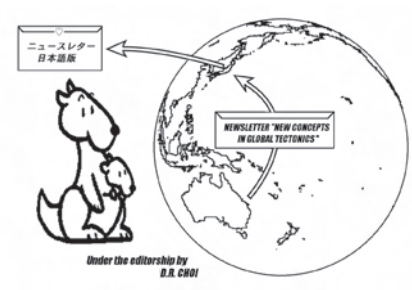
ニュースレター グローバルテクトニクスの新概念

NCGT NEWSLETTER New Concepts in Global Tectonics

No. 51 2009 年 6 月 ISSN: 1833-2560 編集：D.R. Choi （日本語版 2009 年 9 月）



編 集 部：Peter JAMES, Australia (PO Box 95, Dunalley, Tasmania 7177); Leo MASLOV, USA (maslovlev@yandex.ru); Cliff OLLIER, Australia (cliffol@cyllene.uwa.edu.au); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dpratt@xs4all.nl); Giancarlo SCALERA, Italy (scalera@ingv.it); Karsten STORETVEDT, Norway (Karsten@gfi.uib.no); Yasumoto SUZUKI (yasu-suzuki@vega.ocn.ne.jp); Boris I. VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru)

も く じ

■ 編集者から …… 2

■ 編集者への手紙 …… 3

■ 原著論文

地震予知のための〝Jackpot［積み立て掛け金］〟 **Valentin STRASER** …… 4

A "jackpot" for the forecast of earthquakes

日本列島とその周辺下における地震活動の研究についての覚え書き 鈴木尉元・島弧深部研究研究 G …… 10

The minute investigation of seismicity beneath the Japanese Islands and surrounding regions

電気的太陽系の中にある地球 **Louis A.G. HISSINK** …… 16

The Earth in an electric solar system

南西太平洋の海水準は安定している **Cliff OLLIER** …… 25

Sea level in the southwest Pacific is stable

ジオイドテクトニクス 5章 地殻の変形と破壊 **Peter M. JAMES** …… 29

Geoid tectonics: Chapter 5. Deformation and failure of the crust

天体の造構的粒子化に関する惑星起伏幅の一般則 **Gennady G. KOCHEMASOV**

A regional row of planetary relief ranges connected with tectonic granulations of celestial bodies …… 40

■ 地球科学にかかわる政治政治欄 ……

第 33 回万国地質学会（IGC）におけるイデオロギー的抑圧（２）

Ideological suppression at the IGC33 Oslo (2) …… 43

■ 出版物

大西洋の古期岩石と大陸性岩石 矢野孝雄，**Alexander GAVRILOV**，宮城晴耕 and **Boris I. VASILIEV**

Ancient and continental rocks in the Atlantic …… 45

氷期に関する天文学説：新研究，解決および挑戦 **V.P. MELNIKOV and J.J. SMULSKY**

Astronomical theory of Ice Age …… 46

■ ニュース …… 47

■ 財政的財政的支援・ニュースレターについて …… 47

連絡・通信・ニュースレターへの原稿掲載のためには， 次の方法の中からお選び下さい：NEW CONCEPTS IN GLOBAL TCTONICS

1）E メール：editor@ncgt.org, ncgt@ozemail.com.au, または ncgt@hotmail.com; 1 ファイルは 5 MB（メガバイト）以下，2）ファックス（少量の通信原稿）：+61-2-6254 4409， 3）郵便・速達航空便など：6 Man Place, Higgins, ACT 2615, Australia（ディスクは MS Word フォーマット，図面は jpg または pdf フォーマット），4）電話：+61-2-6254 4409.

放棄 [DISCLAIMER] このニュースレターに掲載された意見，記載およびアイデアは投稿者に責任があり，当然のことながら編集者と編集部の責任ではありません.

NCGT NEWSLETTER 季刊国際オンラインジャーナルです（発行：3 月，6 月，9 月，12 月）.

日本語版発行：New Concepts in Global Tectonics Group 日本サブグループ

翻訳・編集：NCGT ニュースレター翻訳グループ

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

編集者から　FROM THE EDITOR

（赤松　陽［訳］）

多分野国際研究プロジェクトの提案：世界海洋の古地理学
Proposal for an international multidisciplinary project: Paleogeography of the world oceans

世界海洋の地質・構造地質ならびに海洋の地殻－マントルの正しい理解は，深海鉱物資源への増大する需要に人類が直面していることからも，不可欠です．このような理解は，さらに，地球温暖化や地震予知のような環境問題や社会問題に正しい解答を提供する助けとなるでしょう．したがって，正しい地球力学モデルの定式化は，地球科学者にとって緊急の仕事です．

NCGT ニュースレターの既刊誌に載った多くの論文には，現在の海洋と沿海の下に古代の大陸性岩石が存在することがまとめられています．この事実は，次のような別領域からの情報によっても支持されています：1) 大陸から大洋底への原生代の構造の連続性，2) 大陸と海洋の双方にわたって一様な断裂システムが世界的に存在すること (DeKalb, NCGT, no. 43), 3) 現在の海洋中に古代大陸が存在すること，そして，4) 太平洋のリング構造（外側の安定リング［下部マントルに根ざしている］，活動的な内側リング，そして，海洋化され沈降している中心域で構成される）．現在の海洋の広い地域をかつては大陸地殻がおおっていたことは，明白な証拠によって強く示唆されています．このことを支持しているさらに広範囲にわたる考証が，日本の雑誌（本号の 65-66 ページを参照）に掲載された矢野ほかによる大西洋の古代大陸性岩石についての論文で紹介されています．Keith James は，地殻構造データの徹底的な地質学的分析により，カリブ海の下に（広域的に海洋化された）大陸地殻が存在することについて説得力のある論証をおこなっています（論文準備中）．

上に述べた証拠から，支配的なプレートテクトニクス学説によって今まで提示されてきたような世界海洋の地質と構造発達史は根本的に変更する必要があるように見えます．今日，我々は，現在の海洋の多くの領域は中生代初期まで古代大陸を形成しており，三畳紀～ジュラ紀に初期の深海が現れ，古代大陸の大部分は白亜紀～古第三紀に沈み，そして，海洋の深海化は中新世～第四紀に最も活発であったと自信をもって言うことができます．しかし，これは信頼できるデータが利用できる地域に限って概説することができます．深海のより系統的なトレッジ・掘削・地震探査研究が不可欠です．私たちはまた，特に大陸周縁域の詳細な地域地質研究を行い，各々の地域の古地理を再構築する必要があります．それは経済的にも大きな関心事であり，そこでは信頼できる地質－地球物理学的データが近隣の陸域から入手可能であり，時には沖合での探査データも入手可能です．

地球表面の地形は，地殻とマントルで起こったことの地表への反映であり，それらが累積した結果です．したがって，古地理学の研究には地球深部の研究が付随しなければなりません．NCGT ニュースレターに見られる私たちの地質学とトモグラフィのデータに基づいた最近の寄稿論文は，マントルと核の内部の働きに興味深い視点をなげかけています (Choi and Vasiliev［NCGT no. 48］). Cris Pratsch は，熱的なドーム隆起は，それは局所的で現地性であるが，地殻構造運動を引き起こす際に主役を演じると述べています (NCGT, nos. 47 and 49). 久保田 (2005) によって研究されているように，マントルの湧昇に基づくコールドロン形成は，熱的ドーム隆起のもう一つの側面です．太平洋のリング構造は，コアに起源をもつ巨大熱ドームと見なされるに違いありません．

先カンブリア時代以降の世界海洋の地理学的復元は，これまではプレートテクトニクス学説に基づいてきました．それは，海洋地殻の年齢を決めるために，主に海底地磁気縞模様を利用してきました．しかし，プレートテクトニクスの基本的教義に欠陥があるという認識が次第に広がっており，蓄えられた海底データ（衛星画像を含む地質－地球物理学的データ），大陸の地質データ，そしてマントルトモグラフィに基づいて，組織的に古地理図をつくることをめざす国際的な多分野チームによる協調した努力の機が熟しています．この方向の優れた研究は，ロシアの科学者たちによってすでに始まっています (Jatskevich et al., 2000 ; Udintsev et al., 2003). この提案を発展させ実行する方法について，世界の学術機関，会社，個人からのフィードバックと提案がなされることを，私は期待しています．

文　献

Kubota, Y., 2005. Relationship between grabens, cauldrons, and fault systems in Kyushu, Japan. Formation of a graben and fault systems through clustered cauldrons.
Boll. Soc. Geol. It., Vol Spec. no. 5, p. 159-168.

Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. Geological Map of the World. 1:15,000,000. Ministry of Natural Resources of Russian Federation, RAS.

Udintsev, G.B. [ed.], 2003. International Geological-Geophysical Atlas of the Pacific Ocean. Scale, 1:10,000,000. Moscow-St. Petersburg, Russia. 172p. International Oceanographic Commission (in English and Russian).

編集者への手紙　LETTERS TO THE EDITOR

（赤松　陽［訳］）

2009 年 4 月 6 日のイタリア・ラキーラ L’Aquila 地震 (M=6.3; 深度 =7km)

ラキーラ浅発地震：頂部地塊断層運動をともなう鉛直隆起地形アーチング

April 6, 2009 L’Aquila earthquake, Italy (M=6.3; Depth = 7 km) L’Aquila shallow earthquake: morphogenic vertical uparching with crestal block faulting

地震メカニズムは , アペニン山脈中央部は NE-SW 方向の伸張を被っており，正断層型活断層沿いの主要な地形的山稜に沿って地震が集中することを示しています．伸張性の活変形は，おそらく更新世中頃に始まった先行する圧縮性の褶曲 - 衝上帯の広域的上昇の結果です . 広域的地形隆起 (長さ 150-200km) は , おそらくマントルプリュームによるマントル湧昇に由来するものです . というのは , 第四紀のサブダクション関連諸作用を示す地質学的事実はないからです .

NW-SE 方向の山稜に平行する正断層系は，アペニン山脈の隆起アーチの頂部に発生した地殻上の展張と軸部陥没によって形成されたものです . 正断層型の活断層運動は，断層に境された地溝状山間盆地 (例えば , 起震断層によって区切られたコルフィオリート［Colfiorito］, ラキーラ［L’Aquila］, フチーノ［Fucino］, およびスルモーナ［Sulmona］地溝状凹地) を作っています . この断層系は活発な地震活動をともなっていますが , ほぼ鉛直な変位が卓越しているので , 拡大しているわけではありません.

L’Aquila 地震は , このように造山運動の圧縮時相に後続する効果であり , 衝上変形構造が最近になって鉛直隆起の一環をなし , それは現在のアペニン山脈を造っています.

Forese Carlo Wezel, wezel@uniurb.it

(編集者メモ : いつものように , コロラド大学の教授は , オーストラリアのテレビで震災直後に , 中軸に沿ってイタリア半島が 2 つに分裂していると主張しました . このプレート運動が L’Aquila 地震の原因である , としました .)

＊＊＊＊＊＊

地震予知と前兆現象

Earthquake prediction and precursory signs

L’Aquila の悲劇の数日前に , グランサッソ研究所の技術研究者が ,“ 壊滅的な地震が起こりかも知れません ” と発表しました . 新聞で報道されたように , 地震前の 3 日間に , ラドン濃度が安全範囲を超えて注視すべき測定値に達したことに彼は気づきました . ラドン値の著しい上昇は , 猛烈な地震の前兆です . 壊滅的な地震が起こった夜に，彼の地震計は激しい地震動を記録しました : データはインターネット上へアップロードされて，オンラインで検討することができました .“ 誰でも見ることができ，そして多くの人々が実際にそれらを見た ”, と彼は主張しました．これは，研究者がテレビのインタビューで主張したことで , それは www.youtube.com/watch?v=t1nKz1r42V8 で今でも見ることができます .

しかし，イタリアの科学界からの反動は，きわめて厳しいものでした . 国家行政部の責任者は激怒し , 新聞に報道されたことについて , 見せしめの罰を要求して “ 根拠のない報道を広めて楽しんでいるこのような大馬鹿者 ” を攻撃しました .“ 大馬鹿者 ” のうちの 1 人は, もちろん, 1 ヵ月以上の間アブルッツォ地域に影響を及ぼしていた群発地震に関して ,「この地域は , 日曜日に壊滅的地震に襲われるでしょう .」との警報をあえて報じた上述の研究者でした .

伝えられるところでは，3 月 29 日に，彼は , 国家行政部の責任者が「地震は予知できないということを誰もが知っている」と繰り返しアナウンスするいっぽう , 根拠のない警報を出したということで公的に非難されました . テレビの全国ネットワークで，地震予知をテーマに報道がありました . その際 , イタリアの学者と科学者のほとんどが , 地震を予知が不可能であると主張しました .

しかし ながら , 全国日刊紙 “Corriere della Sera” のジャーナリストが書いたように , 多分数週先に実際に起こるだろう数千人の避難を避けるために , どの地域が地震に襲われるか，そして，とりわけ，いつ起こるかを正確に示すことより , ただ “ 地震が起こるだろう ” と言うことの方がより簡単であるということは指摘しておく価値があります .

Valentino Straser,fifurnio@tiscali.it

(Relevantinformation:http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=radon-earthquake-prediction)

原著論文　ARTICLES

地震予知のための〝Jackpot［積み立て掛け金］〟2008年12月の北西アペニン山脈における地震群

A "JACKPOT" FOR THE FORECAST OF EARTHQUAKES
THE SEISMIC SWARM IN THE NORTH-WESTERN APENNINES, DECEMBER 2008

Valentino STRASER
94, Localita Casarola – 43040 Terenzo Pr, Italy e-mail: fifurnio@tiscali.it .

（矢野 孝雄・川辺 孝幸［訳］）

要　旨：2008年12月23日～2009年1月のイタリア北西アペニン山脈でおきた地震イベントは，空中電場，電場および磁場の局所的変化に明白の関係していることが解明された．地震発生の数週間前に，地震群の前兆現象が現れた．たとえば，大気中での異常発光現象，震央付近における熱的反転，電磁場の局所的変化，などである．岩石の摩擦効果による地表温度の上昇が空中電磁場に局所的変化を与え，実際の地震発生時には，E = 2 V/m・B=1.0 uTという値まで上昇した．これら3つの物理量の組み合わせは（ここで，私はJackpot［トランプのポーカーの〝積み立て掛け金〟］と定義する），この地震域における地震予知の指標になる．それは，この論文で提案される新しい地震メカニズムを適用することによって，起震の力学を理解する可能性をもたらす．

キーワード：*地震，電磁場，地震発生前の因果律，地震予知，地震発光現象，2008年12月の北西アペニン山脈（イタリア）の地震群，〝jackpot〟*

まえがき

北西アペニン山脈で2008年12月23日に発生した地震群（図1）は，地震，地震前兆現象と関連諸事象［たとえば，大気中での異常発光現象（図2a, b, c），空中電磁場の異常値，地震前の数日間における病院受診者の増加（Straser, 2009），など］をまるまる1ヶ月にわたって研究・分析できるという，この地震域にとって理想的な自然の実験室と〝稀少〟な機会をもたらした．

M5.1の本震は2008年12月23日15:24(UTC)に発生した．国家地球物理学－火山学研究所［Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia(INGV)］によって震央44.519°N・10.382°E，深度約27km（かなり深い）と決定された（Petrucci et al., 1996）．

この地震はイタリア北部および中部の広い範囲で有感となり，本震に続いて，数時間および数日間に多くの余震が発生した．これまでも多くの地震が発生してきた地区に群発地震が起き，それらは，通常ではM2～M3の小規模なものであった．この地震の破壊的影響によって，この地震事件はINGVの地震研究者によって，1818年12月9日および1873年9月17日の地震に比較された（Camassi et al., 2008）．

軽度の地震被害をこうむった関係地域のなかには，Taro川沿いの中心から半径50km以内に小規模地震が毎年発生している．それゆえ，2008年12月の地震は，北西アペニン山脈ではまったく異例の地震である．著者は歴史記録を調べ（Petrucci et al., 1996;Guidoboni and Comastri, 2005;INGV, 2009），この地域ではM4.5以上の地震が12年毎に起きていることに気づいた．

この地震による被害額は1億ユーロを超えたが，幸いなことに，死傷者はいなかった．それは，この地域で慣行されている堅固な建設技術によるものである．

地球科学の文献では〝Taro系〟（Bernini and Papani, 1987;Straser, 2007）として知られている北西アペニン地震域には，地震の解析がされた地帯がある．そこでの震源は通常30km以浅であり，おおくは10km以浅である（Petrucci et al., 1996）．地震規模は，例外的にM>5，まれにM>4となるが，通常はM2～M3である（Guidoboni and Comastri, 2005;Castello et al., 2004）．

地球物理学的視点からは，Taro系の地震活動はTyrrhenianリフト谷からPo平原まで延びていて，〝引張性〟Tyrrhenian帯から〝圧縮性〟Po川帯へのエネルギーの主要運搬ルートとなっている．

アペニン造山作用の途上，Taro系のリニアメントは，TyrrhenianリフトからPo平原フロントの間のトランスフォーム断層として機能したと考えられる．このような理由で，Protezione Civile Italiana［イタリア市

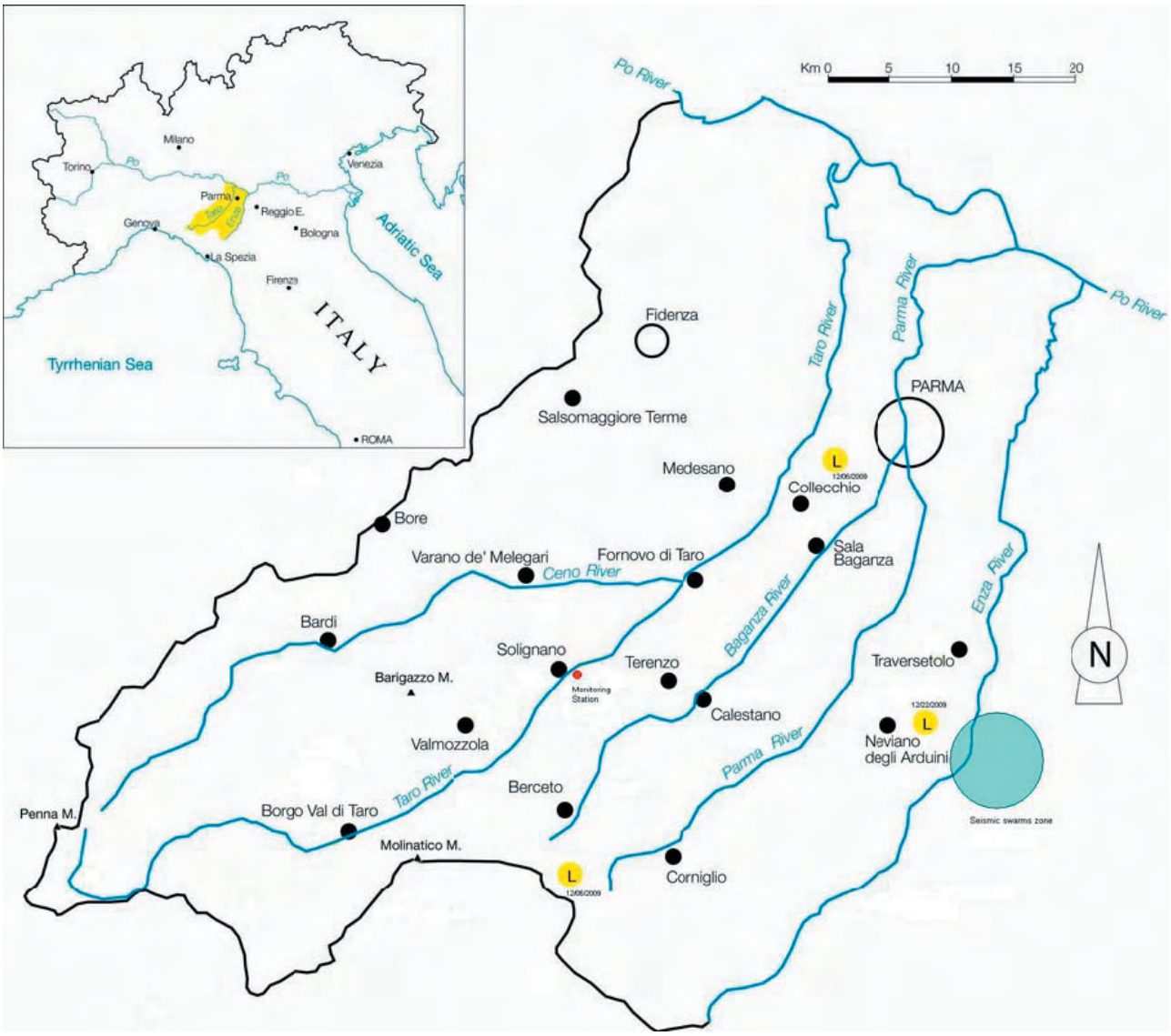


図 1. 位置図．観測点と群発地震帯のほか，2008 年 12 月 6 日と 22 日に EQLs と BL が現れた地区が図示されている（大文字 L は黄色で色づけ）．

民省］と Councillor of Parma［パルマ議会］（イタリア）が共同で Taro 系の中軸部に設置した地震観測所が，この地震域を中心としたさまざまな観測のために，2008 年 11 月半ばに実験的モニタリングを開始した．Taro 系は断層によって特徴づけられ，これらの断層群は地表では Taro, Baganza, Parma, Termina および Enza の諸河川や渓流に沿ってほぼ平行に配列する．この構造系には，ごく最近，地震群が発生した．

アペニン山脈下では，深度 14 ～ 15km まで，磁性の強い結晶質変成岩基盤が存在し，アペニン山脈の中生代～第三紀堆積岩層の基底層を構成する (Zanzucchi, 1980). このような鉱物学的特性のために，この基盤岩類は空電場・磁場の伝播時の変化に関係している，と考えられる．

Taro 系の地域には天然磁石や石英のような鉱物が存在し，それらは電磁気現象の伝播に影響し，piezoelectric および piezomagnetic な影響をもたらす (Straser, 2007).

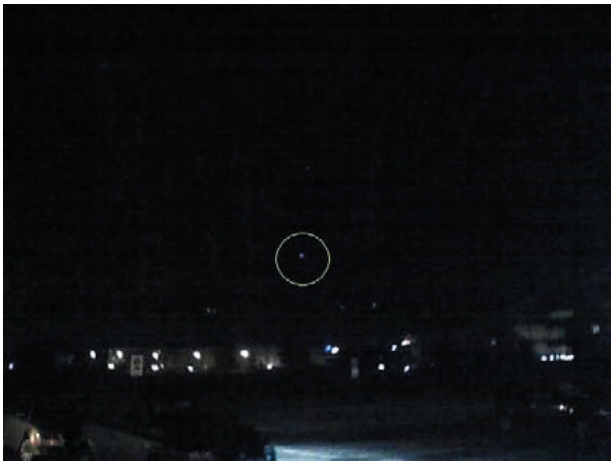
石英や天然磁石のような鉄磁性鉱物は，自然の蓄電器としても機能し (Teodorani, 2004；Teodorani and Strand, 1998)，応力を蒙ると電気を発生させ，発光現象をひき起こす (Adams, 1990；Freund, 2002；Freund et al., 2006；Bapat, 2007；Brady and Rowell, 1986；Serita et al., 2005；Hayakawa et al., 2007).

研究方法とデータ

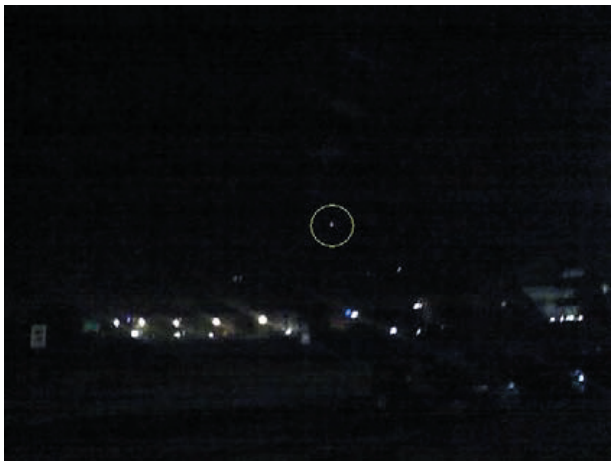
私の研究は次の 2 つの段階で構成される：1 つは空電場・磁場を毎日機器測定すること，2 つめは室内シミュレーション実験である．

測定には多場定常測定器 ESM-390 が用いられ，自然磁場・自然電場の変化が測定された．室内でも使用できるこの携帯測定器の工業規格は次のとおりである．

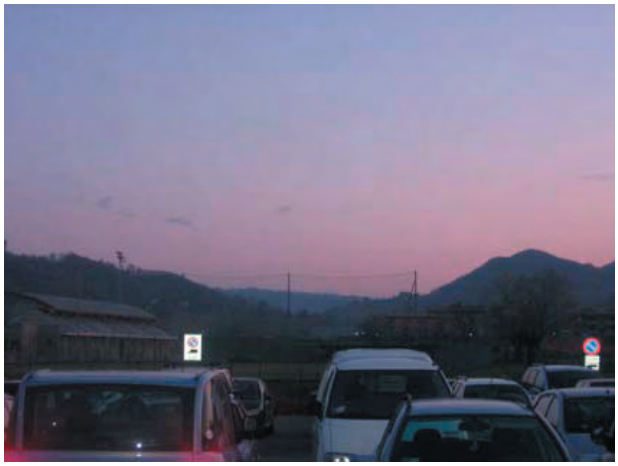
データ表示：アナログ
磁場測定範囲：0 ～ 50 kHz, 0 ～ 100 uT
電場測定範囲：0 ～ 50 kHz, 0 ～ 1000 V/m



a)



b)



c)

図 2. EQLs（黄色の○囲み）の写真．撮影時：2008 年 12 月 22 日の午後 7 時 15 分と午後 7 時 17 分，撮影場所：Traversetolo にて Neviano Arduini（地震群の地帯）方向，撮影機種：Motorola V3 携帯電話（1 MP）．下段の写真（c）は夕暮れ時の同じ画角の地形で，2009 年 3 月 19 日午後 7 時に Canon 光学カメラ（3.1 MP）で撮影された．

電波周波数測定範囲：0.01 ～ 1 mW/cm^2，100 kHz ～ 2.5 GHz

稼動温度：0°C ～ +50°C

室内では，堆積岩［適切な石英含有率を示す Ranzano 砂岩：Parea（1963）参照］の歪状態試験によって，石英のようないくつかの結晶が機械的歪を受ける際のポテンシャル電位差の発生特性が解析された．ある結晶に外力が加わると，結晶の両面に逆符号の電荷が発生する．機械的歪が変化すると，電気信号が生じる．こうして，ポテンシャル変化が加えられる期間には，結晶がコンデンサとして働くので，結晶の両側面の間で電流が生じる．

室内実験結果

試供岩石試料の大きさ：圧縮シリンダーの直径：65mm
最大圧縮強度：200 bars
シリンダー封入試料：内径 72 mm，外径 80 mm，高さ 180 mm

試料岩石：Ranzano 砂岩（構成鉱物：石英 40%，カルシウム 40%，その他 20%）

岩相：粗粒砕屑物質．灰色砂質－泥質タービダイト（中～厚層理），上部始新統～下部漸新統

砂岩試料（内径 72 mm，外径 80 mm，砂質物質容積 約 3.000 cm^3 [2.930 cm^3]）が，高さ 180mm のスチールシリンダーに封入された．水圧式ピストンによって 40 ～ 100 bars のさまざまな圧力で（120 bars を超えることはなかった），はじめは徐々に，つづいて，きわめて急速に加圧された．この試験は室温 15°C で行われ，加圧試料から約 1m の距離に設置した携帯多場測定器によって空電場と磁場が測定された．

シミュレーションによると，空電場の初期値 E = 5 V/m は，約 30 bars に加圧されるまで変化しなかったが，120 bars になると E = 25 V/m まで増大した．水圧機の除圧によって岩石加圧を除去すると，ほぼ同時に，電場も初期値まで減少した．試験中，磁場は 0.8 ～ 1.2 uT の範囲で変化した．

この試験は，応力場にある岩石の挙動に関する重要な情報をもたらした．岩石を加圧するさまざまな段階を通じて，圧縮ピストンは〝蓄電器効果〟をもつように挙動し，蓄電 / 放電過程を通じて電流変化をもたらした可能性がある．加圧するたびに，誘導電流（電流計に連結）の変化がデジタルマルチメータに現れた． 10 ～ 40 bars での 6 回にわたる連続的圧縮時（持続時間：1 秒）に，電流値は 0.36 ～ 0.41 mA の変化を示した．

討 論

地球の電場の構成要素には定常的要素と可変的要素が含まれ，定常的要素がより強力である．地表レベルでは，定常的要素は約 130 V/m に達するが，周波数範囲 50/60 Hz で測定された可変的電場強度は 10^{-4} V/m にすぎない．

自然磁場がかかわっている限りでは（http://www.ISPEL.it/Gauss/ を参照），その定常的要素は，内部と

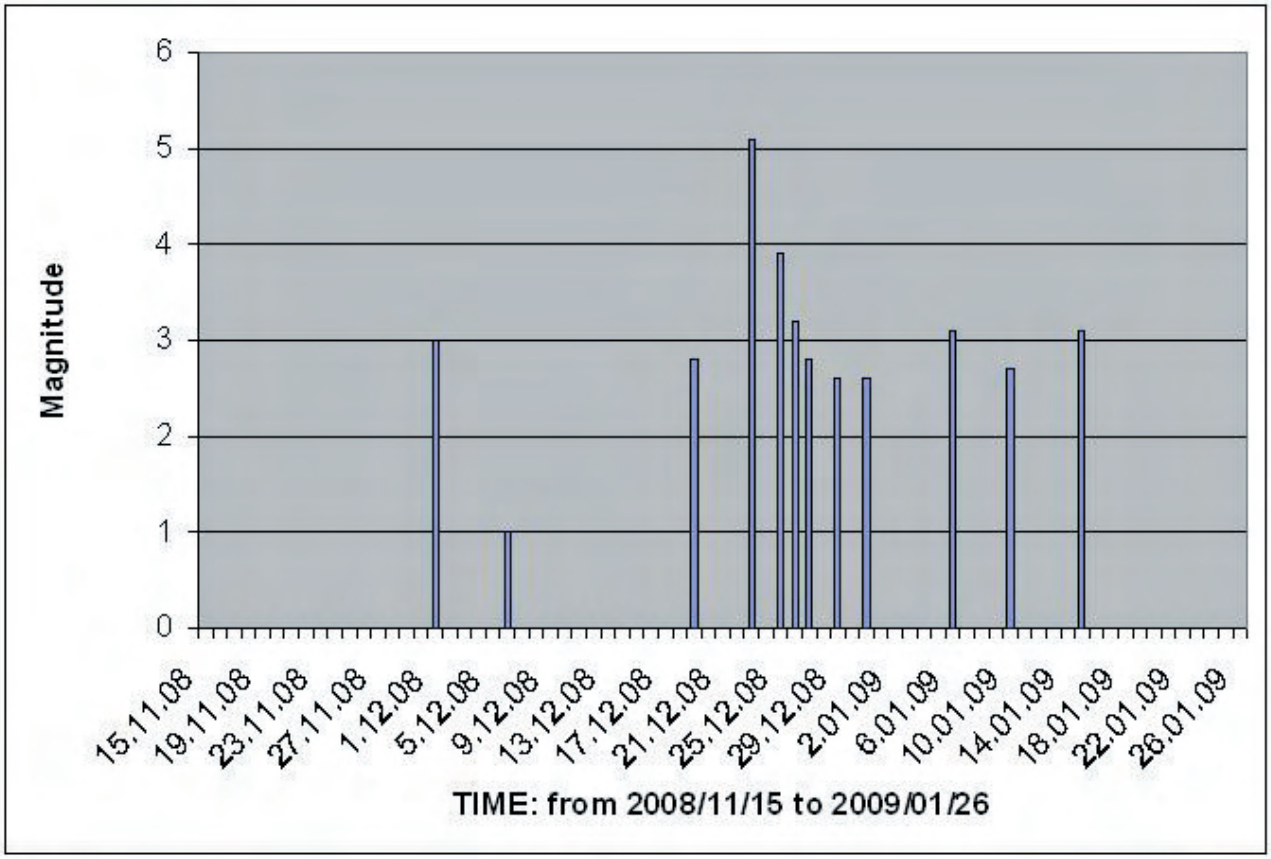


図3 2008年11月15日～2009年1月26日に発生した地震の時間分布

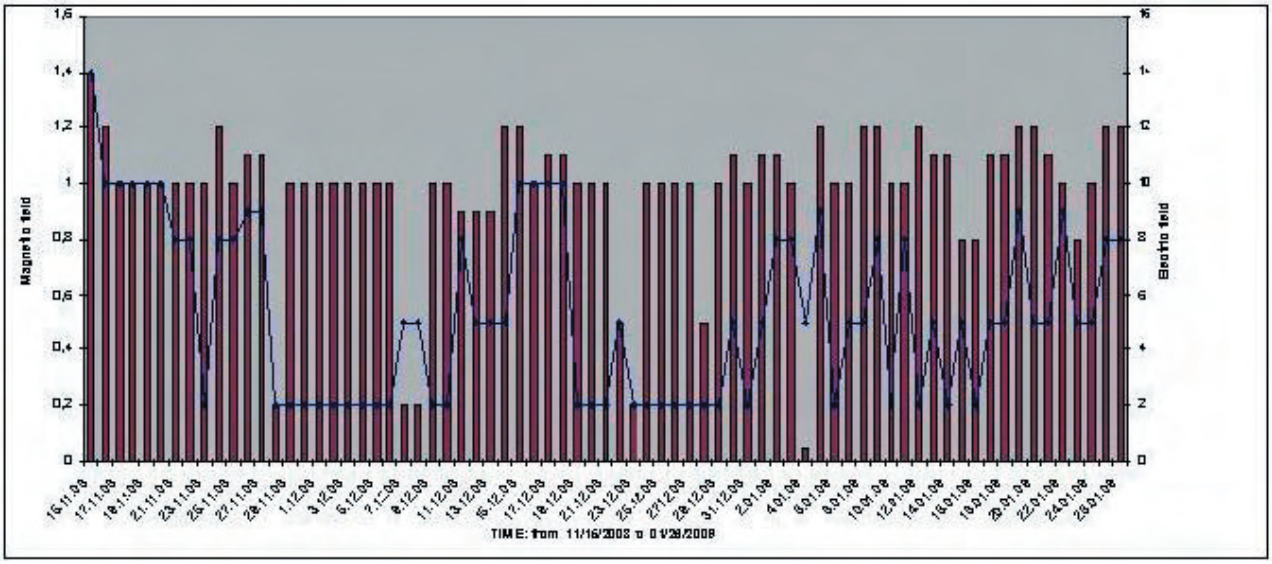


図４　2008年11月15日～2009年1月26日における電場（棒）と磁場（折れ線）の日変化

外部の，２つの場の相互作用に由来する．前者は，内部の核から地殻の上層に向かう電流であり，後者は，太陽と大気圏活動によって生成される．

地球磁場強度は地理的位置によって変化し，その値は，赤道で28A/m(空中における35 μ T[microtesla]に対応)で，磁極で56A/m（空中における70 μ Tに対応)．

大気圏の磁場を変化させる要素は，以下のとおりである．

１．月と太陽の影響をうける電離圏電流によって変化する場．0.03 μ Tの範囲で，一日単位で変化する．

２．太陽活動と磁気嵐によって変化する場．強い磁気嵐の場合には0.5 μステラの幅で変化する．

50Hzにおける自然磁場変化は，およそ10^{-9}mTである．

Taroシステムでは，地震モニタリング中に２～15V/mの静電気場と0.2～1.2 μ Tの静的磁場を読み取とった．

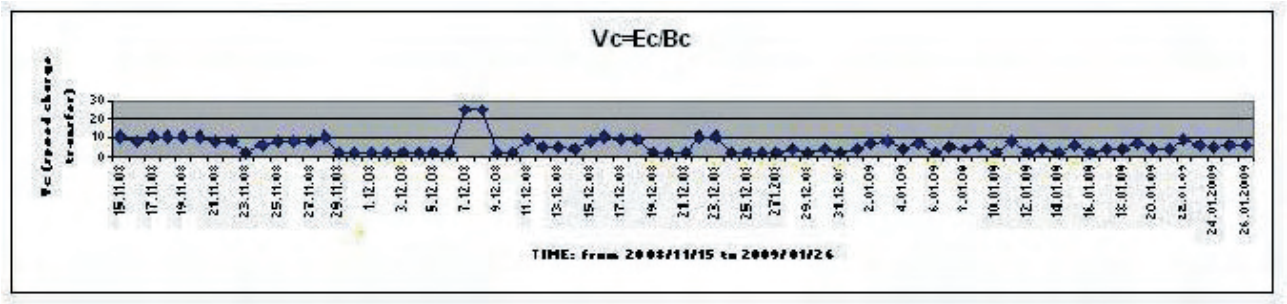


図５　2008 年 11 月 15 日～ 2009 年 1 月 26 日の Vc=Ec/Bc 変化（電荷の運搬速度）．横座標の小さい黄色い四角は，地震イベントとの対応を示す．

群発地震の最中に，過去数日や 2009 年 1 月 15 日に比べて値（B と E）が，E = 2 V/m と B = 0.2 μ T まで減少する場合には，多くの地震の機器の読み取り値は，2008 年 12 月 23 日の本震（M5.1）を除いて，E = 2V/m で B = 1.0 μ T であった（図４）．

E = 2 V/m と B = 1.0 μ T の読み取り値の符合は，地震が起こった日々，たとえば，2008 年 12 月 1 日，12 月 19 日，12 月 23 ～ 27 日，12 月 31 日，2009 年 1 月 6 日，1 月 10 日に測定され（図４），そして，また，大気圏（BL）で強烈で異常な発光現象が起こった 2008 年 12 月 6 日にも，数十 km はなれた地点における，Parma の市街地から数 km 離れたもう一つ別の発光源から，およそ 1 時間早く測定された．なお，これら両方のイベントは，複数の地方紙に記録されている．

さらに，B = 0.5 μ T という磁場の大きな減少が，本震（2008 年 12 月 22 日）に先立つ日に観測された．それは，将来の地震群（図２a，b，c）の起こる地域上で数分間続いた大気圏における発光現象（EQLs）に符合する．光球は，数 km はなれた所からも明瞭に見え，最初は強烈な白で，次第に消滅前の赤色まで変化し，空に約 5 分間残った．

学術論文の記録からは，EQLs の出現は，多くの著者が地震の前兆現象と考えているが，さまざまな地震イベントと強く関連している（St-Laurent，2006；Tsukada,1997；Ouellet，1990；Straser，2007，2008；Derr，1986；Filkelstein et al.，1973；Terada，1931）．

室内実験

地下の岩石の圧力と静電気場との関係を確立するために，実験室でのシミュレーションが，油圧プレスを用いた砂岩サンプルの圧縮によっておこなわれた．シミュレーションは，北東アルペンと地震群分布の中央の地域に露出している，Ranzao 砂岩層の露頭から採取されたサンプルによって行われた．Ranzano 砂岩層（上部始新統～下部漸新統）は，層厚が中～厚層まで変化する，灰色アレナイト質砂岩で，泥質タービダイト層を構成し，石灰質破片を含む（Ghibaudo and Mutti，1983）．

このような岩石の 40% は，相互に双晶した方解石結晶の

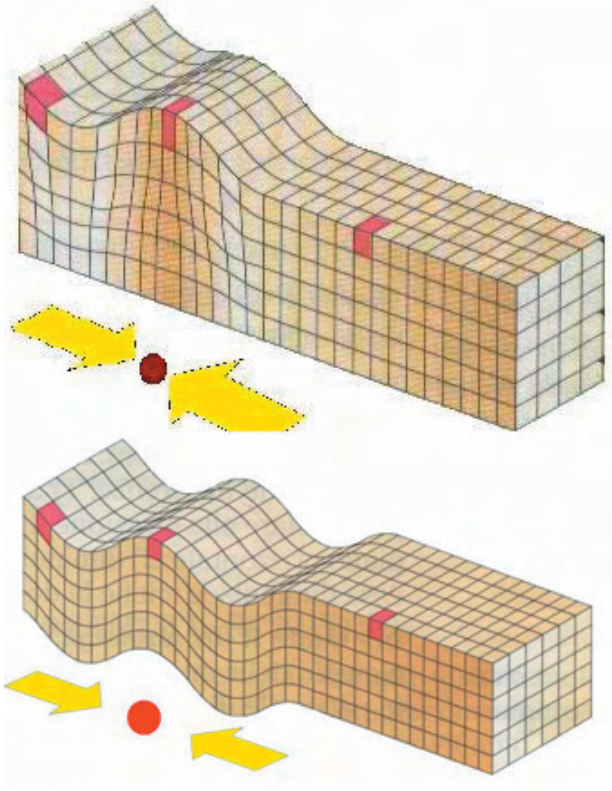


図６　静的な電場と磁場の変化．Vc と Ec，Bc の特性値を基礎にした，地震と地震群のトリガー機構の説明のためのモデル．レンガ色の小さい立方体は地下での弾性エネルギーの増加する地域を示す．黄色の矢印は岩石に対する圧力強度を示し，大きいもの（茶色）とやや小さい（明赤色）で示す矢印の間の赤丸は，歪みの記録を示す．ゆっくりとした地下での歪みの増加の後に，弾性逆転もしくは岩石の破壊を告げる，一時的な膨張がおこる（Vc，Ec，Bc の特徴的な値の出現）．新しい平衡状況は，他の歪み地域（レンガ色の立方体）に影響し，次なる地震へと発展させる．

集合からなっており，微化石破片に乏しく，よく円磨された汚れた陰微晶質の石灰質砕屑岩片を含む．石英量は 40%で，残りの 20%が斜長石，雲母類，鉄苦質鉱物である（Parea，1963）．

岩石サンプルは，圧電気を生成し，圧力を与えることで表面に電磁気的変化が起きる．試料には，石英の含有量の大きいものを選んだ．

さらに言えば，岩片，粉砕物と粘土の間の連続的移行関係は，典型的な断層断面において明白である（Bolt，1978）．これらの断層破砕物は，もし石英のような圧電

気と圧磁気をもたらす鉱物が含まれている場合には，ローカルな静電気と磁場に影響を与えうる．

室内実験の結果によると，岩石に加えた歪みと電磁場の値との間に比例関係が存在する．もし，我々が，室内実験から実際の実験にシフトしたら，現実の場面において，それは，電場値の減少が岩石における摩擦歪みの減少に対応するという，十分に信頼性のある仮説になる．

2008 年 12 月 23 日の本震（M 5.1）の間の，電場と磁場の減少は E = 2 V/m と B = 0.2 μ T であった．これらが，おそらく，震源付近の岩石に対する温度と歪みの増加に対応するということは妥当であろう．

この研究において，Ec（静電場）と Bc（静磁場）は〝特性値(characteristic values)〟とその組み合わせによって定義される．すなわち，Ec = 22 V/m と Bc = 1.0 μ T は〝積立て賭け金〟と称される．

結　論

測定されたデータをもとに，我々は以下のように仮定することができる．すなわち，物理学的見地から，２つの〝特性〟の判断は，造構歪を被ったこの地域の石英のような物質によって放出される電荷の運搬速度に依存する．それは，関係は下記のように表すことができる．

$$Vc = Ec/Bc$$

ここで，Vc は岩種（物質）と温度（キューリー温度以下での），岩石が被った歪みに依存する．

静的な電場と磁場の読み取りによると，地震に先立って，岩石内での前兆的速度変化が認められる．従って，その変化の大きさに関する限りでは，Vc は速度，つまり，EC と Bc の特性値の変化に，磁場中での蓄電速度は Vc の変化に，それぞれ伴うと表現される（図５）．

このような考察によって，圧電気と圧磁気の物質とみなした場合，磁場強度が温度の増加に対応して減少するのに対して，岩石の力学的緩和による静的電場の減少（電気的逆転）は，もっともらしく見える．

Ec と Bc の値の測定を結び付ける，そして，地震のトリガーメカニズム，つまり造構－重力歪み状況の下で岩石に働く圧力に反映する，２つの地球物理的状況が減少し，電気的逆転もしくは岩石の転移をもたらすであろう（図６）．

蓄電速度 Vc と機器測定値 Ec・Bc は歪んだ岩石の不安定度を表現し，詳細な測定値からは地震の切迫性を検出することができる，と結論される．というのは，より造構強度が小さければ，弾性歪みのゆっくりとした蓄積という結果を招くからである．

この研究は，単独の方法としても，他の地震予知方法と複合させても，地震の前兆に有効的に適用できる．

本研究で説明されたモデルは，検出する特定の目的にしたがってよく特定された調査地域がそれぞれ”積立て賭け金”の特性値をもっていることを示す．それは，地球規模の他の地震地域においても容易に実験することが可能である．このような値は Ec と Bc の特性値に関して得られるが，短期間の地震予知と予報（本震発生の数分～数時間前）を可能にするための特定モデルを導きだすのに有効であろう．

謝　辞

この論文の筆者は，これらの結果の達成を議論し激励し，また，室内実験を補助して，支えてくれた方々に感謝する．特に，室内実験の手助けを行ってくれた P.I. Giovanni Calzetti 氏，イタリアアルプス北西部の地震モニタリングプロジェクトを後援していただいた Mr. Gabriele Ferrari 氏（Commissione Nazionale Protezione Civile, Rome），Coucillor for Civil Protection of Parma（Italy），Earth Sciences Department（Parma, Itary）の Giorgio Zanzucchi 教授に対して，特に感謝する．

文　献

Adams, M., H., 1990. Some Observation of Electromagnetic Signals Prior to California Earthquakes. Journal of Scientific Exploration, v. 4, p. 137-152.

Bapat A., 2007. Seismo-electro-magnetic and other precursory observations from recent earthquake vapour clouds. New Concepts in Global Tectonics, no. 43, p. 34-38.

Bernini, M. and Papani, G., 1987. Alcune considerazioni sulla struttura del margine appenninico emiliano tra il T. Stirone e il T. Enza. Ateneo Parmense, Acta Nat., v. 23, 4. Atti del Meeting <Bridle deformation analysis in Neotectonics> Firenze, 17 aprile 1986.

Bolt, A., B., 1986. I Terremoti. Zanichelli, p. 1-238. Brady, B.T. and Rowell, G.A., 1986. Laboratory investigation of the electrodynamics of the rock fracture. Nature, v. 321, 29 May 1986, p. 488-492.

Castello, B, Moro, M., Chiarabba, C., Di Bona, M., Doumaz, F., Selvaggi, G. and Amato, A., 2004. Seismicity Map of Italy, Centro Nazionale Terremoti □ INGV, Roma.

Camassi, E., Ercolani, E., Bernardini, S., Pondrelli, S., Tertulliani, A., Rossi, A., Del Mese, S., Vecchi, M., 2008. Rapporto preliminare sugli effetti del terremoto emiliano del 23 dicembre 2008. Quick Earthquake Survey Team, INGV, RPT02 del 30.12.2008, p. 1-7.

Derr, J.S., 1986, Luminous phenomena and their relationship to rock fracture. Nature, v. 321, p. 470-471.

Derr, S., J. and Persinger, A., M., 1990. Luminous Phenomena and Seismic Energy in the Central United States. Journal of Scientific Exploration, v. 4, p. 55-69.

Finkelstein, D. and Powell, J., 1970. Earthquake lightning. Nature, v. 228, 21 November 1970, p. 759-760.

Finkelstein, D., Hill, R.D. and Powell, J., 1973. The piezoelectric theory of earthquake lightning. Jour. of Geophs.

Research, v. 78, p. 992-993. Freund, F., 2002. Charge Generation and Propagation in Igneous Rocks. Journal of Geodynamics, v. 33, p. 543-570.

Freund, F., Takeuchi A. and Lau, B., 2006. Electric Currents Streaming Out of Stressed Igneous Rocks — A Step towards understanding pre-earthquake low frequency EM emissions. Physics and Chemistry of the Earth, v. 31, p. 389-396

Ghibaudo, G. and Mutti, E., 1983. Facies ed interpretazione paleo-ambientale delle Arenarie di Ranzano nei dintorni di Specchio (Appennino Parmense). Mem. Soc. Geol. It., v. 12, p. 251-265.

Guidoboni, E. and Comastri, A., 2005. Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century. INGV.

Hayakawa, M., Hattori, K. and Ohta, K., 2007. Monitoring of ULF (ultra-low-frequency) geomagnetic variations associated with earthquakes. Sensors 2007, 7, p. 1108-1122.

INGV, Banche dati della sismicit italiana dal 1981 al., 2002. hptt://www.ingv.it/banchedati/banche.html

Lockner, D.A., Johnston, M.J.S. and Byerlee, J.D., 1983. A mechanism to explain the generation of Earthquake Lights. Nature, v. 302, p. 28-33.

Ouellet, M., 1990. Earthquake lights and seismicity. Nature, v. 348, p. 492.

Parea, G.C., 1963, Terebellina palachei Ulrich nelle "Arenarie di Ranzano" (Appennino Parmense). Bollettino della Societ Paleontologica Italiana, v. 2, p. 111 - 115, tav.10

Petrucci, F., Careggio, M. and Conti, A., 1996. Dinamica dei versanti e della pianura della Provincia di Parma. Ateneo Parm., Acta Naturalia, v. 32, p. 1-39.

Serita, A., Hattori, K., Yoshino, Hayakawa C., M., and N. Isezaki, 2005. Principal component analysis and singular spectrum analysis of ULF geomagnetic data associated with earthquakes. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, p. 685-689

St-Laurent, F., Derr, J. and Freund, F., 2006. Earthquake lights and the stress-activation of positive hole charge carriers in the rocks. Physics and Chemistry of the Earth, v. 31, p. 305-312.

St-Laurent, F. 2000. "The Saguenay, Quebec, Earthquake Lights of November 1998, January 1989". Seismological Rresearch Letters, v. 71, p. 160 -174.

Straser, V., 2007. Precursory luminous phenomena used for earthquake prediction. The Taro Valley, North-Western Apennines, Italy. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 44, p. 17-31

Straser, V. and Kokus, M., 2008. Planetary alignment and earthquake. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 48, p. 3-4

Straser, V., 2009. Earthquake precursors in northwestern Apennines, Italy. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 50, p. 4-5

Teodorani, M. and Strand, E.P., 1998. Experimental methods for studying the Hessdalen phenomenon in the lights of the proposed theories; a comparative overview. _IH Rapport, 1998 (5), H_gskolen i _stfold (Norway), p. 1-93.

Teodorani, M., 2004. A long-term scientific survey of the Hessdalen Phenomenon. Journal of Scientific Exploration, v. 18, p. 217-251.

Terada, T., 1931. On the luminous phenomena accompanying Earthquake. Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo, v. IX, p. 225-255.

Tsukada, T., 1997. Size and some features of luminous sources associated with the 1995 Hyogoken Nambu earthquakes. Journ. Phys. Earth, v. 45, p. 73-82.

Zanzucchi, G., 1980. Lineamenti geologici dell'Appennino parmense. Note illustrative alla Carta e sezioni geologiche della Provincia di Parma e Zone limitrofe (1:100.000). In: Volume dedicato a S.Venzo, Step Parma, p. 201-233.

日本列島とその周辺地域下における地震活動の研究についての覚え書き

THE MINUTE INVESTIGATION OF SEISMICITY BENEATH THE JAPANESE ISLANDS AND SURROUNDING REGIONS

鈴木尉元 (yasu-suzuki@vega.ocn.ne.jp)・島弧深部構造研究グル－プ＊
（＊足立久男・赤松　陽・原田郁夫・飯川健勝・川北敏章・小林和宏・小林雅弘・小泉　潔・久保田喜裕・
宮川武史・村山敬真・小田孝二・小河靖男・佐々木拓郎・鈴木尉元・鈴木義浩・山崎興輔）

（小泉　潔・小松 宏昭［訳］）

要　旨：1983 ～ 2005 年の日本列島及びその周辺地域での地震活動について，日本の気象庁より公表されている 2006 年地震活動年鑑のデ－タに基づいて，筆者等は調査研究してきた．地震活動領域の基底の等深度線を描いた．それらは島弧沿いに直線状に走り，主要方向に垂直あるいは斜交するように方向を変えている．階段状の変位は，ブロック状構造を暗示するような直線状あるいはそれと密接な関係で配置している．

地震活動領域は傾き，かつ突出部（バルジ）からなり，それらのいくつかは薄い平板状の形態を示す．水平方向の地震活動の突出部は，傾斜した突出部の前面に位置している．地震活動の突出部は，マン海嶺，千島海盆，日本海盆，大和海盆，西七島海嶺のような大きな地形単元直下に形成されているようであり，傾いた地震帯に沿ったサブダクションありそうにない．

キーワード：*深発地震，等深度線，地震活動領域，地震活動突出部（盛り上がり？バルジ，seismicity bulge）*

１．はじめに

深発地震の発生で特徴づけられる環太平洋地域は，ジオテクトニクスの観点から地球の深部過程の解明に非常に重要な地域である．それらのおよぶ範囲は，深さ数百 km の構造圏に達する．Wadati(1935) は日本列島及びその近接地域下に円錐状の深発地震分布を発見した．ベニオフ (1954) は環太平洋地域における傾いた深発地震の震源分布を指摘し，それらをスラストによるものとした．世界中で流行しているプレ－トテクトニクスはそれらに従っている．これらは少数の地震デ－タに基づいたものであるということを,我々は念頭に置く必要がある.筆者等は,非常に大量のデ－タを集め，日本列島と近接地域下の地震活動を調査した.

２．日本における深発地震研究史の概略

深発地震の発見以前には，震源深度は地下数十 km と考えられてきた．深発地震は Turner (1922) によって南米で 200 ～ 300km の深さのものが発見され，Wadati(1928) は本州中央部直下で 300km 以上深いところの深発地震の確実なデ－タを示した．Honda (1934) は，日本列島とその周辺地域で主深発地震帯と宗谷深発地震帯を発見した．前者は中央本州を横断する NNW-SSE 方向に走り，後者はサハリンと北海道との間の宗谷海峡を横切る ENE-WSW 方向に走っていた．Wadati (1935) はそれらに気づき，日本列島と近接地域直下の深発地震の等深度線を描いた．これらのコンタ－は，千島－カムチャッカから北西方のアジア方向に傾き，日本海溝からは西方のアジア大陸方へ，伊豆－小笠原海溝から南西方の四国海盆の方に傾いており，それらは形態的に円錐の一部分に類似している．さらに，彼は北西方に傾く九州直下の等深度線を描いた．Wadati & Iwai (1953 &1956), Usami et al.(1958) および Katsumata(1966) は，日本の気象庁が公表しているデ－タに基づいて，日本列島と周辺地域下の地震分布を示し，等深度線は描かなかったものの，類似の地震分布を再確認した．Utsu(1974) は，国際地震センターの 1964 ～ 1972 年のデ－タに基づいて同様の地域下の地震分布を示した．全般的には Wadati(1935) に類似しているが，日本海直下に N-S 方向に直線的に走るような傾向を示す等深度線を彼は描いた．これらの深発地震帯から離れて，いくつかの深発地震が発生することを彼は指摘した．Utsu(1986) は，国際地震センターが公表した 1964 ～ 1983 年のデ－タに基づいて,同様な分布を再確認した．島弧深部構造研究グル－プ (2009) はデ－タを調査し，地震分布を公表した．本論はこの論文の改訂版である．

３．震源分布の空間配置

2006 年に日本の気象庁が公表した地震活動年鑑に基づいて，日本列島と周辺地域下の空間的震源分布が，本論（島弧深部構造研究グループ，2009）に記載されている．このデータには，1926 ～ 2005 年の地震活動が含まれている．筆者等は 1983 ～ 2005 年のデータを綿密に調査した．それは，最新の震源決定方法を適用し，以前の研究よりも統一的に，より正確化するためである．こうして得られた震源が地形図上にプロットされている（図１）．海溝に平行に走り，それから離れる方向に傾く等深度線が図２に示されている．方向変換がある境界付近で急に起こり，傾斜した震源領域が千島，本州，伊豆－小笠原弧及び九州－南西諸島弧に沿って識別される．

a. 千島弧

等深線は全般的に南西部で ENE-WSW 方向に走り，北東部では NE-SW に走り（図２），NW-SE 方向に階段状に数十 km あるいはそれ以上変位している．これらのステップは主要方向に垂直あるいは対角線状に走り，直線状あるいは雁行状に配列している．これらのステップによって切られるブロック状の単元が明確である．地震活動領域の傾斜角は北東で 43 ～ 50°（図３），南西部で 33 ～ 37°（図４）である．地震活動領域はいくつかの突出部よりなる．それらのいくつかは全般に平板状で内陸方に傾いている（図２・３）．海溝の外側に位置するいくつかの突出部は幅が狭く，傾いていない．そしていくつかは Tarakanov (2008) が指摘しているように外側に傾いている．突出部は厚さ 100 ～ 250km であるが，あるものは 50 ～ 100 km である．千島海盆とマン海嶺直下の突出部はそれぞれの地形的な単元に一致する（図１・３）．

ｂ．本州弧

等深線は，一般的に北北東－南南西方向に直線的に走り，西方に向かって深くなる（図２）．それは，西北西－東南東方向に走るほぼ鉛直な面によって，階段状に切られている．そして，それぞれの単元の幅は 100km ～ 200km である（図２）．50 ～ 70km の厚さをもつ水平な平坦部は，海溝の両側に 100 ～ 200km の範囲に広がっている．

傾斜した地震帯の厚さは 50 ～ 200km である（図４）．ス

ラブの傾斜は，一般的に 28° ～ 37° である．平坦で内側に傾いた地震帯には膨らみがある．しかし，海溝付近の膨らみは水平で約 200km の広がりを持っている．

より深部の膨らみは，日本海盆の地形的な単元と符合する(図5)．大和堆は日本海における非地震域である(図1)．

c．伊豆－小笠原弧

この弧には，伊豆－小笠原諸島に加えて本州中央部が含まれる．等深線は，およそ北北西－南南東方向を示し，南西に向かって深くなる（図 2)．地震域は，海溝の内

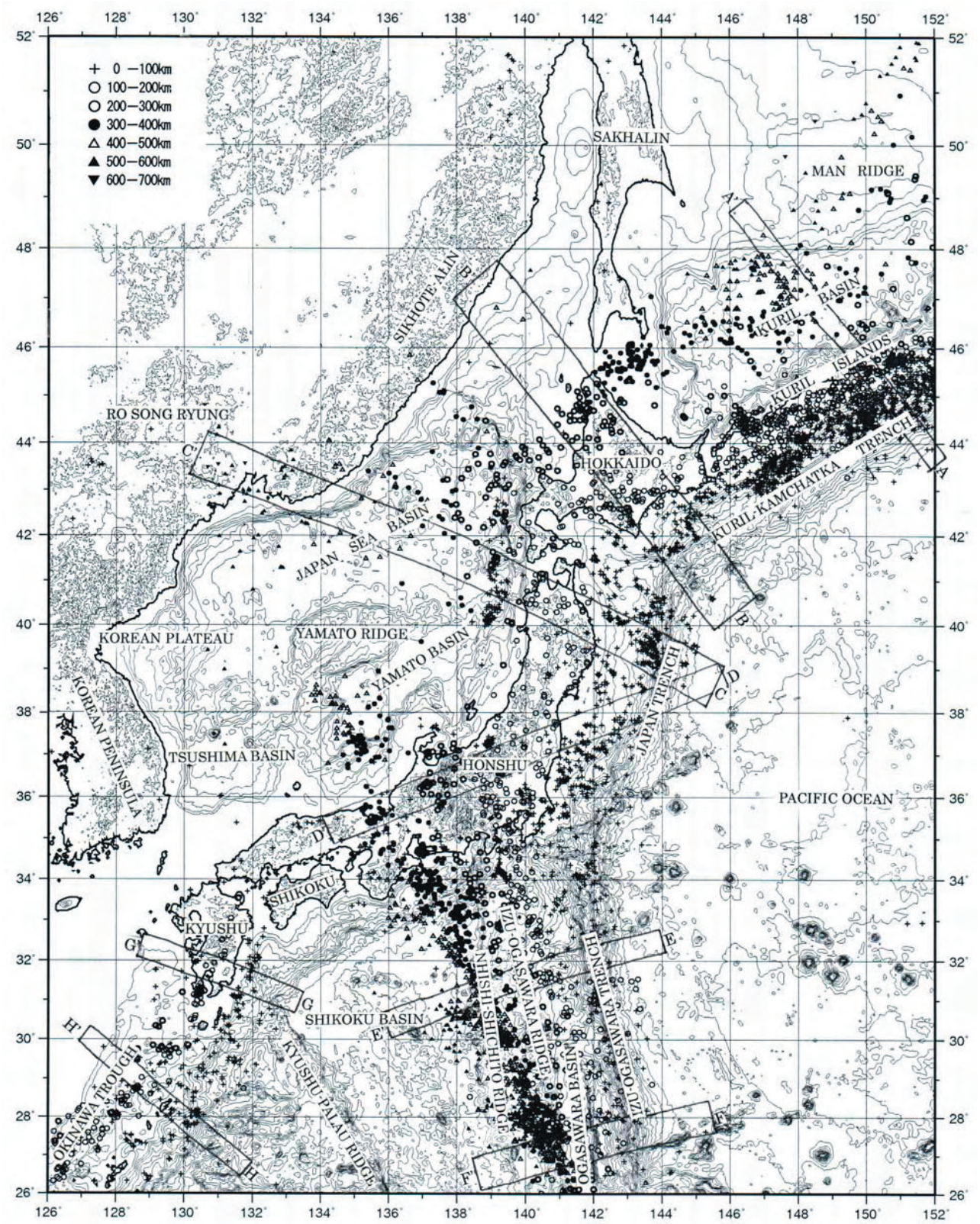


図１　1983 ～ 2005 年の日本列島と周辺地域下の震源分布．Ｍ４以上の浅発地震とＭ５以上の深発地震が図示されている．長方形の線で囲まれている地域における地震断面が次図に示されている．それらはＭ４以上の浅発地震とＭ３以上の深発地震のものである．

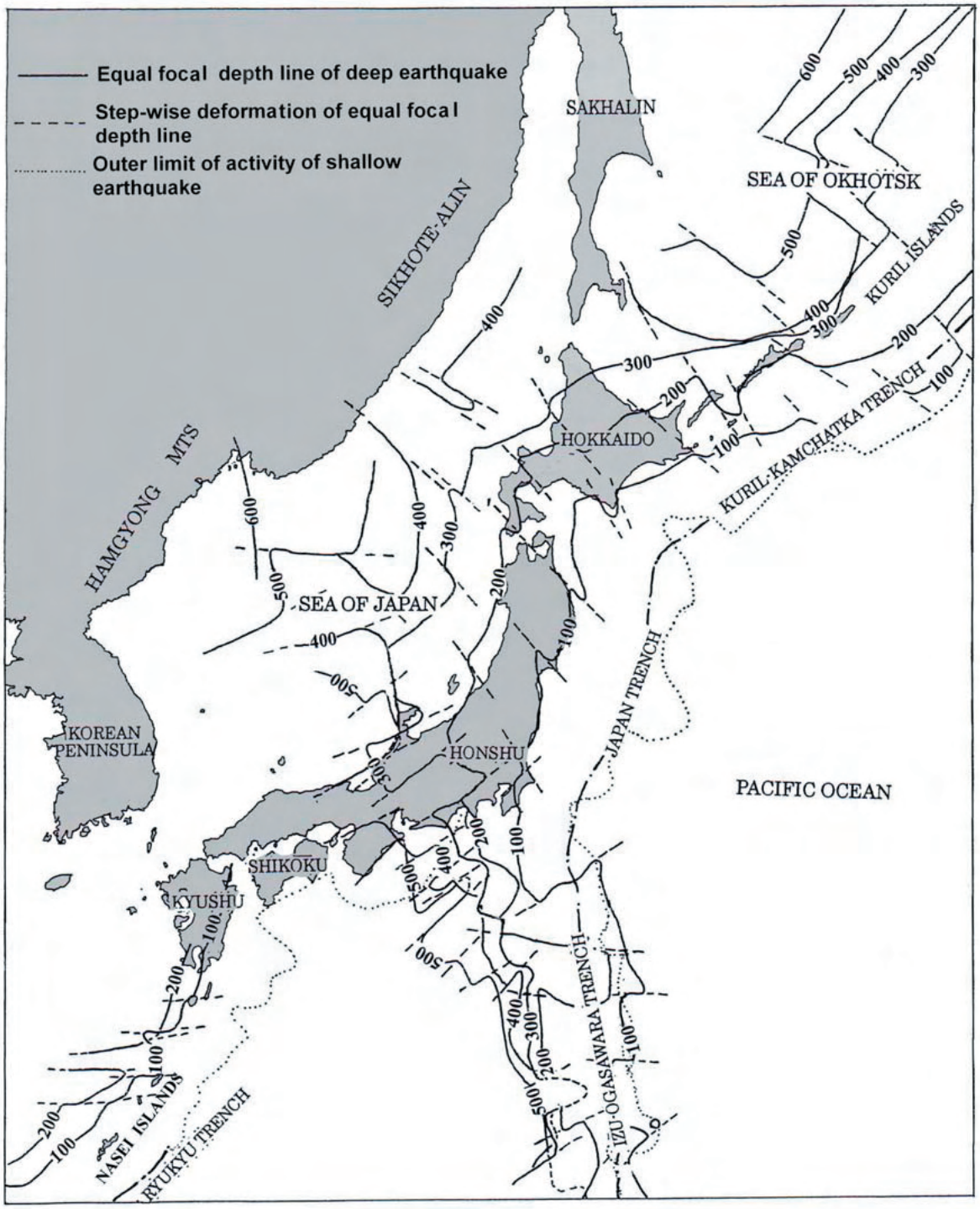


図２　日本列島と近接地域の地震領域基底の深発地震の等深線（km）.

側だけに限られるのではなく，伊豆－小笠原海溝の外側100km かそれ以上の区域に広がっている．そこでは，震源が 100km より深い地震がしばしば起きる．

等深線は，東北東－西北西方向のほぼ鉛直な面によって階段状に切られている．北部の地震活動面の傾斜は 27°～ 50° 程度で西に向かって傾斜を増し，最終的には 70° に達する．この区域の北部では，傾斜した震源域の厚さは 50 ～ 170km であるが，南部では 100 ～ 400km の厚さがある．

震源域は膨らみを持っている（図６・７・８）．膨らみは，伊豆－小笠原弧の北部において形状は薄く平板状であるが，弧の南部では厚くなる．膨らみの厚さは，150 ～ 400km である．西部に位置する深部の膨らみは，西七島海嶺の位置と合致する．

ｄ．九州－南西諸島

北西に傾くこの区域の等深面は北部では北北東－南南西，南部では北東－南西方向に走っている．等深線は，ほぼ鉛直な東西方向の面によって階段状に切られており，そ

れぞれの単元は，この鉛直な面によって幅 40 ～ 100km 程度に区切られる．

地震の発生領域は，傾斜した膨らみの両側に中央の傾斜した膨らみと，ほぼ水平の膨らみから構成される（図 9・10）．震源域は琉球海溝の外側 100km 前後に広がっており，そこでは震源が 100km 以上の地震がしばしば起こっている．

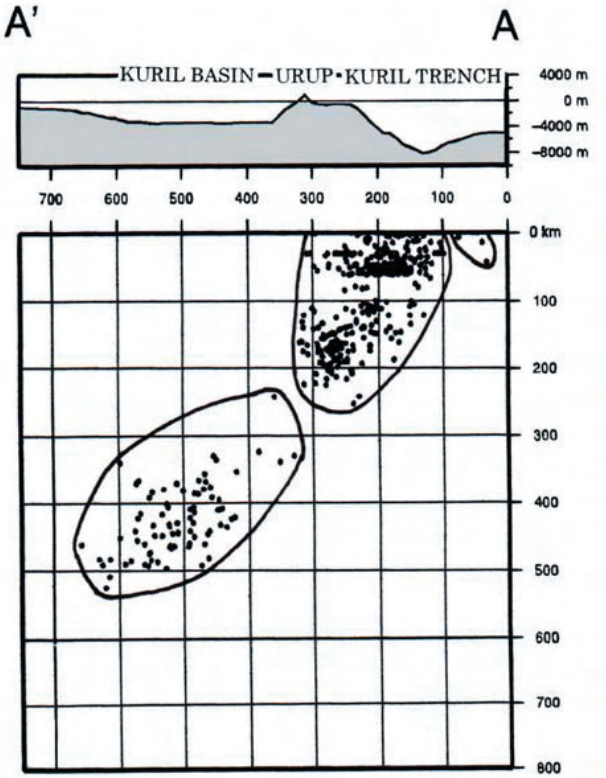


図３　千島列島南西部を北西－南東方向に横断する地震活動断面図.

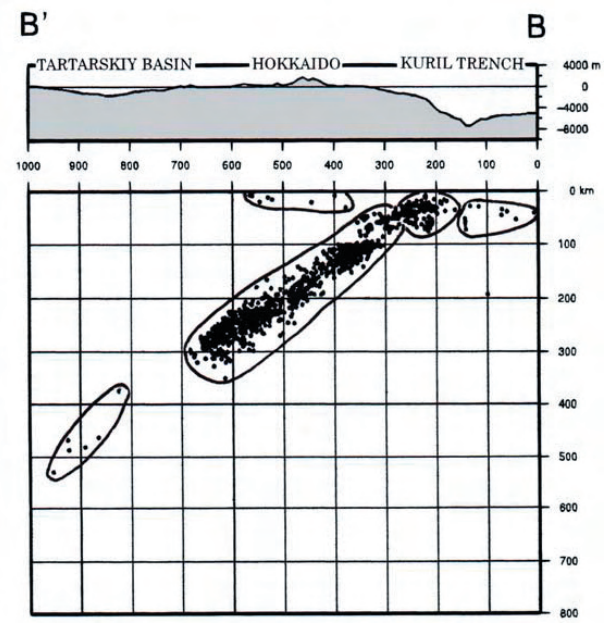


図４　中央北海道を北西－南東方向に横断する地震活動断面図.

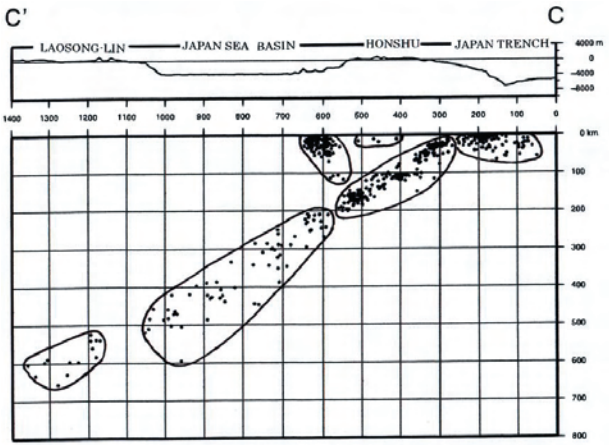


図５　本州東北部を東西方向に横断する震源分布断面図

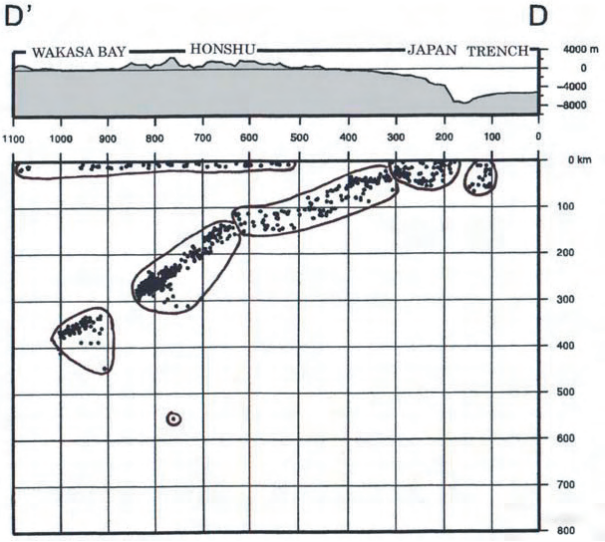


図６　本州中央部における震源分布の東西断面図

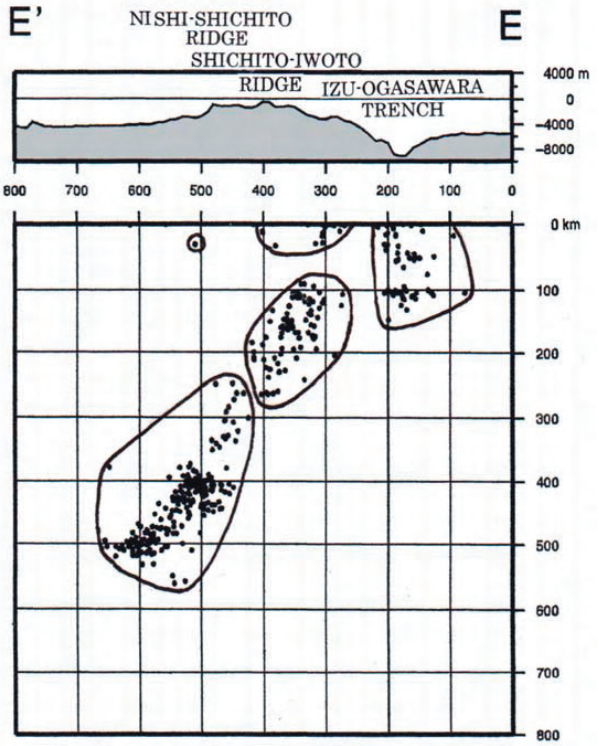


図７　七島－硫黄島海嶺中央部を東北東－西南西方向に横断する震源分布図

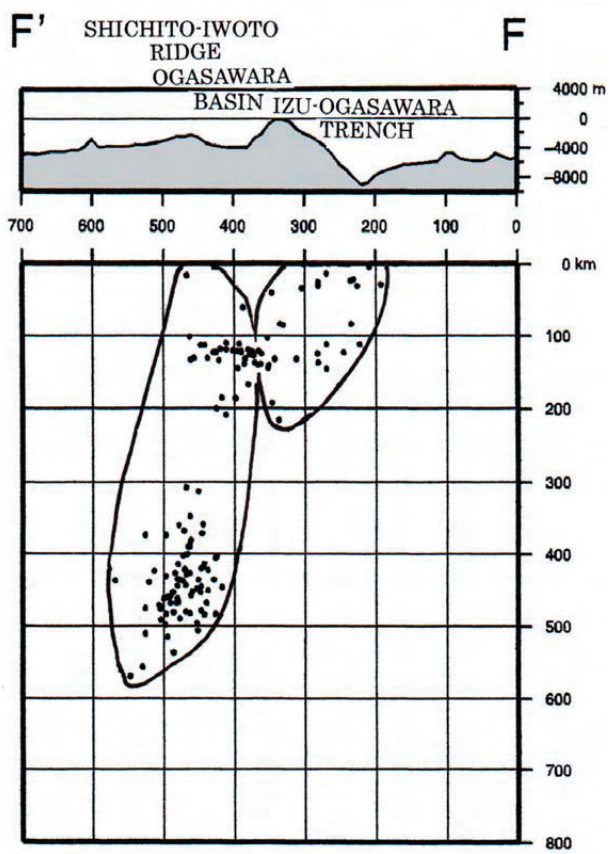


図８　小笠原諸島中央部を東北東－西南西方向に横断する震源分布図

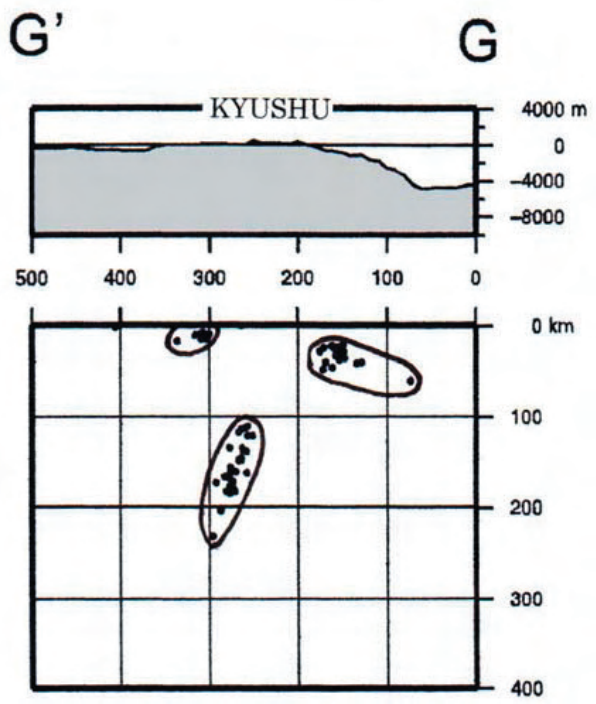


図９　九州南部を西北西－東南東方向に横断する地震分布断面図

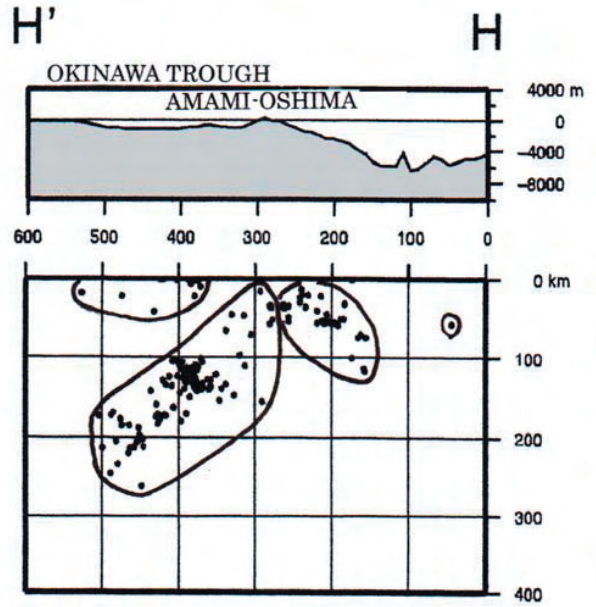


図 10　奄美諸島を西北西－東南東方向に横断する地震分布断面図

傾いた膨らみの厚さは，九州の約 50km を除けば，100 ～ 130km である．水平な膨らみの厚さは，九州での 50km を除けば，100 ～ 130km である．膨らみの傾斜は北部で 60 ～ 66°，南部で 48 ～ 38° である（図 9・10）．傾斜した膨らみは，沖縄トラフに符合する．

４．結　論

地震の等深線が，2006 年に気象庁から公表された 1983 年～ 2005 年のデ－タに基づき，地震発生域の底面に沿って描かれている（図２）．その区域は，千島－本州－伊豆－小笠原弧，そして九州－南西諸島弧に分けられる．前者の島弧は，千島－本州－伊豆－小笠原弧からなり，それぞれの等深線ははっきりしている．等深線の方向は，千島弧では東北東－西南西から北東－南西方向，本州弧では南北，伊豆－小笠原弧では，北北西－南南東である．等深線の方向はそれぞれの境界部で急激に変化する．九州－南西諸島弧での等深線の方向は，北北東－南南西から北東－南西方向である．等深線は，これに直角あるいは斜めに横切るほぼ鉛直な面によって切られている．これらの面によって切られたそれぞれの単元の幅は 100 ～ 400km である（図２）．

震源の分布は膨らみを持っているが，そのうちのあるものは，薄かったり形が平板であったりするものもある．それぞれの区域は，平板は外側では水平であるが，内側では傾斜している．後者は東北日本と中部日本では前者より幅が広い．そして西南日本では，両者とも幅の広さは同じくらいである．屈曲した部分は，海溝付近か海溝の内側に位置する．

それぞれの地域は，（震源の）等深線を直角あるいは斜めに切るほぼ鉛直な面によっていくつかのブロックに分けられる．等深線は，直角あるいは斜めの角度で階段状に切られており，それらの段は直線状か雁行状に並んでいる．そしてそれらの段で分けられた単元は，明確に識別できる．それぞれの単元の幅は一般的に 100 ～ 400km である．段は切られた規模に応じて小規模なものから大規模なものまである．それらの単元は，（地下の）ブロック構造を暗示しているよう思われる．

マン海膨，千島海盆，日本海盆，大和海盆，西七島海嶺，そして沖縄トラフのような地形は，それぞれの地形単元の直下で（震源分布の）膨らみに結びつく．千島海盆と大和海盆の南西部の直下では，（震源の）等深線が厚く深くなっている（図１・５）．地震は大和海嶺の下では発生していない．これらの事実は，地質的な単元と地震とに深い関連があることを示唆している．

環太平洋地域における深発地震の分布から，ベニオフ（1954）は衝上断層仮説を提唱し，プレ－トテクトニクスによるサブダクションモデルがこれに続いた．（われわれが示した）地震の分布はブロック構造を示唆しており，この構造からすると，衝上断層面仮説は適切ではない（否定される）．

宇津（1974）は，気象庁が決定した震源の位置は，アメリカ地質調査所が特定した震源の位置より数 10km ～ 100km 日本列島の外側にあると指摘した．気象庁は，数回に渡って震源を決める方法を修正し，新しい方法を 1983 年から適応している．それ以降，震源位置はそれほど変位されておらず，震源等深線の相対的位置は，日本列島の外側においてもより高い信頼性を得られるようになった．

震源の分布断面を詳細に検討すると，それらは水平面や傾斜面および鉛直な階段によって囲まれているように見える．そして震源の分布区域は，水平面や傾斜面や急な階段によって囲まれたブロックによって構成されている．そうした断面は，千島－カムチャツカ地域で Tarakanov（1975）によって示された（Beloussov, 1975）．この断面は詳細な地震分布を示している．

文　献

Beloussov, V.V., 1975. Osnovy geotecktoniki. NEDRA, Moscow. 262p.

Benioff, H., 1954. Orogenesis and crustal structure - additional evidence from seismology. Bull. Geol. Soc. Amer., v. 65, p. 385-400.

Honda, H., 1934. On the mechanism of deep earthquakes and the stress in the deep layer of the earth ュs crust. Geophys. Mag., v. 8, p. 179-185.

Katsumata, M., 1966. Seismic activities in and near Japan (I)- Distribution of epicenters of earthquakes in and near Japan. Bull. Seismol. Soc. Japan, v. 19, p. 237-245 (in Japanese with English abstract). Tarakanov, R.Z., 2008. Seismic focal zone as a system of deep fault. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 48, p. 61-70.

The Research Group of Deep Structure of Island Arcs, 2009. On the distribution of deep earthquakes in the Japanese islands and surrounding areas_ The minute investigation of the Wadati-Benioff zone. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 63, p. 9-27 (in Japanese with English abstract).

Turner, H.H., 1922. On the arrival of earthquake wave at the antipodes and the measurement of the focal depth of an earthquake. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Geophysical Supplement, v. 1, p. 1-13.

Usami, T., Utsu, T. and Ichikawa, M., 1958. Seismicity in and near Japan, 1926-1956. Geophys. Mag., v. 28, p. 273-289. Utsu, T., 1974. Seismicity in Japan and neighborhoods. Science, v. 44, p. 739-746 (in Japanese).

Utsu, T., 1986. Seismicity in Japan and neighborhoods(Recent information). Jour. Geogr., v. 95, p. 481-488 (in Japanese).

Wadati, K., 1928. Shallow and deep earthquakes. Geophys. Mag., v. 1, p. 162-202.

Wadati, K., 1935. On the activity of deep-focus earthquakes in the Japan islands and neighbourhoods. Geophys. Mag., v. 8, p. 305-325.

Wadati, K. and Iwai, Y., 1953. The minute investigation of seismicity in Japan (1). Geophys. Mag., v. 25, p. 167-173.

Wadati, K. and Iwai, Y., 1956. The minute investigation of seismicity in Japan (2nd paper). Geophys. Mag., v. 27, p. 11-15.

電気的太陽系の中にある地球　THE EARTH IN AN ELECTRIC SOLAR SYSTEM

Louis A.G. HISSINK

Consulting Exploration Geologist, Perth, WA, Australia E-Mail: lhissink@fgservices.biz

（岩本 広志 ・ 矢野 孝雄［訳］）

要　旨：アイザック・ニュートンの時代以来現在まで，地球上において，説明もなしに彼の重力の法則によって科学が記述されてきた．しかし近代産業時代が発展して以来，人間が使う地上，大洋，宇宙空間の様々なエンジニアシステムにおける電気エンジニアも予期せぬ電磁気の挙動を記録してきた．太陽電磁気の結合は，宇宙空間の電気プラズマと電気動力学的に結びついたと考えられている地球上の電気プラズマの学説を最もよく説明している．研究室におけるプラズマ実験とセル内粒子コンピュータシミュレーションを用いて，マクスウェルとローレンツの式が正確に銀河系の形と運動を記載し，プラズマ現象の相似律から，地球上のハリケーンのような他の類似する回転現象の説明を可能にした．この論文は地球の電気的プラズマ環境の傑出した見通しについての短い抄録である．

キーワード：*プラズマ，電気的球体，電気（電力），ビルケランド，天候*

1. 導　入

50年ほど前の小さな本『天文学のライバル理論』がオックスフォード大学出版から出版され，それには地球における3つの支配的理論が記されている：
a）相対性理論（基本的にビッグバンの改良型）
b）定常状態理論
c）電気的宇宙理論（エレクトロニック・ユニバース理論）

ビッグバン理論は，宇宙が幾つかの同じ場所と時間そして現在の状態と同じように広がって出現したと提案する．定常状態理論と電気的宇宙理論は宇宙が常に存在していたことを根拠とする．ただし後者は，見る事のできる宇宙の99%がプラズマ状態にある物質で構成されていて，その中では，重力に加えて電磁力が支配的であると提案する．後2者の理論の支持者の間では大きな不同意は存在しない．しかし両者は，それぞれ相対性理論もしくはビッグバン理論の支持者であって，相互に不和であった．興味深いことに，定常宇宙論と電気的宇宙理論の支持者はそれらの理論に重力を含む．相対性理論の執着者は，物質は電荷をもつという事実にもかかわらず，宇宙全体のどの場所にでも電気力が重要な役割をはたすことを否定する．

1962年7月9日，米国が北太平洋のジョンソン島の上空400kmで爆発させた核装置はプラズマを発生させた．このプラズマは，最初は球状であったが，数分後には線状にのびて人工的オーロラをつくった．爆発に関係する電磁波パルスによって，太平洋一帯でラジオの通信障害が起こり，雷が発生し，観測衛星の電気回路が破損したり，1,400km離れたハワイで発電所の回路に影響があった．このイベントは，地球をとりまく少なくとも2つの強い赤道チューブ，すなわち，人工的バン・アレン帯を形成したことで，世界中に知られた．これらのチューブもしくはプラズマ・トロイドは，強力なサイクロトロン放射線を発生させ，それは，予想よりも長く数100日も持続した（Peratt 2003）．人類は無意識のうちに，何世紀にも渡ってカニ座星雲からのサイクロトロン放射線を観察してきた　――　この放射線が形成されたメカニズムについての知られている唯一のメカニズムは光速に近い磁場中での電子の螺旋運動である(Peratt 2003)．核実験は，最初に考えられていたよりも，地球上の電磁場環境により大きな影響もたらしたことを示唆している．

太陽と惑星の両者の間の作用力としては，現在考えられている重力のみならず，電磁力の効果も強力な影響をもつ可能性がある．特に太陽の挙動は，地球ダイナミクスを駆動していると考えられる．しかし，ビッグバン重力宇宙論には混乱の兆候がある．

意見を異にする科学者たちはAlternative Cosmology Group［別の宇宙論グループ］を結成し，2004年5月22日付のニュー・サイエンティスト誌の宇宙論オープンレターが出版されたことで，おおいに盛り上がった．このレターは，ビッグバン理論が予測と最近の観測の間に基本的矛盾をかかえていることを指摘し，特に「冷たい暗黒物質」モデルは間違いの始まりであり，その場限りの暗黒エネルギーの悪化に過ぎないことを示した．現状に関するもっと詳細な要旨は，別の宇宙論グループのウェブサイトhttp://www.cosmology.infoで参照可能である．

ビッグバン学説に代わる学説はあるのか？　定常宇宙論は，すくなくとも奇跡的な物質の連続生成とともに後景に追いやられ，電気的もしくはプラズマ的宇宙論の考え方だけがとって代わりうる学説にとどまっている．この学説は19世紀に遡る長い歴史をもっている．当時のノルウェー人物理学者Kristian Birkelandは直接的な実験的証拠にもとづいて，極のオーロラは太陽からの荷電粒子によって形成されることを提案した．彼は，地球の電気的挙動をモデル化するために真空中におかれた磁化球の実験を設計した．そして，このような“テレラ（小地球）”実験によって，磁場が磁極に向かって荷電粒子を導くことによって光の輪を形成し，地球のオーロラを模写すると考えられることを発見した．Birkelandのアイディアはそのときは退けられたが，この原理は1960～70年代の衛星によるイオン圏の観測によって確証された．我々は現在このような電流の存在を知っていて，それは，彼を記念してビルケラン流と名づけられ，地球の大気圏外の高度を流れ，総量は数100万アンペアとなる（Peratt，2003）．

テキスト『プラズマ宇宙物理学』の著者Perattによれば，「プラズマは圧倒的多数を占める宇宙の構成物質である．ほとんどの人はまだプラズマに無知であり，今日の地球上での毎日の生活において，蛍光灯からの効果的に冷却されたグローや新しいどこにでもあるプラズマテレビスクリーンなどから，人々はプラズマをもっとも普通に浴びている．プラズマは固体でもなく，液体でもなく，ガスでもなく，限定的には後者に似ている．しかしガスは電気的に中立なので，プラズマはすべての物質を構成している高エネルギー状態の荷電粒子である」という．

プラズマは，中性の原子と分子とともに，イオンと電子の１％を占める．プラズマは，冷却された時だけ，原子や分子―私たちが地球上で見慣れているガス，液体および固体の主要な構成物質―をつくりうる．したがって，宇宙でのプラズマは，全体としては中性でありながら，導電体として存在する．プラズマは電流を運び，かつ重力よりも電磁力により影響される．地球大気圏外では，物質の主要な存在形式はプラズマであり,「空の」宇宙は，プラズマ定常流と電流によってきわめて「活動的」であることが発見された　――　それは，深部宇宙に充満している磁場によっても明示される．

2. ところで,「プラズマ」って何？

スコット(2006)によれば，“原子から1つ或いは幾つかの（バランスした）外殻電子が剥ぎ取られると，我々はその原子がイオン化したと言う．それは正味の正電気的表れで,「＋イオン」と呼ばれる．これとは別に，中

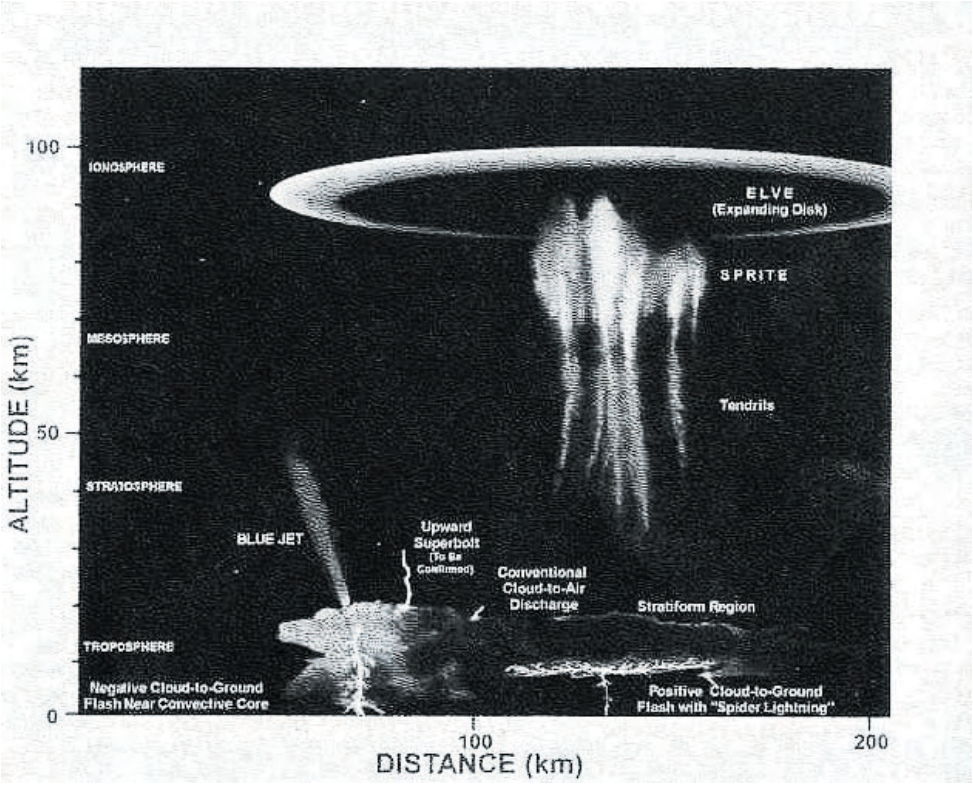


図 1.　気圏と電離圏におけるプラズマ現象

性の原子に外から電子が付け加われば，正味の負の結合で「－イオン」と称される．これらの別種イオン間にはたらく電気力は，重力がつくるいかなる力学的な力よりもはるかに強力である．電気「プラズマ」はイオン雲や電子雲であり，加えられる電場や磁場によって励起されると，発光したり，幾つかの特異な振舞を示す．電気プラズマのもっとも馴染みのある例は，ネオンサイン，雷，電気アーク溶接機である．地球の電離圏はプラズマの例で，可視光を放出しない．プラズマは，我々の太陽系を含む宇宙を透過する．太陽風をつくる粒子雲はプラズマである．我々の「天の川」銀河の全体も，主にプラズマで構成されている．じつに，可視宇宙の 99% はプラズマ状態の物質である．

プラズマ宇宙もしくは電気的宇宙の発達史に関する学説は, Kristian Birkeland の先駆的業績にはじまる．彼は，プラズマ中の電流が捻った螺旋通路をたどることを発見した．この通路は，プラズマによって運ばれる電流密度に大きさによって，可視になったり不可視になったりする．地球上の電気嵐にともなって現れる不思議な「スプライト」「エビル」，そして「ブルー・ジェット」は，地球高層大気のプラズマ中でのビルケラン流の諸例である（図 1）．

20 世紀初頭に, ノーベル賞受賞者 Irving Langmuir［アービング・ランマー］はゼネラル・エレクトリック社の研究所で電気プラズマの研究を行い，Birkeland に創出したプラズマ研究を発展させた．Langmuir はプラズマという名称を最初に用い，電場と磁場に存在するイオン化ガス雲があたかも生きているように自己形成的に振舞うことを記載した．

事実上，現代プラズマ物理学のすべては Hannes Alfvén［ハンネス・アルフヴェン］の貢献によるものである．プラズマに対する電磁場の役割に関する研究において磁気流体力学を発見したことによって．1970 年に Alfvén はノーベル賞を受賞した．しかし，受賞スピーチでは彼の初期の研究を無視するように願った．プラズマ中の磁場は凍っているかもしれないという彼の提案は間違っていたというものであったが，彼の弁解は無視された．

3.　プラズマ中の電流の基本特性

プラズマ放電が起きる場合には，３つの顕著に異なるモードが存在する

3.1 暗黒流モード

プラズマ内部の電流（荷電粒子の流れ）と密度（アンペア /1m^2）は非常に小さい．プラズマは光らず，基本的に不可視である．我々はその「風」あるいは磁場を測定するまで，全く放電を知らなかった．卑近な例は，尖端から放電が優先的に起きる空気イオン化装置である．この装置では，細い針が放電点として使われ，それゆえに空気中のプラズマの放出はいとも簡単に検知される．太陽風は，暗黒流モードでプラズマが流動する別の例である．

3.2 グローモード

電流密度（荷電粒子の流れ）が重要な役割をはたす．プラズマ全体が発光する．発光の明るさはプラズマ流の強度に依存する．例：あらゆるネオンサイン，発光星雲，太陽コロナ，プラズマテレビ．

3.3 アークモード

プラズマ中の電流密度が著しく大きい．プラズマ放射は，

幅広い電磁スペクトルにわたって光り輝く．プラズマ流れは，ねじれたフィラメント状になる傾向がある．このモードをとる例は，電気アーク溶接機，稲妻，太陽大黒点を通して見える半影フィラメントである．

プラズマが発生する３モードのすべてで，プラズマは測定可能な電磁波輻射（ラジオ周波数雑音）を放出する．その期間中は，いかなる時でも，プラズマを励起する電流密度（アンペア /1m^2）がプラズマ発生の特定モードを決定する．プラズマ形成の最初にイオン化するガスの原子構造も，そのうちの１つの要素である．

3.4　二重層

あらゆる電気プラズマのもっとも重要な特性の１つは，自己形成能力，すなわち，それ自身が電気的に他から独立した領域を形成することである．その際の独立壁は，二重層（double layer：DL）とよばれる．室内でのプラズマ研究では，プラズマは，一般に，密閉した円筒形ガラス管（Geissler）に封じ込められる．電極がガラス管の両端に挿入され，１つの電極（陽極とよばれる）は，他端の電極（陰極）にくらべて高電圧状態に保持される．十分な電位差が加えられると，イオン化がはじまり，電流がプラズマを通じて流れる．陽イオン（１つか２つの電子が剥奪された原子）は陽極から離れるように移動し，電子は陽極へ向かって移動するであろう．これらの反対方向への流れの数学的合計が，プラズマ中における全流動になる．

１つの電極からもう１つの電極までの電位差が十分に大きくなると，DL が陰極上のどこかの細い断面中に形成される．DL の一端（陽極側）にできるプラズマは，陽極とほぼ同じ電圧をもつだろう．DL の陰極側のプラズマは，基本的には陰極と同じ電圧になるだろう．プラズマ全体（positive column［正の柱］とよばれる）は，DL によって陰極から電気的に独立する．しかし，全電流はプラズマ全体と同じである（DL の両端において）．プラズマは完全導体ではないが良導体であり，それゆえ，広い positive column を通して大きな電圧低下は起きないだろう．DL は，外部から加えた電圧のほとんどを〝保持〟する．いいかえると，プラズマ中でもっとも強い電場がみいだされる場所が DL である．

もし，外来物体がプラズマ中に侵入すると，その周囲に DL が形成され，物体をプラズマから電気的にシールドする．そのため，プラズマ中に電圧測定探針を挿入してある特定位置の電気的ポテンシャルを測定することが困難になる．これは，プラズマのもつよく知られた特性であり，それを克服するために様々な方法が実験室で開発されてきた．

宇宙では，〝太陽プラズマ中のある地点の電圧を測定するために宇宙船を送る〟ことは不可能である．電圧は(たとえば，速度のような）相対量であり，なんらかの基準をもとに測定するほかはない．ある宇宙船が，地球表面と同じ電圧をもって，打ち上げられる．それが電離圏をぬけて，太陽プラズマに侵入すると，宇宙船の電荷が少しずつ変化し，そのために電圧も変化する．惑星は太陽放電の positive column となっているので，電場はたいへん弱い．そのため，太陽へ向かって電子を吹き流したり，太陽からもたらされる太陽風を加速する能力しか，地球電場はもっていない．

3.5　Z-pinch

電流がプラズマ中を流れるときには，Birkland によって発見されたとおり，コルク栓抜き状（螺旋状）に進み，局所的にとりまく磁場にそって配列した一組のねじれた電流フィラメントを形成する．相互作用をしている Birkland 電流対は，それらの間にプラズマ中のいかなる物質（イオン化の有無にかかわらず）をも挟みこもうとする傾向を示す．これは，〝z-pinnch〟効果とよばれる．Birkland 流が非イオン化物体をもとらえて挟み込む能力は，〝Marklund 対流〟とよばれる．

3.6　宇宙規模のプラズマ中の流れ

プラズマは良導体（完全導体ではないが）であるため，電流を運ぶ金属線とおなじ能力をもつ．異なる密度，温度あるいは磁場強度をもつ宇宙プラズマ包の間の相対運動は，電流を発生させるだろう．これらの電流は，逆に，自らの磁場をつくるだろう．

3.7　プラズマ現象のスカラー性

プラズマ現象は測定可能である．すなわち，それらの電気的および物理的特性は，プラズマ規模にかかわらず，同じである．もちろん，力学現象は，いわば銀河サイズのプラズマ中よりも，小規模な実験室プラズマ中でははるかに短時間でおきる．しかし，この現象が同じ物理法則にしたうことは是認される．したがって，私たちは，実験室内で宇宙規模のプラズマの正確なモデルをつくることが可能である．事実，電流がプラズマ中を流れると，観測された天文現象のほとんどが生じることが示された．これらの現象は，宇宙のなかで働いている力が磁力と重力だけであると仮定したのでは説明できない．Alfvén によると，プラズマ現象は 10^9 の桁の３段階のジャンプを経て大規模化する．それには，大規模構造と星にエネルギーを供給している核力を決定する重力と電磁気力の組み合わせもかかわっているだろう．

4.　宇宙規模のプラズマ中での銀河の形成

Anthony Peratt 博士は，ワシントン DC にある合衆国エネルギー局の元科学アドバイザーであり，Los Alamos 国立研究所の副研究室長の１人である．彼は，ノーベル賞受賞者である Hanns Alfvén の最初の大学院学生であった．彼は世界的に有名な電気工学研究者であり，E.J. Lerner が 1991 年に出版した著書『ビッグバンは起こったことがない』の中に，銀河形成のスーパーコンピュータシミュレーションを含む彼の研究を刊行したことで，初めて名が世に広く知られるようになった．1986 年までに彼は専門的力量を十分に蓄え，1986 年 12 月の IEEE Transactions on Plasma Science (v. PS-14,

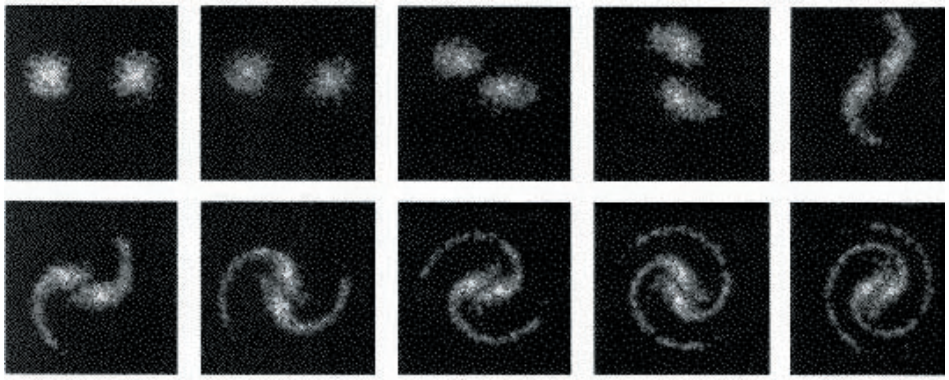


図２．渦巻き状銀河のPICシミュレーション.画像の明瞭さのために，中心部におけるプラズマの膨らみを除去（Scott, 2007, p. 67).

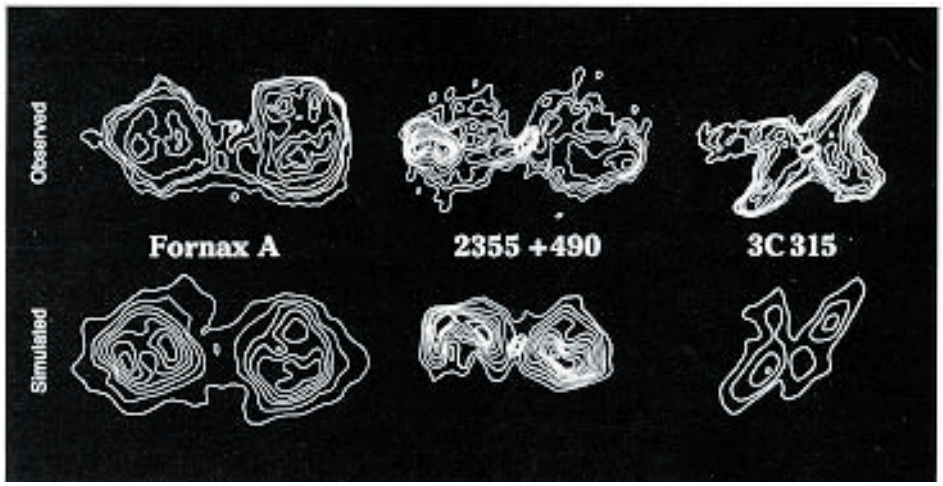


図３．PICシミュレーションと観測された銀河形状（Scott, 2007, p. 67)

no. 6）では客員編集者として招かれた．その号に，彼は，次の２つの論文を提出した：「プラズマ宇宙の進化：Ⅰ．二重電波銀河，クエーサー，銀河外ジェット；Ⅱ．銀河システムの形成」．彼は，電気－電子技術研究所の管理委員会の委員に任命された．彼が編集したIEEE Transactionsの該当号には，彼の指導者であるHanns Alfvénの２編の論文も含まれていた．さらに，天文学者Halton Arpをはじめ，先端的なプラズマ科学者・技術者の多くの論文も掲載された．それは，電気／プラズマ宇宙の根本問題を集めた将来の発展の基礎となる出版物である．その大半は，天文学に興味をもち，ある程度の基礎知識をもつ一般の人々にも理解できるものである．工学系の整備された図書館であれば，いずれでも入手可能である（Scott, 2006).

Perattは，Maxwell-Lorentz方程式（電場と磁場の相互作用と，それらによって生じる力を支配する基本法則）を荷電粒子の巨大な３次元効果に適用するために，スーパーコンピュータを利用した．彼は，それを，Particle in Cell（PIC）シミュレーションとよび，その結果（図２）は，次の図３および図４に示されるとおり，実際の銀河の天文学的画像と区別できないほどである．（図示されたPICシミュレーションはプラズマの大規模な膨らみを示すものであり，プラズマの膨らみは，このシミュレーションの幾何学的中心部に回転楕円体として発生した．癒着領域が不鮮明になるために，プラズマの膨らみは除去されている.）

Perattは，続けて，教科書「プラズマ宇宙の物理学（Springer-Verlag, 1992）を出版した．これは，プラズマの挙動を支配する物理学の数学的法則を著した最新の著書であり，宇宙の近代的研究においては，いずれの場合にも，電気的効果を無視できないことを根本的に議論したものである．

4.1　Peratt不安定

Perattの最新のもっとも重要な発見はプラズマ不安定であり，この現象には彼の名誉を讃えて命名された．それは，プラズマトルク，z-pinchプラズマフィラメント，あるいは，高エネルギー密度放電にみられる強いBirkeland流やアーク放電でおきることが観測されている力学効果である．この不安定は，破壊までは準安定状態にある軸対称のコマ形あるいは球形をした柱状形状で出現する．準安定状態では，柱状部分は強いX線源となり，その強度は２つの電流フィラメントが相互作用すると著しく強められる．この不安定は，強力なプラズマトルクや高エネルギー密度プラズマの陽極と陰極の間で見いだされるような激しい蛇行運動によって鋸歯状を呈する（Peratt et al., 1980).

プラズマ宇宙ならびに実験的研究者について学ぼうとする初学者にとってさまざまなウェブサイト情報が存在し，これらのあらゆる考え方の基礎になった基礎的科学論文をダウンロードすることができる．それは宇宙の電気的特性に関する興味深い情報の宝の山であり，次のウェブサイトで入手できる：http://public.lanl.gov/alp/plasma/universe.html.

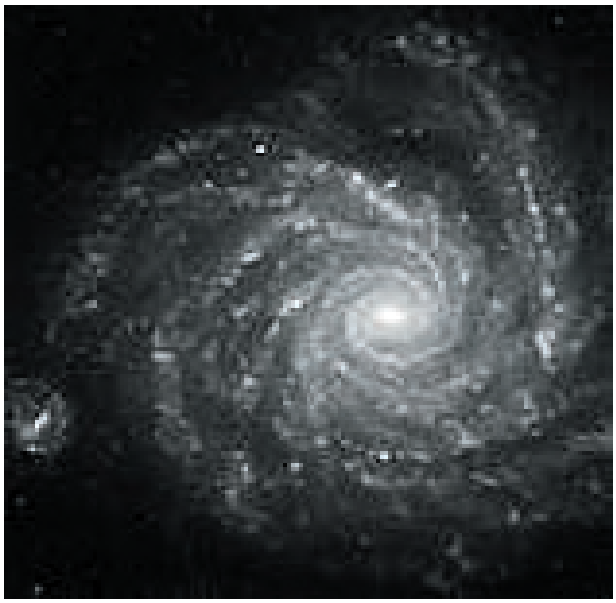


図４．典型的な渦巻き銀河

5.　関係　Conection

5.1　太陽

太陽は天の川銀河では重要な星ではなく，私たちが住んでいる惑星は太陽系の一部である．数年前，Kristian Birkeland は次のように断言した.「この物体をみる私たちの観点にしたがうと，この宇宙のすべての星は，誰も想像できない強力な電気力の活動の舞台であり，場でもある.」Birkeland は，星が，そして，私たちの太陽も，本質的には電気的現象であると考えたのである.

しかしながら，太陽の標準的モデルは，エネルギー源は内部にあり，太陽のコアが長時間にわたってゆっくりと燃焼する核融合炉であると想定する．しかし，プラズマ学説の支持者たちは，観測結果はこのような標準的太陽モデルを確証できないことに注目し，別の簡潔な説明が可能であると考える．しかしながら，電気的星仮説は決してうけいれられず，現状では，私たちは，太陽は構造があまりよくわかっていない複雑な天体であると言うことができるだけである．現行の学説にしたがうと，太陽は核融合エネルギー源にともなう重力によって活動していて，観測された磁場に応答するであろう放電粒子，活動的な黒点とコロナ，などの複雑な熱輸送メカニズムを備えている.

標準的太陽モデルは，太陽黒点を説明できず，また，予期することもできない．光球から遠ざかる方向での太陽温度断面は，コアからの距離が増大するにつれて温度が低下する核融合コアにもとづく仮定と矛盾する．この温度断面，もしくは，温度勾配は黒点の内側から始まる．太陽黒点は，太陽表面あるいは光球（約 5,600 Kelvin）のなかで低温のところに位置する．太陽温度は，太陽表面よりも 600km 上では約 5,000 Kelvin まで下がるが，不思議なことに，約 2,000km 上方では 10,000 Kelvin まで上昇する．そこは遷移帯になっていて，コロナ基部では温度が急に 200 万 Kelvin まで上昇し，太陽からより遠くなるにつれて上昇しつづける.

太陽のような高温天体で最低温度が光球直上に位置する理由は，標準的核融合モデルでは容易には説明できないが，電気的モデルでは直裁的に説明される．この問題の解明は，太陽のエネルギー源が外部に存在することを実感させ，地球の同様な大気温度勾配が外部エネルギー源の結果であることと同様である.

5.2　地球

地球は，宇宙のプラズマ中に浮かんだ荷電球であると考えられる．それは,複雑なプラズマ二重層(DL)によって，宇宙環境から電気的に独立している．それをモデルとして表現するのに最良の電気製品は，漏電しやすい蓄電器である．地球の場合，電離層が陽極であり，地球そのものは陰極になっていて，地球と宇宙空間の間での電流の漏電は，雷や激しい嵐といったさまざまなかたちで出現する．二重層（DL）中には強い電場も存在し，そこでは，上方へ直線 1m あたり最低 100 volts の電位差が存在する.（この電気ポテンシャルは，地球とそれを取り囲む太陽系の著しく活動的な電気プラズマによって維持されている.）

地球と太陽の間には電流の定常的な流れが存在し，極圏から侵入した後，電離層を流れ，他の極圏から太陽へ帰る．通常，このプラズマ流は暗黒モードをとり，見ることはできない．しかし，太陽電流が増大すると，壮大な可視オーロラの活動が極圏に発生する．Peratt が最近の論文に記述したように，これらのオーロラ極電流は，かつて激しい議論の対象になったことがあるが，今日では Birkeland 流として認識されるようになった．現在運行中の衛星によって日常業務として測定され，全体では数 100 万アンペアの規模になる(Peratt の前掲書)．それは，気候研究において完全に無視されているエネルギー源である.

最近，NASA は THEMIS 衛星によって，地球が磁力束の線または綱によって太陽と連結されていることを発見した．今日では，高校物理を少し理解している人はだれでも，電流があれば磁場ができることを知っているので，これらの磁力束の綱が，地球と太陽を結びつけている Birkeland のねじれた電流であろうと考える．私は,「磁場の入り口が太陽と地球を結びつけている」と題された 2008 年 10 月 30 日付 NASA 発表の冒頭部分を，以下に引用する.

あなたがこの記事を読みおえるまでに．最近まで多くの科学者が信じていなかった大きな変化がおきるだろう．磁場の入り口が開かれ，それは，地球と 9300 万マイルを隔てた太陽を結びつけている．厖大な高エネルギー粒子がこの開口部を通じて，それが再び閉じるまでの間に流入するであろう．開口部が閉じるのは，あなたがこの記事を読み終えるまでの時間くらいである.「それは流入運搬事件［flux transfer event：FTE］とよばれ

る」，と Goddard 航空宇宙センターの宇宙物理学者 David Sibeck はいう．「10 年前，それらは存在しないと確信されていたが，今では，証拠がくつがえされることはない．」実際，今日，アラバマ州 Huntsville で開催された 2008 年プラズマワークショップという宇宙物理学者たちの国際会議で，Sibeck が「FTEs はただ普通に起きるのではなく，だれもが想像してきたよりも，おそらく２倍ほど普通に起きている」ことを発表する．

有力な友人をうることはすばらしいことだ，と彼らは語る．

6.　太陽と地球との連結を示す証拠

近代工業化時代の到来以来ずっと，陸上であろうと，海中であろうと，そして，宇宙であろうと，人類が利用しているさまざまな工学系において，電気工学には予期しない挙動が発見されてきた．衛星故障，携帯電話の不通，電源効率の低下は，よく知られている一般的事例である．今日では，これらの不具合は太陽に起因することを，電気工学研究者たちが確認している．すくなくとも 10,000 件の事例が地球から約５AU（天文単位）の彼方で起きたことが，Ulysses 宇宙探査機によって確認された．「これらのモードは磁気圏，電離層，地球磁場および大気圧を関連づける．太陽電波望遠鏡と海底ケーブルへの誘導電流から得られたデータの冪乗スペクトルの見積もりは，光学的に測定された太陽 p-mode よりもより低周波帯およびより高周波帯での太陽モードを示しているようである．たいへん驚いたことに，これらのモードは地震データによって容易に検出され，そこでは，それらが地球を震動させているかのようである」(Thomson et al., 2007).

6.1　地震データ

地震データにみられる低周波常時信号（地震ハムとしてよく知られている）は，海洋波浪に由来すると一般に考えられてきたが，Thomson et al.（前掲書）は，この仮説は観測される高 Q のピークを説明できず，明らかに太陽モードであることを指摘した．しかし，海洋由来仮説が地震ハムと振幅との間によい対応がみとめられ，宇宙天気がふつうにいう天気を駆動していることを意味する (Thomson et al., 前掲書, p. 1122).

電気－プラズマ宇宙学説は，地球気候を，地球とその空間環境との間の接合面のプラズマ作用による物理的挙動とみなす．そして，それゆえに，宇宙天気が地球天気を駆動したとしても驚くことはない．

6.2　ハリケーン，サイクロン，および dust devils

Peratt のシミュレーションを，渦巻き銀河以上の規模と，地球規模のハリケーンあるいはサイクロンと比較してみて，もし相似性があれば，共通の力学が存在することを示唆する．コンピュータシミュレーションでは，Birkeland 電流が宇宙プラズマ中で回転する渦巻き銀河を発生させる．すなわち，電流が，重力とともに，渦巻き形状の形成に貢献していると考えられている．したがって，渦巻き銀河は Faraday あるいは均一極モーターのメカニズム（図５）で説明されるかもしれない．

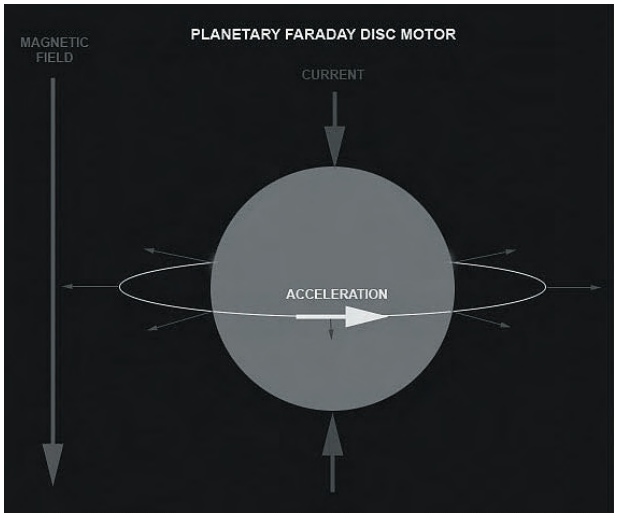


図５．惑星の均一極モーター

より局所的規模では，赤道帯のハリケーンやサイクロンがわずかに暖かい海洋上で発生し，生命を危険にさらす嵐に発達し，着地部で甚大な破壊をもたらす．２，３のハリケーンの航空機による電場観測によると，10,000 volts 以上の電場を形成するとみられる．しかし，それは，これらの巨大電場を形成する空気塊の回転である，と一般には思われている．しかし，これには１つの問題がある．これまでに，回転する空気から実験的に電気や電場が形成されたことがない．したがって，サイクロンがそれらの渦巻き運動から電場を形成するとの結論は，おそらく誤りである．むしろ，電流が，円運動もしくは渦巻き運動を行っているハリケーン，サイクロン，そして台風の駆動力になっているのであろう．

もうひとつの通常の気象現象は竜巻である．竜巻を形成にかかわる最新の〝説明〟は，国家気象サービスの出版物によると，次のようにまとめられる．

ステージ１：雷嵐に先立って，雲の高さの増大とともに風向の変化および風速の増大が，下層大気中に目に見えない水平渦動運動を発生させる．

ステージ２：雷嵐の中の上昇大気が，回転している空気を水平から鉛直へ傾ける．

ステージ３：2～6 マイル幅の回転領域が，このステージには，嵐の中で拡大する．もっとも強力で激しい竜巻は，この強く回転する領域に発生する．

ステージ２からの移行には，小さな問題がある．ハリケーン形成の標準モデルも同様の問題を抱えている．海面ではサイクロン運動がない状態からハリケーンを特徴づけるサイクロン運動にいたるたいへん不思議な遷移が，その問題である．

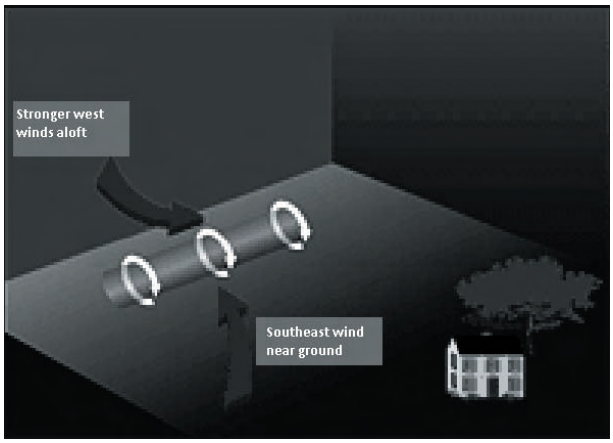


図６．ステージ１

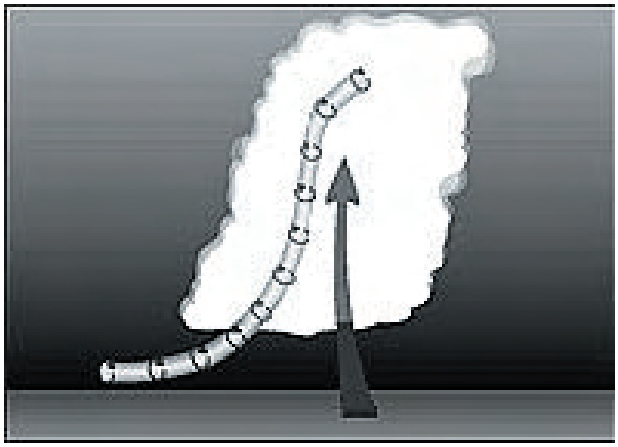


図７．ステージ２

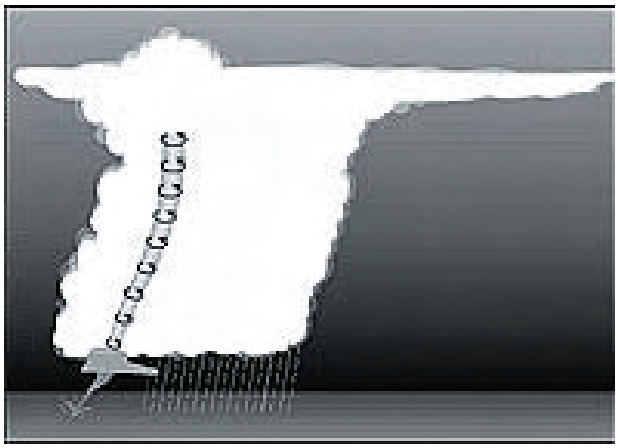


図８．ステージ３

小規模な場合には，dust devils あるいはつむじ風（図９）が 10,000volts/m 以上の強い電場をもち，磁場もあわせて形成することが知られている（Renno et al., 2005）．磁場は電流によってのみつくられるので，暗黒プラズマモードで働く小規模なねじれた Birkeland 電流が，土をまきあげた dust devils を駆動するエンジンになっているようだ．より大規模になるときには，より小規模な駆動力が赤道帯のサイクロンやハリケーンを駆動できるだろう（http://science.nasa.gov/headlines/y2006/09jan_electrichurricanes.htm：図 10）．

図９．つむじ風

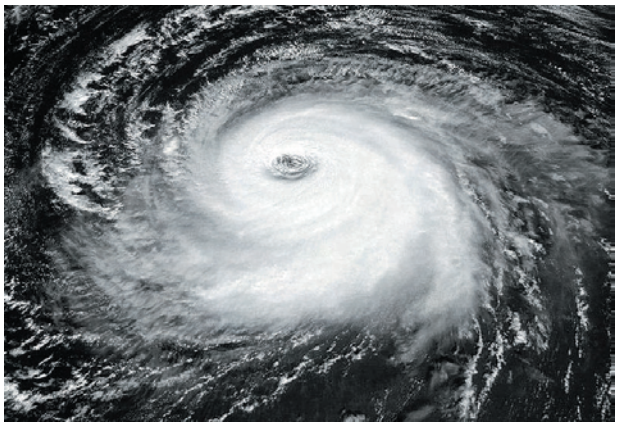


図 10．ハリケーン Kate

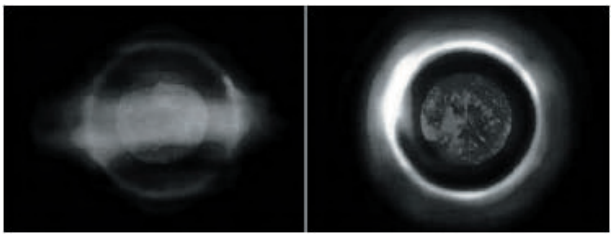


図 11．SOHO による太陽 torus 画像

6.3　見ることができないプラズマ環

地球および太陽ともに，赤道域のまわりに電磁気環が存在する．SOHO 探査機によれば，図 11 に示された紫外線探査結果にもとづいて，太陽の電磁気環が撮影された．それは，Birkeland の Terella 研究室において実験的につくりだされた磁気環に類似する．地球のみならず太陽もまた，外部エネルギーで駆動されているのである．もしそうだとすると，核融合の複雑な挙動が太陽のエネルギーを供給していることを信頼している現在の説明よりも，太陽黒点のはるかに根本的説明がもたらされるであろう．

図 11 の左側の画像は太陽を側面から見たものであり，右側の画像は極方向からの SOHO 探査機が撮影した紫外線画像である（地球における相当物は，Van Allen 帯である）．

Kristian Birkeland による Terrella 実験の観察（図 12）は，terrella［小地球］をとりまく EM 環から真空

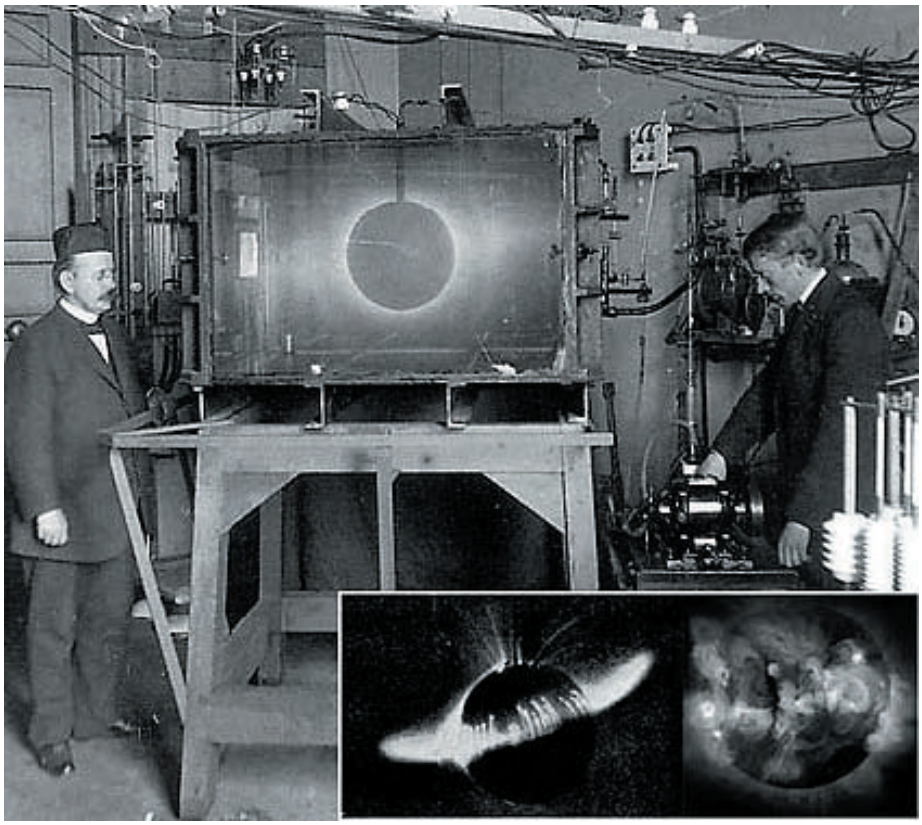


図 12. Kristian Birkeland（左）と彼の Terella 実験．左の挿入図はモデルに形成された太陽黒点，右の挿入図は実際の黒点の紫外線画像．

中におかれた磁化された金属球へ放電を行うものであった．その結果は，電流の増大が，環から terella への放電をひき起こし，その赤道から緯度方向へ上下運動をもたらすことを示す．これは太陽の黒点，ならびに，地球のハリケーン，サイクロン，あるいは台風によく似ている．これらの巨大な破壊的嵐は，太陽輻射によって地球の海洋表面が熱的に暖められ，コリオリ力も加わって発生したのではなく，地球の赤道帯付近に電流が流れ込んだために発生したことを意味するのではないだろうか？

7. 結　論

この論文では，短縮を要するために，私たちが知っているすべて，そして，プラズマ宇宙の挙動とその中における地球の役割について私たちが知らないさらにはるかに多くのことがらをまとめられなかった．合理的に解明されたことは，地球の地球物理学的挙動は，もはや，太陽系の残余の部分から独立しているとはみなせないことである．そして，その意味する所によると，プラズマ宇宙学説が示唆するように，私たちが相互に連結された電気あるいはプラズマ宇宙に生きているということである．もし，太陽と太陽系の他の惑星に沿って，巨大な銀河系電気回路の一部として地球が存在することが事実であれば，現在の地球物理学的および気候学的諸現象における重大な難問は，これまで考えられてきたよりも，ずっと簡単に説明されるであろう．

太陽黒点と地球のハリケーンやサイクロンとのきわだった類似性は，それらの間に共通のメカニズムが働いていることを示唆する．宇宙天気が地球の気象を駆動しているのと考え方は，Thomson et al. のデータから明白であり，次のような現実的可能性を示す．すなわち，地球の気象，ならびに，地球とプラズマ宇宙との境界における物理的挙動は，太陽からのみならず，それ以外からの電気的刺激も加わって外部から駆動されている，という可能性である．これらの電気的刺激は，現在のところ，地球近傍宇宙における衛星観測および地球上での観測だけから認定されているものに限られる．

太陽は地球を駆動する．そのほとんどは，私たちが習ったことのない様式をとっていて，プラズマ宇宙に関する最新のプラズマ物理学の諸原理にしたがう．

文　献

Peratt, A.L., 1991. The Physics of the Plasma Universe. Springer-Verlag.

Peratt, A.L., 2003. Characteristics for the occurrence of a high-current, Z-pinch aurora as recorded in antiquity. IEEE Transactions on Plasma Science, v. 31, p. 1192-1214.

Peratt, A.L., Green, J. and Nielsen, D., 1980. Evolution of colliding plasmas. Physical Review Letters, v. 44, p. 1767-1770.

Renno, N., Atreya S., Koch J. and Yana, C., 2005. Electric dust devils and dust storms. Geophysical Research Abstracts, v. 7, 2005-02197.

Scott, D.E., 2006. The Electric Sky. Mikamar Publishing, Portland Oregon.

Thomson, D.J., Lanzerotti, L.J., Vernon, F.L. III., Lessard, M.R. and Smith, L.T.P., 2007. Solar modal structure of the engineering environment. Proceedings of the IEEE, v. 95, p. 1085-1132.

南西太平洋の海水準は安定している
SEA LEVEL IN THE SOUTHWEST PACIFIC IS STABLE

Cliff OLLIER
School of Earth and Environment, The University of Western Australia, WA 6009, Australia
cliffol@cyllene.uwa.edu.au

（柴　正博［訳］）

要　旨：南西太平洋の 12 ヶ所での海水準のグラフは約 10 年間この地域全体で海水準が安定していることを示している．そのデータは他の場所での結果と比較され，そしてそのすべてが世界的な海水準のどんな上昇も取るに足りないことを示している．サンゴの形成に関するダーウィンの説とギュヨーの沈降の考えは，実際に起こっているよりも多くの陸地の沈降と外見上明白な海水準の上昇を我々が見るべきであることを提唱している．海水準については，非常に長い間研究が行なわれてこなかった．しかしそれらは，スカンジナビアのアイソスタティックな回復のような大規模な地質構造的要素をもたらすことができる．モデリングによるデータ操作のいくつかの試みによって示される驚くべき海水準上昇速度（喧伝されている地球温暖化と結び付けられる）は，主要地域のデータによっても，そして，世界的なデータによっても支持されない．モルディブ諸島，ツバルとオランダのようにしばしば沈水することについての重大な危険があると言われる場所でさえ，安全であるように思われる．
キーワード：*sea level, islands, Pacific, modeling, climate alarm, tectonics*

もしあなたが「ツバル」を Google で検索すれば，あなたは差し迫った悲運のメッセージを受けとるだろう．そしてそれにもかかわらず，利用可能な最も良い実際のデータは，ツバルを含めて島々が沈んでいないことを示している．もちろん気候警告者たちは彼らがそうすることができるかぎりの長期間，この本当の情報を文献から遠ざけるだろう．

ハワイ大学によって運用されている海水準を測定する潮流計器が 1977 年からツバルに存在している．それは 20 年にわたって 1 年に 0.07 mm だけの取るに足りない増加を示している．1995 年と 1999 年の間にそれは 3 mm 低下した．計器は 1999 年に撤去された．新しい設備が 1991 年にオーストラリア気象局の国立潮汐センターによって設置され，そしてアデレードのフリンダーズ大学によって運用された．図 1 に示されるように，計器は多くの島々に位置している．それらは図 2 で示すように近代的な精巧な装置で，SEAFRAME（Sea Level Fine Resolution Acoustic Measuring Equipment）と呼ばれる．グローバルポジショニングによって一定の位置におかれた鉛直円柱に海水が入り，そして海水準は水面からの音波が跳ね返える時間を計測することによって得られる．それはすべて自動的に記録され，オーストラリアに送信される．

結果は図 3 に示される．水準は ENSO（しばしば単純化されてエルニーニョ現象とよばれる El Nino-Southern Oscillation）の効果のために，観測開始時には不安定であったが，およそ 2001 年からツバルを含めて調査されたどの島々の海水準も重要な変化がなかった．

図 1 で示されたすべてのステーションで海水準の変化を示さないことから，それは観測地点の間での差別的な地殻運動がなかったことも示す．もちろん測定期間は地質学的時間と比べて些細であるが，結果は特にインドネシアあるいはカリフォルニア地域の一部のような造構的に活発な海岸において，この技術はもっとずっと多くの重要な利点を持っているかもしれないことを示唆する．もし我々が世界的にデータをとれれば，我々は差別的な地殻運動の地域を識別することが可能になるかもしれない．モルディブ諸島のような，気候警報の他の論争の的である「熱い地点」においてそのような観測地点を持つことは同じく価値がある．ある人は観測地点の数が急速に増加するであろうと希望したかもしれない．不幸にも，観測地点は海水準の上昇を実証するために設置された．彼らがそのことに明らかに失敗したとき，運用がとりやめられたようだ．

それを説明する

図 3 に示された結果は一度も「対等者により査読される」雑誌で発表されたことがない．それらはオーストラリア気象局のウェブサイト上の「表題がない」一連の月刊報告書の中で唯一利用可能である．最近のものを参照：http://www.bom.gov.au/ntc/ID060101/ID060101.200809.pdf

Vincent Gray は彼のニュースレター，NZCLIMATE AND ENVIRO TRUTH NO 181 2008 年 8 月 13 日で，海水準上昇の警告を支えるために何がされなければならなかったを説明し，またそれは John R Hunter の論文によってなされたことである：http://staff.acecrc.org.au/~johunter/tuvalu.pdf

Hunter はツバルの海図に最初に線形の海退を適用した．彼は 1 年に -1.0 ± 13.7 mm 海面が変動していること，つまりツバルは実際に上昇している！ 誤りは，始めにされた ENSO のばかげたことに完全に帰せられる．彼は

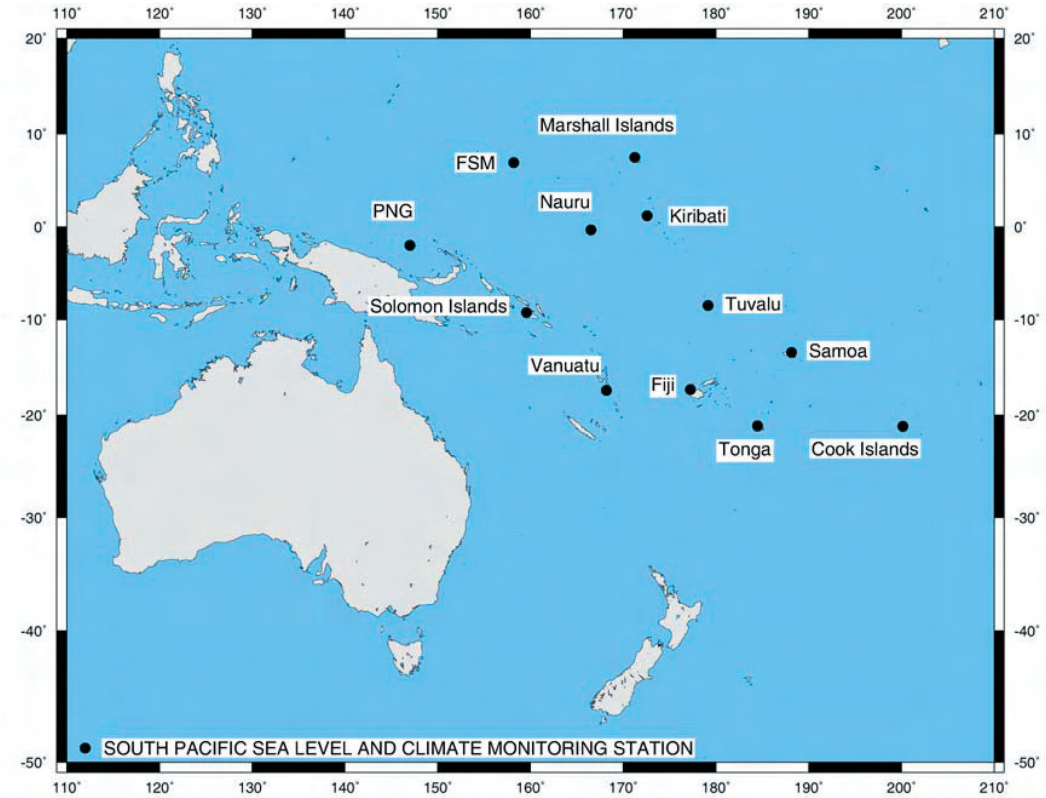


図１　海水準観測地点および位置

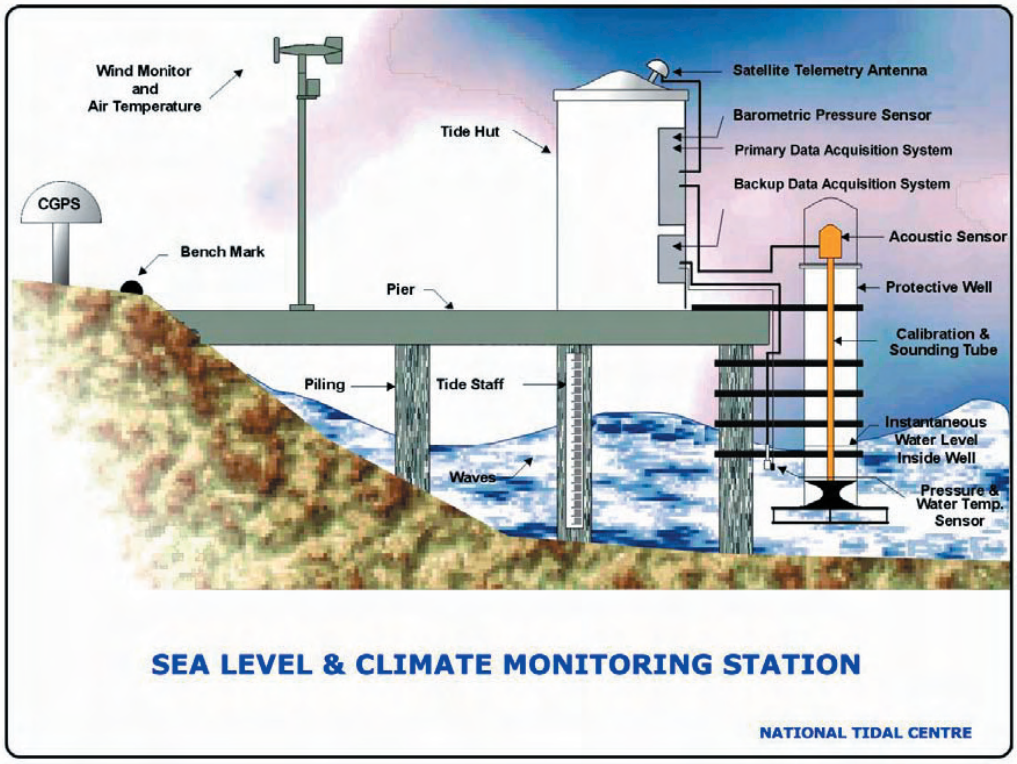


図 2　SEAFRAME 海水準観測装置の主要特性

そして，良くない装置でなされた古い測定値を編入して，位置の誤差を修正すべく試みた．彼はツバルでは年に 0.8 ± 1.9 mm と「用心深い」見積もり出した．彼はそれから彼自身の満足のために ENSO を削除しようとして，今彼の「それほど用心深くない」見積もりは 1 年に 1.2 ± 0.8 mm である．

これは島が上昇することを示すのか？ ただし誤りを見よ．図 3 の常識的解釈は，ツバルと他の 11 の太平洋の島々が観測期間にわたって沈んでいないことを確かに示している．海水準は，事実上一定である．

海水準データの同じような取扱いが，熱帯太平洋とインド洋の島々を検討した Church et al. (2006) によって報告されている．彼らのツバルでの海水準上昇の最も良い見積もりは，1950-2001 年の間に年間 2 ± 1 mm であ

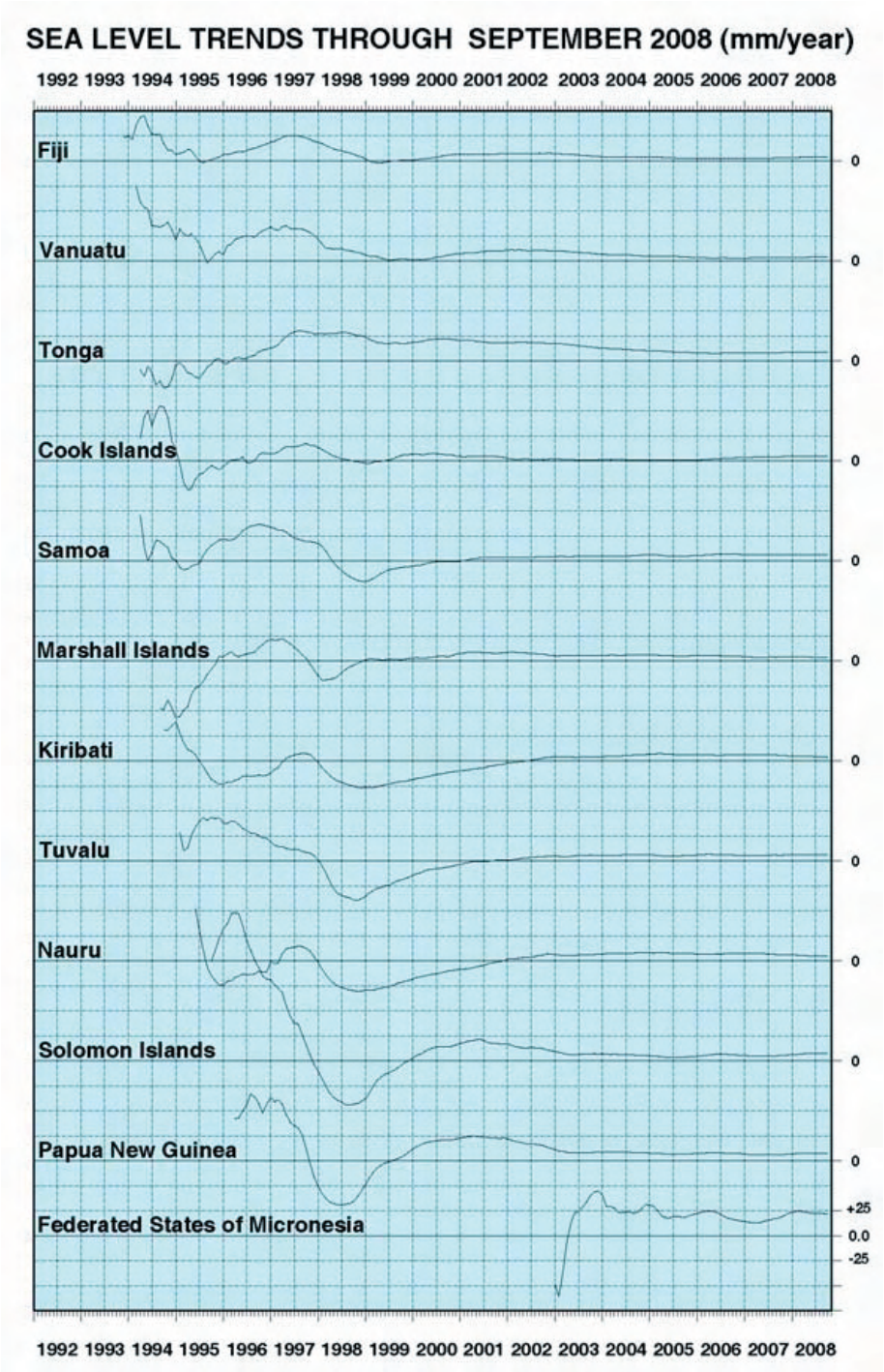


図３　図１の観測点における 2006 年９月までの海水準記録

る．彼らは「分析は明らかにこの地域の海水準が上昇していることを示す.」と書いた．これは図３におけるデータの単純な観察と一致するか？ 彼らはさらなるコメントをした：「我々は海水準の継続的なそしてその上昇速度が増加し，その結果極端な海水準のイベントの強烈さと頻度が増加することは，21 世紀の間にこれらの島々のいくつかの住民にとって重大な問題を起こすと思われる.」図３のデータは，この過度の人騒がせをまったく支持しない．

他の地域の海水準

ほとんど安定しているあるいは非常に小さい上昇は，IPCC/CSIRO ネットワークに参加していない研究者によって普通に見いだされているように思われる．例えば，Morner は多くの論文（文献を参照）で海水準が世界の多くの地域で安定していることを示した．彼は小冊子 The Greatest Lie Ever Told (NCGT 44, 2007 のレビューを参照）の要約を作った．Church et al. (2006) は Morner について非常に批判的で，彼が証拠を提出しなかったことにクレームをつけている．しかし彼は 2007 年の彼の論文で確かに詳細にそれを提供した．モルディブ諸島の過去 2600 年間の新しい海水準曲線は図４に示される．それは広範囲にわたる C^{14} のデータによって支持された考古学と生物学，層序学と形態学に基づいている．5,000 年以上，そこには 60 ～ 100 cm の局地的で地

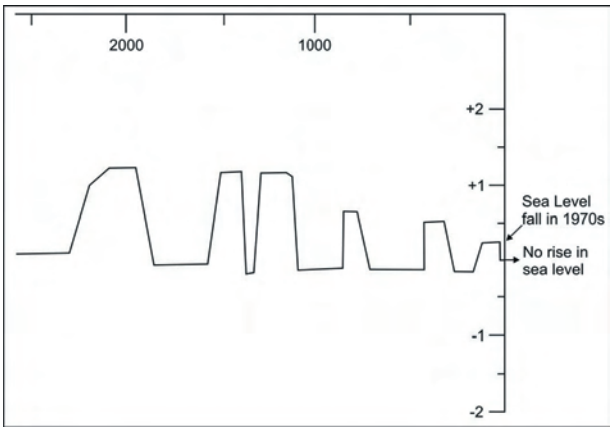


図４　モルディブ諸島における新しい海水準曲線（Morner 2007 を簡略化）．水平軸は西暦（年），鉛直軸は海水準（m）．

域的な次元である多くのすばやい「スパイク」があった．Morner, Tooley and Possnert (2004) は，「モルディブ諸島中いたる所に現在よりおよそ 20 cm 高い現在より少し古い海水準の証拠がある．1970 年代に，海水準は現在の位置に降下した.」と指摘している．

あなたは合衆国と限定された数の他の国々の海水準データを衛星画像のサイトから手に入れることができる：www.tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends.html

次の表は，いくつかの州から私が選んだ結果を示す．

州	上昇量
オレゴン	2.72 ± 1.03 mm/yr
カリフォルニア	2.06 ± 0.20 mm/yr
メイン	1.62 ± 0.17 mm/yr
ニューヨーク	2.77 ± 0.09 mm/yr
ペンシルバニア	2.79 ± 0.2 mm/yr
ジョージア	2.98 ± 0.33 mm/yr
フロリダ	2.39 ± 0.43 mm/yr
ハワイ	1.5 ± 0.25 mm/yr

それぞれの州の中でさえかなりのバリエーションがあり，数字は注意して取り扱われる必要があることを示す．これはバージニアの異なった場所での数字から例証される：

Kiptopeke	3.48 ± 0.42 mm/yr
Colonial Beach	4.78 ± 1.21 mm/yr
Lewisetta	4.97 ± 1.03 mm/yr
Gloucester Point	3.81 ± 0.47 mm/yr
Sewells Point	4.44 ± 0.27 mm/yr
Portsmouth	3.76 ± 0.45 mm/yr
Chesapeake Bay	6.05 ± 1.14 mm/yr

最も大きい値でさえ，数メートルの海水準上昇が差し迫っていると主張する人騒がせの標準より極度ではないことは明白である．メートル法の人たちは 100 年間での上昇量を計算する翻訳を必要としないが，アメリカ人にとって海水準上昇に提供された最も大きい値は，チェサピーク湾で 100 年に 1.98 フィートになることを意味する．

世界のほかのどこかで，類似の数字が報告された：

Reykjavik, Iceland	2.34 ± 0.71 mm/yr
Bermuda	2.04 ± 0.47 mm/yr
Murmansk, Russia	3.92 ± 1.00 mm/yr

しかし，スカンジナビアでは負の数を持っていることに注意を払うべき：

Goteborg, Sweden	-1.3 ± 0.36 mm/yr
Oslo, Norway	-4.53 ± 0.34 mm/yr

これは多分，海水準変化の原因が気候の結果でなく，古い氷床の壊失によるアイソスタティックな隆起の結果である．

他の国際的な論文によって類似の見解が提出されている．例えば，エーゲ海の海水準についての最近の論文では，海水準はほとんど一定であり，しかし 5,000 年間で 1 年に 0.9 mm 上昇していることが示された（Serafim et al., 2009）．

オランダは，同じくネーデルランドあるいは低地として知られているが，海水準の警戒すべき上昇によって特に被害を受けやすい．それでも NRC/Handelsblad の 12 月 11 日号の記事で，ニューヨークタイムズに対するロッテルダムの対応者，KNMI（オランダ王立気象研究所）のグローバル気候研究グループの上級科学者である Wilco Hazeleger は次のことを書いた：

「これまでの 1 世紀に海水準は 20cm 上昇した．海水準の上昇が加速されたという証拠はない．徹底的な計量は必要ないというのが私の意見である･･･．幸いに，気候変動の時間変化率は，我々の海岸に沿った防衛構造の寿命に匹敵するほどゆっくりしている．その適応にとって十分な時間がある.」

このすべての情報は，南西太平洋からのデータが，どちらかと言うと，世界中のほかのどこかの値に比べても警戒するに当たらないもので，そしてそれは無害で海水準上昇はゆっくりとしているということを示唆する．海水準は地域および局地的に変化しているが，短時間の範囲が人類の活動による地球温暖化のような，ひとつの原因にそれは絞られるわけではないと，すべての理由から結論できる．

造構運動の観点から，より多くの島々が沈んでいない（そしてさらに海水準のに比べて見かけ上，明白に上昇して）いることは驚くべきことである．サンゴ礁進化のダーウィン理論は，裾礁から堡礁へ，そして最終的には環礁へと，サンゴ島の火山基盤のゆっくりとした沈降を主張している．太平洋で広範にある平頂海山，すなわち

ギュヨーは海洋地域の非サンゴの島が同じく沈むことを示す．南西太平洋におけるこれらの観測点の探知可能ないかなる沈水も，記録するには，観測時間のスケールがあまりにも短すぎるのだろう．

文　献

Church, J.A., White, N.J. and Hunter, J.R., 2006. Sea-level rise at tropical Pacific and Indian Ocean islands. Global and Planetary Change, v. 53, p.155-168.

Morner, N.-A., 2007. Sea Level Changes and Tsunamis. Environmental stress and migration over the seas. Internationales Asienforum. 38, p. 353-374.

Morner, N.-A., 2006. 2500 years of observations, deductions, models and geoethics. Boll. Soc. Geol. It., v. 125, p. 259-264.

Morner, N.-A., 2005. Facts and Fiction about Sea Level Changes. House of Lords Economic Affairs Committee, p. 1-6.

Morner, N.-A., 2005. Sea level changes and crustal movements with special reference to the Eastern Mediterranean. Z. Geomorphologie, Supp.Vol. 137, p. 91-102.

Morner, N.-A., 2004. Sea level change: Are low-lying islands and coastal areas under threat? In: “The impacts of climate changes. An appraisal for the future”, p. 29-35. International Policy Press.

Morner, N.-A., 2004. The Maldives Project: a future free from sea level flooding. Contemporary South Asia, v. 13, p. 149-155.

Morner, N.-A., Tooley, M. and Possnert, G., 2004, New perspectives for the future of the Maldives. Global and Planetary Change, v. 40, p. 177-182.

Serafim, E., Poulos, S.E., Ghionis, G. and Maroukian, H., 2009. Sea-level rise trends in the Attico-Cycladic region (Aegean Sea) during the last 5000 years. Geomorphology, v. 107, p. 10-17.

ジオイドテクトニクス　５章　地殻の変形と破壊

GEOID TECTONICS: CHAPTER 5 DEFORMATION AND FAILURE OF THE CRUST

Peter JAMES
Consulting Engineering Geologist, Australia
pmjgeotech@yahoo.com.au

（山内 靖喜・矢野 孝雄・久保田 喜裕［訳］）

要　旨：モール－クーロンの手法と硬い岩石の可塑性範囲を表すパラメーターを用いて，地殻下底までのせん断強度を計算し，いくつかの文献で推定されている強度と合理的な一致を見た．また，選択したパラメーターの妥当性はベニオフ帯の傾斜によって支持された．

モホ面おいて求められたせん断強度に作用するジオイド応力は，a）引張状況においてのみ，そしてb）薄い地殻あるいは海洋性地殻においてのみ原始的な地殻を破壊することが示された．最大引張状況は赤道地域に沿って生じるので，盾状地と海洋地殻の境界が過去の赤道線と一致したときに，その境界に沿って最大の沈降と上昇が生じるという結論が導かれる．言いかえるならば，地向斜―従って褶曲山脈も―はこのようにまったく赤道起源である．地史はこのことを支持している．

最近堆積した深い地向斜の堆積物の強度を，地球力学のデーターから推定することができる．ジオイド応力が部分的にのみ発達したときに，それはこれらの堆積物をしわくちゃにしたり，褶曲したりするのに充分である．褶曲によって岩石学的境界部に沿って弱い残留強度が作られ，そしてこれらのゾーンはその後の衝上性断層運動に利用される．最大ジオイド応力のおよそ半分が作用すれば，主要な褶曲山脈の隆起をもたらすのに充分であることをこの解析は示した．

キーワード：*モホ面におけるせん断強度，地殻の引張破壊，地向斜の位置，造山運動の解析*

5.1　地殻下底でのせん断強度

天然物質の強度は応力に依存し，有効応力の原理はモホより深い部分においても妥当であることが示された．このように，一次近似として，モール－クーロンの式を用いてこの深さまでのせん断強度を求めることができる．有効応力の包絡線を下記のように仮定する．

$$\tau = c' + \sigma_n' \cdot \tan\phi'$$

ここで，τ：せん断強度，c'：粘着力，$\sigma_n' \cdot \tan\phi'$：摩擦分力

［訳者注：ϕは本論文ではせん断抵抗角（angle of shearin gresistance）と呼んでいるが，内部摩擦角

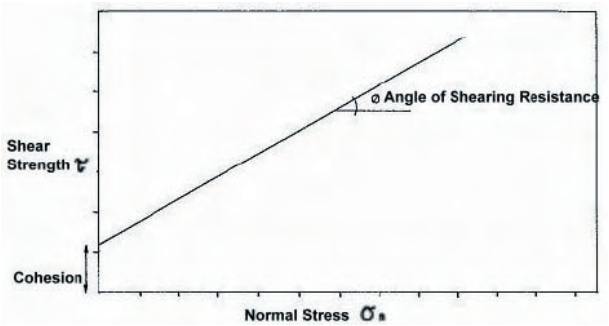


図 5.1　多くの天然物質に関するせん断強度対垂直加重（応力）

(angle of internal friction) ともよぶ．同じく，tan φを内部摩擦係数という．クーロン・ナビエの理論ではφは岩石の種類によって決まる定数とされている(垣見・加藤，1994).]

せん断強度の２つの分力を説明するのに,紙ヤスリと（弱い）糊の類似が使われる．表面に紙ヤスリが貼ってある２つの木片をそうっと接着する．この２つの木片の境界面に垂直な圧力がまったく作用しない状況で，これらをお互いに相対方向に動かすためには，糊の抵抗にだけ打ち勝つことが必要である．もし，木片が万力に挟まれたときのように次第に加重を受けると，２つの紙ヤスリの面の摩擦抵抗はそのシステムの強度まで増加する．この摩擦分力は垂直加重の増加に伴って増加し，たいへん早い段階でせん断強度を支配する．このパラメーターは，上記の式では，摩擦角（せん断抵抗）の tan に垂直加重をかけることで表されている．

さまざまな垂直加重が木片上に作用したときに，このシステムをせん断するために必要な力をグラフ上に示したとき，図 5.1 に示されたようなグラフが結果として描かれる．天然物質に関して，有効応力パラメーターを達成するために正しい条件下で試験を行うと，粘着力値は摩擦値に比較して小さくなる傾向にあり，垂直加重が増加するにつれて粘着力の効果はさらに減少する．このことは，粘着力の寄与は深さとともに次第に減少するとも言えるのである．天然物質に関するいくつかの典型的な値を表１に示す．粘土と砂に関する成果は力学の文献から

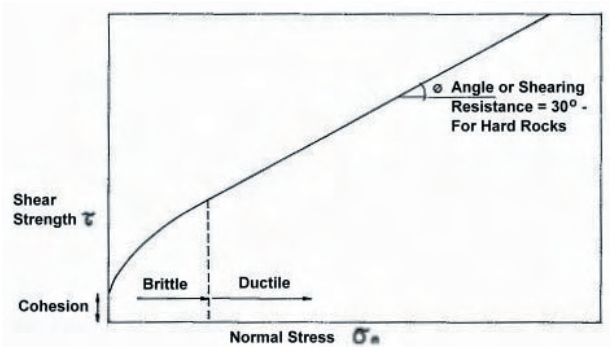


図 5.2　岩石挙動の脆性から塑性への変換．これは恐らく 5 kmかそれ以上の深さで起きるが，深さは岩石の種類，間隙圧などに依存する．

引用し，岩石に関するそれらは，硬い岩石に対する高温と高い垂直応力の効果を説明している Jaeger(64) から主に採用した．有効応力パラメーターを正確に求めるためには実験条件がまったく早く，適切ではないため，これら後者の強度値は道しるべとしてのみ採用した．しかしながら，Jaeger の実験が示していることは，応力レベルと温度が上昇する条件下では，少なくとも 300℃までは強度の大きな減少はないことである．モホでの温度はこの値を超えているが，この実験は岩石力学分野の周知のパラメーターとその他の知見からモホにおける強度を予報することは的はずれでないことを示唆する．

工学の応力範囲では，破壊は主に膨張によって生じる．すなわち，破壊を達成するために個々の粒子はお互いの上にずり上がらなければならない．硬い岩石において，せん断抵抗の角度の比較的良い値はおよそ 60 ～ 65° ぐらいであり，玄武岩の骨材に関するせん断実験ではこの値が記録されている．より軟らかい岩石の場合には，内部せん断成分のための機会がより多くなり，このことがせん断抵抗の角度を小さくする．

応力レベルが上昇するにつれて―すなわち，地殻中のより深いレベルに進むにつれて―，岩石の挙動は脆性から部分的に塑性へと変化する（図 5.2).

表１　いくつかの物質の粘着力（c ’）と摩擦角（φ ’）

物　質	工学で扱う範囲 c ’ (kPa)	工学で扱う範囲 φ ’ (°)	深さ20kmにおける c ’ (kPa)	深さ20kmにおける φ ’ (°)	備　考
London粘土	20	22－25	なし		
	0	12－14			残留応力
海浜砂	0	32	なし		
石灰岩	0	37			地層面
	1×10^4	58	1×10^4	30	石灰岩は1×10^5kPaで可塑性になる
硬い砂岩	1×10^4 から それ以下	44	1×10^4	44	
		60			
			1×10^4	40	300℃にて
花崗岩	1×10^4	58			
			1×10^4	30 （推定）	

より多くの変形は今では破壊を起こすことを必要とする．工学での応力範囲では，少なくとも１％未満のひずみで破壊が生じうる．垂直加重が約 1×10^5 KPa まで増加するので，ある硬い岩石においてひずみが２～3%に達するまでは破壊は起こらないであろう．他方，石灰岩のような岩石においては，もっと大きなひずみさえ生じる．

挙動におけるこのような変化がおきる一つの理由は，高い応力レベルでの破壊は膨張の結果というよりは部分的には粒子内で起きるようになることである．岩石の総合的な強度はまだ垂直応力とともに大きくなるけれども，このことは脆性／塑性の変化におけるせん断抵抗角度を小さくする．$\phi = 30°$ の値は高い応力レベルでの硬い岩石に関して適度に基本的なものであることを Barton(1976) は指摘し，このことは Benioff（あるいは地震）ゾーンの傾きによって支持される．

ときどき例外があるが，Benioff ゾーンは水平面に対して２つの卓越した傾斜角をもっている．すなわち，約 125 ㎞までの浅いセットはおよそ 27 ～ 30°，ときどき 350 ㎞まで達する深い方のセットはおよそ 60° の角度で傾斜する．これらを説明するためには，少しばかり脇にそれて，図 5.3 の単純な砂箱の実験をみることが必要である．

砂箱の一方の壁は動かすことができる．少しだけ外側に向かって動かすと，（乾燥した）砂の内部に破壊の状況が急速に発達し,水平面に対して $45 + \phi/2$ の角度をもって傾斜した破壊面が生じる．これは引張状況下での破壊に相当し，30° より僅かに大きな ϕ 値をもつ海浜砂では破壊面の傾斜はおおよそ 60° である．縁の壁を外側に向かって少しだけ動かす代わりに，この壁を砂の方（内側）におす，つまり圧縮すると，破壊が生じるためにはいくぶん大きく変形することが必要である．ところで，海浜砂の場合，破壊面は $45 - \phi/2$ の角度あるいは約 30° で傾斜する．

これら２つの傾斜は Benioff ゾーンの傾斜と不思議な類似をもつが，このことについては第８章でさらなる検討を行う．

せん断状況下の天然物質，とくに粘土質物質にはそれ以上の特徴がある．海成粘土の板状粘土粒子は綿毛状で多少不規則な構造を構成している．粘土はそれより若い地層による荷重を受けるので，これはある程度変形するが，粘土がせん断を受けたときには大きな変化が起こる．せん断面に沿って継続するひずみは粘土の板状粒子を回転させて，平行形式の構造をつくる．これはほとんど膨張を必要としないので，従って，せん断抵抗の角度は残留強度と呼ばれる合理的に基本的値，すなわち $c' = 0$，$\phi' = \phi_r$ まで低下する[*1]．この概念は Skempton(64) によって初めて形式化され，強度がピークから残留値まで降下する事例は表１の London 粘土で示された．

残留強度はどんな断層面にも存在すると考えられ，異なる岩相単元間の相対的運動（ひずみ）の結果として（図 5.4），それらは地層の褶曲運動によって発生しうる．言いかえるならば，褶曲運動は地層中に弱面をつくり，これらはしばしば工学分野において，とくにダム工学や天然物質の切り取りにおいて，地質的危機を意味する．地質学の世界においては，水平応力が作用するとこれらの弱面を利用して，スラスト性せん断を発生させる．

これまでは，強度式のもう一つのパラメーター，粘着力についてはほとんどふれてこなかった．これは，凝固した粘土のほかには信頼できる値を得ることが典型的に難しいパラメーターである．幸いなことに，モホ面での地殻深度では，粘着力の効果をまったく無視してこの論点を回避することが可能である．この点で，摩擦成分は考

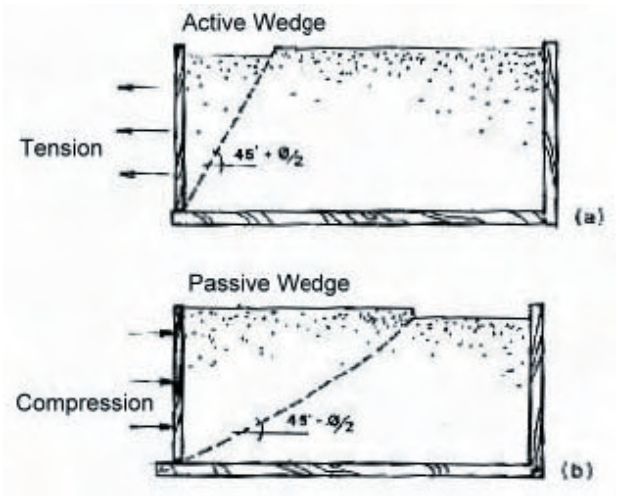


図 5.3　砂箱実験．A) 約 60° の活動的クサビの発達，B) 約 30° の受動的クサビの発達．破壊に必要なひずみは活動的な場合の方が小さい．

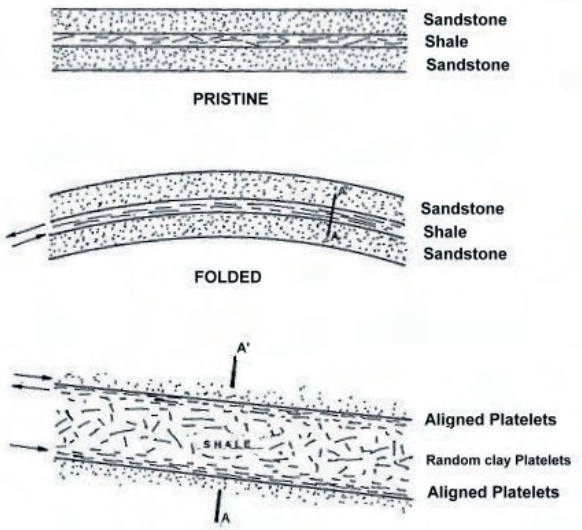


図 5.4　地層の褶曲運動は岩相やその他の境界において粘土粒子の整列をもたらし，その結果ひずみ軟化と最小（残留）強度をもたらす．

*1：残留せん断強度の角度にも応力依存性があるが，初生的な物質に関するものよりもはるかに小さな角度まで依存している．

えられる粘着力成分に比べて大きさでほぼ２桁大きい．粘着力を無視することによって，僅か数パーセントの精度の損失をもって解析はより単純になり，その損失はどちらかといえばやや古くさい考えでの誤差である．このようにして，地殻の強度式は下記のように書くことができる．

$$\tau = \sigma_n' \cdot \tan \phi'$$

モホにおいて推定されたせん断抵抗角（30°）の代わりにある値を用いると，次のせん断強度を得る．すなわち，35 kmの深さ（大陸地殻の下底）では　$\tau = 3.5 \times 10^5$ KPa，6 kmの深さ（海洋地殻の下底）では　$\tau = 0.9 \times 10^5$ KPa　である．

これらの推定された強度は，他の資料からいくらかの支持を得ている．せん断強度と“クリープ”強度は地殻下底での状況のシミュレーションを行う研究者たちによって求められた．クリープ強度は岩石が一定あるいは準一定な速度で変形し始めたときの出発点での応力レベルであり，その値はその物質のせん断強度と考えられる値よりも僅かに小さい．大陸モホ面で推定される温度（600 ～ 800°）において，Molnar and Tapponnier（1981）はごく僅かの石英を伴うかんらん石についてほぼ１× 10^5 KPa でのクリープ強度を測定した．地殻下底での両鉱物についていくらか大きなせん断強度が Dewey（1987）によって求められた．すでに気づかれているかもしれないが，これらの値は大陸地殻下底での強度に関しての上記のものより多少小さい．より意義深いことには，それらは第４章での緯度変化で生じる最大せん断応力より同じく僅かに小さい．

リソスフェアの上面での強度についての別の見積もりが，地質学の文献にみられる．たとえば，Cambridge の Sir Harold Jeffrey は山脈を支えるために必要な強度を計算し，1.2 ～ 2 × 10^5 KPa の値を得ている．これより 50% 大きい強度は不適当ではないと Lambeck が指摘している．これらは，地質力学の基礎に基づいて求められた強度とよりよく一致している．いろいろな測定と見積もりによって求められたモホ面での強度を，図 5.5 のグラフに表した．

5.2　ジオイド応力・歪の適用

高緯度から低緯度へ移動する地殻要素は引張を被り，逆方向の場合には逆になり，ともに圧縮場と引張場におかれる．リソスフェア（または上部マントル）に発生する応力はクリープ作用によってかなり解消され，これらのクリープ作用は地殻基部に摩擦ひきずりを引き起こす．しかし，この地殻は脆性物質として，ひきずりと変形に応答せざるをえない．

地殻の状況は，図 5.6 に示されるように，断面として，また，モール円として示される．地殻の２つの基本条件―海洋地殻および大陸地殻―が，圧縮場と引張場ともに，以下で別個にとりあつかわれる．個々の場合，左回り円は加えられた引張を，右回り円は圧縮を示す．簡単のために，これらの円は応力を有効応力として表現していると仮定るだろう．硬質岩石の破壊包絡線を両地殻条件で描くと，脆性－延性境界に斜交する包絡曲線を描くことができる．

モール円図の価値は，破壊条件が限度を超える場合，簡単にいうと，モール円が破壊包絡線をよこぎる場合を目にみえるかたちで示すことができることにある．

海洋地殻

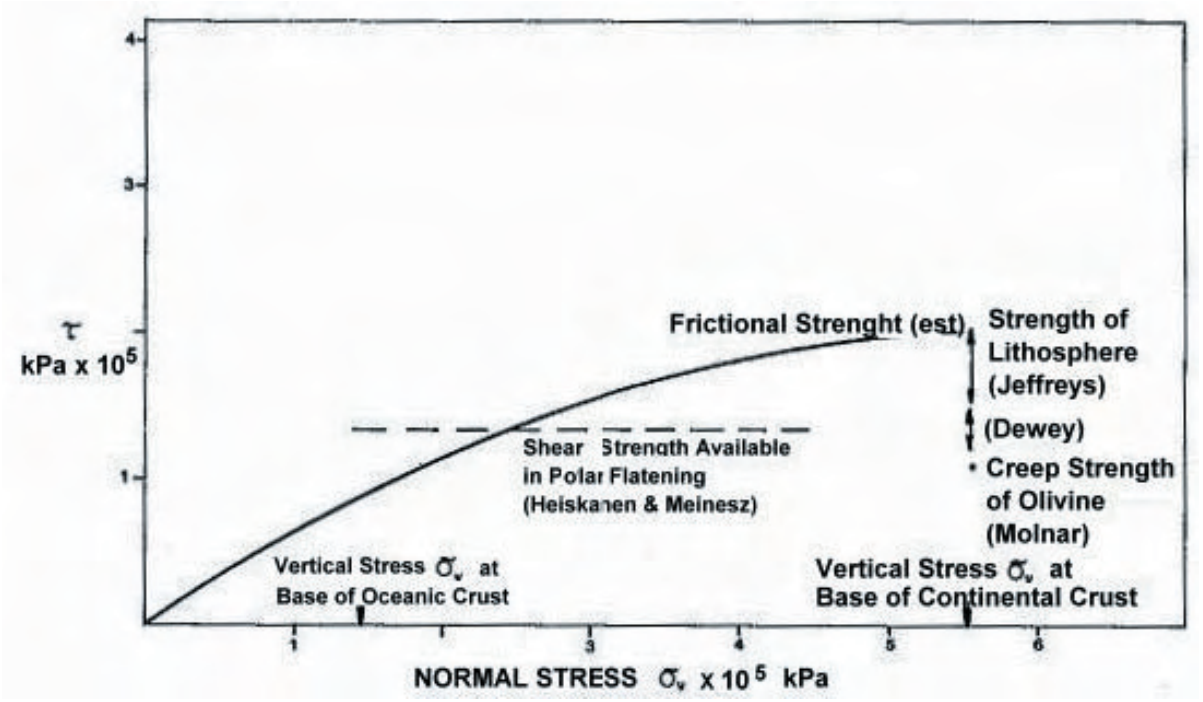


図 5.5　地殻下底において求められたさまざまな強度の比較．

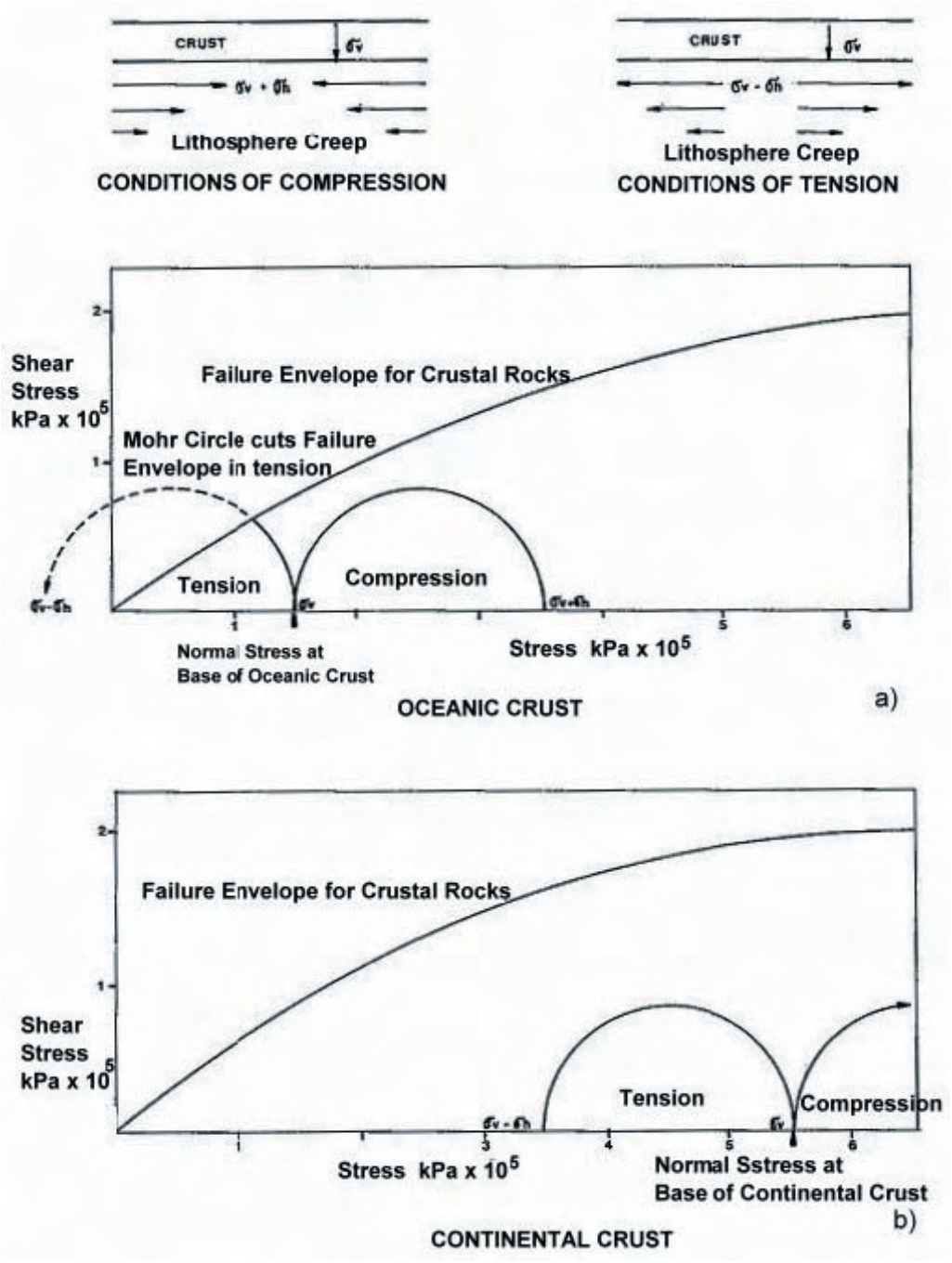


図 5.6　地殻がジオイド応力によるひきずり力をうけた場合の応力状態：a）海洋地殻，b）大陸地殻

海洋地殻基部における鉛直応力は，1 x 10^5 kPa の規模に達する．ジオイドの移動がおこらなければ，元の水平応力は同様の値をとるであろう．しかし，リソスフェアがクリープする場合には，引張あるいは圧縮応力を考慮することが必要になる．これらの２つの条件を有効応力として表示すると，次式が与えられる：

$$\sigma_h' = \sigma_v' \pm T$$

ここで，T は伏在リソスフェア中のクリープによってもたらされる摩擦ひきずり力である．

リソスフェアのひきずり力の大きさには，境界部の物質剪断強度に応じた上限値がある．この値はすでに，およそ 0.9 x 10^5 kPa と見積もられていて，それは 90° の緯度変化によって発生するジオイド応力の最大値の約 70% にあたる．

すなわち，海洋地殻の基部にはたらく水平応力は圧縮場では２倍に達し，引張場では０以下にまで減少することがある．図 5.6a に示されるモール円図に表現されるように，地殻に剪断応力をもたらす．

この図からの推論されることは，次のとおりである：

◉ 引張場では，リソスフェアのひきずり力が最大値に達するよりもかなり前にモール円が硬質岩石の破壊包絡線を横切る．これは，中程度のジオイド変化によって，薄い海洋地殻は引張破壊（リフティングがもっとも起こりやすい）を簡単に被りやすい．海洋地殻のリフリング

は，もちろん，ふつうに起きる現象である．Bogdanov (1973) にしたがうと，大洋海溝の音波探査断面は，それらは，地殻の栓が落ち込んだかのように，モホ面をおし下げる典型的なリフト形態をもつことを示す．特徴的なことに，中生代にまで遡る水平層がリフト底に堆積している．

◉ 圧縮場では，海洋地殻のモール円は，破壊包絡線の下側にある距離をおいて位置する．これは，元の海洋地殻の圧縮破壊あるいは衝上断層運動は起こりえないことを意味する．予測が現実なるように思われる．しかしながら，重大な変形が起きるには，海洋地殻がいくぶん薄いか，さもなくば，先在する不連続によって弱体化されていればよい．ふたたび，地質学的過去に速かった地球自転速度がより効果的にはたらき，圧縮場で海洋地殻の部分的破壊をひき起す．島弧の形成が，圧縮場における海洋地殻の部分的変形の例と考えられる．

大陸地殻

上述したのと同様の分析が，大陸地殻に関して行われる．これら２つの分析の間の相違は，より厚い大陸地殻の基部における鉛直応力がより大きく，そのために，水平ジオイド応力がそれに応じて起きる．さらに，地殻強度もより大きい．

大陸環境では，現地応力場のモール円が，引張場あるいは圧縮場のいずれにおいても，破壊包絡線に近接することはない．そのため，リソスフェアのクリープが最大限に発達した結果として，元の大陸地殻が破壊されることにはならない．しかし，ふたたび，地球の初期史に地球自転速度がより速かったころには，かならずしもそうではなかったであろう．

厚い大陸地殻の適当な抵抗力という観点を支持する頼りになる１組の現象がある．世界のあらゆる場所に，先カンブリア紀の楯状地や卓状地の上に堆積盆地が存在する．堆積物は水平に分布して全く乱されることはなく，圧縮によって褶曲したり，引張によって引き裂かれていない．グランドキャニオンがこのような状態をよく表している．ねじまげられた先カンブリア紀基盤の上に重なっている堆積層はカンブリア紀まで遡る．この地域の（相対的）高度は時代によって大きく変動してきたにもかかわらず，また，隣接するロッキー山脈は同時代に極端な座屈と地殻短縮を被ったにもかかわらず，グランドキャニオンの地層はすべて水平に成層している．

他方，リフト性断層運動や引張断裂は大陸地域に知られているが，その強度は海洋地殻にみられるものほどは強くない．東アフリカリフト系が長く伸長していることは，それが先カンブリア紀の横ずれ断層にほぼ完全に沿って配列していることで説明することができる．したがって，そこの大陸地殻は，先カンブリア紀におけるより強いジオイド応力によってすでに脆弱化していたため，引張断裂作用を受けやすかったと推論される．すなわち，断裂包絡線の勾配は小さいだろう．第６章でパプアニューギニアの場合について記述した際に，大陸地殻の引張断裂は，地殻が局所的に薄化した結果であると想定される．これは，図 5.6b に示されるように，鉛直応力が小さい値をとることによって，モール円が左に移動し，断裂包絡線と交差したと表現される．

地殻境界面

ジオイド応力のもとで，大陸地殻に作用する際，褶曲山脈系の形成は規制されない．つまり，これらは地殻境界面に赤道付近の状態を生ずるが，それらの形成例は次章で示される．初期の地向斜段階は，赤道付近の伸長のもとで，海洋構成部分の縁辺で発達する（図 5.7）．これは，隣接した陸塊からの堆積物で埋積されるようになる長大な沈降凹地として発達する．後赤道圧縮（Post-equatorial compressions）は，その後，堆積物をもみくちゃにし，それらを隆起させるために欠かせない圧縮作用として必要である．花崗岩の貫入は圧縮段階で生じ，このような一連の過程は図 5.8 に示されている．

この一連の過程に対するジオイド応力の妥当性は，これからひとつずつ論じられる．

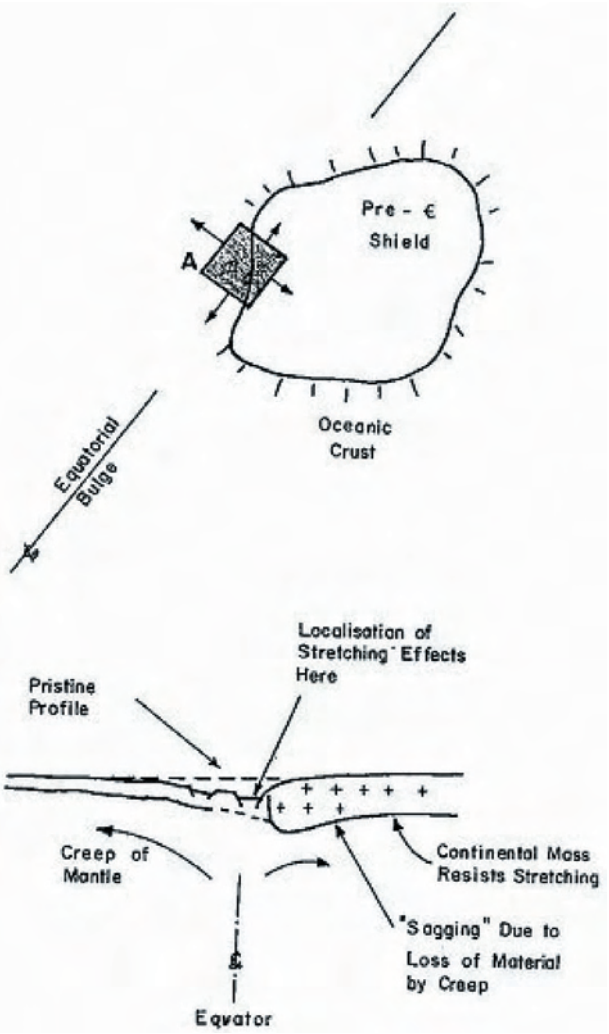


図 5.7　大陸／海洋境界の地殻要素におよぼす赤道伸長作用の影響の概念的見解

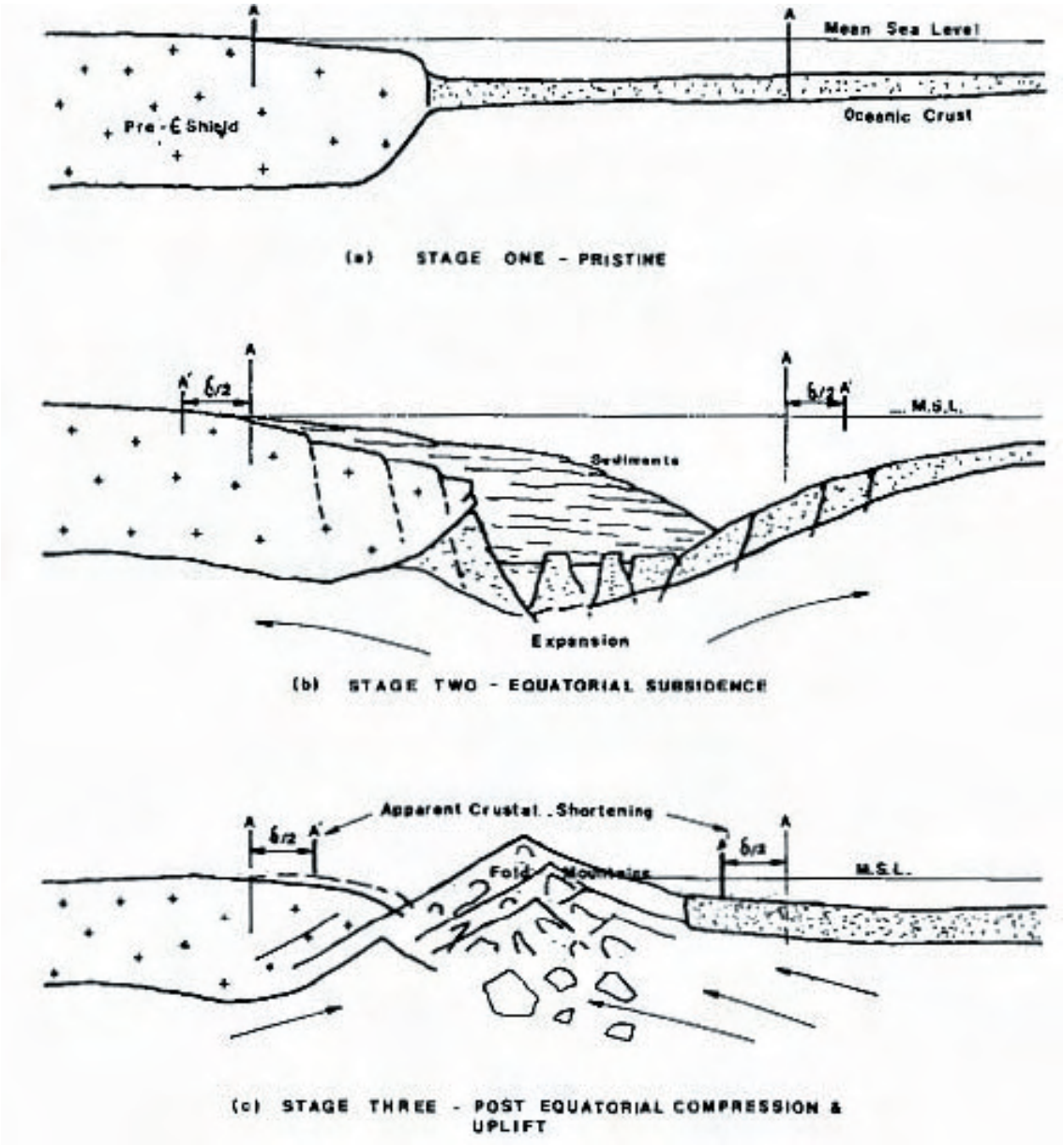


図 5.8　後赤道伸長作用と隆起を伴う，地殻境界の赤道伸長作用の連続断面図．明瞭な地殻の短縮作用が野外の地質図作成作業によって記載されるであろう．

赤道方面から移動してきたかのような，カナダ楯状地などの先カンブリア紀楯状地の規則的な形態を示す単元を考慮せよ．地殻の伸長は，赤道に対して平行や垂直に並んだ両方とも，二次元におさまるだろう．それぞれの方向の応力は，3 章に示したように，0.4% のオーダーになるはずだ．3000km といわれている大きさをもつ楯状地では，この伸長は約 12km と見積もられる（図 5.8）．

現在，楯状地ないし大陸地殻は，破壊することなく伸長するような引張力に耐えている．がしかし，ある変形の原因にはなるであろう．図 5.6 から，ジオイド応力は厚い大陸地殻の強度に比較すると小さいので，おそらく 0.1% の応力に相当する準弾性変形は過剰な見積りかもしれない，と我々は推定している：すなわち，赤道に垂直な多少の伸長を伴い，赤道に平行な楯状地の長さに沿って約 3 ～ 5km の変形をもたらす．楯状地の下で生じたはずの残存伸長作用は，きっとその周辺地域に拡がっているであろう．

現在，楯状地にアバットしている薄い海洋地殻は，伸長作用による力に耐えることができない．引張破壊が生じている．赤道に対して直交方向の伸長作用にとって，引張破壊は地殻境界に沿うように，あるいはその付近で，リフティングとして現れるであろう．おそらくいくつかの個別のリフトが，境界域から離れて生じているはずだ；硬いスラブの破壊作用に類似した現象が生ずるとみられる．そのリフトは，境界域に沿うか平行な脆弱な地帯に形成されるであろう．海溝に加え，沈降はたぶん“伸長作用”によって生ずるのであろう．そして，明らかに，大陸の範疇（continental regime）に隣接したそのような凹地は，急速な堆積場になるだろう．

赤道上に配列する応力を正常な状態に解放するリフト

形成作用に加え，海洋地殻もまた赤道に対して平行に伸長するはずだ．楯状地は強い伸長作用に持ちこたえるが，脆弱になった海洋地殻は，再び以前にも増して影響を受けるであろう．その結果，赤道上の配列に沿うように，海洋地殻と楯状地の間に特異な応力が生まれる．これが始まる作用はおそらく，赤道上の膨張がどのようにして境界面に届くかということにかかっていると思われるが，楯状地の長さを超える 8km のオーダーか何かであろう．しかし，最後の結果は，境界面に平行な伸長する物質や裂け断層（tear fault，走向移動断層）の何かに違いない．事実，今日発見されるこのような裂け断層は，すべての褶曲山脈系内の線構造として，地殻に保存されている．

図 5.9 には，前期カンブリア紀の赤道であったロッキー山脈コルディレラの麓を走る，北米の線構造が描かれている．これらの方向の線は前期カンブリア紀の地向斜性トラフの名残であり，これらの深いトラフの堆積物は隣接する先カンブリア紀楯状地からの結晶質岩の岩片を含んでいる．大陸のもう一方の端では，アパラチア山脈方向の線が前～中期古生代の赤道配列に並走している．両地域において，その線構造はカナダ楯状地の露出部のすぐ外側にあたっており，事実，それは大陸の両側の露出部の外形にほぼ平行になっている．

図 5.10 で，アルプス－ヒマラヤ山系に沿って，西ヨーロッパからインドへ走る，白亜紀の赤道配列に従う方向性を示す線構造がみられる．前期古生代のカレドニア方向は，北米アパラチア山脈の方向とほぼ同様の直線状に，イギリス諸島の先端を横切る．この赤道上のほぼ同一の直線は，二つの大陸間の大陸移動仮説に代わる解釈を示している．

我々は今，上述の赤道配列の位置の名残を想定したい．それはたとえ何回かの変動があったとしても，沈降性海溝や他の凹地帯にとって，堆積物で満たされるのに十分な時間である．どんな圧縮サイクルより前に，これらの堆積物は通常固化され，剪断力は普通に固結した堆積物の剪断力／深度式で見積もられる．河川成泥～やや固結した粘土－頁岩の範疇における粘性堆積物に適応されるこの関係は：

c_u / p = 0.25 － 0.3

ここで，c_u= 粘着力ないしは非脱水剪断応力，p ＝有効応力で示された上載堆積物荷重

深さ 10,000m に達する厚い堆積物の基底では，粘土質頁岩になると思われるが，この式から最大剪断応力が 2×10^4 kPa の桁になることを予想させる．これは有効最大ジオイド応力以下の規模の桁数である．

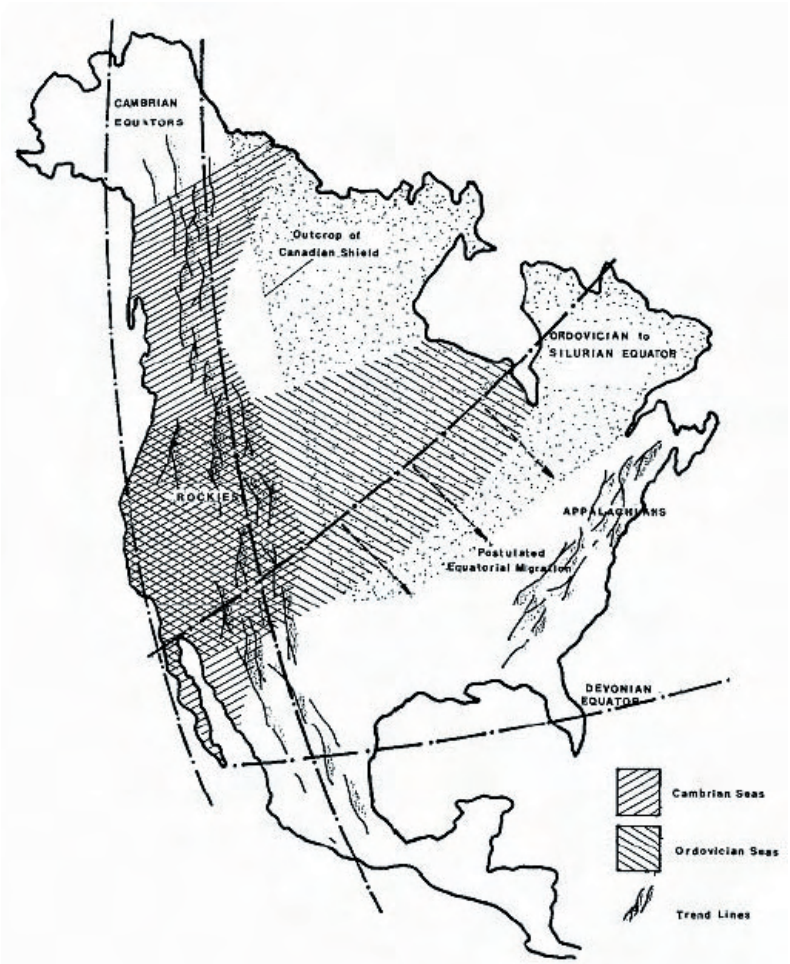


図 5.9　ロッキー山脈コルディレラとアパラチア山脈の線構造は現在の赤道と斜交して並走する．

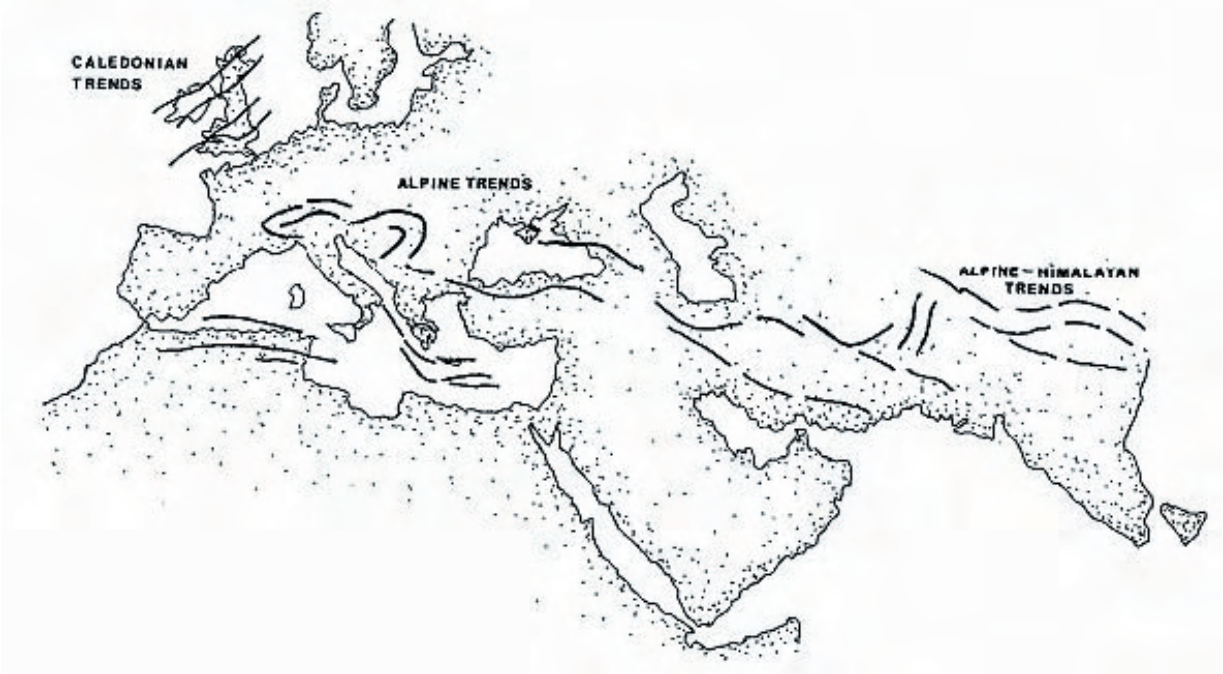


図 5.10　ヨーロッパとアジアにおける構造方向線は，古赤道との関連を示す．

さらに：－もし堆積（地向斜）の深部帯が赤道膨張域から遠く離れてしまうと，高緯度へ移動するにつれて，徐々に容積を減少しなければならないだろう．通常の物質の変形過程は不可逆的である；そのため，この地帯を圧縮させることは，もともと破壊された地殻境界はかつての配列状態には戻らないことを意味している．地向斜の容積の減少は，最も脆弱な地層の変形によってなされる：普通に固結した堆積物は，破壊されていない２ヶ所の地殻の両側に押し入る．その堆積物は，褶曲によって“もみくちゃ”にされたり，スラスト剪断作用など，独特の様式で変形する．このように，変形する地向斜の両側にある海洋地殻と大陸地殻は，表層面積がいかに大きな割合で減少したとしても，それを元に戻すようなことはしない．

１つのステージの簡略化したシーケンスを図 5.8 に描いた．移動する極のもとで，このシーケンスは，Holmes(44) によって記された連続的イベントを生じさせながら，数回繰り返されることは明らかだ．

・地向斜として知られている，楯状地や大陸地塊に隣接した細長く沈降するトラフの発達初期．地向斜は地球表層でかなりの長さを超え拡がり，以前の岩石テレーンを横切ることができる．
・ときに隣接したトラフの沈降を伴い，地向斜性トラフの堆積物の褶曲や隆起を含む初期の造山フェーズ．（現在のモデルでは，これはすでに圧縮され隆起した地帯の外側に作用し，引き続く赤道伸長を意味するであろう．）
・最初と次のトラフがさらに変形し，花崗岩が定置する際の圧縮による更新ステージ．

＊

褶曲山脈を形成するジオイド応力の作用は，ヒマラヤタイプの隆起の単純化された解析によって例示されている（図 5.11）．

インド北部を横切るテーチス海域の断面は，中期古生代～白亜紀に，繰り返し赤道状態を経験した（2.2 章）．このように，それは繰り返しリフト作用や沈降，堆積を受けてきた．さらに，赤道配列がテーチスから離れ移動したように，その地帯はインド楯状地と中国の大陸地塊間で圧縮を受けてきた[*2]．スラスト運動はおそらく地殻の短縮への大きな抵抗力を生じさせ，また，単独の隆起段階を検討することで，それが容易に生ずる可能性を説明している．

隆起に関係した力は，図の“c”の部分に示されている．スラスト運動が生ずるためには，圧縮応力が変形抵抗力に勝らなければならない．抵抗力は，傾斜面に沿う摩擦抵抗に加え，スラストの傾斜面（約 27-30°）を上昇させるような押し入る物質の質量に依存する．後者は，面そのものの摩擦角に比例する．

直上で述べたように，どのような堆積物も褶曲する場合には，岩石学的単元間に，相対運動がなければならない．粘土質層は，隣接層との境界面で，葉片状粘土の再配列によって，この変形に対し反作用する．とくに，これらの隣接層は実際かなり脆性的で，その過程で残留強度状態を生ずるような境界面の粘土帯の摩擦角を小さくする．典型的な粘土では，ϕ_r = 14° という値は工学的な

*2 インド地質調査所特別報告書 #26 に報告されたヒマラヤ地帯のインド地質調査所特別報告書 #26 に報告されたヒマラヤ地帯の地質図には，堆積物がインド楯状地を超えて押されてきたかのように，その地帯に沿ういくつかの大規模スラストが示されている．

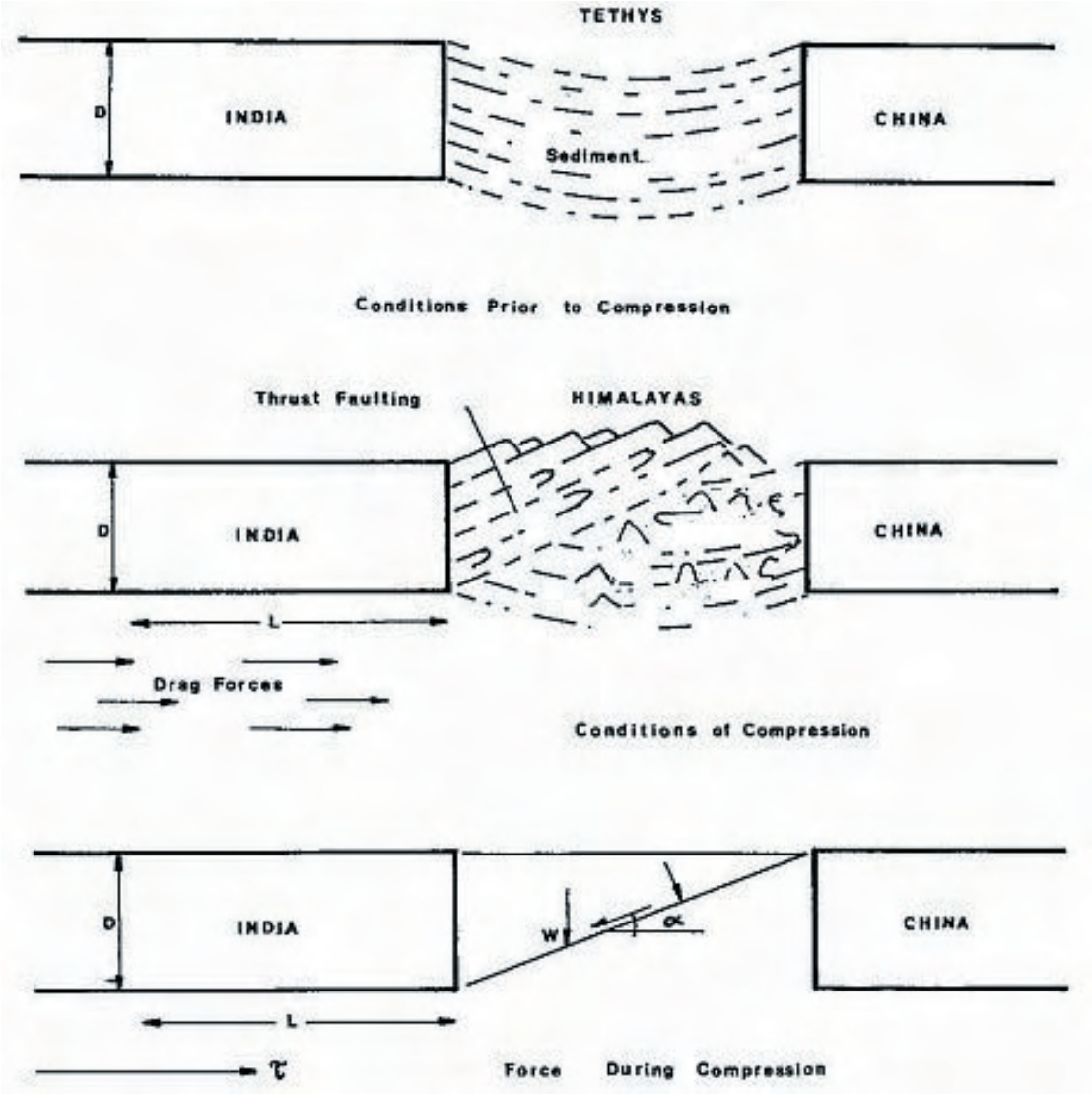


図 5.11　ヒマラヤ山脈の隆起過程のメカニズム

応力レベルとして妥当であろう．残留値はより高い応力レベルでさえ，さらに低下することを示唆する証拠がある．これには，今のところ気づかれていないようだ．このように，地向斜における連続的堆積物の初期の褶曲作用は，さらに，スラストを形成するための水平応力に使われる脆弱な面を形成する．スラスト運動はまた，スラスト面に沿って生ずる残留強度と同様のものを形成することが付け加えられるであろう．そのスラスト面はすでに現在では消失しているが，そのためスラスト運動はまた応力緩和を示す．あらゆる造山運動のスラスト成分のなかで，この残留強度はほとんどの場所で作用しているであろう．

ヒマラヤの隆起に戻る．スラストの傾斜面が押し上げられる物質（W）の押し込み質量は，密度（γ）を乗じた断面積で示される．それは2 × 300 kg/m^3 のオーダーであろう．

$$W = (D^2/2 \tan \alpha) \cdot \gamma$$

質量と sin α の積に等しいスラスト面に沿う下方傾斜力，およびスラスト面に対する垂直力は，質量と cos α の積である．これは，スラスト運動に対する摩擦抵抗を示すためには，有効応力として表示することが必要になる．１次オーダーの精度のために，スラスト面に対する垂直応力は，質量と上載物質の浮力密度［the buoyant density］の積になる．これら２つの抵抗力は，Fi と Fii で与えられる：

$$Fi = (D^2 / 2 \tan \alpha) \cdot \gamma \cdot \sin \alpha \quad \text{and}$$
$$Fii = (D^2 / 2 \tan \alpha) \cdot \gamma' \cdot \cos \alpha$$

スラスト運動を引き起こした力は，ある不特定の幅（L）を超える楯状地の下へ引き込むように作用する，ジオイド応力（τ）である．もし，

$\tau \cdot L > Fi + Fii$　ならば，スラスト運動が起こる．

その状態は，いかなる緯度変化によっても，また移動する地向斜堆積物の厚さによっても準備が整うジオイド応力の大きさに左右される．

完全なジオイド力に近い水平応力を推定すれば，ある

10km の深さの地向斜で，ーもし，1 x 10^5 kPa ならばー，上記の検討は，スラスト運動はジオイド応力が幅 L=10km を超える楯状地の下へ引き込むように作用するときに生じるであろうことを示している．深さ 20km の地向斜では，楯状地の下へ約 40km 引き込めば，地向斜堆積物のスラスト運動が生ずる準備が整うであろう．別な方法でそれをみると，たとえば引き込みが 40km を超えれば，最大ジオイド応力のある部分だけが，深さ 10km 程度の地向斜の隆起を必要とするであろう．すなわち，たった 40-50° の緯度変化で，ほとんどの大規模な地向斜の隆起を引き起こすに十分であろう．

これは有用な結論である．なぜなら，そのような幅を超える引き込みは，楯状地自体の座屈を引き起こすのに十分大きくないからである．事実，このことは実際に確認されていることに対応している：擾乱されていない楯状地は，褶曲山地地帯によって囲まれている．

さらに，もし地向斜で普通に固結した堆積物に見積もられた剪断応力（最大 2 × 10^4 kPa，ないしは深さ 10km の地向斜での圧縮強度の両方）に戻るなら，この値はおそらく 20° の緯度変化で生じたジオイド応力を超えるであろう．すなわち，緯度の赤道地域からの移動は，岩石境界に沿う残留抵抗力を生じるため，本来，堆積物のもちくちゃ作用や褶曲作用を強いるものであろう．これらの弱い抵抗力は，その後，スラストを形成する圧縮性のジオイド応力を増大することによって，利用されるであろう．

もし振動する赤道が必然的に関係するなら，隆起地帯は最新の赤道伸長作用を受けるかもしれない．これは圧縮の影響を元に戻さない．なぜなら変形の経路は不可逆だから．しかし，伸長作用はリフト断層運動など，それ自体の特性としてもっている．

＊

上述の解析は，明瞭な自然物で十分確立されたパラメータを使ってきた．それは，地殻が全く同じ南アジア地方にとって，プレートテクトニクス仮説の検証に使われてきたいくつかの単純なモデル化とともに，この種の解析を比較するのに有効である．

1980 年代初頭，Molnar and Tapponnier は，木製の塊を，風防用透明樹脂シートの間に挟まれた工作用粘土の中に押し込む実験を行った（図 5.12）．塊の変形の結果はアジアの“柔らかい急所”へのインドの衝突，さらにヒマラヤ山脈の形成後，その引き続く北進によって，東南アジアの回転とともに，モンゴルに対する中国の剪断破壊を引き起こしたと解釈された．この著者たちは，実験によるスラスト断層線の確認として，東南アジアにおける広域的断層パターンを指摘した．

事実，その実験はプレートテクトニクスの立場からなされたもので，破壊力を生み出すのに十分近似された基礎的モデル実験を表している．木製の塊にかかった力と工作用粘土の抵抗力は，全く相似関係にない．それどころか，中国楯状地域は，実際，インド楯状地のそれに類似している．このように，インド楯状地に適応されるかもしれない最大の引き込みは，中国の動きによる最大抵抗力と同等になるはずである．インドはどのような場所でも中国を押す機会はなく，東南アジアのいっそうの回転を引き起こすだけである．

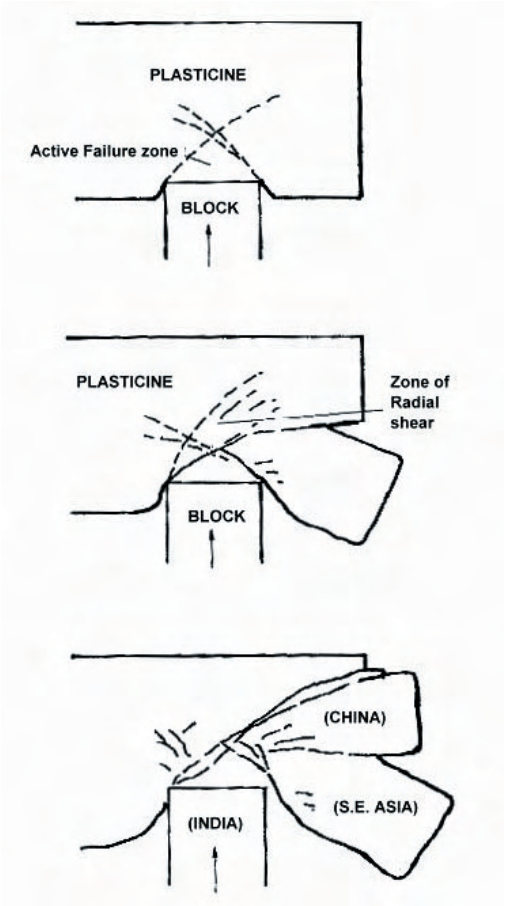


図 5.12　木製ブロックが風防用透明樹脂シートの間に挟まれた工作用粘土のなかに押し込まれた実験結果．現在のインドがアジアの軟らかい急所へ移動したことを意味している．

モデル実験は単純であるべきだが，想定される力や過程を反映させるべきである．

文　献

Bogdanov, N.A., 1973. Tectonic development of trenches in the West Pacific. The Western Pacific Sympos. Ed.,P.J. Coleman. Univ. of W.A., p. 327-333.

Dewey, J.F., 1987. The Principle of Tectonics: An Intensive Short Course. Gold Coast, Queensland. Holmes, A., 1944. The Principles of Physical Geology. Nelson, London.

Jaegar, C., 1964. Elasticity Fracture & Flow. Methuen. Lambeck, K., 1988. Geophysical Geodesy. Oxford Science Publ.

Skempton, A.W., 1966. Some observations on tectonic shear zones. 1st Congress Rock Mechanics, Lisbon, v. 1, p. 329-355.

天体の造構的粒子化に関する惑星起伏幅の一般則
A REGULAR ROW OF PLANETARY RELIEF RANGES CONNECTED WITH TECTONIC GRANULATIONS OF CELESTIAL BODIES

Gennady G. KOCHEMASOV
IGEM of the Russian Academy of Sciences, 35 Staromonetny, 109017 Moscow, Russia.
kochem.36@mail.ru

（矢野 孝雄［訳］）

要　旨：最近数10年間の天体観測によって，中心星のまわりを回る惑星と衛星の表面起伏幅がまちまちではないことが示された．１つの共通する傾向があり，起伏幅（たとえば金星で14km，地球で20km，火星で30km）は公転周期とともに増大し，中心星からの距離にともなって増大する造構的粒子化のサイズに密接に関係する．これらの観測は，惑星の起伏形成ポテンシャルあるいは破断力が，潮汐力ではなく，惑星内部で生まれる慣性力－重力に由来することを示す．というのは，それらの非円形ケプラー軌道におけるそれらの天体の運動が加速度を変化させるからである．
キーワード：*惑星起伏，造構的粒子化，慣性力，軌道周期*

惑星波動テクトニクス（Kochemasov，1998，1999aなど）の第３法則は，「天体は粒子的である」と記述される．これらの造構的粒子は，回転体において４つの直交あるいは対角方向をもつ波曲波の交差干渉によって形成される．波曲波は，変化する加速度（+増加と－減少）をもつ楕円ケプラー軌道上の運動によって公転天体内に発生する．このメカニズムによって発生するために，造構的粒子は顕著な特徴（特性周期にともなって，それらは飛び上がったり，飛び下がる）と特性波長をもつ．これらの波長は，天体の軌道周期に密接に―小波長粒子は短周期に，大波長粒子は長周期に―関係する．地球型惑星の粒子サイズに関する経験則―太陽光球にはじまり，太陽距離にしたがって増大する―は次のとおりである（図１・図２）：太陽光球πR/60，水星πR/16，金星πR/6，地球πR/4，火星πR/2，小惑星πR/1（Rは天体半径）．

太陽光球は約１ヶ月という長い自転周期（あるいは，太陽系中心のまわりの回転周期）をもち，古くから，巨大粒子サイズ（30,000～40,000km）をもつことが知られていて，解明された規則性に完全に一致する．これに関連してもう１つの確実なことがらは，地球が１年の公転周期と，始生代剛塊の超構造（径5,000km）および類似の環状構造に代表される造構粒子構造をもつことである．８つのそのような超構造が，赤道あるいは惑星大円に適合する（Kochemasov，1992a，b）．金星の赤道には，12個の環状構造（半径約3,000km）が配置されうる（Herrick and Phillips，1990；Kochemasov，1992a，1995）．水星の赤道には，典型的な小盆地が約500kmごとに連なっていて，その全個数は32である（Kochemesov，1995a，1995b）．火星の赤道では，４つの巨大な環状超構造（Tharsis，Xanthe，Arabia，およびCimmeria）が配置されている．微惑星はいずれも凹凸形状をもち，基本波数１によって形成される２つの対蹠構造（膨らみと凹み）に特徴づけられる（Kochemasov，1999b：図１・図２）．

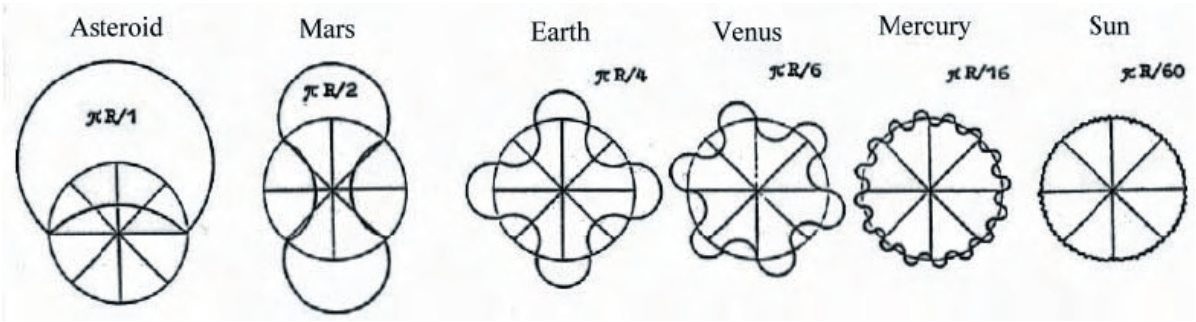


図１　惑星系における波曲波の幾何学的表現．すべての天体は，１つの大きさに簡略化される（Kochemasov，1992b，1993）．

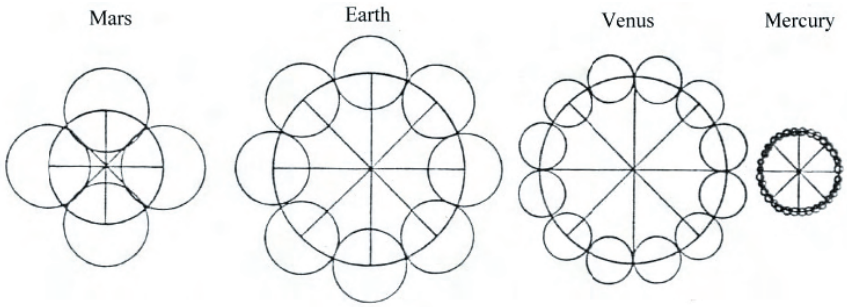


図２　地球型惑星にみられる構造的粒子化の実サイズ表示（Kochamasov，1992a，1992b）．

造構的粒子化（図１・図２）の幾何学的モデルは，太陽距離が増大するほど，天体の表面あるいは構造の粗度が大きくなることを明瞭に示す．太陽光球から地球までは，比較的小さな波曲波（粒子化規模はπR/60からπR/4）が，球形からの偏倚をひきおこすのに十分に強く惑星の外形をひずませることはない．しかし,火星は波数２（粒子化πR/2）によって波曲し，不可避的に伸長した回転楕円形になる．この事実は，古くから惑星科学者にはよく知られていることでありながら，うまく説明されてこなかった．波数１のより長く振幅も大きい基本波動のために，波曲作用がかなり強い小惑星帯では天体の歪みがより深刻である．小惑星は扁平化され，凹凸形状とり，そして，しばしば破断によって二分割されたり，衛星をともなうことがある（Kochemasov，1999b）．

図１および図２の幾何学的モデルは，論理的な惑星表面の粗度の測定，ならびに，それと観測データとの比較を可能にする．最近数10年間の宇宙実験は，多くの太陽系天体の詳細な図化を進展させ，それらのいくつかでは起伏幅の見積もりが可能になっている．それを出版すること（Kochemasov，1995a）が準備されていた1995年には，起伏幅が金星から火星へ約14kmから約30kmへ増大し，それらの間に位置する地球では約20kmであることを私たちは知っていた．水星の正確な地形が不明であったため，私たちは，この惑星の起伏幅はかなり小さい（3～6km）はずであることを論理的に推定した．この値は，観測結果（図３）と，矛盾するところは全くなかった．最近えられたMessenger観測衛星のレーダー観測結果（2008）は，実際の起伏幅が約5kmを超えないこと，そして，広く分布する舌状崖がちょうど1kmの起伏をもつことを示した（Zuber et al.，2009）．さらに重要なことは，この小さな鉛直起伏幅が，小さいアルベド幅に表現される小さい岩石的（密度的）違いによって，物理的／論理的（角モーメント作用）に説明されることである（Head et al.，2009：図３）．この対応関係が，惑星波動テクトニクスの第４法則「異なるレベルのブロックの角モーメントは等しくなろうとする」（Kochemasov，1998，1999a）の現れにほかならない．起伏幅が大きくなるにつれて，低地と高地を構成している岩石の密度差も増大する（図３）．

したがって，４つの地球型惑星の実際の起伏振幅は，次のとおりである．水星約5km，金星約14km，地球20km，火星約30km（半径40～50km，斜面勾配5～6°のカルデラをともなう巨大火山の崩壊した頂部を考慮し，崩壊火山錐の高さを4～5kmとすると，火星の起伏幅は35kmに達するかもしれない）．地球の20kmという起伏幅を１単位として比較すると，水星0.25，金星0.7，地球1.0，火星1.5（1.8）となる．波数の役割を強調するために惑星球の造構的粒子半径として設定された論理幅は，次のとおりである：水星πR/64.08，金星πR/24.34，地球πR/16.44，火星πR/8.8．地球の幅を１とすると，水星0.256，金星0.675，地球1.0，火星1.868となる．実測値と論理的推定値との間に，顕著な一致が認められる（Kochemasov，1993）．ここで，惑星の実サイズ（図２）

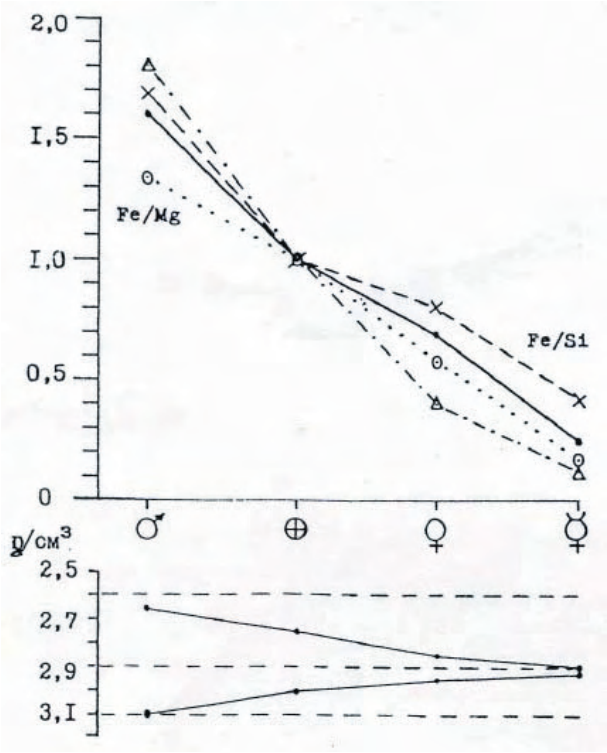


図３　地球を１としたときの，いくつかの惑星の地殻パラメータ比．実線:起伏,破線:Fe/Si比,点線:低地玄武岩のFe/Mg比,鎖線:高地／低地の密度比．下図:高地／低地の密度比が増すと,太陽距離も増大することを示す（Kochomasov，1995，2006）．

をとると，全体的描像はいくぶん異なり，水星と火星ではいくぶん小さくなるが，推定された重要な傾向は変わらない．

この傾向は小惑星帯にも適用される．そこでは，天体は扁平化され湾曲して，その形状は球形からおおきくはずれ，隆起／沈降部（半球）の間に著しく大きな起伏が生まれる．

一連の分析のもう１つの端点は太陽光球であり，そこでは，太陽黒点の穴が約300km規模の起伏幅をつくる．太陽半径（約700,000km）に比べて，この値は大きくはなく，太陽の完璧な球形性を損なうことはない．私たちの波動観点からは，起伏幅は，軌道周期に，そして，そのために超粒子化サイズに依存して,約183km（Kochemasov，2009b）であろう．この数値は，概算された観測データに大きく相違しない．したがって，私たちの波動系は，固体惑星から気体天体にも論理的に拡張される．さまざまな大きさと物性をもつ天体の波動起伏形成ポテンシャルに関してもうひとつの重要な確定事項は，ごく最近になって，土星の氷衛星からも得られた（Thomas et al.，2006）．

土星惑星系は太陽系に類似するが，Iapetusにはじまる衛星の軌道周期は水星の軌道周期よりも大きい．したがって，この衛星系は，より高周期から有効周期系の延長にあたる．土星氷惑星の表面粗度に関する最近刊行されたデータ（Thomas et al.，2006：図４）によると，惑星からの距離に応じて粗度が増大し，軌道周期の減少

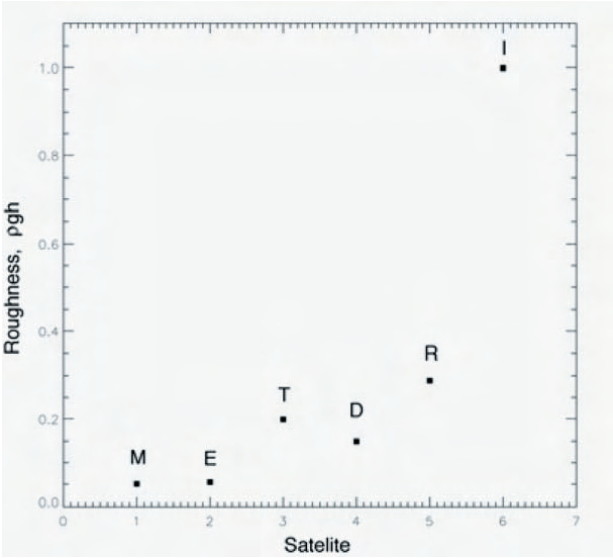


図４　土星衛星の表面粗度．Mimas(M) と Enceladus(E) の 0.44km から,Tethys (T) , Dione (D) および Rhea (R) をへて, Iapstus (I) の 4.1km まで変化する (Thomas et al., 2006).

が先に確定された傾向と調和する．興味深いことに，２つの類似した軌道周期をもつ２つの天体―主に岩石からできた水星と主に氷でできた Iapetus（それぞれ，1/88 および 1/79 日）が同様な起伏幅（約２～５km）をもっている．このように，波曲波作用はさまざまな物体に働き，それらの相対的波長と振幅はおもに軌道周期に依存する．Iapetus の粗度は 4.1km,Enceladus の粗度は 0.44km である（Thomas et al., 2008）．検討された衛星の軌道周期は次のとおりである：Mimas 0.942 日，Enceladus 1.370 日，Tethys 1.888 日，Diona 2.373 日，Rhea 4.518 日，Iapetus 79.331 日．他の氷天体にくらべて Iapetus は土星軌道からかなり離れて運動している．そのため，その起伏幅は予想どおり，かなり大きい（図４）．

次のことがらに言及しておく必要がある．最近公表された Titan の起伏幅に関する新しい部分的レーダーデータ（表面積の約２％の立体画像：暗色低地と明色高地の境界帯を含む）は，全起伏幅が 500，700，1,000m（PIA11829, 11830, 11831）であることを示した．Titan の軌道周期は 16 日であり，起伏と軌道との間に確定されたおおまかな対応が確認される．

上述したすべてのことがらのなかで，確実な観測データは，中心星（太陽や土星）からの距離が増大するにつれて，惑星や衛星の表面粗度（起伏幅）が増大することに調和的である．これは，破壊的作用がより効果的になることを意味する．しかし，この結論は，古典的な潮汐力の効果―２つの重力を及ぼし合う天体の距離が小さくなるほど増大する―とは完全に矛盾する．これを説明するためには，天体中で周期変化する慣性力－重力（振動力）の影響が優勢であることを勘案しなくてはならない．この振動力は，加速度変化をともなう非円形のケプラー楕円軌道によって励起されるものである．この結論は，すべての公転・自転する天体に妥当するものであって，それらの階層，規模，質量，密度，化学組成，あるいは物性にかかわらない．これは，すべての天体に共通する構造をあつかう超テクトニクスの１つの本質的要素である（Kochemasov, 2009a）．

Barkin の仮説（Barkin, 2002 他）は，コアとマントルとに別々に作用する重力性曳力［gravitational traction］が天体の構造形成作用にかかわっているというものである．しかし，以上のことがらは，観測データと矛盾するために，氏の仮説は遺棄されるべきであることを示す．第１に，すべての天体がコアとマントルに明瞭に分化しているわけではない．第２に，距離の増大にともなって，重力性曳力は減少するはずであり，その構造形成力はゼロに近づくのである．

文　献

Barkin, Yu.V., 2002. Nature of tectonic activity of the planets and satellites. 36th microsymposium on comparative planetology, Oct. 14-16 2002, Moscow, Russia, Vernadsky Institute, Abstracts, CD-ROM.

Head, J.W. III, Solomon, S.C., McNutt, R.L. Jr. et al., 2009. The Messenger mission to Mercury: new insights into geological processes and evolution from the first two encounters. 40th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, USA, abstract 2198 pdf. (CD-ROM).

Herrick, R.R., Phillips, R.J., 1990. Blob tectonics: a prediction for western Aphrodite Terra, Venus. Geophys.Res. Letters,v. 17, no. 12, p.2129-2132.

Kochemasov, G.G. 1992a. Concerted wave supergranulation of the solar system bodies. 16th Russian-American microsymposium on planetology, Abstracts, Moscow, Vernadsky Inst. (GEOKHI), p. 36-37.

Kochemasov, G.G., 1992b. Comparison of blob tectonics (Venus) and pair tectonics (Earth). LPS XXIII, Houston, LPI, pt. 2, p. 703-704.

Kochemasov, G.G., 1993. Relief-forming potential of planets. 18th Russian-American microsymposium on planetology, Abstracts, Oct. 9-10, 1993, Moscow, Vernadsky Inst. (GEOKHI), p. 27-28.

Kochemasov, G. G., 1995a. Possibility of highly contrasting rock types at martian highland/lowland contact. In, Golombek M.P., Edgett K.S., Rice J.W. Jr. (Eds), "Mars Pathfinder Landing Site Workshop II: Characteristics of the Ares Vallis Region and Field trips to the Channeled Scabland". Washington, LPI Tech. Rpt. 95-01, Pt.1, LPI, Houston, 63p. (p. 18-19).

Kochemasov, G.G., 1995b. Mercury's "small-pox" structure: geometrical model of its origin. 22nd Russian-American microsymposium on planetology, Abstracts, Moscow, Vernadsky Institute (GEOKHI), p. 35-36.

Kochemasov, G.G., 1998. Tectonic dichotomy, sectoring and granulation of Earth and other celestial bodies. Proceedings of the International Symposium on New Concepts in Global Tectonics, "NCGT-98, TSUKUBA". Geological Survey of Japan, Tsukuba, Nov 20-23, 1998, p. 144-147.

Kochemasov, G.G., 1999a. Theorems of wave planetary

tectonics. Geophys. Res. Abstr., v.1, no. 3, p. 700.
Kochemasov, G.G., 1999b. On convexo-concave shape of small celestial bodies. "Asteroids, Comets, Meteors" conference, Cornell Univ., U.S.A., July 1999, Abstract # 24.22.
Kochemasov, G.G., 2006. Wave warping as a reason (impetus) of density (chemistry) differentiation of planets at very early stages of their formation. Workshop on early planetary differentiation: a multi-planetary and multi-disciplinary perspective, LPI, Abstract no. 4010.
Kochemasov, G.G., 2009a. On universal tectonic trends of rotating celestial bodies (supertectonics). New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 50, p. 23-34.
Kochemsov, G. G., 2009b. Relief-forming potential of terrestrial planets predicted by the wave planetology. European Space Agency International Conference on Comparative Planetology: Venus-Earth-Mars, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, 11-15 May 2009.
Thomas, P.C., Veverka, J., Helfenstein, P., Porco, C. et al., 2006. Shapes of the saturnian icy satellites. Lunar and Planetary Science Conference XXXVII, Houston, USA, Abstract 1639 pdf. CD-ROM.
Zuber, M.T., Farmer, G.T., Hauck, S.A. II et al., 2009. Observations of ridges and lobate scarps on Mercury from Messenger altimetry and imaging and implications for lithospheric strain accommodation. 40th Lunar and Planetary Science Conference, Houston, USA, Abstract 1813 pdf. CD-ROM.

地球科学にかかわる政治欄　GEOPOLITICAL CORNER

第 33 回万国地質学会（IGC）におけるイデオロギー的抑圧（２）

（矢野　孝雄［訳］）

IGC 地域組織委員会からの私たちの手紙への回答

オスロ，2009 年３月 29 日

親愛なる Storetvedt，Choi ならびに Wezel 教授

あなたがたの 2009 年２月２日付の IUGS 宛公開書簡への回答が遅れたことを，まずもって，お詫び申し上げる．公開書簡に述べられた支援体制の背景をチェックするために時間を費やしたのだが，提起された問題がひどく深刻であるため，回答はより迅速におこなわれるべきであった．

第 33 回万国地質学会組織委員会は IUGS 会長 Ricardi 教授が２月 10 日付のあなたがたへの手紙で述べたことがらにまったく賛成であることを，まず私はあなたがたへ表明する．あたながたが述べた問題は，いかなる差別の結果では断じてなく，その理由は支援体制の問題だけである．あなたがたのシンポジウムが計画後に変更をおこなわなければならなかった唯一のシンポジウムではないことを，私は確証することができる．

私はあなたがたの苦情を 33IGC 科学委員会議長の David Gee 教授と議論し，私は以下に述べることがらが状況説明になることを望む．

招聘者たちによって述べられた STT-09 に関する問題は，おもには，学会プログラムを絞り込むための組織委員会の５月決定，すなわち，シンポジウム群と会場の数と規模の全般的縮小に起因する．STT-09 には，18 件の口頭発表と７件のポスター発表があった．絞り込みのために，１人の招待講演者が口頭発表からポスター発表に移動することになった（これは多くのシンポジウムでも起きたことで，STT-09 の場合には，講演者 Zemtsov 氏は口頭発表プログラムへもどされた）．

私たちは，STT-09 を会場 31 で８月 12 日の後側 3/4 日（１日あたり 24 講演と計算）で開催を計画したが，Storetvedt 教授が全日開催を希望したので，私たちは 13 日に "Rogaland" の講義室（約 50 席）へ移動させざるをえなかった．ところが，不幸にも，７月に会議 'PCO'（会議－集会 AS）から全参加者個人へ発送された案内状には，このシンポジウムが 12 日開催となっていた．また，私たちは開催日を 12 日のままにすることが最善であることを招聘者と合意した．それゆえ，12 日に使用する会場を新しく確保する必要が生まれた．そのため，プログラムでは TBA の状況にあった．最終的に，私たちは，別の建物に十分に広い特別会場（#32）を借り上げることを決定した．SciCom は，このシンポジウムに対するいかなる差別でなく，私たちの問題はすべて，大きな会場（最終的にどのくらい大きな会場が必要であるか，氏らの報告では不明であった）での全日開催という氏らの希望に関わるものである．

さらに，私たちは，これらの会場に関して他には，次の点以外には，いかなる苦情も受け取っていない．苦情があったのは，PCO による会場案内がかなり粗雑であったという点で，それはおもに学会初日に問題となった．

おおくのシンポジウムが STT-09 と同様の問題をかかえ，初期の計画よりもいくらかを断念せざるをえなかった．これは，通常，いつくかの発表をポスターへ振り替えることを意味する．これは，大規模学会では，まったく通

例になっている．STT-09にかかわる特別の問題は，招聘者たちが全日開催の必要性を強く要望したことにある．それは，私たちがプログラムを，拡張ではなく圧縮せざるをえなくなった状況の中で起きた出来事であった．私たちは，氏らの希望をかなえるために最善を尽くした．そして，氏らが不当な扱いを蒙ったと感じたことに，私たちたちは深くお詫びする．

私は，以上が苦情への十分な回答になることを強く希望する．いずれにしても，オスロで開催された第33回IGCでの発表を受け付けたいかなるシンポジウムや発表に何らかの差別をおこなう理由を私たちはもちあわせていないことを繰り返すことだけが私たちのなしうる回答である．　敬具

教授 Anders Solheim（33IGC 事務局長）

第33回万国地質学会現地組織委員会からの回答へのコメント

期　日：2009年5月9日
宛　先：Alberto C. Riccardi, IUGS会長
riccardi@museo.fcnym.unlp.edu.ar
標　題：第33回万国地質学会でのイデオロギー的抑圧
発信者：セッションSTT-09招聘者

親愛なるRiccardi教授，

私たちの公開書簡に対する2009年2月10日付のご回答をいただき，厚く御礼申し上げる．

私たちは，あなたの科学における表現と意思疎通の自由を擁護する率直な言明に喜んでいる．それは，ICSU文書「科学的自由・責任ならびに普遍性」に謳われた規範は，万国地質学会を含むすべての地球科学活動が準拠すべきものであることを裏書きしている．わたしたちは，この原則にのっとって行動する責任が個々の会議を主催する現地組織委員会（the Local Organization Committee：LOC）に課せられているものと認識する．

このような観点から，あなたは，第33回現地組織委員会宛のわたしたちの公開書簡について述べ，私たちが求めたLOCが確かに私たちへの回答を寄せることを保証された．しかしながら，彼らの回答―第33回IGC事務局長からの2009年3月29日付手紙―は，誤解をあたえるものであり，かつ，不完全なものであり，現実に起こったことの適切な要約にもなっていない．わたしたちにふりかかってきた問題はすべて厳密に組織上のものであり，しかしながら，私たちが経験した多くのさまざまな事件からは，回答に尽くされていないより多くの問題があったと結論せざるをえない．組織委員会がわたしたちの苦情に回答するのに6週間以上を要した事実だけをとっても，問題の扱いにくさを裏付けている．

彼らをどっちつかずの審判に終わらせないためにも，当の問題は科学にとってきわめて重大である．それゆえ，この問題に決着をつける前に，IUGS会長でいらっしゃるあなたに対して，私たちは次の点を主張しておきたい．とくに，私たちの問題はすべて，ウプサラ（スウェーデン）のDavid Gee教授が責任者を務める科学委員会（the Science Committee：SciCom）にかかわって発生したことを強調するものである．

１．SciComは私たちのオリジナルなシンポジウム趣旨に的をしぼって，彼らが不快な思いをしないように，私たちは私たち自身のセッションの目的を成文化しなおさなくてはならなかった．私たちがプレートテクトニクスにおける根本的な弱点と異常さを指摘し，私たちの研究分野ではこのモデルが満足のいく説明を与えていないという事実が，快く受け入れなかったことは明らかである．彼らがシンポジウムの支援における差別という対応を行ったことは明白である．そして，それは，ICSUの根本的使命の１つ，すなわち，政治的／イデオロギー的に干渉されることなく表現および意思疎通する自由を破壊する明瞭な抑圧であった．

２．招待参加は，科学シンポジウムにおける重要な要素であり，招聘者のプログラム作成における１つの重要な任務である．しかし，私たちの場合，SciComは，私たちの招待講演者のひとりであるVictor Zemtsovをポスターセッションへ移動させるという先例のない行為を行った（私たちの要求によって，その後，Zemtsovは口頭発表プログラムに戻された）．この経緯を，組織者は今になって部屋数を減らす必要性によって説明している．しかし，そうだとすると，彼らはなぜ午後前半のセッションから私たちの招待講演者Zemtsovを″はずした″のだろうか？
　というのは，午後後半のセッションにはすくなくとも３つの通常講演が予定されていて，本当に必要ならば，それらのなかから１つの講演を移動させたのであれば正当な行為といえる．彼らは，私たちに相談しようともしなかった．彼らの行動がシンポジウム支援のために行われたとは，とても信じがたい．

３．シンポジウムの２日前の８月10日（日）までに部屋の割当がおこなわれなかった唯一のシンポジウムであることは確実である．その日曜日の夕刻にSciCom議長との個人的討論のなかで，隣接する会議場ホテルの１室に確保されることになった．月曜日の午前中に，私たちは変更になった会場を検分したところ，それは，私たちの目的にはまったく適わない小さなセミナー室であった．そこで，運営部門のEllen Rambergを訪ねた．そこで，やっと，私たちの部屋の問題が解決した．そこでは，別のオフィスビルの講堂（#32とよばれていた）が私たちに割り当てられると伝えられ，会場は理想的なものになった．組織者は，私たちの要望を満たすために特別な会場を借り上げなくてはならなくなった，との印象を組織者たちは私たちに与えた．しかしながら，そのビルの管理者は，その前の週には，その講堂が多くのIGCセッションに使われ，万国地質学会の必要に応じて利用でき

ることになっている，と語った．それゆえ，私たちのセッションが意図的に撹乱されてきたことに，失望を感じた．

４．SciCom によってひき起こされたシンポジウム日程の混乱について，日程が最終的に決着すればすぐに（7 月 10 日頃），学会ウェブサイトは更新されるだろう，と普通は考えられる．しかし，実際には，ウェブサイトに正確な期日が表示されるのに，数日間の時間とウェブ管理者（SciCom からの指示で働いていることは明白である）への３～４回の申し入れが必要であった．

第 33 回万国地質学会の招聘者として私たちが経験したことは，まったく容認できない．しかし，この経験は次のような注意を喚起するだろう．すなわち，それは，科学というものが，一般に喧伝されるような，ある特別な理性的方法で機能する著しく特殊な行為ではない，ということである．人類のある１つの行為として，科学は職業的，社会的，文化的，そして，心理的要素が複雑に織りなされたものである．そして，これらの要素は，知識の健全な発達を妨げようとする協調と旧態的抑圧を容易にうみだすであろう．別の新しい学説の分化・増殖は科学にとって有益であり，事実と学説との間の衝突は進歩の源泉であることは，強調に値する．

以上の理由から，ICSU 文書（2008）に謳われた科学の自由と指揮手順にかんする基本規則が遵守されているかを監視する機能が現場で働くことが重要である．私たちの経験では，地質科学には国際的な監視機構が必要であることは明白である．この監視機構は，専門的内容以外で紛糾が起きたときにはいつでも，また，科学者が援助を求めた場合には調停することを目的とする．このような観点や意見が公に議論されることは，科学の利益になるだろう．IUGS 執行委員会が今後の万国地質学会を組織する際に，これらの諸問題を重視されることを私たちは信じている．　敬具

第 31 回万国地質学会 STT-09 New Concepts in Global Tectonics セッション組織者
Karsten Storetvedt（ノルウェー）Karsten@gfi.uib.no
Dong Choi（オーストラリア）raax@ozemail.com.au
Forese Wezel（イタリア）wezel@uniurb.it

cc: pbobrows@NRCan.gc.ca; william.cavazza@unibo.it; jacques.charvet@univ-orleans.fr; simpsons@grapevine.com.au; marta@iag.usp.br; whill@geosociety.org; iugs8@yahoo.com; centeno@servidor.unam.mx; Marita.bradshaw@ga.gov.au; ryo@eps.s.u-tokyo.ac.jp; Peadar.Mcardle@gsi.ie; sftoteu@yahoo.fr; secretariat@icsu.org

IUGS 会長からの回答

2009 年 6 月 9 日

親愛なる Karsten Storetvedt, Dong Choi ならびに Forese Wezel 博士

2009 年 5 月 9 日付のあなたがたの手紙，ならびに第 33 回 IGC 現地組織委員会からの回答へのコメントをお送りいただいたことに，お礼申し上げる．

あながたの苦情に対して第 33 回 IGC 事務局長から不完全で不適切な回答が届いたことを私は学び，遺憾に思う．

第 33 回 IGC STT-09 New Concepts in Global Tetconics の組織にあたってあなたがた自らが経験されたことを述べられ，それが，いかなる環境であっても，捨て置けなかった，そして，現在も捨て置けない価値をもつことを指摘いただいたことに私は感謝する．

IUGS は，別の新しい学説の分化・増殖が科学にとって有益であり，事実と学説との間の衝突は進歩の源泉である，というあなたがたの見解に賛同する．

IUGS 執行委員会は，あなたがたが提案された，ICSU 文書（2008）に謳われた科学の自由と指揮手順にかんする基本規則が遵守されているかを監視する機能を整備し，これらの基本規則が万国地質学会ならびに IUGS の活動に適用されることを保証する必要性に留意する．　敬具

Prof. Alberto C. Riccardi
IUGS 会長

出 版 物　PUBLICATIONS

（矢野 孝雄［訳］）

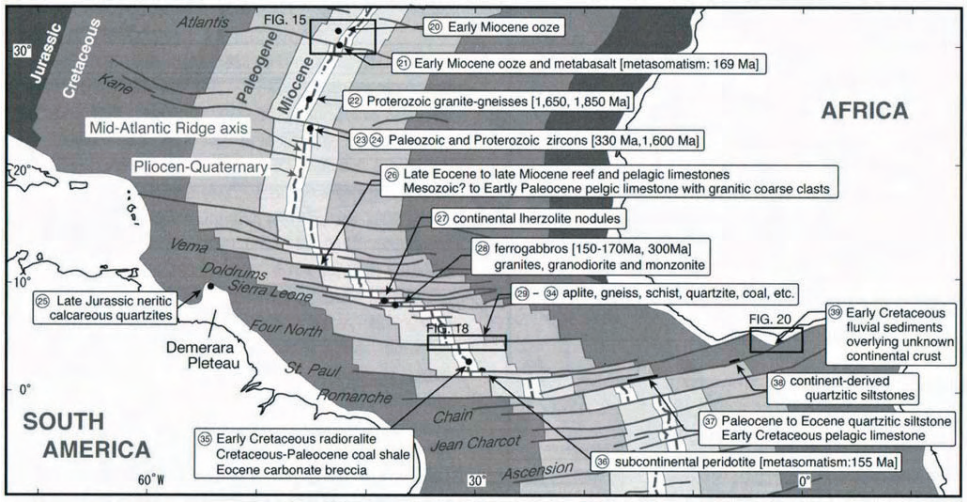
大西洋の古期岩石と大陸性岩石
ANCIENT AND CONTINENTAL ROCKS IN THE ATLANTIC

矢野孝雄（yano@rstu.jp），Alexander GAVRILOV，宮城晴耕 and Boris I. VASILIEV
地球科学（Earth Science），v. 63，no. 3，p. 119-140，2009（日本語＋英文要旨）

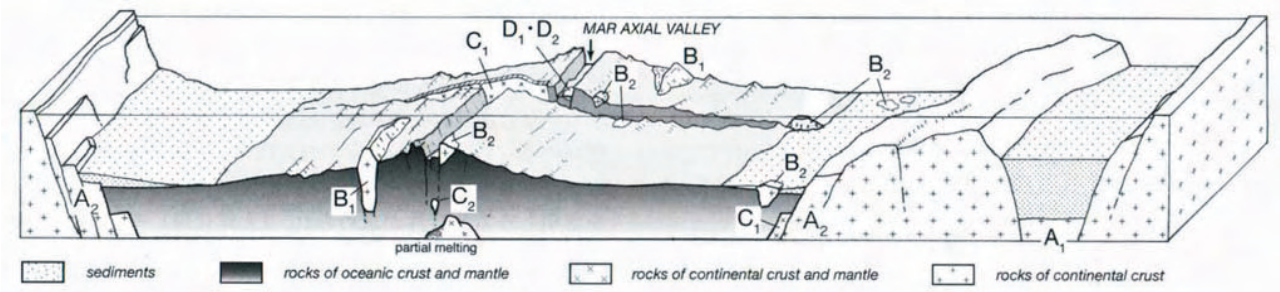
要　旨：海洋底拡大説によると，海洋地殻は２億年以前以前の岩石や大陸性の岩石を含まない．ところが大西洋底では，18.5 億年に遡る岩石や，花崗岩類・片麻岩・結晶片岩・グラニュライト・粗粒陸源堆積物・大陸性かんらん岩などの大陸を構成する物質が，42 ヶ所で発見されている．本稿では，それらを記載し，４タイプに分類して，古期・大陸性岩石の意義を考察した．

タイプ A（大陸 / 海洋境界帯において海洋底以深の深度に存在する大陸性岩石－マントルブロック）は，大陸が深く沈降したり，深海盆～深海平原に転化したことを示す．中央海嶺～両翼両翼の海盆に分布するタイプ B（数 100km ～鉱物サイズの大陸性物質）とタイプ C（大陸的地球化学特性をもつ地殻－上部マントル物質とそれらに由来する火山岩）は，海洋底に大陸性岩石が散在・伏在していることを示す．タイプ D（海洋プレート年代よりも有意に古い含化石堆積物や苦鉄質岩石）は，これらの化石・放射年代とプレート年代との不一致を意味する．

『海洋底拡大説』には，タイプ B ～ D の古期・大陸性岩石の存在を統一的に説明することが求められ，『大洋化説』や『海洋底隆起説』には増加した物的証拠にもとづいて，支配的メカニズムを具体的に提案することが求められる．今後，文献収集が進捗し，海洋地質調査が進展すると，大西洋底からはより多くの古期・大陸性岩石がみいだされ，やがて海洋起源論争が再燃するであろう．



赤道大西洋にける古期および大陸性岩石．海洋底の年代分布は Dercourt (2000, Geological Map of the World, Scale 1:25,000,000. Commission for the Geological Map of the World and UNESCO)



大西洋における古期･大陸性岩石の分類を示す模式図．古期･大陸性岩石は，それらの空間的分布が小さいために，強調されている．タイプ A:海洋 / 大陸漸移帯の大陸性岩石で，海洋底深度よりも深く沈降したもの（A_1:大陸縁堆積盆に伏在，A_2:海洋縁に分布），B:海洋底に分布する大陸性物質（B_1：大規模岩体，B_2：岩塊から鉱物サイズ），C：地球化学的に大陸性であることを示す地殻および上部マントル物質（C_1），ならびに，それらの部分溶融に由来した火山岩類（C_2），D：隣接する海洋プレートの推定年代よりも著しく古い年代の含化石堆積岩（D_1）および苦鉄質岩（D_2）．MAR：大西洋中央海嶺

氷期に関する天文学説：新研究，解決および挑戦
ASTRONOMICAL THEORY OF ICE AGES: NEW APPROXIMATIONS, SOLUTIONS AND CHALLENGES

著者：V.P. Melnikov and J.J. Smulsky：ロシア科学アカデミー，シベリア支部，地球氷圏研究所，ノボシビルスク

出版社：科学出版社 "Geo"，2009 年発行，84p. ISBN 978-5-9747-0142-9
価格（含送料）：U$ 15
注文先：http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/InOrdE.pdf.

地球軌道の気候への影響に関する学説が，軌道および自転運動に関する差分方程式の数学的統合によって改良された．軌道運動の問題では，太陽系の 11 の物質粒子（９つの惑星，月，および太陽）の１億年以上におよぶ軌道を統合するために，新しい方法が用いられた．この方法の正確さと安定性が，いくつかの試験で検証された．得

られた解は，統合された期間にわたって太陽系が安定に保たれてきたことを，信頼性をもって予測する．

自転運動方程式は角モーメント変化の法則から導かれ，各惑星と太陽の地球への影響がそれぞれ，１万年間にわたって統合された．この問題を解くもう１つの方法は，総合モデルにおける地球自転をシミュレートすることである．このモデルでは，モデル天体の運動とモデル自転軸の歳差と突然の変化の解明のために 11 万年間の統合が用いられた．モデリングの結果は，他の既報の解析結果，ならびに，観測データ近似に合致する．

今後の研究課題が，気候変動の天文学説における未解明の問題にしたがって整理されている．

この本は，大学生および高校生を含む，気候への影響に興味をもつ人々を読者層として設定されている．

財政的支援について　FINANCIAL SUPPORT

新購読料システム　NEW SUBSCRIPTION FEE STRUCTURE

（赤松　陽［訳］）

私たちは，オンライン購読の場合，個人で可能な方からは 30 米ドル（45 豪ドル）あるいは相当額以上の，また，図書館に対しては 50 米ドル（75 豪ドル）あるいは相当額の財政援助をお願いしております．印刷物での購読の場合には，図書館ては 70 米ドル（95 豪ドル），個人では 50 米ドル（75 豪ドル）を設定させていただきました．

少額ですので，ばかにならない銀行手数料の支払いを避けるために，**私たちは，銀行為替手形か，New Concepts in Global Tectonics 宛ての支払い可能な個人小切手を発行してもらうことをお願いします．あて先は** 6 Mann Place, Higgins, ACT2615, Australia. **銀行を通じて送金する方のための銀行預金口座細目：銀行名－** Commonwealth Bank, Belconnen Mall ACT Branch (BSB 06 2913)10524718. **口座加入者名－** New Concepts in Global Tectonics.

自国通貨が国際的に流通する国の方は，個人小切手の場合，自国の通貨立てで発行してください．たとえば，カナダからの送金の場合は，カナダドル立てでというように．というのは，もし，カナダから米ドル立てで発行されると 40 ドル，豪州ドル立てで発行されるとそれ以上の手数料がかかってしまうからです．また，銀行為替手形の場合は，豪州ドル立てで発行してください．もし米ドル立てで発行されると，同じように，それらには 40 豪州ドルあるいはそれ以上の手数料がかかってしまいます．

もし領収書が必要な場合には，ご送金の際に一言，お知らせ下さい．

ニュースレターについて　ABOUT THE NEWS LETTER

このニュースレターは，1996 年 8 月に北京で開催された第 30 回万国地質学会のシンポジウム "Alternative Theories to Plate Tectonics" の後でおこなわれた討論にもとづいて生まれた．New Concepts in Global Tectonics というニュースレターのタイトルは，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開催された，それ以前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行う．とくに検閲と差別の行われている領域において．
3．既存の通信網では疎外されているそのような考え方と研究成果に関する討論のためのフォーラム．それは，地球の自転や惑星・銀河の影響，地球の発達に関する主要学説，リニアメント，地震データの解釈，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．