, p. 7737-7750.
- Artemieva, I.M., & Mooney, W.D., 2002. On the relation between cratonic lithosphere thickness, plate motions, and basalt drag. Tectonophysics, v. 358, p. 211-231.
- Aumento, F., & Loncarevic, B.D., 1969. The Mid-Atlantic Ridge near 45°N. III: Bald Mountain. Canadian Journal of Earth Sciences, v. 6, p. 11-23.
- Axelrod, D.I., 1963. Fossil floras suggest stable, not drifting, continents. Journal of Geophysical Research, v. 68, no. 10, p. 3257-3263.
- Axelrod, D.I., 1964. Reply. Journal of Geophysical Research, v. 69, no. 8, p. 1669-1971.
- Bachtadse, V., & Briden, J.C., 1990. Paleomagnetic constraints on the position of Gondwana during Ordovician to Devonian times. In: McKerrow, W.S., & Scotese, C.R., eds., Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography. Geological Society of London, Memoir 12, p. 43-48.
- Bacon, M., & Gray, F., 1971. Evidence for crust in the deep ocean derived from continental crust. Nature, v. 229, p. 331-332.
- Barrell, J., 1914. The status of hypotheses of polar wanderings. Science, v. 40, p. 333-340.
- Barron, E.J., 1984. Climatic implications of the variable obliquity explanation of Cretaceous-Paleogene high-latitude floras. Geology, v. 12, p. 595-598.
- Barron, E.J., Harrison, C.G.A., & Hay, W.W., 1978. A revised reconstruction of the southern continents. American Geophysical Union Transactions, v. 59, p. 436-439.
- Beaman, M., Sager, W.W., Acton, G.D., Lanci, L., & Pares, J., 2007. Improved late Cretaceous and early Cenozoic paleomagnetic apparent polar wander path for the Pacific plate. Earth and Planetary Science Letters, v. 262. p. 1- 20.
- Begg, G.C., Griffin, W.L., Natapov, L.M., O'Reilly, S.Y., Grand, S.P., O'Neill, C.J., Hronsky, J.M.A., Poudjom
- Djomani, Y., Swain, C.J., Deen, T., & Bowden, P., 2009. The lithospheric architecture of Africa: seismic tomography, mantle petrology, and tectonic evolution. Geosphere, v. 5, no. 1, p. 23-50, doi:10.1130/GES00179.1, http://geosphere.

gsapubs.org.

- Beloussov, V.V., 1990. Certain trends in present-day geosciences. In: Barto-Kyriakidis, A., ed., Critical Aspects of the
- Plate Tectonics Theory. Athens: Theophrastus Publications, v. 1, p. 3-15.
- Berger, A., & Loutre, M.F., 1991. Insolation values for the climate of the last 10 million years. Quaternary Science Reviews, v. 10, p. 297-317.
- Berry, E.W., 1927. The term Oligocene and certain climatic considerations. American Journal of Science, v. 13, p. 252-256.
- Berry, E.W., 1928. Comments on the Wegener hypothesis. In: Waterschoot van der Gracht, W.A.J.M. van, ed., The Theory of Continental Drift: A symposium. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, p. 194-196.
- Besse J., & Courtillot V., 1991. Revised and synthetic apparent polar wander paths of the African, Eurasian, North American and Indian Plates, and true polar wander since 200 Ma. Journal of Geophysical Research, v. 96, p. 4029-4050.
- Besse, J., & Courtillot, V., 2002. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr. Journal of Geophysical Research, v. 107, no. B11, 2300, doi:10.1029/2000JB000050, 6 - 1-31.
- Besse, J., & Courtillot, V., 2003. Correction to 'Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr'. Journal of Geophysical Research, v. 108, no. B10, 2469, 3 - 1-2, doi:10.1029/2003JB002684.
- Besse, J., Courtillot V., & Greff, M., 2011. Paleomagnetism, polar wander. In: Gupta, H.K., ed., Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. Springer, p. 945-954.
- Bhat, M.I., 1987. Spasmodic rift reactivation and its role in pre-orogenic evolution of the Himalayan region. Tectonophysics, v. 134, p. 103-127.
- Biggin, A.J., Hinsbergen, D.J.J. van, Langereis, C.G., Straathof, G.B., & Deenen, M.H.L., 2008. Geomagnetic secular variation in the Cretaceous Normal Superchron and in the Jurassic. Physics of the Earth and Planetary Interiors, v. 169, p. 3-19.
- Bonatti, E., 1990. Subcontinental mantle exposed in the Atlantic Ocean on St Peter-Paul islets. Nature, v. 345, p. 800-802.
- Bonatti, E., & Crane, K., 1982. Oscillatory spreading explanation of anomalously old uplifted crust near oceanic transforms. Nature, v. 300, p. 343-345.
- Bonatti, E., & Honnorez, J., 1971. Nonspreading crustal blocks at the Mid-Atlantic Ridge. Science, v. 174, p. 1329- 1331.
- Bouin, M.-N., & Vigny, C., 2000. New constraints on Antarctica plate motion and deformation from GPS data. Journal of Geophysical Research, v.105, p. 28,279-28,293.
- Briggs, J.C., 1987. Biogeography and Plate Tectonics. Amsterdam: Elsevier.
- Brinkmann, R., 1972. Mesozoic troughs and crustal structure

in Anatolia. Geological Society of America Bulletin, v. 83, no. 3, p. 819-826.

- Brooks, C.E.P., 1949. Climate through the Ages: A study of the climatic factors and their variations. 2nd ed., London: Ernest Benn, Dover reprint 1970.
- Buchardt, B., 1978. Oxygen isotope palaeotemperatures from the Tertiary period in the North Sea area. Nature, v. 275, p. 121-123.
- Bucher, W.H., 1933. The Deformation of the Earth's Crust. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Bucher, W.H., 1956. Role of gravity in orogenesis. Geological Society of America Bulletin, v. 67, p. 1295-1318.
- Budinger, T.F., & Enbysk, B.J., 1967. Late Tertiary date from the East Pacific Rise. Journal of Geophysical Research, v. 72, no. 8, p. 2271-2274.
- Bullard, E.C., Everett, J.E., & Smith, A.G., 1965. The fit of the continents around the Atlantic. In: A Symposium on Continental Drift, Royal Society of London Philosophical Transactions, Series A, v. 258, p. 41-51.
- Burchfiel, B.C., 1990. The continental crust. In: Moores, E.M., ed., Shaping the Earth: Tectonics of continents and oceans. New York: W.H. Freeman & Co.
- Butler, R.F., 2004. Paleomagnetism: Magnetic domains to geologic terranes. Electronic edition, www.pmc.ucsc.edu.
- Butler, R.F., Gehrels, G.E., McClelland, W.C., May, S.R., & Klepacki, D., 1989. Discordant paleomagnetic data from the Canadian Coast Plutonic Complex: regional tilt rather than large-scale displacement? Geology, v. 17, no. 8, p. 691-694.
- Butler, R.F., Dickinson, W.R., & Gehrels, G.E., 1991. Paleomagnetism of coastal California and Baja California: alternatives to large-scale northward transport. Tectonics, v. 10, p. 561-576.
- Butler, R.F., Gehrels, G.E., & Baldwin, S.L., 2002. Paleomagnetism and geochronology of the Ecstall pluton in the Coast Mountains of British Columbia: evidence for local deformation rather than large-scale transport. Journal of Geophysical Research, v. 107, p. 3–1-13.
- Calderwood, A.R., 1991, No suspect terranes; the case against paleomagnetic data. Geological Society of America, Abstracts with Programs, v. 23, no. 5, p. 136.
- Cambiotti, G., 2012. Modelling the earth: compressible viscoelastodynamics, gravitational seismology and true polar wander (doctoral thesis). University of Milan.
- Cambiotti, G., Ricard, Y., & Sabadini, R., 2011. New insights into mantle convection true polar wander and rotational bulge readjustment. Earth and Planetary Science Letters, v. 310, p. 538-543.
- Caputo, M., 1986. The Polfluchtkraft revisited. Bollettino Geofisica Teorica Applicata, v. 28. p. 199-214.
- Carlson, D.H., Plummer, C.C., & McGeary, D., 2008. Physical Geology: Earth revealed. 7th ed., New York: McGraw-Hill.
- Chadwick, P., 1962. Mountain-building hypotheses. In: Runcorn, S.K., ed., Continental Drift. New York & London: Academic Press, p. 195-234.

- Chatterjee, S., & Hotton, N., 1986. The paleoposition of India. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, v. 1, p. 145-189.
- Choi, D.R., 1997. Geology of the oceans around Australia, parts I-III. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 3, p. 8-13.
- Choi, D.R., 1999. Geology of East Pacific: Middle America Trench. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 12, p. 10-16.
- Choi, D.R., 2000. Subduction does not exist from seismic data interpretation. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 15, p. 9-14.
- Choi, D.R., 2001. Submarine geology of the oceans around Australia. Himalayan Geology, v. 22, p. 81-90.
- Choi, D.R., 2002. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones. Part 2: South America. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 24, p. 9-21.
- Choi, D.R., Vasil'yev, B.I., & Tuezov, I.K., 1990. The Great Oyashio Paleoland: a Paleozoic-Mesozoic landmass in the northwestern Pacific. In: Barto-Kyriakidis, A., ed., Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory. Athens: Theophrastus Publications, v. 1, p. 197-213.
- Choi, D.R., Vasil'yev, B.I., & Bhat, M.I., 1992. Paleoland, crustal structure, and composition under the northwestern Pacific Ocean. In: Chatterjee, S., & Hotton, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock, TX: Texas Tech University Press, p. 179-191.
- Coleman, A.P., 1925. Permo-Carboniferous glaciation and the Wegener hypothesis. Nature, v. 115, no. 2895, p. 602.
  Coleman, A.P., 1932. Glaciation and continental drift. The Geographical Journal, v. 79, no. 3, p. 252-255.
- Colpron, M., Nelson, J.L., & Murphy, D.C., 2007. Northern Cordilleran terranes and their interactions through time. GSA Today, v. 17, no. 4/5, doi:10.1130/GSAT01704-5A.1.
- Coney, P.J., Jones, D.L., & Monger, J.W.H., 1980. Cordilleran suspect terranes. Nature, v. 288, p. 329-333.
- Conrad, C.P., & Lithgow-Bertelloni, C., 2006. Influence of continental roots and asthenosphere on plate-mantle coupling. Geophysical Research Letters, v. 33, L05312, doi:10.1029/2005GL025621.
- Cottrell, R.D., & Tarduno, J.A., 2000. Late Cretaceous true polar wander: not so fast. Science, v. 288, 2283a.
- Coxall, H.K., & Pearson, P.N., 2007. The Eocene-Oligocene transition. In: Williams, M., Haywood, A.M., Gregory, F.J., & Schmidt, D.N., eds., Deep-time Perspectives on Climate Change: Marrying the signal from computer models and biological proxies. Geological Society, London, Micropalaeontological Society, p. 351-387.
- Croll, J., 1886. Discussions on Climate and Cosmology. London: Edward Stanford.
- Cronin, T.M., 2010. Paleoclimates: Understanding climate change past and present. New York: Columbia University Press.
- Dalziel, I.W.D., Mosher, S., & Gahagan, L.M., 2000. Laurentia-Kalahari collision and the assembly of Rodinia.

The Journal of Geology, v. 108, no. 5, p. 499-513.

- Darwin, G.H., 1877. On the influence of geological changes on the earth's axis of rotation. Philosophical Transactions
- of the Royal Society of London, A., v. 167, p. 271-312.
- Darwin, G.H., 1878. On Professor Haughton's estimate of geological time. Proceedings of the Royal Society of London, v. 27, p. 179-183.
- Day, A., & Runcorn, S., 1955. Polar wandering: some geological, dynamical and paleomagnetic aspects. Nature, v. 176, p. 422-426.
- De Man, E., & Van Simaeys, S., 2004. Late Oligocene warming event in the southern North Sea Basin: benthic foraminifera as paleotemperature proxies. Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw, v. 83, no. 3, p. 227-239, www.njgonline.nl.
- Dickins, J.M., 1987. Tethys a geosyncline formed on continental crust? In: McKenzie, K.G., ed., Shallow Tethys 2, International Symposium, Wagga Wagga, 1986. Rotterdam: A.A. Balkema, p. 149-158.
- Dickins, J.M., 1994a. What is Pangaea? In: Embry, A.F., Beauchamp, B., & Glass, D.G., Pangea: Global environments and resources. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 17, p. 67-80.
- Dickins, J.M., 1994b. The nature of the oceans or Gondwanaland, fact and fiction. In: Gondwana Nine, Ninth International Gondwana Symposium, Hyderabad, India. Rotterdam: A.A. Balkema, p. 387-396.
- Dickins, J.M., 1994c. The southern margin of Tethys. In Gondwana Nine, Ninth International Gondwana Symposium, Hyderabad, India. Rotterdam: A.A. Balkema, p. 1125-1134.
- Dickins, J.M., Choi, D.R., & Yeates, A.N., 1992. Past distribution of oceans and continents. In: Chatterjee, S., & Hotton, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock, TX: Texas Tech University Press, p. 193-199.
- Dickinson, W.R., 2003. The place and power of myth in geoscience: an associate editor's perspective. American Journal of Science, v. 303, p. 856-864.
- Dickman, S.R., 2000. Tectonic and cryospheric excitation of the Chandler wobble and a brief review of the secular motion of the earth's rotation pole. IAU Colloquium 178: Polar Motion: Historical and Scientific Problems, ASP Conference Series, v. 208. p. 421-435.
- Dietrich, R., Rülke, A., Ihde, J., Lindner, K., Miller, H., Niemeier, W., Schenke, H.-W., & Seeber, G., 2004. Plate kinematics and deformation status of the Antarctic Peninsula based on GPS. Global and Planetary Change, v. 42, nos. 1-4, p. 313-321.
- Dietz, R.S., & Holden, J.C., 1970. Reconstruction of Pangaea: breakup and dispersion of continents, Permian to present. Journal of Geophysical Research, v. 75, no. 26, p. 4939-4956.
- Domeier, M., Van der Voo, R., & Torsvik, T.H., 2012. Paleomagnetism and Pangea: the road to reconciliation.

Tectonophysics, v. 514, p. 14-43.

- Donnadieu, Y., Ramstein, G., Fluteau, F., Besse, J., & Meert, J., 2002. Is high obliquity a plausible cause for Neoproterozoic glaciations? Geophysical Research Letters, v. 29, no. 23, doi:10.1029/2002GL015902.
- Donnellan, A., & Luyendyk, B.P., 2004. GPS evidence for a coherent Antarctic plate and for postglacial rebound in Marie Byrd Land. Global and Planetary Change, v. 42, nos. 1-4, p. 305-311.
- Donovan, R.N., & Meyerhoff, A.A., 1982. Paleomagnetic evidence for a large (□2,000 km) sinistral offset along the Great Glen fault during Carboniferous time: comment. Geology, v. 10, no. 11, p. 604-605.
- Douglas, J.G., & Williams, G.E., 1982. Southern polar forests: the early Cretaceous floras of Victoria and their palaeoclimatic significance. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 39, p. 171-185.
- Drewry, G.E., Ramsay, A.T.S., & Smith, A.G., 1974. Climatically controlled sediments, the geomagnetic field, and trade wind belts in Phanerozoic time. Journal of Geology, v. 82, p. 531-553.
- Du Toit, A.L., 1937. Our Wandering Continents. Edinburgh and London: Oliver and Boyd.
- Eldrett. J.S., Harding, I.C., Wilson, P.A., Butler, E., & Roberts, A.P., 2007. Continental ice in Greenland during the Eocene and Oligocene. Nature, v. 446, p. 176-179.
- Elliott, C.I., 1994. Lineament tectonics: an approach to basin analysis and exploration. In: Purcell, P.G., & Purcell, R.R., eds., Sedimentary Basins of Western Australia. Petroleum Exploration Society of Australia Conference Proceedings, p. 77-90.
- Eötvös, R. von, 1913. Verhandlungen der 17 Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung, Berlin, Part 1, p. 111.
- Evans, D.A.D., 2003. True polar wander and supercontinents. Tectonophysics, v. 362, p. 303-320.
- Evans, D.A.D., 2009. The palaeomagnetically viable, long-lived and all-inclusive Rodinia supercontinent reconstruction. In: Murphy, J.B., Keppie, J.D., & Hynes, A., eds., Ancient Orogens and Modern Analogues. Geological Society of London Special Publication, v. 327, p. 371-404.
- Evans, J., 1866. On a possible geological cause of changes in the position of the axis of the earth's crust. Proceedings of the Royal Society of London, v. 15, p. 46-54.
- Frisch, F., & Meschede, M., 2011. Terranes. In: Frisch, F., Meschede, M., & Blakey, R.C., Plate Tectonics: Continental drift and mountain building. Heidelberg: Springer, p. 131-138.
- Gasperid, M., & Chierici, F., 1996. The Eötvös force revisited. Terra Nova, v. 8, no. 4, p. 356-360.
- Gold, T., 1955. Instability of the earth' s axis of rotation. Nature, v. 175, p. 526-529.
- Goldreich, P., & Toomre, A., 1969. Some remarks on polar wandering. Journal of Geophysical Research, v.

74, no. 10, p. 2555-2567.

- Gordon, R.G., 1987. Polar wandering and paleomagnetism. Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, v. 15, p. 567-593.
- Gordon, R.G., 1995. Plate motions, crustal and lithospheric mobility, and paleomagnetism: prospective viewpoint. Journal of Geophysical Research, v. 100, p. 24,367-24,392.
- Gordon, R.G., & Stein, S., 1992. Global tectonics and space geodesy. Science, v. 256, p. 333-342.
- Graham, J.W., Buddington, A.F., & Balsley, J.R., 1957. Stress-induced magnetizations of some rocks with analyzed magnetic minerals. Journal of Geophysical Research, v. 62, no. 3, p. 465-474.
- Grant, A.C., 1980. Problems with plate tectonics: the Labrador Sea. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, v. 28, p. 252-278.
- Grant, A.C., 1992. Intracratonic tectonism: key to the mechanism of diastrophism. In: Chatterjee, S., & Norton, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock: Texas Tech University Press, p. 65-73.
- Greff-Lefftz, M., & Besse, J., 2012. Paleo movement of continents since 300 Ma, mantle dynamics and large wander of the rotational pole. Earth and Planetary Science Letters, v. 345-348, p. 151-158.
- Gregory, J.W., 1899. The plan of the earth and its causes. The Geographical Journal, v. 13, p. 225-250.
- Gregory, J.W., 1925. Continental drift (review of The Origin of Continents and Oceans by A. Wegener). Nature, v. 115, no. 2886, p. 255-257.
- Gregory, J.W., 1929. The geological history of the Atlantic Ocean. Quarterly Journal of Geological Society, v. 85, p. 68-122.
- Gregory, J.W., 1930. The geological history of the Pacific Ocean. Quarterly Journal of Geological Society, v. 86, p. 72-136.
- Gross, R.S., 2000. The excitation of the Chandler wobble. Geophysical Research Letters, v. 27, no. 15, p. 2329-2332.
- Gung, Y., Panning, M., & Romanowicz, B., 2003. Global anisotropy and the thickness of continents. Nature, v. 422, p. 707-711.
- Gussow, W.C., 1963. Metastasy. In: Munyan, A.C., ed., Polar Wandering and Continental Drift. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Spec. Publ. no. 10, p. 146-169.
- Hall, J.M., & Robinson, P.T., 1979. Deep crustal drilling in the North Atlantic Ocean. Science, v. 204, p. 573-586.
- Hall, J.M., & Ryall, P.J.C., 1977. Paleomagnetism of basement rocks, Leg 37. In: Aumento, F., Melson, W.B., et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 37. Washington, DC: US Government Printing Office, p. 425- 448.

Hallam, A., 1976. How closely did the continents fit

together? Nature, v. 262, p. 94-95.

- Hancock, G., 1995. Fingerprints of the Gods. London: Heinemann.
- Hansen, V.L., 1988. A model for terrane accretion: Yukon-Tanana and Slide Mountain terranes, northwest North America. Tectonics, v. 7, no. 6, p. 1167-1177.
- Hapgood, C.H., 1958. Earth' s Shifting Crust. New York: Pantheon.
- Hapgood, C.H., 1970. The Path of the Pole. Philadelphia: Chilton Book Company.
- Hardie, L.A., 1990. The role of rifting and hydrothermal  $CaCl_2$  brines in the origin of potash evaporites: an hypothesis. American Journal of Science, v. 290, p. 1-42.
- Hardie, L.A., 1991. On the significance of evaporites. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 219, p. 131-168.
- Hargraves, R.B., & Duncan, R.A., 1973. Does the mantle roll? Nature, v. 245, p. 361-363.
- Harrison, C.G.A., 1968. Antipodal locations of continents and ocean basins. Science, v. 153, no. 3741, p. 1246-1248.
- Heezen, B.C., Tharp, M., & Ewing, M., 1959. The floors of the oceans. I: The North Atlantic. Geological Society of America Special Paper 65.
- Hellman, H., 1998. Great Feuds in Science: Ten of the liveliest disputes ever. New York: John Wiley & Sons.
- Hirth, G., Evans, R.L., & Chave, A.D., 2000. Comparison of continental and oceanic mantle electrical conductivity: is the Archean lithosphere dry? Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 1, no. 12, 1030, doi:10.1029/2000GC000048.
- Hodych, J.P., & Bijaksana, S., 1993. Can remanence anisotropy detect paleomagnetic inclination shallowing due to compaction? A case study using Cretaceous deep-sea limestones. Journal of Geophysical Research, v. 98, no. B12, p. 22429-22441.
- Hoffman, P.F., Kaufman, A.J., Halverson, G.P., & Schrag, D.P., 1998. A Neoproterozoic snowball earth. Science, v. 281, p. 1342-1346.
- Holmes, A., 1965. The Principles of Physical Geology. Edinburgh: Nelson.
- Hou, G., Santosh, M., Qian, X., Lister, G.S., & Li, J., 2008. Configuration of the late Paleoproterozoic supercontinent Columbia: insights from radiating mafic dyke swarms. Gondwana Research, v. 14, no. 3, p. 395-409.
- Houghton, R.L., Thomas, J.E., Diecchio, R.J., & Tagliacozzo, A., 1979. Radiometric ages of basalts from DSDP Leg 43, Sites 382 and 385 (New England Seamounts), 384 (J-anomaly), 386 and 387 (central and western Bermuda Rise). In: Tucholke, B.E., Vogt, P.R., et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling

Project, Washington, DC: US Government Printing Office, v. 43, p. 739-753.

- Howell, D.G., Schermer, E.R., Jones, D.L., Ben-Avraham, Z.,
  & Scheibner, E., 1983. Tectonostratigraphic terrane map of the Circum-Pacific region. USGS Open-File Report: 83-716.
- Hughes, T., 1973. Coriolis perturbation of mantle convection related to a two-phase convection model. Tectonophysics, v. 18, nos. 3-4, p. 215-230.
- Iro, H., 2002. A Modern Approach to Classical Mechanics. Singapore: World Scientific.
- Irving, E., 1977. Drift of the major continental blocks since the Devonian. Nature, v. 270, p. 304-309.
- Irving, E., & Archibald, D.A., 1990. Bathozonal tilt corrections to paleomagnetic data from mid-Cretaceous plutonic rocks: examples from the Omineca belt, British Columbia. Journal of Geophysical Research, v. 95, no. B4, p. 4579- 4585.
- Ivany, L.C., Patterson, W.P., & Lohmann, K.C., 2000. Cooler winters as a possible cause of mass extinctions at the Eocene/Oligocene boundary. Nature, v. 407, p. 887-890.
- Jacobitti, E., 1912. Mobilità dell' asse terrestre: studio geologico. Torino: Società Tipografico-Editrice Nazionale. James, H., 1860. Athenaeum, 25 Aug.
- James, K., 2012. Whence the Caribbean? New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 64, p. 19-23. James, P., 1997. Is isostasy a real phenomenon? New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 3, p. 3-4.
- Jeffreys, H., 1974. Theoretical aspects of continental drift. In Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics – Assessments and Reassessments. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p. 395-405.
- Jeffreys, H., 1976. The Earth: Its origin, history and physical constitution. 6th ed., Cambridge: Cambridge University Press.
- Jenkins, G.S., 2000. Global climate model high-obliquity solutions to the ancient climate puzzles of the faintyoung- sun paradox and low-latitude Proterozoic glaciation. Journal of Geophysical Research, v. 105, no. D6, p. 7357-7370.
- Jenkins, G.S., 2004. High obliquity as an alternative hypothesis to early and late Proterozoic extreme climate conditions. In: Jenkins, G.S., McMenamin, M.A.S., McKey, C.P., & Sohl, L., eds., The Extreme Proterozoic:Geology, geochemistry, and climate. Washington, DC: American Geophysical Union, Geophysical Monograph 146, p. 183-192.
- Jiang, W-P., Dong-Chen, E., Zhan, B-W, & Liu, Y-W., 2009. New model of Antarctic plate motion and its analysis. Chinese Journal of Geophysics, v. 52, no. 1, p. 23-32.
- Jones, E.J.W., & Ewing, J.I., 1969. Age of the Bay of Biscay: evidence from seismic profiles and bottom samples. Science, v. 166, no. 3901, p. 102-105.

- Jordan, T.H., 1975. The continental tectosphere. Reviews of Geophysics and Space Physics, v. 13, p. 1-12.
- Jordan, T.H., 1978. Composition and development of the continental tectosphere. Nature, v. 274, p. 544-548.
- Jordan, T.H., 1988. Structure and formation of the continental tectosphere. Journal of Petrology, Special Lithosphere Issue, p. 11-37.
- Jordan, T.H., Puster, P., Glatzmaier, G.A., & Tackley, P.J., 1993. Comparisons between seismic earth structures and mantle flow models based on radial correlation functions. Science, v. 261, p. 1427-1431.
- Kashfi, M.S., 1992. Geological evidence for a simple horizontal compression of the crust in the Zagros Crush Zone. In: Chatterjee, S., & Norton, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock: Texas Tech University Press, p. 119-130.
- Keith, M.L., 1993. Geodynamics and mantle flow: an alternative earth model. Earth-Science Reviews, v. 33, p. 153- 337.
- Kennett, J.P., & Shackleton, N.J., 1976. Oxygen isotopic evidence for the development of the psychrosphere 38 Myr ago. Nature, v. 260, p. 513-515.
- Kennett, J.P., & Exon, N.F., 2004. Paleoceanographic evolution of the Tasmanian Seaway and its climatic implications. In: Exon, N.F., Kennett, J.P., & Malone, M.J., eds., The Cenozoic Southern Ocean: Tectonics, sedimentation and climate change between Australia and Antarctica. Washington, DC: American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series 151, p. 345-367.
- Kent, D.V., & May, S.R., 1987. Polar wander and paleomagnetic reference pole controversies. Reviews of Geophysics, v. 25, no. 5, p. 961-970.
- Kent, D.V., & Van der Voo, R., 1990. Palaeozoic palaeogeography from palaeomagnetism of the Atlantic-bordering continents. In: McKerrow, W.S., & Scotese, C.R., eds., Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography.
- Geological Society of London, Memoir 12, p. 49-56.
- Kent, D.V., & Smethurst, M.A., 1998. Shallow bias of paleomagnetic inclinations in the Paleozoic and Precambrian. Earth and Planetary Science Letters, v. 160, p. 391-402.
- Kent, P.E., 1969. The geological framework of petroleum exploration in Europe and North Africa and the implications of continental drift hypotheses. In: The Exploration for Petroleum in Europe and North Africa. London: Institute of Petroleum, p. 3-17.
- Khudoley, K.M., 1974. Circum-Pacific Mesozoic ammonoid distribution: relation to hypotheses of continental drift, polar wandering, and earth expansion. In: Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics – Assessments and Reassessments. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p.

295-330.

- Khudoley, K.M., 1988. The paleobiogeography of the Atlantic Ocean in the Jurassic period. International Geology Review, v. 30, p. 623-634.
- King, R.E., 1971. Geology and history of Sicily. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 55, no. 6, p. 901-902.
- Kirschvink, J.L., Ripperdan, R.L., & Evans, D.A., 1997. Evidence for a large-scale reorganization of early Cambrian continental masses by inertial interchange true polar wander. Science, v. 277, p. 541-545.
- Kobashi, T., Grossman, E.L., Yancey, T.E., & Dockery, D.T., 2001. Reevaluation of conflicting Eocene tropical temperature estimates: molluskan oxygen isotope evidence for warm low latitudes. Geology, v. 29, p. 983-986.
- Köppen, W., & Wegener, A., 1924. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin: Gebrüder Bornträger.
- Kreichgauer, P.D., 1902. Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl: Druck und Verlag der Missionsdruckerei; 2nd ed. 1926.
- Kustowski, B., Ekström, G., & Dziewonski, A.M., 2008. Anisotropic shear-wave velocity structure of the Earth' s mantle: a global model. Journal of Geophysical Research, v. 113, B06306, doi:10.1029/ 2007JB005169.
- Laing, A.C.M., 1998. The myth of plate tectonics. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 6, p. 14-24. Lake, P., 1922. Wegener's displacement theory. Geology Magazine, v. 59, p. 338-346.
- Larson, R.I., & Chase, C.G., 1972. Late Mesozoic evolution of the western Pacific Ocean. Geological Society of America Bulletin, v. 83, no. 2, p. 3627-3643.
- Laubscher, H.P., 1975. Plate boundaries and microplates in Alpine history. American Journal of Science, v. 275, no. 8, p. 865-876.
- Lear, C.H., Bailey, T.R., Pearson, P.N., Coxall, H.K., & Rosenthal, Y., 2008. Cooling and ice growth across the Eocene-Oligocene transition. Geology, v. 36, no. 3, p. 251-254.
- Legendre, C.P., Meier, T., Lebedev, S., Friederich, W., & Viereck-Götte, L., 2012. A shear wave velocity model of the European upper mantle from automated inversion of seismic shear and surface waveforms. Geophysical Journal International, v. 191, no. 1, p. 282-304.
- Le Grand, H.E., 1998. Drifting Continents and Shifting Theories. Cambridge: Cambridge University Press.
- Li, Z.X., Powell, C.McA., Thrupp, G.A., & Schmidt, P.W., 1990. Australian Palaeozoic palaeomagnetism and tectonics- II. A revised apparent polar wander path and palaeogeography. Journal of Structural Geology, v. 12, p. 567-575.
- Li, Z.X., Bogdanova, S.V., Collins, A.S., Davidson, A., et al.,

2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis. Precambrian Research, v. 160, p. 179-210.

- Liu, Z., Pagani, M., Zinniker, D., DeConto, R., Huber, M., Brinkhuis, H., Shah, S.R., Leckie, R.M., & Pearson, A., 2009. Global cooling during the Eocene-Oligocene climate transition. Science, v. 323, no. 5918, p. 1187-1190.
- Longwell, C.R., 1944. Some thoughts on the evidence of a continental drift. American Journal of Science, v. 242, p. 218-231.
- Lowman, P.D., 1986. Plate tectonics with fixed continents: a testable hypothesis II. Journal of Petroleum Geology, v. 9, p. 71-87.
- Lubbock, J., 1848. On change of climate resulting from a change in the earth' s axis of rotation. Quarterly Journal of the Geological Society, v. 4, p. 4-7.
- Luyendyk, B.P., & Melson, W.G., 1967. Magnetic properties and petrology of rocks near the crest of the Mid-Atlantic Ridge. Nature, v. 215, no. 5097, p. 147-149.
- MacDonald, G.J.F., 1963. The deep structure of continents. Reviews of Geophysics, v. 1, p. 587-665.
- MacDonald, G.J.F., 1965. Continental structure and drift. In: A Symposium on Continental Drift. Royal Society of London Philosophical Transactions, Series A, v. 258, p. 215-227.
- Macdougall, D., 1971. Deep sea drilling: age and composition of an Atlantic basaltic intrusion. Science, v. 171, p. 1244-1255.
- Mantura, A.J., 1972. New global tectonics and 'the new geometry' . American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 56, p. 2451-2455.
- Masters, G., Johnson, S., Laske, G., & Bolton, H., 1996. A shear-velocity model of the mantle. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A, v. 354, p. 1385-1411.
- Maxwell, J.C., 1970. The Mediterranean, ophiolites, and continental drift. In: Johnson, H., & Smith, B.L., eds., The Megatectonics of Continents and Oceans. Rutgers, NJ: Rutgers University Press, p. 167-193.
- McDowell, F.W., Lehman, D.H., Gucwa, P.R., Fritz, D., & Maxwell, J.C., 1984. Glaucophane schists and ophiolites of the northern California Coast Ranges: isotopic ages and their tectonic implications. Geological Society of America Bulletin, v. 95, no. 11, p. 1373-1382.
- McElhinny, M., & McFadden, P., 2000. Paleomagnetism: Continents and oceans. San Diego, CA: Academic Press. McKenzie, D.P., 1966. The viscosity of the lower mantle. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v. 14, p. 297-305.
- McKenzie, D., & Priestley, K. 2008. The influence of lithospheric thickness variations on continental

evolution. Lithos, v. 102, nos. 1-2, p. 1-11, http:// bullard.esc.cam.ac.uk.

- McKenzie, K.G., 1987. Tethys and her progeny. In: McKenzie, K.G., ed., Shallow Tethys 2, International Symposium, Wagga Wagga, 1986. Rotterdam: A.A. Balkema, p. 501-523.
- Meert, J.G., 2012. What's in a name? The Columbia (Paleopangaea/Nuna) supercontinent. Gondwana Research, v. 21, no. 4, p. 987-993.
- Melson, W.G., Hart, S.R., & Thompson, G., 1972. St. Paul' s Rocks, equatorial Atlantic: petrogenesis, radiometric ages, and implications on sea-floor spreading. In: Shagam, R., Hargraves, R.B., Morgan, W.J., Van Houten, F.B., Burk, C.A., Holland, H.D., & Hollister, L.C., eds., Studies in Earth and Space Sciences. Boulder, CO: Geological Society of America, Memoir 132, p. 241-272.
- Merrill, R.T., McElhinny, M.W., & McFadden, P.L., 1996. The Magnetic Field of the Earth. San Diego, CA: Academic Press.
- Meyerhoff, A.A., 1970a. Continental drift: implications of paleomagnetic studies, meteorology, physical oceanography, and climatology. Journal of Geology, v. 78, p. 1-51.
- Meyerhoff, A.A., 1970b. Continental drift. II: High latitude evaporite deposits and geologic history of Arctic and North Atlantic oceans. Journal of Geology, v. 78, p. 406-444.
- Meyerhoff, A.A., 1973. Origin of Arctic and North Atlantic oceans. In: Pitcher, M.G., ed., Arctic Geology. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 19, p. 562-582.
- Meyerhoff, A.A., 1974. Crustal structure of northern North Atlantic Ocean – a review. In: Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics – Assessments and Reassessments. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p. 423-433.
- Meyerhoff, A.A., 1995. Surge-tectonic evolution of southeastern Asia: a geohydrodynamics approach. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, v. 12, p. 143-247.
- Meyerhoff, A.A., & Harding, J.L., 1971. Some problems in current concepts of continental drift. Tectonophysics, v. 12, p. 235-260.
- Meyerhoff, A.A., & Hatten, C.W., 1974. Bahamas salient of North America. In: Burk, C.A., & Drake, C.L., eds., The Geology of Continental Margins. Berlin: Springer-Verlag, p. 429-446.
- Meyerhoff, A.A., & Meyerhoff, H.A., 1974a. Tests of plate tectonics. In: Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics – Assessments and Reassessments. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p. 43-145.
- Meyerhoff, A.A., & Meyerhoff, H.A., 1974b. Ocean

magnetic anomalies and their relations to continents. In: Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics – Assessments and Reassessments. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p. 411-422.

- Meyerhoff, A.A., & Teichert, C., 1971. Continental drift. III: Late Paleozoic glacial centers and Devonian-Eocene coal distribution. Journal of Geology, v. 79, p. 285-321.
- Meyerhoff, A.A., Kamen-Kaye, M., Chen, C., & Taner, I., 1991. China – Stratigraphy, Paleogeography and Tectonics. Dordrecht: Kluwer.
- Meyerhoff, A.A., Agocs, W.B., Taner, I., Morris, A.E.L., & Martin, B.D., 1992a. Origin of midocean ridges. In:
- Chatterjee, S., & Norton, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock: Texas Tech University Press, p. 151-178.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Martin, B.D., Agocs, W.B., & Meyerhoff, H.A., 1992b. Surge tectonics: a new hypothesis of earth dynamics. In: Chatterjee, S., & Norton, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock: Texas Tech University Press, p. 309-409.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kaymen-Kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C., & Choi, D.R., 1996a. Surge Tectonics: A new hypothesis of global geodynamics (D. Meyerhoff Hull, ed.). Dordrecht: Kluwer.
- Meyerhoff, A.A., Boucot, A.J., Meyerhoff Hull, D., & Dickins J.M., 1996b. Phanerozoic Faunal & Floral Realms of the Earth: The intercalary relations of the Malvinokaffric and Gondwana faunal realms with the Tethyan faunal realm. Boulder, CO: Geological Society of America, Memoir 189.
- Meyerhoff, H.A., & Meyerhoff, A.A., 1978. Spreading history of the eastern Indian Ocean and India' s northward flight from Antarctica and Australia: discussion and reply. Geological Society of America Bulletin, v. 89, p. 637-640.
- Morel, P., & Irving, E., 1978. Tentative paleocontinental maps for the early Phanerozoic and Proterozoic. Journal of Geology, v. 86, p. 535-561.
- Morel, P., & Irving, E., 1981. Paleomagnetism and the evolution of Pangea. Journal of Geophysical Research, v. 86, no. B3, p. 1858-1872.
- Müller, R.D., Sdrolias, M., Gaina, C., & Roest, W.R., 2008. Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 9, Q04006, doi:10.1029/ 2007GC001743.
- Munk, W.H., & MacDonald, G.J.F., 1975. The Rotation of the Earth: A geophysical discussion. 2nd ed., Cambridge: Cambridge University Press.
- Newton, C.R., 1988. Significance of 'Tethyan' fossils in the American Cordillera. Science, v. 242, no. 4877, p.

385-391.

- Northrop, J.W., & Meyerhoff, A.A., 1963. Validity of polar and continental movement hypotheses based on
- paleomagnetic studies. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 47, no. 4, p. 575-585.
- Oard, M.J., 2000a. Literature criticisms of plate tectonics. In: Reed, J.K., ed., Plate Tectonics: A different view. St. Joseph, MO: Creation Research Society Books, p. 25-64.
- Oard, M.J., 2000b. Subduction unlikely plate tectonics improbable. In Reed, J.K., ed., Plate Tectonics: A different view. St. Joseph, MO: Creation Research Society Books, p. 93-145.
- O' Driscoll, E.S.T., 1986. Observations of the lineamentore relation. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A, v. 317, p. 195-218.
- Opdyke, N.D., & Hekinian, R., 1967. Magnetic properties of some igneous rocks from the Mid-Atlantic Ridge. Journal of Geophysical Research, v. 72, no. 8, p. 2257-2260.
- O' Regan, M., Williams, C.J., Frey, K.E., & Jakobsson, M., 2011. A synthesis of the long-term paleoclimatic evolution of the Arctic. Oceanography, v. 24, no. 3, p. 66-80, http://www.tos.org.
- O' Reilly, S.Y., Zhang, M., Griffin, W.L., Begg, G., & Hronsky, J., 2009. Ultradeep continental roots and their oceanic remnants: a solution to the geochemical 'mantle reservoir' problem? Lithos, 211S, p. 1043-1054.
- Orlenok, V.V., 1986. The evolution of ocean basins during Cenozoic time. Journal of Petroleum Geology, v. 9, p. 207-216.
- Ozima, M., Ozima, M., & Kaneoka, I., 1968. Potassiumargon ages and some magnetic properties of some dredge submarine basalts and their geophysical implications. Journal of Geophysical Research, v. 73, no. 2, p. 711-723.
- Parnell, J., 1982. Paleomagnetic evidence for a large (  $\sim$  2,000 km) sinistral offset along the Great Glen fault during Carboniferous time: comment. Geology, v. 10, no. 11, p. 605.
- Pavlenkova, G.A., & Pavlenkova, N.I., 2006. Upper mantle structure of the Northern Eurasia from peaceful nuclear explosion data. Tectonophysics, v. 416. p. 3-52.
- Pavlenkova, N.I., 1990. Crustal and upper mantle structure and plate tectonics. In: Barto-Kyriakidis, A., ed., Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory. Athens: Theophrastus Publications, v. 1, p. 73-86.
- Pavlenkova, N.I., 1995. Structural regularities in the lithosphere of continents and plate tectonics. Tectonophysics, v. 243, p. 223-229.

Pavlenkova, N.I., 1996. General features of the

uppermost mantle stratification from long-range seismic profiles. Tectonophysics, v. 264, p. 261-278.

- Pavlenkova, N.I., 2012. The earth' s degassing, rotation and expansion as sources of global tectonics. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 63, p. 49-71.
- Pedlosky, J., 1979. Geophysical Fluid Dynamics. New York: Springer-Verlag.
- Peltier, W.R., & Wu, P., 1983. Continental lithospheric thickness and deglaciation-induced true polar wander. Geophysical Research Letters, v. 10, p. 181-184.
- Persson, A., 1998. How do we understand the Coriolis force? Bulletin of the American Meteorological Society, v. 79, no. 7, p. 1373-1385, www.aos. princeton.edu.
- Pilot, J., Werner, C.-D., Haubrich, F., & Baumann, D., 1998. Paleozoic and Proterozoic zircons from the Mid-Atlantic Ridge. Nature, v. 393, p. 676-679.
- Piper, J.D.A., 2006. A  $\sim$  90° late Silurian-Early Devonian apparent polar wander loop: the latest inertial interchange of planet earth? Earth and Planetary Science Letters, v. 250, nos. 1-2, p. 345-357.
- Pollack, H.N., & Chapman, D.S., 1977. On the regional variation of heat flow, geotherms, and lithospheric thickness. Tectonophysics, v. 38, p. 279-296.
- Poupinet, G., & Shapiro, N.M., 2009. Worldwide distribution of ages of the continental lithosphere derived from a global seismic tomographic model. Lithos, v. 109, nos. 1-2, p. 125-130, 10.1016/ j.lithos.2008.10.023.
- Pratsch, J.-C., 1990. Relative motions in geology: some philosophical differences. Journal of Petroleum Geology, v.
- 13, p. 229-234.
- Pratt, D., 2000. Plate tectonics: a paradigm under threat. Journal of Scientific Exploration, v. 14, no. 3, p. 307-352, www.scientificexploration.org.
- Pratt, D., 2001. Problems with plate tectonics. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 21, p. 10-24.
- Prévot, M., Mattern, E., Camps, P., & Daignières, M., 2000. Evidence for a 20° tilting of the earth' s rotation axis 110 million years ago. Earth and Planetary Science Letters, v. 179, nos. 3-4, p. 517-528.
- Price, J.F., 2006. A Coriolis tutorial. Woods Hole Oceanographic Institute, version 3.3, www.whoi.edu.
- Priestley, K., & McKenzie, D., 2006. The thermal structure of the lithosphere from shear wave velocities. Earth and Planetary Science Letters, v. 244, p. 285-301, www.seg2.ethz.ch.
- Raiverman, V., 1992. Trans-Asiatic lineaments and Himalayan orogeny. In: Sinha, A.K., ed., Himalayan Orogen and Global Tectonics. International Lithosphere Programme, publication no. 197, p.

121-155.

- Raub, T.D., Kirschvink, J.L., & Evans, D.A.D., 2007. True polar wander: linking deep and shallow geodynamics to hydro- and bio-spheric hypotheses. In: Schubert, G., ed., Treatise on Geophysics. Amsterdam: Elsevier, v. 5, ch. 14, p. 565-589.
- Reibisch, P., 1901. Ein Gestaltungsprinzip der Erde. 27. Jahresbericht des Vereins für Erdkunde zu Dresden, p. 105-124.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., et al., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research, v. 111, no. B5, doi:10.1029/2005/JB004051.
- Reynolds, P.H., & Clay, W., 1977. Leg 37 basalts and gabbro: K-Ar and 40Ar-39Ar dating. In: Aumento, F. Melson, W.G., et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington, DC: US Government Printing Office, v. 37, p. 629-30.
- Rezanov, I.A., 1968. Paleomagnetism and continental drift. International Geology Review, v. 10, p. 765-776.
- Ricard, Y., 2007. Physics of mantle convection. In: Schubert, G., ed., Treatise on Geophysics. Amsterdam: Elsevier, v.7: Mantle dynamics.
- Rogers, J.J.W., & Santosh, M., 2002. Configuration of Columbia, a Mesoproterozoic supercontinent. Gondwana Research, v. 5, p. 5-22.
- Ruditch, E.M., 1990. The world ocean without spreading. In: Barto-Kyriakidis, A., ed., Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory. Athens: Theophrastus Publications, v. 2, p. 343-395.
- Rudnick, R.L., McDonough, W.F., & O' Connell, R.J., 1998. Thermal structure, thickness and composition of continental lithosphere. Chemical Geology, v. 145, p. 395-411.
- Russell, C.T., & Dougherty, M.K., 2010. Magnetic fields of the outer planets. Space Science Reviews, v. 152, p. 251-269.
- Sager, W.W., Weiss, C.J., Tivey, M.A., & Johnson, H.P., 1998. Geomagnetic polarity reversal model of deeptow profiles from the Pacific Jurassic Quiet Zone. Journal of Geophysical Research, v. 103, no. B3, p. 5269-5286. Salamy, K.A., & Zachos, J.C., 1999. Latest Eocene-early Oligocene climate change and Southern Ocean fertility:
- inferences from sediment accumulation and stable isotope data. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 145, p. 61-77.
- Sandwell, D.T., & Renkin, M.L., 1988. Compensation of swells and plateaus in the north Pacific: no direct evidence for mantle convection. Journal of Geophysical Research, v. 93, no. B-4, p. 2775-2783.

Sato, H., 1991. Viscosity of the upper mantle from

laboratory creep and anelasticity measurements in peridotite at high pressure and temperature. Geophysical Journal International, v. 105, no. 3, p. 587-599.

- Saul, L.R., 1986. Pacific west coast Cretaceous molluscan faunas: time and aspect of changes. In: Abbott, P.L., ed., Cretaceous stratigraphy, western North America. Los Angeles, CA: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Pacific Section, Book 46, p. 131-135.
- Saxena, M.N., & Gupta, V.J., 1990. Role of foredeep tectonics, geological and palaeontological data, gravity tectonics in the orogeny and uplift of the Himalayas, vis-a-vis continental drift and plate tectonics concepts. In: Barto- Kyriakidis, A., ed., Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory. Athens: Theophrastus Publications, v. 1, p. 105-128.
- Saxena, M.N., Gupta, V.J., Meyerhoff, A.A., & Archbold, N.W., 1985. Tectonic and spatial relations between India and Asia since Proterozoic time. In: Gupta, V.J., ed., Contributions to Himalayan Geology, v. 3: Geology of Western Himalayas. Delhi: Hindustan Publishing Corporation, p. 187-207.
- Scheidegger, A.E., 1963. Principles of Geodynamics. 2nd ed., New York: Academic Press.
- Schiaparelli, G.V., 1889. De la rotation de la terre sous l'influence des actions géologiques. St. Petersburg: Imprimerie de l'Académie Impériale des Sciences.
- Schmidt, P.W., Powell, C.McA., Li, Z.X., & Thrupp, G.A., 1990. Reliability of Palaeozoic palaeomagnetic poles and APWP of Gondwanaland. Tectonophysics, v. 184, p. 87-100.
- Scotese, C.R., Boucot, A.J., & McKerrow, W.S., 1999. Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology. Journal of African Earth Sciences, v. 28, no. 1, p. 99-114.
- Schouten, S., Eldrett, J., Greenwood, D.R., Harding, I., Baas, M., & Sinninghe Damsté, J.S., 2008. Onset of long-term cooling of Greenland near the Eocene-Oligocene boundary as revealed by branched tetraether lipids. Geology, v. 36, no. 2, p. 147-150.
- Schuchert, C., 1928. The hypothesis of continental displacement. In: Waterschoot van der Gracht, W.A.J.M. van, ed., The Theory of Continental Drift: A symposium. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, p. 104-144.
- Schuchert, C., 1932. Gondwana land bridges. Geological Society of America Bulletin, v. 43, p. 875-915.
- Scotese, C.R., & Barrett, S.F., 1990. Gondwana' s movement over the south pole during the Palaeozoic: evidence from lithological indicators of climate. In: McKerrow, W.S., & Scotese, C.R., eds., Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography. Geological Society of London, Memoir 12, p. 75-85.

- Seiders, V.M., 1988. Origin of conglomerate stratigraphy in the Franciscan assemblage and Great Valley sequence, northern California. Geology, v. 16, no. 9, p. 783-787.
- Sengör, A.M.C., 1990. Lithotectonic terranes and the plate tectonic theory of orogeny: a critique of the principles of terrane analysis. In: Wiley, T.J., Howell, D.G., & Wong, F.L., eds., Terrane Analysis of China and the Pacific Rim. Houston, TX: Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources Earth Science Series, v. 13, p. 9-44.
- Shapiro, M.N., 1990. Is the opening of the Atlantic manifested in the structure of the northern framing of the Pacific Ocean? Barto-Kyriakidis, A., ed., Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory. Athens: Theophrastus Publications, v. 1, p. 179-196.
- Shapiro, N.M., Ritzwoller, M.H., Mareschal, J.C., & Jaupart, C., 2004. Lithospheric structure of the Canadian Shield inferred from inversion of surfacewave dispersion with thermodynamic a priori constraints. In: Curtis, A., & Wood, R., eds., Geological Prior Information: Informing science and engineering. Geological Society of London, Special Publication, v. 239, p. 175-194.
- Simpson, G.C., Seward, A.C., Gregory, J.W., Mitchell, P., Brooks, C.E.P., Tate Regan, C., & Thomas, H., 1930. Discussion on geological climates. Proceedings of the Royal Society of London, Series B, v. 106, no. 744, p. 299-317.
- Simpson, G.G., 1943. Mammals and the nature of continents. American Journal of Science, v. 241, p. 1-31.
- Simroth, H., 1907. Die Pendulationstheorie. Leipzig: Grethlein.
- Smiley, C.J., 1967. Paleoclimatic interpretations of some Mesozoic floral sequences. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 51, p. 849-863.
- Smiley, C.J., 1974. Analysis of crustal relative stability from some late Paleozoic and Mesozoic floral records. In: Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics – Assessments and Reassessments. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p. 331-360.
- Smiley, C.J., 1976. Pre-Tertiary phytogeography and continental drift – some apparent discrepancies. In: Gray, J., & Boucot, A.J., eds., Historical Biogeography, Plate Tectonics, and the Changing Environment. Corvallis: Oregon State University Press, p. 311-319.
- Smiley, C.J., 1992. Paleofloras, faunas, and continental drift: some problem areas. In: Chatterjee, S., & Horton, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock: Texas Tech University Press, p. 241-257.
- Smith, A.G., & Hallam, A., 1970. The fit of the southern continents. Nature, v. 225, p. 139-144.

Smith, A.G., Hurley, A.M., & Briden, J.C., 1981.

Phanerozoic Paleocontinental World Maps. Cambridge: Cambridge University Press.

- Smoot, N.C., 1997. Aligned buoyant highs, acrosstrench deformation, clustered volcanoes, and deep earthquakes are not aligned with plate-tectonic theory. Geomorphology, v. 18, p. 199-222.
- Steers, J.A., 1950. The Unstable Earth. 5th ed., London: Methuen.
- Stehli, F.G., 1957. Possible Permian climatic zonation and its implications. American Journal of Science, v. 255, p. 607-618.
- Stehli, F.G., & Grant, R.E., 1971. Permian brachiopods from Axel Heiberg Island, Canada, and an index of sampling efficiency. Journal of Paleontology, v. 45, no. 3, p. 502-521.
- Steinberger, B., & Torsvik, T.H., 2008. Absolute plate motions and true polar wander in the absence of hotspot tracks. Nature, v. 452, p. 620-623.
- St. John, K.E.K., 2008. Cenozoic ice-rafting history of the central Arctic Ocean: terrigenous sands on the Lomonosov Ridge. Paleoceanography, v. 23, PA1505, doi:10.1029/2007PA001483.
- Stöcklin, J., 1989. Tethys evolution in the Afghanistan-Pamir-Pakistan region. In: Sengör, A.M.C., ed., Tectonic Evolution of the Tethyan Region. Dordrecht: Kluwer, p. 241-264.
- Storetvedt, K.M., 1990. The Tethys Sea and the Alpine-Himalayan orogenic belt; mega-elements in a new global tectonic system. Physics of the Earth and Planetary Interiors, v. 62, p. 141-184.
- Storetvedt, K.M., 1992. Rotating plates: new concept of global tectonics. In: Chatterjee, S., & Horton III, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock: Texas Tech University Press, p. 203-220.
- Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet: Earth history in new perspective. Bergen, Norway: Alma Mater. Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics: Theory of earth evolution. Bergen, Norway: Fagbokforlaget.
- Storetvedt, K.M., 2007. Review of Tectonic Consequences of the Earth' s Rotation by R.C. Bostrom. Journal of Scientific Exploration, v. 21, no. 2, p. 405-412.
- Storetvedt, K.M., 2010. World magnetic anomaly map and global tectonics. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 57, p. 27-53.
- Storetvedt, K.M. & Longhinos, B., 2011. Evolution of the North Atlantic: paradigm shift in the offing. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 59, p. 9-48.
- Storetvedt, K.M., & Longhinos, B., 2012. The Atlantic and its bordering continents – a wrench tectonic analysis: lithospheric deformation, basin histories and major hydrocarbon provinces. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 64, p. 30-68.

- Storetvedt, K.M., & Bouzari, S., 2012. The Tethys configuration and principal tectonic features of the Middle East: a wrench tectonic survey. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 65, p. 103-142.
- Tarling, D.H., 1982a. A Proterozoic Pangaea? Nature, v. 299, p. 207.
- Tarling, D.H., 1982b. Land bridges and plate tectonics. Geobios, Mémoire Spécial 6, p. 361-374.
- Tauxe, L., 2013. Essentials of Paleomagnetism. University of California Press, 2010; 2nd web edition, 2013, http://magician.ucsd.edu/Essentials\_2.
- Teichert, C., 1974. Marine sedimentary environments and their faunas in Gondwana area. In: Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics – Assessments and Reassessments. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p. 361-394.
- Teichert, C., & Meyerhoff, A.A., 1972. Continental drift and the marine environment. 24th International Geology Conference, Montreal, p. 339-349.
- Thomson, W., 1876. Presidential Address, British Association for the Advancement of Science. Reprinted in Mathematical and Physical Papers, 3, Cambridge University Press, p. 320-335.
- Torsvik, T.H., Meert, J.G., Smethurst, M.A., Evans, D.A., Ripperdan, R.L., & Kirschvink, J.L., 1998. Polar wander and the Cambrian (comment by Torsvik, Meert & Smethurst, and reply by Evans, Ripperdan & Kirschvink). Science, v. 279, no. 5347, p. 9.
- Torsvik, T.H., Van der Voo, R., Preeden, U., Niocaill, C.M., et al., 2012. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. Earth-Science Reviews, v. 114, nos. 3-4, p. 325-368.
- Tripati, A., Backman, J., Elderfield, H., & Ferretti, P., 2005. Eocene bipolar glaciation associated with global carbon cycle changes. Nature, v. 436, p. 341-346.
- Tripati, A.K., Eagle, R.A., Morton, A., Dowdeswell, J.A., et al., 2008. Evidence for glaciation in the northern hemisphere back to 44 Ma from ice-rafted debris in the Greenland Sea. Earth and Planetary Science Letters, v. 265, nos. 1-2, p. 112-122.
- Trümpy, R., 1971. Stratigraphy in mountain belts. Quarterly Journal of the Geological Society of London, v. 126, p. 293-318.
- Tsai, V.C., & Stevenson, D.J., 2007. Theoretical constraints on true polar wander. Journal of Geophysical Research, v. 112, B05415, doi:10.1029/ 2005JB003923, www.gps.caltech.edu.
- Umbgrove, J.H.F., 1947. The Pulse of the Earth. 2nd ed., The Hague: Martinus Nijhoff.
- Van der Voo, R., 1990. The reliability of paleomagnetic data. Tectonophysics, v. 184, p. 1-9.
- Van der Voo, R., 1993. Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus Oceans. Cambridge: Cambridge University Press.

- Van der Voo, R., 1994. True polar wander during the middle Paleozoic? Earth and Planetary Science Letters, v. 122, nos. 1-2, p. 239-243.
- Van der Voo, R. 1998. A complex field. Science, v. 281, p. 791-792.
- Van der Voo, R., & French, R.B., 1974. Apparent polar wandering for the Atlantic-bordering continents: late Carboniferous to Eocene. Earth-Science Reviews, v. 10, no. 2, p. 99-119.
- Van Summeren, J., Conrad, C.P., & Lithgow-Bertelloni, C., 2012. The importance of slab pull and a global asthenosphere to plate motions. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 13, QOAK03, doi:10.1029/ 2011GC003873.
- Vasiliev, B.I., & Yano, T., 2007. Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 43, p. 3-17.
- Vasiliev, B.I., & Choi, D.R., 2008. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 3: Structure and composition of the basement. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 48, p. 23-51.
- Vermeersen, L.L.A., Fournier, A., & Sabadini, R., 1997. Changes in rotation induced by Pleistocene ice masses with stratified analytical earth models. Journal of Geophysical Research, v. 102, no. B12, p. 27,689-27,702, doi:10.1029/97JB01738.
- Wanless, R.K., Stevens, R.D., Lachance, G.R., & Edmonds, C.M., 1968. Age determinations and geological studies. K-Ar isotopic ages, report 8. Geological Survey of Canada, Paper 67-2, pt. A, p. 140-141.
  Wegener, A., 1912. Die Entstehung der Kontinente. Geologische Rundschau, v. 3, p. 276-292.
- Wegener, A., 1929. The Origin of Continents and Oceans. English translation of 4th German edition, New York: Dover, 1966.
- Wells, J.M., & Verhoogen, J., 1967. Late Paleozoic paleomagnetic poles and the opening of the Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research, v. 72, no. 6, p. 1777-1782.
- Wesson, P.S., 1974a. Problems of plate tectonics and continental drift. In: Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics
  Assessments and Reassessments. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p. 146-154.
- Wesson, P.S., 1974b. Lomnitz law versus elasticoviscous controversy. In: Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics
  Assessments and Reassessments. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p. 448-462.
- Williams, G.E., 1993. History of the earth' s obliquity. Earth-Science Reviews, v. 34, p. 1-45.
- Williams, H., & Hatcher, R.D., 1982. Suspect terranes and accretionary history of the Appalachian orogen. Geology, v. 10, p. 530-536.

- Willis, B., 1932. Isthmian links. Geological Society of America Bulletin, v. 43, p. 917-952.
- Wolfart, R., 1967. Zur Entwicklung der paläozoischen Tethys in Vorderasien. Erdöl und Kohle-Erdgas-Petrochemie, v. 20, no. 3, p. 168-180.

Wolfe, J.A., 1978. A paleobotanical interpretation of Tertiary climates in the northern hemisphere. American Scientist, v. 66, p. 694-703.

- Wolfe, J.A., 1980. Tertiary climates and floristic relationships at high latitudes in the northern hemisphere. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 30, p. 313-323.
- Xu Qinqi, 1979. On the causes of ice ages. Scientia Geologica Sinica, v. 7, p. 252-263.

Xu Qinqi, 1980. Climatic variation and the obliquity. Vertebrata PalAsiatica, v. 18, p. 334-343.

- Yano, T., Choi, D.R., Gavrilov, A.A., Miyagi, S., & Vasiliev, B.I., 2009. Ancient and continental rocks in the Atlantic Ocean, New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 53, p. 4-37.
- Yano, T., Vasiliev, B.I., Choi, D.R., Miyagi, S., Gavrilov, A.A., & Adachi, H., 2011. Continental rocks in the Indian Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 58, p. 9-28.

Yuan, H., & Romanowicz, B., 2010. Lithospheric layering in the North American craton. Nature, v. 466, p. 1063-1068, doi:10.1038/nature09332.

Zachos, J.C., Quinn, T.M., & Salamy, K.A., 1996. Highresolution (104) deep-sea foraminiferal stable isotope records of the Eocene-Oligocene climate transition. Paleoceanography, v. 11, no. 3, p. 251-266, www. mbari.org.

- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., & Billups, K., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. Science, v. 292, no. 5517, p. 686-693, www.essc.psu.edu.
- Zanazzi, A., Kohn, M.J., MacFadden, B.J., & Terry, D.O., 2007. Large temperature drop across the Eocene-Oligocene transition in central North America. Nature, v. 445, p. 639-642.
- Zemtsov, V.A., 2007. Influence of earth rotation on continental motions. Journal of Gondwana Research, v. 12, no. 5, p. 242-251.
- Zhao, G., Sun, M., Wilde, S.A., & Li, S.Z., 2004. A Paleo-Mesoproterozoic supercontinent: assembly, growth and breakup. Earth-Science Reviews, v. 67, nos. 1-2, p. 91-123.
- Zhao, S., Lambeck, K., & Lidberg, M., 2012. Lithosphere thickness and mantle viscosity inverted from GPS-derived deformation rates in Fennoscandia. Geophysical Journal International, v. 190, p. 278-292, doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05454.x.
- Zhao, X., & Coe, R.S., 1987. Paleomagnetic constraints on the collision and rotation of North and South China. Nature, v. 327, p. 141-144.
- Zhou, Y., Nolet, G., Dahlen, F.A., & Laske, G., 2006. Global upper-mantle structure from finite-frequency surfacewave tomography. Journal of Geophysical Research, v. 111, B04304, doi:10.1029/2005JB003677.

# コメントと討論 COMENTS AND DISCUSSION

太平洋の「火の輪」の起源

—D. Pratt 論文 " 古地磁気学, プレート運動, および極移動 "(NCGT Journal, v. 1, n. 1. p. 66-152, 2013) へのコメント—

# **ORIGIN OF THE PACIFIC RING OF FIRE**

Comment on D. Pratt's paper, "Palaeomagnetism, plate motion and polar wander" NCGT Journal, v. 1, no. 1, p. 66-152, 2013.

矢野孝雄

鳥取大学地域学部地域環境学科,日本, 680-8551,鳥取, E-mail: yano@rstu.jp

(矢野 孝雄 [訳])

# まえがき

Pratt (2013) は,19世紀に遡って世界中の幅広いデータ を詳細に検討し,「地質学,地球物理学,古生物学,お よび古地磁気学データは大規模なプレート運動や極移動 は無用で,非漂流大陸と安定した極を支持する……」と結 論した.さらに,大陸移動や極移動といった学説はデー タの選択方法とそれらの処理および解釈内容にひどく依 存していることを,氏は明らかにした.

氏の論文は、地球科学のさまざまな研究分野に論理性という光を照射する. この観点から、私は、太平洋の「火の輪 Pacific Ring of Fire [PRF]」に関する簡単なコメントを行いたい. というは、、このリングにおける最近の凄惨な災害—日本で発生した 2011 年の東北地震 (M 9.0)を含む—は、リングの起源を理解することを私たちに求めているからである.

PRF は、太平洋をとりまくほぼ連続的な地帯であり、約40,000km の地球大円に沿う. この地帯に集中的に供給 される内因的エネルギーは、多くの破壊的な火山噴火や 地震をひきおこす. この輪の起源については、2つの異 なる見方が知られてる.

# 固定論の観点

1958年に, 井尻正二は, 太平洋の起源を解明すること を目的として, 日本の地学団体研究会の中心的研究課 題—『太平洋問題』—を提起した (井尻, 1960). 氏は, 太平洋における海洋底地質調査の基本的重要性のみなら ず, 環太平洋変動帯 Circum-Pacific Mobile Belt [CPMB] に関する地質研究の実践的重要性を強調した. というは, この太平洋をとりまく変動帯は, 太平洋の形成史を記録 しているはずであり, 陸上地質調査は相対的に容易であ るからだ.

地学団体研究会のさまざまな団体研究の成果にもとづい



図1 CPMBの火成活動帯 (矢野・足立,2006を修正) と太平洋底の古期・大陸性岩 石(Vasiliev et al., 2012にも とづく)の分布.ジュラ紀~ 白亜紀前期火成活動帯,古第 三紀~中新世火成活動帯,お よび,第四紀火山フロントは, それぞれ,燕山,ボニン-グ リンタフおよび島弧変動(本 文参照)を代表する.

#### 太平洋の火の輪

107

て,藤田 (1990) は CPMB の中生代~新生代の造構 - 火 成活動史を総括して、それを環太平洋変動系列 "Circum-Pacific Tectonic Movement" と命名してた. この変動系 列は、次の3つの造構ステージで構成される(図1):燕 山-広島変動(ジュラ紀~白亜紀),ボニン-グリンタ フ変動(古第三紀,新第三紀)および島弧変動(中新世 末~第四紀). 燕山 - 広島変動は, 大陸縁の非対称アー チング (幅 1,000 ~ 2,500km) と中軸火成活動 (大量の イグニンブライトと大規模バソリスを形成する中性~珪 長質火成作用) によって特徴づけられる (Yano and Wu, 1997). それにつづくボニン - グリンタフ変動は先行隆 起につづいて多数のコールドロンや地溝を形成し、そこ では苦鉄質~中間質火山活動によって厚い火山岩層 (熱 水変質を被って緑色に変質)が堆積した (Fujita, 1972). 西太平洋縁では、これらの火山活動につづいて海成盆地 の広域的沈降が起こり、縁海が形成された. 島弧変動 (藤 田, 1970)は、大陸縁 (幅 1,000 ~ 3,000km)の非対称 アーチングと軸部火成活動に特徴づけられる (Yano and Kubota, 2002; 矢野, 2009). 軸部火成活動は中新世末 と鮮新 - 更新世に珪長質火砕流をもたらし、中期更新世 以降は中性の火山錐を形成した. 同時に、背弧~大陸内 部の広大な範囲に散点的なアルカリ玄武岩をもたらした

#### (矢野ほか, 2009b).

これらの3ステージの火成活動帯はすべて、CPMB を縦 走している (図 1). ただし、それらが互いに完全に連続 しているわけではない. この事実は, 現在の PRF がすく なくともジュラ紀に遡る長くつづく歴史をもっているこ とを示す.火成活動帯は、西太平洋縁では最大 2,000~ 4,000km, 東太平洋縁では最大 200~300km にわたっ て,段階的に東方へ移動する(図1).この経時的移動 は、地球自転に起因しているとみられる (Yano and Wu, 1997; Yano et al., 2001; 矢野・呉, 2006). 東太平洋 縁における東へ凸の2つの島弧, すなわち Antilles 弧と Scotia 弧も、大陸間隙における東向きのアセノスフェア 流動に起因するという (Alvarez, 2001).

#### 移動論の観点

対照的に、プレートテクトニクスモデルは、ジュラ紀~ 白亜紀前期火成活動帯が時間とともに移動してきたこと を示し (130 ~ 0 Ma: 図 2), PRF に移動的で刹那的本性 をもたらす. これらの火成活動帯は、もともとは、ロー ラシア大陸の西部と南東部,およびゴンドワナ大陸の北



亜紀火成活動帯(図1 と同様にオレンジ色で 表示)の経時的移動. 130Ma  $\sim$  - 150Ma Oプレート片の全地球配 置の上に重ねあわせら れている. - 50~-150Maのプレート片配 置は最近 1Ma の平均的 移動が単純に敷衍された ものである. この地図 は ODSN ウェブサイト (http://www.odsn.de/) で作成され, ODSN の許 可をえて加筆・編図.


東部〜西部におけるいくつかのプレート収束境界で別々 に形成されたものである (図 2-1 〜図 2-5). それらは, 130m.y. にわたる最大 5,500km に達する漂移の末,現 在は大円にそって配置している.

ODSN (Ocean Drilling Stratigraphic Network, http:// www.odsn.de/)が提供するデジタル化プレート運動 (Hay et al., 1999) にしたがえば,今後,ジュラ紀〜白亜紀前 期火成活動帯は,この大円から離散していくことが予測 されている (図 2-6 〜図 2-8).

#### 討 論

移動論の観点は,PRF が次の3つの偶然の産物であるこ とを意味する:①ジュラ紀〜白亜紀前期火成活動帯は, 長大な時間にわたって別々に長距離移動してきた末に, まったく偶然に地球大円に沿って配列した(図3),②こ の配列は,45億年の地球史のなかで知的動物の出現に 遭遇した,そして,③CPMBの個々の収束縁は偶然にも 類似した3つの造構-火成活動ステージをたどった.こ のような偶然的現象が発生する確率は,極度に小さい.

Pratt (2013) は,大陸は漂移せず,極の位置は安定し ていることを明らかにした.世界の海洋底から報告さ れた古期・大陸性岩石 [ancient and continental rocks: ACRs] (Meyerhoff et al., 1992; Pratt, 2000; Vasiliev and Yano, 2007; Vasiliev and Choi, 2008; Vasiliev et al., 2012; Yano et al., 2009a, 2011) は海洋底拡大と矛 盾する.これらは,移動する火成活動帯の偶然的配列 (図 3) が PRF の起源になった確率がほんのわずかであるこ とを意味している.しかしながら, PRF に関するさまざ まな科学研究,教育,そして地震・火山噴火の予知と対 策は,現状では,そのようなわずかな確率に依拠してい る.



図4太平洋形成の造構モデル(矢野・呉,2006;Yano et al., 2001). 造構過程は、地球自転による東向きの造構性流動の影響 下で、太平洋規模のスーパープリューム頭部とリソスフェア上載 荷重の重力不安定、ならびに、海洋化作用によって駆動される.

レートテクトニクス仮説の前提命題をみなおすことが本 質的に重要である. それと同時に,復活するであろう海 洋化仮説 (Beloussov, 1960, 1990) は,そのメカニズム を解明する必要がある. このメカニズムは未解明ながら, 太平洋の発生についての固定論モデルが図4に提案され ている. それは,太平洋の形成を説明する統一的メカニ ズムになる可能性があり,非漂移大陸 (Pratt, 2013) や太 平洋底の ACRs の存在 (図1, Vasiliev et al., 2012) と調 和的である.

#### まとめ

地球科学の革新には,大陸移動や海洋底拡大といったプ

Pratt(2013) が解明したように、きたるべき地球科学の

革新には,新しい概念,より多くの確かなデータ(とくに, 大洋における岩石記録),適切なデータ処理,正確で合 理的な論理が必要である.Storetvedt (1999)は,新概念 の成立には maxi-theory [最大論理]が重要であること を次のように指摘した.すなわち,「地球にかんする真 の学説 (maxi-theory) はいずれも,できれば簡明な物理 学の原理によって結びつけられた1つの論理体系でもっ て,地球の主要な事実(力学,造構運動,古気候,古地 理など)のすべてを即座に説明しなくてはならない」,と. PRFの起源の解明は,そのような学説の創造と破壊的災 害への対策に貢献するだろう.

**謝辞** 私は、コメントの投稿を勧めらて下さった編 集長 Dong Choi 氏に、また、ODSN ウェブサイトで "plate fragments" デジタルマップを作成し、加筆・編 図して公表することをご許可下さった Ocean Drilling Stratigraphic Network [ODSN] に、厚く御礼申し上げる.

#### 文 献

- Alvarez, W., 2001. Eastbound sublithosphere mantle flow through the Caribbean gap and its relevance to the continental undertow hypothesis. Terra Nova, v. 13, p. 333-337.
- Beloussov, V.V., 1960. Tectonic map of the Earth. Geol. Rundshau., v. 50, p. 316-324.
- Beloussov, V.V., 1990. Tectonosphere of the Earth: upper mantle and crust interaction. Tectonophysics, v. 180, p. 139-183.
- Fujita, Y., 1970. Crustal movements around island-arcs in Northwest Pacific since Late Cretaceous. In: Island Arc and Ocean, eds. by M. Hoshino and H. Aoki, Tokyo, Tokai University Press, p. 1-30. \*\*
- Fujita, Y., 1972. On the law of the Green-tuff Movement and geosycline. Pacific Geol., v. 5, p. 89-116, Tsukijishokan, Tokyo.
- Fujita, Y., 1990. Genesis of Japanese Islands (new edition) Circum-Pacific Tectonic Movement. Tokyo, Tsukijishokan, 259p. \*
- Hay, W.W., DeConto, R., Wold, C.N., Wilson, K.M., Voigt, S., Schulz, M., Wold-Rossby, A., Dullo, W.-C., Ronov, A.B., Balukhovsky, A.N. and E. Soeding, 1999. Alternative global Cretaceous paleogeography. In: The Evolution of Cretaceous Ocean/Climate Systems, eds. by Barrera, E. and Johnson, C., Geological Society of America, Special Paper no. 332, p. 1-47.
- Ijiri, S., 1960. Green tuff movement Structural development of the Pacific Ocean. Chikyu Kagaku (Earth Science), no. 50-51, p. 6-8. \*
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L, Martin, B.D., Agocs, W.B. and Meyerhoff. H.A., 1992. Surge tectonics: a new hypothesis of earth dynamics. In: New Concepts in

Global Tectonics, Chatterjee, S. and Hotton, N. III, (eds.), p. 309-409, Texas Tech University Press, Lubbock, TX.

- Pratt, D., 2000. Plate tectonics: a paradigm under threat. Jour. Scientific Exploration, v. 14, p. 307-352.
- Pratt, D., 2013. Palaeomagnetism, plate motion and polar wander. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 1, no. 1, p. 66-152.
- Storetvedt, K.M., 1999. On the significance of theories and my communication with Arthur Meyerhoff. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 12, p. 25-27.
- Vasiliev, B.I., and Choi, D.R., 2008. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 3: Structure and composition of the basement. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 48, p. 23-51.
- Vasiliev, B.I., & Yano, T., 2007. Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 43, p. 3-17.
- Vasiliev B.I., Yano T. and Choi, D.R. (2012). Progress report of the study of ancient continental rocks in the Pacific Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 63, p. 80-81.
- Yano, T., 2009. Mechanism for arc-trench genesis in Northeast Japan—Kinematics and dynamics of Island Arc Movement. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 63, p. 249-265. \*\*
- Yano, T. and Adachi, H., 2006. Green tuff on the Andes. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 60, p. 175-178. \* Yano, T., Choi, D.R., Gavrilov, A.A., Miyagi, S. and Vasiliev, B.I., 2009a. Ancient and continental rocks in the Atlantic Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 53, p. 4-37.
- Yano, T. and Kubota, Y., 2002. Arc-trench genesis in Japan, driven by inclined upwelling of thermal walls. Proceedings of International Symposium on New Concepts in Global Tectonics, p. 137-156, La Junta, Colorado (5-11 May).
- Yano, T., Matsumoto, Y. and Wu, G., 2001. Pacific genesis induced from Phanerozoic reheating of upper mantle. Himalayan Geology, v. 22, p. 51-64.
- Yano, T., Vasiliev, B.I., Choi, D.R., Miyagi, S., Gavrilov, A.A. and Adachi, H., 2011. Continental rocks in the Indian Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 58, p. 9-28.
- Yano, T. and Wu, G., 1997. Late Mesozoic geodynamics relating Circum-Pacific mobile belt and Darwin Rise. Jour. Geol. Soc. Philippines, v. LII, p. 235-271.
- Yano, T. and Wu, G., 2006. A tectonic model for Pacific genesis. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 60, p. 197-211. \*\*
- Yano, T., Yoshitani, A. and Slobodin, S., 2009b. Major relief and volcanic area on East Asian continent. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 63, p. 195-198.\*

(\* : in Japanese, \*\* : in Japanese with English abstract)

## N. Pavlenkova の地球造構命題 :" グローバルテクトニクスの起源としての 地球脱ガス , 自転および膨張 " に関するさらなる議論 FURTHER DISCUSSION OF N. PAVLENKOVA'S GEOTECTONIC PROPOSITION: "THE EARTH'S DEGASSING, ROTATION AND EXPANSION AS SOURCES OF GLOBAL TECTONICS"

# Karsten M. STORETVEDT

Institute of Geophysics, University of Bergen, Norway karsten.storetvedt@gfi.uib.no

## (矢野 孝雄 [訳])

要旨:流体回転仮説の批判に対して,Nina Pavlenkova は彼女の全地球論文を擁護するが,仮説された内部脱ガス/ 運搬システムにいかなる解明も行っていない—いうなれば,ロシア語の著作は西側の読者の大半をより賢くしていない.さらに,NPの回答は,過度に単純化した2,3の巨大規模の地表構造—それらに,彼女がもっとも大きな関心 を寄せている—を正そうとする努力を行っていないばかりか,残りの顕著な造構的事実を基本的に無視している.私 は,彼女の研究に関するいくつかの重大な疑問について議論する.

#### まえがき

この雑誌に掲載された最近の論文(#63, p. 49-71)で, Nina Pavelenkova(NP)は,彼女の地球造構運動の流体-回転モデルについての概略的説明を行い,地球の内部構 造に関するロシア的な新しい見通しがこれまで未解明で あると喧伝される第1級の地球テクトニクス課題を解明 すると主張する.しかし,NCGTの同じ号(#63,95-104) で,筆者は,幅広いデータにもとづいて NP の進化モデ ルを批判し,それは多くの主要な地質学的および造構的 事実を合理的に説明するものではないと議論した.すな わち,地表部の"最終生成物"に対する遠近法的説明は, 惑星内部作用に関するあらゆる描像を検証するための厳 格な条件である,と.彼女の地球造構モデルは,現状で は,"第1級"のもっとも顕著な造構特性を明確に説明す るものでさえなく,さらに,地史を説明できるものでも ないことは明白だ.

NPの回答 (NCGT #64)で,彼女は,私が指摘した見解 のいくつかに賛成し,彼女の独自の主張を和らげる.いっ ぽう,彼女は,提案したモデルの有効性を評価するうえ で決定的に重要な地表の造構的・地質学的事実を無視し つづける.彼女がそのような事実に目をつぶる理由は, ①それらが,この雑誌で私が以前に[別の造構的文脈か ら]取り上げたことがらであるか,あるは,②それらが, 彼女の元々の論文で議論されていなかったかのいずれか である.私をもっとも驚かせたのは,地表の事実を人智 によって説明してしまおうとする,彼女の姿勢である. 驚いたことに,それにもかかわらず,彼女の回答 (NCGT #64)で,彼女は「私のモデルの主要目的は,大洋中央 海嶺や地震の環などの規則的造構系といった全地球的現 象を説明することにある.恐縮ながら,KSはこれらの 現象を重要な現象とは考えていない」と論述する. に本質的に重要である.しかし,究極的疑問は,それら がどのようにして,いつ形成されたのか,そして,形成 後にそれらはどの程度まで修正されたのか,という問題 である.私の2003年の著書で,私はこれらの問題をあ る程度詳しく議論した.NPの全地球的憶測への私の基 本的批判は,彼女が選択した巨大構造に関するうわべだ けの,過度に簡略化された視点であり,さらに,他の地 表造構系がほぼ完全に無視されていることである.たと えば,太平洋の東西のベニオフ帯は,造構的にも,地勢 的にも重要な相違を示す.この相違は,それらの起源と 後生のリソスフェアの変形に関係していることは明らか であり,この重要な観点を彼女は見落としている.つづ いて彼女は,顕著な造構的不規則性と複雑な形成史を議 論することなく,「[太平洋] 縁と地震の環の規則的形状」 について語る.これは良くない.

南極を中心とする不均等な地球膨張という提案が,拡大 海嶺の北方への移動に関連づけられて喧伝される.しか し,高温湧昇物質の地表における造構 - 熱的表現という 大洋中央海嶺についての周知の観点は,(この雑誌の多 くの箇所でしばしば議論されたように)実際の観察では いささかも支持されてこなかったという事実には沈黙し ている.さらに,地球史を通じて全地球的に移動しつづ けてきた褶曲帯の位置・配列,剪断造構作用の複雑性, そして,海洋域から豊富に発見され採取された変成岩と いう物証も,彼女の構想に含まれていないことは明らか である.それゆえ,彼女の論文では,提案された造構モ デルが地表テクトニクスを無視していることに私たちは しばしば直面する.彼女の一層の推敲を予防するために, 次の論文の刊行予告があれば,私は彼女の仮説に関する 何らかの批判的小論をまとめようと思う.

#### 海洋地殻の状態

当然のことながら、彼女が論じた構造は地球進化の研究

現在えられている証拠にもとづくと,比較的厚い大陸

地殻は、かなり薄く、組成的にも変化に富む海洋地殻 とは明白に起源を異にする不活発な地球表層である.こ の事実を、現在流布している考え方と並立させること は困難もしくは不可能である. この伝統的描像とは逆 に、NP はユーラシア内部の剛塊地域から北大西洋北部 までの地殻の層厚変化を比較的スムーズに描きだしてい る (NCGT #64, fig. 1, p. 85). 大洋を横断している浅い 大陸状の Shetland-Faeroes-Iceland-Greenland 海嶺など, 全般的に比較的厚い広域的海洋地殻の存在にもとづい て,また他の証拠にもとづいて,NPは北大西洋北部は かつて大陸であったはずであり、その後、沈降したと結 論する
[彼女はこの沈降を地殻下部の薄化作用に関連づ けていると、私は理解している]. NPは、太平洋西部も 同様の起源をもつとみなしているが、東部は別の表層状 態 "regime" をもつと考えている. そのような場当たり的 行為—同一の大洋盆の中で、1つの説明から他の説明へ の飛躍―は、機能しない仮説であることを露呈するよう なものである、というのが私の意見である.

にもかかわらず,彼女は「下部地殻のエクロジャイト化 と地殻全体の塩基性化は,大陸縁の薄化とそこでの深い



図1この図はインド洋北西部の造構 - 地形図である. 中程度に薄 化した大陸片と見なされる Mascarane および Laccadive-Chagos 海嶺の厚度 20 ~ 30km の大陸地殻を描きだしている. これらの 海嶺は広く剪断された薄い海洋地殻に取り囲まれているが,それ らの構造パターンは大陸性海嶺の断面を示す. ねじれテクトニク スの説明にしたがうと,弧状の大陸性海嶺と深海構造は,慣性力 に駆動された南アルプス時相の古リソスフェアの反時計まわりの ねじれ変形に由来する (Storetevedt, 2003). この図は, Torsvik et al.(2013) にもとづいて, GFZ/Steinberger によって簡略化さ れている. ただし,著者らが提案した人為的に加えられたプレー ト運動は消去されている.

堆積盆地の形成にとってきわめて重要な作用である」と 述べる. 私はこの論述に全面的に賛成するが. なぜ彼女 は多くの大洋深部域における地殻薄化を退けるのであろ うか? 全地球にわたる地殻の厚度変化は1つの同一の 作用に由来すると考えること―地殻厚度の変化が一般に かなりスムーズであると考える限りこの考え方は合理的 であろう―は、納得できることではないだろうか? 現 在のモホ面と超塩基性上部マントルが形成されたのは, 永続的な惑星脱ガス(元素の上方移動)とそれに関連す るグラニュライト質下部地殻のエクロジャイト化 / デ ラミネーション(剥離-脱落)による、と私は主張した (Storetvedt, 2003, Ito and Kennedy, 1970 も参照). こ のように、漸進的な地殻薄化は、Nina Pavlenkova らが 観測したように、不明瞭なモホ面とその深部遺存面のい ずれをも説明しうるモホ面の周期的上方移動をもたらし てきた、考えられる.

地殻の海洋化が進展すると, 表層を平坦化させ, 残存す る被覆層の層厚を均一化させるだろう.しかし,脱ガス による最上部マントルの蛇紋岩化は、地震波速度を減少 させ、地殻であるかのような誤解を容易に招く、深海 掘削データは、白亜紀以前には、海洋盆が微塵も存在し なかったことを確証する. それゆえ, それに関与した地 殻物質の上部マントルへの地球規模での移行は、<br />
当然の ことながら惑星自転を変化させ、リソスフェアのねじ れ変形を引き起こし、アルプス造構革命をもたらした (Storetevdt, 2003). さらに, 中央海嶺に沿う引き延ばし によって地殻が異常に薄いか欠如しているということは 重要な観測事実であり、地球の表層は化学的に不安定で あり,長期間にわたって不安定であったことを示唆する (Storetevdt, 2003; Storetevdt and Longhinos, 2011 参 照). Nina Pavlenkovaは、彼女のモデルに矛盾すること が明らかな地殻欠如という事例を検討していない.

これらの観察を額面どおりにうけいれれると,世界中で 大きく変化する地殻厚度は,地殻下部における(マント ル脱ガス作用による)薄化作用の広域的変化の結果であ ることになる.海洋中央のリフト帯に沿う多くの場所 で,地殻が完全に除去されているようにみえる.レンチ テクトニクスによると,地殻下部の薄化度に影響を与え る主な原因は,リソスフェアを切断する断層帯の広域的 分布である.北大西洋における最近の地殻厚度異常に関 する調査(Wang et al., 2011)によって,異常に薄い地殻 (<4km)が顕著な断裂帯に沿ってみられることが解明さ れた.それとは別に,ブラジルの南大西洋縁における研 究(Unternehr et al., 2010)で見いだされたのは,予想さ れた顕著な断層規制縁辺堆積盆地と鮮明な海洋 - 大陸境 界ではなく,海洋性物質とも大陸性物質ともいずれの特 性も示さない漸移型地殻に適合するデータであった.

大陸縁を横切る漸移的な地殻変化は,元々の汎地球的先 カンブリア紀地殻の漸次的崩壊という考え方に調和的で ある.進化する大陸縁は,おそらくは基本的深部断裂帯 に沿って形成され,それらに沿って,揮発性物質に由 来する地殻下部のエクロジャイト化作用が著しく効果的 に作用したと考えられる (Storetvedt, 2003; Storetvedt and Longhinos, 2012). それゆえ,断層規制大陸縁沿 いでは,重力によって地殻が上部マントル中へきわめ て活発に沈降したために,そこには,異様に薄い地殻 と異常に深い堆積盆地の組み合わせ (http://www.ngdc. noaa.gov/mgg/image/sedthick9.jpg を参照)と正の重力 異常がもたらされた (議論と文献は, Storetvedt, 2003; Storetvedt and Longhinos, 2011, 2012 を参照).

多くの深部断裂大陸縁に密接に関係しているのは、泥火 山にともなうガスハイドレートの集中である. 深部地殻/ 上部マントルの物理条件において,水を含む流体は超臨 界状態になり、さまざまな特性を示すが、固体岩石を岩 石泥に変化させる能力をもつことが注目される.結晶質 岩石に浸透するマントル由来気体に関する多くの研究 は、アルカン炭化水素(おもにメタン)、水素硫黄化合物、 水素および水蒸気が集中することを示している. 流体に よる地殻下部のエクロジャイト化とそれに伴う重力駆動 デラミネーションに加えて, 主要断層帯に沿う過度の地 殻薄化をひき起す重要な因子として,<br />
超臨界流体の分解 能力が重要視される. Gakkei 海嶺の中央リフト盆地沿い の長さ300kmの区間に沿って、地殻が完全に失われて いるようにみえる (議論は, Storetvedt and Longhinos, 2011参照).世界の海洋における他の領域においても, 異常に薄い地殻がしばしば報告されてきた(たとえば、 Barth and Mutter, 1996 ; Hooft et al., 2000 ; Singh et al., 2011). しかし、少なくともこれらの研究事例のいく つかの場合には、地殻はまったく残存せず、より低密度 の蛇紋岩化した上部マントルが地殻片として間違って解 釈されている可能性がある.

Rudithch (1990) は、大洋深部における浅海性堆積物の 空間的分布の研究にもとづいて、海洋底の形成に関する 海洋底拡大メカニズムを論破し,中生代中~後期以降, かつての大陸地殻の大規模な沈降の結果として海洋凹地 が形成されたことを議論した. 大西洋, インド洋および 太平洋の多数の深海掘削コアにもとづいて、彼はさら に,最初は個々別々であった盆地がつながって世界の海 洋が形成されたことを論じた. Rudithch の結論には、い かさかの疑問も存在しない. 中生代後期以降の加速され た地殻下部の薄化とそれに関連する塩基性化作用に呼応 して、アイソスタシー沈降が増大して、初源的な全地球 的大陸地殻の多くの領域がしだいに深化し、深化が側方 へ拡大して,最終的に深い海洋が形成された.世界の海 洋の大陸地殻は、地殻下部の著しい薄化作用と化学的改 変を被った.しかし、大西洋、インド洋および太平洋の 中央海嶺で採取された岩石の証拠は、大陸性動力変成岩 の残留物質が依然として大量に残存していることを示す (たとえば, Kashintsev and Frikh-khar, 1978; Yano et al., 2009, 2011). したがって,海洋表層部の火山岩被覆 層の下位には、もともとの先カンブリア紀地殻の残留物 が広く存在していると結論するのが合理的であろう. そ のような発達史にしたがえば、報告が増大している海洋

玄武岩のいわゆる Dupal 地球化学異常は,たちどころに 説明することができる.

インド洋の表層玄武岩の下に推定される先カンブリア紀 大陸基盤の1例が, 最近, Torsvik et al. (2013) によっ て発表された. これらの研究者たちは, Mauritius 島に 露出する若い溶岩流に挟まれた玄武岩質砂資料からジル コン外来結晶の U-Pb 年代測定を実施した.その結果,2 つの原生代年代群-約20億年と6.6~8.4億年-が得 られた. 彼らは, これらのジルコンは Mauritius 島の下 に存在するかつての大陸リソスフェア片から同化を受け たもので,新期の火山活動によって地表へ運搬された, と提案する. この提案をさらに検証するために, Torsvik et al. は、インド洋北西部の広範囲にわたる重力イン バージョンから地殻厚度を計算した. これらの結果は、 Seychelle 諸島の地震探査で見積もられたモホ面深度―速 度構造にもとづく約32kmの地殻厚度が大陸性であると 解釈された―と比較された.彼らの重力インバージョン は, Mascarene 海嶺の全体—Seychelle 諸島~ Mauritius 島―にわたって厚度 20~30kmの連続的な地殻が存在 するとの結論に達した.

この新しい結果にもとづいて, Torsvik et al. は, Mascarane 海嶺は先カンブリア紀の大陸地殻であると 結論した.図1は、大陸性の Mascarane 海嶺および Laccadive-Chagos 海嶺の地形 - 構造特性を示す. 上述の 議論から,かつて現在のインド洋を横切って存在してい た高く隆起した大陸地殻が、地殻薄化によって、白亜紀 後期~古第三紀までには、現在のモザイク状の深海盆と 中程度まで低下した大陸性海嶺に深化したと推論され る. これらの海嶺の全体的な弧状の形状は、私のレンチ テクトニクスでは、慣性力に駆動されたリソスフェアの ねじれの結果とみなされる. インド洋では、深海盆をと りまく地殻と同様に、海嶺もアルプス期の反時計回りの ねじれ変形を被ったであろう.この変形によって,南側 の古リソスフェアが、地中海~中東に位置していた当時 の古赤道に向かって移動した (Storetvedt and Longhinos, 2011; Storetevdet and Bouzari, 2003 と比較せよ).

## 南大西洋の地球物理学的横断面

Nina Pavlenkova は,彼女の回答のなかで,アンゴラ-ブラジル間のロシアの地球物理学的断面に注目した.図 2に,その図面を再録する.彼女は,地震波速度見積も りの分散を無視し,地殻厚度見積もりの精度-とくに中 央部において-を明らかに過大評価している.図2か ら私が注意深く導いた結論は,上部マントルの低速度層 (asthenolites)がこの海洋の全幅にわたって広がっている ように見えるということだけである.NPの地震波速度 と岩石組成に関する無条件的論考は,上部マントルの物 理学的および組成的条件がともに著しく仮定的であるた めに,理解困難である.Kola 半島とドイツ南部における 大陸深層掘削は多くの予期しない結果-たとえば,すべ ての伝統的考えに反して,深部ほど断裂密度が(速度の



影響によって[velocity-affecting]) 顕著に増大すること— をもたらしたことを,ここで述べておいたほうがよいだ ろう.

横断断層沿いと同様に,大西洋中央海嶺に沿って行われ た岩石採取によって,蛇紋岩化した上部マントルかん らん岩, 圧砕蛇紋岩, 角閃岩, および変はんれい岩が, 海洋底基盤から大量に採集された(たとえば, Bonatti, 1976; Bonatti and Honnorez, 1976; Cannat, 1993; Robinson et al., 1989 ; Gracia et al., 2000 ; Beard et al., 2009;他多数).時には、4km以上の厚さの蛇紋岩に富 む地質断面から試料が採取された (Bonatti, 1978). その 結果として生じた疑問は、南大西洋中央部の主要な構成 岩石がほんとうに玄武岩であるのかどうか?, 地殻と呼 びうるものがほんとうに存在するのか否か?,という問 題である.上述したように、大陸残留物質と混在する蛇 紋岩化した上部マントル物質が海洋中央部に多量に存在 することは、もともとの大陸地殻が上部マントルの作用 によって大規模に除去されたことを意味する. そのため に変質した上部マントル最上部の一部は地殻型の地震波 速度を示し、それによって見積もられたこれまでの地殻 厚度はまったくの幻想にすぎない、もともとの厚さの大 陸地殻が今日の海洋構造に変化することは、深部断裂密 度に強く支配されている.海洋化メカニズムによれば, 大陸縁と大洋中央海嶺の間に根本的相違はないように思 われる.NPは「低速度層は大洋中央海嶺の下でのみ観 測される」と述べているが、この記述は南大西洋の横断 面に調和しない(図2参照).「大陸地殻は地球の全表面 を覆ったことがない」との NP の提案はまったくの空理 空論であり,実際の証拠に支持されてはない.

レンチテクトニクスでは、大洋中央海嶺に沿う幅広い地 帯が剪断帯であり、それに沿って、帯磁率差モデル[参 考のために、また、総括的考察については Storetvedet (2010)を参照]に示される海洋底の線状磁気システムが 発達する.その筋書きによると、幅広い中央海嶺帯は、 広範囲にわたるリソスフェアの斜め引張剪断を被ってい 図 2 こ の 図 は Nina Pavlenkova et al. (1993) による南大西洋の地震探査断面図 である.数値は地震波速度(km/s)を, 上部マントルの灰色帯は低速度層を示す. 上図は,重力異常(g)と熱流量(HF)を それぞれ示す.中央海嶺の境界部を横断し てもかなり一定の熱流量と比較的大きな負 の重力異常がみられることに注意せよ.提 示された速度構造からは,低速度層が海洋 の全幅にわたってひろがっていて,深度 30km付近にマントルアセノライトがみら れることがわかる(ブラジルおよびアンゴ ラ海盆の下の上部マントルにおけるセノラ イトに7.7 ~ 7.9km/sの値が与えられて いることに注意せよ).

て (Storetvedt, 2003), 含水流体の上昇路になっている. このような場では、地殻物質と上部マントルかんらん岩 の蛇紋岩化作用にともなって, 流体による地殻下部のエ クロジャイト化とそれに関連するデラミネーションが発 生する. 大西洋中央海嶺で採取された変形した蛇紋岩に 関する最近の研究で, Ribeiro da Costa et al. (2008) は, **強力な剪断応力によって溶解**-再結晶作用が引き起こさ れやすいという. 慣性力に駆動されたレンチテクトニク スでは,そのような状況が海洋中央海嶺に沿って発生し やすい. これらの海嶺では火山活動はごくまれにしか 発生せず (かなり平坦な熱流量構造を参照・比較せよ), 南大西洋海嶺に沿う顕著な低重力異常(図2の上図)は, 過度の断裂作用、含水流体の集中的放出、および、関連 する蛇紋岩化作用をたちどころに説明する. こうして, 超塩基性最上部マントルのかんらん石と輝石は反応し て浮揚性蛇紋岩を形成する (Wenner and Taylor, 1971). こうして、上部マントル蛇紋岩が、もともとの大陸地殻 を徐々に置換していくのであろう.

成層マントルと地殻デラミネーションを引き起こす作用 に関して、Anderson (2005)は、ある環境では、組成よっ ては、グラニュライト質下部地殻が高密度のエクロジャ イトに転移して剥離・脱落し、その後は浮力の中立深度 まで沈降し、そこではエクロジャイトが低速度層を形成 するだろう、と論じた.さらに、エクロジャイトの融点 は、上部マントルかんらん岩よりもかなり低く、それは 最終的には加熱され、トモグラフィ画像では熱プリュー ムと間違われてしまう、という.いっぽう、グラニュ ライト / エクロジャイト転移の自然発生にもとづいて、 Leech (2001)は、変成作用でえられる含水流体の量に よって一発生する密度変化を調整することによって一地 殻の薄化が起きていると結論づけた.

Leech モデルは,エクロジャイト化,上方へ進行する地 殻デラミネーション,および,最終的な地殻の造構的崩 壊 [私見では,このメカニズムは地殻薄化全般を説明す るように思われる]を引き起こすには温度よりも流体が 重要であるとする. エクロジャイト化作用のもう1つの 特徴は, 断裂や剪断帯に沿って進行することであり, 同 化 metasomatic 作用のフロントでは, グラニュライト相 からエクロジャイト相へ急激に転移する (Austrheim and Griffin, 1985). 古典的な大陸縁は顕著な断裂帯を伴っ ていて, しばしば, 著しく深い堆積盆地に覆われたたい へん薄い結晶質地殻がこれらの地帯を特徴づける. 十分 な含水流体があればエクロジャイト化反応は急速に進行 し, 岩石の容量を 10 ~ 15% 減少させる (Austrheim et al., 1996). 容積減少によって断裂間隔が増すにつれて, 流体侵入を促進し, より加速された変成反応が維持され るだろう.

## 南極および, 喧伝された南半球膨張

彼女の回答 (NCGT #64, p. 91) で, Nina Pavlenkova は「造 構圏形成の3つの基本ステージが,私の概念で識別され る.始生代 - 原生代の古地磁気データから判断すると, 南半球にはいくつかの大陸が形成されていた.南半球に おける厚い大陸リソスフェアの形成は,地球半球に不均 衡をもたらした.その結果,古生代に第2ステージが始 まった.この変位は,地球の質量中心に新しい不均衡を もたらし,第3ステージの造構圏の発達史をひきおここ した.それは,南極を中心に対称であった.流体回転モ デルは,このようにして,「南半球のより大きな膨張の 原因と,南極に対して対称的な海洋中央海嶺系の形成を 説明する」と述べている.

私は,彼女の無遠慮な次の記述に当惑する.すなわち, 先カンブリア紀前期には大陸が、南極を中心にして地球 全体に不規則に分布していた、というものである(彼女 は、陸塊は活力のない地殻単元であるという 19 世紀の 考え方を墨守しているようだ).地球の残りの部分は, 海洋域という低位にあるもう1つの地球表面 "regime(状 態)"に広く覆われていた、と喧伝する.しかし、彼女は 古地磁に関する文献を1つも引用していない. ひじょう に古い岩石の化石磁気形成についての多くの実験的およ び磁気的複雑性に,彼女は気づいていないのだろう.先 カンブリア紀前期の岩石は、重複した磁気記録をもたら す多重造構事件を経験している. ここで, 側方漂移とプ レートテクトニクスが 1950 年代後半と 1960 年代に生 まれたときに、思弁的論理に依拠した古地磁気測定結果 の取り扱いが始まるという"帰結"がすでに準備されて いたことを述べておくのが適切であろう.ますます流行 する大陸漂移という考え方を確証したと喧伝する研究が 採用され、頻繁に引用されるいっぽう、信仰モデルに適 合しないデータは最初から無視されたのである.

書籍や論文で,私はコア/マントル境界の隆起部と地球 表層の世界的海洋分布とが密接に関係していて,外核か らの主要脱ガス域の外側延長が表層部の海洋化に直接 かかわっていること,すなわち,かつての厚い汎地球的 地殻が,薄い地殻の海洋域に囲まれたさまざまな大きさ の残存大陸モザイクに分割されたことを指摘してきた. この案は、NPの力学仮説に大きく矛盾する.彼女の論 文を支持するために,彼女はロシア語論文(Syvorotkin, 2002)を引用するが,その研究の詳細にはまったくふれ ていない.しかし,彼女は「地球脱ガスは今日ではオゾ ン層構造から研究されている.それは,水素流動がオゾ ン層を破壊しているからである」と述べながら,その記 述にいかなる科学的検証も行っていない.にもかかわら ず彼女は「主要な脱ガス域は,現在では(おそらく過去 においても)南半球である」という.こうして彼女は, 陸塊がもともとは南極の周辺に集まっていたとの自らの 考え,すなわち,彼女の原点にある「脱ガスによって形 成された大陸 "regime[状態]"」を支援しようと試みる.

おそらく窒素酸化物が存在する環境では、酸化炭素 や、不完全酸化のメタンや他の炭化水素の光化学酸化 は,広域的にも、また、全地球的規模でも、対流圏オゾ ンの主要な供給源であると考えられている(たとえば、 Steinbrecht et al., 2003; Varotos et al., 2005). しかし, 最近数10年にわたって南極上空で観測されてきたオゾ ンの顕著な減少は、OH. NO および Cl のような多くの不 活性触媒に起因する可能性がある. 南極オゾンホールは 季節変化を示し、とくに南極の春 (9 月~12 月) に顕著 になる.この時期には、南極起源の大気 container [貯蔵庫] の周囲を循環する強い西風が吹き始める. この大気渦の 内部では、下部成層圏の広域的オゾン量が50%以上も 減少する (Sparling, 2001). 大気と気候の効果が, おそ らくはオゾン破壊作用に重要な役割を果たしていること は明らかである.しかしながら、人為的原因―おもに、 含塩素起源気体 (塩化炭素)—が,これまでは格段の関心 をあつめてきた. 人間活動は不活性触媒を確実に増大さ せているが、大気成分のなかでもっとも活動的物質は現 在のところ自然源物質である.次なる疑問は,南極のリ ソスフェアが、南極大陸上空のオゾンホールをもたらす 化学物質をきわめて長期的にわたって放出してきたかど うか、という問題である.

古地磁気, 古気候および造構運動の複合的考察にもとづ くと、南極と周辺海域のリソスフェアは、アルプス時相 の極相期以降、慣性力に駆動された顕著な時計まわり回 転を被ってきた (Storetvedt, 2003, 2010). 衛星測地によ る地点速度は、この運動が現在も進行中であることを示 す. この運動に対応して、影響されたリソスフェアの古 期対角断裂系が活性化され、強化されてきたであろう. こうして、マントルガスはいずれも上方流動が容易に なった.結晶質地殻を通じて水素、メタン、二酸化炭素、 水および塩化水素を含む天然気体が流出することが、こ の文献に報告されている. それゆえに、南極と周辺域に おけるアルプス期以降の造構場では、現在の南極域の地 殻を通じて反応性化学物質が放出されてきたことがわか る. したがって、レンチテクトニクスの視点からみると、 少なくともアルプス変動極相期以降の1億年間にわたっ て、南極は自然オゾンにずっと枯渇してきた地域であっ たわけである.

#### 文 献

- Anderson, D.L., 2005. Eclogite in the mantle; the layered mantle revisited. www.MantlePlumes.org, 9p.
- Austrheim, H. and Griffin, W.L., 1985. Shear deformation and eclogite formation within granulite-facies anorthosites of the Bergen Arcs, western Norway. Chem. Geol., v. 50, p. 267-281.
- Austrheim, H. et al., 1996. Garnets recording deep crustal earthquakes. Earth Planet. Sci. Lett., v. 139, p. 223-238.
- Barth, G.A. and Mutter, J.C., 1996. Variability in oceanic crustal thickness and structure: Multichannel seismic reflection results from the northern East Pacific Rise. Jour. Geophys. Res., v. 101, no. B8, p. 17.951-17.975.
- Beard, S.B. et al., 2009. Onset and Progression of Serpentinization and Magnetite Formation in Olivin-rich Troctolite from IODP Hole U1309D. Jour. Petrology, v. 50, p. 387-403.
- Bonatti, E., 1976. Serpentinite protrusion in the oceanic crust. Earth Planet. Sci. Lett., v. 32, p. 107-113.
- Bonatti, E., E., 1978. Vertical tectonism in oceanic fracture zones. Earth Planet. Sci. Lett., v. 37, p. 369-379.
- Bonatti. E. and Honnorez, J., 1976. Sections of the earth's crust in the equatorial Atlantic. Jour. Geophys. Res., v. 81, p. 4104-4116.
- Cannat, M., 1993. Emplacement of mantle rocks in the seafloor at mid-ocean ridges. Jour. Geophys. Res., v. 98, p. 4163-4172.
- Gràcia, E. et al., 2000. Non-transform offsets along the Mid-Atlantic Ridge south of the Azores (38°N-34°N: Ultramafic

exposures and hosting of hydrothermal vents). Earth Planet. Sci. Lett., v. 177, p. 89-103.

- Hooft, E.E.E., 2000. Crustal thickness and structure along three contrasting spreading segments of the Mid-Atlantic Ridge, 33.5 °-35 °N. Jour. Geophys. Res., v. 105, p. 8205-8226.
- Kashintsev, G.L. and Frikh-khar, D., 1978. Structure of the oceanic crust in the Eltanin Fault Zone (Pacific Ocean) based on petrographic data. Oceanology, v. 18, p. 39-42.
- Leech, M.L., 2001. Arrested orogenic development: eclogitization, delamination, and tectonic collapse. Earth Planet. Sci- Lett., v. 185, p. 149-159.
- Ribeiro da Costa, I. et al., 2008. Antigorite in deformed serpentinites from the Mid-Atlantic Ridge. Eur. Jour. Mineral., v. 20, p. 563-572.
- Robinson, P.T. et al., 1989. Initial Reports ODP Leg 118. College Station, TX, Ocean Drilling Program.
- Ruditch, E.M., 1990. The world ocean without spreading. In: Critical Aspects of Plate Tectonic Theory I, Theophrastus Publ, Athens (Greece), p. 343-396.
- Singh, S.C. et al., 2011. Extremely thin crust in the Indian Ocean possibly resulting from Plume-Ridge Interaction.
- Geophys. Jour. Int., v. 184, p. 29-42, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04823.x
- Sparling, B., 2001. Antarctic Ozone Hole, http://www.nas.nasa. gov/About/Education/Ozone/antarctic.html Steinbrecht, W. et al., 2003. Global distribution of total ozone — nd lower stratospheric temperature variations. Atmos. Chem. Phys., v. 3, p. 1421-1438, www.atmos-chem-phys.org/acp/3/1421/
- Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics, Fagbokforlaget, Bergen, 397p.

# 出版物 **PUBLICATIONS**

## 全地球の気候状況報告 (GCSR) GLOBAL CLIMATE STATUS REPORT (GCSR)

Edition 1-2013, March 2013. Published by Space and Science Research Corporation (SSRC), Orlando, Florida. www.spaceandscience.net. U\$12.95. 51p.

(窪田 安打 [ 訳 ])

## 目次

- 1. 編集者の就任挨拶
- 2. 全地球の気候状況報告 まえがき
- 3. 気候概要の評価
- 特定の気候パラメータ評価
   a. 地球大気の気温の状況及び動向
  - b. 世界の海洋温度の状況と傾向
  - c. 極温度,氷河と海氷範囲
  - d. 海面および海面変化速度
  - e. 太陽活動の状況

- 5. 将来の気候変化予測
- 6. 破滅的な地球物理学のイベント上の特記事項 (CGE)
- 7.S pace and Science Research 社と報告編集者

下記は、GCSR のエディターからの特別の就任挨拶です.

6年前に,私は「わかった!」と叫んだ瞬間,とても幸 運であった.突然の知識の滝に出会うようなことは,人 生でめったにない出来事の一つであり,難解で,過去に 知られていない,とても重要な課題の理解に繋がる. 私にとって,これは 2007 年 4 月 26 日午後 2 時に発生 した.私は太陽物理学研究に関する本の執筆に数週間を 費やしていた.本は,気候変動とは何の関係もなかった. しかしながら,ある日,私は太陽に固有の二百年サイク ルが,長い地球温暖期から,深く危険な寒冷期に逆戻り することを認識した.新しい知見の発見は,私の人生の 方向を変えた.これにより,Space and Science Research 社 (SSRC)を創設し,米国の人々や我々のリーダーに対 して,寒冷化に向かう危険な気候変動時代が開始したこ とを警告することになった.この探求は,国連,元副大 統領のアル・ゴア前副大統領,強力な環境団体,特別な 利害関係をもつ主流メディア,およびバラク・オバマ大 統領に信頼されていることとは全く対照的である.

2007 年初頭に、公共性の高い方法で私の調査研究結果 の発表を行った後,私は予想通り,政治関係者,メディア, および科学界のほぼすべての分野から、批判、嘲笑、中 傷, または明白な無視を受けた. コミュニティ外の無名 の研究者が既存の定説に反対するときに,科学の歴史上, このような反応は良く知られている. 私の研究に関する プレスリリースは最悪のタイミングであった. 2007~ 2008年の間に、米国の大統領選候補者の両者は、期待 されるすべての票を獲得しようとしていた. したがっ て、彼ら双方が言っていた地球温暖化は、修正するすべ き本物の脅威であった. その期間は, 気候変動のヒステ リー的熱狂の頂点だった. Al Gore と国連の Dr. Rajendra Pachauriは,人為的な地球温暖化や気候変動を人々が "自 覚"するための彼らの努力に対してノーベル賞を受賞し た. 人為ではでなく,太陽による気候変動であり,地球 温暖化が終了していること,我々は記録的寒さの数十年 間を迎えようとしていることを述べた私のメッセージ は、かつての多くの友人を含めて、誰も聞きたくない歓 迎されない情報であった.

それ以来,幸いにも,多くは変わった.今,他の研究 者も私が言ったことを公式に発言している.太陽につ いて同じ発見ことをした過去の研究者の仕事は、抑制 または隠蔽されていたが、最終的に日の目を見ている. 連邦政府の気候変動問題に対する不信感により、人為 的地球温暖化について一般国民の懐疑的見方が増えて いる. "Climategate" 事件は、気候変動に関する国連レ ポートの背後にある主流科学者グループが改ざんや、操 作、実際のデータの隠蔽などを行ったことを示してい る. そして,気候の真実のために戦って,気候変動の詐 欺を暴露する、勇敢な騎士も現れている.たとえば、上 院議員の James Inhofe (R-OK), Marc Morano, Dr. Roy Spencer, Dr. Roger Pielke Jr., Dr. John Christy, Joseph D' Aleo, John Coleman, Alan Caruba, Tim Ball, ハー トランド研究所,および他の多くの方であり,彼らは '温 暖化論者 warmists' への継続的な戦いを戦っている.し かしながら、私が属する新しいグループは別の議論を 行っている. 人為的気候変化についての賛成・反対に関 するものではなく、新しい気候の現実についてである. 我々の議論は、太陽が原因となる新しい寒冷気候であり、 「太陽の冬眠」を主張する. そして,それへの緊急な準備 の必要性である.また、ほぼ未知数なことは、この記録 的寒冷期に一般的である記録的な地震と火山に関するリ スクの増加である.私は,人為的気候変動との戦いを行っ ている同盟国に対して,その戦いを一斉に止めて,代わっ て、はるかに重要で急速に接近している寒冷気候に力を 集中させようとさえした. 私たちのグループは主要な研 究者, 支持者を含む. David Archibald(オーストラリア), Dr. H. Abdussamatov(ロシア), Dr. Boris Komitov(ブル ガリア), Dr. Ole Humlum(ノルウェイ), Dr. Dong Choi (オーストラリア), Dr. Fumio Tsunoda (日本), Dr. Masashi Hayakawa (日本), Dr. Giovanni Gregori (イタ リア), Dr. N.Venktanathan(インド), Dr. Arun Bapat (イ ンド), Valentino Straser (イタリア), Bruce Leybourne (アメリカ), Dr. Zanghao Shou (アメリカ), Dr. Robert Williscroft (アメリカ), Jason Williscroft (アメリカ), Robert Walker (アメリカ,科学者代表委員会の前議長), Stephen Foley (アメリカ), Dr. Rich Swier (アメリカ), Carole Hemingway (アメリカ) および Robert Felix (ア メリカ,『温暖化ではなく寒冷化である』の著者)等であ る.

更に重要なことには,2011年に,NASA,国立太陽観測 所および US 空軍は,私および少数の他のものが予言し たように「太陽の冬眠」あるいは「極小期」に太陽が入 ると発表した.地球温暖化が終了しており,地球を次の 寒冷気候に導いているのは,この太陽の変化である.残 念ながら,太陽のこの歴史的で不吉な変化は,まだそれ が我々生命全体にどんな影響を引き起こすか,一面また は夕方のニュースに間に合っていない.

この新しい寒冷気候時代があらゆる過去の世界大戦より も多くの死と破壊をもたらすかもしれないが,それはま だ伏せられていて,主要メディアに無視され,誤解され, 我々のリーダーからは退けられている.しかし,他の積 極的な変化も起きている.人が次の『寒冷気候時代』に 関する情報を捜すとき,SSRCと私の仕事はインターネッ ト上で引合いに出されている.重要なことに,私の大規 模気候変動の予測はそれらのすべてが起こったか,起こ りつつある.今日さえまだ NASA, NOAA と国連気候変 動に関する政府間パネル(国連-IPCC)による予測が起き ていないことは,私たちの気候予報が成功であることの 証拠である.しかしながら,太陽説を信頼しているのは, 私だけではない.気候変動予測に,温室効果ガス論を想 定する人々は,一貫して間違っている.太陽を考える人々 は,一貫して正しいのである.

気候変動の真実を探求するための着実な進歩にもかかわ らず,人々の多くは,まだ人類が気候変動を制御し,地 球温暖化が未だに温暖化であると信じている.彼らは, 新たに始まった寒冷気候を,まったく知らない.さらに, たとえ彼らがそれがもはや存在しないということを知っ たとしても,米国政府と国連は地球温暖化を止めるとい う見せかけの下で我々の生活へのより多くの政府規制を 再度促進するだろう.政府機関は、欠陥のある温室効果 ガスの理論と、誤解を招く虚偽の気候レポートを発行し 続けている.そして、政治制度は州および連邦レベルの 両方へもたらされている.それは、気候の事実を我々に 告げる政府をもはや信じることができないと、我々自身 が気がつく状況に至っている.しかし、それは私たち多 くの人々の状況である.私達はまだ真実を告げられてい ない!彼らは、新しい寒冷の時代の準備ができていない!

来るべき気候変動という事実の広報ができていないの で,Global Climate Status Report(GCSR)とその仲間のま とめ役をつくることを,SSRCで知り合った優秀な科学 者とスタッフの勇敢な支持により,私は決断した.この 定期的に刊行されるレポートは,地球の気候状況をあり のままを伝える唯一の情報源として提供されるものであ る.それは科学的な研究論文,国際科学機関や私たちの 惑星の毎日の監視だけでなく,SSRCにおける推論的意 見や研究,また,衛星観測された地球の気候に関する最 新の正確なデータや何百もの査読された科学的研究を統 合したレポートである.

続版を続けている GCSR の初期のレポートには,明瞭な 特徴があった.人為的温室効果ガス排出が気候変動へ影 響したことに関する分析が無かった.過去 25 年にわた り,人為的気候変動が喧伝されたため,これが衝撃的な 声明になったのは当然である.国連や米国政府だけでな く,SSRC や,他の多くの科学者や世界中の研究者が関 係する気候変動の報告書によると,気候変動測定は唯一 ではない.この結論に関する直接的な理論的根拠は,不 運にも,指導者,メディア,情報をそれら2つのグルー プに依存するほとんどの人々は受け入れられなかった.

本質的には,惑星上の CO<sub>2</sub>の人為的生産は,考慮に値 しないほどきわめて小さい.それは地球上の CO<sub>2</sub>の自 然生産よりもずっと小さく,およそ 7,000 年の間,人類 の産業活動によらず増加してきた.このより大きな自然 の CO<sub>2</sub> の生産は、人が制御したものではなく、どんなに 多くの気候規則が出されようとも、それらは、まったく 関与しない. さらに、数十年の努力と数 10 億ドルが国 連や米国と他国の政府により、人類の CO<sub>2</sub> への関与とい う 38 以上もの全地球的気候モデルの試行に費やされた. 我々は、そのために何を示さなければならないか? 機 能しない 38 かそれ以上のグローバルな気候モデル! 彼らは一度も過去または現在の気候変動を予測すること ができなかった. 全く機能しない. たしかに、人類がつ くる CO<sub>2</sub> は大気の温暖化に関与する. しかし、大規模な 気候変動予測を目的とするときには、非常に小さい影響 しかもたない.

もう一つ質問しなければならない.「人為的気候変化の ために浪費された何十回もの数10億ドルが,他のより 価値のある目的に割り当てることができたなら、人類は どんな利益を得ただろうか. 大勢の人が毎年苦しみ, 死 んでいるガン患者を治すことが出来たかもしれない? 我々は最初の月面コロニーへの片道を建設していたかも しれない? 原子力施設で生産される膨大な量の放射性 廃棄物を太陽へ放出することで、大きな国家問題を解決 し始めることができたかもしれない? それは、もちろ ん最終的な核廃棄物処理サイトである. これらは,無理 なことであろうか? そうではない. 私は, 才能のある Dr. Henry Kolmと一緒に, 20年前, ちょうどそのプロジェ クトのためにロケットシステムの概略を設計した.市民 の任意のグループに対して、人類の熱意を満足させるこ とへお金を使うことがよりよいか,それとも,地球温暖 化のエゴと言うべきか. 更なる指摘は,今ある気候変動 だけでなく、次なる寒冷気候への研究に基金をふりむけ て、より価値のある、適切な気候研究をおこなうことが できないものだろうか?

> John Casey President Space and Science Research Corporation

## 傾動, グローバルテクトニクスと地震予知 TILTS, GLOBAL TECTONICS AND EARTHQUAKE PREDICTION

著者: Pavel Kalenda, Libor Neumann, et al..

(窪田 安打 [ 訳 ])

- 1. はじめに
- 2. 地震予知の可能性 / 予知できない可能性 (Kalenda)
- 3. 外部応力の概念 (Neumann, Kalenda, Skalský, Kopf, Wandrol)
- 4. 地震実験と効果試験 (Kalenda, Málek, Skalský, Ostřihanský)
- 5. 鉛直方向の静的振り子 (Neumann)
- 6. 振り子計測結果 傾斜 (Kalenda, Neumann)

- 7. 振り子計測の解釈 (Kalenda, Neumann)
- 8. 他の方法による振り子計測の比較 (Kalenda)
- 9. プレート運動のメカニズム (Kalenda, Neumann, Procházka, Ostřihanský)
- 10. 地震予知 (Kalenda, Neumann)

247 ページ, 124 図 推奨価格:33 € / 45 USD + pp 専門書の注文の連絡先; p.kalenda@volny.cz. プラハでの専門書購入連絡先; ceskageologie@volny.cz.

主な結果:鉛直静的振り子による地殻構造上の応力測定 は,たとえ中央ヨーロッパだけで実行されただけでも, 世界中で発生した大部分の強い地震(M≥7)の前(通常, 数週間前)に異常がみられた.異常な応力の発生領域は, 単独又は複合の振り子の測定によって位置を把握するこ とができ,予知の可能性をもたらす.それは,リソスフェ アのプレートの運動が,地球表面の太陽照射の支配的な 役割を持つ外部応力によって引き起こされており,これ はマントル対流を証明しない.

レビュー:この本の著者は、P. Kalenda, L. Neumann, J. Málek, L. Skalský, L. Ostřihanský, T. Kopf, V. Procházka と私である. Wandrol は、地震予測のような 最大の難しい問題に対する非常に革新的な貢献/解決を 示した.最新の教科書や研究論文とは異なり、著者の出 発点は、現在のプレートテクトニクスの概念ではない. これは、間違った概念からの解放をすすめ、地球の自転、 地球潮汐、太陽活動などの忘れられ、不当に無視されて きた力を発見するようにさせた.提案された解釈は、チェ コ共和国とスロバキア共和国の複数の地下の振り子測定 地で得られた非常に革新的な経験的データセットによっ て立証された.

そのような研究が過去50年間行なわれていないので,

あらゆる代替の視点によるメカニズムをもたらす概念が 大変望ましい.現在のプレートテクトニクス概念では, 成功裏に地震や揺れを予測することは不可能である.し かし,地球の核の性質と機能,マントルと地殻の運動に 対する貢献の程度は,未だに大きな未知の領域である.

地震と地震活動予測を扱うことに興味をもつ教員,学生, 科学者に,私は,この重要な本をお勧めする.

Dr. Petr Rajlich, CSc.



z - z - Z**NEWS** (矢野孝雄[訳])

ヨーロッパ地球科学連合全体会議2013

## EUROPEAN GEOSCIENCES UNION GENERAL ASSEMBLY 2013

2013 年 4 月 7 ~ 12 日 オーストリア ウイーン

## PSD11.1 ポスター要旨と討論セッション

SM3.2 地震前兆,地震先駆生物異常と予知

天体の影響,生物異常,および地震.この3つの組み 合わせが解決できるならば,地震危険度を地球規模で 緩和するための固有モデルを構築して,今後の研究に 新しい方法をもたらすだろう.

私たちは,要旨集の刊行とともに,ポスター要旨と討論 セッション (PSD11.1) が SM3.2 につづいて開催されるこ とをお知らせできることを喜んでいる.このセッション では,研究内容の要旨発表 (約5分, PDF ファイル)と, それにつづいて討論が行われる.ポスター発表とは異な り,この発表の主目的は研究結果に焦点をしぼることが 求められる.

開催期日・時間帯および部屋:2013年4月12日(金) 12:15~13:15,第4室

SM3.2 のための PSD11.1: 地震前兆, 地震先駆生物異常, および地震予知

議長 :Valentino Straser and Gabriele Berberich 副議長 :Viktor Stolc and Rachel Grant

■ 12:15-12:25 EGU2013-1948

アペニン山脈北西部 (イタリア) でみられた M5+ 地震に先立つ脊椎動物と昆虫のいくつかの異常行動. Valentino Straser

■ 12:25-12:35 EGU2013-1133

Vrancea 地震活動区における応力予知に起因する生物 移動. Andrei Apostol and Iren Adelina Moldovan

12:35-12:45 EGU2013-8624

Vrancea(ルーマニア)における大規模な下部地殻地 震に先行する動物の異常行動. Angela Constantin and Aurelian Pantea

■ 12:45-12:55 EGU2013-13863

地震前変化による地下および半水棲無脊椎動物にみら れる応答挙動に関する実験的シミュレーション. Hilary Conlan and Rachel Grant

12:55-13:05 EGU2013-8358

Santorini 地震活動区における潮汐が引き金になっ た可能性がある最近の地震活動の検証. Michael E. Contadakis, Mimitros N. Arabelos and George Vergos ■ 13:05-13:15 EGU2013-2510

インド - オーストラリア Teodosio Chavez(イスラエル) のプレートテクトニクスと春分点. Chavez-Sumarriva and Nadia Chavez

興味をお持ちの仲間にこの情報を伝えてほしい.みなさ まの参加を,心待ちにしている.

Valentino Straser: 国際地震火山予知センター (招聘者)

Gabriele Berberich:Duisburg-Essen 大学 (招聘者)

Friedemann Freund:Seti 研究所 (副招聘者)

Rachel Grant:Anglia Ruskin 大学 (副招聘者)

Viktor Stolc:NASA(副招聘者)

## ロシア会議: 全地球テクトニクスと地球の海洋化 Russian conference: Global tectonics and Earth oceanization

期日:2013年9月9-10日

会場:Immanuel Kant バルト共和国大学, ロシア地理 学会(カリーニングラード支部)世界海洋博物館 会議の公式言語:ロシア語と英語

地球の海洋化にかかわる全地球テクトニクスと海岸にお ける緊急事態をテーマとする国際会議「全地球テクトニ クスと地球海洋化」に関する第2回サーキュラーをお届 けする.

## 会議のテーマ

- プレートテクトニクスの未解明問題
- 全地球火山活動における冥王代と新生代
- 顕生代に海洋区が発生する領域におけるアセノスフェ アの形成
- 深海盆底における浅海性堆積物—広大な海洋域における新生代沈降の証拠
- 地球海洋化ステージにおけるアセノスフェアの脱水と 減圧
- 地史における地球水圏の photolytic 消散
- ■全地球的海水準上昇と内因的水供給の危険度評価 会場住所

世界海洋博物館. ロシア, カリーニングラード, Embankment of Peter the Great str. 1

#### 組織運営責任者

Vladimir V. ORLENOK 博士 (地質学 - 鉱山学),教授, ロシア名誉科学者

## 組織委員会

名誉議長 :G.B. UDINTSEV(ロシア科学アカデミー準会 員)

V.V. ORLENOK 教授 (議長), E.V. KRASNOV 教授 (副 議長), G.M. FEDOROV (Immanuel Kant バルト共和国 大学), R.K KLIGE (モスクワ州立大学), B.A. BLUMAN 博士 (地質学 - 鉱山学:Immanuel Kant バルト共和国 大学), S.G. SIVKOVA (世界海洋博物館)

## 運営委員会

議長:B.S. KARRYEV 教授 (Immanuel Kant バルト共和国大学), SOLOVYEV(KUBAN州立大学), A.V. POKROVSKY 教授 (Immanuel Kant バルト共和国大学), B.I. VASILIEV 教授 (ロシア科学アカデミー極東支部太平洋海洋学研究所), O.I. RYABKOVA 講師 (Immanuel Kant バルト共和国大学), D.S. SOTNIKOV研究員 (Immanuel Kant バルト共和国大学), E.V. FILIPPOVA技術員 (Immanuel Kant バルト共和国大学)

## 講演要旨

あなたの講演要旨には,発表者全員の氏名,報告の主 題,教育機関あるいは他の組織の名称 (この情報は, 用紙右上に右詰めで太字表記).要旨集は A4 用紙 6 ページ, Times New Roman 12pt フォント,シングル スペース,余白 (上 2cm,下 - 左 2 ~ 3cm,右 2cm), 脚注ページ,ロシア基準 (GOST)r 7.0.5(a)-2008 に調 整,ページ番号を記入.

## 会議ウェブサイト

https://sites.google.com/site/geokantianascience/ home. に掲載予定の " レポート " の項目を参照された い. 訂正・追加などについては, できるだけ早急に私 達に連絡されたい.

## 事前登録

会議参加のためには,事前登録が必要である.すべて の会議参加者は,滞在日程と部屋タイプを2013年5 月15日までに連絡されたい.この登録は参加を拘束 するものではなく,暫定的申請である.到着日,出発 空港,航空便番号,出発-到着時刻もあわせて知らせ ていただきたい.

## ビザ

ほとんどのロシア訪問者は、入国ビザが必要である. ビザ支援は、組織委員会が行う.あなたのパスポート には、旅行終了後6ヶ月の有効期間が必要である.

## 問い合わせは、次の運営委員へ.

VOrlenok@kantiana.ru; seism\_147@mail.ru; EkaFilippova@kantiana.ru

## 会議組織委員会

Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia, Kaliningrad, Universitetskaya Str. 2, Phone: 8(4012)595575