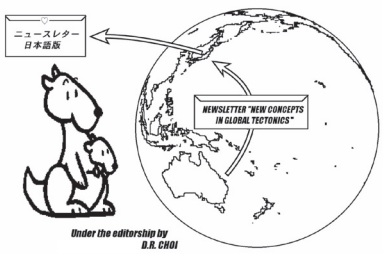
# 国際雑誌 グローバルテクトニクスの新概念

***An international journal for New Concepts in Global Tectonics***

［英語版 Vol. 1. No. 3 <http://www.ncgt.org/> から選択翻訳］

日本語版 Vol 1, No. 3（2014 年 1 月）
■ **Print edition ISSN 2186-9693**

多数のカラー図面は，下記のオンライン版をご覧ください
■ **Online edition** <http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/ncgt/>




編集長：**Dong CHOI**，編集委員：**Ismail BHAT, India (bhat mi@hotmail.com); Giovanni GREGORI, Italy (giovanni.gregori@idac.rm.cnr.it); Louis HISSINK, Australia (lhissink1947@icloud.com); Leo MASLOV, USA (ms_leo@hotmail.com); Cliff OLLIER, Australia (cliff.ollier@uwa.edu.au); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dp@davidpratt.info); N. Christian SMOOT, USA (christians moot532@gmail.com); Karsten STORETVEDT, Norway ( Karsten@gfi.uib.no); Boris I. VASILIEV, Russia (tesla@poi.dvo.ru); Takao YANO, Japan (yano@rstu.jp)**

## も く じ

■ 編集者から　地震とサージテクトニクス　［柴　正博 訳］…… 2
■ 編集者への手紙　科学における群集心理　［矢野孝雄 訳］…… 3
■ 原著論文
Structural elements of some astroblemes indicating directions of cosmic body trajectories　K. KHAZANOVICH et al.
天体の軌道方向がわかるいくつかの astroblemes の構造要素　［日本語 要旨］…… 8
Atmospheres of Venus, Earth and Mars: their masses and granulations in relation to orbits and rotations of the planets
Gennady G. KOCHEMASOV
金星，地球，および火星の大気：惑星の軌道と自転に関連したそれらの質量と粒子化［日本語 要旨］…… 8
Mud volcanoes, geoeruptions and radio anomalies preceding the M4.9 seism in the northern Apennines of Italy
Valentino STRASER
泥火山，イタリア北部アペニン山脈における M4.9 地震の際の地噴出と電波異常の兆候　［岩本広志 訳］…… 8
OLR anomalies prior to big earthquakes (Mw>6.0): A case study on earthquakes of India's neighboring region occurred during the year 2012　N. VENKATANATHAN, B. KAARTHICK and C. PIYADHARISINI
巨大地震 (MW>6.0) に先立つ OLR 異常：2012 年インド近隣地震のケーススタディー［岩本広志 訳］…… 13
An Archean geanticline stretching from the South Pacific to Siberia　Dong R. CHOI
南太平洋からシベリアまで延びている地背斜　［山内靖喜・久保田喜裕 訳］…… 17
■ 評論
Global theories and standards of judgment: knowledge versus groundless speculation　Karsten STORETVEDT
グローバルな理論と判断の基準：知識か根拠のない推測か　［杉山　明 訳］…… 24
■ 討論
Paleomagnetism, polar wander and global tectonics: some controversies　David PRATT
古地磁気，極移動，および全地球造構運動：いくつかの争点　［赤松　陽・小泉　潔・矢野孝雄 訳］…… 62
Surge tectonics – a response to Karsten Storetvedt　J.C. MEYERHOFF, D. Meyerhoff-Hull and R.D. MEYERHOFF
サージテクトニクス—KARSTEN STORETVEDT への回答　［小泉　潔・矢野孝雄 訳］…… 74
■ 出版物 / 財政的支援について /NCGT ジャーナルについて …… 78
■ *お知らせ：NCGT ジャーナル日本語版の新発行方式* …… 80

連絡・通信や投稿原稿には，次の方法をご利用下さい：NEW CONCEPTS IN GLOBAL TCTONICS
1) E メール：editor@ncgt.org, ncgt@ozemail.com.au, または ncgt@hotmail.com; 1 ファイルは 10 MB 以下，10 MB を超えるファイルファイルは ncgt@hotmail.com へ．2) ファックス（少量の通信）：+61-2-6254 4409，3) 郵便・速達航空便など：6 Mann Place, Higgins, ACT 2615, Australia ( ファイルは MS Word フォーマット，図面は jpg, bmp, tiff フォーマット )，4 ) 電話：+61-2-6254 4409.

放棄 [DISCLAIMER]　この雑誌に掲載された意見，観察およびアイデアは投稿者に責任があり，当然のことながら，NCGT の編集者と編集委員会の責任ではありません．

日本語版発行：New Concepts in Global Tectonics Group 日本グループ
連絡先　〒680-8551 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学地域学部地域環境学科 矢野孝雄 Phone/Fax 0857-31-5113 EM yano@rs.tottori-u.ac.jp
翻訳・編集：NCGT ジャーナル 翻訳グループ
赤松　陽　岩本広志　川辺孝幸　国末彰司　窪田安打　久保田喜裕　小泉　潔　小坂共栄
小松宏昭　佐々木拓郎　柴　正博　角田史雄　宮川武史　宮城晴耕　山内靖喜・輝子　矢野孝雄

# 編集者から　FROM THE EDITOR

（柴　正博［訳］）

## 地震とサージテクトニクス

すでにみなさんの何人かはご存じのように，今年２月に国際地震・火山予測センター（IEVPC）は中国南部雲南省での強い地震の可能性を警告した（www.ivepc.org）．この警告は，我々が昨年末からその地域で検出していた種々のシグナルに基づくものであった．我々の予測と一致して，M6.6 の地震が予測地域近くの四川省において 2013 年 4 月 20 日に発生した．150 人以上の人々が死亡した．地震の直後に，中国の国営テレビはフロリダの推進本部にある IEVPC 会長の John Casey にインタビューし，それを中国全土にリアルタイムで放送した．2 番目の地震（M5.8）は 2013 年 8 月 31 日に雲南省最北部で発生した．その後，この地域での地震 - 電磁気活動は次第に静穏化した．

この特定の予測のために行なわれた我々の幅広い地質学的 - 地震学的分析によって，非常に興味深い事実を確認した：雲南 - 四川地域を支配している活動的なサージチャネル（もともとは，1992 年と 1996 年に Meyerhoff et al. が記述）の存在である．それは，1970 年代以降，北東 - 南西方向の主要な構造帯に沿って一連の強い地震を生じさせてきた．この構造帯は，中国北部の Tan-Lu 断層に，さらに北方ではオホーツク海の深部地震 / 構造帯に接続する．この構造帯のミャンマー - 中国南部区間沿いでは，昨年末から３つの大地震が発生した．それらは，ミャンマー中央部の 2012 年 11 月 M6.8（IEVPC の仲間が非常な正確さでその予知に成功した），四川省の 2013 年 4 月 M6.6，および 雲南省最北部の 2013 年 8 月の M5.8 である．本号 p.45-55 で，雲南サージチャネルに関係するこれらの地震の地質学的重要性が論じられている．

雲南サージチャネルは，ボルネオ - バヌアツ地背斜北端の背斜軸上に発達している．南西太平洋と東南アジア地域では，この背斜軸部が著しい海洋化を被っている．本号（p.45-55）の私の論文で述べられるように，ボルネオ―バヌアツ地背斜は南西太平洋のスーパープリュームから派生したエネルギーが北方へ移動する幹線サージチャネルであり，雲南サージチャネルで起こっている諸過程は海洋化作用の初期段階と見なすことができる．

IEVPC が地震予測に続けて成功したのは，正しい地震 - 造構モデルと中期～短期信号の発見ツールを統合したことによる．新しい地震モデルは，地球の外核から供給される熱エネルギー，深部断裂系に沿うエネルギー移動，および，サージチャネル、トラップ構造、造山イベント，地域地質および広域地質に示される地質史に基づいている．熱エネルギー（より適切に言うと，おそらくは熱 - 電磁気エネルギー）の移動は IEVPC の実用モデルの核心部分をなす．それ故，地域的かつ広域的な地質構造に関する十分な知識が，特に強い深発地震が起こる地域では，発生エネルギーの移動方向の予測に本質的役割をはたす．この問題に関する我々の予測研究では，サージテクトニクスが有用である．

火山活動と同様に地震も，上部マントル - 地殻に熱が供給されなければ起こらない．移動 - 流出する熱エネルギーは，炭化水素のように，上部マントル中の閉鎖された構造的高まりに貯まる．従って我々の想定では，地震帯はその下に熱エネルギーが流れることができるチャネルを伴っていて，チャネルはしばしばマントル中の構造的高まりを形成する古期あるいは新期の造山帯 - 変動帯に形成される．

現場で仕事をするフィールド地質学者として確信しているのは，サージテクトニクスが，我々が地球の表面と内部において観察することの大部分を説明できる幅広く実践的な地質構造概念であることである．ただし，最近版が出版された 1996 年以降の新しいデータを包括するためには，いくつかの更新が必要である．Karsten Storetvedt は，本号の p.56-102 に，サージテクトニクスの批判とレンチテクトニクスの擁護を提示している．それに対して David Pratt (p.103-117) と Arthur Meyerhoff の子供たち (p.117-121) が回答を寄せている Taner et al. によるもうひとつの回答は次号に発表されるだろう．我々は，NCGT ジャーナル誌上での公開討論を歓迎する．

### 文　献

Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Martin, B.D., Agocs, W.B. and Meyerhoff, H., 1992. Surge tectonics. In: Chatterjee, S. and Hotton, N. III (eds.), New Concepts in Global Tectonics, Texas Tech Univ. Press, Lubbock. p. 309-409.

Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C., Choi, D.R. and Meyerhoff-Hull, D. (ed.), 1996. Surge tectonics: a new hypothesis of global geodynamics. Kluwer Academic Publishers, 323p.

# 編集者への手紙　LETTERS TO THE EDITOR

## 科学における群集心理　THE FLOCK INSTINCT IN SCIENCE

**Karsten M. STORETVEDT**
Institute of Geophysics, University of Bergen, 5014 Bergen, Norwaykarsten.storetvedt@gfi.uib.no

（矢野　孝雄［訳］）

“共通認識というものは，パラダイムを共有する人々の間の協議が有利になるように，仲間と一緒になろうとする性癖にすぎない”．そして，”性癖が容易にかわることはありえない”．

Howard Margolis 著『パラダイムと障壁』（1993）

### 専門家の疎外と人間の性癖

NCGT ジャーナルのおもな目的は，プレートテクトニクス（PT）が地球の構造発達を説明できないことに焦点をあて，それに替わる全地球学説を世に送ることである．優勢な教義に矛盾する，挑戦的議論と事実が十分に強力であれば，それらは，教義をしだいに不安定化させるだろう．そして，あるとき，新しい学説が優位にたつと，ついに科学革命が起きる．しかし，そのような科学的信念の転換はきわめてまれで，十分には解明されてない現象である．なぜならば，科学的信念というものは，専門家集団の”指導者”と多くの人々の願望と嗜好性につよく依存しているからである．さらに，大地をゆるがすほどの科学的学説の創出は，それぞれの分野におけるごく少数の独創的思索者だけが達成しうるものである．そして，［真の］議論もごく少数の人々によって先導されることも明白な事実である．その理由は，ほとんどの科学者はかれらの研究努力のほとんどすべてを個別的な技術的・観察的課題にささげ，彼らがかつて学んだ専門分野の世界観の中で科学研究をすすめるためである．それゆえ，科学者の大半は個別科学分野におけるパラダイムの発展に対しては部外者であるにすぎないことも，明らかである．それゆえ，研究者集団は，根本的革新を抑圧してきた長い歴史をもっている．なぜなら，新しい基本概念は，彼らの役割や貢献を必然的に破壊し，その影響をこおむる科学分野に属する大量の研究者の専門的存立基盤を脅かすからである．

Kuhn (1970) は，次のように提案した．競合している学説の選択過程では，一般に，心理的反応や社会的関係が実際の証拠よりもはるかに重視される，と．同じように Margolis (1993) によれば，研究者の大半にとって，代替えの学説の選択は議論の論理だけで決定されるのではなく，集団的興味，同盟関係，および交遊関係―それらは，同血統的意見に挑戦するあらゆる見解にたいして，連携して頑強に抵抗する―のような要素にも依存する，という．このような人間の性癖によって，大地をゆるがすほどの競合者の考え方は一般にうけいれられず，そのために受容には長い時間がかかる．しかし，ときどき，たとえば 1960 年頃におけるウェーゲナーの大陸漂移学説のように，著しく推測的で支持されない学説が発展することがあり，そのような場合には，それに反する決定的証拠は”機械のなかの汚れ”のような地位に落とされ，排除されるだろう．これまで私の著書でくりかえし述べてきたように，1960 年代後半のグローバルテクトニクスで宣言された”科学革命”は，かなりの程度まで社会的現象であった．社会的・政治的に機が熟すと，大陸の側方移動への長期にわたる抵抗が急速に弱まり，列車に乗り遅れることを恐れるがごとく，地球科学研究者の大群が PT 信者集団の中に駆け込んだ．このジャーナルにおける今日的論点からみると，大きく異なる地球モデルの中にあって，そのような議論に蔓延している数多くの感情的で非生産的な論議を注視しておくことがきわめて重要である．

私は，成長して研究生活に入った頃，科学に大きな関心をもった．知識というものは，系統化された観察の集合にもとづいていて，なんらかの論理的処理をほどこすことによって法則や学説を生みだすものだ，と私は考えていた．いいかえると，科学的理解は”確実な土台”の上にビルを建設するようなものである，と考えていた．が，私はさらに誤解を重ねることはなかった．地球の地質に関する私の知識はたいへん乏しかったにもかかわらず，2, 3 年間の当惑の末に，Newcastle 大学物理学科の学生であった私は 1960 年代前半に，急激に膨張する漂移 - 拡大論の中に猛然と飛びこんだ．しかし，Bergen へ帰ると，私は幸いにも，熱狂や偏った造構的解釈を日々服用することから離れ，より重要なことに，私は平穏な環境のなかで事実を学ぶことができるようになった．こうして 2, 3 年後には，さまざまな海洋域の海洋底拡大モデルを特徴づける多数の場当たり的規定に疑問をいだくようになった．さらに，南大西洋を横断する DSDP Leg 3 でえられたデータ

を批判的に検証したところ，それらのデータを，この海域の未完成な拡大史に整合させることは困難であった．いいかえると，私は，PT のもっとも中心的な主張のいくつかに疑問をいだきはじめたのである．実際，科学者たちは，自らの基礎としている知的モデルを検証したことはなく，それらにともなうパラダイム的世界観に隷属し，そのような学説を利用しているにすぎない！，と私はしだいに実感するようになった．研究者たちは，それゆえ，自らが愛玩している論理モデルの修正実験に熱中し，予期しない観測結果を想定されたものであるかのよう描き出ることに腐心しているにすぎない．Popper (1968, 1969) の虚偽化原理は，特定の観察・実験結果を強調することによって虚偽の学説が誕生しうることを示した．これは，深く浸透した”全体像 big picture”に関する思考が実際に役に立ったことはないことを，典型的に示す．1970 年代前半に私はグローバルテクトニクスの modus operandi（方法論的操作）についてしだいに理解を深め，困惑が増大した. いっぽうで, PT の欺瞞に満ちた単純化が, 地球全体の地質学に断片的知識しかもたない教師たち（ほぼ誰もが該当する）への良い贈り物になり，数年のうちに’新グローバルテクトニクス’になった．これは，私の教育でずっと不協和音であった．

プレートテクニクスがスカンジナビアにひろがったのは，遅かった．たとえば，Bergen 大学地球物理学教室の古地磁気グループを除くと，ノルウェーでは，1960 年代のプレートテクトニクス革命はあまり知られていなかった．しかし，この新見解は海外から圧力を加えつづけ，先に PT 勢力にくわわった外国人来訪者が, 自尊心を傷つける状況がうまれた. 1969 年 11 月に，Bergen 大学地質学教室主任から私に，翌日の Green 教授（オーストラリア）の招待講演に出席するようにとの電話があった. とくに, Green 教授の講演の後で，活発に議論することを確約してくれるとありがたい，とのことであった. その地質学教授は，私たちの教室の客員研究員であるドイツ人研究者 Nicolai Petersen も私と一緒に出席してほしい，とつけくわえた．Nicolai と私は招請に応じたが，私たちは，活発に議論した多くの聴衆にまぎれていただけだった．歴史的観点から，ある新しいパラダイムが press forward（出現する）際に，その背後にある演出上のジレンマ（板挟み）に気づくことが重要である．そのような場合，この現代的潮流に乗じなければ，ノルウェー（そして，世界中の）の地質学界の指導者たちは専門分野における自らの地位をすぐにも失ったであろう．”選択の余地がない”状況が生まれていたのである．

ノルウェーにおける PT への改宗はわずか 2 年ほどですすみ, 1975 年までに実質的に完了した．その後は，だれもが，この新しい造構概念とともに生まれ育ったかのように吹聴した．虚偽の演技をともなう群集心理が，常識を事実や証拠におきかえた．その後は，プレートテクトニクスを疑問視する海洋地質学 - 地球物理学的証拠について議論すると，しばしば傲慢な嘲笑で迎えられた．このような状況がまったくの日常になるなかで, ある科学者（あるいは役者）は, 彼 / 彼女の自らの行為（演技 act）に酔い，流行しているという現実的感覚が，１つの，そして，唯一の現実であると信じるようになる．こうして, 流行を背負ったその科学者は, 同じ芝居の演技者<兼>観客になり，自らの考え方を語ることはできないことを知っているし, 知っていた．そのような込み入った策略によって，人々は，自らに疎遠さを感じることになる．これは，社会学的には,’自己疎外（self-distantiation）とよばれる（Mannheim, 1956）．この点で，ある科学界は，他の’協会’と同様に，なれあい―ある種の温かみのない親交―といった何かによって結びつけられがちなのである（Goffman, 1959）.

真実の探究には客観的前進があるとする知識の論理的経験主義を，Kuln (1970) は物理学史の広汎な研究にもとづいてくつがえした．彼は，科学は非合理的メカニズムに支配されている，という新しい視点をうちたてた．とくに，新しいパラダイムへの転換はさしたる理由もなく，不思議な様態で進行するとする．伝統科学に共通する狭小な熱意を完全には失っていない正直な科学者ならば誰しも，すぐに Kuhn に賛成するだろう．ノルウェー人の石油地質研究者 Arne Bjørkum も同様の見解を示し，科学者一般は，自らが関心をもつ（新旧の）パラダイムに適確な科学的根拠をもちえないという．パラダイムの特徴は，超構造を解明するメカニズムはかなり情緒的である点にある（Bjørkum, 1998）．ある見解の基本的方向性はおもに社会 - 政治的に，そして心理的に決定されるため，多様な意見に著しい耐え難さが蔓延する．しかし,”大局［big piture］”的思考につねに付随する不完全性をごまかそうとするために, そして, 大地をゆるがすほどの考え方（Barber 1961 参照）に対しても，誰しもが盲目であり，多様性という複雑な織物がすぐに活動をはじめる．そのため，出現した科学者集団は否定的情報に出逢うことを避け，優勢なパラダイムにおける命題の弱点をおおいかくそうとする．Paul Feyerabend は彼の著作”Against Method”のなかで，科学活動の理解に関しては，人間の”風変わり”な役割に限定する Kuhn よりも進んでいる，と述べる．次の短い物語は , 適合した memontos と同じである．

## ブラックボックスからの観測

私は，1975 年 9 月にグルノーブルで開催された国際測地・地球物理学会（IUGG）の全体会議に参加した．この会議の期間に，私は，元 IUGG 会長で著名なロシア人地質研究者 Vladimir Vladimirovich Beloussov に紹介された．プレートテクトニクスの

あらゆる側面に対して妥協のない反対を唱えたことで有名なBeloussovは，地球の地質進化に関する大著をあらわした．それ以前に，Ken Creer教授（Newcastle/Edinburgh）が，彼をとても会ってみたい人物であると評していたことを私は聞き知っていた.そして,ノルウェーの地質研究者たちがプレートテクトニクスを”発見した”直後に，偶然にも私はBeloussovをさげすむコメントを耳にした．ノルウェーでは，彼は古風で，地球科学における現代の潮流からはずれた人物と評されていた．それは，私が会った地質学の重鎮への人物評なのである．

その頃の数年間にわたって私は，地球テクトニクスの最新の動向のなかで最も重要とされる問題に関する議論のなかで，多くの不成功な試みを行っていた．そして，Beloussovに会うことによって，私は有益な科学的議論を行う希少な好機を得た．私は，その当時入手することができた深海掘削結果を詳細に読み，流行の海洋底拡大モデルに矛盾する岩石や地質構造に関する多くの決定的観察を抽出していた．さらに，１人の地磁気研究者として私は，海底地磁気縞模様についての確立された解釈にひどく懐疑的になった．海洋磁気観測は，Vine-Mathewsによる解釈―拡大する海洋底における正逆に帯磁した地殻ブロックという喧伝された方法―にしたがった地磁気の極性変化の産物ではなく，造構 - 鉱物学的作用の結果だろう，というのが私の結論であった．Beloussovは初対面の私の挨拶にうなずき，たいへん興味をもった．私の結論が，氏にとって印象的であったことは明らかである．私たちの議論は，北大西洋の古期断層系に沿って想定された大規模な横ずれ運動の論拠とされる地質学的および古地磁気学的証拠に及んだ．私は彼に，スコットランドのGreat Glen断層の両側での古地磁気に関する最新の比較研究について話した．それは，大陸の側方分裂が不要であることを意味する．そして,私の新しい造構 - 古地磁気学的知見をベルゲンの地質研究者（Anders Kvale教授）が歓迎していることをつけくわえた．

Beloussovは最初に，私が英国人であろうと思っていたが，その時に，そうではなくノルウェー人であることを知った．その結果，私たちの科学的会話は，氏の驚きによって急にとぎれた．彼は，ノルウェー人の地質指導者についてさまざまな非難をはじめた．私の知るところでは,Beloussovはかつて,科学的目的でノルウェーを訪れたことがある．それは，両国間の文化交流事業の一環であったが，ノルウェー地質学界の重要人物と面会する機会は設定されなかった.「屈指の地質研究者たちはどうしていたのだろうか？　彼ら全員が，私の訪問期間中に外出を計画したのだろうか？」と彼は声高に語った.ノルウェー人地質学の若い教授として私は，立ち上がって，同邦人の下手な演出をとがめざるをえなかった．ノルウェー人の地質研究者たちは，PT集団に最近になって加わり，実際にはその仮説の実情を知らないにもかかわらず，それが，追随するにはもっとも安全であることを発見したのである．こうして，現在のノルウェー地質学界を支配するこの集団は,次の２つの好ましくない問題に直面している．それらは，１つは国際的PT信者群集に無批判に追従することによって，もう１つは，強力な反PT論者との”危険性”をはらむ交流を避けために，生じた結果なのである．

37°Nに位置する大西洋中央海嶺西側斜面を横断した深海掘削（DSDP Leg 37）でえられた重要な地質 - 地球物理学的データは，1970年代半ばには海洋底拡大仮説に矛盾することが判明した．しかし，この深海掘削航海の一貫して否定的な結果は1977年になってやっと刊行されたもので，拡大モデルの妥当性に関する議論に結びつかなかった．否定的検証を行うことによって損失を被る―私はそれを経験した―ことを恐れる人々は，誰もが出来した状況にたいして沈黙を守ろうとする．ちなみに，地球科学者の大多数は，流行の潮流の犠牲になりながらも，自らが拡大モデルの熱心な信奉者になった理由を実際には自覚していないことも明らかである．1978年にStrasbourgで開催されたヨーロッパ地球物理学会全体会議（General Assembly of the European Geophysical Society）の際に，私はこの麻痺状態を示すすぐれた現象に遭遇した．その会議で，Vine-Matthewsの海底磁気縞模様の解釈に深く関与した科学的経歴をもち，多くの受賞履歴のある著名な英国人海洋地質研究者にであった．

私の英国の友人との会話は，進行中の共同野外研究に関する情報交換からはじまった．当時，私は中部大西洋諸島の古地磁気研究の責任者で，Azores諸島での野外調査を計画していた．それは，その後の私のアゾレスプロジェクトにかかわるもので，このプロジェクトの議論はLeg 37による掘削結果に集中した．予測と観察事実との間には重大な系統的不一致が多数あるため，今や誰もが信頼しているモデルに何か根本的間違いがあるはずだ，と私は彼に述べた．その後，私の高名な友人は，DSDP 37による否定的結果についての議論を続けることができなくなった．彼は不快な面持ちで，実質的な会話をしなくなった．彼が理想化されたプレートテクトニクスにあまりにも強く追従していたことは明白で，そのために，自ら論証できない演技に”買収されていた”のである．近くにいたもう１人の屈強で大声の英国人地質研究者は，沈黙してしまった私の友人が困惑状態に陥ったことを目の当たりにせざるをえなかった.”援助”が必要になったのである．氏はにわかに彼に近寄り，彼の肩に腕をおいて，次のように語った.「失礼．John，私は，ひとまず，あなたが学んだ友人から離れさせる必要がある」と．極まった様子で，私のほうを見ることもなく，彼は

私の友人を静穏なホールの角に誘った．彼ら２人が何を語っているのか，遠くて，私には聞こえななった．しかし，仲介者のしぐさは，専門家としての忠誠心とこの状況の中での友情としての抗議を表していて，多言を弄するまでもなく，彼らの行動を詳らかに，そして直截に，包み隠さず表していた．

1978 年の EGS 会議でのこの小さなできごとは，著名な研究者であっても，彼らの研究分野の”全体像”に関してはひどく断片的な知識しかもちあわせていないことを示す，もうひとつの事例である．同じ意味で，Kuhn (1970) は，物理学史にみられる多数の事例にもとづいて，ある特定のパラダイムの状況について，たいへん著名な研究者であっても，その状況に関して，知識豊かな門外者に比べて，より良く理解しているわけではないことを実証した．このような困惑した事実を隠すために，人間活動の他の分野と同様，科学においても，社会心理学的メカニズムが常套される．そのような観点から，Goffman (1959) はよく知られた事実をくりかえし次のように述べた．すなわち，「人は，しばしば起きる限定的崩壊［それが，”疑問視される”観察によってひきおこされる情報伝達状の混乱によるものであろうと，大切にしてきたモデルを擁護する個人や集団の能力不足によるものであろうと］が，どれほど重大であるかを判断できない．というのは，それらはより頻繁に発生するために，いつも警戒しておくことは不可能であるからである．私たちは，これらの困惑を避けるために常に予防措置をとり，うまく避けられなかった疑惑の発生を補償するために修正を施すのが常であることを知っている」，と．

1967 年に，ノルウェーの Sanderfjord で，Kristian Birkeland 生誕 100 周年の祝賀シンポジウムが開催された．氏は，何よりも，太陽と地球の複雑で強力な関係を解明したことで有名で，Kristianaia（現在の Oslo）で創造性豊かな物理学教授を務めていた．氏は北極光（Northern Light）に根本的に正しい説明を与え，それが，いわゆる”Birkeland 電流”に起因することを，論理的および実験的証拠にもとづいて解明した．氏にちなんで，月のクレーターが命名された．1917 年に氏が 50 歳で世を去ると，オーロラの説明に成功したことで，ある委員会が氏をノーベル物理学賞に推挙しようとした．Birkeland の新進気鋭の伝記作家である Lucy Jago (2000) によると，おもに英語圏の宇宙物理学界から氏が生前に被った過酷なとりあつかいによって，地磁気学とオーロラ物理学の進歩がほぼ半世紀にわたって遅れた，という．とくに，第１次世界大戦後に指導的地磁気研究者であった１人の人物，Sidney Chapman 教授は，Birkeland 氏の業績に反対するように英国人科学者たちを慣習づけた．Lucy Jago の著書の次の１節を読めば，反対派の英国人指導者の学術的”姿勢”が明らかになるだろう．

「Chapman は，Birkeland の勇猛な北極探検が不要な時代錯誤であり，ノルウェー人教授の学説はあまりにも”奇妙”であると考えた．彼の気嫌いは，おもに Birkeland の主要仮説―太陽からの陰極線が磁力線に沿って地球大気中へ誘導され，北極光と磁気嵐を発生させる―に由来していた．Chapman 自らは，1918 年に単一の荷電線が太陽から放出されるという１つの論文を書いていたが，彼の学説が批判されるとその考え方を放棄し，それを示唆した Birkeland をあざけ笑った．偽善的であることを除いても，Chapman の批判によって，彼が Birkeland の研究を理解していなかったことが明らかになった．1916 年に Birkeland は，太陽から放射線が放出され……という自らの学説を概説した論文を出版した．Chapman は後にこの正しい学説を擁護したが，Birkeland については何も述べなかった．彼［Chapman］はスカンジナビアの科学全般を無視し，Birkeland の友人である［Karl］Størmer，そしてノーベル賞受賞者 Hannes Alfvén［以下を参照］―彼は氏を”そのスウェーデン人技術者”と呼んでいた―に恩義せがましい発言を行ってきた．50 年間にわたって，Birkeland の業績の記憶を効果的に根絶し，氏の科学への貢献を完全に放逐した．

しかし，1960 年代には衛星が，太陽から流れてくる荷電気体（今日では”太陽風”とよばれている）に関する Birkeland の予言的学説を支持する，議論の余地のない証拠をくりかえし発見した．とくに合衆国の軌道衛星が南北の極圏上空を通過する際にはほぼいつも磁気嵐を観測したため，1966 年以降に Birkeland の名声が上がった．こうして，Sandefjord シンポジウムが開催された 1967 年までには，Birkeland の業績は完全に再評価された．それでも，Chapman は心を動かさなかったようだ．Lucy Jago は，その会議での Chapman の態度について次のようなコメントを遺している．すなわち，「そのシンポジウムの席上，１人の若いアメリカ人科学者，Alex Dessler は Chapman に Birkeland について次のような質問した．”私は彼に，Birkeland の研究は彼に何らかの影響を与えたかどうか，と尋ねた．彼は目を怒らせて，私の質問に答えた．「そんなことがありうるでしょうか？それは，まったくの間違いです」，と．

ストックホルム国立技術研究所の Hannes Alfvén 教授は，宇宙物理学界の指導的立場の人々と彼らの支持者たちから，ひどく過酷なあつかいを数 10 年間にわたって受けてきたもう一人の物理学研究者である．氏の初期の論文はほとんどが，国際定期刊行物に受理されなかった．1955 年に氏が逝去した後，Fälthammar と Dessler は氏の非凡な科学的業績をまとめ，そのなかで，彼らは Alfvén の 1939 年の論文について述べた．彼らは，次のように記

述している．すなわち，「この論文は，今日では広く認められている双極子磁場のまわりのプラズマ流についての考え方を提案したもので，プラズマの流れは，オーロラ帯の中や周囲を流れる Birkeland 電流を発生させるというものである．その論文は，Sidney Chapman と彼の仲間の学説に矛盾するとの理由で，Journal of Geophysical Research 誌の前任者によって掲載不可とされた．初期の重要なこの論文や他の論文を出版するために，最終的に氏は非国際的雑誌へ投稿先を変更した．氏の考え方の大部分は，1950 年に Oxford University Press が出版した『Cosmical Electrodynamics』という優れた著書によって科学界に知られることになった．氏の考え方が受容されるには，いつも数年間が必要であった．たとえば，氏の水中磁気波の発見は，みごとなほどに簡潔な数式として 1942 年に Nature の Letter セクションで公表された．しかし，それは 6 年後になて突然に認められたのである．それは，Alfvén が物語ったように，1948 年にシカゴ大学で氏が行ったセミナーの最後に，著名な物理学研究者 Enrico Fermi がうなずいて，”もちろん”と言ったときだった．当時の Fermi の威信は，翌日には誰もがうなずき，”もちろん”というほどであった」，と．

1940 年代後半以降，Alfvén の研究がしだいに認められるようになったが，氏の科学的業績が評価されるまでにはさらに長い時間がかかった．1988 年に Alfvén が AGU 第 5 回 Bowie メダルを受賞した際に，Dessler 教授は受賞者に次のような賛辞を長々と述べた．すなわち，『Alfvén がうちたてた最近の科学的業績への嘲笑について私が紹介できる最良の事例は，おそらく，20 年近くも前に AGU の Fleming 賞候補に推挙されたという彼の境遇である．Fleming 賞選考委員会への推薦状のある部分に「Alfvén は，生存する誰よりも，より基本的な物理学を磁気圏科学にもたらしたことであろう」と述べられていた．委員長は「Alfvén はこの数年間にわたって私の推薦候補者リストの最上位近くにあり，彼の業績評価へあなたの推薦を加えたい」と回答した．しかしながら，**AGU の観点からみると，彼はほぼ 0 点である**［強調は著者］．この回答に対して翌年には，Alfvén には請願の手紙をしたためる必要がなくなった．というのは，**7 ヶ月後に Alfvén がノーベル物理学賞の受賞者に選出された**からである［強調は著者］』．1970 年のノーベル賞へのコメントとして，Science 誌の News and Comment セクションは『長年の拒絶と反対の末に**スウェーデンの因習破壊主義者が是認した**』との見出しをつけた（p. 170）．

## まとめ

一般に，自然にかんする科学的言説は故意に計画された演出ではなく，観察事実にたいする研究者たちの非利己的知覚の故意でない産物であると，私たちは考えたい．しかし，そのような流布したイメージとは逆に，認識史によって解明されたように，科学活動が政治やその他の人間活動の一環であるために，場当たり的興味，政治的な力，友人関係，宣伝，洗脳，および教義のすりこみが常態になっている．そして，忘れてはならないことは，科学研究のさまざまな分野の最前線の研究者が大切な考え方に対するもっとも声高に攻撃することである．このような指導者たちや，彼らを支持している科学者たちは，まずは自らの威信と権力が革命的な考え方の影響を受けないように必死で防御する．矛盾する証拠が増大してパラダイムの危機を迎えると，科学は，不可避的に事実と作り話と不合理な討論が複雑に混合した物になる．前述した 2，3 の事例は人間の本性の複雑さを示していて，そのような中で，著しく困難な課題を真に理解する道が拓かれていくのである．

技術的・観測的発展は，最近の数 10 年間のうちに，すべての自然科学における経験的基盤を大きく拡大した．しかし，そこに集積された厖大な事実を，相互に連関させる作用と現象から構成されたより大きな系のなかで，どのように扱い，どう理解するか？はまったく別の課題である．ある特定の観察事実群（たとえば，造構的構造）が特定の”地球システム”の好みに決定的証拠をもたらしているといった状況は，未だに，誤った概念として多くの地球科学研究者たちの間にひろがっている．しかし，ある特定の観察事実の組み合わせについては，私たちの想像力の限界内に限られてはいるものの，さまざまな説明が可能であることを認識すべきである．私たちが予測 - 実証の長々とした連鎖を調べ，より幅広い自然現象を理解し，最終的に地球史全体を関連づけることができてはじめて，私たちが個別的現象とそれらの相互関係を実質的に理解するための正しい道筋におかれうることは，合理的に確信される．

重視されてきた意見に挑戦する見解のなかで，長期間にわたって荒れ狂う反対に耐えぬいた最適の学説だけが最後まで生き残る．それが真実であることが合理的に記述されることありえないが，それは得られる学説のなかでは最善であろう，すなわち，これまでに存在したいずれの学説よりも優れている，との評価が望まれる（Chalmers 1982）．いずれにしても，ある現象の真の意味を解明しうるために，それが即座にさまざまな自然界の事実や現象にむすびつくことが必要である．しかし，このようなことは，頻繁には起こりえない．P.W. Bridgeman (1927) は，科学における真の理解―それが，さまざまな事物を結びつけることができる―の本質的な必要条件について次のように述べてた．あるできごと B に成因的に関係するもう 1 つのできごと A を理解できなくても，これらのできごとが起きる系の全体的背景がその概念に含まれていれば，それは重要である．

# 原著論文　ARTICLES

## 天体の軌道方向がわかるいくつかの astroblemes の構造要素
## STRUCTURAL ELEMENTS OF SOME STROBLEMS INDICATING DIRECTIONS OF COSMIC BODY TRAJECTORIES

**Konstantin K. KHAZANOVITCH-WULFF[1], Anna V. MIKHEEVA[2] and Victor F. KUZNETSOV[3]**

1 Independent cycle researcher, Planetology branch of RGS, S.-Petersburg, Russia, ojb37@mail.ru
2 Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy ofSciences, Novosibirsk, Russia, anna@omzg.sscc.ru
3 Independent researcher, Ridder, Kazakhstan, kyz_rid@mail.ru

要旨：この論文では，Popigai 天体 (cosmic body:CB) と他のいくつかの CB の弾道軌道位置を決定するための基準が再検討される．，Popigai および Kara CB の軌道はこれまで信じられてきた NE → SW 方向ではなく，それぞれ，SE → NW および NE → SW である，と結論される．，従来の Zhamanshin astrobleme の弾道軌道 (SE → NW) が正しいことが確証される．，Ilynets astrobleme については，軌道方位が SE → NW と決定された．，CB の弾道軌道が解明され，それには，関係のある CB の電気的影響がおよぶ領域，ダイアトリームの形成，そして，とくに Popigai 事件と同時に起こった Anabar 背斜東翼の形成も含まれている．
*キーワード：天体，弾道軌道，astroblemes，ダイアトリーム場，Anabar 背斜，Popigai 事件*

## 金星 , 地球 , および火星の大気 : 惑星の軌道と自転に関連したそれらの質量と粒子化
## ATMOSPHERES OF VENUS, EARTH, AND MARS: THEIR MASSES AND GRANULATIONS IN RELATION TO ORBITS AND ROTATIONS OF THE PLANETS

**Gennady G. KOCHEMASOV**
IGEM of the Russian Academy of Sciences, 35 Staromonetny, 119017 Moscow, Russia kochem.36@mail.ru

要旨：きちんとした大気圏は，太陽系の固体天体のうち，4 つだけに存在する．それらの組成は，それらの固体球殻群の脱ガス史を反映している．脱ガス作用は，惑星の軌道周期と自転速度に依存する．軌道周期がしだいに短くなってきた金星，地球，および火星は，その結果として，それぞれの大気質量が減少してきた．軌道周期にしたがって，大気塊が構造化される．すなわち，金星はより細粒な，地球は中粒の，火星は粗粒の大気をもつ．この粒子化は，それらのリソスフェアの造構的粒子化を反映する．大気粒子化の他のいくつかのサイズは，惑星の自転速度や，軌道周期と自転周期を含む波形変調に対応しているようだ．大気の形成は，大気への角モーメントの移送と，さらには，角モーメントの宇宙への放出を意味する．この運動は，固体天体の自転速度を減少させる．こうして，ゆっくりと自転する太陽・水星・金星，中間の速度で自転する地球・火星，および，高速で自転するもっと外側の巨大ガス惑星が存在しているのである．
*キーワード：惑星の大気質量，粒子化，軌道および自転の周期，波動変調*

## 泥火山 , イタリア北部アペニン山脈における M4.9 地震の際の地噴出と電波異常の兆候
## MUD VOLCANOES, GEOERUPTIONS AND RADIO ANOMALIES PRECEDING THE M4.9 SEISM IN THE NORTHERN APENNINES OF ITALY

**Valentino STRASER**
International Earthquake and Volcano Prediction Center　vstraser@ievpc.org

（ 岩本　広志 ［ 訳 ］ ）

要旨：半径 100km 未満の範囲に地震前に起きた泥火山によるガス放出と炭化水素が関連している可能性について論ずる．この研究は，北部アペニン山脈トスカナ地域に影響を与えた 2013 年 6 月と 7 月の群発地震期間について実施された．この研究はラドンガスと自然地磁気バックグラウンドの計測によって，特に，破壊的地震を含み，地震前に

普通にみられる電波異常の解析によって相互補完される．泥火山の噴出強度は 2013 年 6 月 30 日の M4．9 地震が起きる 6-8 時間前，電波異常の発生と同時であった．大気中へのラドンガスの放出は，暫くの間，一時的なスケールで互換性があり，異常が見つけられたが，しかし炭化水素と電波異常の出現は同期していない．解析された多くの現象の間に考えられる関連性は，地下での伝搬である．造構力の伝達によって説明されることができる電波異常とは異なる圧力下で，様々な深度で発見された流体の相互作用が生じる．
*キーワード：ラドン，泥火山，電波異常，地震の前兆，地爆発*

## 背 景

構造的に活発な地域の大気中のイオンとガスの形成と地震活動との関連性は多くの著者によって議論されている (Pulinets, 1998, 2007, Pulinets and Ouzounov, 2011; Choudhury et al., 2007; Freund, 2003)．M6+ の地震に先立って，人工衛星から観測されたシグナルと地震の前兆の関係間の要素が存在することを示す研究．他の著者(Shou,1999, 2007）は人工衛星から観測された地爆発とそれが将来の震央域（2011 年 3 月 11 日の事例）で数日早く先立って作られた追加的な応答を示したもの (Shou)．この調査は M5 の地震に先立ったフェーズでの泥火山の異常噴出の関連性の可能性へに関する懸念の代わりに実施された．この目的を達成するために，対象地域はトラバセトロ Traversetolo 市に選定され（図 1)，容易に手が届く踏査と車によって，1615 年より知られていて，1907 年 ( ビアスッチ Biasutti), 1915 年 ( アネッリ Anelli), 1947 年 ( バルビエリ Barbieri) とごく最近では Perego (http://webgis.geo.unipr.it/), Capozzi and Picotti (2002) および Borgia et al. (1986) の研究者等によって著されている．ここ数年，豪雨の後や，特に北東アペニンの地震の前に泥火山の爆発が目に見えて増えた事を地元の農夫や住民達が気づき出した．

この現象は，科学的な組織によってまだ十分に調査されたわけではなく，泥火山の噴出活動と地震活動の間に存在する関係がどうかを確認する実験に結びついていない．

調査エリアはアペニン山脈の北西 - 南東方向に横たわる縁に沿った場所の一つで，地下の炭化水素の存在と関係した地下から生じる活動の証拠となる（図 2)．泥火山は海抜高度 310m の広大な丘陵上の中新統の泥灰岩と白亜系の粘土の露頭を伴っている (Anelli, 1915)．

泥と炭化水素の爆発はパルマ・アペニンの興味深い地下の兆候が地域的に「バルボジ “Barboj”」或は「サルセ “Salse”」として知られていて，時とともに場所を変えてきた．このサルセ（sauses の古語）は塩分を含む豊富な水と，メタンガスと痕跡オーダーの炭化水素（ビチューメン）を放出し，通路を上昇して地表に至る；液状化した粘土を含む岩石を横切って多少の量が移動する間に上方向に引っ掻かれる．完全に円錐形の火山に類似したものが存在し，多くとも地表上 1m に達し，しかしながら高さ 4-5m に達っした除外例も十分にある．もし地下水が少なくガス十分な圧力を持っている場合は，泥の粘性が許容される高さまでコーンが形成される (Tellini, 1985)．

地下から移送されてきたガスの組成の大部分はメタンであり，少量の二酸化炭素，窒素，酸素，不飽和の炭化水素をともなっている．放出ガスの平均的な組成は以下の通りである：二酸化炭素 4.25%，一酸化炭素 0.12%，酸素 0.90%，窒素 3.20%，不飽和炭化水素 0.04% ，メタン 91.40%．その代わり，塩水は地層中の炭化水素と普通に関係しているもので，泥は粘土を含む泥灰岩を通じて薄まって来たも

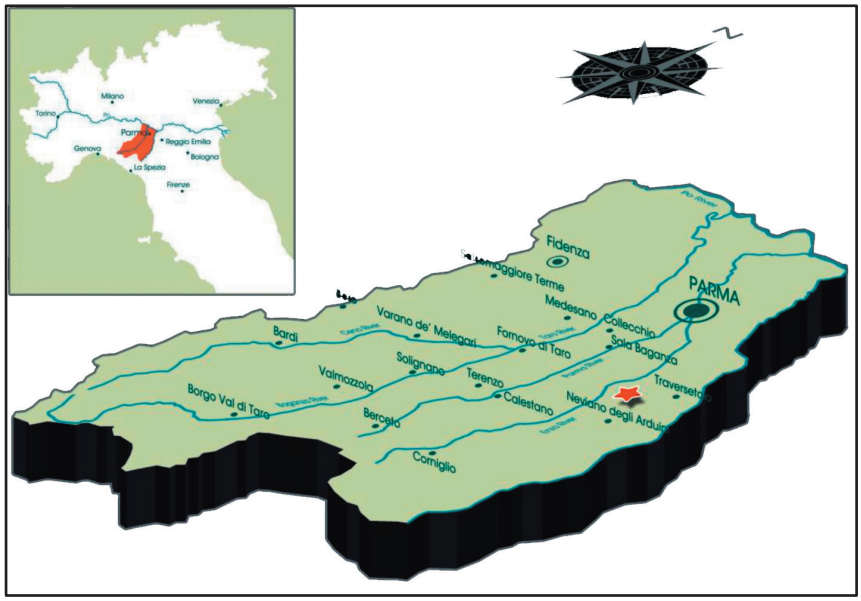



図 1 位置図．星印は泥火山の場所を示す．

図 2 灰色のコーンは炭化水素 ( 濃いハローを伴った環状 ) の存在を明示，プール中の小規模な泡はメタンガスの放出の結果による．

のである．少量の富ビチューメン（bituminous）物質が見つかるのは稀で，地面の下に残って特別な色調を有するような容易な識別可能な，比較的深部の熱力学的条件に関係した成因を我々に思考させるような多くの炭化水素の類型はこれらとは程遠い．

## データ

データは泥火山の噴出活動をフィールドでの観察に基づいて得られ，同時に，INGV ウェブサイトでのラドンガスの放出を参照し，通常観測の 24/7 とトスカン群発地震（イタリア）期のデータの比較を通じて．ここには地震活動と泥火山噴出の科学的な論説に関する研究はなく，地下から上がってくるガスよるもので，それは地震活動エリア（Pulinets et al., 1997）で既に研究されているラドンガスと考えられている．地震は，イタリア地球物理火山研究所でリアルタイムで記録されたものが彼等のウェブサイト 24/7 から閲覧されるはずである．

## 地震と地質

群発地震の震央域の地質は北部アペニンの一般地質と適合：リグリアン海洋ドメイン Ligurian Oceanic Domain を見過ごしてきた大陸古縁辺区域の第三紀変形に由来した地層の連続（Boccaletti et al., 1971; Elter, 1960; Elter et al., 1975; Kligfield, 1979）．中新世の始まり，圧縮性変形がアドリア海の範囲迄東から西へ伝搬した（Merla, 1951）．同時に，これらの連続の内側，この研究での群発地震域の震央の場所，圧縮構造に先立って影響を受けた重要な膨張フェーズが存在していた．現在では，重力タイプの膨張構造は北部アペニンの西側で関係させていて，同様な圧縮はポ渓谷平野とアドリア海に沿った連続の縁辺の外側で影響している．

歴史地震（CPTI, 1999; INGV カタログ）はこのエリアが被ったことを示していて，過去に中世から始

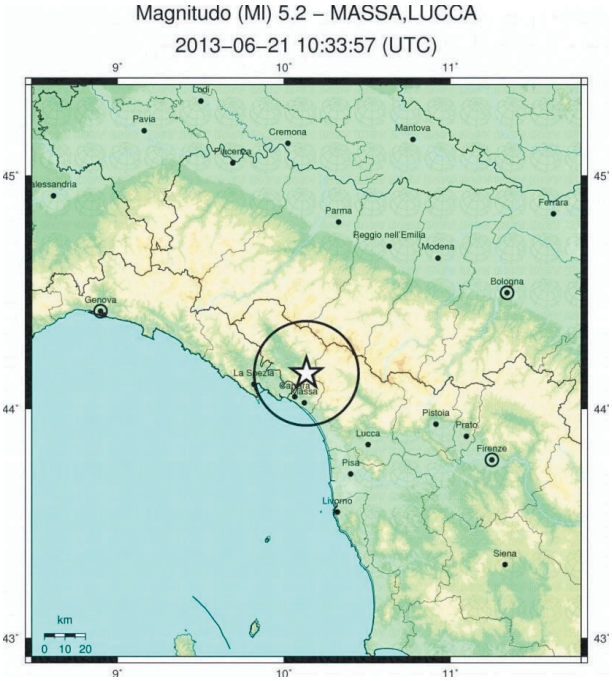



図 1 位置図．星印は泥火山の場所を図 3 北部トスカナ Tuscany 地方の群発地震の震央域．星印は 2013 年 6 月 21 日の M5.2 地震 (www.ingv.it 参照 ) の震源 ( 震央 ) を示す．

まって，250 を超す地震がマグニチュード 5 を超え，これらのうちで，最も破壊的なものが 1920 年 9 月 7 日に起こった M6.5，約 300 人の死者を引き起こした．群発地震は幾つかの強い活動の前兆で，その年の始まりから 1 ～ 10 日間に地震を伴い，これが重大なイベントで，この地震の背景として，M4.8 が 2013 年 1 月 25 日に起こった．

最近の地震系列は最大強度の地震を導き（図 3）マグニチュード 5.2 を記録した 2013 年 6 月 21 日の 10:33:57 (44.153° N, 10.135° E, 5.1km)，同じ日に引き続く 2 つの地震 4.0<=Ml<5.0, 11 個の地震が 3.0<=Ml<4.0 それと 94 の地震が Ml<3.0. 後日の 2013 年 6 月 30 日 (16:40:09 UTC+02:00 10.0 km)，には M4.9 の新規の地震（イタリアのルニギアナ Lunigiana 地方，カソラ Casola 東方 1km，震源 10km）が北西アペニンを再度揺すぶった．

## 泥火山

2013 年 6 月 30 日に観測，M4.9 の地震を参照，ガス放出の異常な活動を示す，同じ日の朝に始まった泥の発泡（図 4）．ガスの放出は，ビチューメンとガスの両方を一日中放出，M4.9 地震の発生前約 6 時間で強度が最大に．放出は 2013 年 6 月 30 日夕刻まで幾分か中庸な様子で続いた．

## ラドン

北部イタリアに位置するラドンガス・モニタリング・ネットワークによって記録されたデータは，

2013 年 6 月 30 日の地震の前の 3 日間で幾つかのピークが 1,000 Bq/m$^3$ に至るかそれを上回っていたことを示した．この数値の後の基準化作用を経て，2013 年 6 月 29 日に記録されたものは新しい上昇が認められ，研究中の地震の前に 2013 年 6 月 30 日に 200 Bq/m$^3$ に至った．ラドン量は後日通常値（50 Bq/m$^3$ 未満）になった．ラドンの濃度，地震に先立った 10 日間では，その代わりに．通常値に対して 10 倍に増加した．6 (July?) 月 21 日以降，事実，M5.2 の地震が起きたが，数日間の強度はそのままで，2013 年 6 月 27 日に起きた群発地震に引き続く 1,000 Bq/m3 を超えるピークに至った．

図 4 泥火山噴出の増加．写真は地方時間 12:43 に撮影 :M4.9 地震の 6 時間前

## 電波異常

地震と関係した電波異常の研究は，一般的にはマグニチュード M6+ からで，小さいエネルギーの地震では試されていて，既に他の研究で議論されている（Straser, 2011, 2012）．地震発生に関係する電波異常の出現は普通は地震の発生の 8 時間前に起こり，地磁気バックグラウンドの増加，激変的な低下，普通に地震に先立った低い量に安定化することによって特徴づけられる．この研究でも，電波異常のパターンは数年前の地球規模の地震でも 2009 年以降トレンドに従って観測された．2013 年 6 月 30 日の事例でも，地磁気のバックグラウンドは 8 時間前より増加し始め，地震の 30 分前で最終的に半分に減少した（図 6）．

## 学際的な連携

現在の研究では，異常は地震前の 6 ～ 8 時間でほとんど同期的に消失する．従ってその営力はリヒタースケール M4.9 の地震に先立った地下で異なった効果で形成されるものと推定される．地下を揺すぶって大気中に放出されたガスは，大気中のラドンガス濃度の増加と同様に泥火山活動の増加もまた現れる（図 7）．同様に，テクトニックの応力は機械

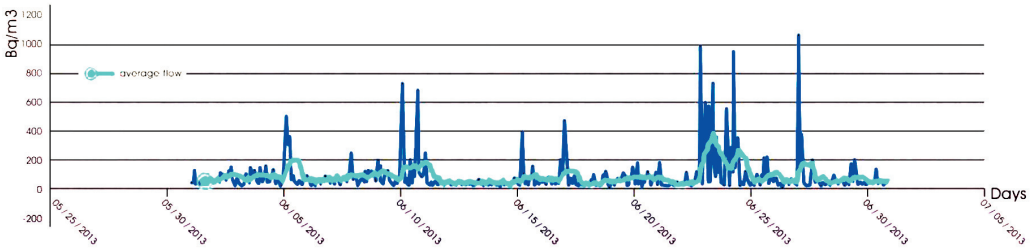



図 5 ラドンガスの放出パターン，約 200km 離れたキャバグリア Cavaglia 局での記録 (Simone Ippolito and Daniele Cataldi の好意による)．横軸は日，縦軸は Bq/m$^3$.

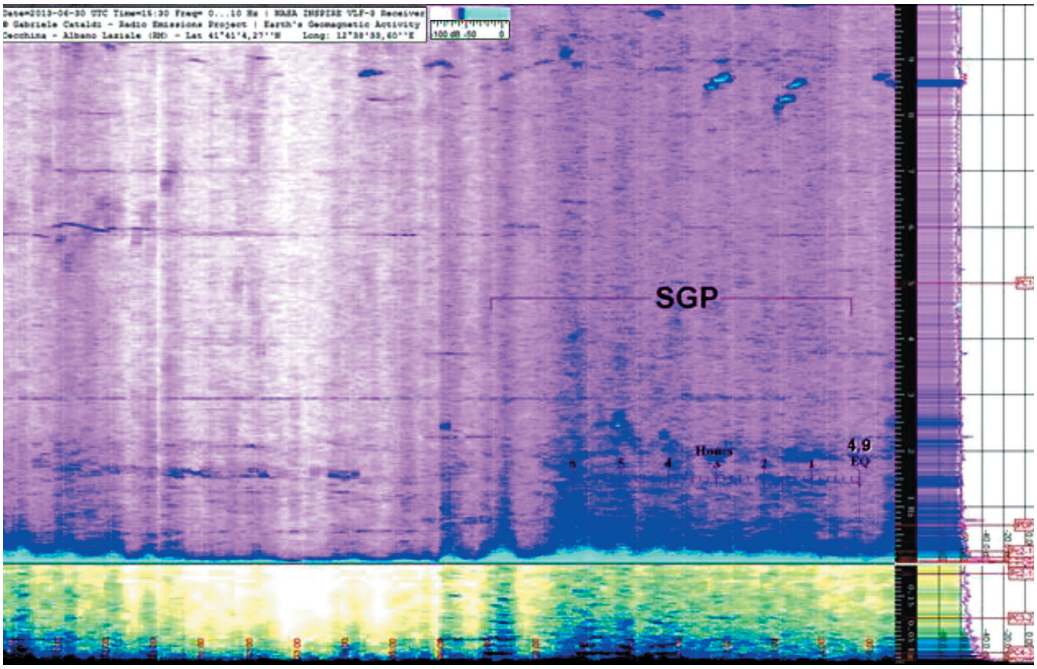



図 6 2013 年 6 月 30 日地震の 8 時間の地磁気バックグラウンドの増加．この場合もまた，地磁気バックグラウンド減少の後に地震が起きている．このグラフは脈動周期の減衰 (IPDP) の出現もまた記録され，これは既に地震前兆シグナル (Gabriele Cataldi の好意による ) として著者によって関係づけられている．

図 7 テクトニック応力と大気中のガスの生産の間に成立するダイナミクスの説明した仮説の図解

的に測定される電波異常の生起を伴った地磁気バックグラウンドの変化を導いている.

## まとめ

泥火山の形成の仮説は圧力下で湧き揚がる水とガスの関係で，それは地層中の間隙水による粘土の液状化を含む動き．これらのダイナミクスは脆弱なテクトニックな変形やフラクチャーそれに弾性反発が見つけられた岩石中は，地下での異なった深度や異なった圧力下における流体組成相互のやりとりを先導する.泥火山からのガスの放出のモニタリングは，特別な地震発生地帯もしくはテクトニックな活動域の参照の上，泥火山の噴出と地震活動の同時性の増加の関連性の観点から，将来的にはより大深度で試されるだろう.

## 文　献

Anelli, M., 1915. Cenni geologici sui dintorni di Traversetolo e Lesignano Bagni. Boll. Soc. Geol. It., v. XXXIV.

Barbieri, G., 1947. Nuove osservazioni sulle salse emiliane. Riv. Geogr. It., Annata LV, 4, settembre 1947.

Borgia, G.C., Elmi, C. and Martelli, G., 1986. Hydrocarbons in the Tuscan-Emilian Apennines: origin and characters of mineralization. Mem. Soc. Geol. It., v. 31, p. 255-266.

Boccaletti, M., Coli, M., Decandia, F.A., Giannini, E. and Lazzarotto, A., 1981. Evoluzione dell'Appennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale. Mem. Soc. Geol. It., v. 21, p. 359-373.

Capozzi, R. and Picotti, V., 2002. Fluid migration and origin of a mud volcano in the Northern Apennines (Italy): the role of deeply rooted normal faults. Terra Nova, v. 14, p. 363-370.

Choudhury, S., Dasgupta, S., Saraf, A.K. and Panda, S., 2006. Remote sensing observations of pre-earthquake. International Journal of Remote Sensing, v. 27, no. 20, p. 4381-4396.

Elter, P., 1960. I lineamenti tettonici dell'Appennino a NW delle Alpi Apuane. Boll. Soc. Geol. It., v. 79, no. 2, p. 273-312.

Elter, P., Giglia, G., Tongiorgi, M. and Trevisan, L., 1975. Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to present) evolution of the Nortehrn Apennines. Boll. Geofosica, v. XVII, p. 3-18.

Freund, F., 2003. Rocks That Crackle and Sparkle and Glow: Strange Pre-Earthquake Phenomena. Journal of Scientific Exploration, v. 17, no. 1, p. 37-71.

Gruppo di Lavoro CPTI, 1999. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani - ING, GNDT, SGA, SSN, Bologna, 92p.

Kligfield, R. , 1979. The Northern Apennines as a collisional orogen. Am. Jour. Sc., v. 279, p. 676-691.

Kligfield, R., Dallmeyer, R.D., Hunziker, J. and Schamel, S., 1986. Dating of deformation phases using K/Ar and 40Ar/39Ar techniques: results from the Northern Apennines. Jour. Struct. Geol., v. 8, p. 781-798.

Merla, G., 1951. Geologia dell'Appennino settentrionale. Boll. Soc. Geol. It., v. 70, 382p.

Pulinets, S.A., 1998. Seismic activity as a source of the ionospheric variability. Adv.Space res., v. 22, no. 6, p. 903-906.

Pulinets, S.A., 2007. Natural Radioactivity, Earthquakes, and the Ionosphere. Eos, v. 88, no. 20, p. 217-224.

Pulinets, S., Alekseev, V.A., Legen'ka, A.D. and Khegai, V.V., 1997. Radon and metallic aerosols emanation before strong earthquakes and their role in atmosphere and ionosphere modification. Adv, Space Res., v. 20, no. 11, p. 2173-2176.

Pulinets, S. and Ouzounov, D., 2011. Lithosphere. Atmosphere.Ionosphere Coupling (LAIC) model . An unified concept for earthquake precursors validation. Journal of Asian Earth Sciences, v. 41, p. 371.382.

Shou., Z., 1999. Eartquake Clouds, a reliable precursor. Science & Utopya, v. 64, p. 53-67.

Shou., Z., 2007. The cloud of the M8.4 Indonesia earthquake on September 12, 2007. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 45, p. 31-33

Shou., Z., 2011. Geoeruption before the Great East Japan Earthquake in March 2011. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 58, p.78

Straser, V., 2011. Radio anomalies and variations in the Interplanetary Magnetic Field (IMF) used as seismic precursors on a global scale. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 61, p. 52-65.

Straser, V., 2012. Intervals of pulsation of diminishing periods and radio anomalies found before the occurrence of M6+ earthquakes. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 65, p. 35-46.

Tellini, C., 1985. I "barboi" di Rivalta e Torre. Parma Natura, v. 1, no. 1, May-June, 1985. Published by Edizioni Kalixia.

# 巨大地震 (MW>6.0) に先立った OLR 異常
# 2012 年にインド近隣地域で起こった地震のケーススタディー
# OLR ANOMALIES PRIOR TO BIG EARTHQUAKES (MW > 6.0) – A CASE STUDY ON EARTHQUAKES OF INDIA'S NEIGHBORING REGIONS OCCURRED DURING THE YEAR 2012

**Natarajan VENKATANATHAN*, Balasubramanian KAARTHICK** andChandrasegaran PRIYADHARSINI****

* (Corresponding author 連絡著者 ) Faculty of Physics, SASTRA University, Thirumalaisamudram, Thanjavur, 613 401, India. Tel. +919444807900; physics16972@yahoo.com
** SASTRA University, Thirumalaisamudram, Thanjavur . 613 401, India.

( 岩本　広志 ［ 訳 ] )

要旨：現在のシナリオにおいて，衛星リモートセンシング技術は地球上の表面温度，気温，湿度，ガス，エアロゾル濃度を識別するのに用いられている．長波電波の異常は，普通中〜大規模地震の 5 〜 30 日前に出現し，それは上層運で測定される．この研究は外向き長波放射 (OLR) が中〜大規模地震の発生の予知について宇宙空間での前兆技術の最も約束されたものの一つであることの確定を目的とする．この解析によって，外向き長波放射 (OLR) 異常が 2012 年にインド地域の近隣で起こった 10 の地震の全てで観測された．
*キーワード：外向き長波放射，異常インデックス，熱力学プロセス*

## 導　入

熱異常の初期の報告は，Gornyy et al. (1988) によって著された熱赤外衛星（TIR）を用いたデータが中央アジア地震帯で現れた異常現象を識別した．幾つかの研究（Tronin et al., 2002; Pulinets et al, 2006a; Ouzounov et al, 2011）は著しく継続期間の短い異常が破壊的な地震の前に現れることを示した．一つの良い事例が ORL 異常で 2004 年 12 月のスマトラ巨大地震に関連したものとなり得る．Ouzounov et al.（2007）の報告では，巨大スラスト地震発生 5 日前（2004 年 12 月 22 日），異常量 +80 W/m$^2$ が震央域を渡って出現した．この継続期間の短い異常は地震前の 5.3 日に識別され，数千平方 km をカバーした．

OLR は宇宙で地球の表面温度や雲によって変化し（http://rammb.cira.colostate.edu），それ自身は熱エネルギーの運動で，気圏の上層で測定が可能（海抜約 16~17km 上空）．OLR 異常の出現は地表付近の空気のイオン化と空気の湿度と温度による潜在的な熱交換によるものと見なされている．断層地帯に沿った応力と，大気の電気化学と熱力学の過程と中間赤外線不安定度の増加にの関係に起因し得ると仮説されている（Ouzounov et al., 2007）．国立海洋気象統治機構（NOAA）衛星 "NOAA 18" は数多くの大気のデータを観測していて，そのデータは http://www.cdc.noaa.gov. からダウンロード可能となっている．この論述ではこの NOAA 18 の衛星データを解析して短時間大気現象と表 1 に掲げる時系列で 2012 年にインドと周辺地域で発生した M6.0 より大きな地震との関係を調査する．

## 使用機材と方法

最初に気を払うこととして，外向き長波放射 (OLR) は気圏の最上層で計測され，従って，それは地表・大気下層と雲からの放射のコンビネーション (Ohring and Gruber, 1982)．異なったアルゴリズムで OLR は基礎データから計算され , それは 8 から 12um（Gruber and Krueger, 1984）．両者のデータの研究用アルゴリズムは国立海洋気象統治機構気象予測センターによって提供された超解析能放射計 (AVHRR) の発展によっている．短時間の異常電波はテクトニックな応力と大気中の熱力学的なプロセスに関係して発生するだろう．

異常な OLR の渦は Δ E_ インデックス（OLR 異常インデックス）として定義され，それは空間的位置と事前に定義された時間が与えられた OLR 量の統計的に定義された最大変化をを示す（Ouzounov et al., 2011）．

$$\Delta E_\text{インデックス (異常インデックス)} = \frac{(\text{現在の日量OLR} - \text{過去5年間の平均日量OLR})}{\text{標準偏差}}$$

この研究のために，2007 年と 2011 年の間に取られた NOAA/AVHRR OLR データは OLR ベース領域として使用された．OLR ベース領域は表 -1 に掲げられた各々の地震の出現に先立って計算された．現在の OLR 領域を異常として識別するために 2007 年から 2011 年区間を計算した OLR ベース領域を +2 シグマの信頼水準と比較した．もし OLR

表 1 2012 年にインドと近隣地域で起こった地震（>M6.0）のリスト．データソース：米国地質調査所 (http://earthquake.usgs.gov/).

| S. No | 日/月/年 | 緯度 | 経度 | マグニチュード | 地　域 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 10/01/2012 | 2.43 N | 93.21 E | 7.2 | 北部スマトラ，インドネシア |
| 2 | 11/04/2012 | 2.33 N | 93.06 E | 8.6 | 北部スマトラ，インドネシア |
| 3 | 11/04/2012 | 1.25 N | 91.74 E | 6.0 | 北部スマトラ，インドネシア |
| 4 | 11/04/2012 | 0.80 N | 92.46 E | 8.2 | 北部スマトラ，インドネシア |
| 5 | 15/04/2012 | 2.58 N | 90.27 E | 6.2 | 北部スマトラ，インドネシア |
| 6 | 23/06/2012 | 3.01 N | 97.90 E | 6.1 | 北部スマトラ，インドネシア |
| 7 | 25/07/2012 | 2.71 N | 96.04 E | 6.4 | 北部スマトラ，インドネシア |
| 8 | 12/08/2012 | 35.66 N | 82.52 E | 6.2 | チベット，中国 |
| 9 | 14/09/2012 | 3.32 N | 100.59 E | 6.2 | 北部スマトラ，インドネシア |
| 10 | 11/11/2012 | 23.00 N | 95.89 E | 6.8 | ミャンマー |

異常インデックス量が 2 シグマレベルよりも大きい場合は，その固有の場所の異常現象として考慮される．短時間 OLR 異常の出現は上記表に記された地震の発生前のそれぞれの時間に観測されている．放射の急速な発達はこの地域全体の潜在的な熱の異常な変化が，造構活動の活発化に起因したのとみるのがもっとも確からしい．これらの短時間異常の出現のタイムラインは個々の地震によって変化し，これらの場所のテクトニックセッティングが異なった事に起因するからであろう．類似の異常はスマトラ 2004 年 (Ouzounov et al., 2007), ハイチ (2010 年）と日本（2011 年）(Ouzounov et al., 2011）のような破壊的地震に先立つ数日前に検知されている．

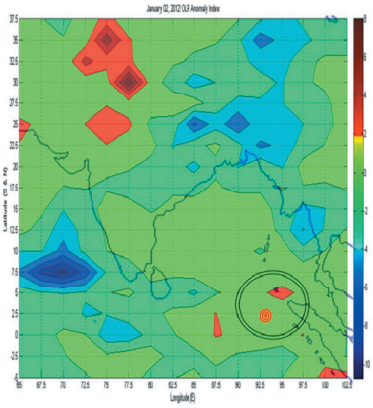


図-1．2012年1月2日のOLR異常の出現した地域（黒の二重円），8日前の地震は北部スマトラ地域：北緯2.43° 東経93.21° （同心円で示す）2012年1月10日のM7.2.

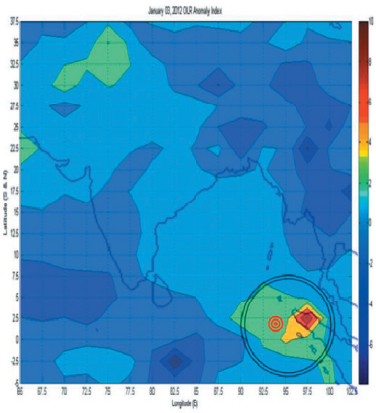


図-2．7日前に現れた2度目のOLR異常．

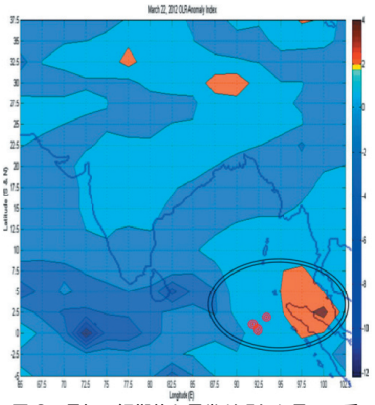


図-3．最初の短期的な異常が現れた黒の二重円で示した北緯2.5° 東経90° の震源周辺．2012年4月11日のその年での最大の地震（北緯2.33° 東経93.06° ）の20日前に出現．この地震の後に南西方向に赤で示した2つの余震 M6.0（北緯1.25° 東経91.74° ）M8.2（北緯0.80° 東経92.46° ）．

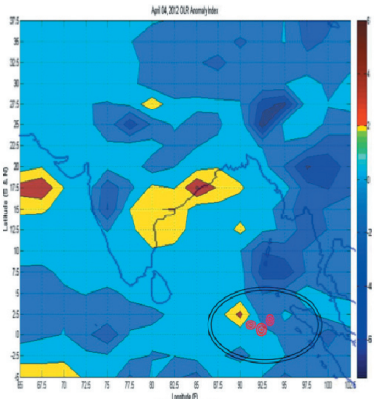


図-4．2012年4月4日に北緯2.5° 東経90° 地域に現れた2度目のOLR異常．本震と2つの余震は4月11日に発生．

## 結果と討論

表 1 に記された 10 件の地震の OLR 解析結果は顕著な異常がイベントの発生に先立って発生する事が示され，異常の出現と破壊的な地震の幾つかの関係が確かめられた．地震の明確な引き金メカニズムを通じてさえもそれは確かに知られておらず，表 1 の 10 の地震の解析は OLR 異常の有望な兆候が効果的な道具として個々の地域での近い将来の地震を識別するために使用可能な事を示す．

### a) インドネシアの北部スマトラ（2012 年 1 月 10 日；M7.2)

2012 年 1 月 10 日 M7.2 の走向移動断層（USGS）による地震がインドネシア北部スマトラ西海岸沖で発生．震源は北緯 2.43° 東経 93.21°，2004 年に起きたマグニチュード 9.1 の巨大地震の震源の約 300km の距離．この地震は左横ずれによる移動断層．OLR 異常はイベント発生前の大体 7 日前，2012 年 1 月 2 日に起き，1 月 3 日にも起きた（図 1・図 2)．2012 年 1 月 2 日の異常インデックス量は OLR ベース領域の 2 シグマレベルよりちょうど上に相当し，それは近接した 2 つの地域に現われ，ひとつは北緯 5° 東経 95° に，2 番目はより小さいものと思われ，0° 東経 87.5° に現れた．

2012 年 1 月 3 日に現れた異常は，北緯 2.5° 東経 97.5° の異なった場所で OLR ベース領域の +2 シグマ量に比較して 8 倍大きなもの．これも緯度 0°

での異常出現を伴った．269.6 W/m$^2$ の最高強度は 2012 年 1 月 3 日北緯 2.5° 東経 97.5° で観測された．

b) 北部スマトラ，インドネシア（2012 年 4 月 11 日，2012 年 4 月 15 日；M8.6，6.0，8.2，6.2）

2012 年 4 月 11 日インドネシア北部スマトラ西岸沖合でマグニチュード M8.6，M6.0，M8.2 の地震がインド–オーストラリアプレート（USGS）の海洋リソスフェアの走向移動断層の結果として発生した．もうひとつの余震は 2012 年 4 月 15 日にマグニチュード M6.2 が記録された．これらの地震は南西方向の海溝からそれぞれ 100km，200km の距離に位置．インドネシアのメウラボ Meulaboh で少なくとも 2 名が 31cm の津波によって亡くなったと記録されていた（USGS）．

異常インデックス量は OLR ベース領域の +2 シグマレベルの 2 倍以上が観測され；最初は 3 月 22 日で北緯 2.5° 東経 95 ～ 100° の範囲（図 3）．二度目は 4 月 4 日に近く（北緯 2.5°，東経 90°）の 4 月 11 日の地震に先立って（図 4）．他の異常は 4 月 11 日つまり隣接した場所（北緯 5° 東経 90°）での 4 月 15 日の地震の 4 日前に先立って起こった．この異常インデックスは OLR ベース領域の +2 シグマレベルのちょうど上（図 5）．2012 年 4 月 11 日の異常は 2012 年 4 月 15 日の地震の前兆だった．

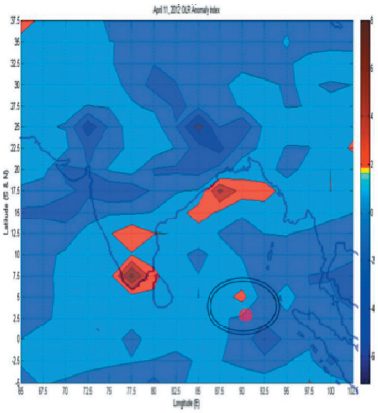


図-5．2013年4月15日の余震．震央地域の表面近くの丁度4日前のOLR異常．

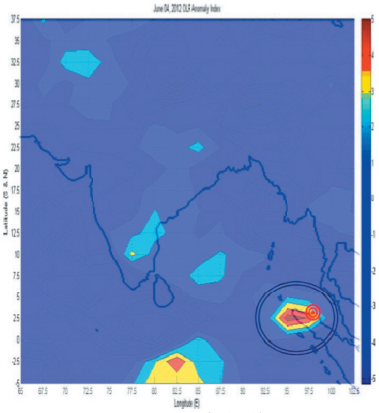


図-6．北部スマトラ地域（北緯3.01° 東経97.90° ）のM6.1の地震19日前に先立って現れた黒の二重円の部分で示した最初の記録的大規模なOLR異常．

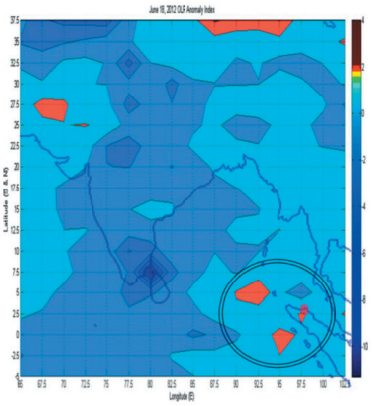


図-7．M6.4地震（北緯2.71° 東経96.04° ）の5日前，（北緯5° 東経97.5° ）周辺に現れた別のOLR異常．

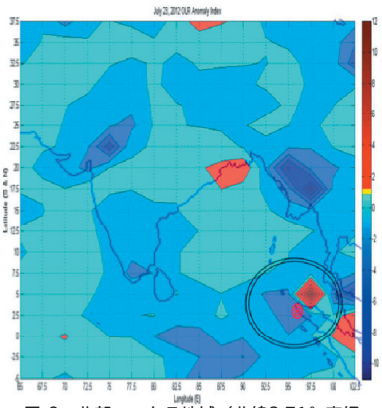


図-8．北部スマトラ地域（北緯2.71° 東経96.04° ）M6.4地震の2日前に現れたOLR異常の例．

c) 北部スマトラ，インドネシア（2012 年 6 月 23 日；M6.1）

M6.1 の地震が 2012 年 6 月 23 日北部スマトラ地域で協定世界時 4:34 に起きた．この正確な場所は人口 1,750,971 人のメダン Medan 市の南西 109km（北緯 3.01° 東経 97.90°）(USGS)．OLR データの解析からは別々な 2 日に 2 つの異常が見つかっている．最初のは 2012 年 6 月 4 日，つまり地震に先立った 19 日前 (図 6) 次のは 2012 年 6 月 18 日，地震の 5 日前（図 7）．

最初 6 月 4 日の異常は OLR ベース領域の +2 シグマレベルよりも 3 倍高い値で．その出現地は 2012 年 6 月 23 日の地震の震源から非常に近い場所であった．2 度目の異常は，5 日前のもので（ちょうど OLR ベース領域の +2 シグマレベルを上回る程で）最初の 6 月 4 日のものよりも小さい強度であった．

d) 北部スマトラ，インドネシア（2012 年 7 月 25 日；M6.4）

北部スマトラでの M6 を上回る 7 度目の地震．この地震は逆断層が原因し震央（北緯 2.71° 東経 96.04°）はこの年の初めに起きた M8.6 の地震と 330km 離れている．北緯 5° 東経 97.5° の OLR インデックスは OLR ベース領域の +2 シグマレベルの 10 倍以上．主要地震の 3 日前に発生した (図 8)．

e) チベット，中国（2012 年 8 月 12 日；M6.2）

この地震は新疆 - チベット境界地域（北緯 35.66° 東経 82.52°）で 2012 年 8 月 12 日に M6.2．この地震の震度は非常に浅い．

OLR 異常は 2 回；最初は 2012 年 7 月 29 日に北緯 35° 東経 80°，二度目は最初の場所の近く（北緯 37.5° 東経 85°）8 月 5 日，OLR 異常は OLR ベース領域の +2 シグマレベルの 18 倍高い（図 10）．この量は論述した他の場所での記録的な地震の OLR 異常量よりも比較的高い値となっている．この異常は地震に先立った 3 日前に発生した，

M6.2 地震は南部スマトラ地域（南緯 3.32° 東経 100.59°）で，2012 年 9 月 14 日に発生した．この地震は 2007 年 9 月 12 日の M8.5 巨大地震のから約 158km 離れている．この地域に起きたほとんどの地震は衝状断層の結果とされている (USGS)．9

月８日の異常インデックスはOLRベース領域の+2シグマレベルをちょうど上回る程度が近くで（南緯2.5° 東経97.5°）この地域に起きた地震前に観測された（図11）.

g) ミャンマー（2012年11月11日；M6.8）
この地震は深さ9.9kmの右横ずれ断層が原因している．この地震はミャンマー地域（北緯23° 東経95.89°）で2012年11月11日にM6.8で発生．OLR異常は11月11日に起きた地震に先立った２日の異なった日に現れた．最初は異常は震央域では限定されず，数千kmに分かれた．最初の異常は本震の20日前に現れた（図12）．最初の異常は震央では異常インデックスがOLRベース領域の+2シグマレベルをちょうど上回る程度，差し迫った地震の震央から5°離れた他の２カ所の場所ではOLRベース領域の+2シグマレベルの２倍以上．次の異常は11月11日，北緯25° 東経92.5°．OLRベース領域の+2シグマレベルをちょうど上回る程度.

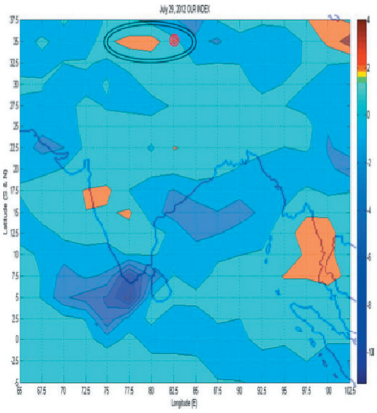


図-9．中国チベットでの例，M6.2（北緯35.66° 東経82.52° ）地震の周辺地域15日前に現れた最初のOLR異常.

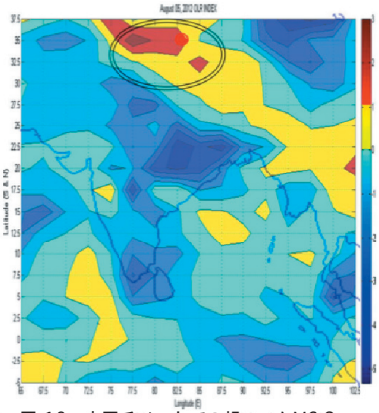


図-10．中国チベットでの起こったM6.2（北緯35.66° 東経82.52° ）地震の7日前の震央周辺のより広い地域で2度目に出現した高い異常現象.

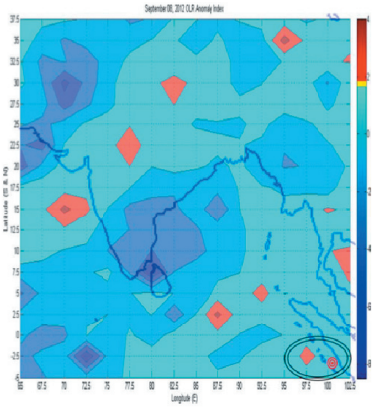


図-11．北部スマトラ（南緯3.32° 東経100.59° ）のM6.2地震の6日前に現れた短時間のOLR異常.

## 議　論

OLR異常出現の理由は正確には知られていない，しかしこの地域のテクトニック活動の増加による放出の増加によって形成された空気のイオン化に原因したものであろうと仮説されているかも知れない．空気のイオン化は相対湿度や表面温度それに大気温度野変化を導いていて，この強度が外向き赤外線放射（Pulinets et al., 2006a & b）.

OLR異常の出現が幾つかの他のパラメーターを関係づけられるとしても，効果的な地震の前兆に使う事が出来，特にマグニチュードの大きな地震を識別し，様々な前兆研究による結果と関係づけられれば，そのとき今迄に前例のないレベルでの確からしさによる地震の予知が可能で，このために世界規模でのネットワークによる良い連携関係を構築することの重要性がある（Venkatanathan, 2012）.

## まとめ

NOAA衛星から配信されたOLRデータは切迫した地震の前にOLR異常の信用できる出現が存在することを示す．震央域での強力な外向け放射のタイムフレームは地震イベントの５～30日前に生起．確かな引き金となるメカニズムは未だ知られていないものの，Pulinets and Boyarchuk（2004）によって提案された岩石圏－気圏－イオン圏の結合が理由となるだろう．他の大気圏の現象が原因となるOLR変化として未だに残った問題である．いずれにしても，もし我々が他の地上あるいは宇宙ベースの前兆研究との関連づけを超えば，高い確度で地震を予測できる.

謝辞：NOAAの物理科学部にはOLRデータをUSGSには地震データをそれぞれ提供頂いた事に関し謝意を示す.

## 文　献

Gornyy, V., Sal’man, A.G., Tronin, A.A. and Shilin, B.V., 1988. Outgoing terrestrial infrared radiation as an indicator of se ismic activity (in Russian), Doklady Akademii Nauk SSSR, v. 301, p. 67–69.

Gruber, A. and Krueger, A., 1984. The status of the NOAA outgoing long wave radiation dataset. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 65, p. 958–962.

Ohring, G. and Gruber, A., 1982. Satellite radiation observations and climate theory. Advance in Geophysics, v. 25, p. 237–304.

Ouzounov, D., Liu, D., Kang, C., Cervone, G., Kafatos, M. and Taylor, P., 2007. Outgoing long wave radiation variability from IR satellite data prior to major earthquakes. Tectonophysics, v. 431, p. 211-220.

Ouzounov, D., Pulinets, S., Romanov, A., Romanov, A., Tsybulya,K., Davidenko, D., Kafatos M. and Taylor, P., 2011. Atmosphere-ionosphere response to the M9 Tohoku earthquake revealed by multi-instrument space-borne and ground observations: Preliminary results. Earthquake Science, v. 24, no. 6, p. 557-564.

Pulinets, S., Ouzounov, D., Ciraolo, L., Singh, R., Cervone, G., Leyva, A., Dunajecka, M., Karelin and Boyarchuk, K., 2006a. Thermal, atmospheric and ionospheric anomalies around the time of Colima M7.8 Earthquake of January 21, 2003. Annales Geophysicae, v. 24, p. 835–849.

Pulinets, S., Ouzounov, D., Karelin, A., Boyarchuk, K. and Pokhmelnykh, L., 2006b. The physical nature of thermal anomalies observed before strong earthquakes. Physics and Chemistry of the Earth, v. 31, p. 143–153.

Pulinets, S.A. and Boyarchuk, K.A., 2004. Ionospheric precursors of earthquakes. Springer, Berlin, 316.

Tronin, A., Hayakawa, M. and Molchanov, O.A., 2002. Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China. Journal of Geodynamics, v. 33, p. 519–534.

Venkatanathan, N., 2012. Indispensable Coordinated Interdisciplinary Studies for Earthquake Prediction. International Journal of Earth Sciences and Engineering, v, 5, no. 3, p. 365 – 372.

**Websites:**

http://rammb.cira.colostate.edu

http://www.cdc.noaa.gov

http://www.neic.usgs.gov

# 南太平洋からシベリアまで延びている地背斜

# AN ARCHEAN GEANTICLINE STRETCHING FROM THE SOUTH PACIFIC TO SIBERIA

**Dong R. CHOI**

International Earthquake and Volcano Prediction Center
Canberra, Australia　dchoi@ievpc.org

（山内　靖喜・久保田　喜裕　［訳］）

要旨：筆者が以前に報告したボルネオ - バヌアツ地背斜が中国の東アジア反射波軸部を経由してシベリア・クラトンにつながっていることが判明した．本論では．この地背斜要素を " 南太平洋 - シベリア地背斜（SPSG）" と呼ぶ．これは西半球の " 南北アメリカ地背斜（NSAG）" と対をなし，地球上の正反対側の片方として地球表面の最も顕著な始生代構造要素の一つを構成する．南太平洋 - シベリア地背斜は原生代と顕生代に激しい火成活動と構造運動を受けたが，とくに隆起と大洋化作用を誘発した沈降が新生代に起きた南太平洋と南東アジアにおいて激しかった．南中国の雲南サージチャネルは上部マントルと下部地殻内でのコーベルゲン（koberugen）*1 と良く発達した低速度層を特徴とし，この地背斜上に存在する．これら２つの全地球的規模の地背斜要素は未だにほとんど損なわれておらず，地球の地殻とマントルの大規模な水平運動をきっぱりと否定しており，地球内部力学に関して拘束力をもっている．

*1：サージテクトニクスを提唱したメイアホフは，水平圧縮を受けて上方へ扇状に広がった褶曲帯をコーベルゲンと呼んだ（小室・多田，1995）．

*キーワード：ボルネオ - バヌアツ地背斜 Borneo-Vanuatu Geanticline，反射波軸部 East Asia Reflective Axial Belt，雲南サージチャネル Yunnan surge channel，南北アメリカ地背斜 N-S American Geanticline，シベリア・クラトン Siberian Craton，地球内部力学 Earth’s geodynamics*

## 1．はじめに

筆者が雲南 - 四川地域での地震予知を促進するために中国の地質を研究していたときに，ボルネオ - バヌアツ地背斜（Choi, 2005, 2007）が中国とモンゴルを通ってシベリア・クラトンまでの北方への延長に関しての意味深い構造的特徴を見つけた．この地背斜要素はメイヤーホフほか（1992, 1996）によって確認された雲南サージチャネルの主人役を務めており，そこにおいては非常に活動的な地震活動が近年続いている．地球上の正反対側に位置する南北アメリカは対をなす相手であるが，これとともに，この地球的規模の地背斜要素の存在はこの地球の内部力学的過程と歴史を理解するのに広い波及効果をもっている．ここで，ボルネオ - バヌアツ地背斜の北方への構造的繋がりに焦点を当てて，私はこれらの新発見を簡単に報告する．雲南サージチャネルとその地質学的重要性についてのより詳細な考察は別の機会に譲る（Choi ほかで準備中）．地背斜に沿っての鉱床についての別報も準備中である（Michaelson and Choi）．

## 2．ボルネオ - バヌアツ地背斜（BVG）

ボルネオ - バヌアツ地背斜は本論の著者（Choi, 2005, 2007）によって初めて提案された．その存在はエネルギー・鉱物資源に関する環太平洋会議（1985）によって出版されたフリーエアー重力図（図 1，北緯 10° まで）に示される．この図は地表から深さ 2,900 ㎞の核 - マントル境界までの密度の違い

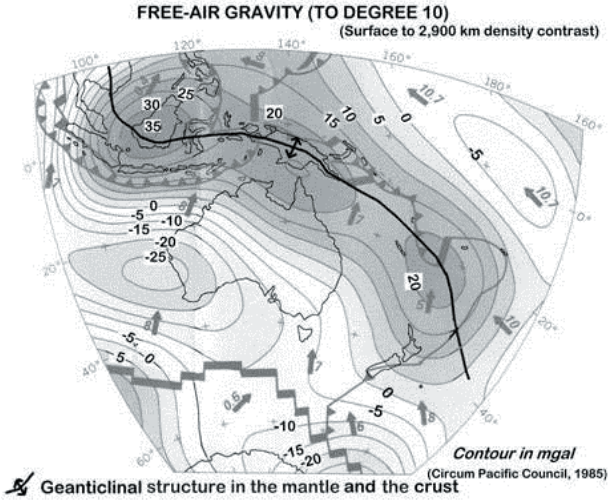



図１　オーストラリア大陸とボルネオ - バヌアツ地背斜軸部周辺の北緯 10° までのフリーエアー重力図．この図は，地表から核 - マントル境界 (2,900km; エネルギー・鉱物資源に関する環太平洋会議，1985) までの密度の違いを示していると考えられている．Choi (2005) より引用．

を示すと考えられている．この線状のマントルの高まりは，Fukao et al. (1994) による深部マントルトモグラフィ画像中の高速度異常帯の上に存在する．このように，これは疑いもなく深くまで根を下ろしており，核 - マントル境界に達している．この重力のピークは南北フィジー海盆，ニューギニア及びボルネオにある．軸域（幅数 1000 ㎞）は高い地殻熱流量を特徴としており，とくに南北フィジー海盆内（Tuezov and Lipina, 1988），マントル起源の超苦鉄質またはオフィオライト質岩石（ニューギニア島とバンダ海）及び先カンブリア界 - 下部古生界の岩石あるいは花崗岩（ボルネオ）で高い．ボルネオ - バヌアツ地背斜両翼においては，深発地震の群発を伴う深部断層帯が発達している（図 2）．

今日，ボルネオ - バヌアツ地背斜は非常に活動的で，隆起と沈降（そこでは大洋化作用が起きた）の両者に特徴づけられる．それは，外核に由来し，南太平洋（フィジートンガ）地域からその北方の南東アジア，中国及び日本を含む西太平洋までの地域の下にあるスーパープリュームを通り抜けてきた熱エネルギーの幹線的媒体である（Tsunoda et al. 2003）．

## 3. ボルネオ - バヌアツ地背斜の北方への延長

### 1) 中国

Yanshin et al. (1996) の地図にみられるように，ボルネオ - バヌアツ地背斜は明らかに北方で雲南 - 貴州背斜（地図では茶色線）とつながり，揚子台地の西縁でこれは南北性の原生代の背斜になっている．

雲南 - 貴州背斜は，Zhang and Wang (1995) によって再定義された東アジア反射波軸部（EARA　B）としてさらに北方へ続く．初期には，この軸部は Yin et al. (1980), Wang (1985) や Ma (1986) によって“南北構造帯”あるいは“南北ゾーン”と呼ばれた（図 4）．EARAB の軸部地域は約 200 ～ 250 ㎞の幅をもつ．Zhang and Wang は，西中国と東中国の両地殻ブロック間に位置する“普通の地殻境界”としてこれを記載している．そして，この境界の東側は環太平洋鉱物区に属し，他方，西部はテチス鉱物区に属する．軸部の中央は両鉱物区の混合帯となっている．この軸部も顕著な地震帯であり (Ma, 1989)，さらに，軸部の中央で起きる地震は等時性と等距離をもって南から北へ，あるいは北から南へ移動することを Zhang and Wang (1995) が認めている．これは，軸部の下でエネルギーの流れが生じていることを意味する重要な観察である．EARAB の東は西に比べて地殻熱流量が高く，地殻が薄いと Meyerhoff et al. (2006) にまとめられている．

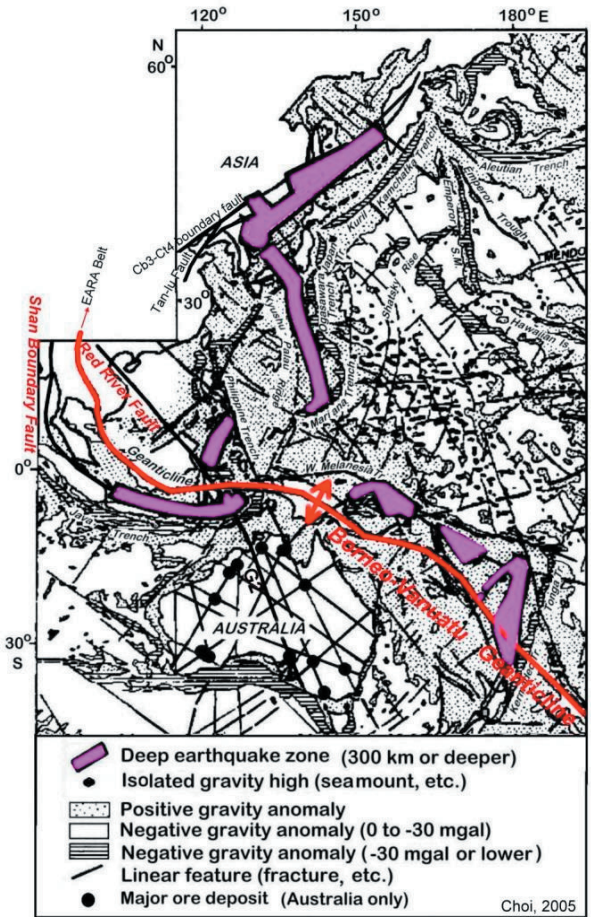



図２　深発地震帯と主要構造体に関してのボルネオ - バヌアツ地背斜の構造的枠組み (Choi, 2005)．EARA Belt = Zhang and Wang (1995) によって再定義された東アジア反射波軸部．ボルネオ - バヌアツ地背斜両翼における深発地震帯が良く発達していることに注目．オーストラリア大陸内のリニアメントと鉱床は O' Driscoll (1986) による．

始生代の地殻ブロックと原生代の地殻ブロックが斑状に露出しているオルドス盆地の西壁を EARAB は通る（図 6）．ブーゲ重力異常図（図 5）は EARAB の西側大きな負の異常が存在することを示している．これは地磁気異常図にも現れている（図 6 右図）．EARAB に沿っての最初の構造は明らかに原

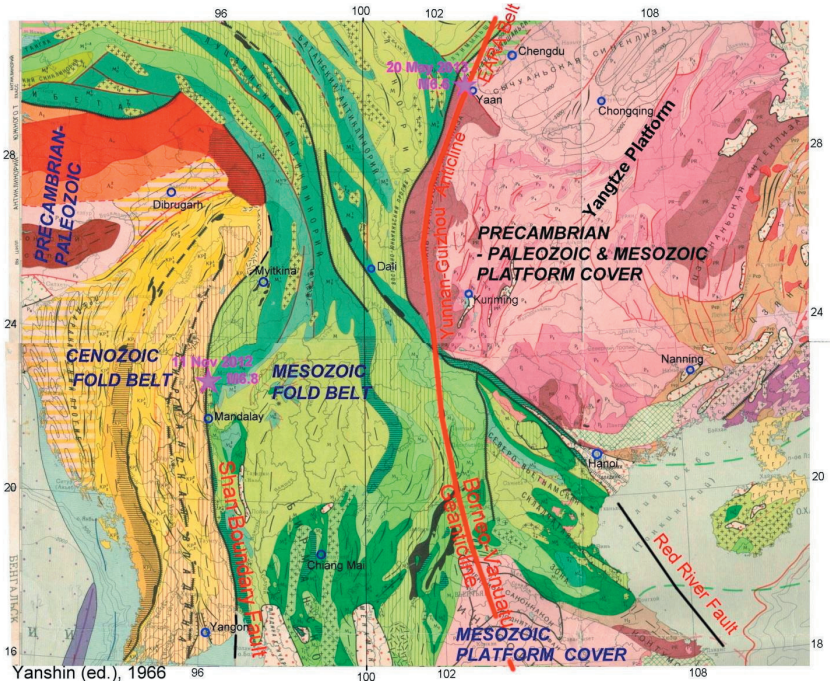



図 3 南中国とインドシナの地質構造図．原図は Yanshin et al.（1996）による．2012 年と 2013 年の大地震の震央も示されている．ボルネオ - バヌアツ地背斜は雲南 - 貴州背斜（茶色で示す）を通って北方へと延びる．

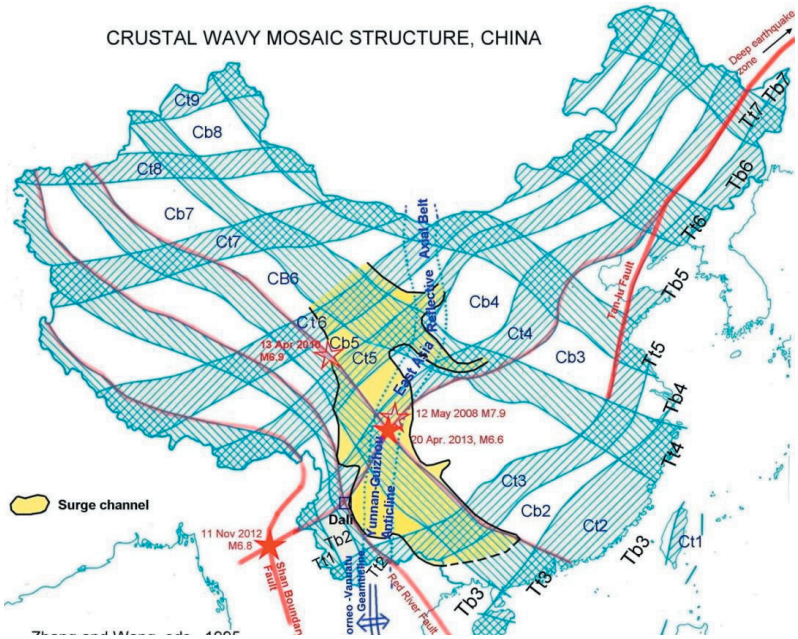



図 4 Zhang and Wang (1995) による中国のモザイク状の地質構造図．ボルネオ - バヌアツ地背斜は雲南 - 貴州背斜及び東アジア反射波軸部となって北方に延びている．2010 年以降の大地震 (M6.5+) と雲南サージチャネルは重なっている．★印は 2012 年後半から 2013 年に発生した．サージチャネルは Meyerhoff et al.（1992，1996）による．

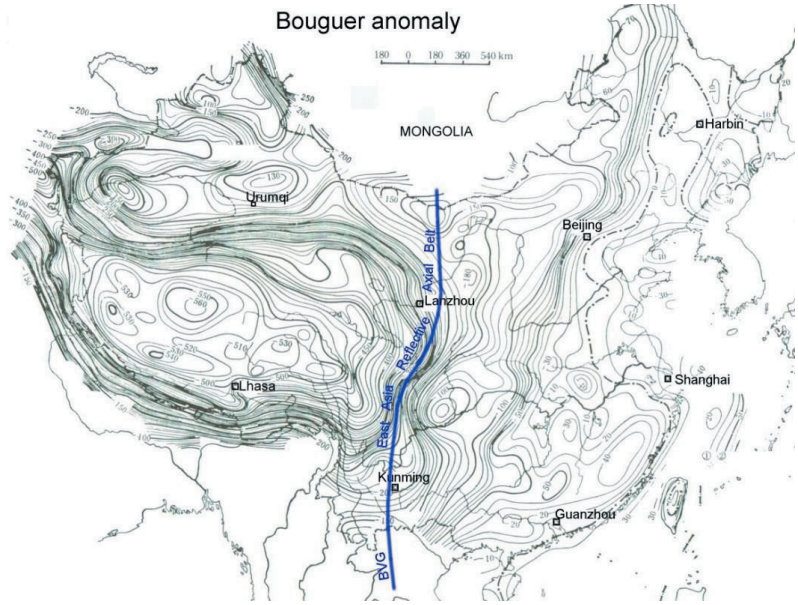



図 5 中国のブーゲ異常図 (Wang，1983)．EARAB の軸上に位置するモンゴルとの境界に強く現れている正の重力異常に注目．

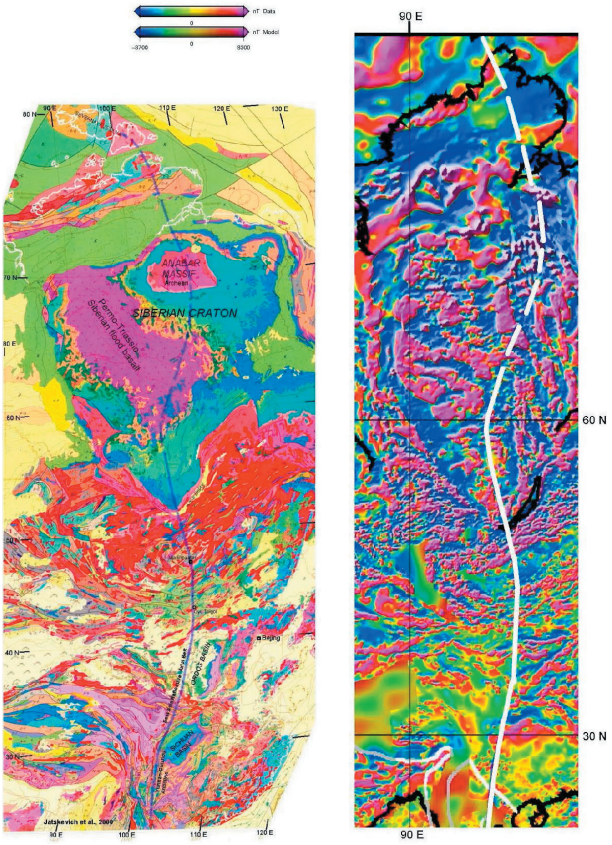



図 6　中国 - モンゴル - ロシアにおける地背斜要素．左図：Jatskevich et al.（2000）による地質図．右図：Korhonen et al.（2007）による地磁気異常図．オルドス盆地東部では始生界と原生界の分布が強調されている．AR= 始生界，PR= 原生界 *2．
*2: 左の地質図では岩体を色と記号で時代区分しているが，原図を縮小しすぎたため，記号が読めなくなっている．

生代の極初期あるいは始生代の方がありそうである（Meyerhoff et al. , 2006）．

2) モンゴルとロシア

モンゴルにおいて EARAB の軸は北方に延びている．中国国境近くには，巨大な銅 - 金鉱床の Oyu-Tolgoi 鉱床（図 6; http://ot.mn/en）が EARAB 東側境界断層上に位置している．この地域は特徴的に第三紀の噴出岩と多数のペルム紀貫入岩がある．これは火成活動が延長している明瞭な証拠である（Michaelson の個人談話，2013 年 9 月）．ウランバート Ulaanbaatar 近くでは，中部 - 上部古生界の堆積岩中に貫入している中生代の花崗岩の岩脈群が Yanshin et al. (1966) の地質図に描かれている．そして，EARAB はバイカル湖西端を通り，シベリアクラトンに入り，始生界が露出する Anabar 地塊に達する（図 6）．シベリアクラトンが 300 ㎞以上の深い根をもつことを Pavlenkova (2005) は図示している．EARAB はさらに北方に延びて北極海のセヴェルナヤ・ゼムリャ諸島 Severnaja Zemlja に達しているようである．

## 4. 雲南サージチャネル

もうひとつの発見は，BVG-EARAB のちょうど軸部に位置する雲南サージチャネル (Meyerhoff et al., 1992, 1996) である．それは図 4・図 8 に示されているように，Ct4/Ct5 および Tt3/Tt4 構造帯に直交する構造にも関連している．歴史的な大地

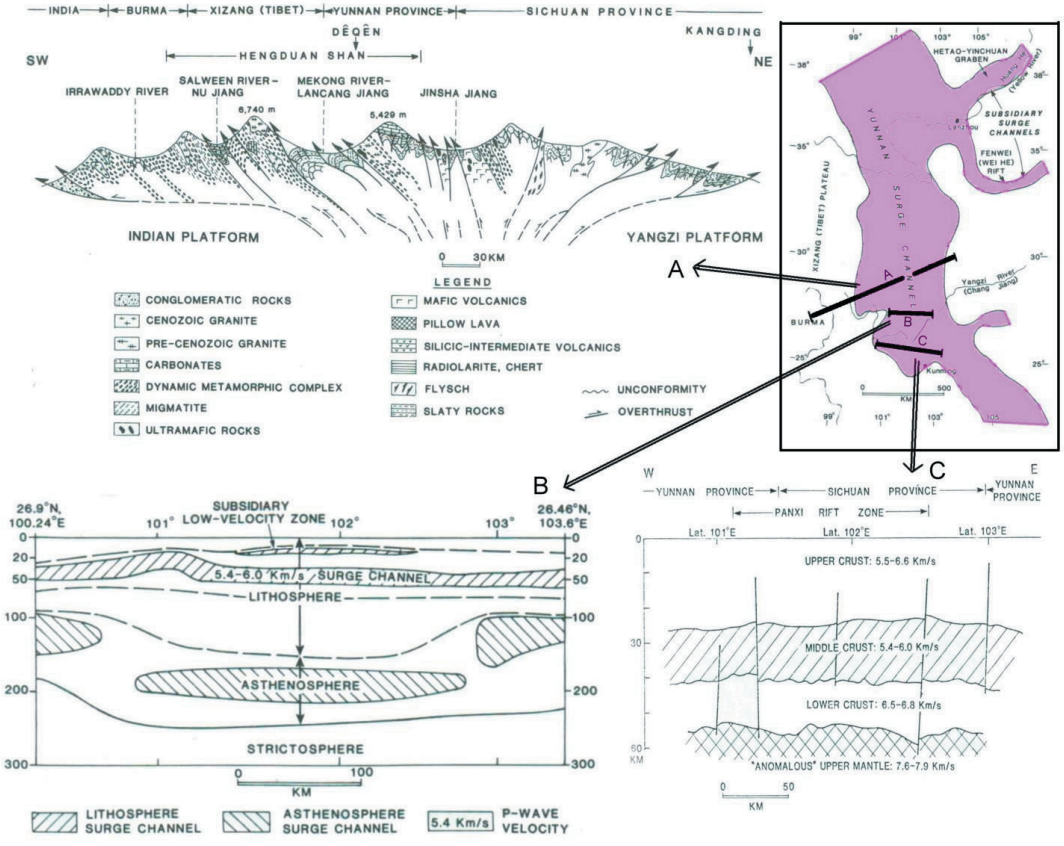



図 7　雲南サージチャネル（右上）．Meyerhoff ほか（1992, 1996）による：コーベルゲン（上 – A；Wang and Chu, 1988），低速度層を示す地震波トモグラフィー断面（B・C；Liuet al., 1989）．地質構造の詳細は図 8 参照．コーベルゲンは新生代からずっと活発に隆起している．

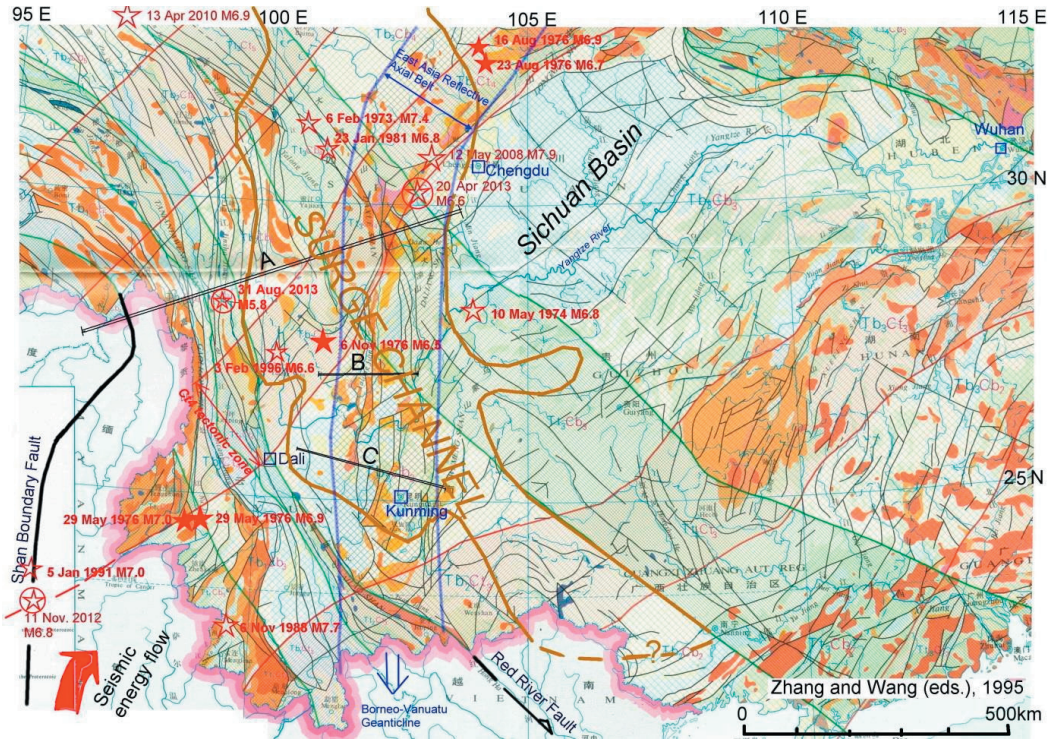



図 8 地殻の波状モザイク構造 (Zhang and Wang, 1995), サージチャネル (Meyerhoff et al., 1992, 1996) および東アジア反射軸帯 (East Asia Reflective Axial Belt). 図 7 の地震波トモグラフィ断面参照. 1973 以降の M 6.5 以上の大地震も示されている. 2013 年 8 月 M5.8 の地震も雲南省最北部に示されている. 円のついた星印は 2012 年後半～ 2013 年に発生した地震である. Ct4 構造帯で 1976 年, 1 年間で発生した 5 つの大地震 ( 赤星印 ) に注意. 1976 年は太陽周期 20 年と 21 年における周期の底部であった.

震はそのサージチャネルの内部や周辺で起きてきた ( 図 8) . 大規模な地震のほとんどは, 北東 - 南西方向の Ct4 構造帯で発生したが, それは深発地震が群発している中国北部とオホーツク海の Tan-Lu 断層に連続する深部に根ざした構造帯である. マントルと地殻における震源と低速度層との関係を明らかにするには, さらに詳細な研究が必要である ( 図 7) ; このことは, サージチャネルに沿うエネルギー流および地震や火山噴火を引き起こす造構過程に対して, 重要な視点をもたらすであろう (Choi et al., 準備中 ).

## 5. N-S アメリカ地背斜

著者 (1999) は, 始生代の核で特徴づけられる南米の地背斜方向について論じ, それらの構造延長が大洋域にまでおよぶことを主張した : 北部のカリブ海とメキシコ湾, および南部のリオグランデ海嶺と南大西洋まで. 後者は, NCGT Journal (v. 1, no. 2, p. 2) 最新号で報告したように, ドレッジや潜航観測によって明らかにされてきた.

南米地背斜の北方延長は, カリブ海ドーム (Choi, 2010) に立証される. Pratsch (2008, 2010) によれば, メキシコ湾は二畳紀以降陥没してきたペンシルベニア紀の熱成ドーム (thermal dome) である.

北米大陸への北方延長は陥没盆地域に達している ( 図 6) : 大陸南部ないしは米国のオルドビス紀とそれ以降の岩層に囲まれる N-S 方向のトラフ. その地域の古生界の分布は, 陥没構造がオルドビス系の堆積後, シルル系の堆積前に形成されたことを示す. カナダ楯状地では, 軸部の陥没 (the axial collapse) がオルドビス紀に先立って生じたようだ. その楯状地では, カンブリア紀を通して陸の環境にあったことを意味しているが, カンブリア系がほとんど欠如していることは注目に値する. 原生界の分布は原生代前期の軸部凹地の始まり (the incipient axial depression) を示唆している. さらに, その凹地はオルドビス紀以前に最も際立った.

上記をまとめると, 北米地背斜の軸は, 図 9 に見られるように, 原生代から古生代前期以降形成されてきたカナダ楯状地の N-S 方向の軸域に置き換えることができる.

## 6. 議　論

南太平洋からシベリアにかけて延びる全球規模の地背斜構造, あるいは南太平洋 - シベリア地背斜 (SPSG) の存在はとくに重要であり, かつ地球変動史に広く影響を与えてきた. ボルネオ - バヌアツ地背斜 (BVG), SPSG の南方セグメントは新生代の活発な隆起 ( たとえば, Ollier and Pain, 1980) で特徴づけられるが, そこは同時に海洋化作用も受けたため, 島嶼や海盆を形成する活発な沈降域になった.

BVG は, フィジー - トンガ - バヌアツ直下のスーパープリュームから北方の東南アジア, 中国, 西太平洋縁への熱エネルギー循環の主幹経路とみられる (Tsunoda et al., 2013). 低速度層沿いの熱移送の現実的メカニズムの解明には, BVG に沿う低速度層の詳細なトモグラフィーマッピングが必要である.

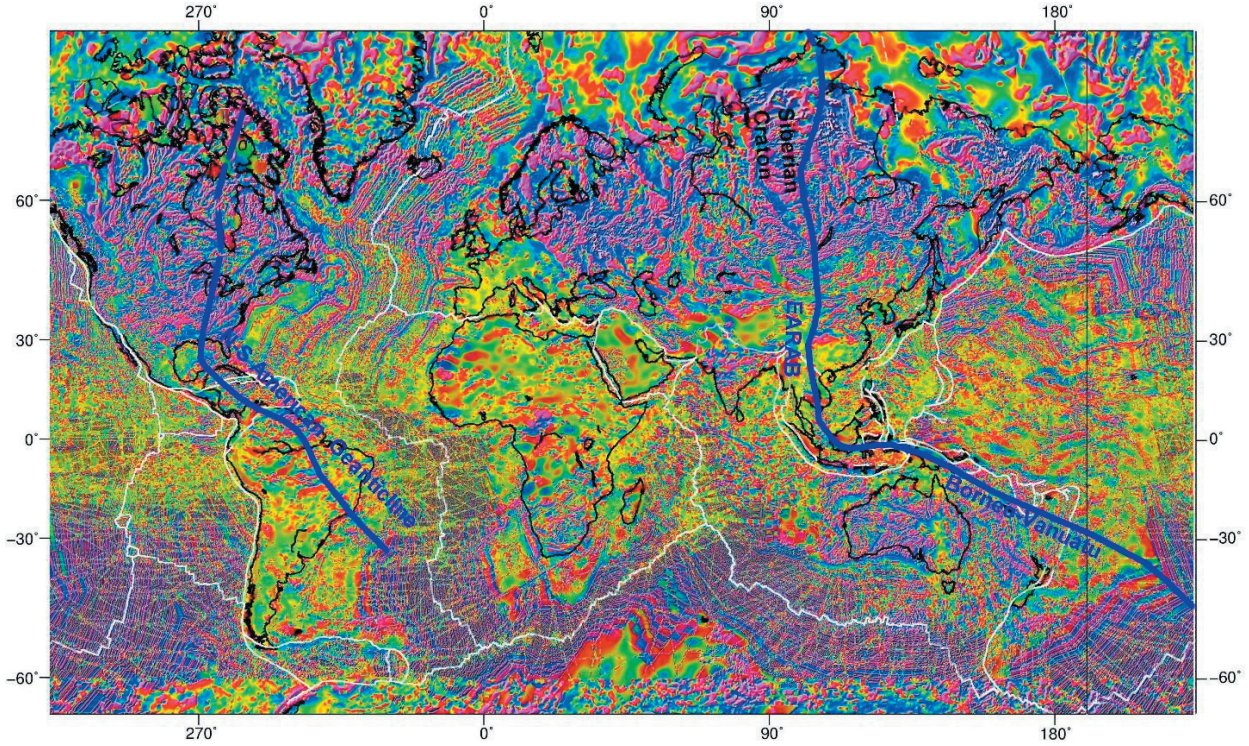



図 9 全球地背斜方向．Korhonen et al. (2007) の地磁気図に重ねた．地背斜は互いに地球の反対側に対峙している．

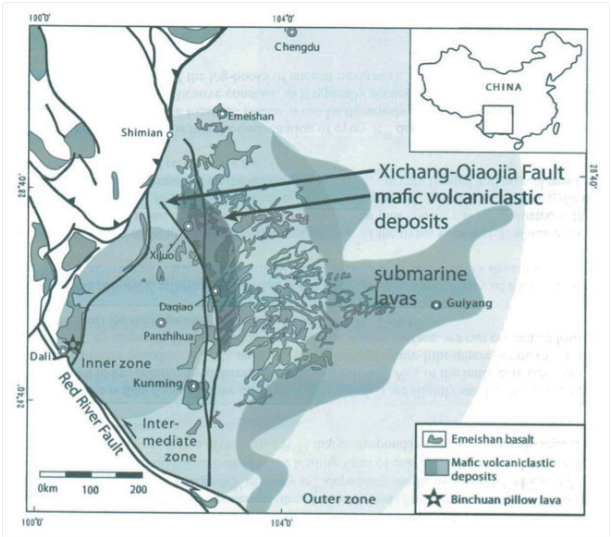



図 10　二畳紀峨嵋山大規模火山区 (Ukstins-Peate and Bryan, 2008)．内帯は現在のサージチャネルを含む．

もうひとつの興味深い事実は，雲南サージチャネルの構造的位置が SPSG と他の二つの直交する断裂系の会合部に位置することである．活発なエネルギーは，海洋化作用の初期段階と考えられる構造的高まり (structural culminations) あるいは深部断裂系の会合部で，低速度層を通じて解放される．

SPSG と反対側の N-S アメリカ地背斜との関係はとくに興味深く，研究の進展が期待される．それらが原生代〜顕生代を通じて，地球の構造発達史に影響を与えたことは明白である．

地史的観点からみると，雲南サージチャネルは二畳紀峨嵋山大規模火山区 ( 図 10；Ukstins-Peate and Bryan, 2008) に一致しているので, 雲南サージチャネルは少なくとも二畳紀以降の長期におよぶマグマ作用が続いたことを示唆している．膨大な文献検索による研究をもとに，Meyerhoff et al. (2006) は，Red River の最も激しいサージチャネルの活動は後期原生代と後期三畳紀の間であった, と結論づけた．このことは，前述のように，第三紀の火山岩を伴う二畳紀〜中生代のおびただしい貫入岩があるモンゴルの SPSG の北部セグメントに適用できる．

図 4・図 8・図 9 に見られるように，SPSG は原生界の構造を乱す NE と NW の直交構造に影響されていない．前者は始生代基盤を包含するため，地背斜は直交構造の形成に先立って形成された ( 図 6)．このことも N-S 米国地背斜に適応できる．これらの事実は，その地背斜が始生代に形成されたことを示唆している．当時はおそらく，地球の表層が冷却する前のまだ熱かった時で，このことが原生代の広く発達した直交構造の形成をもたらした．

## 7. 結　論

本論は地球表層に見られる最も際立った地質構造の一つについて記した；南太平洋からシベリアクラトンにまで拡がる地球規模の深く根を下ろした地背斜構造．それは始生代に形成されたが，反対側に位置する N-S アメリカ地背斜を伴い，地球の造構 - 火成活動史に影響を与えたことは疑う余地がない．それはさらに地球造構モデルをも規制するものである．

雲南サージチャネルは地背斜構造の軸部に位置して

いる．それは今日最も活動的なサージチャネルのひとつで，強大なエネルギーの放出（地震）と新生代の活発な隆起で特徴づけられる．これらの活動は海洋化作用の初期段階とみなすことができる．

このような地球の反対側に位置する大規模で深部に達する始生代起源の地質構造の存在は原生代以降，新生代まで続いてきたが，両者とも大きな水平移動とは無関係で，プレートテクトニクスが主張する地殻 - マントルの大規模水平運動を意味しない．

謝辞：以下の方々に，心より感謝する；メキシコ湾の地質については Chris Pratsch 氏，シベリアクラトンの地質情報については Nina Pavlenkova 氏，モンゴルと中国の地質および鉱物資源については Per Michaelson 氏 (Nordic Geological Solutions) から有益なご助言をいただいた．また，英語の編集に関しては David Pratt 氏に感謝の意を表する．

## 文　献

Choi, D.R., 1999. Precambrian structures in South America: their connection to the Pacific and Atlantic Oceans. NCGT Newsletter, no. 13, p. 5-7.

Choi, D.R., 2005. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones: A new interpretation of the Wadati-Benioff zone. Boll. Soc. Geo. It., vol. spec., no. 5, p. 79-118.

Choi, D.R., 2007. Borneo-Vanuatu Geanticline and the tectonic framework of Southeast Asia and the Indian Ocean. NCGT Newsletter, no. 42, p. 18-25.

Choi, D.R., 2010. The January 2010 Haiti seismic disaster viewed from the perspective of the energy transmigration concept and block tectonics. NCGT Newsletter, v. 54, p. 36-44.

Choi, D.R., 2012. Geological structure which controlled the gigantic 11 April 2012 Northeastern Indian Ocea n earthquakes. NCGT Newsletter, no. 63, p. 72-75.

Choi, D.R., 2011. Geological analysis of the Great East Japan Earthquake in March 2011. NCGT Newsletter, no. 59, p. 55-68.

Choi, D.R. and Maslov, L., 2010. Earthquakes and solar activity cycles. NCGT Newsletter, no. 54, p. 36-44.

Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1985. Geodynamic map of the Circum-Pacific region, SW quadrant. 1:10,000,000 scale. AAPG, Tulsa.

Fukao, Y., Maruyama, S., Obayashi, M. and Inoue, H., 1994. Geologic implication of the whole mantle P-wave tomography. Jour. Geol. Soc. Japan, v. 100, p. 4-23.

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

Korhonen, J.V., Fairhead, J.D., Hamoudi, M, Hemant, K., Lesur, V., Mandea, M., Maus, S., Purucker, M. Ravat, D., Sazonova, T. and Thebault, E., 2007. Magnetic anomaly map of the World (and associated DVD), Scale, 1:50,000,000, 1st edition, Commission for the Geological Map of the World, Paris, France.

Liu, J., Liu, F., Wu, H., Li, Q. and Hu, G., 1989. Three dimensional velocity images of the crust and upper mantle beneath a north-south zone in China. Acta Geophysica Sinica, v. 32, p. 142-152.

Ma, X., Ch. Comp., 1986. Lithospheric dynamics map of China and adjacent seas. Beijing Geological Publishing House, scale 1:4,000,000.

Ma, X., Ed.-in-Ch., 1989. Lithosphere Dynamics Atlas of China. Beijing, China Cartographic Publishing House, 68 charts.

Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Martin, B.D., Agocs, W.B. and Meyerhoff, H., 1992. Surge tectonics. In: Chatterjee, S. and Hotton, N. III (eds.), New Concepts in Global Tectonics, Texas Tech Univ. Press, Lubbock. p. 309-409.

Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C., Choi, D.R. and Meyerhoff-Hull, D. (ed.), 1996. Surge tectonics: a new hypothesis of global geodynamics. Kluwer Academic Publishers, 323p.

O'Driscoll, E.S.T., 1986. Observations of the lineament-ore relation. Phil. Trans. Royal Soc. London (A317), p. 195-218.

Ollier, C. and Pain, D.F., 1980. Actively rising surficial gneiss domes in Papua New Guinea. Jour. of the Geological Society of Australia, v. 27, p. 33-44.

Pavlenkova, N.I., 2005. Fluids-rotation conception of global geodynamics. Boll. Soc. Geol. Italy, spec. no. 5, p. 9-22.

Pratsch, J.C., 2008. Letter to the Editor. NCGT Newsletter, no. 47, p. 4.

Pratsch, J.C., 2010. Gulf of Mexico Basin – a collapsed Late Carboniferous mantle dome? NCGT Newsletter, no. 55, p. 74-76.

Tsunoda, F., 2010. Habits of earthquakes, Part 2: Earthquake corridors in East Asia. NCGT Newsletter, v. 54, p. 45-56.

Tsunoda, F., Choi, D.R. and Kawabe, T., 2013. Thermal energy transmigration and fluctuation. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 65-80.

Tuezov, I.K. and Lipina, E.N., 1988. Heat flow map of the Pacific Ocean and the adjacent continents. Inst. Tectonics and Geophysics, Far East Branch of the USSR Academy of Sciences, Khabarovsk. 1:10,000,000 scale with an explanatory note by Tuezov, I.K., 33p.

Ukstins-Peate, I. and Bryan, S.E., 2008. Re-evaluating of plume-induced uplift in the Emeishan large igneous province. Nature Geoscience, v. 1, no. 9, p. 625-629.

Wang, H., Ch. Comp., 1985. Atlas of the palaeogeography of China. Institute of Geology, Chinese Academy of Geol. Sci., Wuhan College of Geology. Beijing Cartographic Publishing House, 143p (charts), 85p (Chinese text), 28p (English text).

Wang, S. (ed.), 1983. The petroleum geology of China. Beijing Petroleum Press, 348p. (in Chinese).

Wang, C. and Chu, J.J., 1988. Collision tectonics in the Cenozoic orogenic zone bordering China, India and Burma. Tectonophysics, v. 147, p. 71-84.

Yanshin, A.L. (ed.), 1966. Tectonic map of Eurasia. Geological Institute of Academy of Science, USSR. Moscow, Scale 1:5,000,000.

Yin, X., Shi, Z., Liu, Z. and Zhang, Y., 1980. The basic features or regional gravity field in Chinese continent. Seismology and Geology, v. 3, no. 4, p. 69-75.

Zhang, B. and Wang, Z. (eds.), 1995. Map of China crustal wavy mosaic structure, 1:5,000,000. Geological Publishing House, Beijing.

# 評　論　ESSAY

## グローバルな理論と判断の基準：知識か根拠のない推測か
## GLOBAL THEORIES AND STANDARDS OF JUDGMENT: KNOWLEDGE VERSUS GROUNDLESS SPECULATION

**Karsten M. STORETVEDT**

Institute of Geophysics, University of Bergen, 5014 Bergen, Norway
karsten.storetvedt@gfi.uib.no

（杉山　明［訳］）

"基本的な概念へ導くことができる帰納的な方法というものは存在しない．・・・公理が経験から帰納的に導かれると信ずる理論家たちに誤りがある．”

アルベルト・アインシュタイン*1（1934）「科学の哲学」

＊1　アルベルト・アインシュタイン（Albert Einstein）：ドイツ生まれの理論物理学者（1879-1955）．ニュートン以来，物理学の主流はデータに基づいてそれを解析し，関係性を実験式にまとめるという帰納的な方法論であったが，アインシュタインは光速度不変の原理と相対性原理を設定し，その帰結を演繹して重力や天体現象を予言・検証した．このような方法論を公理的方法論とよび，これが現代物理学の主要な方法論になっている．

“冷静な知性，広い心，先入観のない観察者というのは，厳密には一種の知性偏重論者の民間伝承の中にしか存在しない．そのようなものに近づこうとする状態さえ，我々の大部分がやれない，あるいは，やろうとしない道徳的かつ感動的な努力なしには達することができない．”

ウィルフレッド・トロッター*2 (1916)「平和と戦争における大衆の本能」

＊2　ウィルフレッド・トロッター（Wilfred Trotter）：イギリスの大衆心理学者（1872-1939）．人間は批判的な理性ではなく無意識的で本能的な動機に従うと論じ，大衆を個人個人としてではなく一つの集団として扱い管理する方法の有効性を主張した．

要　約：グローバル地質学の歴史では，都合のよいモデルに合わない問題を無視するか，場当たり的な態度でそれらに１つ１つ対処するかのどちらかが習わしになってきた．このことは，地質学の社会が機能本位の優れた理論という強みをまったく持たなかったことを意味している．真の包括的プランを欠いていたことは明らかに地球科学の健全な発展を阻害し，プレートテクトニクスがこの世を支配する間にグローバル地質学の状況はそれまで以上に混沌としたものになった．この行き詰まりを打開するための試みの中で，地球の様々な表情，その現象論的相互作用，発達パターンを説明できる新たな理論的枠組み（機能的な足場）を構築しようという探索が始まった．そうした努力の結果として，現在２つの相容れないグローバルテクトニクス，すなわちサージテクトニクスとレンチテクトニクス（どちらも地球の回転と様々に関連する）の間で，ある種の‘戦い’が行われている．サージテクトニクスは視野が狭すぎ，次世代のグローバルな地質学的理論となるために必要な予見的・説明的な力を持っていないと結論できる．

*キーワード：科学の哲学と社会学，機能的理論の必要性，グローバルなダイナミクス，サージテクトニクス，レンチテクトニクス*

## 人間の企てとしての科学

私は最近，多くの本・論文・評論・手紙の中でグローバルな地質学における喫緊の課題を何度も取り上げてきた（Storetvedt 1997; 2003; 2005a, b; 2007; 2009, 2010a, b; 2011a）．そして，いくつかの共著論文（Storetvedt et al. 2003; Storetvedt and Longhinos 2010, 2011; Storetvedt and Bouzari, 2012）では話題となる討論を盛んに繰り広げてきた．私は，純粋な地質科学的側面に加えて，知性的な怠慢，希望的観測，盲目的な傾倒および群衆的な本能を含む人間の悩ましい本性の様々な介入にも注意を払ってきた（Storetvedt, 2005a; 2008; 2009; 2011b; 2013a）．これらの非科学的要素は，特殊な地質学分野の小理論に比べると，極めて特殊な認知と発見の要素を持っているグローバルテクトニクス理論を論じ合うときには特に重要である．このように，一般には反復過程と社会的関連を通して，もしくは教化あるいは説得の力によって獲得されてきた‘大局的’思考はすべての科学の最も弱い部分を形成する．例えば，スケールの小さな研究では場当たり的な規制というものが盛んに用いられるが，科学者の大多数が全く不慣れな特定の科学の基本的教義に関してはそれは滅多に見られない．科学的討論はしばしば確証され事実とみなされた観察の陳述で一杯になる．しかし，ひとまとまりの観察というのは一般に多くの隠れた意味を持っていて，‘好み’の先駆者の理論に決定的に依存しているという事実は通常理解されていないし，それ故に見落とされる．

私は1960年代後半に若い地球物理研究者として通俗的な海底拡大モデルにはいくつかの基本的問題があること，実験的・分析的な古地磁気学における確立された手続きはあまりに単純化されていることを悟って以来ずっと，あらゆる種類の多数意見と表面的な断定に対して懐疑的であった．例えば，‘皆が・・・を信じている’とか，‘それは十分理解されている’とか，‘それは広く同意されている’等々の一般的で紛らわしい文言は，普通は，多くの罪のない無知を包み隠しながら，裏切りとメンツを立てる手助けのほかは何ももたらさない．科学的に誠実であるためには，多くの場合，「これは私の信ずるところであるが，残念ながら私はその問題を深く探求するだけの時間と能力がない．」という言い方がはるかに適切であろう．

2002年にノーベル経済学賞を受賞した有名な心理学者のダニエル・カーネマン*3 は，彼の著作である‘意思’(2011）の中で，より慎重な反応（ゆっくりした思考）を通して不合理な誤った判断をひっくり返すかもしれないという意見を当然とみなし，我々の理解がいかに度々感情の状態と認識の必要性によって大きな影響を受けるか，偏見と性急で衝動的な思考がいかに度々我々を道に迷わせるかを論証した．いずれにせよ，人間の活動における多数の非理性的な要素を認識することは，特に，すべての科学の泣き所である包括的な理論的枠組みを議論するとき極めて重要である．誇張され称賛されている主張は，それによって科学者の大多数が特別な見方にとらわれている表面的なものを包み隠すために，しばしば適切で学術的な文言と真の知識に取って代わる．物理学者のジョン・ジーマン*4（1978）は学術的な価値というものがいかにしばしば不適切，人為的，かつ賛美された記述によって退けられるかについて書いているが，その彼が次のように書いて心情を語っている．

**－科学の研究論文の多くが，新たな仮説の重要性を他の科学者に説得するため，もしくは受け入れられている見解を打ち砕くために修辞学的になりやすいということを悟るのは重要である．**

＊3　ダニエル・カーネマン（Daniel Kahneman）：米国の認知心理学者で行動経済学者（1934- ）．著書の「ファスト＆スロー：あなたの意思はどのようにして決まるのか？」は行動経済学の基本的な考えと理論をまとめたもの．

＊4　ジョン・ジーマン（John Ziman）：ニュージーランドの物理学者（1925-2005）．核燃料濃縮分野の専門家であるが，科学哲学の分野でも功績を残した．

それにもかかわらず，真の洞察に欠けた個人を守る政治活動や，裏切りを含む人間的要素によって生まれる混乱した精神的‘視界’の背後には，集積された受容可能な知識のネットワークを構成すべき大量で絶えず増大し続ける事実の観察が存在する．科学的な過程では，予期せぬ観察と実験は，いつかは新たな解釈と新たな戦略を強いる可能性があり，これらを試みているうちに無知が取り除かれ，研究の道筋が自然に変化する．しかしながら，理論間での選択があまりに度々なされると，個々人の主観的価値と期待で決定された選択へと煮詰まっていく(Chalmers, 1978)．そして，同じような意味で，スチュアート・ファイヤースタイン*5 は彼の「無知」(2012）という本の中で，決定的な科学的事実に対する未経験ゆえの無関心ということが度々生じるということを我々に思い起こさせている．これらの重要な視点に立って，ファイヤースタインは次のように書いている．

**－“それ（無知）は，知らされていない意見，反対意見またはデータ・・・の無視に対する頑な献身となって現われる．無知は，教えず，知らせず，そして驚くべきことにしばしば確固とした地位を占拠する．我々は皆，このどれもが良くないということに同意できる．”**

＊5　スチュアート・ファイヤースタイン（Stuart Firestein）：米国の生物学者．専門は神経系統の細胞の研究であるが，科学の普及にも力を注いでいる．

ファイヤースタインは科学における別のタイプの基本的な問題についても“既存のデータが意味をなさないところでは筋の通った説明を付け加えてはならないし，何かあるものや事象について予測や陳述をすべきではない.”と指摘している．科学者であるということは，不確実さに対して誠意を持ち，不可解なことに喜びを見出し，疑念を掘り起こすことが求められると彼は言い，“その成果を目に見えるようにするには実験にネジを巻くほど確かな方法はない.”と結論している．最後に，彼の多くの思慮分別に富む言葉の中から，私は“最も重要なことは異常なデータを見逃すな，それはしばしば最上の資料である”という一言を加えたい.

科学的知識が著しく増進したのは, 人間の知覚能力, すなわち感情的および社会学的原因により捩れた現実像と混じりあい重なりあった自然過程という雲の背後に横たわっているものを見分ける能力であるパターン認識[*6]という分かりにくい技術を広く共有したことによる．大事にしたモデルを教え込む教育と（または）それに盲目的に傾倒することは, パターンを認識する先天的な能力にたやすく不当な干渉を加える可能性がある．John Ziman (1978) によると，型にはまった見解は知覚情報を入手するための先天的な思考力を破壊することが度々ある．1) 誤った世界像か，2) 適切な観察の表面的な認知かのどちらかの上に築かれた形式的な数学的及び統計学的処理では個人の傷つけられたパターン認識能力を埋め合わせることはできない．地球の謎を解くために動員されるすべての地球物理的技術を含むどのような観察科学においても，パターン認識は適切な知見を得るために極めて重要である．隠されたパターンの観察はほとんど常に自然の重要な側面, すなわち, 先に決定された見解と混じり合ったある種の重ねあわされた二次的な過程というカーテンの背後に存在する情報を観察することである．この点で，Ernst Schumacher（1973, p. 154）[*7]は，次のように書いて核心を突いた.

**－我々はあらゆる必要な知識を持っているが，活動的存在へと至らせ，それを一般に見え，かつ，手に入れられるようにするための系統的，創造的な努力を今なお求めている．私の経験では，洗練化と複雑化の方向に進むよりも率直さと単純さを取り戻す方がいつも難しい．どんな三流の技術者や研究者でも複雑性を増すことはできるが，物事を再び単純にするためにはある程度の洞察力が必要である.**

＊6　パターン認識（pattern recognition）：画像・音声・文字・図形などの雑多な情報を含むデータの中から，意味を持つ対象を選別して取り出す処理．情報処理技術の分野で使用される用語．人間の脳はこれを自然に行えるが，コンピュータにこれをやらせるには精度・速度の面で大きな困難が伴う.

＊7　エルンスト・シューマッハ（Ernst Schumacher）：イギリスの経済学者（1911-1977）．その著「Small is Beautiful」は経済学者のエッセー集であるが，大量消費を幸福度の指標とする現代経済学と科学万能主義に疑問を投げかけたことで有名.

プレートテクトニクス（PT）が同時代の地球科学にもたらした混沌とした状況（それは最初に数 10 年にわたる洗脳的な教育と社会政治学的圧力によって引き起こされた）を考慮して，我々は，どのような地球科学的パラダイムであれ，次の世代の理論的足場となるものを作り上げるためにできることは何でもしなければならないし, それはそこから一次的・表面的な事実が予測されたものとして浮かび上がるに違いない物理的・地球力学的原理にしっかり根を張ったものでなければならない．とりわけ，確定していない捏造されたメカニズムの寄せ集めからなる仮想の構造物は進歩的な科学の中では居場所がない．長年，NCGT journal とその前身である NCGT Newsletter は，PT モデルが地史を説明するには不適切であることを明らかにするだけでなく，造構過程を説明するうえでも欠陥があることをあばくことに夢中であった．次世代のグローバル理論を確立する道程は今始まったところであり，この流れの中で惑星の回転が何らかの方法で基本的な役割を果たしていると考えるのは理にかなっているだろう. 現在, サージテクトニクスとレンチテクトニクスという 2 つのかなり異なる理論が徹底的に吟味されている．多彩な地質学的事実からなるシステムに対して両立しない 2 つの理論がどのように対応できるのかが決定的になる.

私は NCGT の no.55 で，読者の要望をきっかけとして，大陸漂移とプレートテクトニクスの考えが発展していった歴史をレビューし，同時に自分のレンチテクトニクスを短く要約したものを付け加えた (Storetvedt, 2010b)．私のエッセーにはサージテクトニクスの生みの親であるアーサー・メイヤーホフ [1928-1994] との交流の簡単な歴史も含まれている．それは 1994 年 3 月の私宛の私信（以下を参照）で，彼の理論の基本と将来の役割について多くの重要な譲歩をしている．彼の譲歩は，サージモデルに固執する人々が明らかに口を閉ざしている痛い部分なので，彼らにとって不愉快な驚きになったと私は理解している．しかし, Smoot (2010) は即座にサージテクトニクスの支持に現れ，（特に大洋からの）構造的なデータはレンチテクトニクスに矛盾すると主張した．その一方で，彼は自分がレンチテクトニクスの原動力となる慣性に支配されたリソスフェアの捻れを完全に誤解していることをさらけ出した.

次のレター記事 (Storetvedt 2010e) で私は，自分の理論についてのスムートの誤解に対するコメントを含めてグローバル地質学におけるいくつかの喫緊の課題を考察し，簡単に将来展望を述べた．同じ

NCGT の no.57 には「世界磁気異常図とグローバルテクトニクス」と題した私のかなり包括的な記事が載っている (Storetvedt, 2010d). この記事は地球規模でのリソスフェアの捻れ（レンチテクトニクス）という考えに調和的な多くの大陸及び大洋の磁気的特徴を明らかにした. この同じ事実がサージテクトニクスにとっては扱いにくいものであることは言うまでもない. しかしながら, 新しい磁気的 / 構造的証拠と私のアーサー・メイヤーホフとの初期の突っ込んだ討論にもとづいて, 私はレター記事で, 後年はるかに影が薄くなるサージモデルは次世代のグローバルテクトニクスの前段階における重要な競争相手にはなりそうもないと結論づけた. サージテクトニクスは確証されていない場当たり的な主張を何層にも重ねている.

私の論評はわずか 3/4 ページであり, それゆえに当時は何ら威力がなかったけれど, 何人かのサージテクトニクス支持者からは具体的問題のどれにも詳細に踏み込んだ極めて強い反発があった (Bhat et al., 2011). 例えば, 彼らの反論（それは大部分サージテクトニクスの主張を何度も繰り返すという単調な記述からなり, 決定的な科学的議論は何も提示していない）で, 著者らは私に向かって“まったく非科学的ではないだろうか”[*8],“これ以上的はずれなことはない”[*9],“希望的言い回しに注意！”[*10] などといった感情的な言い方を抑えることができなかった. もちろん私の短いコメントは 90 年代以降 NCGT サークルの中で舞台裏に隠れていたサージ仮説に関する議論を意図的にしかけるという目的でなされたのであるが, 私の書いたものの中には無作法なものはない. それにもかかわらず, 彼らは自分たちの大事なモデルに対するわずかな反論も許さなかったし, 私の先の 2 つの記事 (Storetvedt, 2010b & d) で主張したテクトニク観を検討する気もなかったのは明らかである. 以下で, 私はバットらによって取り上げられた主な問題を検討しよう.

＊8　原文 p.50, 第 2 パラグラフ（和文版 p. 40, 左欄, 第 3 パラグラフ）
＊9　原文 p. 50, 第 3 パラグラフ（和文版 p. 40, 左欄, 第 4 パラグラフ）
＊10　原文 p. 55, 第 2 パラグラフ（和文版 p.44, 左欄, 第 1 パラグラフ）

私は彼らの姿勢は即座に反応しても逆効果なだけだろうと考えたので, バットらの議論にすぐに反応しようという気にはならなかった. その代わり, 私は ‘惑星形成の光景’ に関する長い記事 (Storetvedt, 2011) を投稿した. この中にはサージテクトニクスの主要な原動力の 1 つである冷却収縮する地球という 19 世紀後半の考えも含めた多くの問題のレビューも含んでいる. 私の惑星論はサージ仮説にはとくに触れなかったが, 地球の内部状態についての現在の見識から, 冷却 / 収縮装置という推測にはほとんど科学的根拠がないということを明らかにした. 私は NCGT の編集者に, 後日彼らの残りの質問に応えるだろうと伝えた. David Pratt (Pratt, 2013) による最近の記事が動機となって, サージテクトニクスを批判的に論評するときが来た.

デビッド・プラットは彼の記事の中でリソスフェアの可動性を匂わせるものはすべて疑わしいと述べているが, これは基本的には大陸と大洋が永続的であるとする 19 世紀後半の北米の考え方に回帰するものである. 加えて, その基本的な前提の吟味と仮定をしこたま積み込んだ表層の事実の解釈が批判的な討論を省かれたままになっているので, 彼にはサージテクトニクスが明らかに十分根拠のあるものに思われている. それは奇妙なことに, アーサー・メイヤーホフの致命的な古気候 / 古地理図（下記参照）の再検討があっさり無視されている（彼は 1994 年の早すぎる逝去のわずか 6 ヶ月前に私宛の私信でそれはこの雑誌でその後 2 度公表されたと述べている）. そのように決定的な情報を意図的に排除することは不誠実で, NCGT 誌の基本的意図にも反する.

デビッド・プラットの記事は最初のページからその意図が極めてはっきりしている. アーサー・メイヤーホフのサージテクトニクスにひれ伏した支持者として, 彼は 1) 大陸と大洋が永久不変であるという 19 世紀の北米の哲学に固執し, 2) 真の極移動という地球力学現象（以下を参照）に反論するために極めて問題のある古気候図を用いる等々. サージテクトニクスのシナリオは全体として推測にもとづく不確かな根拠を満載しているが, 人類にグローバルテクトニクスを開示したと見なす人もいる. それゆえ故, 決め手を欠いている特別な’世界観’を維持するという目的のために作り上げられたように見えるサージテクトニクス理論の前提と推定を公開の場で議論するときがきた.

サージ仮説の理論的根拠を検討する前に科学理論の哲学的側面に簡単に触れておこう. 残念なことに, 地球の包括的理論は常に著しく情緒的で, どのような科学分野においてもその健全な発展にとって極めて重要な歴史的・哲学的な要素をほとんど欠いてきた. 科学者は常に, 彼らが一度は馴染んだ根強い以前の仮説体系に規制された理論的土俵の内側で研究をする. したがって, 研究課題とデータはともに十分理論に依拠している. 結果として, 科学者は常に行き詰った問題を追い求めたり重要なデータを見落とすというリスクをおかす恐れがある (Brown, 1977 を参照 ). どのような自然科学分野に属する研究者集団でも彼らの知的安息地となった包括的なパラダイムの現状に関する最低限の知識を持っていて, しばしば激しい議論を引き起こす内密で疑問の多い基本事項をさらけ出すことを避けようとすることはよく知られている. 率直にいうと, 科学者の圧倒的多数は彼らの日常的な研究の技術的・観察的事項に関しての専門家であるに過ぎない. したがっ

て，パラダイムに関連した局面に対して表明された‘見解’は‘味見’を繰り返しているという以上に何かをもたらすことは滅多にない．疑問の余地のないデータは科学的進歩にとって重要であるが，観察の実際の意味を我が物にするためにはうまく組み立てられた包括的な理論，つまり，様々な現象を理解しやすい予言と確証の連鎖につなげるものを必要とする．そのような努力においては，最も単純でまっすぐな前向きの解が普通はもっとも信頼性が高い．とりわけ，場当たり的なたくさんの規定は，好みの結果を満足させるように組立てることと合わせて，科学を道から逸らすだけであり，それゆえに禁止されるべきである．

## 帰納法と論理－そしてそれらの決定的限界

将来のグローバルテクトニクスに関する考察 (Storetvedt, 2010e) で，私は機能的地質理論は組立てではなく創出，つまり，種々の観察と現象とそれら相互の関係を説明するために創り出すこと（現代の科学理論と一致した見方）であると主張した．しかし，バットらはサージテクトニクスはデータを追加することにより進化する（いいかえると，組立れられる）と主張する．つまり，科学の理論としては単純な帰納法である．組織化された観察を通して事実を寄せ集めればそこから理論が組立てられ科学的知識に達するという考えはフランシス・ベーコン (1561-1626) ＊11 へと逆戻りする．ベーコンは科学的知識は‘証明された知識’であり，理論は厳密な観察と経験の産物であると考えた．しかし，科学的な企てが直線的に前進するものであれば，自然科学は，解決を必要とする第１級の問題をなお多数かかえながら，なぜそのようにゆっくりと骨の折れる発展をしてきたのであろうか？ベーコンの科学に対する単純な理解では，思索的な空想，個人的な意見あるいは好みは居場所がないが，彼はどのように観察者，つまり人間の役割を排除できたのだろうか？

＊11　フランシス・ベーコン（Francis Bacon）：イギリスの哲学者・神学者・法学者（1561-1626).「知識は力なり」と言って知識の源泉を経験に求めた．また, 自然を理解する方法として, 現実の観察や実験を重視する‘帰納法’を主張した．

ベーコン流の帰納モデルはあまりに単純で，現代の科学分析家の大多数には共感されていない. つまり，我々が単純な帰納論者の勘定書きの中で‘明らか’とみなすものは，我々の教育・先入観・文化に依存し過ぎているか関係し過ぎていて，信用できる知識のための確かな基準にはならない．これらの基本的問題は多くの著述家によって論じられてきた（例えば，Popper, 1959; Duhem, 1962; Kuhn, 1962; Lakatos, 1968 and 1974; Chalmers, 1978）．科学者として我々は，一つの物理学的世界が観察者とは無関係に存在するということを当然と受け入れるが，物理学的真実の特殊な一面を研究している観察者たちはまったく同じ認知をしないかもしれない．地球の構造的システムを議論している我々の場合は，Schwarzbach (1963) が引用したスイスの構造地質学者であるウェグマン（C. Wegmann）の以下のような適切な表現を思い出すべきである．

**－多くの地質学者は，彼らに備わった概念で見たいと思っているものを見ることができるだけである．**

このように，ウェグマンは，我々が１つの情景もしくは物を見るとき，そして，まだ我々の脳によって記録された知覚がそのイメージと直接的な接触をしていないとき，網膜上のイメージは我々が普通に持っているものに過ぎないという事実に十分気づいていたと思われる．このように，知覚情報を記録しようとする我々の思考力は，それをその原因である外部の対象に関連づけるのであるが，教育（硬く教条的なものから開かれた探求的なものまで様々），期待，文化的しつけ，画一化の圧力，そして多数に従うという先天的な傾向などさまざまな要素に依存している．この意識的および無意識的な人間的要素が混じったものが働いているから，大部分の科学者が，自分の手に入れた一式の概念的及び社会心理学的装備で「見たと思ったものを見ることができるだけ」というのは驚くことではない．このことを心に留め，新しい科学概念への大衆運動が基本的に社会化の過程であると主張する Thomas Kuhn (1970) ＊12 や Paul Feyerabend (1988) ＊13 のような哲学者の見方をあまり深く受け入れて我々を動揺させるべきではなく，そのような世論を形成するために当の科学社会が“正しい精神状態”を獲得するということが求められる．我々は流行の珍奇なからくりを根付かせるのがどんなにたやすいか分かり始めている．それはしばしば寿命の長いゾンビのような科学として永らえる（図 1）．

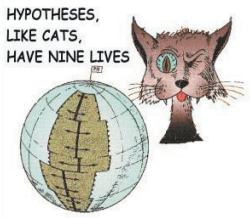



図１　不明瞭な理由で根付き，次第に一群の欠陥ある説明を作り出すどんなに不備のある理論でも，ひっくり返すのは極めて難しいだろう．抵抗‘装置’は基本的には社会心理学的必要性，グループの員数，知的怠惰，職業経歴，群れの本能といった要素からなる．

＊12　トマス・クーン（Thomas S. Kuhn）：米国の科学史家・科学哲学者．科学の歴史が常に累積的なものではなく，断続的に革命的変化、すなわち「パラダイムシフト」が生じると指摘した．

＊13　ポール・ファイヤアーベント（Paul Feyerabend）：オーストリア生まれの米国の科学哲学者（1924-1994）．科学に対する批判的見方を唱え，科学誌ネイチャーから「科学の敵ナンバーワン」という異名を受けた．

困難な状況が持ち上がったときには，実際，流行のモデルの基本的前提を疑うよりも，むしろ，思いがけない複雑さを自然に‘負わせる’方がずっと容易である．しかし，枠組みに合わせるための場当たり的な修正を続けることによって‘救われた’不適当な理論に観察が無理やりに押し込められるならば，必ず深刻な問題が生じる．例えば，大洋の基盤は種々の岩石と構造からなるが，こうした事実は，個々人あるいは特定の研究者グループの幅広い地質学的‘世界観’（どういうわけか，それに対して彼らが身をゆだねてきたグローバルテクトニクス像）に依存している個々の科学者にどの程度理解されているだろうか．このように，しばしばよく分からないメカニズムによって特別なグローバルテクトニクスの体系に魅惑された研究者は，それとは相容れない構造的枠組みに執着している研究者と同じ知覚的経験を有しているということはありそうにない．したがって，観察が仮説を多く含んでいるという事実に気づくことは極めて重要である．この見地からChalmers (1978) は，科学の単純な帰納的報告は，何らかの仮説が常に観察に先行するという事実によって土台を崩されると考えた．シャルメルはさらに，科学の観察報告はその前の仮説と同にように誤りに陥りがちで，その上に科学的法則や理論を築くための安全な基礎とはならないということを強調した．

物理学者であり科学哲学者であるポール・ファイヤアーベント (1988) は，科学が他の知的分野より本質的に優れているという通俗的な見方に強く反対した．科学は人間の気持を乱す領域と強く結びついているので，科学的過程は分析することが本当に難しい．何よりもまず，議論による洗脳の効果と戦うことは多分不可能だろう．Feyerabend (1988, p. 16-17) は次のように書いている．

**―よく訓練されたペットが，どんなに戸惑うような命令でも，どんなにしつこく新しい振る舞いを要求されても主人に服従するように，よく訓練された合理主義者は，まったく同じ方法で自分の先生の心象風景に従い，自分が学んだ論証基準に従い，どんなに混乱が大きいと分かっていてもそうした基準を守り，彼が‘理性の声’とみなしているものが自分の受けてきた訓練の後遺症に過ぎないということを全く理解できなくなる．彼は自分がそれに対してそれほど容易に屈してしまう理由を訴えることがただの政治的術策であるということに気づくのは全く不可能だろう．**

言い換えると，ファイヤアーベントは，全く正当にも，包括的な思考（大構想）を構築するときには，春のファッションの変化に似た，あるいは我々の何人かがフットボールクラブの生涯サポーターになるようなあいまいなメカニズムに似て，科学者集団の好みが極めて非理性的になりうるということを主張したのだろう．しかし，何らかの形の包括的理論なしには観察と現象を首尾一貫したシステム，時間を超えた情報の流れとして説明することは対処不能となる．したがって，機能的な包括的理論なしには科学はほとんど観察事項のカタログを作成する以上のものではない，つまり，より広い含意に出会うことを妨げる，と言ったほうが適切である．したがって，よい理論なしに真の理解はないが，機能的な理論は何らかの論理的な推論過程（単純な帰納法．これは論理自体が空疎で，自然についてはほとんど何も語らない）に従った事実の収集からは生まれないということは再度強調しなければならない．もし支配的な科学的仮説が誤った前提に基礎をおいていれば，論理的手続きは結果として生じる何がなんだか訳の分からない状態を正すことはできないだろう．地質学的文献は，不十分な説明力をもった根拠の薄弱な概念が永年にわたって人気を博したたくさんの事例で満ちている．アルベルト・アインシュタインが自伝ノート (1949) で“理論は経験で検証できるが，経験から理論を設定するという道はない”と書いたとき，彼はもちろん科学的理論の起源についての広く行き渡った誤解に十分気づいていた．

## “永続理論”：単純な帰納法とその科学的無能の例

19 世紀中頃から，そして少なくとも 1896 年の放射能の発見まで，初期の熱くて融けた状態からその後の伝導冷却と収縮を受けた地球という概念が当たり前と考えられた．先カンブリア時代の初期に大陸は‘ガスが抜けた’軽い花崗岩質の浮きかすから形成されたと考えられた．しかし，仮定された収縮が地質過程にどのように影響を及ぼしたかについては一致した見解がなく，地球が現実的にその円周を縮めてきた，あるいは縮めたという付随的な証拠以上のものを示すことは誰もできなかった．これを背景として，時間とともに種々の対立する理論的主張が現れたことに驚くべきではない．ヨーロッパでは収縮に基礎をおく世界観はエドワード・ジュース (Eduard Süss, 1831-1914) によりはっきり述べられ，他方，基本的に異なる北米学派はジェームズ・デーナ（James Dana, 1813-1895）に牛耳られた．ここで我々は，デーナの主張の怪しい出発点，（観察事実を説明するための）基本的な理論的前提を修正するための永続的な必要性，そしてその見逃すことのできない説明力不足をちょっと見てみよう．しかしながら，20 世紀初期においてさえ，デーナの安定した大陸と大洋盆は米国の大部分の地質学者により明白な事実とみなされていたように見える（例えば Willis, 1910）．この北米の例は，サージテクトニクスが基本的な指針としての地球の収縮と”大陸と大洋の永続性”を採用している現在の議論と密接な関連がある．

デーナは大陸と大洋盆は原始からの造作であり，それは地球が化学的分離とそれに続く固化に起因する

溶融した塊から発達したときに形成されたと考えた．熱収縮の結果としての造構効果は基本的には大陸縁辺に沿った造構的な沈下に限定された．ホール / デーナの地向斜モデルである．厚い堆積物の集積体が大陸縁辺に沿って蓄積され，それらは（熱と圧力によって）変成・変形され，その後に隆起して海岸に並行する山脈になったと仮想された．この図式では差別的な収縮が大陸縁辺に沿って横方向の圧力を作り出し，その結果，下方撓曲と堆積物の蓄積が生じ，続いて（圧縮力の低下で）変成され，構造的に変形した堆積性集積体はアイソスタシーにより隆起する．アパラチアの広域地質図を作成したヘンリーとウィリアム のロジャース兄弟（Henry & William Rogers）（例えば，Adams, 1954; Green, 1983）は，大きな圧縮が東から西に作用したと示唆し，これは一見したところデーナのモデルに一致した報告であるが，堆積物を追跡すると，それは大西洋に向かって粗粒になり，それに伴うデルタ性の堆積物は西方向に広がるということを示唆する野外の観察についてはどうなるのだろうか？そのような反対の証拠を無視してデーナは大陸が常に大陸であり続けてきたと主張し続け，このことは**“北米の地質であまりにも明確に書かれてきたので，私は最も口やかましい英国の地質家によってさえも空理空論とみなされることはなく，アメリカの事実に公正な注目が与えられてきたと確信している”**（Dana, 1881）- 原文のまま！

アパラチアは広範に分布する厚いデボン紀のデルタ性堆積物を含み，その構造は一致して東方に由来するということが後に示された（Baarrell, 1914）．推測される河川系は明らかに現在は中央大西洋東部によって占められている東方の広大な前地へと排水していたに違いない．これは通俗的なデーナ / ホールの図式が考慮できなかった古地理的状況である．米国の収縮モデルに関してさらに決定的な問題は，なぜロッキー山脈が太平洋岸から離れたところに位置しているのかであり，さらに忘れてならないのは大陸内部のアルプス－ヒマラヤ山脈がどのようにして形成されたのかということであった．収縮仮説は，長期にわたる地球の冷却が先カンブリア時代の早期にそのピークを迎えるべき必然性があったとほのめかした．しかし，もし収縮がアイソスタシーと合わせて山脈隆起の原動力であったなら，収縮仮説はロッキー山地やアルプスのような主要な山脈が遅くとも第三紀後期に成立したという事実と矛盾するように見える．したがって，デーナのグローバルな体系は，説明されたはずの本質的な特徴である山脈の形成理由を結局は説明できないように思える．

エアリー（Airy）のアイソスタシーの地質学的意味を理解していたクラレンス・ダットン（Clarence Dutton）(Dutton, 1889) は，削剥過程は隆起した陸地を低下させ，侵食された物質を大陸縁辺沿いに堆積させてアイソスタシーの絶え間のない動揺を強いる，つまり，堆積物が集積した結果として質量が増加したことにより地殻が沈降し，大陸境界帯に向かう下方への質量の流れを作り出し，深部では仮定された塑性的な塊の水平方向の変位を作り出すだろうと主張した．その結果，大陸縁辺は時に火成活動を示すだけでなく隆起と侵食を被った．ダットンのモデルでは海岸に平行な褶曲系と観察される地殻の短縮を作り出したのは基盤における陸方向への粘性流であった．同じ特徴を説明するためにデーナが原動力としたのは大洋と大陸の狭い移行部に沿った熱収縮であった．しかし，圧縮が作り出す造構性の隆起という考えは地表での観察によりすぐに障害に突き当たった．そこで，Russell (1884) はベーズンアンドレンジ山地の形成では圧縮の代わりに引張条件が基本的な役割を果たしたと考えた．

Russell (1884) は“傾動地塊が断層運動の生じる前に占めていた以上に水平的空間を占めている．”そして，それ故に“示唆すべきはグレートベイズンの断層運動が水平引張を伴っていることである．”と指摘した．ラッセルは，ベイズンアンドレンジの断層運動と地塊の回転が第三紀後期，すなわち，その地域が火山岩類に覆われた後であったという重要な観察も行った．繰り返すが，第三紀後期は山地の隆起に関して最も重要な時期であった．したがって，収縮 - アイソスタシーモデルは極めて困難な状態になった．北米モデルは未だにグローバルテクトニクスにおける中心的な問題となっている．山脈は明らかに下位の地殻造構帯に関係しているが，山脈の隆起はなぜそんなに若い（第三紀後期）のか？収縮説が重大な困難に直面しているだけでなく，アイソスタシーという十分確立されたモデルも同じような状況にある．したがって，（これまでは）同じ地殻軸に沿った造構帯の形成と地質学的に極めて若い隆起（第三紀後期）は，直接関係のない個々の現象を表すと考えるのが合理的であった．従来のアイソスタシーモデルは足元がぐらつき，もしそうであれば，造山運動（山脈形成）という深く染み込んだ概念は誤った呼称ということになろう．

デーナは，北半球で卓越している地球上の褶曲帯と山脈の不規則な分布に対して満足のいく説明をしなかった．Bertrand (1887) は初めて地球を横断する褶曲帯を年代により，先カンブリア紀後期，カレドニア期，ヘルベチア期，アルプス期に分類した．しかしながら，北米とヨーロッパのどちらについても，収縮モデルでは造構帯と山脈の全体的なパターンと地球力学的な内部関係は謎のままであった．言い換えると，収縮に基礎をおいた発達の図式は，褶曲帯の起源という解決しようとした問題（極めて新しい地形的隆起を伴い，造構的変形年代とは無関係）の研究において障害に出会った．

ダーウィンの進化論に照らして，観察された大陸の

生物相の化石は，少なくとも現在の深海の一部がかつては乾陸であった，つまり，陸生の動物相と植物相が大陸間を移動するための陸橋の役割を果たすことを要求した．このように，古生物学的証拠は，大洋を横断する不規則な大陸の残骸として古地理学者の多くにより，何かはっきりしないメカニズムによって予想され，白亜紀最後期もしくは第三紀初期に海面下に沈んだ’陸橋‘という考えが信頼できそうだという感じを抱かせる．20 世紀前半の数 10 年までに思いつかれた主要な大陸間のつながりに関しては Willis (1932) を参照．現在失われているつながりを立証することにおいて科学者が直面していた問題が何であれ，現在は分離されている陸塊の間の化石群集に観察された類似性は事実であった．生物地理図は先カンブリアに始まる深い海という障害物によって互いに分離されたまったく‘永続的な’大陸というデーナの願いとは矛盾した．さらに，化石と岩石のデータが証明する極地域がかつては熱帯〜亜熱帯であったということを暗示する古気候帯の重大な変化の原因はデーナの収縮を基礎とした造構システムでは解き明かせなかった．

デーナによると，大陸は始めは周辺のまだ液体の（原始大洋性）玄武岩と同じレベルにとどまっていたが，中央の先カンブリアの核のまわりに断続的に付加することによりゆっくりと成長してきた．その後，玄武岩質マグマは結晶化し，その大きな密度により下方へ沈んだ．冷却が続くことにより水が凝結し，最後はそれが地球の全表面を覆ったと想定されているが，どのようなメカニズムが浅海性堆積物の覆いが残されている陸域表面での長期にわたる河川流出を引き起こしたのだろうか．さらに，頻発するけれど定まらない海水準の変化（海進・海退の周期性）は事実であったが，どのような内部過程がこうした海水準の脈動を支配し，それはどのように陸地表面の長期にわたる河川流出と関係しているのだろうか．デーナの時代には海進の期間が明瞭な海退の期間よりもずっと長かったということが知られていた．こうした問題に対してデーナのモデルは答えられなかった．

デーナのような単純な帰納法では，冷却 - 収縮仮説は他の疑問の多い仮説，すなわち一見したところ地表での観察結果を説明する似非論理的帰納法に取って代わられる．しかし，収縮に基礎をおいた理論は必要に応じてすぐに理論的な変化をし，予言的能力を欠いている．したがって，地質学的現象の大部分（個々のものとしても首尾一貫したシステムとしても）はデーナの主張により説明がつかないままに残り，無視される．後知恵の有利さで，彼が推定した論理的で帰納的な合理性は働かなかったことが容易に分かる．

## サージテクトニクスの前提と都合の悪い事実

Bhat et al. (2011) の討論記事の中で彼らはサージテクトニクスの２つの基本的仮定，すなわち，1) 地球は差別的な冷却を受けている．2) どこか外側の層のそれに関連した収縮が地球の回転と相まってリソスフェアの仮想的なサージチャンネル内でマグマまたは柔らかなメルトの全体的に東向きの動きを引き起こす，ということを繰り返し述べている．しかしながら，サージ学派は地球がその初期の段階のどこかで熱い溶融した球であったという根深いが次第に問題となってきている見方を固守している．過去半世紀の間に目立って蓄積されてきた地質学的，地球物理学的，地球化学的，古生物学的な問題を含む多くの逆の証拠は完全に無視されるか，ほんのついでに触れられるかのどちらかである．それにもかかわらず，バットらは，**”成長可能な地球力学的概念であるサージテクトニクスの発展と論述は，処理すべき基本データから包括的な枠組み（仮説）までの最適な科学的アプローチに従う”**と述べている．言い換えると，サージ理論を確立する流れの中で彼らは，（すでに議論した）科学アナリストやアルベルト･アインシュタインのような著名な物理学者によってずっと昔に希望がないとか時代遅れとみなされた不自然で単純な帰納モデルを固守している（前述）．

バットらはさらに，自分たちの造構概念は**“ 物理学，とくに運動・重力・流体力学の法則に関連するよく知られた法則を利用している”**と主張している．そのような言葉はショーウィンドーの飾り付け以上のものではない．物理学の法則は実際十分であるが，決定的な問題は常に地球の内部構成が，実際のメカニズムとして地史の中で重要な役割を演じるようなものであったかどうかであろう．この点で我々は特別の見方を維持するために仮説を救い出すよりは，むしろ観察事実を確認する必要がある．例えば，アイソスタシー（アルキメデスのの原理）も対流もベンチスケールでの十分確立された物理的法則であり，地質科学では長年にわたって人気があるが，それらは所期の造構地形問題を本当に解決することができるだろうか？　この質問に対しては何度も‘否！’という答を繰り返さなければならない．さらに，バットらがサージテクトニクスは**“ 現在入手可能なデータの地質学的・地球物理学的断片のほぼすべてを適切に位置づける”**と言うから私は非常に驚いてしまう．幸いなことに，私は（1993 年に）サージテクトニクスの生みの親で筆頭著者であるアーサー・メイヤーホフとグローバル地質学について丸 1 日議論するという幸運を得た．しかし，私は彼のグローバルな仮説と地表の事実の間の関係に対する彼の態度が，現在彼に帰依している人達よりも際立って現実的であったと敬愛を込めて言う（以下を参照）．

### 1．マントルトモグラフィー：いくつかの批判的見方

私は，惑星の形成に関する最近のレビュー記事

(Storetvedt, 2011a) で, 現在の証拠にもとづいて, 原始の地球が液状岩石の熱い球として始まり, その後に内部密度に応じた分化を経験したという古い考えにはかなり問題があり, おそらく完全に間違っているだろうと主張した. 入手可能な事実にもとづいて, 私は地球がまだ全体としてすっかり脱ガスはしておらず, それがその絶え間のない活動のまさに理由であろうと結論した. したがって, 内部平衡に向かう物理化学的なあがきが地球の断続的な回転性の動力学的不安定（以下を参照）を生み, 観察される初生的表層の間欠的な再活動と地球の多彩な地史をもたらしたものと期待される. 地震学的技術は地球の内部構造を研究する最良の手段を提供している. しかし, 観測は表層レベルに限定されているために深部に関して推定されていることの大部分は間接的でモデルに依存した証拠にもとづいている (例えば, O' Neill and Palme, 1998; Poirier, 2000; Garnero and McNamara, 2008; Kennett and Tkalčić, 2008). しかしながら, 数 10 組のマントルトモグラフィーにより最も複雑な構造がマントルの最上部と最下部に存在するという大方の合意が確立されるに至った. 時間が経つにつれて, 現在の結論が真の変異を過小評価しているらしいということを暗示しつつ, 推測される複雑さの範囲が増加した.

コアについて最も重要な未解決問題の 1 つはその組成である. 1906 年にコアが発見されて以来ずっと, 負の速度 / 密度異常を有することが知られていたが, これは鉄より軽い元素がかなり混合していることを示唆している. サイエンス誌の有名な論文で Okuchi (1997) は, 宇宙に最も豊富にある水素がコア中の最もありふれた軽元素である可能性を示唆した. 異常に軽いコア（純粋な鉄に比べて 15％前後まで）を説明するたくさんの他の候補があるが, コア中の軽元素の存在そのものが地球の起源と進化について多くの根本的な疑問を提起する. 例えば, 溶融したとされる原始の地球, 化学的分化の進行, その後の外殻の連続的な収縮は疑わしいと思われる (レビューは Storetvedt, 2003 and 2011a を参照).

マントルの最深部の D" と名付けられた数 100km の厚さの一定しない部分が残りの下部マントルよりはるかに異常であるということが十分に認められるようになった. S 波速度を低下させる物質は, アフリカの異常 (Ni et al., 2002) から見て, コアとマントルの境界 (CMB) から上方へ 1000km ぐらいまで広がっている可能性がある. コアはマントルと平衡になっておらず, 厚さが不均一な CMB 帯の存在は熱化学的に活発で異成分からなる帯という考えを支持するように思われる. したがって, 決定的な問題は CMB が, 結果として観察される一連の地球力学的・表層地質学的現象につながる内部エネルギーの実際のトリガーであるかという点である. この点で, Morelli and Dziewonski (1987) の研究は非常に啓発的な成果をもたらした (図 2). 彼らの成果は, 地球表面に投影されたとき, CMB 帯の盛り上がった領域が深海凹地に対応することを示した. したがって, 彼らのデータは, 外側のコア及び (又は) D″帯での過程が, 原始の脆い表面殻に広範に構造的・化学的変化をもたらす浮力のある塊として, 地表にエネルギーを解放する可能性を暗示した. もしそうであれば, 集積した表面水の容積は同じ惑星の脱ガス過程の産物と考えるのが合理的ではないだろう？そしてさらに重要なことに, ゆっくりした永続的な脱ガスはおそらく内部質量を再構成し, 逆にそのことが, 地球の空間的な方位の変化, つまり赤道の膨らみ (equatorial bulge) の位置変化というイベントだけでなく, 回転速度の変化を含む地球の慣性モーメントの周期的な変化を引き起こした. 結果として, これらのどちらかというと断続的な地球力学的変化が, 主要な地質時代境界の造構マグマ性で広域的な隆起によって明示されるような地球の

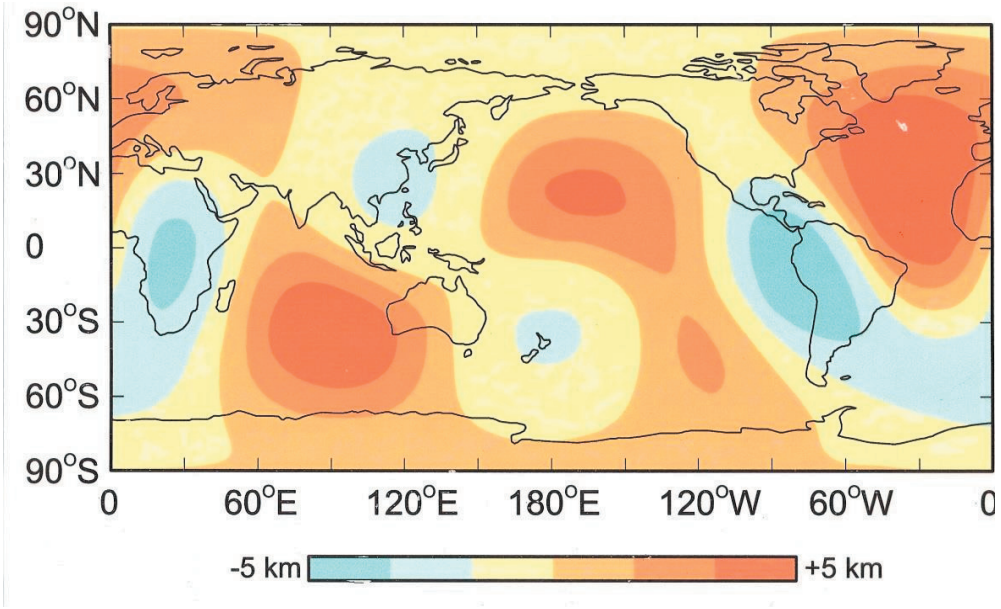



図 2　PKP と反転された PcP の残差の組合せにもとづく図は極めて不規則な CMB 帯の旧バージョンの '地形' を表わす. Morelli and Dziewonski (1987) から引用. 盛り上がった CMB 領域の分布と地表での大洋凹地の配置の間の密接な一致に注目.

間欠的な歴史の背後にある主要な駆動力として働いたものと考えられる

仮想的な層状構造を周期的に作り出してきた溶融分化する地球という古い見方は地震トモグラフィーからの最近の証拠と矛盾する．そのマントルにおける高まりは，むしろチョコレートケーキかプラムプディングのようで，明らかに CMB 帯から上昇する物質によって作り出された構造のように見える（例えば Tackley, 2008）．看板に偽りはなく，図２の結果は大陸と大洋のマントルの間の全体的な組成的・構造的な差異を暗示する．この予言は実際，地震トモグラフィーと大陸マントルの深い根という十分立証された特徴に調和する．図２の結果は事実上，どのような意味でも水平方向の大陸の動きと矛盾する．つまりプレートテクトニクス及び地球膨張モデルを否定する．世界の大洋からの豊富な岩石の証拠（ドレッジや深海掘削で得られ，そのデータは本誌でもしばしば報告されてきた）は深海盆が地球の歴史の中では新参者であることを強く示唆している．深海盆は基本的には中生代後期以降に存在するようになった．例えば，Ruditch (1990) は大西洋・インド洋・太平洋の 400 本以上の深海掘削孔から得た浅水堆積物の空間分布を研究したが，いかなる種類の水平方向への拡大も否定した．その代わりに，彼は，中生代中期以降，そしてとくに白亜紀の間に大洋盆がかつての大陸地殻の大規模な沈降によって形成されたと結論した．ルーディッチは深海盆の発達は地殻の大洋化（中生代に加速された漸進的な過程）の産物であり，最初は孤立した小規模な盆地が次第に成長したと主張した．しかし，外側のもろい殻の地質学的な変化過程を促進する可能なメカニズムを検討する前に，地球深部についてもう少し考えてみよう．

最近のトモグラフィーに立脚すると，地球は熱化学的平衡から大きくはずれているように思われる．まだかなり脱ガスしていない状態にある可能性が大きく，内部温度が伝統的な考えよりもずっと低いことを示唆している．惑星比較を適用すると，入手可能な証拠は，惑星がガス（主として水素）と鉱物の塵の混合物からなる概して冷たい星雲状の環境から生まれたという非伝統的な見方を支持する．そしてさらに，その後のコアと下部マントルの温度の上昇は，深部のさらなる化学的平衡を促進するだけの十分なレベルには達しなかった（Storetvedt 2011a とそこに掲げた文献を参照）．回転するガスに富んだ塊の中で岩石質の構成物質が分離する過程は，大きさ・密度・形といった特性を通じて早い段階で生じたように思われる．

そのような始まり方で回転の遠心力が大きさ・密度に応じて粒子状混合物を全体的に分離し，結果として放射性元素を含む大きめの構成物が発達する原始惑星体の表面に濃集するようになった．この推論に従って，原始地殻の相対的に薄い層は十分な放射性の加熱を受けたと考えられる．しかし，軽いガス状元素をかなり多量に取り込んだ深部は，大部分，初期の冷たい状態を維持してきた．このシナリオでは，先カンブリア時代初期の地球の状態は熱化学的平衡から大きくはずれることになる．薄い表層では熱さが増大し（表層での火山活動から予想されるように先カンブリア初期における高い地温勾配を経験しつつ），大部分の中心体では初期の冷温が維持された．数億年の間に一次オーダーの元素の選別が徐々に進んだが，現在のトモグラフィーの画像からは，地球がまだ熱化学的平衡からほど遠いことが推測される．推測すると，内部の質量再配分と脱ガス過程は地球の歴史を通して主要な動力学的・造構的装置として作用してきた可能性が高い．

Okuchi (1997) その他によって示唆されたように，水素（‘水’）がコアの最も重要な軽元素でありうるという見方を受け入れるなら，CMB 帯から上昇する（熱）化学的派生物はかなりの水素成分を含んでいる可能性がある．Lee and Wiens (2006) によると，水は含水流体の形で，あるいは無水鉱物の結晶構造中に取り込まれてマントル内に存在しうる．これに関連して Lawrence and Wysession (2006) はマントル深部における水を初めて同定したと思われる．彼らはグローバルな３次元マントル S 波減衰モデルにもとづき，地震波の速度と減衰の組み合わせから見て，アジアの下の下部マントルの最上部での大規模な異常を明確にし，それがかなりの量の‘間隙’水であると解釈した．それらはマントルを通して浮力で上昇するので，揮発性水素化物・シリサイドその他は金属と造岩鉱物を沈殿させ，マントルのさらに浅いレベルでは種々の化学的過程を通して水ができる（例えば Hunt, 1992）．実際の深度レベルでの岩石は 0.1％の水を保有できるという仮定に立って，地震異常の規模から，Lawrence and Wysession (2006) は水の容積が北極海のそれと同等と見積もった．図３は地球を輪切りにしたグローバルなマントルの S 波構造を示している．その図から読み取れるように，南半球（大洋半球）の異常は北半球（大陸半球）のそれに比べてはるかに弱い．この半球による違いは図２に示されたコアと表層の関係に調和し，脱ガスが（北よりも）南ではるかに進んだ段階に達していることを暗示している．しかし，柔らかく弱い物質（おそらく‘水素に富む’物質がコアから排出された）が南半球の CMB 帯に沿ってまだはっきり見られる．

東アジアの顕著な異常に加えて，著者らは類似の，しかしそれほど明瞭でない柔らかくて弱い異常部分を北米の西部に沿って見出した．推定されたこの異常‘帯’の大円分布は，環太平洋の深いベニオフ帯がマントルの水の状態と密接に関係しているであろうことを示唆している．これらの北半球における上部

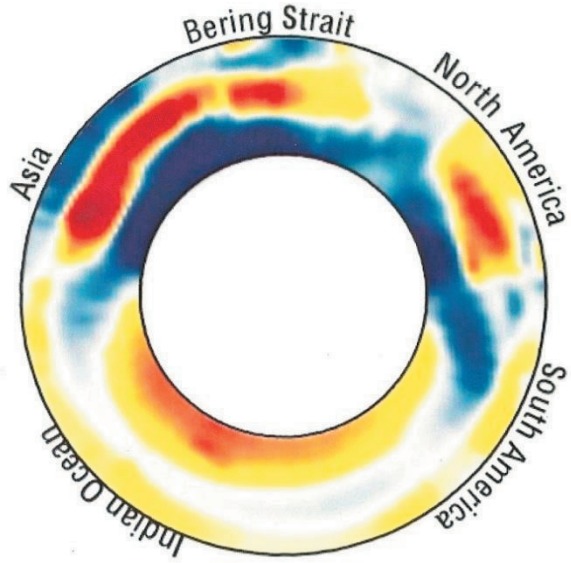



図３　図は Lawrence and Wysession (2006) の地球のマントルを対象にしたＳ波減衰モデルの大円断面を示す．アジア東部と北東部，北米西部の下の下部マントルの上面に極めて高い減衰異常が存在することに注目．赤色は異常に柔らかく弱い地域を表し，青色は例外的に堅い岩石を示す．他方，黄色 / 白色は平均に近いマントルの値に対応する．

マントルの水の‘貯留層’は当然，強い浮力性の超臨界状態にあるだろう．このことはアジア東部と北米西部の山地の原因を容易に説明することができる．しかし，Lawrence and Wysession (2006) はプレートテクトニクスが強要するマントル内の水の見方に従って，彼らが見積もった水の量が仮想的な沈み込み帯で大洋から深いマントルへと運ばれたに違いないと考えた．しかし，ごく最近，Green et al. (2010) はこの見方に反対した．地震と実験的証拠にもとづいて，彼らは“沈み込むスラブは 400km 以深では基本的には乾いていて，かなりの量の水がマントル遷移帯あるいは下部マントルへ入るための通路となることはない”と結論づけている．いずれにせよ，図３はマントルの状態のリアルな像を示す．相対的に柔らかな区域と固い区域の間の差異という見地から，南半球の CMB 帯は現在，化学反応過程という面で活発であり，おそらく地表に向かって上昇する浮力のある塊を作り出しているのであろう．そこでは地質時代を通じてそれらが初生的な表面殻の顕著な化学的および構造的隆起を引き起こした　この論法を適用すると，アジア東部と北米西部の山がちの地域では地殻下でのデラミネーションと，ゆっくりした大洋領域への転換が待ち受けている（以下を見よ）．

最近の 20 年間で地球のマントルと地殻の物理過程における水の役割についての研究活動が増加し，地殻とリソスフェアのデラミネーション（例えば，Krystopowicz and Currie, 2013 とその中の文献）及び爆発的な泥火山と地震の連携のような過程（Zeng, 2010）を後押ししてきた．何人かの著者はエクロジャイト化が地殻下部の薄化過程の背後で最も広く行われているメカニズムであると認め，グラニュライトのエクロジャイトへの移行の自然的発生は，この過程が含水溶液の能力に強く依存していると認めている（例えば，Austrheim, 1987 and 1990; Walther, 1994; Leech, 2001）．リーチによって提案されたモデルは，エクロジャイト化の過程を促進するには温度・圧力よりもむしろ流体を必要とするという点で興味深い．周囲の上部マントル物質に比較してエクロジャイトは密度がやや大きいので，その塊は重力的に不安定となり，上部マントルの一定レベルへと沈む（例えば，Anderson, 2005）．下部地殻及び上部マントルでは，しかし，水が極めて活動的な溶媒つまり超臨界状態（SCW）になる（例えば Sahle et al., 2013）．超臨界流体は気体と液体の中間の性質を有する．SCW はその熱力学的な臨界点以上の温度と圧力で大きな浮力があり，固体物質と同調してそれを溶かす能力を有する．自然の中で SCW は固い岩石を岩泥に変え，泥火山を生じさせ，Zeng (2010) によると，（2008 年 5 月 12 日の）四川大地震は超臨界点での SCW の瞬間的な内部方向への爆発として生じたようである．

## 2. 収縮仮説とベニオフ帯の構造

サージテクトニク仮説はデーナ流の安定な地殻という考えの上に築かれている．大陸 / 大洋の配置は先カンブリア初期以来ほとんど変わらないと仮定されている．したがって，この考えの同時代の支持者は，薄い地殻をもった大洋盆が地殻下層の薄化，化学的変化，及び初期の厚い汎地球的な大陸殻のアイソスタシーによる沈降で形成されたという見方を無視する．しかし，サージテクトニクスに帰依した人々は，大洋地殻が極めて薄い地殻をもつ大洋中央海嶺に沿ってさえ古い大陸性と変成した岩石が詰め込まれていて，深海性堆積物の大部分が主として中生代後期以降に蓄積されたという事実をどのように説明するかはっきり表明していない．言い換えると，深海堆積物の形成は地史のごく新しい時代に生じた．それにもかかわらず，Bhat et al. (2011) は自分たちが必要な熱源の欠如を表明した大洋化の過程について次のような短い一節を付け足している．彼らは次のように書いている．

**“ どんな学派の地球科学者も合意できることが何か１つあるとすれば，それはコアに向かってより重く地表に向かってより軽くなる元素の分化を経たその殻状構造をもたらした地球の冷却についてである．逆の過程（それは事実上の大洋化である）には熱の投入が必要である．”**

この見方は，最後の半世紀に蓄積された地球の内部状態についての多くの戸惑うような事実を無視した希望のない古いものである．彼らは断定的に“地球は冷却しているので，ストリクトスフェアはおそらく一定の速度で常に収縮している．”と言う．しかし，

地球が現在冷却しているという事実にもとづいた証拠はどこにあるのだろうか？収縮地球モデルを支持して，彼らは何よりもベニオフ帯（Benioff, 1954）初期の特徴に言及するが，それはいろんな意味で造構的真相を単純化しすぎた見方である．例えば，Uyeda and Kanamori (1979) はチリ型とマリアナ型の間にはひずみの状態に基本的な差異があるというよく知られた事実に繰り返し言及している．南米のアンデス帯に沿っては，スラスト性・圧縮性・横ずれ圧縮性の極めて大規模な地震が発生するのに対して，マリアナ型の構造はあまり激しくない地震と中立的な横ずれ圧縮型のひずみ状態で特徴づけられている．例えば(Storetvedt, 2010d)の図７を参照．太平洋のベニオフ帯の対照的な２つの型を模式的に示した図を図４に示す．その後の論文で Uyeda (1987) は太平洋の海溝 - 島弧 - ベニオフ帯というシステムで観察される複雑性は再考が必要であろうと主張した．そして，インドネシア弧を横断するトモグラフィー画像 (Widiyantoro and van der Hilst, 1996) は，660km の‘境界’層よりはるか深部で下部マントルまで深く伸びている顕著な構造のオフセットを含む極めて複雑な P 波速度構造を示した．そこで，発生期の（先カンブリア時代）インドネシアのベニオフ帯は，その後の脱ガスに関連した質量変化とアルプス期のリソスフェアの造構変形によりどの程度影響を受けたのかという問題が浮上する (Storetvedt, 1997 and 2003)．

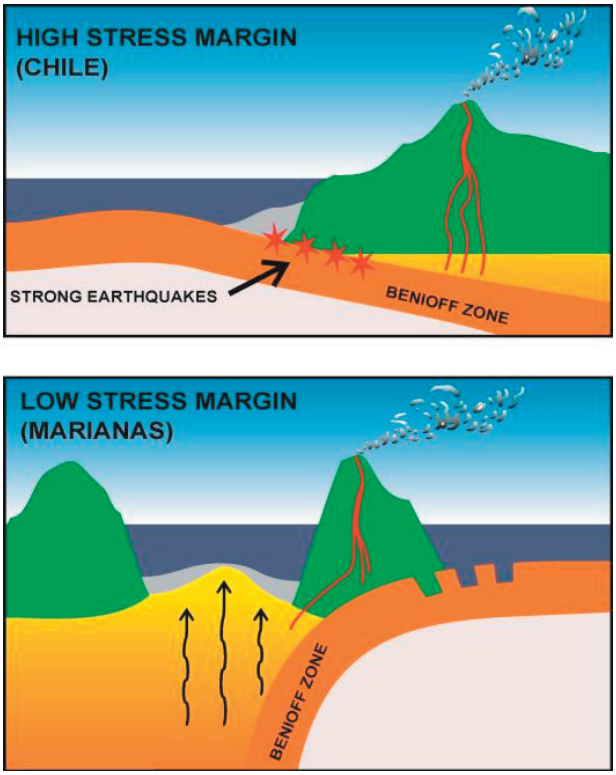



図４　対照的な太平洋のベニオフ帯の模式図．緩傾斜で高いストレスのチリ縁辺（上）に対して急傾斜で低いストレス（引張 - 横ずれ引張）のマリアナ縁辺（下）．図は Uyeda (1987) にもとづく．

ベニオフ帯の上部が著しく不明確で地域的な地震がリソスフェアの全層厚にわたって広く生じていることはずっと以前から認識されてきた．例えば，北東太平洋海溝のすぐ沖に位置するバンクーバー島の直下の反射法地震探査のプロファイルで，Green et al. (1986) は極めて緩やかに東へ傾斜する反射面を発見した．図５（上図）は典型的な地震断面に沿った調査地域を示している．地震探査の結果から分かるように，一連の重要な反射面の最上部は（東西方向の）リーチ川 (Leach River) 断層で地表に現れる．事実，バンクーバー島南部とオリンピック半島近傍は多数の衝上断層と剪断変形を伴う著しく造構変形を被った地域と認められている．だから，調査地域のすべての反射面はスラスト面であると見られる．反射法地震探査に加えて，Taber and Smith (1985) はバンクーバー島に位置するオリンピック半島の下の震源分布を解析した．深度で見ると，震央は２つの緩やかに東へ傾斜する造構活動帯を示す(図５，下図)．それは，明らかに反射面の深度レンジに一致する幅が広く傾斜の緩い帯と 20km よりも深いより限定された帯からなる．このように，反射面 E のある程度下に位置する深い地震イベント群はベニオフ帯の最上部とみなすことができる．サージテクトニクスによると，大規模な収縮を引き金としたスラスト運動はベニオフ面に沿って生じると期待されるが，地殻の厚さ全体が浅い剪断面の積み重ねで特徴づけられているという事実はサージ理論では簡単に説明できない．もっと巧みな説明は，アルプス変動のクライマックス期に北米リソスフェアが慣性駆動で時計方向に回転したことと結びつけることである．この動きの中で太平洋縁辺は横ずれ圧縮前線へと変化したと推定される．その間に，先に存在した局地的なベニオフ面が再活動し，リソスフェア全体が破壊されて一連の浅い覆瓦状の造構性構造になった（Storetvedt, 1997）．これはレンチテクトニクスの典型的なケースである．剪断変形は横ずれ圧縮にしても横ずれ引張にしても，明らかに太平洋ベニオフ帯縁辺に沿う共通の造構的な特徴である（例えば，Gates and Gibson, 1956; Menard, 1964; Storetvedt, 1997; Storetvedt et al., 2003）．

太平洋の東西の間の地形・マグマ活動・構造的特徴・サイスモテクトニックな特徴によって明らかにされているような顕著な系統的差異の原因を容易に説明できないグローバルなテクトニック仮説は，グローバルな地質過程を理解するための現実的な枠組みを提示することができそうにないということは，いくら強調しても強調しすぎにはならない．始生代に地球のどこか外側が現在よりもかなり熱かったという幅広い合意が存在する．それゆえ，早期段階の冷却収縮は発達途上の脆い殻に影響を及ぼし，始生代後期には少なくとも２つの大円深部断裂システム（ベニオフ帯）に加えて地球規模の直交断裂システムを組み込んだ（検討と文献については Storetvedt,

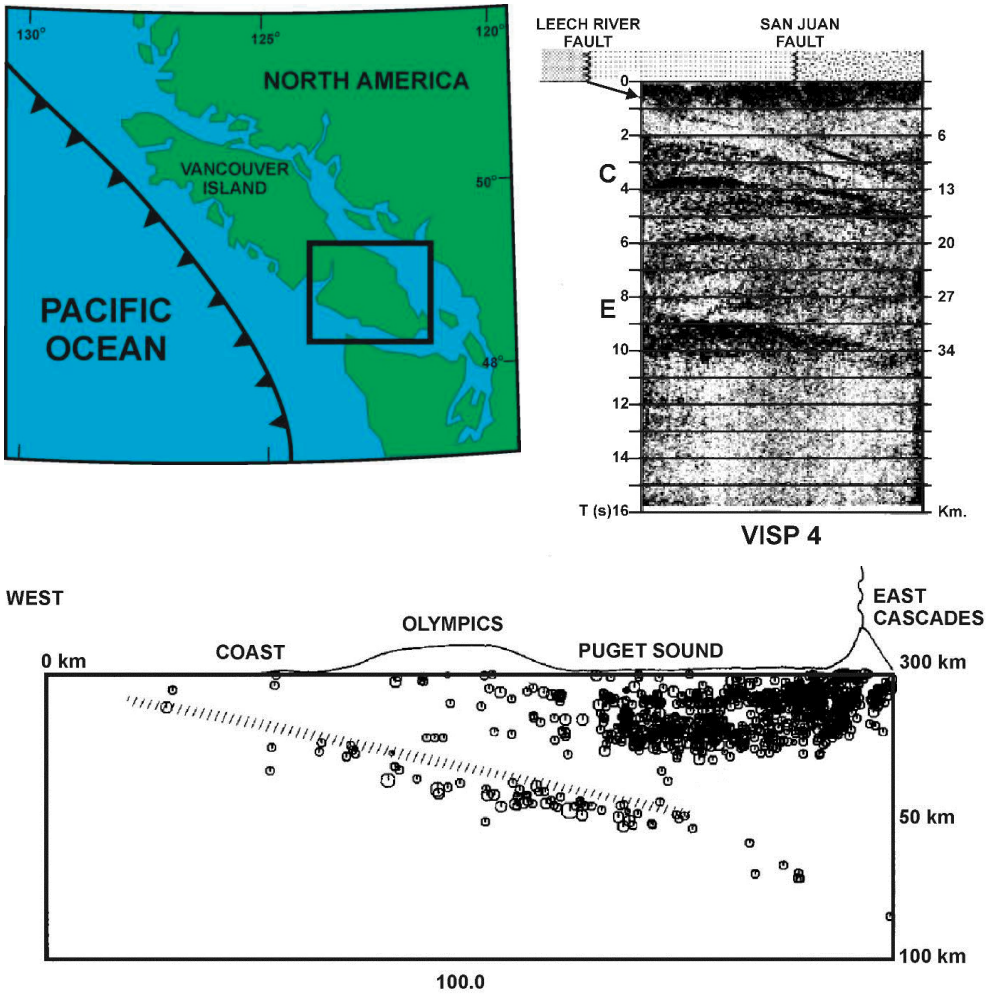



図５　上の図は位置とカナダ・バンクーバー島下の代表的な反射法地震探査イメージ．Green et al. (1986)から引用．地殻全体（深度 34km の下の層準 E まで）が，覆瓦した剪断帯を表していると思われる一連の緩く東に傾斜する反射層からなることに注目．下の図は地域的な地震分布の断面を示し，上部の一連の幅広い震央は反射法断面の地殻反射イメージに対応している．下位の地震帯は地域的なベニオフ帯を表していると考えられ，太平洋東部縁辺を特徴づける緩い傾斜角を示す．震央の編集は Taber and Smith (1985) による．

2003 and 2011a を参照）．しかしながら，顕著なベニオフ帯の変位は地球の回転速度（当時は現在よりもずっと速かったと思われる）によって強く影響を受けてきたように思われる（Storetvedt, 2003 とその中の文献参照）．したがって，発達途上のベニオフ帯に見られる差異は，一般的には惑星回転によって引き起こされるグローバルな造構圧力の違いに関係していると考えてよいだろう．ともかく，実際的なグローバル理論はいかなる大規模な構造的造作の顕著な変異，例えば，西太平洋のベニオフ帯は小円の弧になっているのに対して東太平洋（南北アメリカに沿って）にはそのような構造が欠けているのはなぜかということを説明できなければならない．ペルー - チリ地域では地震は時に 600-700km の深部遷移層で発生するが，深部地震と緩く傾斜する震源主脈の間には自然な結びつきはない．

サージテクトニクスの支持者は地球の外側層を変形させる含水流体の決定的役割を明らかに見落としており，代わりに，地殻の大洋化の過程には大量の熱いアセノスフェアのマグマが必要と示唆している．上に示した事実と議論（以下も参照）に関して，仮想的なサージチャンネルへマグマを供給するとされているアセノスフェアにどの程度大量の玄武岩質マグマが実際に存在するのか本当のところを知りたいものである（以下を参照）．このモデルは，基本的には，1) 収縮は現在進行中の過程である，2) 十分な量のマグマがアセノスフェアに存在している，3) サージチャンネルはアセノスフェアの内部及び上に存在し，その中ではマグマが地球の回転の影響のもとに流れている，という仮定にもとづいている．

サージテクトニクス論者は自分たちの造構論を後押しするために，運動と流体力学のさまざまな法則を引用している（Meyerhoff et al., 1992）．これらの法則は彼らが普段通りに適用する物理的状況内では十分であるが，現在あらわになっている上部マントル過程(以下も参照)に関しては謎の多いサージチャンネル概念とその他のサージテクトニクスの推論を支持するために用いられることは全くできない！私が思い出すのは Bullard et al. (1965) の大西洋を挟んで対峙する大陸の‘最良の符合’という事例である．水平方向の大陸漂移が当たり前と思われ，漂移論を後押しするための試みで球体上の運動を表現するオイラーの定理（Euler’ s theorem）を適用した．データに対しては厳密な調整がなされたが，多くの地球科学者が‘洗練された’数学として認めたこの適用は，誤った客観主義のオーラを与えた．鑑識眼があり真実を求めるすべての地球科学者にとっては，‘ブラードの符合’が大向うに対する芝居，つ

まり，数学の完全な誤用でしかないということは長い間分かっていた．しかし，適切な理論的背景の不足した多くの地球科学者の目には‘ブラードの符合’が水平方向の大陸漂移の証拠を図に表わしたものとみなされた．

このことが伝えるメッセージは，“どのような数学の定理あるいは物理学の法則も間違った前提の上に建てられた科学的仮説を支えるために利用することはできない”である．サージテクトニクスは 19 世紀後半の収縮を基礎としたすべてのグローバルテクトニクスモデルのように，過去の論理帰納的な一連の誤りと同じ部類に属するように思われる．地球内部の知識，特に上部マントルについての知識が増加したことは（以下を参照），溶融・分化・冷却・収縮する地球という過度に単純化した古いイメージが深く再考される時期に来ていることを強く示唆している．ここで特に重要なことは，‘ストリクトスフェア’というものが原生代初期以降，本当に物理的な意味を持ってきたか？という問題である．

## 3. 地殻の驚異

地球深部における水の構造特性についての知識が増加したことは，種々の方法による化学的分配過程を理解する際に極めて重要な基礎となるように思われる（例えば，Sahle et al., 2013）．やがて証拠があがるにつれて，超臨界性水溶液の重要な影響を考慮することなしに地殻と上部マントルの構造的・組成的進化を実際的に理解することはほとんど不可能になる．それに加えて，塩素に富む塩水の発生と移動が下部地殻と上部マントルにおける地質過程を理解するうえで重要になってくる．高濃度の NaCl 包有物（液体と結晶状態のどちらも）が，グラニュライト・エクロジャイト・マントルダイヤモンド・高変成度の変成岩など種々の岩石から記載されてきた（例えば，Smit and Van Reenan, 1997; Van den Berg and Huizenga, 2001; Fu et al., 2001; Klein-BenDavid et al., 2007; Markl and Bucher, 1998; Newton and Manning, 2010）．このように，深部地殻と上部マントルの交代作用における塩水の役割は極めて強くなってきている．従って，下部地殻と上部マントルに大きな浮力のある超臨界水が存在することで，地殻の割れ目は開いたままであり，地殻の地震反射に及ぼす強い効果を有するように思われる水溶液を移送していることが予測される（Smithson et al., 2000）．

従来の地質理論では，数 km 以深では最も抵抗性の高い岩石でさえ上載荷重によりすべての割れ目が閉じてしまうほど圧縮されるだろうと考えられてきた．つまり，僅か数 km 以深で上載荷重の圧力がいかなる割れ目も締め付けて閉塞させ，それによって流体の流れを断ち切り，浅い深度で鉱床を形成し岩石を変質させるものと考えられた．しかし，最初の冷たいガスに富んだ地球がゆっくり加熱され脱ガスする場合，状況は全く異なるであろう．Hoyle (1955) によって初めて概説されたゴールド*14 の孔隙理論を参照．つまり，それぞれのレベルで岩石と流体は共通の圧力下におかれ，低圧での地表近くの岩石のように開いたままの割れ目を持った 1 種の圧力槽となる．この原理はコラとドイツ南東の KTB での超深度掘削孔で見事に証明された．既存の割れ目ネットワークを占めている浮力のある流体が周囲の岩石の内へ向かう重力圧と同じ外へ向かう圧力を及ぼす限り，上向きの流体の流れは維持される．したがって，深部での割れ目の状態を決めるのは差圧力であって絶対圧力の大小ではない（Hoyle, 1955; Gold, 1999）．図 6 はコラの超深度掘削孔で深度とともに割れ目空間が指数関数的に増加することを示している．

＊14　トマス・ゴールド（Thomas Gold）：米国の天文物理学者（1920-2004）．定常宇宙論や石油無機起源説を唱えた．ストレツベットがしばしば引用しており，彼のレンチテクトニクスの発想に大きな影響を与えている 1 人と思われる．

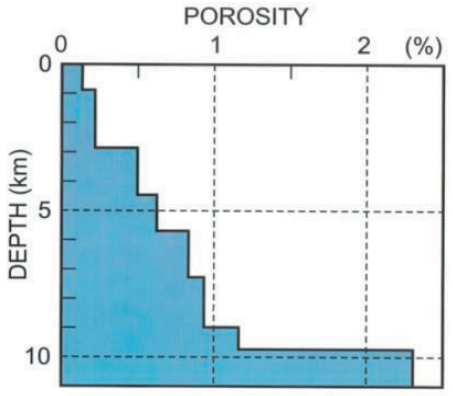



図 6　コラの大陸深部掘削孔で決定された深度に対する開口性断裂の割合（%）．Hunt (2001) から引用．深度とともに断裂の間隔が指数関数的に増加することに注目．

コラとドイツ南東（KTB）の検層孔で最も予期しなかった発見は，全深度を通して水溶液で満たされた開いた割れ目が存在することであった（例えば，Smithson et al., 2000; Möller et al., 1997）．コラの掘削地点では，深度 12km，190℃で塩水が共存し，KTB では 9km の深度で塩水が 225℃の母岩と共存している．KTB の掘削孔では地層水の塩分濃度は海水のそれの約 2 倍のものまで見出された（Möller et al., 2005）．水中のヘリウムは両方の掘削地点で異なったレベルであることが見出され，流体は初生的な（内部の）起源のものであることを示唆している（Smithson et al., 2000）．明らかに岩石中の割れ目は極めて高い圧力で維持されうるが，少なくともある種の外側のもろい岩層の岩石は，大きな引張力をもっていないので，上載荷重より大き

な圧力で上昇する流体に抵抗することができない．結果は，クレーターを断続的に形成するような過程へと導く表層への静かで一層激しい流体の逸出，泥火山，火山活動と長期の造構性隆起，古気候効果の組み合わせである．したがって，水圏と大気圏の大部分を構成する水は地球内部の脱ガスにより蓄積されてきたと結論づけるのは合理的であろう．下部地殻もしくは上部マントルの限られた領域でガス圧が十分高まる場合には，ガスの噴出（地震と，溶岩を伴わない表層でのクレーターの形成）だけでなく点状の火山噴火が特に深部断裂によって特徴づけられる地域で時折相まって生じる．

## 4. サージテクトニクスと海洋化論争

脱ガスする地球では，上部マントルと下部地殻に流体とガスが徐々に蓄積され，それらのレベルでの封圧をかなり増大させたに違いない．そして，とくに発達する大洋地域における地殻の隆起と低平な陸域における海進を引き起こした．次の段階として，地殻下のエクロジャイト化とそれに伴うデラミネーションがアイソスタティックな沈降と海退を引き起こしたであろう．このようにして，地球の外側領域における流体 / ガスの強化と，それに続く地殻のマントルへの消失というフェーズの間のそれらの圧力の解放が海水準変化の特徴的な変動（海進と海退の脈動）をうまく説明するように思われる．地球深部からの質量の移動過程は化学反応で生産される熱と一緒になって自然にマグマ溜まりを作るであろう．このようにして酸化条件のもとで，とくに表層に近いレベルでは，一連の金属と非金属の浮力相，すなわち水素化物，シリサイド，もしくはいわゆる有機金属（Gold, 1985 and 1999; Hunt, 1992）が上昇の間に潜熱を放出しながら分離するであろう（Hunt, 2001）．このため玄武岩メルトが脱ガスの産物としてとくに孤立したポケットの形で自然に生じたであろうが，発達途上の大洋地殻における玄武岩の実際の量はまだ謎のままである．

深海盆からの岩石の証拠が蓄積されるにつれて，様々な程度に玄武岩メルトが浸透したことにより薄化した大陸地殻，つまり地殻の海洋化が説明できる用意が整ったと思われる．世界の大洋における部分的に薄化した大陸地殻の多数の例に加えて，オーストラリア西部沖の深海平原の頂部が平坦な比較的大規模な海山（New and Events, Univ. of Sidney），インド洋西部の大規模な海嶺からの地球物理学的証拠（Torsvik et al., 2013），大西洋南部のブラジル沖 1,000km の深海斜面の写真地質学的研究 (http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/southamerica/brazil/10040685/Brazilian-Atlantis-found.html) のような最近の発見は，現在の薄い地殻の深海盆が始めは立派な乾陸だったという古い考えを引き続き支持する．大洋地殻は明らかに極めて不均質で楕円形の深海盆であり，部分的に薄くなった大陸性の台地と山脈がさらに強くデラミネートし，化学的に変質した円形ないし楕円形の深海盆の間に点在している．大洋での発達の度合いよりはずっと小さいが，地殻の厚さに大きなコントラストがあることもまた大陸地殻の特徴である．大陸と大洋の地殻の移行は断層規制により比較的鋭いか，もしくは漸移的である．ある場合には，例えばヨーロッパ東部のクラトンと北大西洋の最北部の間のように，地殻の薄化が数千 km にわたって進行したように見えることがある．別な例として，Unternehr et al. (2010) は，大西洋南部のブラジル縁辺で，断層に仕切られた縁海盆と明瞭な大洋 / 大陸境界が期待された代わりに，大洋性でも大陸性でもない基盤の特徴を示す漸移型の地殻に都合のよいデータを見出した．

大規模な大洋断裂帯の下では，大洋地殻が例外的に薄いか欠如していることがしばしば観察される．例えば，最近の北大西洋の地殻異常の探査（Wang et al., 2011）では，顕著な断層帯に沿った例外的に薄い地殻（4km 以下）に達した．地殻の変化過程における超臨界水の大きな役割（上で議論した）に関連して，顕著な大洋断層帯は当然のことながら含水流体の通り道として役立ち，高度に破砕された断層帯の地殻をエクロジャイト化し，デラミネーションを進行させ，あるいは分解して岩泥化する．これに関して，著しく断層運動を受けた大洋中央海嶺（表層は蛇紋岩化した上部マントル）に沿って地殻が完全に消失しているように見える地域が増えてきている（例えば，Storetvedt, 2003; Storetvedt and Longhinos, 2011）のは驚くことではない．水に富む流体はガブロ→エクロジャイトもしくはグラニュライト→エクロジャイトという相転換による地殻の消耗過程の明らかに主要な要素であることは明らかである．エクロジャイトの密度は周囲の上部マントルのそれより明らかに高いので，この再結晶作用を受けた地殻の岩石は重力的に不安定になり，上部マントルのどこか平衡の得られるレベルまで沈降する．エクロジャイトへの変化は斜長石のような密度の低い鉱物を排除し（これは，おそらく超臨界流体によって効果的になされる過程），高密度で地震波速度の大きな鉱物であるザクロ石や斜方輝石の成長を促す．速度でいうと，エクロジャイト化した地殻はモホ面より下に属する（Baird et al., 1996）．Ito and Kennedy (1970) によると，岩石学的・地震学的モホ不連続面の発達は元素の上方への移送とそれに伴うグラニュライト質下部地殻のエクロジャイト化を通じて行われた．

結論として，‘地殻の海洋化’という語は地殻の薄い大洋盆の形成に限定されず，かつて厚かった大陸地域の地殻が薄くなることにも使われる．それは，むしろ汎地球的な地殻に種々の程度に影響を及ぼす

過程であり，コアもしくはCMB地域からの不規則に分布するガス放出の表層での産物である（図2）．含水流体は，その超臨界状態において特に反応性が大きいが，脆弱な表層殻の変化において明らかに主要な化学相として存在してきた．初め，大洋凹地の表面分布は主としてCMBからの浮力のある流体の分布によって決定されたが，縁海地域が薄く造構的にもろくなるにつれて（地球の回転の変化に起因して），地殻下のデラミネーションとアイソスタティックな沈降が加速し，中生代後期にそれがピークに達した．外側の岩石質の殻の長期にわたる変化に伴って，脱ガスが各種のガス・含水流体・メルトのポケットからなる揮発成分に富むアセノスフェアの発達を徐々に促し (cf. Storetvedt, 2003)，モホ面を徐々に発展させた．エクロジャイト化し，デラミネートした地殻はその高い密度と組成に応じて上部マントルの種々のレベルに落ち着くことができる．Anderson (2005) によると，デラミネートしたエクロジャイトの岩体は類似の密度をもった他の岩石に比べて地震波速度が遅くなり，上部マントルで観測される低速度層のもとになると推測される．

サージテクトニクスの支持者は，明らかに聖典としてのアーサ・メイヤホフと共同研究者の著作（後述）に関して地球科学社会のその他の人々とは異なった議論をし続けている．例えば，David Pratt (2013) は**“地殻は絶えず動いている（私は垂直的と考える）．地球の凹凸は現在海水面上8.8kmから海水面下10.8kmに納まっている．マントルの熱流と物質の移動は地殻の厚さ・組成・密度に顕著な変化をもたらし，結果として相当な隆起と沈降を引き起こすことができる・・・．垂直変動のスケールは山脈中の海成堆積物層の厚さが通常10km以上で23kmにも達することができるという事実によって示唆される”**と書いた．

プラットの記述に，私は古いライエル流の世界観を感じる．例えば，厚い表層堆積物の蓄積を説明するための処方箋は地球の外側領域のかなりの垂直的振動（おそらく永続的な過程）である．科学的議論をすることなしに，彼はすべての地殻の特性に対して責任を負うものとしてのマントルの熱流と物質移送（上方か下方か，あるいはどちらへも？）の十分な証拠にはっきりと言及している．しかし，地球の漸進的かつ変化に富む発達によって明らかになった確立された地質系統（年代層序区分の系列）をどのように理解しているのであろうか？事実，サージテクトニクスは地球の地史を合理的な方法で説明することができない（以下参照）．大洋盆内の不規則に分布する準大陸塊の存在を彼らは明らかにマントルからの湧昇で付加された物質に原因するとしているが，その仮説的な主張は初めの熱くて溶融し化学的に分化した地球（彼らのもう1つの前提）とどのように折り合うのかという点は全く不明である．

## 5. 表面熱流量の‘謎’と不可解なサージチャンネル

地球内部の熱生産は現在の地球力学モデルにとって重要な拘束条件であるが，表面熱流量の見積もり結果は，それが通俗的な微惑星理論が生産できるよりもっと多くの熱を必要とすることを示してきた（Pollack et al., 1993）．そして，この矛盾を説明するために多くの別な補助的仮説が提出されてきた（例えば，Breuer and Spohn, 1993; Pollack et al., 1993; Van den Berg et al., 2002）．しかし，真の熱流量図は，1) 南極・グリーンランドに加えて大規模な大陸地域 - アフリカ，南米，シベリア / アジア東部の大部分がデータなしのままである，2) 高熱流量の地域はサンプルが多く取られすぎている傾向がある（Gosnold and Panda, 2002），3) 大洋の熱流量のレベルとパターンはモデルに強く依存している，という事実によって限界がある．例えば，大洋中央海嶺に沿った全体的に驚くほど低い熱流量は，慣例的に基本的には半無限体冷却モデル（例えば，Parsons and Sclater, 1977; Stein and Stein, 1992) にもとづいて熱水循環に原因があるとされているが，これは40年以上もの間立証されないままになっている補助的なメカニズムである．地球科学社会の良心にあるこの痛点をめぐる静寂を破ろうと，Hoffmeister and Criss (2005) は熱流量の計算値と観測値の間の周知の不一致が熱水循環によるものではないと主張し，その理由として，1) 既知のマグマ活動は極めて小さなエネルギーしか生み出さない，2) レイリー数は大洋スケールでの大きな対流を作り出すには小さすぎるという点を主張した．

大陸の熱流量測定点が不均質に分布し，平均的な大洋の熱流量に対する見積もりがモデルに強く依存しているという事実にもかかわらず，大洋底拡大を事実と考えて，最近Davies and Davies (2010) は地球全体の熱流量の改訂版を発表した．新しい地図に取り込まれたデータは合計38,347の野外測定値にもとづいており，これはPollack et al. (1993) が研究したもののほぼ40％増になる．大洋中央海嶺に沿う全体的に驚くほど低い熱流量に関して，編集された地図は再び一貫して熱水循環の補助的仮説に従い，未調査の大陸地域の熱流量の見積値は種々の地質 / 造構環境で経験的に決定された値にもとづいている．図7にDavies and Davies (2010) の熱流量図を示す．この図で大洋中央海嶺に沿う暖色は明らかに人為的なものである．したがって，もし我々が理論優先で推測にすぎない赤色の地域を除去するなら，残るのは全体的に極めて一様な熱流量レベルであり，それは大陸と大洋の熱流量の分布ヒストグラムがどちらも55-60$Wm^{-2}$前後にピークをもつ極めて類似したものであるという十分立証された事実と一致する．

海底拡大仮説によると，大洋中央海嶺に沿ったマントルマグマの湧昇は当然のことながら地殻より熱

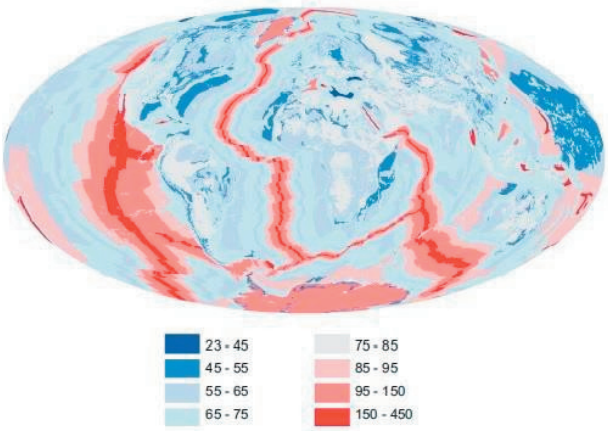



図７　Davies and Davies (2010) による世界の熱流量分布図 ($mWm^{-2}$)．南極やグリーンランドのようなほとんど完全に測定値がない地域に関しては，地質と熱流量の仮定的な関係にもとづいて推定．従って，極めて不確か．それに加えて，大洋中央海嶺の推定熱流量は海底拡大（モデル）に強く依存し，それゆえに実質がない．真の観測の基礎がない目立った暖色をすべて無視すれば，そこには極めて変化に乏しくもっと現実的な地表熱流量の地域差が残るはずである．

く，それゆえ大洋盆に対して十分高い形をとり，その高さは海嶺の頂部からの冷却 / 距離が増大するにつれて低減率が下がる．しかし，海嶺に沿って予測された 250 $mWm^{-2}$ というオーダーの極めて高い熱流量（例えば McKenzie, 1967; Sleep, 1969）は存在しなかった．とくに，熱流量の大きさの極めて大きなばらつきは，支配的で異常に低い値の集団の中にいくつかの局地的な高い値を含みながらも，大洋盆の平均に近い均された平均値を示す．Lister (1980) は低い熱流量はとくに床が平坦な中央谷に出現することを見出した．予想外の大洋の熱流量パターンの例が Rona (1980) によって提示された．それは中央大西洋のデータで，海嶺と大洋の残りの部分との間の熱流量の差が小さいことを示した．その困惑するようなデータに加えて，Herzen and Simmons (1972) は以前，19.5°N と 8.5°S でそれぞれ大洋中央海嶺と交差する２本の大西洋を横断する熱流量プロファイルを提示した．図８から分かるように，少数の分散する高い値は別にして，２本の大西洋横断プロファイルには海嶺頂部からの距離の増加に伴う顕著な系統的差はない．

大洋堆積物に針を刺すことによって測定された極めて低い熱流量値は，その後，DSDP 地点の第２層玄武岩中でも見出された．例えば，DSDP 37（アゾレス諸島のちょうど南に位置する）で記録された熱流量はわずか 25$mWm^{-2}$ であった．この驚くほど低い値は基盤内の少なくとも 400m を貫いた深部である．頂部の熱流量異常に加えて，Leg 37 における もう１つの思いもよらない観察は Hall (1979) が次のように記述した玄武岩鉱物の変質タイプであった．

**“ 深海掘削孔からの驚くべき結果の１つは，現在または過去の高温の証拠が希薄なことである．玄武岩は種々の程度に変質されているが，変質は典型的には冷たい海水との全体的な熱的相互作用の結果であり，これらの低温変質様式は基盤深度 550m での 14℃という現在の温度と矛盾しないが，地殻の成長拡大過程の単純な温度モデルから予想される高い温度勾配の期待値（100℃）とは著しく違っている．”**

大事にされているが機能しない地球力学モデルによって人為的に操作することをやめて，額面通りの海洋熱流量データを取得する時がきた．しかし，科学者たちは種々の理由で人気のある考えを急に変えるという前科は持っていない．だから，水平方向の漂移と海底拡大が日増しに受容されていくことを支持して，ジョン・ツゾー・ウィルソンはネイチャー誌の有名な論文で以下のように宣言した（Wilson, 1963）．

**“ 対流は・・・水平な動きを導く．これは大洋中央海嶺上の火山を源からゆっくり離れさせ，その結果，これらの火山は活動的であることを止めるであろう．源は垂直的な流れの上に固定されて残り，新たな火山を作り出すであろう．このようにして大洋中央海嶺上の個々の源は，１本の次第**

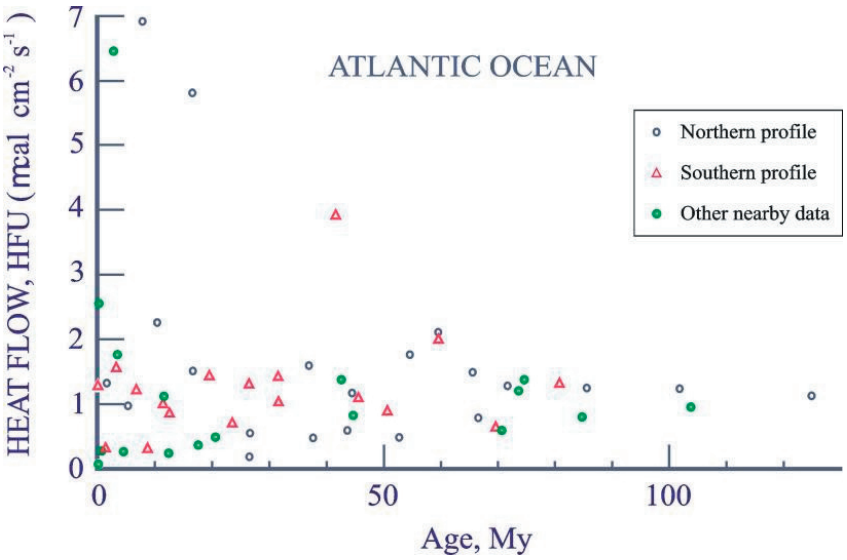



図８　赤道大西洋海嶺を横断する２本（緯度でほぼ 25 度隔たっている）の年齢付き熱流量プロファイル．データは Von Herzen and Simmons (1972) から引用．少数の高熱流量値を別にすれば，プロファイル全体を通して極めてフラットな熱流量図であることに注目．熱流量は以前の熱流量単位（$\mu$ cal $cm^{-2}$ $s^{-1}$）で与えられている．SI 単位に換算する場合は 1HFU = 41.8 $mWm^{-2}$．

**に古くなって消失する火山の鎖，もしくは，おそらく大洋中央海嶺の両側面に２本の鎖を作り出すであろう．”**

しかしながら，ウィルソンの“大洋島が大洋中央海嶺から遠いほど古い”という結論は腹立たしくも間違っている（Menard, 1986）．アイスランドを除いて海嶺の頂部には目立った活動的な火山はない．事実，高い熱流量の事例は，大陸上でも大洋盆内でも同様に，点在する小規模な現象である．大部分の場合は，おそらく，ガスの力を借りた大きな浮力のある超臨界流体と連携した熱とメルトを生み出す上部マントルの化学反応に関連しているであろう．点在する小規模な高温部を伴う全体的に中程度のレベルの熱流量が地球規模の熱流量パターンを最もよく表わしている．とりわけ，すべてのレベルでの教科書で一般に強調されている大洋中央海嶺に沿った疑わしい高熱は観察事実にもとづくものではない．

Meyerhoff et al. (1992a) はサージテクトニクスを提示するとき，1980 年代後半までに入手可能なデータにもとづいて地球規模の熱流パターンの概略的な報告をした．しかし，彼らのかなり不確かな地図から彼らは >55 $mWm^{-2}$ の帯が存在することを主張した．彼らの意見では，高熱流量帯はその起源を地殻の基底か最上部マントルに持っていて，熱い物質が大陸と大洋盆を同じように切る板状またはレンズ形のチューブで相互に連結されている．メイヤーホフらの解析以来，熱流量のデータベースは２倍以上に増え，彼らの図が事実よりは期待のうえに築かれ飾り立てられた信仰以外の何かであるとみなすことが次第に困難になっている．メイヤーホフらは明らかに Woodhouse and Dziewonski (1984) による 50-150km の深度帯における地震トモグラフィーの図（高速度で“冷たい”領域と低速度で“熱い”上部マントルの領域を識別している）にこだわっている．しかし，どちらも地震波速度の低下を引き起こす豊富な深部裂罅流体と深度とともに指数関数的に成長する裂罅空間の証拠が増加していることから，今や上部マントルとアセノスフェアの物理化学的状態を再考する正当な理由がある．

上部マントルの全体的な温度レベルは伝統的に想定されているよりずっと低いと思われ，しばしば露出している上部マントルの超塩基性岩は，所々に露出する表層の玄武岩と同様，しばしば広範な低温変質により影響を受けている (e.g. Schroeder and John, 2004; Karson et al., 2006)．例えば，大西洋中央海嶺の 26°N (ODP Leg 158) の TAG＊15 の活動的な熱水マウンド（ブラックスモーカー複合体を伴う）に露出する広範に変質した玄武岩は硫化物の脈と石英の膠結物を伴って高度に緑泥石化している．

＊15　TAG（Trans-Atlantic-Geotraverse）：大西洋中央海嶺の 26°N 付近を横断する地質トラバース．

類似のスモーカーは大西洋中部リフトに沿って偶然発見された（例えば，Koschinsky et al., 2006）．とくに温度に関して，30°N で大西洋中央海嶺頂部の西約 15km（アトランティス地塊の頂部付近）に位置するロストシティー（Lost City）熱水フィールドは完全に掘り出し物の発見であった．このように，水素・メタン・その他の気体成分が高濃度で溶け込んだ塩基性で 40 ～ 91℃の熱水場の低温噴気が現在観察されている (Kelly et al., 2001; Ludwig et al., 2006)．火山活動は欠如しているが，その地塊の誕生における地殻の薄化と長期の断層運動の重要性を証明する 100m の厚さの強く変形･変質した岩石が，壁の頂部に沿って 3km 以上にわたって産出している．

増加しつつある事実の証拠は上部マントルの温度が現在はひどく過大に見積もられていることを示唆している．最上部マントル内に大洋の中央で海嶺に平行なマグマ溜まりを想定することは，ごく最近のサージチャンネル仮説だけでなく海洋底拡大モデルにとっても本質的な前提条件であるが，50 年以上にわたって未解決の謎として残っている．ドグマ的な理論を支持するために確かな‘証拠’が求められるときは常に，場当たり的な提案と補助的なメカニズムが活躍する．大洋中央海嶺に沿った一連のマグマ溜まり，あるいは海嶺に沿った熱いマグマの目立った流れの証拠を探すことは，私にはかつて人気のあったエーテル理論を思い起こさせる．19 世紀後半の数 10 年に物理学者は，マイケルソン - モーリー（Michelson-Morley）の実験がこの理論優先の物質が結局は存在しないことを示すまで，この見えないエーテル媒質の存在を確認するために一生懸命に研究した．同様に，観察からかなり‘冷たく’目立った火山活動がないことを示しているという事実にもかかわらず，大洋中央海嶺が‘熱い’ということが現在当然と考えられている．存在する事実に反対して Bhat et al. (2011) は**“大洋海嶺の下にもその他のところにもマグマチャンネルの存在を予想させるあらゆる証拠がある（そして完全な出版物で詳細が例証される）”**と述べている．しかし，一連の深みのない陳述は別にして，彼らは妥当な科学的議論を提示することを控えている．大洋中央海嶺に沿った低温変質の長年の謎に関して，バットらは Wilcock and Delaney (1996) による論文に救いを見出している．再度，これは観察と期待の間の矛盾を避けようとする無数にある理論優先の主張の 1 つである．いずれにせよ，我々は今，地球科学研究の新鮮な精神を必要としている．何よりも機能しない仮説より事実の観察に注意を払い，20 世紀の最初の数 10 年における近代物理学の発展へと導いた人に似た活力ある研究に道を開くために．

サージテクトニクスの支持者は，他の地球造構仮説では説明できない一群の地質学的・地球物理学的データを説明できると主張している．彼らは断

層・断裂の大規模な帯が，仮想的なサージチャンネル中の熱い流体の流れを示す高熱流の同時発生システムと発生的に関連していると主張している．Meyerhoff et al. (1992) は“**リソスフェアの重要な構造は，それが大洋中央海嶺であろうとアルプス型の褶曲帯であろうと，どれもサージテクトニクスの産物である．褶曲運動・衝上運動・変成作用・鉱床形成作用・洪水性火山活動などの主要な造構過程はどれも 1 つまたはそれ以上のサージチャンネルの存在に直接関連している**”と主張している．しかし，先に議論したように，彼らの高熱流帯はみることができず，サージチャンネルシステムは，幹線チャンネル・支流チャンネル・受動的縁辺チャンネル・活動的縁辺チャンネル・破裂チャンネル・支流チャンネルといったように，必要ならどこにでも特殊なケースでいっぱいにされる．そのような特殊なケースのリストに向き合うとき，私は Larry Laudan (1977) による次のような引用を思い出す．

“（すなわち，特殊な造構問題を解決するために）**異常を取り去りたいという願望を動機とした理論の変化はいかなるものでも何かしら怪しいものである．そのように確信する理由は，一旦我々がその異常が何であるかを知ると，異常を疑いのない事実に転換する何かメンツを立てる理論の変化を作り出すことは子供の遊びと大差ないが故に，我々がそのようなうわべだけの外科手術を本当に信用することはできないということである．**”

大西洋中央海嶺に沿った地殻の厚さが変化に富むことに関して，Meyerhoff et al. (1992a) は膨縮構造（‘pinch-and swell’ structure）に言及し，流動する溶岩に見られる表面構造と同一視している．つまり，彼らは，これが海嶺に平行な流れが大洋中央海嶺を作り出している証拠であり，さらに海嶺の頂部に沿った高い熱流量の原因であると考えている．海嶺に沿う流れを補強するために，彼らは上部マントルの低速度層の存在，頂部帯に沿ってしばしば発生する微小地震，海嶺に沿った特徴的なブーゲ重力異常に訴える．しかしながら，この一連の説明は大洋中央海嶺に沿った‘高い’熱放出という間違った認識と強く結びついている．海嶺の内部構造は単純なサージチャンネル概念より通例もっと複雑であるという事実は，彼らが単に大きなサージチャンネル複合体という補助的表現を‘でっちあげている’のではないかと思わせる．サージ仮説のように結論が予め決まっている場合はいつでも，メンツを立てる補助的議論とメカニズムは子供の遊びと大差ないということは（政治においてもその他においても）秘密でも何でもない．

最近の評論で，Pratt (2013) は，アルフレッド・ウェゲナー は“真実を探してはいなかった．彼は理由を探していて，それに反対する事実や主張のどれに対しても盲目であった”と述べた Lake (1922) がしばし引用する語句を繰り返した．しかし，同じ非難はサージテクトニクスに対しても持ち出せるのではないだろうか？これらの軸に沿ったすべての造構現象の推進力といわれる大洋中央海嶺の高熱流はどこにあるのか？実際は，サージテクトニクスが 25 年ほど前に作られたとき，未解決の大洋熱流問題は少なくとも 20 年間放置されていた．そして，たくさんの蛇紋岩化した上部マントルのペリドタイト・ミロナイト化した蛇紋岩・角閃岩・メタガブロが回収されたことがもう 1 つの困った観察結果になってきた．それに加えて，深海掘削航海は新鮮な玄武岩が驚くほど少なく，回収された玄武岩はたいてい低温変質型であることを示した．例えば，北大西洋では，新鮮な玄武岩は大部分中新世かそれより若い火山活動の小規模で散在するイベントに限定されている．

大西洋中央海嶺の代表的な岩石組み合わせは ODP Leg 153 の掘削セクションによって明らかにされてきたように思われる (Cannat et al., 1995)．大洋中央海嶺に沿った他の地点からの岩石と一致して，最も普遍的に採取された硬岩は玄武岩ではなく変成したガブロと蛇紋岩化した上部マントル物質である．それらは，その高度に破砕した性質から判断して，おそらく固体状態で定置したものであろう．初生的な鉱物相はしばしば広く変質し，一連の変成相を示す二次鉱物相に再結晶している．変形の特徴は複雑な歪履歴を証言し，破砕帯周辺で最も著しい変質を伴っている．Leg 153 で，ガブロがしばしば角閃岩・角閃岩化したメタガブロ・片理の発達した種々の片麻岩に変わっているということは重要な観察である．ガブロから抽出したジルコンの U-Pb 年代は先カンブリア時代を示し，新しいものは 1600My である (Pilot et al., 1998)．

手元の岩石の証拠から判断して，玄武岩質火山活動は大洋地殻の形成における主要な過程ではなさそうである．したがって，玄武岩は海洋磁気異常の原因となる主要な岩石ではないだろう．それに加えて，中央谷に沿って地殻が明らかに完全に消失しマントルが地表に露出している地点の数が次第に増加している（議論と文献については，Storetvedt 2003; Storetvedt 2010d; Storetvedt and Longhinos 2011 を参照）．Bonatti (1978) は上部マントルの超苦鉄質岩の地表レベルへの垂直移動を引き起こす可能なメカニズムをレビューして，他の上部マントル及び地殻下部の岩石に比べて蛇紋岩が相対的に低密度で可動性が大きいことを強調している．ペリドタイトが蛇紋岩化する間に岩石の体積は約 1/3 増大し，岩石を自然に上方へ排出する原動力となる．その間に蛇紋岩は粉砕され（オフィオライト複合体で普通に観察される）微小地震を引き起こす．したがって，大洋中央海嶺に沿った特徴的な負の重力異常は，一般に観察される蛇紋岩化とそれに伴って予測される上部マントル帯の隆起ということで自然な

説明ができる；つまり，海嶺に平行な仮想的サージチャンネルに頼る必要はない．

レイキャネス海嶺（Reykjanes Ridge）の磁気縞模様の統計的研究で，Agocs et al. (1992) は，これらの異常が磁気極性の変化を伴う化石磁化で生じるよりもむしろ磁気感受性で十分起こりうることを示唆した．すでに 50 年代後半と 60 年代後半に，海洋磁気リニエーションの遠因として磁気感受性の違いが提案されていた（Mason, 1958; Raff and Mason, 1961; Luyendyk and Melson, 1967; Opdyke and Hekinian, 1967）．この関連で，Meyerhoff et al. (1992b) は海嶺に平行な断層や破砕システムが海嶺に平行な磁気異常の遠因であろうと示唆したが，彼らはその主張を支える磁気鉱物学的な議論を何もしなかった．彼らは大西洋中央海嶺に垂直に走る断裂システムについて，その海洋造構過程における役割（Storetvedt 2003; Storetvedt and Longhinos, 2012 参照）についても合理的な考察を行わなかった．事実，私は，サージテクトニクの著作中に，地球上で最も広範に見られる造構地形である汎地球的な直交断層 / 断裂 / 割れ目システムに対する特別な記述をどこにも見出さなかった．事実，Bonatti (1976) は蛇紋岩の突出が，直交する断裂パターンに従って分布する線状の磁気異常の実際の原因であるに違いないと主張した；彼は大規模な蛇紋岩体が海嶺を直角に切る大規模な断裂帯に沿って配列し，小規模な蛇紋岩体が海嶺の軸に平行する帯に定置していると推測した．一見関連した観察は，大西洋中央海嶺の超苦鉄質とガブロ質の岩石の露頭が地殻の薄くなった地域と密接に結びついているということである（Tucholka and Lin, 1994）．

大西洋中央海嶺から採取した変形した蛇紋岩の研究で Ribeiro da Costa et al. (2008) は，溶解から再結晶への過程はおそらく強い剪断応力を裏付けるものであると結論づけた．酸素同位体から見積もられた温度は 300℃よりかなり低く，研究された蛇紋石（アンティゴライト）は高温の昇温変成作用の結果ではないことを示唆している．彼らは蛇紋岩化が高度の海洋変成環境か，もしくは低度で強く変形した環境のどちらかで生じたと推測した．Wenner and Taylor (1971) は，蛇紋石 - 磁鉄鉱地質温度計を用いた初期の研究で，海洋の出来事の平衡温度が，見積もられた温度環境に調和する 130 ～ 235℃（実際の蛇紋岩の種類による）の範囲であることを突きとめた．断層で規制されて定置したパターンとそれに関連する低温変質 / 酸化過程の証拠は，磁性をもった酸化物がいろいろな程度に枯渇することと合わせて，観察される正負の縞状磁気異常に対する造構鉱物学的基礎をなすように思われる．したがって，異常は多分，全体磁場の誘導に対する断層規制の違いという点から磁気感受性コントラストモデルと呼ばれる．磁鉄鉱は通常蛇紋石と共存する．鉄は明らかにカンラン石と輝石が反応して Mg に富む蛇紋石を形成するという蛇紋岩化の間に放出される（Wenner and Taylor, 1971）．大洋中央海嶺の頂部帯はしばしば中央谷を伴うが，そこに沿う例外的に薄い地殻と低熱流量は，正でしばしば相対的に強い中央の磁気異常を説明できる．このように，磁気の原因となる岩石は，それによってより強く誘導された磁場異常を引き起こす．中央異常のかなり強い跳ね上がり勾配のため，遠因層の厚さは伝統的に 400 ～ 500m と見積もられてきた．さらに，通常観察される指の形をした頂部の異常は，海嶺に沿った剪断作用と，断層が作り出す鉱物変質と磁気感受性たコントラストを引き起こすことを示唆し，それによって通常観察される地殻異常の振動性が説明できる（Storetvedt, 2003 and 2010d）．

メイヤーホフらは海嶺に平行したアセノスフェアのサージチャンネルが海嶺に平行した磁気異常の原因であると主張したが，彼らの主張を支持する何らかの磁気 - 鉱物 - 造構メカニズムを提示したわけではなかった．Pratt (2013) は**“海嶺はその直下の浅い深度に相互に連結したマグマチャンネルをもち，その中では準流体が海嶺に水平あるいは平行に動く”**という不確かな同じ主張を繰り返した．また，彼は海洋の磁気リニエーションが海嶺に平行な断裂システムと関連しているという深みのない説明を繰り返している．だが，どのように？事実，彼らの提案は海嶺に垂直な方向の磁気異常があるという観察事実とは相容れない（図９）．そこから，磁気異常システムは直交パターンを形成し，それは明らかに基本的な直交断裂システムと協調して出現している．大洋中央のサージチャンネルという提案を支持する海洋磁気

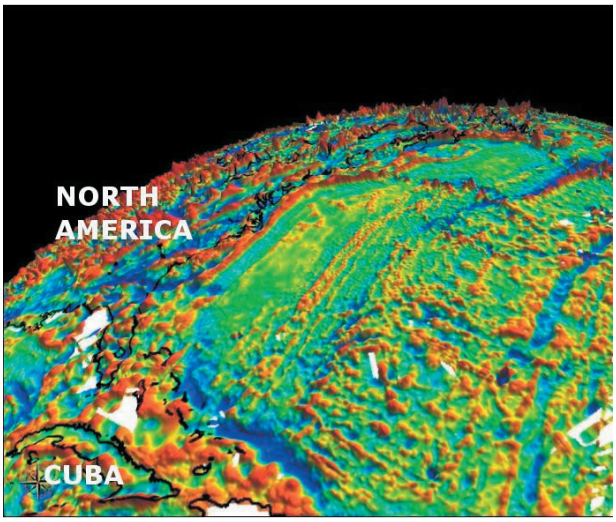



図９　直交する線状海底磁気異常のネットワークが発達する中央大西洋西部の図．このような観測結果は，海嶺に平行な断裂と海底磁気リニエーションの原因になるとされている大西洋中央海嶺に沿って走る熱い流体を想定するサージテクトニクス理論とは明らかに矛盾する．図は NGDC の世界デジタル磁気異常図（EMAG3）から切り取った．

データを検討して，Pratt (2013) は“**磁気強度，一般的な極性方向，異なる深度での異なる極性帯の存在は磁気異常の原因がまだ掘削されていない大洋地殻の深いレベルにあることを示唆している**”と書いている．この主張は事実の観察に全く基礎を置いていない．

デビッド・プラットが関心を持っている海洋磁気異常がどこに残留しているかを探る試みは 60 年代後半と 70 年代に高い優先事項であったが，すべての試みは失敗し，成果のない努力は結局 1980 年代初期にお手上げになった（Storetvedt, 2003 参照）．しかしながら，私はデビッド・プラットがサージテクトニクスの支持者として，いかなる化石磁化も関係のない感受性コントラストモデルに執着すると思う．一般に，海洋岩石の残留特性は海洋磁気異常の原因源としては不適切なことが分かった．しかし，それに代わる感受性コントラストモデルは全体磁場による誘導に関連し，結果としてのフィールド異常は 1) 周囲の磁場と 2) サイズが大きめの磁化粒子の密集度に依存することになる（Nagata, 1961; O’ Reilly, 1984 参照）．どのような場合でも，海洋磁気異常の中央の比較的急な傾斜はかなり浅い層に原因がある．メカニズムがどうあれ，サージテクトニクス派は彼らのお気に入りの感受性コントラストモデルに原因を求め，アセノスフェアの中には求めることができない．サージテクトニクスに反する証拠の大部分は，そのモデルが 20 年ほど前に初めて提唱されたときに容易に入手することができたが，そうした状況は無視された．代わりにサージテクトニクスを苦境に向かわせる場当たり的な対策を施した．

## 6. 古気候と極移動：極の安定性を否定する観察結果

20 世紀初期までに先カンブリア時代以後の古気候の全体像が十分に確立された．例えば，化石と岩石の証拠は，スバールバル諸島（Svalbard）を含むヨーロッパ・北米・アジアが熱帯～亜熱帯の環境を経験し，北米南東部は少なくとも第三紀中期まで亜熱帯のままであったということを示した（例えば，Heer 1868, 1880; Molengraaf, 1898; Kreichgauer, 1902; du Toit, 1921, 1954; Köppen, 1923; Köppen and Wegener, 1924; Wegener, 1929）．先カンブリア時代以後の大部分の期間，ヨーロッパで熱帯～亜熱帯の気候が極めて長期間にわたって持続したことは 18 世紀以来知られており，現在高緯度にある北極と南極での中生代と第三紀の豊富な植物群は現在の極地域が植物の旺盛な生育に適した温暖な気候環境にあったことを示唆している．北の大陸の古生代の地層で明らかにされた持続的な熱帯環境は，アフリカの中央～南部に古生代の寒冷の中心があったという増加しつつある証拠と調和する．もし我々がゴンドワナ集合に都合のよいウェゲナーの南の大陸の間違った統一を無視するなら，北の大陸を横断する古生代中期の熱帯は赤道大西洋東部（現在のアンゴラ / ナミビアの海岸付近）の相対的な地理上の極に対応し，アフリカ南部で観察された古生代の寒冷中心に一致するするであろう．対応する反対の極は，したがって太平洋の北部～中央に位置するであろう．Ma (1936) や Schwarzbach (1961) のような古気候学者は後に，デボン紀の間の相対的な古気候 / 古地理配置に関して全く同じ結論に至った．例えば，古生代後期の間の十分に限定された大まかな気候システムに関する化石の証拠をまとめて Kobayashi and Shikama (1961) は“繁茂した森を有する熱帯は北米からヨーロッパ（ウェストファリア）を通ってインドネシアまで伸びていた．北部と南部の温帯はアンガラとゴンドワナの植物相がそれぞれの目印で，そこでは樹木に年輪が形成された．”と書いた．図 10 は推定されたデボン紀の気候図を示している．

20 世紀初めまでに北の大陸を横断する古赤道が時間とともに全体的・断続的に南方へ移動し，その結果，ヨーロッパ北部は次第に寒冷になり，他方，アフリカではまったく反対の気候変化が生じたということもまた立証された．古生代前期の間，熱帯は北米東部，グリーンランド，バレンツ海に沿って，さらにはアジアを南東方向に横断していた（Köppen and Wegener, 1924; Wegener, 1929 を参照）．第三紀前期には相対的な熱帯は南へ動き，地中

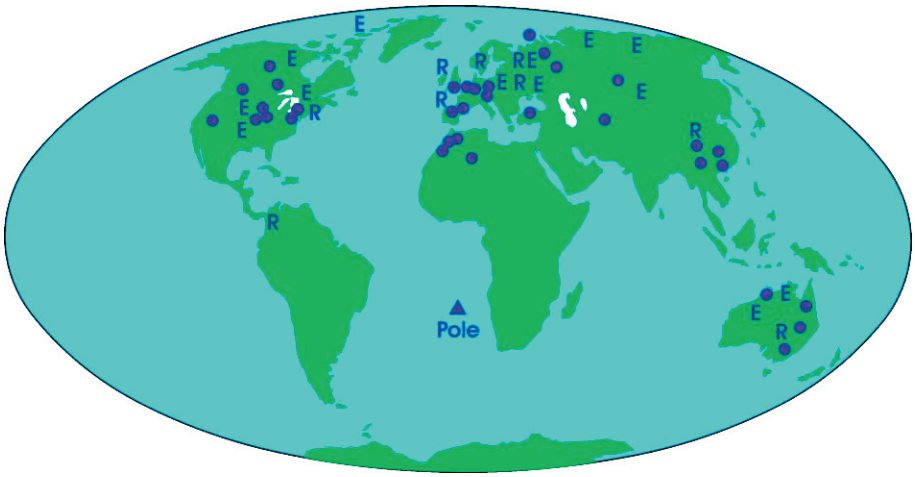



図 10　北の大陸とオーストラリアを横断するデボン紀の熱帯の分布を示す図．Schwarzbach (1961) による珊瑚石灰岩，蒸発岩（E），赤色層（R）の産出にもとづく．気候にもとづく熱帯はほぼ大円をなし，対応する‘南極’（南大西洋に位置する）は三角形で示されている．

海南部に沿っていた（以下と，Wegener, 1929: Schwarzbach, 1963; Pomerol, 1982 を参照）．当時，ノルウェー南部は亜熱帯にあり，スバールバル諸島と現在の北極の大部分は動植物相が豊かで温暖な気候環境を経験した．そして，始新世と漸新世の境界付近では中央ヨーロッパの気候は現在の環境にいくぶん似たものに変化し（例えば Buchardt, 1978; Pomerol, 1982），その間，赤道はほぼ現在の相対的位置に移動した．言い換えると，先カンブリア以後，地球は明らかに何回も太平洋方向への漸進的な空間の‘回転’を経験し，その全体的な変位は合計 70° 前後に達した．これについては以下と Storetvedt (1990 and 1997) を参照．第三紀中期の主要な地球規模の気候 / 地球動力学的変化に関して，Frakes (1979) は“始新世の北極の温暖で湿潤な気候”の後すぐに，“南半球における対応した傾向”を伴って現在のそれによく似た環境になったと書いている．そして半世紀前に Köppen (1923) と Köppen and Wegener (1924) は古生代以降，北極の気候は熱帯から次第に極へと変化し，最も重要な寒冷化は，アフリカ南部におけるまったく逆方向への変化を伴って，第三紀中期あたりに生じたと主張した．Wegener (1929) はこの気候変化を真の極移動，すなわち地球の主要慣性軸の変化が原因で生じるその空間的方位の気まぐれな変化に関連した動力学的現象（惑星質量の再配分によって引き起こされる）として説明した．

ペルム紀までに相対的な南極はさらに現在のグリッドで極方向へ 40 ～ 45° 南へ動いた（Storetvedt, 1997 and 2003）．関連したアフリカ南部のペルム紀における冷涼温暖な気候の証拠は豊富にあるが（Yemane, 1993），さらに北東へ向かうとマラウィとタンガニカ地域へと伸びる．有機物が豊富で大規模な内陸湖と内陸の汽水海はより暖かい中緯度の環境を暗示する（Ziegler, 1993）．ペルム紀後期における地殻の薄化はまだかなり‘初期’の段階であり，深海盆はなお遠く，南大西洋はおそらく島と浅海 / 汽水性の水路と大陸間の陸橋からなっていた．大洋地域からの適切な情報が欠けている中で，実際の陸と海の輪郭を描き出すことは明らかに困難である．しかしながら，Ziegler (1993) はペルム紀に南アフリカのカルー盆地がアルゼンチンとブラジルのパラナ盆地を通って海に繋がっていたということを示唆し，古生代後期の縁海盆の連なりが南極へ延びていたことが Collinson and Miller (1991) によって提案された．このように，古生代後期の南極と南アフリカの中緯度の古地理的環境に加えて，示唆されたような浅い海と不規則な陸域が混じりあった状態は気候を調整する重要な機関として役立った．これらの温暖な気候のもとで，ペルム紀後期に南極とアフリカ南部に生息したネズミぐらいの大きさのモショップス（*Moschops*）（図 11）のような爬虫類（Colbert, 1966）の説明がつく．

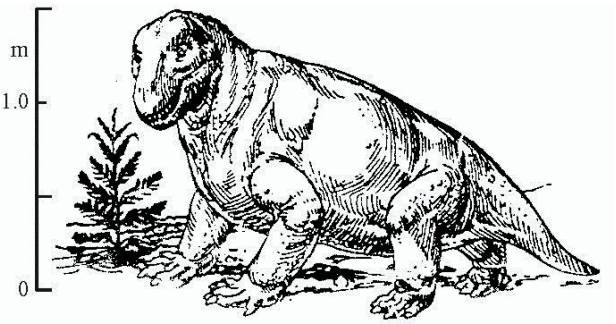



図 11　ペルム紀に南極とアフリカ南部に生息していたモショップス（*Moschops*）に似た大型爬虫類の草食動物．プレートテクトニクス仮説が強要する合体したゴンドワナ大陸を前提にすると，気候理論モデルの作成者（例えば，Parrish et al., 1986; Crowley et al., 1989; Kutzbach and Gallimore, 1989）は，季節的温度の両極端が現在のシベリアのそれよりもさらに厳しかったと示唆している．そのような気候環境のもとでは，おそらく大距離を移動できなかったモショップスのような大型爬虫類（Colbert, 1966）は生き残ることができなかったであろうということには一般に同意できる．そのような問題は Meyerhoff et al. (1996) によって示唆された地球の空間‘固定’モデルにも生じる．それとは別のレンチテクトニクスの解では，南極がその極位置に達したのはわずか 35m.y. ほど前であるから，その大陸に付随する古生代から第三紀前期までの長く続いた化石 / 古気候の謎は消える．

20 世紀初期までに，南極が北極地域のように，かつて熱帯～暖中緯度環境を示唆する豊かな動物と植物の長い歴史を経験したということが立証された．すでに 1890 年代の初期に，南極へ向かったノルウェーのジェイソン（Jason）探検隊[*16] がセイモール島（Seymour Island）で第三紀前期の落葉性樹木の化石幹の豊富な材料を収集した．10 年後，英国の探検隊は大規模なビーコン層群[*17] 中の植物の痕跡を記録した．しかし，次のニムロッド（Nimrod）とテラ・ノヴァ（Terra Nova）による英国の探検と 1911-1913 の英国南極探検はもっとすばらしい古生代後期の植生を発見した．珪化した厚いペルム - 石炭紀の樹木の幹とデボン紀後期の魚の化石（Woodward, 1921）は南極地域の気候の歴史に関する多くの議論を巻き起こした．植物の中には成長速度の速いものやサイズの大きなものがあり，どちらも極環境に調和させることは不可能であった．もし何らかの理由で極地域の温度が，大きな葉を持ち丈の高い植物の力強い成長を助けるほど十分高いなら，それに応じた熱帯は我慢できないほどの高温になるが，そのような状況は観察からは支持されない．1901-03 年に行われたスウェーデンの南極探検は他の探検隊の発見したものに一層多くのものを加えた（Andersson, 1906; Dusén, 1908; Halle, 1913）．今日，地質学的過去における極地域の‘謎めいた’温暖な気候は安定した気候問題として知られている（Sloan and Barron 1990; Sloan 1994）．以下に議論されるようにこれは自然の本当の問題ではなく，どちらかというと理論が管理する人工的なものである．

＊16　ジェイソン探検隊（Jason Expedition）：ノルウェーの探検家であるカール・アントン・ラーセン（Carl Anton Larsen）が率いた探検隊．1893 年にジェイソン号を使用して南極半島を探検した．

＊17　ビーコン層群（Beacon Series）：南極横断山脈に沿って分布する内陸性～浅海性のプラットフォーム堆積物．石炭層や漂礫岩層を含み，グロッソップテリスに代表されるゴンドワナ植物群化石やリストロサウルス等の動物化石を含む．（地学事典）

岩石と化石の証拠にもとづいた上述の古気候パターンの輪郭は，現在の極地域が漸新世初期以前（35 m.y. より以前）には極の環境になかったことを示唆している．少なくとも古生代後期から第三紀中期の南極が暑い，ないし暖かい気候であったという証拠が増えるにつれて（Tingey, 1991 の中の寄稿論文を参照），北の大陸の古生代の熱帯は図 12 に示されているように，南半球へと伸びていたことが推測される．この気候配列に調和して，400m.y. 前の古赤道は現在の２つの極地域を包含し，オーストラリアは古生代の間，全体として熱帯～温帯気候にあった（例えば，Brown, 1968）．図 12 によると，古生代中期の気候システムの全体的構造は今日のそれと一致していた．つまり，大円赤道帯は対応する地理的な極から緯度にしてほぼ 90° の位置にあった．しかし，１つの基本的な違いがある．それは，古生代中期の間，例えば，地球の空間的方位は明らかに今日のそれとは異なっていた．天文学的な回転軸は現在の極位置から緯度にして約 70° の角度で地球と交わっていたのである．それにもかかわらず，古生代前～中期の赤道が現在の地球上のほぼ大円として定められ，大陸が現在の相対的な位置を保っているという事実は，その後の‘大陸’の可動性を強く制約する．

先カンブリア時代以降の古緯度 / 気候システムはずっと以前に岩石と化石の証拠から査定されてきたが，1950 年代中頃以降はこれらの記録が古地磁気データによって実証された．ヨーロッパ北部の古生代前～中期の十分立証された熱帯気候に適合して，その時代の岩石は伏角の小さな特徴的化石磁化を示し，それは現在の赤道帯の双極子磁場の浅い伏角と一致する．ヨーロッパから得られた古地磁気方位 / 極のデータは蓄積された古気候学的証拠によく合うことがすぐに明らかになった．その全く異なる２つの科学分野は密接に対応する結果を出し，全体的な緯度依存の気候変化に関して２つの技術に実質を与えた．図 13 は過去 400 m.y. の古赤道と古極の全体的な動きを描いている．

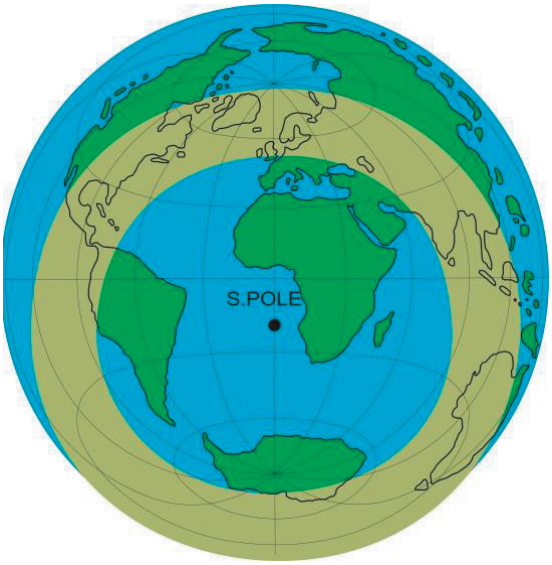



図 12　古気候の証拠にもとづく古生代の熱帯は地球をとりまく幅広いほぼ大円の帯として描くことができる．この長い期間中，極地域は現在のアフリカの西縁に沿って南へ移動した．古生代中期には，極の一方は南大西洋の東部にあった．このことは当時の中央～南アフリカにおける広範な氷河作用と調和する．

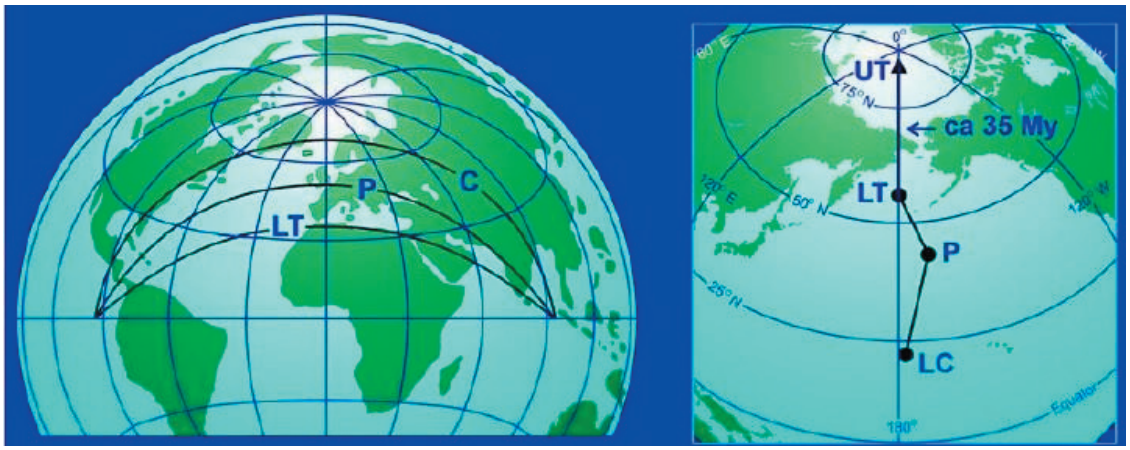



図 13　Wegener (1929) の記述に従った石炭紀（C），ペルム紀（P），第三紀前期（T）という３つの異なる時期に対する古気候をもとにした古赤道（左図）．ウェゲナーは真の極移動に対する一応の証拠として赤道帯の漸進的な移動を考えた．地球は黄道に相対的な方位が段階的に変化してきた．それは太平洋を通るグリニッチ子午面内で明瞭に‘グルッと回る’と説明される．この地球空間方位をリセットするシステムは，古地磁気による地球の極移動経路を確立することによって，つい最近実証された．右の図（Storetvedt, 1990 and 1997）に示すように，地球は第三紀中期にほぼ現在の空間方位に達した．すなわち，南極大陸と北極地方が先カンブリア以来初めて極になった．

動植物化石により示唆された南極の古生代の熱帯〜温帯環境に対する古地磁気学的裏付けは，北の大陸のそれと比較して極めて乏しい．しかしながら，プリッツ湾（Prydz Bay）の縁での ODP Site 740 (Barron et al., 1989) で得られた赤色砂岩の特徴的な残留磁化は古生代の古赤道の緯度を支持する証拠になっている．相対的に低い熱安定性の急傾斜した磁化を除去した後の高温での消磁は，特徴的な浅くて全体的には約 22° の傾斜（これは 10° 前後の古緯度に相当）をもった双極子の磁気軸を明らかにした. Keating and Sakai (1988) は掘削されたシルト - 粘土 - 砂岩の組み合わせを，大陸性で，掘削地点の少し内陸側の狭い帯に枝分かれして入り込んだよく知られた大規模なビーコン層群（主として古生代中期）の一部であるとみなした．地震データはこの層群が極めて浅い角度で傾斜していることを示し，もし立証された浅い磁化がビーコン層群時代のものであるなら，デボン - 石炭紀の間，南極は古赤道の環境にあったことになる．南極横断地域のオルドビス紀の花崗岩類についての別の古地磁気学的研究で, Grunow (1995) もまた極めて浅い残留伏角（約 10°）を得た．

したがって，古生代前〜中期の南極が古赤道位置に当たるということは，熱帯〜温帯の気候データと岩石の証拠（赤色砂岩）と古地磁気の結果（浅い伏角）の組み合わせによって支持される．それに加えて，古地磁気学的考察は，アルプス変動のクライマックス期の南半球のリソスフェアの捻れが，隣接する地殻の薄くなった大洋領域と共に，スコチア弧の形成を含む南極の重要な時計回りの回転を導いたことを示唆している．アルプス変動期以前は，南極半島は古生代前期〜第三紀前期にかけて熱帯〜亜熱帯の緯度にあり，発達途上の南太平洋海盆を指していた．例えば，南極半島のアレキサンダー島で Jefferson (1982) は豊富な化石動植物にもとづいて，白亜紀後期は長くて暖かい成長季節，日光の均等性，一般には霜の降りない環境などを特徴とすると結論づけた．総じて，種々の証拠は，南極が先カンブリア時代以降の大部分にわたって熱帯〜温帯の中緯度環境にあったというこの結論を支持する．それは，真の極移動という大規模なイベントの結果，つい最近の第三紀中期に現在の極位置に至ったことを示している（図 13 参照）.

### 7. アーサー・メイヤーホフと共同研究者の古気候評価

従来の考えに囚われないアーサー・メイヤーホフのグローバルテクトニクスは，プレートテクトニクスに対して次第に増大する彼の不満から成長したものと言ってもよいだろう．1970 年代初期のことであるが，多くの重要な地質学的資料と矛盾するこのモデルは彼に多くの批判的なレビュー論文を公表させることになった（例えば，Meyerhoff, 1970a & b; Meyerhoff and Meyerhoff, 1974）．私に関していえば，漂移に関連した地球物理学の特定の見方に対する疑念は 1967/68 から始まっていた．特に，1) 海洋底の進化についてのヴァイン - マシューズ（Vine-Mathews）の仮説の妥当性と，2) 古地磁気の確立された実験・分析の手続きは疑問であった．こうして 1970 年頃，私は職業上の重大局面，つまり，自分の研究分野の基本事項を深く再考しつつあった．2 年の間に私は型にはまった古地磁気学者からやかましい批判的な科学者に変わった．私は自分の古地磁気研究におけるパターン認識（当時の古地磁気分野の研究者はほとんど馴染みがなかった）の重要性に気づいた．この過程で岩石中の残留磁化の解釈に対する確立された‘法廷物理学’の基礎は二の次とされ，地質学を強く指向した舞台が取って代わった．そこでは，しばしば結果として複雑でベクトルの多い構造をもたらす再磁化の過程が私の研究における新たな現実となった．この過程で，私は多くの短い討論論文を書いた．その中で私は，仲間の間に一定の落胆をもたらすことになる多くの公表された古地磁気データの再解釈を行った（例えば，Storetvedt, 1967, 1968, 1970a &b, and 1971）．私は恐れを知らない論客となった．

1972-73 年のリバプール大学での有給休暇の間，スコットランドのグレートグレン断層の変位問題に関する研究で（Storetvedt 1974a），私はヨーロッパと北米から得られた古地磁気極の移動経路の不一致を説明する別な方法について最初のかすかなヒントを得た．それは，水平的な大陸移動に訴えることなしに大陸間の極の相違の原因を説明できる北大西洋地域における一種の造構的な捻れである．北西ヨーロッパからグリーンランドに架かる大洋を横断する‘陸橋’は, プレートテクトニクスにとって障害となって残っていたが，それが新たな可動システムで単純に解決できる見通しを得た．それによってビスケー（Biscay）と西地中海の構造発達に関する私の研究（Storetvedt, 1973a & b and 1974b）もまた非プレートテクトニクス的な結論になった．にもかかわらず，新たな可動システムに向かうグローバルテクトニクスの真の再考は，なお 20 年近く先のことであった．

アーサー・メイヤーホフの広範囲にわたる論文が現れたのはこの科学的過渡期であった．それらは最初は全く目新しく思われたが，私はすぐに彼の著作のスタイルに不安を覚えた．その議論は私にとって仮想的過ぎるように思えた．とりわけ，彼の古気候の取り扱いは，私が自分の古地磁気学的研究との関わりで読んだすべてとは著しくはずれていて奇妙に思われた．私はすぐに彼がプレートテクトニクスを完全に捨てたことを悟った．新たなグローバルテクトニクの舞台を探していた私にとってはそれは大きな驚きとはならなかった．しかし，彼の好んだグロー

バルな舞台はジェームズ・デーナの 19 世紀の大陸‘固定’観であったということを私が理解するには実際いくらかの時間を要した．デーナの枠の中では地球の全表面の地形は地質学的な太古の昔から安定していて，地球の収縮過程は大陸の縁辺に沿っていくらかの新しい小規模なシアル質地殻を付け加えたに過ぎない．‘現代的な’地球物理学者にとってデーナの理論の再構築は‘石器時代’のグローバルテクトニクスを再導入するように思われた．デーナ流の地球収縮説（実際には真の極移動のような漸進的でダイナミックな変化のない十分に発育した地球）に対するアーサー・メイヤーホフの傾倒は，問題の多い北極と南極の温帯中緯度〜亜熱帯性の環境という古気候の証拠を正当化するための異常な熱心さとして思い出される．

私がベルゲンで学生だった 1960 年代あたりは，古生代前期から第三紀前期まで長く続いた北大西洋地域の熱帯〜亜熱帯の古気候の化石による証拠は地質学課程では頻発するトピックであった．今では高緯度北極圏にあるスパールバルでさえ，亜熱帯環境の長い歴史を有したということは地史における最も魅惑的な要素であった．しかし，我々は，北大西洋の大陸が暑い環境を経験した一方でアフリカの一部は氷河作用を伴う冷涼な気候にあったという話も聞いた．この不均衡がどのように説明されるべきか，ベルゲンの地質学者は答を持っていなかった．しかし，ノルウェーの地質では初めて，古気候に関するグローバルな展望が，1961 年 3 月に出版されたノルウェー地質学会の雑誌に登場した．著者はノルウェーの古生物学者であり生物層序学者のニルス・シュピールネス（Nils Spjeldnæs）であった．記事の中で彼はオルドビス紀の化石群集をまとめ，定義された動物区からそれが古生代前期の気候帯を立証できるかもしれないと主張した．事実，シュピールネスの動物区は，主としてデボン紀及びより若い岩石に関して研究した他の古気候学者が帰着した気候パターンと辻褄があった．それに加えて，古地磁気データの全体的な解析も似たような結論に達した．岩石に留められた古気候の証拠によると，古生代の赤道はバレンツ海地域から中央ヨーロッパへと気まぐれに南方移動したが，これはヨーロッパから得られた予察的な古地磁気極の移動経路，すなわち相対的な地理上の極が同じ期間に南西アフリカから南アフリカに変化したことと調和する（Irving, 1964 を参照）．地質学的過去の気候パターンは今日のそれと極めて調和的であるように思われた．原則として，太古の古地理的な極は，それぞれの赤道からはずれて緯度 90°あたりに位置した．それゆえ，時間の経過とともに地球は太平洋の方向へ気まぐれな空間移動をしてきたことになる．

図 14 から分かるように，Spjeldnæs (1961) のオルドビス紀の化石赤道は北米の大陸の真ん中を

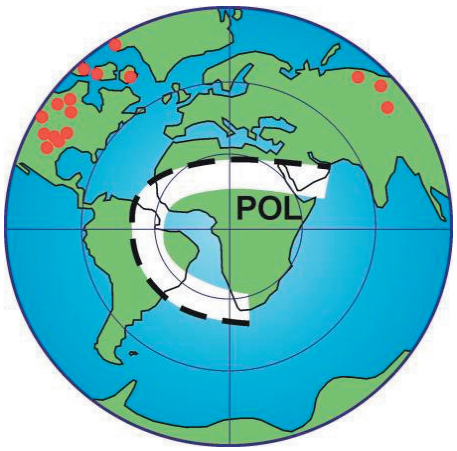



図 14　オルドビス紀全体の古気候システム．Spjeldnæs (1961) を簡略化．赤丸は熱帯動物相．古赤道は地球の回りに延長すると現在の北極及び南極地域を通っていたことに注目．対応する地理上の古両極はそれぞれ西アフリカと中部太平洋のどこかであったろう．これはアフリカからの氷河の証拠とその後の古地磁気データに調和する．

SW-NE 方向に横断し，グリーンランド東部とバレンツ海地域に沿って伸び，さらにその延長は NW-SE 方向でシベリアを横断している．彼の動物区によると，古地理極の 1 つは大ざっぱに中央アフリカ西部に，反対の極は赤道太平洋西部にあった．彼は自分が最適と思う動物地理学的な適合を得るために，中央大西洋を部分的に閉じたが，後に（個人的討論で）彼は自分のデータがそのような部分的閉鎖を必要としないということを認めた．事実，1963 年 1 月のニューカッスル・アポン・タイネ（Newcastle-upon-Tyne）での古気候会議で，私は彼が北西アフリカと北米の間の中央大西洋のいかなる有意の閉鎖にも強く反対していたのを思い出す．西サハラのオルドビス紀の氷床の証拠が増えていることから，彼は北米のオルドビス紀の熱帯を同じ時代の北西アフリカの冷涼な極環境のすぐ近くにもってくることは科学的にありえないと強調した．しかしながら，漂移の問題は無視して，ニルス・シュピールネスの動物地理解析は古生代前期以来，地球の表面が回転軸に対して緯度で 70-90° 移動したことを物語った．したがって，地球体の（太陽に対して）系統的ではあるが気紛れな回転という言葉で説明される真の極移動の古くてダイナミックな概念が実証された．

1970 年頃，ある程度私自身の古地磁気学的研究によるこの単純な古気候 / 磁気パターンは私のグローバルな地球物理学の重要な部分を形成した．そして，（黄道に対する）地球の空間的な方位は地質時代の初期から不変なままであったというアーサー・メイヤーホフの対立的な論文が登場した．それには過去の動植物の多様性を説明するために多数の場当たり的な生物的・気候的要素が援用された．それゆえ，古気候における一定の傾向は何もなかった．そして，彼は明らかに流行の概念に冷淡で，19 世紀後半以

来のグローバルな古気候の一般的な帯状移動にこだわった．そのときまでに，私は自分の実験的・分析的古地磁気学の経験から，仮説を取り込んだ観察結果の取り扱いには極めて批判的になっていた．そして今や，私はメイヤーホフの古気候の証拠に対する奇妙な取り扱いが非現実的で場当たり的な逃避であると感じた．

1993 年の後半，アーサー・メイヤーホフの反プレートテクトニクスの大レビュー論文が公表されてから 20 年，私は彼と長時間にわたって古気候の状況を議論する機会を得た．このとき，彼は自分のデータ評価に間違いがある（とくに古生代に関して）可能性を認めた（以下の 1994 年 3 月の彼の手紙を参照）．それにもかかわらず，1996 年（彼の早すぎる死の 2 年後）アーサー・メイヤーホフを筆頭著者とする顕生代の動植物をレビューした本が刊行された（Meyerhoff et al., 1996）．GSA の紀要の編集序文は 1994 年 6 月 17 日の日付になっており，彼の私宛の手紙からわずか 4 ヶ月後である．その中で，彼は初期の主張のいくつかを取り下げた．彼にとって原稿の重要な変更をするだけの十分な時間がなかったであろうことは明らかである．

地質学的な過去に，現在の陸塊は繰り返し広範に浅い縁海で覆われた．深海盆は明らかに中生代後期以前には存在せず，高い山や山脈が中新世後期以前に存在したという適切な証拠はまったくない（Ollier and Pain, 2000; Storetvedt, 2003 参照）．古生代の間は地表地形は比較的平坦だったと推測され，立証することが極めて難しい生物地理区を生み出すような著しく複雑な陸と海の分布は必ずしも必要ない．それにもかかわらず，Meyerhoff et al. (1996, fig. 5) のオルドビス紀の地図は Spjeldnæs（図 14）のそれとよく一致している．北の大陸は温帯の水生動物が支配し，他方北西アフリカは同時代の古地理極を象徴して広く氷河に覆われた地域であった．これは古地磁気データと一致する古気候パターンである．ペルム紀初期（彼らの図 8）に関して，主要な氷河で覆われた地域はアフリカ南部に移動した．再び伝統的な古気候の証拠と古地理の極の位置が一致した．古地理の極は古地磁気学的考察（Storetvedt 1990, 1997）にもとづき，南アフリカ最南部の少し南西に位置した．その時までに対応する古赤道は中央ヨーロッパを切って通過した．

ペルム紀初期は南の大陸における氷河作用が特徴的な最も重要な時期である（Frakes, 1979）．この時期の広く分布する氷河堆積物により，比較的短期の地球の寒冷化が関与したように思われる．例えば，西オーストラリアの氷期後に当たるペルム期前期の堆積物から産した化石の酸素同位体測定は表面水の温度がそれぞれ 8℃と 24℃であったことを示した（Lowenstam, 1964）．ペルム紀の最初期（サクマーリアン世）はグローバルなピーク冷却期となり，サクマーリアン世後に徐々に正常な環境へ回復したという考えに調和するのは，南半球の広範な氷の蓄積の末端近くに形成された欧亜苦灰統（Eurasian Zechstein）の蒸発岩盆地の発達である（Frakes, 1979）．

古地磁気学的考察（Storetvedt, 1997 and 2003）によると，先アルプス変動期に南の大陸は全体として今日のそれとは形状がやや異なっていた．つまり，南大西洋の扇状に南に開いた形はまだ形成されていなかった．そして，オーストラリアに関しては，現在のグレート・オーストラリア湾は発達途上にあるインド洋に対して東へ顔を向けていた．このように，サクマーリアン世の冷却イベントの間，インド洋を取り囲む大陸の縁辺は冷涼（アフリカ）か古中緯度のいずれかであった．対応する相対的な北極は北太平洋の 40°N に位置し，シベリア北部から報告されたペルム紀早期の氷河性堆積物の存在と調和する（Meyerhoff and Teichert, 1971; Meyerhoff et al., 1996）．言い換えると，メイヤーホフらの証拠は上で議論された古気候の帯状システムの移動と大局的には一致している．それにもかかわらず，メイヤーホフらは，多くの研究が，デボン紀後期から今日まで，現在の回転軸に関して軸対称の明瞭な帯を形成する 2 極分布を現出していると主張した．私は彼らの主張と結論に戸惑い続けた．

メイヤーホフらの 1996 年の紀要で，彼らはしばしば大洋盆を冷たいあるいは暖かい水塊で満たした．それに関してはほとんど何の証拠もなく，南極の先ペルム紀の気候的証拠が‘いい加減に’与えられている．ペルム紀については，化石林と旺盛な成長の証拠が要約して示されただけで，批判的な科学的態度のようなものは何もない．例えば，メイヤーホフらは以下のように書いている．

**“ 大木の幹が著しく高緯度にある南極で発見されたが，Funder et al. (1985) , Francis and McMillan (1987), and Burckle and Pokras (1991) により示されたように，著しく高緯度での大木の存在は大陸の移動を前提としていて正当な主張ではない．Taylor et al. (1992) は最近，南極横断山脈のアチェルナール山（Mount Achernar）からペルム紀後期の森を記載し，その切り株は明瞭な年輪を有し，元々は 80 〜 85° S 付近で成長した．”**

もちろん私は南極での熱帯〜温帯環境の広範な化石の証拠がウェゲナー流の大陸移動を要求するものではないということに同意する．一方で，化石 / 古気候の証拠は，南極が少なくとも先カンブリア時代以来，極大陸であったという間違った前提によって明らかに縛られてきた．一方で，南極が第三紀中期より前には極環境になかったという信ずべき強力な理

由がある．真の極移動のダイナミックな現象と合わせると，上で議論したように，（額面通りにとった）南極の化石の証拠は容易に説明がつく．それゆえ，奇抜で非生産的で場当たり的な生物 / 気候メカニズムは必要がなくなる．

## メイヤーホフとの徹底的な討論

私は 1986 年にプレートテクトニクスに最終的な見切りをつけた後，アーサー・メイヤーホフと時々手紙を交換し，我々はワシントン DC のスミソニアン研究所での NCGT シンポジウムで初めて出会った．新しい理論の包括的な提示は後に Chatterjee and Hotton III (1992) により編集された会議報告書で公表された．1970 年代初期以来，私はアーサーの古気候の証拠の取り扱いに疑問を持っていたが，彼の論文はプレートテクトニクスと矛盾する豊富な地質学的事実を私に与えてきた．それは私が自分の学生に紹介した‘心をかき乱す’資料であった．早い段階で私は，アーサーが，私にとっては疑問の余地のない事実であり，地球の歴史を理解するための最も重要な機械装置として認めたダイナミックな現象である極移動の頑強な反対者であることを悟った．彼はどのような基礎に立って極移動を却下したのだろうか？そして，彼の多くの古気候データの場当たり的な解釈は，‘感情的な’アッピールの傾向と混じりあって，極移動を避け，大陸 / 大洋と極の安定を含んだ 19 世紀の北米収縮学派を擁護するためだったのだろうか？

しかしながら，サージテクトニクスの 1992 年の提示は決して読みやすいものではない．それは私自身のグローバル地球物理学の舞台とは完全にはずれていた．実際に，私はその内容を理性的に把握するまで彼らの大論文を少なくとも 3 回は読んだ．私は自分の実験的･分析的古地磁気学での長い経験の間，結論が実験的証拠と著しく異なるというケースに数多く遭遇したので，科学的データの取り扱いに極めて批判的になっていた．イデオロギーと希望的思考がしばしば実験による‘事実’より先にやってきて，私がサージテクトニクスの記事を読んだときも，そのカテゴリーに当てはまる多くの例に気づいたように思った．さて，1993 年 11 月の北米講演旅行との関連で，アーサーは私をタルサ（オクラホマ）の彼らの家に招いてくれた．彼らは私に自分が我々相互のアイデアを交換するために丸 1 日を空けておくと書いてくれていた．昼食のための 1 時間と午後のお茶の短い休憩を除いただけで，朝の 9 時から夕方の 5 時まで続いた我々の長い討論は非常に楽しいものとなった．我々はラウンジの床に据えられた非常に大きな地球儀の前に腰をおろし，自分たちの科学的差異を明確にしようとした．何よりも先に，彼はそのときまでに正式の名がついていなかった私の新しいグローバルテクトニク理論をかいつまんで話すように求めたが，彼もまたサージテクトニクスがどのように私のスキームに合うのだろうかと思っていた．私は地震トモグラフィーによって明らかにされた地球深部のどちらかというと混沌とした状態が化学的に分化した内部という伝統的な見方に矛盾するということから話し始めた．

私は，コア / マントル境界領域の全体スケールでの‘地形’と大陸 - 深海盆の表面配置の間の密接な関係を示唆している Morelli and Dziewonski (1987) の研究を引用した．これは，脱ガスが不完全な地球と，マントルを通じた垂直方向の質量移送というダイナミックな結果へと無理なく導く．不均等に分布する脱ガスというシナリオはモレリとジウォンスキーが示唆したものであるが，マントルの物理的・化学的状態の水平方向での変化を生み出し，大陸の深い根の存在は当然の結果となる．

さらに，不規則に分布する内部の垂直方向の質量の移送は地球の慣性モーメントの変化を生み出してきたであろう．それは古気候と古地磁気の両方の証拠によって立証されるダイナミックな現象である極移動と惑星の回転速度の変化のいずれをも引き起こした．この関連で，私は化石貝殻の成長線にもとづく 1 日の長さの長期間での変化に関する Creer (1975) の総括（図 15）を引用した．この結果は，過去 500m.y. にわたる漸進的ではあるがまちまちでゆっくりした地球回転速度を示している．その間には断続的な加速と減速が生じたように見える．このことは，質量の内部再配置で基本的な質量移送が上方にも下方にも向かったことを意味する．さらに，クリー

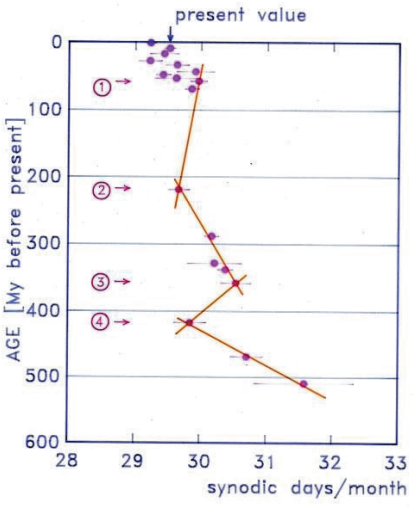



図 15　化石貝殻の成長線にもとづいて推定された先カンブリア紀後の 1 ヶ月の日数のまとめ．図は Creer (1975) を簡略化したもの．地球の回転が全体的に遅くなっていることを示すジグザグしたパターンに注目．減速期の間に地球が加速された時期が挟まっている．回転速度の変化点は主要な地質時代境界に対応する．

ル（Creer）の総括で立証された不連続点が十分立証された造構上の変革期にいかに密接しているかは注目に値する．これらはタコニアン（4. オルドビス紀後期），アカディアン（3. デボン紀後期），アパラチアン - パラチニアン（2. ペルム紀 - 三畳紀の境界付近），アルプス変動のクライマックス期（1. K/T 境界付近）である．

私は地球の持続的な脱ガスによる内部質量の不均等な再配置が最大慣性軸の周期的な変化を引き起こすのであろうということを強調した．したがって，回転の安定性を再び獲得するために，地球体は黄道に対して比較的明瞭な空間回転（極移動のイベント）を行なってきたであろう．私は，そのようなダイナミックな変化は，地球の内部が明らかに熱化学的平衡から外れていることを示唆する地震トモグラフィーからの増大しつつある証拠だけでなく，古気候のトレンド，古地磁気極の経路に関する古典的な証拠とも調和していると述べた．私は彼に，自分の物理学論法から見て，彼の古気候データが全く困惑するものであり，それゆえ彼の 1970 年代初期に公表された古気候図を受け入れることは，これまでも今もできないと話した．

私の意見では，それは回転速度の変化という方法か極移動というイベントかのいずれかの方法で　惑星回転が断続的に変化することであり，グローバルテクトニクスにおける主要でダイナミックな原動力を表している．事実，地球の不規則な内部状態は持続的な脱ガスと調和し，彼が固守するサージテクトニクスの原動力としての冷却収縮モデルとは調和しない．私の率直で伝統に囚われない主張は彼にとっては不愉快なものだったに違いないが，驚いたことに彼はその友好的な表情を崩さず，少しも驚いたようには見えなかった．事実，彼は私が論理的な思考を提示し，自分が予言したサージチャンネルで求められている圧力増大のための一層効果的なメカニズムを与えてくれたと言って応じた（以下も参照）．我々はさらに十分立証された脈動的な地球の歴史，すなわち様々な様相の造構的隆起が目立つ比較的短い時代と，それによって中断される静穏で地質学的に長い時代からなる地球の歴史の性格について議論を続けた．我々は断続的な一次オーダーの地球の発達について完全に同意し，私は確立された海水準変動曲線（図 16）がこの脈動システムのもう 1 つの現れであると考えると付け加えた．事実，目立った海退イベントは造構変動の時期と一致し，海水準の低いところが Creer (1975) により得られた惑星回転速度の不連続点と一致する．生物の大異変と造構発展が海水準の顕著に低い時期と関連しているということは非常に重要な事実である．私は，彼が定義したサージテクトニクスは大スケールで長期の‘地球のシステム’について何か意見を言うことはできないと言った．彼は，サージテクトニクスは本来アルプス期から最近までの造構的様相の原因を説明するという限られた視野しか持っていないと言ってそれに同意した．ここでランチタイムとなった．

午後，我々は地球の種々の回転の造構的重要さ，結果としてアセノスフェアでどのように圧力が増大するのか，下部地殻のメルトと揮発性物質は下部地殻のエクロジャイト化に効果的な要因となってきたのかなどを，付随するであろう重力性のデラミネーション，地殻質量の上部マントルへの消失，アイソスタティックな盆地の沈降などとともに討論し続けた．この関係で，私は海洋化の過程，すなわち，大洋盆を形成しながら下部地殻がどのように上部マントル過程によって‘むしばまれる’かを例証する北

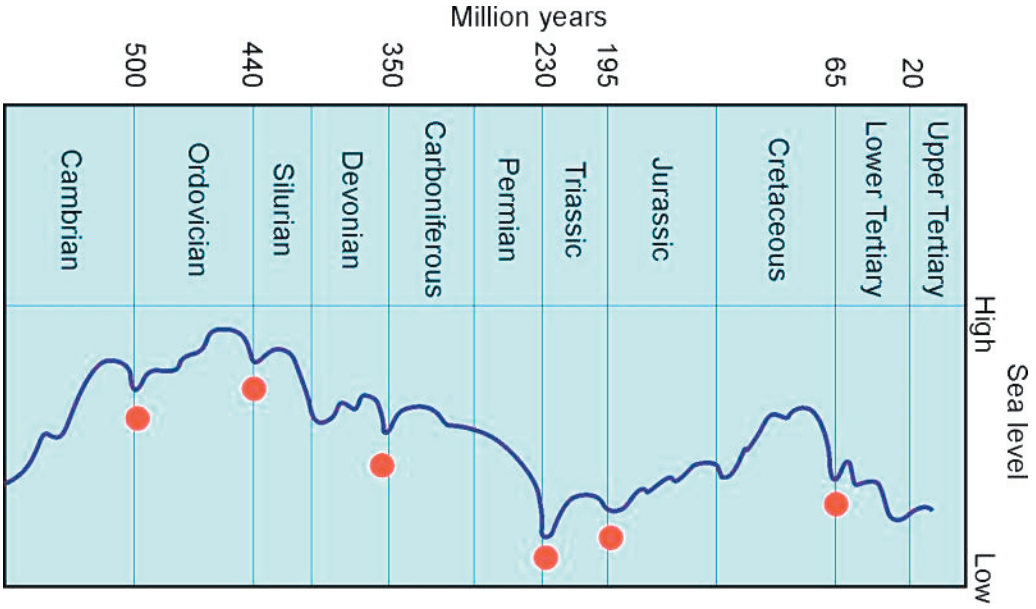



図 16　先カンブリア時代後の一般化された海水準変動曲線．海棲生物が大量に絶滅した 6 回の主要なイベントに印（赤丸）をつけてある．図は Hallam (1992) にもとづく．

部ピレネー断層帯の西方延長を横断するビスケー湾内部の深部地震探査(Pinet et al., 1987)を引用した.

その時点では私はまだアセノスフェアのサージチャンネルの可能性に好意的であったが，大西洋中央海嶺に沿ったマグマの流れというアイデアを支持するいかなる観察結果も見つけることはできなかった．私が入手可能な事実を解釈するにつれて，海嶺に平行な断裂シムテムは，直交断裂の汎地球的ネットワークの基本的セットの 1 つが造構性剪断で再活動したとするとずっとうまく説明できる．もう 1 つの造構的不連続は，海嶺に垂直な露出の良い断裂 / 断層システムで容易に見られた. 次に, アーサーが，海嶺に沿ったアセノスフェアのマグマの流れを支持すると考えた彼らの感受性コントラストモデル，つまり，断層に関連して引き起こされると思われる海嶺に沿った磁気感受性のコントラストについて言及した.

私の脱ガスが関連した地球の歴史によると，揮発性物質に富むがムラのあるアセノスフェアが徐々に形成された結果，地球の外側領域は加速的ではあるがムラのある変化を被ってきた．DSDP データその他の海洋情報，とくに Ruditch (1990) の研究を参照すると，現在の深くて薄い地殻を持った大洋地域は基本的には中生代後期と第三紀のものである．それは, かつての大陸地殻の薄化と種々の化学的変化(海洋化）を通して形成されてきた．推定されるアセノスフェアの形成と大洋のリソスフェアが力学的に脆弱化した結果，白亜紀後期の地球は以前より造構的に一層不安定な状態にあった．そこへ造構的災害というべきアルプス変動のクライマックス期が近づいてきた．このようにして上部マントルへ失われたかなりの量の地殻塊が地球の慣性運動をかなりの程度変えたであろう．これによりリソスフェアの慣性効果を伴って地球の回転がある程度加速された. さて, 地中海の南縁に沿って通っていた当時の赤道帯に関しては，古北半球が中ぐらいの時計回りの捻れをこうむったのに対し，古南半球は対応する反時計回りの捻れに見舞われ，古赤道地域に沿って全体的に横ずれ圧縮帯が形成された．言い換えると，地球のリソスフェア全体が緯度に依存した捻れを受けた．その結果生じたリソスフェアの応力場では新たに形成された現代の大陸が弱い相対的な回転を被ったが, 力学的に弱い大洋地域は幅広い造構域，つまり新たなアルプス褶曲帯に転化した，と私は説明した．そして，大陸及び大洋のリソスフェアに影響を及ぼしつつ，緯度に依存した慣性力が適度な強さとなるにつれて，多くの大規模な断裂 / 断層帯は自然に発達中の大陸縁辺を切り，時には隣接する大洋地域へ深く伸びていった.

私のアルプス変動システムの概要を話している間, アーサーは黙って聞いていたが，主要な陸塊のわずかな方位変化だけを含む私の可動的造構システムが, ウェゲナーのそれと明らかに異なることを知って彼は安心した．このように，重要な駆動力は地球の回転であった．彼のサージテクトニクスとまったく同じように！慣性駆動の大陸の捻れは介在する大洋盆に中程度の変形を作り出した．この過程で南大西洋と北大西洋はどちらも現在の南方向へ扇状に開いた形をとるようになった．水平方向の大陸分離は必要なかった．アーサーは今や私のグローバルテクトニクシステムを完全に理解したことを認めた．私の従来の背景が古地磁気学であったので，彼は私の極移動経路の不一致が伝統的な大陸分離に巻き込まれるのは当然と考えた．したがって，彼は私の 1990 年のかなり冗長な記事（Storetvedt, 1990）の言わんとしたことを著しく誤解していた．彼は，多くの仲間が私の言わんとしたことを全く誤解したために首をかしげたことを打ち明けた.”**私はこのあたりの人々があなたをちょっと気が変な奴と考えたことを遺憾に思う**”と彼は言った．私は，科学の歴史は過去の本当に科学的な発展の背後にいた個々人を時には変人とみなしたことを示しているのだから，そのように呼ばれたことは全く光栄なことだと答えた.

我々は地球の歴史の一次オーダーの一連の現象を論じ続け，彼は自分のサージテクトニクスが地質学的事実の多様性，とくに主要な地質時代境界を特徴づける広範囲な隆起に対して巧みな説明を与えなかったことに同意せざるをえなかった．彼は自分の理論が基本的にアルプス期の地球の造構発展に関するものであると繰り返した．しかし，彼は，十分立証されている北極及び南極地域の温帯中緯度～亜熱帯動植物相の突然の消滅といったようなアルプス期のいくつかの重要な気候局面を議論したくないように見えた．いずれにせよ，我々が話したり話さなかったりした相違点にかかわりなく，柔らかい上部マントル帯, つまりガス･流体と混ざり合ったアセノスフェアの存在により，地球の回転速度のわずかな変化でさえ地球を一種の水圧ポンプに変えると考えるのは自然であるという点で我々は合意した．結果として多くのリソスフェア及び表面の地質学的効果が無理なく出現する.

しかしながら，我々はスコチア，小アンチル，バンダ / スンダ弧のようないくつかの特殊な弧状の構造の解釈では一致しなかった．それらは彼によればサージチャンネルの流れで容易に説明のつく造構作用の産物であった. これらの構造に関して, アーサーは自分の仮想的なサージチャンネル内に推定されるマグマの流れに基礎をおき，他方，私は公表された古地磁気データに対する自分の解釈にこだわった．この段階で我々は科学における包括的な理論の意義 / 役割に論議を進めた．私はどんなグローバルな理論も，予測と確認の長い過程を経て，場当たり的な理論的規定なしに全範囲の多様な現象を首尾一貫

したシステムに収めることができなければ‘真理’とは認められないと主張した．私は，彼らが広めているサージモデルは私の理解では‘正確’で機能的な説明の枠組という地球物理学的要求に応えていないと付け加えた．我々の構造的細部に関する不一致と彼が話した高熱流量帯を私は見ることができなかったという事実にもかかわらず，その日は極めて友好的な雰囲気で満たされた．それにもかかわらず，驚いたことにアーサーはその日の終わりに‘すべてを包括した’グローバルな地質学的理論を発展させるために彼に協力するよう私を誘った．私はそれを快く受け入れた．かつての気の変なノルウェー人は受け入れることができる仲間となった．我々は当時どちらも本を出版するのに忙しかったので，彼は我々の共同プロジェクトのさらなる計画を立てるために1996年の後半に会いたいと提案した．不幸なことに彼は1994年の９月に早くも亡くなってしまった．

その日一杯，我々はグローバルテクトニクスの多くの喫緊の課題を熟考した．そこでは我々は彼のサージテクトニクスにとって決定的ないくつかの側面に関して一致できなかったが，私は彼がいくつかの重要な動力造構論の要素に関する彼の意見を変え，私の議論を概略受け入れたという印象を持った．とくに，彼は自分の古気候データの取り扱い，つまり，多くの関連する古典的な成果を見落としていたことに対して少し恥じ入っているように見えた．それゆえ，直後に私は彼がグローバルテクトニクスにおける情勢をどのように要約するのか危ぶんだ．４ヶ月後の1994年３月10日付けの手紙で，彼は学究的世界では異常な意思表示である多くの科学的な‘ざんげ’をした．彼の手紙の科学的部分は本誌に２回公表されたが，グローバルテクトニク理論に関して今行われている討論に応じて，またNCGTの新しい読者に対する有益な情報として，それを再び公表するのは適切であろう．アーサー・メイヤーホフは次のように書いている．

**“ 君と私がいくつかの同じ古地磁気データを全く違って解釈したことは間違いないが，全体として我々は多くの点で同意したように思う．私は我々のいずれもが自分たちの仮説が互いに共存でき，それらがほとんど完全に相補的であるということを繰り返し言いたい．君の仮説はもっとも確実に‘大きな絵’を示し，私の仮説は地表/リソスフェア/アセノスフェアのテクトニクスに関する詳細を示す．**

**何よりもまず私は非常に偏見のない人間である・・・したがって，私が次に言うことは君を驚かすかもしれない．君は私の地図が現在の極に関して正確に対称的であるとは思えないと言った．私は今までにこれがおそらく先シルル紀のデータに対する真実であると述べてきた．君が私に書いてくれたことに照らして自分の地図を見ると，私はこれが先ジュラ紀か先三畳紀のデータに対してもおそらく真実だと思う．私は君の考えが基本的に正しく健全だと確信し，自分のデータを注意深く再検討することを余儀なくされ，自分を奮い立たせてできるだけ客観的になろうと思っている．幸いこれらの記事は25年ほど前に書かれたので，私がその時書いた文言はもはやシナイ山の頂上の石に埋め込まれた青銅の飾り板に刻まれることはない！**

**君はサージテクトニクスが古気候に直接的な関係を持たないと述べたのは完全に正しい．いいや，カルステン，君は何も誤解していなかった．誤解していたのは私だったと思う．君がサージ造構運動が他の方法では説明できない多くの細かい造構的な地形の原因を説明する一種の水力ポンプであると言ったことは完全に正しい．**

**我々は君のモデルがスコチア，小アンチル，バンダ/スンダなどの弧のようないくつかの重要な地形を説明するという君の言い分に関してはちょっと一致しなかった．これらはリソスフェアに対するアセノスフェアの東への（相対的な）移動に完全に適合する．しかし，君の仮説はウラル褶曲帯を少しうまく説明するし，先三畳紀の北部アンデス－アパラチア，Ouachita-Arbuckles，そしておそらくもっと古いもののいくつか（東アフリカのカレドニアとさらに古い褶曲帯，アゼルバイジャンその他）も説明するだろう．それはまた，カレドニア山地（狭義）を説明する際にも役立つだろう．**

**そこで，とりあえず1996年の後半で，どこかお互いが同意できる場所で話し合うことができる日を作ることを提案させてほしい．カルステン，君の仮説はあまりに重要で（私は自分のもそうだと思うけど）後回しにはできない．私は２つの仮説が補足的で互いに共存できると深く信じているので，君と私が一緒に我々の地球科学を作ることができるという最大の寄与の１つが将来のいつか，できるなら今世紀末までに著作の中で２つの仮説を一緒にしたものを提示することだと感じている・・・”**

私は我々の話し合いについての自分の印象と大いに一致したアーサーの手紙に非常に喜んだ．討論の間，彼の仕草は自分が古気候に関する初期の主張に実際は満足していないことを物語っていた．そして，手紙の中では，私が期待したほどではないが，彼自身がそれを認めることに成功している．私は，北の大陸を横断し，北極海/バレンツ海地域に沿って東西に伸びる十分立証された古生代の熱帯とそれに対応するアフリカの地理上の極について彼を困らせようとしたが，彼はそれをすり抜けて話した．また，私は十分知られた第三紀中期の，とくに現在の極地方に対して示された急速な気候変化について彼に何か言って欲しかったが，彼は何も言わなかった．これらの回避的なふるまいにもかかわらず，彼の手紙から判断すると，彼は後で私が提示した先カンブリア後の地球の気候変化のトレンドに適合するように自分の証拠を解釈し直した．我々の討論の間，もし私

が岩石に刻まれた古気候の証拠を完全に誤解していたのでなければ，そしてすべての以前の古気候学者が間違っていなければ，彼の気候図は間違っているということを言った．そこで，彼は今，手紙の中で”いいや，カルステン，君は何も間違っていなかった，間違っていたのは自分だったと思っている”と告白している．

我々の 1993 年 11 月の討論で，私は褶曲帯が明らかに 2 つの古地理環境，すなわち，1) 当時の赤道に沿った全体的に横ずれ圧縮の地帯か，2) 対応する古赤道に大きな角度をなす横ずれ引張 / 横ずれ圧縮のリフト化した地帯のどちらかで形成されたことを理解した．時間とともに断続的に南へ移動したと説明されている先カンブリア後のヨーロッパの造構帯はずっと前から知られていた．すなわち，ヨーロッパを横断する褶曲帯は対応する古赤道システムと歩調を合わせて伸びている．したがって，2 つのスキームの組み合わせは造構過程が地球の回転と密接に伴っていることを強く示唆した．地球の回転もまたサージテクトニクスの重要なメカニズムであったから，このことは明らかにアーサーを目覚めさせるものであった．我々はそれによってグローバルな造構過程の機械装置に関する何らかの共通の基礎を得た．さらに，彼は自分の手紙で，多くの褶曲帯を説明した私の理論が彼自身のサージテクトニクスより優れていることを認めた．そう言うことにより，彼は自分の古気候図をそれとなく取り下げ，最終的には真の極移動の現象を受け入れた．それに対して増大する古気候の証拠が 19 世紀の変わり目から入手できるようになった．したがって，彼が古気候に関して**“記事はほとんど 25 年前に書かれたので，私が書いた言葉はもはやブロンズの飾り板には深く刻み込まれない・・・”**と書いたとき，私には大きな驚きはなかった．

アーサーは，黄道に対する地球の空間的移動（真の極移動）を含む地球の回転の変化が，実際に我々の会議での討論を控えていた彼の純粋に仮説的な収縮よりずっと効果的な造構‘推進装置’であるらしいと悟ったように思われる．このように，地球回転の変化はアセノスフェアの静水圧に影響を及ぼしてきた．それによって不規則なマグマの流れだけでなく，強力なガスの噴出，火山活動が構造的に生じる．しかし，私が古地磁気データはいくつかの顕著な島弧がリソスフェアの捻れ作用の産物であることを示唆しているように見えると述べたとき，彼は強く異議を唱えた．彼は，これらの弧は**“リソスフェアに対してアセノスフェアが（相対的に）東方へ移動することに完全に適合している”**のだから，実際の古地磁気結果とともに何かが間違っているに違いないと考えた．この関連で，彼は**“君と私はいくつかの古地磁気データを全く異なって解釈した”**と書いた．しかし，私は 1993 年 11 月の訪問時に，アーサーの古地磁気学に関する知識がごく限られていることを悟った．それゆえ，今さら磁化の様相，基本的原理，データの扱いに関する詳細に立ち入っても始まらなかった．

いずれにせよ，彼は後にレンチテクトニクスと呼ばれる私の理論がグローバルテクトニクスの“大きな絵”を示し，他方，サージテクトニクスは地表 / リソスフェアのテクトニクスの詳細を説明するうえで役に立つということを受け入れた．これは，もっと正確に言うと，我々の議論と彼のその後の手紙の内容からみて，サージテクトニクスは主としてアルプス期～最近の構造に関することである．つまり，科学哲学の用語ではレンチテクトニクスは‘一次オーダー’の理論的枠組み（‘大きな絵’を説明する）であり-地球の歴史の大局的な面を説明し，他方，サージテクトニクスは地表の構造的詳細（とくにアルプス時代の構造）を理解する‘二次もしくは高次オーダー’のリソスフェアの変調装置である．1994 年の春まではこれが科学的内容と共存可能な 2 つの理論についての私の全体的な理解であった．しかし，数年後，科学的理論の哲学的な基礎をより深く理解し，グローバル地質学のもっと詳細な知識を得た後で，私はついにサージテクトニクスを完全にあきらめた．このモデルは科学的に検証可能とするにはあまりに多くの場当たり的な規定 / 調整を自分勝手に付け加えた．リソスフェアとアセノスフェアに対して多くの推定的だが不確実な構造的要求がなされ，サージテクトニクス仮説は事実上，予言能力がない．それゆえ，それは機能的な科学理論の最も基本的な必要条件を満たしていない．

## デビッド・プラットの事態を立て直そうとする試みに関するコメント

最近の大論文で，David Pratt (2013) は，ここ数年，どちらかというと眠った状態にあったサージテクトニクスをわざわざ有名にした．1990 年代の中頃以来，メイヤーホフの死後，私の知る範囲では，このモデルの強調する原理や操作方法が科学的な公開討論の場で本気に議論されることはなかった．しかし，NCGT 誌はしばしばサージテクニクの哲学が明らかに背後に潜んでいる特殊な造構問題に関する記事を掲載している．その点（サージテクトニクス）に関する科学的啓蒙への貢献は，プラットの論文だけでなく，最高司祭としてのアーサー・メイヤーホフの名をもって，天からの贈り物として多くの方法でなされた．どのモデルも多くの理論的弱点は検証に値しないように見える．そして 1994 年 3 月のメイヤーホフが明らかに譲歩した手紙は本誌の 2010 年 6 月に公表されたものが最後であるが，一定の距離がおかれたままになっている．そのような振る舞い方は科学というより原理主義者のイデオロギーの香りがする．事実，プラットの長ったらしいエッセーの目的は，相対的な極移動と‘大陸’の可動性に都合よく用いられてきた，あるいは用いられているすべて

の原理・方法・一連のデータに疑いを投げることである．しかし，そうすることで，彼は自分が明らかになじみの薄い科学的領域へしばしば‘不法侵入’している．全体として彼が書いたものには，彼が本当にリソスフェアのレンチテクトニクシステムを理解したと私を納得させるものはほとんど何もない．

デビッド・プラットは，アーサー・メイヤーホフの成果に対して盲目的に傾倒しているとともに，明らかに古地磁気学をよく知らない．種々の地磁気その他の現象にもとづいて，彼は古地磁気データが古気候や極移動のような種々の地球物理的現象への信頼できる道標ではないと結論づけている．彼の多くの誤った判断は経験不足によるもののように見えるので，私は彼がこの分野には経歴がないとみている．しかし，メイヤーホフらの仮説に力を借りた古気候の主張を‘跳び越える’ことにより，プラットは，彼らの気候データが少なくとも原生代以降の大陸と極の安定に調和的であると全面的に結論づけている．これは彼の論文に特有なことであるが，どういうわけか，その他の人々を‘ごまかし’，言いくるめようとし続けている．私は彼にアーサー・メイヤーホフの手紙をもう一度読み，アーサーがそこで何を言っているかに注意することを勧める．そのうえ，プレートテクトニクスが地球科学を巻き込んだ混沌とした技術情勢，つまり彼が繰り返し言及した問題であり，発行以来本誌の議題であり続けた問題について私がコメントする必要はない．私は記事を読みながら，彼の目的が主として古地磁気データに基礎をおくレンチテクトニクスに対する電撃的集中攻撃を実施することであり，そうであれば私の反論がどんなものであれ，レンガの壁に話しかけるようなものだろうと感じる．しかしながら，私は古地磁気学的方法に関する希望的で見通しのあるコメントをいくらか付け加えたいと思う．

最近数年のいくつかの脅迫的な反応から判断して，私の動力造構論に関連したグローバルな見方についての多くの論文は，人によっては嫌がられたかもしれない．それにもかかわらず，科学を進歩させるのは，大事にしているモデルに対する盲目的な傾倒によってではなく，十分に論じられた推理と真の洞察力を通してのみである．例えば，実験と観察にもとづくすべての他の科学と同様，古地磁気学は結果が点として散在することで苦しめられてきたが，誰がこの状況の責任を問われねばならないだろうか？方法か，基本的仮定か，無能な解析者か．私は活動的な古地磁気学者としての 25 年の間，多ベクトル古地磁気学とそれらの個別の地磁場成分の分離に特に興味をもってきた．私は滅多に自然の‘奇妙な’振舞いを非難する理由を見いだせなかった．裏に潜んだ古地磁気の構造は，結果としての（正味の）磁化がその下位の成分にうまく分配された場合はいつでも驚くほど単純であった．パターン認識にある程度熟練していることは，常にこの作業で最重要なものだろう．つまり，隠された物理的なパターン / トレンドに気づく能力は，邪魔な要素が多数ある中で，磁化の成り立ちを解明するための実験室での努力のうち最初の重要な段階である．しかし，残念なことに，現在の古地磁気学の教科書は，型通りの測定と標準的な統計技術を強調しつづけるだけで，これらの重要事項に関する展望はほとんどない．そのため，あまりにしばしば人為的な結果で終わり，最も重要な古地磁気情報をうかつにも隠してしまう．

一般に，岩石は多くの方法でその磁化を獲得する．それは，しばしば造構過程が引き金となる主として鉄酸化物の化学的変化と磁気酸化物の種々の離溶メカニズムを通して行われる．もし，問題の期間に極変化及び（又は）極移動のイベントが生じたら，結果としての自然残留磁化は必ず複雑なベクトル構成を獲得することになる．したがって，未解決の磁化は何か特殊な方位を示すのかもしれない．そのような状況を解決するために，認知と洞察は型にはまった処理手続きを固く守るよりしばしばはるかに重要である．さらに，通常ゆっくりで長い岩石の磁化の履歴により，短い期間の地球磁場特性（永年変化と短い期間だけ極軸が相対的に逸脱するイベントを含む）は，極めて新しい火山岩類や堆積岩類は別にしておそらく記録されない．したがって，地質学的材料中の長期の残留磁化の獲得は，実験試料のような小さな容積の岩石中でさえ，しばしば短期間の地磁気と極軸不安定イベントの平均になる．それゆえ，岩石が分かりやすい実験分析を施された場合は，私の経験では，磁化の平均的な方位が地磁気双極子磁場（GADF）のそれを示す．古生代から現世までの古典的な古気候と古地磁気にもとづいて予想された極移動経路に伴う赤道の方向がよく適合する（図 13 参照）ということは，GADF モデルが妥当であることを強く支持する証拠である．実験的分析的古地磁気学での私の経験と，偶然的なイベントの経路がどのように私のレンチテクトニクスの可動的システムへと導いたかについては別の科学的自伝エッセーの中で立ち返るとしよう．しかしながら，この討論を閉じる前に，我々はプラットの気難しいコメントのいくつかを一瞥してみよう．

レンチテクトニクスの可動的システムの発想は突然生まれた．1989 年初期の私は，ニューキャッスル・アポン・タインの大学で休暇中，縁海であるテチス海が中生代後期に消滅し，大規模なアルプス - ヒマラヤ褶曲剪断帯に取って代わられた合理的な動力造構論的説明を見つけようと，John Piper (1988) の古地磁気データベースの本を閲覧していた．一群の散在するデータを通して数週間熟考している間に，私は突然，それによって以前は説明できなかった多くの地質学的，古地磁気学的，その他の地球物理学的データのつじつまが合う隠された構造に気がついた．

中生代後期と第三紀の西ヨーロッパとアフリカから得られた古地磁気の極を整理してみると，対称的に配置され反対向きの極経路（polar pass）ができた．西ヨーロッパから得られた推定極パターンの信頼度は，中央及び東ヨーロッパのアルプス帯の北翼（南ドイツ，南ポーランド，スロバキア，かつてのソ連の南部）からの公表された中生代 - 第三紀の相当な数の極によって精度が高まっている．データベースと討論に関する参考文献は Storetvedt (1990) と Storetvedt et al. (1990) を参照．このようにして，地中海地域に沿って走るアルプス期の古赤道に関して，リソスフェアの可動性が地球のいくらか不安定な回転による慣性効果によって生じたということが明らかになった．ヨーロッパとアフリカから得られた緯度方向の極の支脈は反対向きになっているが，180°E, 55°N 付近の同じ極の先端で終わっている（対応する反対の極は現在の座標で 0°E, 55°S）．グローバルテクトニクスの文脈では，緯度の極システムは，地球の歴史の中で明らかに最も広範で力強い造構発展であるアルプス変動のクライマックス期に相当する．この白亜紀後期から第三紀前期の隆起は地球体のかなり目立った空間変位（第三紀中期あたりで緯度にして合計約 35° に達する）で終わった．実際の極セグメントは図 17 に示されている．

私の論文の 1 つにある図（Storetvedt, 1992, p. 205）－それは，アフリカ - ヨーロッパの造構関係に対する古地磁気学的基礎についての参考文献と討論は初期の 2 つの成果（Storetvedt 1990; Storetvedt et al., 1990）を参照したもの－を取り上げて，デビッド・プラットは**“ 図中では年代データがどれも完全に欠落していることに注意．ストレッベットは・・・古い極は矢印の反対方向に’年代が増すと推定される‘と簡単に述べている．同じ不備は彼のすべての図に見出される”**（原文のまま）．この文言は関連する再磁化の問題を誤解している以外の何物でもない．

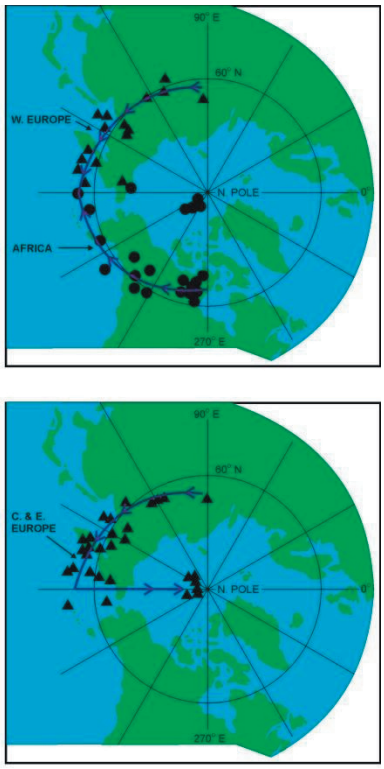



図 17　西ヨーロッパ・アフリカ（上図）とアルプス帯のすぐ北の南東ヨーロッパ（下図）から得られた中生代～第三紀の古地磁気極の移動曲線．さらに詳細については本文と Storetvedt (1990, 1997) を参照．

アルプス変動のクライマックス期（白亜紀後期から始新世後期）に地球のリソスフェアは特に傷つきやすくなり，剪断が関連した残留磁化のリセットが行われた．したがって，この過程で古地磁気の極はその実際の岩石年齢から著しく解離してしまったのであろう．それによって，決定された‘汚染された’極の集団はアルプス期の極の軌跡の末端に向かって若くなる．別な言葉で言うと，図 17 の緯度方向の矢印は，岩石の年代ではなく，アルプス期の化石磁化（極）の推定パターンを反映している．アルプス変動のクライマックス期の終わりは始新世末であり，私の古地磁気データの解釈によると，その後は地球体が急速に緯度方向に変位した．そのような古赤道の膨らみのリセットは自然にガスと揮発性物質に富むアセノスフェアの静水圧変化を引き起こした．それにより始新世と漸新世の境界を明確にする造構性の隆起が生じたであろう．いずれにせよ，私は実験と観察で対処する科学におけるパターン認識の重要性を再度強調したい．残念なことに，この重要事項の洞察は自然科学の分野では広く認識されていない．だから，大部分の公表された結果が個々の分野の真の発展に僅かしか寄与していないのは当然と言える．

図 17 は，グローバルテクトニクスが地球の回転の変化を原動力としたリソスフェアの慣性効果によって規制されているということを直接示している．例えば，アルプス期の古赤道帯は地中海南部とペルシャ湾地域に沿って走っていた．その古赤道に対してアフリカを含む古南半球は反時計回りの捻れを被った．そのようなリソスフェアの捻れは，古赤道に向かって強度が増す緯度依存の作用であり，リソスフェア全体が密に発達する直交断裂システムによって壊されているので（Storetvedt and Longhinos, 2012 を参照），アフリカは古赤道地域へ向かって強まる慣性的な回転変形を顕著に被ってきた．この予測と調和して，Neev and Hall (1982) は，大陸を横断する断裂システムがアフリカ北部に達しているところで，造構帯が地中海内部に向かって目立った反時計回りのスウィングを示すことを見出した．この運動システムは実際，GPS で得られる位置速度のパターンと調和的である．このように中央及び南アフリカの GPS 基準点の動きは北東方向への運動とぴったり一致し，アフリカの大陸を横断する巨大剪断帯（Neev and Hall, 1982; Neev et al., 1982）の方向と調和的であるが，アルプス期の赤道により近いアフリカの北東隅と中東地域を横断するところでは GPS 速度システムは明瞭な反時計回りになる（図 18）．結論的に，大規模なアルプス期の造

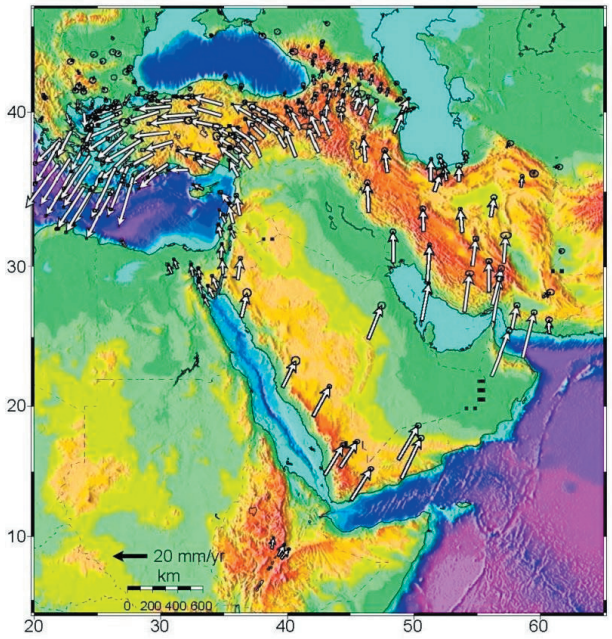



図 18　GPS 速度場によって決定された反時計回りの運動システム（Reilinger et al., 2006 から引用）．それは，ヌビア（アフリカ）からアラビアを横断してキプロスとエーゲ弧の造構前線で終わり，アフリカから得られた地球物理的・造構的証拠と調和する（Storetvedt and Longhinos, 2012; Storetvedt and Bouzari, 2012 参照）．

構発達がしっかりはめ込まれたグローバルレンチシステムは明らかにまだ進行中であり，このことは造構過程が地球の回転と表面上密接に伴っている限り驚くことではない．しかし，矛盾したサージテクトニクスと同様に，デビッド・プラットは奇妙な言説を携えてやってくる．彼は，中東が現在反時計回りに回転していることに同意していることでは肯定的であるが，地中海東部の造構回転の極について語るときは，実際には固い / 剛性のブロックの回転というプレートテクトニクス概念へジャンプしている．それは高度に破砕されたリソスフェア内で操作するレンチテクトニクスシステムとは相容れない．

## 結び

過去数年にわたって，私はサージテクトニクスの熱愛者による感情的な爆発とひいき的な言説に全く驚かされてきた．そのいくつかに対しては，明らかに怒りが競合する考えを守るうえで必要な要素になった．とくに，最近の David Pratt (2013) による記事はひどいものである．彼によれば，可動的なものはすべて問題外であり，他方，サージテクトニクスは宗教的な信条のように扱われている．その基本的前提は岩石のように固く，いかなる再考の必要もない．彼がサージテクトニクスを引用するところはどこでも彼の主張が一連の‘平底船’のような言説になる．したがって，私はグローバルテクトニクスという命題の将来の討論のために，サージテクトニクスの支持者が，その創始者であり主要な著者であるアーサー・メイヤーホフが 1994 年の春，彼の早すぎる死のわずか 6 ヶ月前に私に送った正直で寛容な手紙を考慮に入れてくれることを心から望む．私の体験に従い，我々の個人的接触にもとづくと，アーサー・メイヤーホフ は彼の現在の支持者の何人かより自分のアイデアの科学的限界をわきまえ，はるかに現実的な考え方を持っていた．

## 謝辞

40 年以上にわたる私の信頼できる協力者であるフランク・クリーヴランド（Frank Cleveland）は，今は引退した身であるが，再び図を作成して私の技術的な手助けをしてくれた．彼に深甚の謝意を表する．

（注）本文中に挿入した＊ 1 ～ 17 は訳者による注釈

## 文　献

Adams, F.D., 1954. The Birth and Development of the Geological Sciences. New York, Dover, 506p.

Agocs, W.B. et al., 1992. Reykjanes Ridge: quantitative determinations from magnetic anomalies. In: New Concepts in Global Tectonics. Lubbock, TX, p. 221-238.

Anderson, D.L., 2005. Eclogite in the Mantle. www.MantlePlumes.org

Andersson, J.G., 1906. On the geology of Graham Land. Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, v. 7, p. 19-71.

Austrheim, H., 1987. Eclogitization of lower crustal granulites by fluid migration through shear zones. Earth Planet. Sci. Lett., v. 81, p. 221-232.

Austrheim, H., 1990. The granulite-eclogite facies transition: A comparison of experimental work and a natural occurrence in the Bergen Arcs. Lithos, v. 25, p. 163-169.

Baird, D.J. et al., 1996. Crustal structure and evolution of the Trans-Hudson orogen: Results from seismic reflection profiling. Tectonophysics, v. 265, p. 416-426.

Barrell, J., 1914. Upper Devonian delta of the Appalachian geosyncline. Am. J. Sci., v. 37, p. 87-109.

Barron, E.J. et al., 1989. Initial Reports of the Ocean Drilling Project, Leg 119. College Station, TX.

Bertrand, M., 1887. La chaîne des Alpes et la formation du continent européen. Bull. Soc. Geol. France, v. 15, p. 423-447.

Bhat, M.I., Smoot, C. and Choi, D.R., 2011. Scientific Logic behind Surge Tectonics Hypothesis. NCGT Newsletter, no. 58, 50-63.

Bonatti, E., 1976. Serpentinite protrusions in the oceanic crust. Earth Planet. Sci. Letters, v. 32, p. 107-113.

Bonatti, E., 1978. Vertical tectonism in oceanic fracture zones. Earth Planet. Sci. Letters, v. 37, p. 369-379.

Bonatti, E. and Honnorez, J., 1976. Sections of the earth’s crust in the equatorial Atlantic. J. Geophys. Res., v. 81, p.

4104-4116.

Breuer, D. and Spohn, T., 1993. Cooling of the Earth, Urey ratios, and the problem of potassium in the core. Geophy. Res. Lett., v. 20, p. 1655-1658.

Brown, D.A., 1968. The Geological Evolution of Australia and New Zealand. London, Pergamon Press, 419 p. Brown, H.I., 1977. Perception, Theory and Commitment. Chicago, Univ. of Chicago Press, 203 p.

Buchardt, B., 1978. Oxygen isotope palaeotemperatures from the Tertiary period in the North Sea. Nature, v. 275, p. 121-123.

Bullard, E.C. et al., 1965. The fit of the continents around the Atlantic. In: A symposium on Continental Drift, Phil. Trans. Roy. Soc. Ser. A, v. 258, p. 41-51.

Cannat, M., 1993. Emplacement of mantle rocks in the seafloor at mid-ocean ridges. J. Geophys. Res., v. 98, p. 4163-4172.

Cannat, M. et al., 1995. Initial Reports of the ODP Leg 153. Washington DC, US Govt. Print. Office.

Chalmers, A.F., 1978. What is this thing called science? Milton Keynes, Open University Press, 179 p. Chatterjee, S. and Hotton, N. III,(Eds.), 1992. New Concepts in Global Tectonics. Lubbock, Texas Tech. Univ. Press, 449 p.

Colbert, E.H., 1966. The Age of Reptiles. New York, Norton & Co., 256p.

Collinson, J.W. and Miller, M.F., 1991. In: Gondwana Seven Proceedings, p. 217-231 (referenced in Ziegler 1993).

Creer, K.M., 1975. On a tentative correlation between changes in the geomagnetic polarity bias and reversal frequency and the Earth's rotation through Phanerozoic time. In: Growth Rhythms and The History of the Earth's Rotation. London, John Wiley, p. 293-317.

Crowley, T.J. et al., 1989. Seasonal cycle variations on the supercontinent of Pangaea. Geology, v. 17, p. 457-460.

Dana, J.D., 1881. The continents always continents. Nature, v. 23, p. 697-702.

Davies, J.H. and Davies, D.R., 2010. Earth's surface heat flux. Solid Earth, v. 1, p. 5-24.

Du Toit, A., 1921. The Carboniferous Glaciation of South Africa. Trans. Geol. Soc. South Africa, v. 24, p. 188-227.

Du Toit, A., 1954. Geology of South Africa (3rd Edition), Edinburgh, Oliver & Boyd, 611p.

Duhem, P., 1962. The Aim and Structure of Physical Theory. New York, Atheneum, 344p.

Dusén, P., 1908. Über die Tertiäre Flora der Seymour Insel. Wissenschaftliche Ergebnisse der Schwedischen Südpolar-Expedition 1901-1903, v. 3.

Dutton, C.E., 1889. On some of the greater problems of physical geology. Bull. Philosophical Soc. Wash., v. 11, p. 51-64.

Einstein, A., 1934. On the method of theoretical physics. Philosophy of Science, v. 1, p. 163-169.

Feyerabend, P., 1988. Against Method. London, Verso, 296 p.

Firestein, S., 2012. Ignorance – how it drives science. Oxford, Oxford University Press, 195 p.

Frakes, L.A., 1979. Climates Throughout Geologic Time. Amsterdan, Elsevier, 310 p.

Fu., B. et al, 2001. Fluid inclusions in coesite-bearing eclogites and jadeitic quartzite at Shange, Dabie Shan (China). J. Matamorphic Geol., v. 19, p. 529-545.

Garnero, E.J. and McNamara, A.K., 2008. Structure and Dynamics of Earth's Lower Mantle. Science, v. 320, p. 626-628.

Gates, O. and Gibson, W., 1956. Interpretation of the configuration of the Aleutian Ridge. Geol. Soc. Am. Bull., v. 67, p. 127-146.

Gold, T., 1985. The origin of natural gas and petroleum for future supplies. Annual Review of Energy, v. 10, p. 53-77.

Gold, T., 1999. The Deep Hot Biosphere. New York, Springer, 235p.

Gosnold, W.D. and Panda, B., 2002. Interim compilation of the International Heat Flow Commission (http//www.heatflow.org).

Green, M.T., 1983. Geology in the Nineteenth Century: Changing Views of a Changing World. New York, Cornell University Press, 320 p.

Green, A.G. et al., 1986. Seismic reflection imaging of the subducting Juan de Fuca plate. Nature, v. 319, p. 210-213.

Green, H.W. et al., 2012. Seismic evidence of negligible water carried below 400-km depth in subducting lithosphere. Nature, v. 467, p. 828-831.

Grunow, A.M., 1995. Implications for Gondwana of new Ordovician palaeomagnetic data from igneous rocks in southern Victoria Land, East Antarctica. J. Geophys. Res., v. 100, p. 12.589-12.603.

Hall, J.M., 1979. The oceanic crust: Investigations by Canadian groups on the Mid-Atlantic Ridge crest and other areas. Can. J. Earth Sci., v. 16, p. 695-711.

Hallam, A., 1992. Phanerozoic Sea-Level Changes. New York, Columbia Univ. Press, 260 p.

Halle, T.G., 1913. The Mesozoic flora of Graham Land. Wissenchaftliche Ergebnisse der Schwedischen Südpolar-Expedition 1901-1903, v. 3, p. 3-124.

Heer, O., 1868. Die fossile Flora der Polarländer. In: Flora fossilis arctica, v. 1, 38 p.

Heer, O., 1880. Nachträge zur Fossilen Flora Grölands. Kungl. Svenska Vetensk.-Akad. Handlingar, v. 13, p. 1-29.

Hofmeister, A.M. and Criss, R.E., 2005. Earth's heat flux revised and linked to chemistry. Tectonophysics, v. 395, p. 159-177.

Hoyle, F., 1955. Frontiers in Astronomy. Melbourne, Heineman, 360 p.

Hunt, C.W., 1992. Endogenic quartz sands and quartzites. In: Expanding Geospheres. Energy and Mass Transfers from Earth's Interior. Calgary, Polar Publishing, p. 291-330.

Hunt, C.W., 2001. Dual geospheres; oxidic carapace: hydridic interior. NCGT Newsletter, no. 21, p. 4-10.

Irving, E., 1964. Palaeomagnetism and its Application to Geological and Geophysical Problems. New York, John

Wiley, 399.

Ito, K. and Kennedy, G.C., 1970. The fine structure of the basalt-eclogite transition. Mineral. Soc. Am., Spec. Paper 3.

Jefferson, T.H., 1982. Fossil forest from the Lower Cretaceous of Alexander Island, Antarctica. Palaeontology, v. 25, p. 681-708.

Kahnemann, D., 2011. Thinking, fast and slow. London, Allen Lane (Penguin Group), 499 p.

Karson, J.A. et al., 2006. Detachment shear zone of the Atlantis Massif core complex, Mid-Atlantic Ridge, 30 °N. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 7, doi: 10.1029/2005GC001109.

Keating, B.H. and Sakai, H., 1988. Red Beds in Antarctica, ODP Leg 119. EOS, v. 69, p. 1161.

Kelly, D.S. et al., 2001. An off-axis hydrothermal vent field discovered near the Mid-Atlantic Ridge at 30°N. Nature, v. 412, p. 145-149.

Kennett, B.L.N and Tkalčić, H., 2008. Dynamic Earth: crustal and mantle heterogeneity. Austr. J. Earth Sci., v. 55, p. 265-279.

Klein-BenDavid, O. et al., 2007. Fluid inclusions in diamonds from the Diavik mine, Canada, and the evolution of diamond-forming fluids. Geochim. et Cosmochim. Acta, v. 71, p. 723-744.

Kobayashi, T. and Shikama, T., 1961. The Climate History of the Far East. In: Descriptive Palaeoclimatology, New York, Interscience Publishers, p. 292-306.

Koschinsky, A.A. et al., 2006. Discovery of new hydrothermal vents on the southern Mid-Atlantic Ridge (4°S-10°S) during cruise M68/1. InterRidge News, v. 15, p. 9-15.

Kreichgauer, P.D., 1902. Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl, Missionsdruckerei, 304 p.

Kutzbach, J.E. and Gallimore, R.G., 1989. Pangaean Climates: Megamonsoons of the Megacontinent. J. Geophys. Res., v. 94, p. 3341-3357.

Kuhn, T., 1970. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago, University of Chicago Press, 210 p.

Köppen, W., 1923. Die Klimate der Erde. Grundriss der Klimakunde. Berlin, Verlag de Gruyter, 369 p.

Köppen, W. and Wegener, A., 1924. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, Gebrüder Bornträger, 256 p.

Lakatos, I., 1968. In: The Problem of Inductive Logic. Amsterdan, North Holland, p. 315-417.

Lakatos, I., 1974. The role of Crucial Experiments in Science. Studies in the History and Philosophy of Science, v. 4, p. 309-325.

Lakatos, I., 1978. The methodology of scientific research programmes. Cambridge, Cambridge University Press, 250p.

Lake, P., 1922. Wegener's displacement theory. Geological Magazine, v. 59, p. 338-346.

Larsen, C.A., 1894. The voyage of the 'Jason' to the Antarctic regions. Geographical J., v. 4, p. 333-344.

Ma, T.Y.H., 1936. On the Devonian equator located by the growth rate of tetracorals. J. Geol. Soc. Japan, v. 43, p. 353-356.

Mason, R.G., 1958. A magnetic survey off the west coast of the United States. Geophys. J. Roy. Astron. Soc., v. 1, p. 320-329.

Mason, R.G. and Raff, A.D., 1961. Magnetic survey off the west coast of North America, 32°N latitude to 42°N latitude. Bull. Geol. Soc. Am., v. 72, p. 1259-1266.

Laudan, L., 1977. Progress and its Problems. Berkerley, University of Calfornia Press, 257 p.

Lawrence, J.F. and Wysession, M.E., 2006. Seismic evidence for Subduction-Transported Water in the Lower Mantle. In: Earth's Deep Water Cycle, Am. Geophys. Un., Geophysical Monograph Series 168, p. 251-261.

Lee, S. and Wiens, D.A., 2006. Seismological Constraints on Earth's Deep Water Cycle. In: Earth's Deep Water Cycle, Am. Geophys. Un., Geophysical Monograph Series 168; p. 13-26.

Leech, M.L., 2001. Arrested orogenic development: eclogitization, delamination, and tectonic collapse. Earth Planet. Sci. Lett., v. 185, p. 149-159.

Lister, C.R.B., 1980. Heat flow and hydrothermal circulation. Ann. Rev. Earth Sci., v. 8, p. 95-117.

Lowenstam, H.A., 1964. Palaeotemperatures of the Permian and Cretaceous Periods. In: Problems in Paleoclimatology. London, Interscience Publ., p. 227-248.

Ludwig, K.A. et al., 2006. Formation and evolution of carbonate chimneys at the Lost City Hydrothermal Field. Geochemica, Cosmochemica Acta, v. 70, p. 3625-3645.

Luyendyk, B.P. and Melson, W.G., 1967. Magnetic properties and petrology of rocks near the crest of the mid- Atlantic Ridge. Nature, v. 215, p. 147-149.

McKenzie, D.P., 1967. Some remarks on heat flow and gravity anomalies. J. Geophys. Res., v. 72, p. 6261-6271.

Markl, G. and Bucher, K., 1998. Composition of fluids in the lower crust inferred from metamorphic salt in lower crustal rocks. Nature, v. 391, p. 781-783.

Menard, H.W., 1964. Marine geology of the Pacific. New York, McGraw-Hill, 271p.

Menard, H.W., 1986. The Ocean of Truth. Princeton, NJ, Princeton University Press, 353p.

Meyerhoff, A.A., 1970a. Continental drift: implications of palaeomagnetic studies, meteorology, physical oceanography, and climatology. J. Geol., v. 78, p. 1-51.

Meyerhoff, A.A., 1970b. Continental drift II: High latitude evaporate deposits and geologic history of Arctic and North Atlantic oceans. J. Geol., v. 78, p. 406-444.

Meyerhoff, A.A. and Meyerhoff, H.A., 1974. Tests of plate tectonics. In: Plate Tectonics – Assessments and Reassessments, Am. Assoc. Petrol. Geologists, Memoir 23, p. 43-145.

Meyerhoff, A.A. et al., 1992a. Surge tectonics: a new hypothesis of Earth dynamics. In: New Concepts in Global Tectonics, Lubbock, Texas Tech University Press, p.

309-409.

Meyerhoff, A.A. et al., 1992b. Origin of midocean ridges. In: New Concepts in Global Tectonics, Lubbock, Texas Tech. University Press, p. 151-178.

Meyerhoff, A.A. et al., 1996. Phanerozoic Faunal and Floral Realms of the Earth: The Intercalary Relations of the Malvinokaffric and Gondwana Faunal Realms with the Tethyan Faunal Realm. Geol. Soc. Am Memoir 189, 69p.

Molengraaf, G.A.F., 1898. The glacial origins of the Dwyka Conglomerate. Trans. Geol. Soc. South Africa, v. 4, p. 103-115.

Morelli, A. and Dziewonski, A.M., 1987. Topography of the core-mantle boundary and lateral homogeneity of the liquid core. Nature, v. 325, p. 678-683.

Möller, P. et al., 1997. Paleofluids and Recent fluids in the upper continental crust: Results from German Continental Deep Drilling Program (KTB). J. Geophys. Res., v. 102, p. 18233-18254.

Möller, P. et al., 2005. Main and trace elements in KTB-VB fluid: composition and hints to its origin. Geofluids, v. 5, p. 28-41.

Nagata, T., 1961. Rock Magnetism. Tokyo, Maruzen Co, Ltd., 350p.

Neev, D. and Hall, J.K., 1982. A Global System of Spiralling Geosutures. J. Geophys. Res., v. 87, No. B13, p. 10.689-10.708.

Neev, D. et al., 1982. The Pelusium Megashear System across Africa and Associated Lineament Swarms. J. Geophys. Res., v. 87, No. B2, p. 1015-1030.

Newton, R.C. and Manning, C.E., 2010. Role of saline fluids in deep-crustal and upper-mantle metasomatism: insights from experimental studies. Geofluids, v. 10, p. 58-72.

Ni, S. et al., 2002. Sharp sides to the African superplume. Science, v. 296, p. 1850-1862.

Ollier, C. and Pain, C., 2000. The Origin of Mountains. London, Routledge, 368 p.

O'Neill, H. and Palme, H., 1998. Composition of the silicate Earth: implications for accretion and core formation. In: The Earth's Mantle: Structure, Composition and Evolution. Cambridge, Cambridge University Press, p. 3-126.

Opdyke, N.D. and Hekinian, R., 1967. Magnetic properties of some igneous rocks from the Mid-Atlantic Ridge. J. Geophys. Res., v. 72, p. 2257-2260.

O'Reilly, W., 1984. Rock and Mineral Magnetism. New York, Chapman & Hall, 220 p.

Parrish, J.M. et al., 1986. Permian-Triassic paleogeography and paleoclimatology and implications for therapsid distribution. In: The Ecology and Biology of Mammal-like Reptiles. Washington D.C., Smithsonian Institute Press, p. 109-131.

Parsons, B. and Sclater, J.G., 1977. An analysis of the variation of ocean floor bathymetry and heat flow with age. J. Geophys. Res., v. 82, p. 803-827.

Pilot, J. et al., 1998. Palaeozoic Proterozoic zircons from the Mid-Atlantic Ridge. Nature, v. 393, p. 676-679.

Pinet, B.L. et al., 1987. Crustal thinning on the Aquitaine shelf, Bay of Biscay, from seismic data. Nature, v. 325, p. 513-516.

Poirier, J.-P., 2000. Introduction to the Physics of the Earth's Interior. Cambridge, Cambridge University Press, 312 p.

Pollack, H.N. et al., 1993. Heat-Flow from the Earth's interior – Analysis of the Global Data Set. Rev. Geophysics, v. 31, p. 267-280.

Pomerol, C., 1982. The Cenozoic Era. Chichester (UK), Ellis Harwood Ltd., 272 p.

Popper, K.R., 1959/2002. The Logic of Scientific Discover. London, Hutchinson/Rutledge, 513 p.

Pratt, D., 2013. Palaeomagnetism, Plate Motion and Polar Wander. NCGT Journal, v. 1, no. 1, p. 66-152.

Ribeiro da Costa, I. et al., 2008. Antigorite in deformed serpentinites from the Mid-Atlantic Ridge. Eur. J. Mineralogy, v. 20, p. 563-572.

Rona, P., 1980. The Central North Atlantic Ocean Basin and Continental Margins. NOAA Atlas 3. US Dept. of Comm., 99 p.

Ruditch, E.M., 1990. The World Ocean Without Spreading. Shallow-Water Facies of the World Ocean (Part I). Evolution of the World Ocean in Late Mesozoic and Cenozoic (Part II). In: Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory, Volume II, Athens, Theophrastus Publications, p. 343-395.

Russell, I.C., 1884. A geological reconnaissance in southern Oregon. U.S. Geol. Surv. Fourth Annual Report, p. 435-464.

Sahle, C.J. et al., 2013. Microscopic structure of water at elevated pressures and temperatures. PNAS, v. 110, p. 6301-6306.

Schroeder, T. and John, B.E., 2004. Strain localization on an oceanic detachment fault system, Atlantis Massif, 30°N, Mid-Atlantic Ridge. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 5, doi: 10.1029/2004GC000728.

Schumacher, E.F., 1973. Small is beautiful. London, Blond and Briggs Ltd., 288 p.

Schwarzbach, M., 1961. The Climate History of Europe and North America. In: Descriptive Palaeoclimatology, New York, Interscience Publishers, p. 255-291.

Schwarzbach, M., 1963. Climates of the Past. London, Van Nostrand Ltd., 328 p.

Sharman, G. and Newton, E.T., 1894. Notes on some fossils from Seymour Island, in the Antarctic regions, obtained by Dr. Donald and Captain Larsen. Trans. Roy. Soc. Edinb., v. 37, p. 707-709.

Sleep, N.H., 1969. Sensitivity of heat flow and gravity to mechanism of seafloor spreading. J. Geophys. Res., v. 74, p. 542-549.

Sloan, L.C., 1994. Equable climates during the early Eocene: Significance of regional paleography for North American climate. Geology, v. 22, p. 881-884.

Sloan, L.C. and Barron, E., 1990. "Equable" climates during

Earth history. Geology, v. 18, p. 489-492.

Smit, C.A. and Van Reenan, D.D., 1997. Deep crustal shear zones, high-grade tectonics, and associated metasomatic alteration in the Limpopo Belt, South Africa. J. Geology, v. 105, p. 37-58.

Smithson, S.B. et al., 2000. Seismic results at Kola and KTB deep scientific boreholes: velocities, reflections, fluids, and crustal composition. Tectonophysics, v. 329, p. 301-317.

Piper, J.D.A., 1988. Palaeomagnetic Database. Milton Keynes, Open University Press, 264 p.

Reilinger, R. et al., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. J. Geophys. Res., v. 111, B05411, doi: 10.1029/2005JB004051.

Spjeldnæs, N., 1961. Ordovician climatic zones. Norsk Geologisk Tidsskrift, v. 41, p. 45-77.

Smoot, N.C., 2010. Global Tectonics: An Ocean Floor Structure and age Reality Check. NCGT Newsletter, no. 56, p. 9-31.

Stein, C.A. and Stein, S., 1992. A model for the global variation in oceanic depth and heat flow with lithospheric age. Nature, v. 359, p. 123-129.

Storetvedt, K.M., 1968. On remagnetization problems in palaeomagnetism. Earth Planet. Sci. Letters, v. 4, p. 107-112.

Storetvedt, K.M., 1970a. On remagnetization problems in palaeomagnetism: further considerations. Earth Planet. Sci. Letters, v. 9, p. 407-415.

Storetvedt, K.M., 1970b. Palaeomagnetism of the Lisbon Volcanics: A Discussion of a Recent Paper by N.D. Watkins and A. Richardson. Geophys. J. R. astr. Soc., v. 19, p. 107-110.

Storetvedt, K.M., 1971. Some Palaeomagnetic Problems of Strongly Oxidized Rocks. Zeitsch. Geophysik, v. 37, p. 482-492.

Storetvedt, K.M., 1972. Crustal Evolution in the Bay of Biscay. Earth Planet. Sci. Letters, v. 17, p. 135-141.

Storetvedt, K.M., 1973a. The Rotation of Iberia: Caenozoic Palaeomagnetism from Portugal. Tectonophysics, v. 17, p. 23-39.

Storetvedt, K.M., 1973b. Genesis of West Mediterranean Basins. Earth Planet. Sci. Letters, v. 21, p. 22-28.

Storetvedt, K.M., 1974. A possible large-scale sinistral displacement along the Great Glen Fault in Scotland. Geol. Mag., v. 111, p. 23-30.

Storetvedt, K.M., 1990. The Tethys Sea and the Alpine-Himalayan orogenic belt; mega-elements in a new global tectonic system. Phys. Earth Planet. Inter., v. 62, p. 141-184.

Storetvedt, K.M. et al., 1990. A new kinematic model for Iberia; further palaeomagnetic and isotopic age evidence. Phys. Earth Planet. Inter., v. 62, p. 109-125.

Storetvedt, K.M., 1992. Rotating plates: new concepts of global tectonics. In: New Concepts in Global Tectonics, Lubbock, Texas Tech. Univ. Press, p. 203-220.

Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet, Bergen, Alma Mater (Fagbokforlaget), 456 p.

Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics, Bergen, Fagbokforlaget, 397 p.

Storetvedt, K.M., 2005a. Scientific autobiography (in Norwegian), Oslo, Kolofon, 266 p.

Storetvedt, K.M., 2005b. Polar Wander and global tectonics. Boll. Soc. Geol. It., Volume Speciale, no. 5, p. 177-187.

Storetvedt, K.M., 2007. Global Wrench Tectonics and Evolution of the Tethys. Proc. 2nd Int. Conf. on the Geol. of the Tethys, Cairo Univ. March 2007, p. 1-26.

Storetvedt, K.M., 2008. Reflections on the 33rd International Geological Congress, NCGT Newsletter, no. 48, p. 2-3.

Storetvedt, K.M., 2009. Caribbean evolution – a new account. Geoscientist Online 2nd December 2009, http://www.geolsoc.org.uk/gsl/site/GSL/lang/en/page6816.html

Storetvedt, K.M., 2010a. A Caribbean Case: Agitation of ingrained views. NCGT Newsletter, no. 54, p. 3-9.

Storetvedt, K.M., 2010b. Falling Plate Tectonics – Rising New Paradigm: Salient Historical Facts and the Current Situation. NCGT Newsletter, no. 55, p. 4-34.

Storetvedt, K.M., 2010c. Science in Dishonest Parade. NCGT Newsletter, no. 56, p. 99-104.

Storetvedt, K.M., 2010d. World Magnetic Anomalies and Global Tectonics. NCGT Newsletter, no. 57, p. 27-53.

Storetvedt, K.M., 2010e. Facts, mistaken beliefs, and the future of global tectonics. NCGT Newsletter, no. 57, p. 3-10.

Storetvedt, K.M., 2011a. Aspects of Planetary Formation and the Precambrian Earth. NCGT Newsletter, no. 59, p. 113-136.

Storetvedt, K.M., 2011b. Facts, theories, blind commitments and socio-dynamics. NCGT Newsletter, no 61, p. 112-143.

Storetvedt, K.M, 2013a. Scientific paradigms, conscious ignorance and false play. NCGT Journal, v. 1, p. 10-12.

Storetvedt, K.M., 2013b. Further discussion of N. Pavlenkova's geotectonic proposition. NCGT Journal, v. 1, p. 159-165.

Storetvedt, K.M. and Longhinos, B., 2011. Evolution of the North Atlantic: Paradigms Shift in the Offing. NCGT Newsletter, no. 59, p. 9-48.

Storetvedt, K.M. and Longhinos, B., 2012. The Atlantic and its Bordering Continents – A Wrench Tectonic Analysis: Lithospheric Deformation, Basin Histories and Major Hydrocarbon Provinces. NCGT Newsletter, no. 64, p. 30-68.

Storetvedt, K.M. and Bouzari, S., 2012. The Tethys Configuration and Principal Tectonic Features of the Middle East: a Wrench Tectonic Survey. NCGT Newsletter, no. 65, p. 103-142.

Storetvedt, K.M., Leong, L.S and Adib, M., 2003. New structural framework for SE. Asia, and its implications for the tectonic evolution of NW Borneo. Geol. Soc. Malaysia, Bull. 47, p. 7-26.

Taber, J. and Smith, S.W., 1985. Seismicity and focal

mechanism associated with the subduction of the Juan de Fuca plate beneath the Olympic Peninsula, Washington. Bull. Seismo. Soc. Am., v. 75, p. 237-249.

Tackley, P.J., 2008. Layer cake or plum pudding? Nature geoscience, v. 1, p. 157-158.

Tingey, R.J. (Ed.), 1991. The geology of Antarctica. Oxford, Clarendon Press.

Torsvik, T.H. et al., 2013. A Precambrian microcontinent in the Indian Ocean. Nature Geoscience, 24 February 2013, doi: 10.1038/NGE01736.

Tucholke, B.E. and Lin, J., 1994. A geological model of the structure of ridge segments in the slow spreading ocean crust. J. Gephys. Res., v. 99, p. 11,937-11,958.

Unternehr, P. et al., 2010. Hyper-extended crust in the South Atlantic: in search of a model. Petroleum Geoscience, v. 16, p. 207-215.

Uyeda, S., 1987. Chilean versus Mariana type subduction zones with remarks on arc volcanism and collision tectonics. In: Circum-Pacific Orogenic Belts and Evolution of the Pacific Ocean Basin. Am. Geophys. Un., Geodyn. Ser, no. 18, p. 1-7.

Uyeda, S. and Kanamori, H., 1979. Back-arc opening and the mode of subduction. J. Geophys. Res., v. 84, p. 1049-1061.

Van den Berg, R. and Huizenga, J.M., 2001. Fluids in granulites of the Southern Marginal Zone of the Limpopo Belt, South Africa. Contr. Mineral. Petrology, v. 141, p. 529-545.

Van den Berg, A.P. et al., 2002. Non-linear effects from variable thermal conductivity and mantle internal heating: Implications for massive melting and secular cooling of the mantle. Phys. Earth Planet Inter., v. 129, p. 359-375.

Von Herzen, R. and Simmons, G., 1972. Two heat flow profiles across the Atlantic Ocean. Earth Planet. Sci. Lett., v. 15, p. 19-27.

Walther, J.V., 1994. Fluid-rock reactions during metamorphism at mid-crustal conditions. J. Geol., v. 102, p. 559-570.

Wang, T. et al., 2011. Crustal thickness anomalies in the North Atlantic basin from gravity analysis. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 12, no. 3, Q0AE02, doi: 10.1029/2010GC003402

Wegener, A., 1929 (reprinted 1966). The Origin of Continents and Oceans. London, Methuen & Co, 248 p.

Wenner, D.B. and Taylor, H.P., 1971. Temperatures of Serpentinization of Ultramafic Rocks Based O18/O16 Fractionation between Coexisting Serpentine and Magnetite. Contr. Mineral. and Petrol., v. 32, p. 165-185.

Widiyantoro, S. and Van der Hilst, R., 1996. Structure and Evolution of Lithospheric Slab Beneath the Sunda Arc, Indonesia. Science, v. 271, p. 1566-1570.

Willis, B., 1910. Principles of paleogeography. Science, v. 31, p. 241-260. Willis, B., 1932. Isthmian links. Bull. Geol. Soc. Am., v. 43, p. 917-952.

Wilson, J.T., 1963. Evidence from islands on the spreading of ocean floors. Nature, v. 197, p. 536-538.

Windley, B.F., 1977. The Evolving Continents. London, John Wiley & Sons, 385 p.

Woodhouse, J.H. and Dziewonski, A.M., 1984. Mapping the upper mantle three dimensional model of earth structure by inversion of seismic wave forms. J. Geophys. Res., v. 89, no. B7, p. 5953-5986.

Woodward, A.S., 1921. Fish remains from the Upper Old Red Sandstone of Granite Harbour, Antarctica. British Antarctic Expedition 1910-1913: Nat. Hist. Rept. Geol., v. 1, p. 51-62.

Yemane, K., 1993. Contribution of Late Permian palaeogeography in maintaining a temperate climate in Gondwana. Nature, v. 361, p. 51-54.

Zeng, M., 2010. Physical and chemical changes of water in the deep interior of the Earth – Decrepitation-style mud- volcano-earthquake – A bright lamp tossed light on the mysteries of the deep interior of the Earth. Chin. J. Geochem., v. 29, p. 431-437.

Ziegler, A.M., 1993. Models come in from the cold. Nature, v. 361, p. 16-17.

Ziman, J., 1978. Reliable knowledge, Cambridge, Cambridge University Press, 197 p.

# 討　論　DISCUSSION

## 古地磁気 , 極移動 , および全地球造構運動 : いくつかの争点
## PALAEOMAGNETISM, POLAR WANDER AND GLOBAL TECTONICS: SOME CONTROVERSIES

**David PRATT**
dp@davidpratt.info

（ 矢野　孝雄・赤松　陽・小泉　潔 ［ 訳 ］）

訳者注：「 」内の翻訳文は，杉山 明 [ 訳 ]（2014）* から引用.

* Storetvedt, K.M. (2013) グローバルな理論と判断の基準 : 知識か根拠のない推測か．グローバルテクトニクスの新概念（An international journal for New Concepts in Global Tectonic）日本語版，v.1, n.3, 24-62.

本稿は，Karsten Storetvedt の評論『グローバルな理論と判断の基準』( 本号の英語版 p. 56-102, 日本語版 p. 24-62) のうち，私の総説『古地磁気，プレート運動，および極移動』(NCGT Journal, v. 1, no. 1, 2013, p. 66-152) に関する氏のコメントへの回答である．

## 地殻変動

Karsten Storetvedt によると，「デビッド・プラットは彼の記事の中でリソスフェアの可動性を匂わせるものはすべて疑わしいと述べているが，これは基本的には大陸と大洋が永続的であるとする 19 世紀後半の北米の考え方に回帰するものである．」（本号の英語版 p.59 第 2 段落，日本語版 p.27 右上）という．私の総説に「海陸分布の周期的変化について述べ，現在の海域の多くの領域がかつては陸上にあったことを示す多数の証拠を示している」と述べてあれば，それは明らかな誤解である．私の総説では，次のように記述している（英語版 p. 84 第 2 段落，日本語版 p.54-55）：

**地殻は定常的な動きを保っている．表面の形で見れば海水準の上 8.8km から下 10.8km までの凹凸をなしている．マントル内の熱流や物質移動が地殻の厚さや組成・密度の変化をもたらしていることを示す豊富な証拠が存在する．そしてそれらがプレートの衝突や沈み込みなどを必要とすることなく隆起や沈降などの現象を引き起こしているのである．鉛直方向の変位量は，山脈地域での海成層の一般的な厚さが 10km，時には 23km にも達している事実から見積もることができる．水平方向の移動に関してみる限り，野外での事実によれば，地殻をつくる層は数十キロ ( 数百キロではない！) の衝上を引き起こし，それによる地殻の伸長や短縮量は 100km を超える．ある横ずれ断層沿いでも 100km を超える変位を起こしている．しかし，リソスフェアの厚さの変化が広域で起きていること，大陸の根が深いこと，アセノスフェアが不連続的であること，プレート境界のあるものが存在しないこと，表層部とマントル深部との関係性等々を考えても，リソスフェアの断片が，固い物体として 100km や 1,000km を超えて動くことなど土台不可能なことである．**

Storetvedt はこの一節の最初の 4 つの文章を引用し，常に運動している地殻に関して述べた第 1 文の最後に，氏は「私は垂直的と考える」（英語版 p.73 第 4 段落，日本語版 p.39 左中）と加筆した．彼は，水平運動に関する記述―それは私が鉛直運動だけを認識しているという氏の示唆に矛盾する―を引用しないでおいた．

衛星測地データをみれば，地殻の水平および鉛直運動が現在進行中であることに，疑問の余地はない．しかし，実際に運動している地殻およびリソスフェア要素の広がりと厚さについて，また，それらはどれほどの距離を移動したのか，そして，原因となる力については，議論の余地がたくさん残されている．

## 惑星脱ガス

Karsten Storetvedt によれば，私はサージテクトニクスに「ひれ伏した支持者」であり，Arthur Meyerhoff を「最高司祭」と思っている，という．実際には，私はサージテクトニクスを完璧な全地球造構モデルとみなしたことはない．私は，リソスフェアの中でのマグマの鉛直および水平流動が地史に重要な役割をはたしてきたことを示す強力な証拠があると信じている．Meyerhoff et al. (1996a, p. 20-29) が明らかにしているように，このような概念は，サージテクトニクス説の発達以前にも長い歴史をもっている．地球が依然として脱ガスをつづけている事実もまた，たいへん適切であり（Williams and Hemley, 2001；Porcelli and Turekian, 2003），Storetvedt が強く主張するように，上昇する含水流体が地殻の変質と運動をひきおこすという仮説は今後検討されるべき価値をもつ．NCGT グループでは海洋化 / 塩基性化に関する多くの議論があるが（たとえば，NCGT Newsletter, no. 12, p. 18-24；no. 14, p. 18-23），結論には至っていない．

Storetvedt は，コア - マントル境界（CMB）の隆起部が主要な脱ガス領域であると推測する．彼は，その主張を証拠づけるために Morelli and Dziewonski (1987) の図―見かけ上，水平断面が海洋凹地に「密接な一致」を示す（氏の図 2：**図 1** を含む）―をしばしば引用する．しかしながら，この一致はとくに印象的であるわけではなく，問題の図はスカンジナビア楯状地ならびにカナダ楯状地の大部分の下にも CMB の隆起部が存在することを示す．Storetvedt は，氏が利用した画像は CMB トモグラフィモデルの「旧バージョン」である，という．下の図に示されるより新しいバージョンの事例は，トモグラフィモデルが違えば，まったく異なった結論が導かれうることを示す．

## レンチテクトニクスと極移動

Karsten Storetvedt は，私の論文が「サージテクトニクスをわざわざ有名にした」と考えているが，サージテクトニクスの基本的教義が議論されていない，とこぼす．私の論文の主要目的は，題名が示唆するように，古地磁気と極移動に関する学説を批判的に総説することにある．

特定の期間の平均的地磁気極が過去の地理極にほぼ一致するとの基本的仮定は未証明である．さらに，岩石中の化石磁気は多くの要因によって変質し，再帯磁がふつうに起こり，造構運動は描像をさらに複雑化させ，それらの結果，古地磁気データベースは

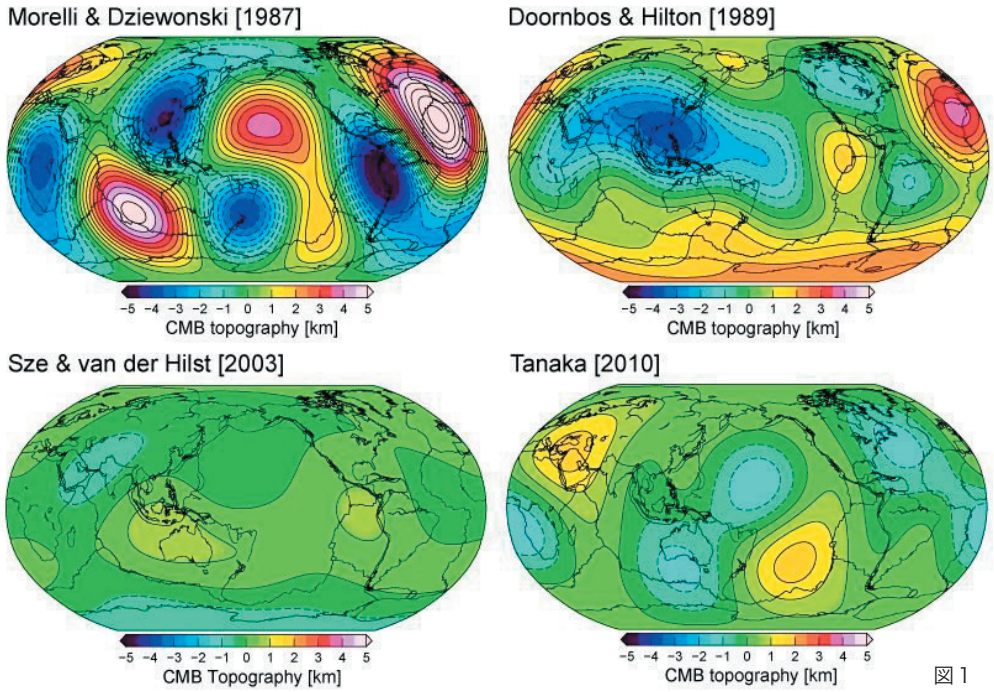



図１　(http://yoshida-geophys.jp)

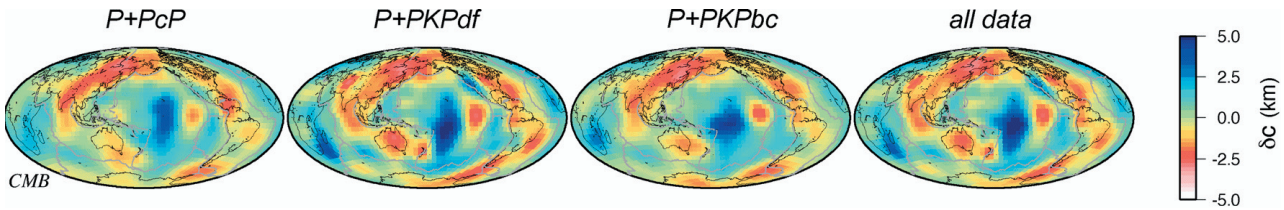



図２　CMB トモグラフィ（Soldati et al., 2012, fig. 9）.

一貫性をまったく欠くことになる．古地磁気データの選択，処理および解釈は，主観によって大きく左右される．Lisa Tauxe (2013) は，"**公表データから意味のある極を選びだすことは，古地磁気学の芸術にあたる**" という．また，Richard Kerr (1987) は，"**どれがもっとも信頼できる古地磁気データであるかを決めることは常に矛盾した課題でありつづけ，この研究分野の研究者たちには” paleomagician［古奇術師］” という滑稽な呼称が思いあたる**" という．

プレートテクトニクスは，古地磁気データをおもに全リソスフェア” プレート” の移動によって説明し，真の極移動については比較的わずかしか考慮しない．いっぽう，レンチテクトニクスは，おもに大規模な真の極移動によってそれらを説明し，大陸 / プレートの” 中程度の” 回転と移動が追加される．地球内部からの不均一な脱ガスが慣性質量の再配置をもたらし，大規模な極移動のきっかけになる，と Storetvedt は論じている．しかし，このようなことが起きるのは，地球の強度とマントル粘性が十分に小さい場合に限られる．私の論文はこの矛盾した問題を詳細に総説し，それは依然として未解決であることを示した．レンチテクトニクスは，始新世 / 漸新世（E-O）境界の 200 ～ 300 万年間に極が約 35°移動したと主張する．しかしながら，Tsai and Stevenson (2007) は，極移動は 1,000 万年間で 8°以下であると計算した．彼らの計算には，3 x $10^{22}$ Pa S のマントル粘性（実際よりも，数桁も小さすぎるだろう），マントル対流およびスラブ沈み込みが仮定されている．

レンチテクトニクスの言うところによると，北極は，おもに 180°の子午線にそって 450Ma 以降に約 20° S から現在の位置へ移動したが，途中，何回も逆行したという．ジュラ紀～前期白亜紀の極はそれらの現在の位置から遠く離れているわけではなく，赤道は中央サハラ砂漠を横切っていた．およそ 100Ma には，赤道がアフリカ大陸北縁に移動したが，その後 80 ～ 60Ma には中央サハラへ復帰し，古第三紀には地中海南縁に再移動した，と喧伝される．さらに，声高に主張される E-O 境界（約 35Ma）の爆発的極移動によって，赤道は中央アフリカを横切ってほぼ現在の位置へ移動し，中新世中頃にはアラビア中部を横切る位置へ移動した後に，5Ma 頃に現在の位置へ回帰した．

私の総説（p. 112）で述べたように，多少なりとも同じ平面内でヨーヨーのように行き来する極を想定するそのようなシナリオは深刻な軽信を強いるものである．というのは，著しく人為的で，ランダムでない様式で内部質量異常が発生したり，消失したりしなくてはならないからである．私は，E-O 境界に

おける気候変動を極移動によって解釈する場合のさまざまな問題点を指摘し，また，始新世後の気候変動に関するより最近のデータを説明する必要性を強調した．

レンチテクトニクスが提案する大陸 / プレートの回転と並進には，次のような事例がある．南アメリカの大部分が約 10°の時計回りに回転するいっぽう，南アメリカは全体として南へ 20°ほど移動した．大インドは，白亜紀 / 第三紀境界頃に 135°ほど時計回りに回転した．南極大陸は時計回りに 140°, オーストラリアは 70°反時計回りに回転し，南極大陸 - オーストラリア - ニュージランド - メラネシアブロックは北へ 15°移動した．私の論文に示したとおり，これらの主張は，大洋や大陸を横切って延びるさまざまな構造的リニアメントに整合しえない．これらの提案された大陸 / プレート回転が妥当性を欠くものであれば，レンチテクトニクスの前提に何か深刻な誤謬があるはずで，”全地球造構作用に関する次世代の見取り図”が必要になる．

Storetvedt は，古地磁気データの選別，処理および解釈に氏独自の方法を開発した．E-O 境界頃の喧伝されている 35°の極移動を支持するものとして氏が示した証拠は，彼の方法を検証する素材になる．彼は，ヨーロッパ，北アメリカ，およびアフリカの古地磁気データを選んで図示し，おそらく二次的磁化が起きたであろうとして実際の岩石年代を無視し，かつての極が 35°移動したとする氏の学説に調和的である，といとも簡単に”推論”する（私の論文の図 6.2 ならびに図 6.3 を参照）．それに対する私の反論に，Storetvedt は二次的磁化の年代に関する彼の論述を私が理解していないという．"**磁化と岩石の絶対年代は，二次的磁化によって簡単には対応しないであろう**"（p. 113）との彼自身の記述を私が引用していることに，おそらく彼が気づいていないのであろう．”推定年代”に一致する実際の岩石年代とそれらの合理的論拠を示したほうが良いだろう，との私の示唆については，彼は何も述べていない．最後に，推定年代に関する唯一の拘束は，それらが，彼が愛玩する学説に調和しなければならないことであるとすれば，そのような研究は”科学的”とはいえないだろう．

Storetvedt は，彼の持ち前の議論「リソスフェアの捻れは，古赤道に向かって強度が増す緯度依存の作用である」（英語版 p. 96 第 1 段落，日本語版 p.56 右中）をくりかえす．慣性力について，彼が好んで援用するのは，遠心力が赤道で最大になることである．しかし，コリオリ力（大陸と周辺の海洋性リソスフェアの全体を回転させることができる，と彼は考えているようだ）は，水平運動をしている物体に関するかぎり，赤道でもっとも弱い，と私は自らの総説（p. 56-57）で述べている．

## メイヤーホフの手紙

Arthur Meyerhoff と Karsten Storetvedt は 1993 年 11 月，彼らそれぞれの地球造構論をめぐる討論で一日を過ごした．私たちは，会話（Meyerhoff の仕草の彼なりの解釈を含む）についての Stretvedt の説明を聞くだけであり，それらのあるものは滑稽にさえ聞こえる．Meyerhoff は 1994 年 3 月 10 日に手紙を書き（Storetvedt からの手紙に対する返事として），彼らの仮説に関してコメントしている．この手紙からの引用は，1999 年に最初に公表され（NCGT Newsletter, no.12, p.25-27），2010 年に再度（no.55, p.29）公表された．この手紙の内容を，Meyerhoff がレンチ・テクトニクスを大幅に受容した，Storetvedt は解釈している．

手紙の中で Arthur Meyerhoff が，彼のそれまでの見解を放棄して，今では，古地磁気学・古気候学・古生物学的データに関する唯一の正しい説明として，大規模な極移動と大陸の回転を完全に認めているという見解を Meyerhoff が手紙の中で明白に述べる，といった件はどこにもない．もし彼が自らの見解をまったく根本から変えてしまったとするなら，彼はそれをもっと広く伝えたであろう．彼は，1994 年 9 月 18 日に亡くなるまで共著者たちとの意見交換をつづけたが，Dong Choi 氏によれば（2013 年の E メール），自らの見解を大きく変えたという兆候を Meyerhoff は何一つ遺さなかった．そればかりか，ほかの公表された応答にも遺ってはいない（例えば，NCGT Newsletter no.6, p.3-4 に掲載された彼が 1994 年 6 月 20 日付の手紙の引用を参照）．

彼の逝去後に公表された 2 つの研究（Meyerhoff et al., 1996a and 1996b）はともに，いかなる‘転向’の兆候を微塵も含んでいない．生物地理学にかんする著書（1995 年 7 月に出版決定）は，1970 年代に著された彼の論文の場合と同じ方法で説明された古気候学と古生物学の証拠を提示している．サージ・テクトニクスの著書（Meyerhoff が準備したデータを基礎に，彼の共著者が完成させた）は，古地磁気学は **‘不確実性によって悩まされ’**（p.64）ており，極移動は **‘空論以外の何物でもない’**（p.8）と述べ，評価できないという．もう一人の共同研究者である Irfan Taner によれば，Meyerhoff は，地殻ブロックは回転するだろうが，それは大陸全体ではないと信じていた（NCGT Newsletter, no.12, p.24），という．これは，深い大陸の根 , および，地球規模のアセノスフェアは存在しないという証拠に合致する．これらは，『サージ・テクトニクス』という書籍で最重要視された点である．

この出版物の他のところ（p.117-121）では，Arthur Meyerhoff の子供たちは，歴史的な記録を客観的にまとめていて，それは，いっそう重要な情報になる．

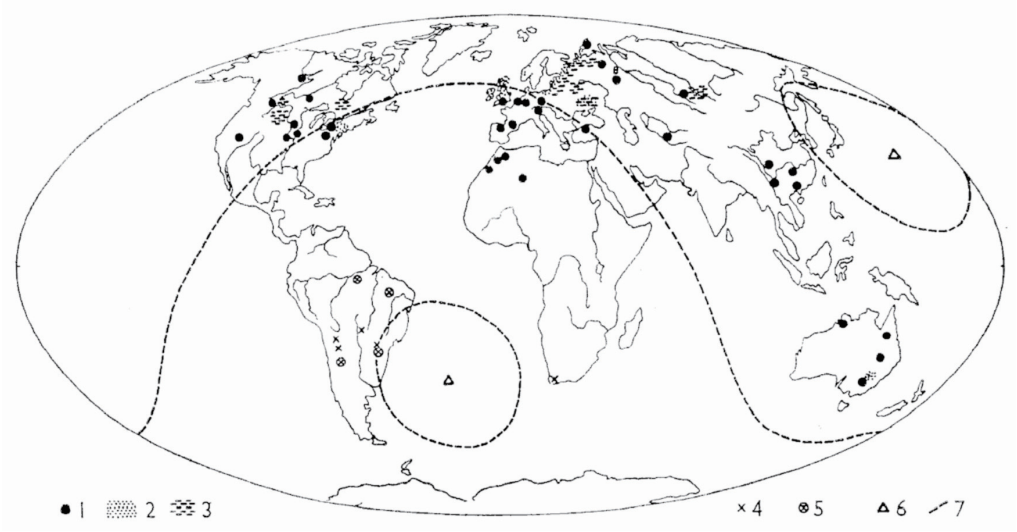



図３　デボン紀の気候図（Schwarzbach，1961，fig.3）．1 - 礁性石灰岩；2 - 旧赤色砂岩相；3 - 蒸発岩；4 - イアポ層とテーブルマウンテン水礫岩；5 - 上部デボン系氷礫岩；6 - 古地磁気の南極と北極（Runcorn による）；7 - 赤道と極線；B - ボーキサイト

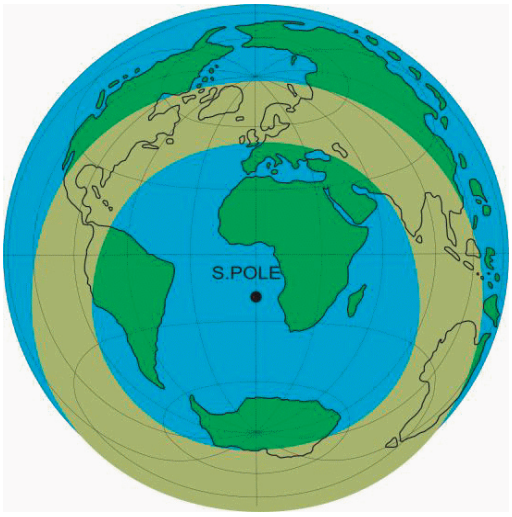



図４　古生代中頃の熱帯，レンチ・テクトニクスによる．

## 古気候

Karsten Storetvedt は，Meyerhoff の古気候図を‘dubious’（いかがわしい）と言い，手紙の中で「彼は自分の古気候図をそれとなく取り下げた」と信じている．しかし，それらの図は，多数の論拠にもとづいていて，そのまま現在の地球に古気候指標の位置をプロットしたものである．矛盾があるのはこれらのデータの解釈においてであり，あらゆる造構モデルの提案者たちは，自らの学説を強化するために，これらのデータの少なくとも一部を引用してみせることがある．Meyerhoff et al.（1996b）の図は，彼が 1970 年代に公表した図に類似している．というのは，それらの基礎データの多くが同じものであるからである．（比較のために，Chris Scotese <www.scotese.com> 編集の古気候図を参照せよ ..... プレートテクトニクスによって復元された大陸上にプロットされた欠点を持つとしても．）

Storetvedt のデボン紀の蒸発岩，赤色層，珊瑚石灰岩の図（彼の図 10）は，Schwarzbach（1961，図３参照― Schwarzbach はいくつかの堆積物を省略しているが）にもとづいていて，その図の蒸発岩地域は，Meyerhoff et al.（1996b）の図７（一部を Boucot & Gray，1983 にもとづいている）の蒸発岩地域とほど良く調和している．0° E，20° S に古南極を設定した Storetvedt の図 12（図４参照）は，彼が仮設した古生代中頃の熱帯の気候帯を示し，赤道地帯の大部分は彼の図 10 に彼が記した多くの地域を通っている．

ところが，蒸発岩，赤色層そして珊瑚石灰岩は必ずしも熱帯指標ではないことに留意すべきである．珊瑚は全般的多湿環境の温暖～冷温の指標である（Boucot，2009）．Teichert（1964）は，古生代の珊瑚と層孔虫はいかなる特定の水温指標ともすべきではないと警告している．デボン紀の古温度記録では，微生物礁が温暖期～高温暖期にもっとも繁栄し，より寒冷な期間に珊瑚 - 層孔虫礁が栄えていたことが示唆される（Joachimski et al.，2009）．

蒸発岩と赤色層は乾燥気候の指標である．乾燥地帯は確かに熱帯に発見される．しかし，現代の蒸発岩は，赤道の南北の緯度約 15°～ 45°に位置する２つの砂漠地帯に集積している（Lugli，2009）．興味深いことに，レンチ・テクトニクスは，先カンブリア時代後期 / 古生代前期の境界頃の北極を，同時代の岩塩堆積物が広く分布するパキスタン / イラン地域に置いている（Storetvedt & Bouzari，2012，図 1；Storetvedt & Longhinos，2012）．

古期蒸発岩の主要分布地が，図５に示される．Meyerhoff（1970）は，より詳細な図にプロットされているデータにもとづいて，原生代後期～現在のすべての蒸発岩の 95％が（容積・面積ともに），今日の年間降雨量 100cm 以下の地域，つまり，今日の乾燥風地帯に分布していることを発見した．大陸移動のみならず，極移動もまた，この分布状況を説明しえない．Green（1961）も，‘蒸発岩の分布は地質時代を通じて気候変化だけによって説明することが

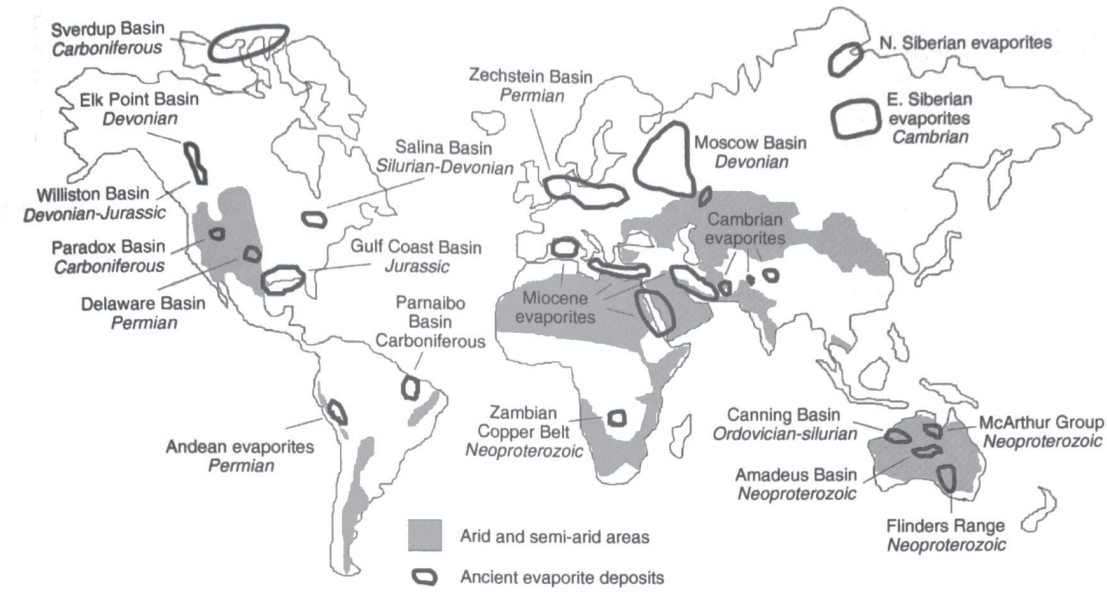



図５世界の主要な古期蒸発岩堆積物の位置，おおよその大きさ，および時代．現在の乾燥～半乾燥地帯も示されている（Lugli，2009，fig. E16）

でき，大陸塊の相対的位置移動や自転軸の極位置の変化を全く必要としない’と結論した（p．85）．Van Houten（1961）は，古気候的あるいは古地磁気的に決定された位置へ極を動かし，いくつかの二畳-三畳紀赤色層堆積物を赤道の近傍へ移動させたところで，それは同時に，他の赤色層堆積物を極の近傍へ移動させることになるという．

Storetvedtへ宛てたMeyerhoffの手紙の中で，彼は，いくつかの古気候図において気候帯は赤道に平行しないと述べている．これは彼の初期の論文でも力説された点である．現代の気候帯も，海陸分布，大陸の地形と海洋の海底地形，それらに連関した大気-海洋循環のために，赤道に平行になっていない．

Meyerhoffは，いくつかの地質時代に北半球高緯度地帯にみられる蒸発岩の分布を，一部はその時代のより温暖な地球気候によって，また，一部は北極海や北大西洋を横切るシル（海閾）の地史的発達によって説明した．つまり，次々に現れたシルが，そのような塩水を二畳紀と三畳紀には中央～西ヨーロッパへ，そして現在は地中海へ移動させたのである．Meyerhoff & Meyerhoff（1976，p.366）は，原生代～三畳紀の高緯度蒸発岩が今日の北大西洋と北極海のユーラシア海盆を境する陸域に存在すること，そして，そこが**'大規模な塩水暖流が50°～55°よりも高緯度地帯まで進入した地域の１つであること’**は偶然の一致ではない，と論じている．Storetvedtは，この筋の通った議論を**‘場当たり的だ’**として退ける．しかしながら，古気候学者たちは，海洋の通路の開閉を過去の気候を理解する上で鍵になる要素であるとしている．

## 古生代の氷河作用

南アフリカ近傍にあった中期古生代の極の位置は「当時の中央～南アフリカにおける広範な氷河作用と調和する」と，Storetvedtは述べている．厳密にこれを評価するために，我々は氷河イベントの全地球的な分布をよく考える必要がある．以下では，古生代の３つの主要氷河期における主な氷河堆積物の位置を概観する．

後期オルドビス紀～前期シルル紀には，短期間ながら厳しい氷河作用が北アフリカ，アラビア半島，南アフリカおよび南アメリカの一部に影響を与えた（Ghienne，2011；Finnegan et al.，2011；Díaz-Martínez et al.，2011；Díaz-Martínez & Grahn，2007；Le Heron & Howard，2010；Paris et al.，1995；Biju-Duval et al.，1981）．オルドビス/シルル紀のドロップストーンをともなう氷河性海洋堆積物が，カナダ［ニューファンドランド/ノバスコシア州―そこはレンチテクトニクスの赤道地帯に位置している］（Schenk & Lane，1981；Harland，1981;Kennedy，1981）と，ヨーロッパ―ブルターニュ，チューリンジアおよびイベリア半島―から見つかっている（Doré，1981；Robardet & Doré，1988;Steiner & Falk, 1981;Paris et al., 1995）（図６）．Le Heron & Dowdeswell（2009）は，小さくバラバラに分裂した氷床がさまざまな地域に存在していたというアイデアに賛同し，ゴンドワナの広大な地域を覆う巨大な大陸氷床概念を却下した．

デボン紀のほとんどの期間は，広域的に一様な気候の時代であったと信じられている（Becker et al.，2012）．オーストラリア・ヨーロッパおよびアメリカ内陸部からの酸素同位体データは，デボン紀初期の気温がほぼ30℃で，中期デボン紀には約23～25℃に低下し，再度低下する前の後期デボン紀に再びほぼ30℃に上昇した（Joachimski et al.，

図６（Meyerhoff et al.（1996b）の図５；一部 Boucot & Gray（1983）に基づいている）

2009）．しかしながら，冷水相の Malvinokaffric ファウナは，前期～中期デボン紀に南アメリカ南部・アフリカ南端および南極がより寒冷気候にあったことを示している（Boucot & Gray，1983）．オルドビス紀には，Malvinokaffric ファウナは北アメリカ・アラビア・西部ヨーロッパ・南アメリカ北部の一部および北アメリカ最東部の限られていた（図６）．

後期デボン紀～石炭紀初期に関する証拠の一部は疑問視されているが（Dickins，1993），氷河作用はアフリカ北部中央と南部およびペルー・ボリビア～アマゾン・パルナイバ盆地など，南アメリカの一部に影響を与えたと信じられている（Caputo & Crowell，1985；Caputo et al.，2008；Isaacson et al.，2008；Wicander et al.，2011；Streel et al.，2000）．同時代のティライトとドロップストーンが北アメリカ東部のアパラチア盆地，すなわちレンチテクトニクスでいう赤道地帯で発見されている（Brezinski et al.，2008；Cecil et al.，2004）．

後期石炭紀～前期・中期ペルム紀に，一連の氷河作用が南アメリカ・アフリカ・アラビア・インド・チベット・オーストラリアおよび南極に影響を与えた（Caputo & Crowell，1985；Dickins，1996；López-Gamundí & Buatois，2010；Jones & Fielding，2004）．ペンシルバニア / ペルム紀のドロップストーン・氷河性海洋堆積物およびダイアミクタイトがシベリアから報告された（Epshteyn，1981a，b；Chumakov，1994；Ustritsky，1973；Raymond & Metz，2004）（図７・図９）．

これまでの見解では，後期古生代の氷河時代は数千万年続く単一のイベントであるとされてきたが，より最近の研究は，より温暖な期間によって分割された，より短期間で不連続な氷河イベント（継続期間＜１～800 万年）のシーケンスからなることが示された（Fielding et al.，2008a，b；Montañez & Poulsen，2013）．デボン / 石炭紀境界頃には，南アメリカで短命で局所的な氷河イベントが始まった．ミシシッピー紀末期～ペンシルバニア紀には，南アメリカ・アフリカ南部・オーストラリア，そしてオマーンとアラビアに氷河が広がった．ペンシルバニア紀の後半には，氷床の中心部は保持されているにもかかわらず，いくつかの証拠は気候が温暖化に向かっていることを示す．ペンシルバニア / ペルム紀境界には，南極・オーストラリア・アフリカ南部および南アメリカに集中していた氷河が大規模に拡大し，シベリアにおける氷河性堆積物は，当時の氷河作用が２つの極を持っていたことを示している．氷床はアッセリア世と前期サクマーリアン世に最大になり，その後に急激に衰退した．氷河作用は前期・中期ペルム紀を通じてオーストラリアとシベリアで断続した．主要なイベントが地球全体に同時に発生しているように見えるが，個々の氷河作用の時代は同時期ではない．

レンチテクトニクスで提起されている移動する古磁極は，高緯度にある古生代の氷河中心を移動させ，別の氷河堆積物をより低緯度の赤道地帯にまで動かしている（Storetvedt の古赤道[*2]については，図 13 参照）．極が現在の位置に保たれているなら，古

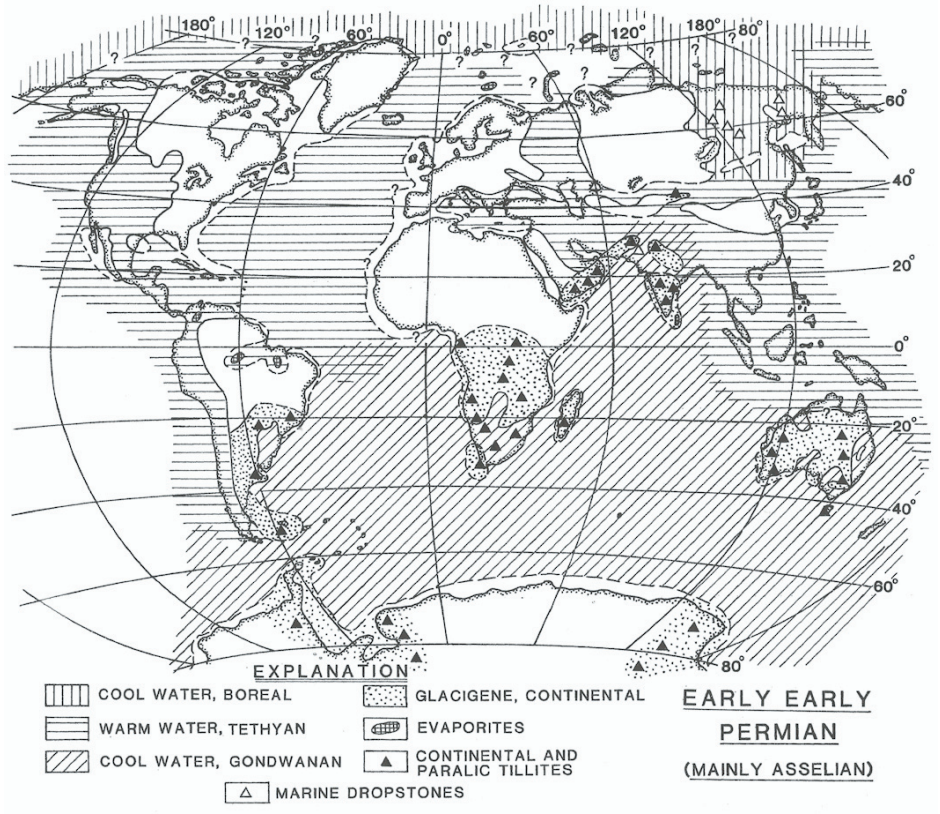



図7（Meyerhoff et al., 1996b の図8）

生代の氷河堆積物は同緯度にまで拡がっているはずである．今日でさえ，**‘赤道が通過しているいずれの大陸にも赤道付近に小さな氷河があり，更新世の氷河作用の極大期にはいくつかの氷河がより広く拡がり，著しく低高度にまで達した’**（Meyerhoff & Teichert, 1971 の p.303-304）．プレートテクトニクスによる復元では，古生代の氷河作用をピーク時には南極点から南緯 20-30º にまで拡げている（Montañez & Poulsen, 2013）；古地磁気の不確実性のために，氷河中心が赤道から離れた位置に保たれるように調整することができ，そのような大陸配置を許容しているのである．

*2 レンチテクトニクスでは，後期オルドビス紀（450Ma）に東経 180º，北緯 20º に北極点がおかれる（Storetvedt, 1997 の図 1.3，図 3.4，図 3.6）．アフリカ～ヨーロッパから選ばれたデータに基づく‘全地球的’極移動経路（1997, 図 9.5）によると，前期石炭紀（約 350Ma）の極点は，依然，実質的に同じ位置（北緯約 21º）にあった．後期石炭紀～ペルム紀（約 300Ma）までには，北緯約 41º に移動した．レンチテクトニクスによる過去 4.5 億年間にわたる古赤道はすべて，現在の赤道上の 2 つの地点―東経 90º と西経 90º ―を通過している．

氷河作用は，言うまでもなく，まさに極点でのみ作用する現象ではなく，海抜高度あるいは他の局所的要素が安定的な気候状態を生み出すなら，低緯度にも生じる．氷河作用の始まりは，気温，高地の存在，水蒸気の供給などに関係している（Meyerhoff & Teichert, 1971）．山岳氷河や谷氷河は，多くの古生代氷河イベントに主要な役割を担った（Dickins, 1985a；Meyerhoff & Teichert, 1971；Meyerhoff & Meyerhoff, 1974；Jones & Fielding, 2004；Fielding et al., 2008a；Montañez & Poulsen, 2013）．プレートテクトニクス論者は当初，後期古生代のゴンドワナには，移動する古南極点を中心に大規模な氷冠が存在したと仮定していた．ところが今日是認されているのは，より温暖な無氷河時代によって分けられた一連の短期間の氷河イベントに，氷河作用の中心からのびる多数の小～中規模氷河である（Montañez & Poulsen, 2013）．古生代の大陸氷床（主にアッセリア世）の大きさは，未だに論争中であり，Dickins（1985a, 1992, 1993, 1996）は，その証拠に対して著しく批判的な評価を下している．

地質時代における地球の気候進化の基本的特徴は，気候帯の幅の大きな変化による全地球的な温暖期と寒冷期のくりかえしである．ある地域が緯度変化することなく，そこに劇的な気候変化が生じることはまぎれもない事実である．例えば，最下部ペルム系の寒暖シーケンス（ティライトを含む）が，アラビア・パキスタン・インド半島・インド領ヒマラヤ地帯およびチベットで発見されている．それらは分類群の多様性が小さいゴンドワナファウナを含んでいる．その上位には，多様性に富むテーチスファウナをともなう浅海暖水性の熱帯～亜熱帯海域に堆積した含炭酸塩ユニットが堆積している．実際にも，前期ペルム紀の冷水性ゴンドワナファウナが，インド亜大陸～ニューギニア・西オーストラリアおよ

び亜大陸〜アンデスに広がっていたテーチス暖水性ファウナに突然に変わっている（Meyerhoff et al., 1996b；Dickins，1985b）．

ペルム紀のさまざまな大陸についての気候データの検討から，Dickins（1985b）は次のように結論した：

**気候がペルム紀の緯度を示すものとされ，別の可能性をもつ要素が無視されると，そのような情報にもとづいて，インドが遠く離れた南アメリカ大陸やアフリカ大陸南部，もっと遠くのオーストラリア大陸やさらに遠い南極大陸と赤道で接合していたと想定されてしまう．このような情報は，そのまま，現在提案されているこの時代の大陸復元に合致するわけではない**（p.87）．

極点の移動は，特定の時代の，ある選ばれた証拠を説明するための助けになるかもしれないが，私の文献レビューに示されているように，気候・ファウナ・フローラの範囲が広いことを考えると，これらの証拠からは極点の現在の位置にぴったり対応することが分かる．少なくともデボン紀以降の多くの生物相の双極的分布は，これを強く支持している（Meyerhoff et al.，1996b）．未解明の主要問題は，さまざまな地質時代に現在の海域に没した大陸塊の正確な位置と大きさであり，それらが大気 - 海洋循環やファウナ・フローラの移動に与えた影響である．

推定された氷河の運動方向に基づいて，プレートテクトニクス論者は，前期ペルム紀の氷河がアフリカから南アメリカ中東部のパラナ盆地へ，南極から南アフリカ・インド東部およびオーストラリア南部へ，そして，オーストラリアからヒマラヤやチベットの海盆へ前進したと信じている（Chumakov & Zharkov，2002）．推定された氷河の運動が正しければ，氷河は現在は水没している大陸塊に源があるはずである（Dickins et al.，1992；Vasiliev & Yano，2007）．ペルー - ボリビア盆地における後期オルドビス / 前期シルル紀の氷河堆積物に残された記録は，氷河中心と堆積物の起源が西方のアレキパ陸塊を含む大陸塊に位置していたことを示している（Caputo et al.，2008；Díaz-Martínez et al.，2011）．多様な種類の証拠が，古生代には，そこに大陸塊が存在していたことを暗示する（Dickins，1994）．

## 古地磁気幻想と矛盾

図８は，プレートテクトニクスによる中期デボン紀の古地理復元である．印象的な特徴は，とくにアジアが多くのバラバラなユニットに細切れになって拡散していることである．Boucot & Gray（1983）はプレートテクトニクスの確固とした支持者であるが，‘薄切りと角切り’にされた大陸の混ぜ合わせに対して，現代の古地磁気学からの一連の発想を厳しく批判した．例えば，分裂したアジアは広域的岩相帯の存在によって否定され，また，岩相層序学的および生物層序学的データはヨーロッパ・アフリカと中東の間の大きな変位を否定する，などと彼らは異議を唱えている．彼らは，自らのデボン紀古地理復元を提案した．彼らの復元は地質的・気候的な証拠に従っているが，海洋底拡大にもとづいているために，海洋底の‘異常な’年代や構造にかんする厖大なデータに矛盾している．

図４のレンチテクトニクスによる復元と図８を比較すると，（往々にして異なっている）古地磁気データを異なって解釈するため，ひどく異なった古地理が復元されることがわかる．古緯度に多くの矛盾が見られ，レンチテクトニクスが前提する古生代後の大陸移動を補正すると，それらはさらに悪くなる．Karsten Storetvedt は，古地磁気にもとづいたユーラシア断片群についての解決策を未だに提示していないが，それらをレンチテクトニクスの総合スキームに適合させるには，いろいろなブロック / テレーンをどの程度の回転あるいは移動させなくてはならないのか，そして，どれほど多くのデータ選択や他の‘古マジック’が必要なのかは，よくわからない．

Powell & Li（1994）によると，南極点は 400Ma にチリ南部の海岸沖にあり，360Ma にブラジル

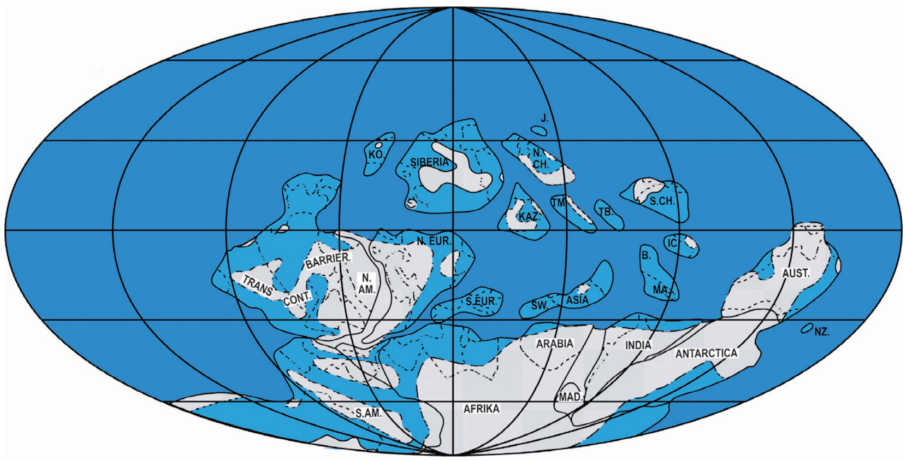



図８　中期デボン紀のプレートテクトニクスによる古地理（Becker et al.，2012）．KO= コリマ―オモロン（北東ロシア）；J= 日本；N.CH= 北中国；S.CH= 南中国；KAZ.= カザフスタン（中央アジアの一部）；TM= タリム（中国西部）；TB= チベット；B.MA= ミャンマー―マラヤ；IC= インドシナ半島；NZ= ニュージーランド．

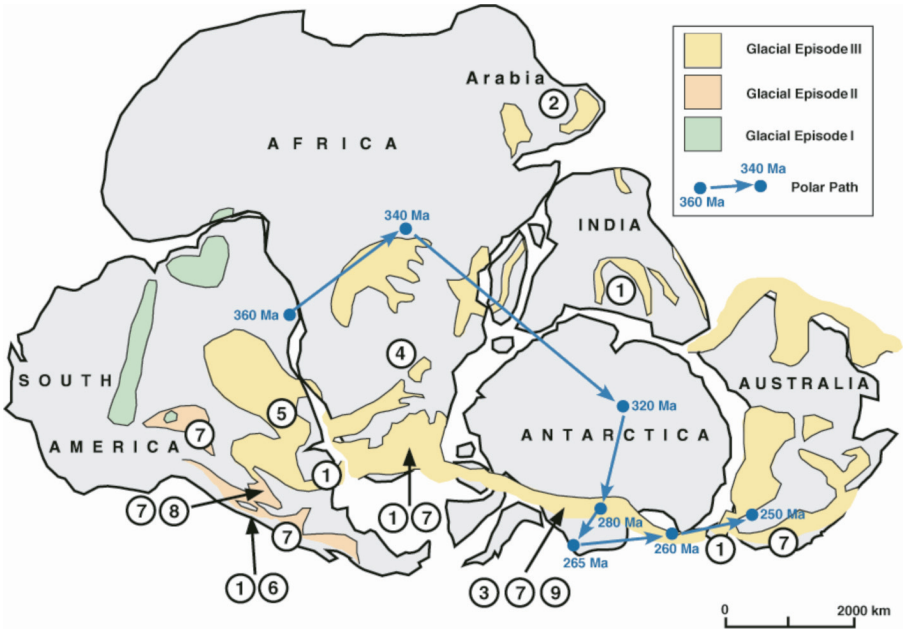
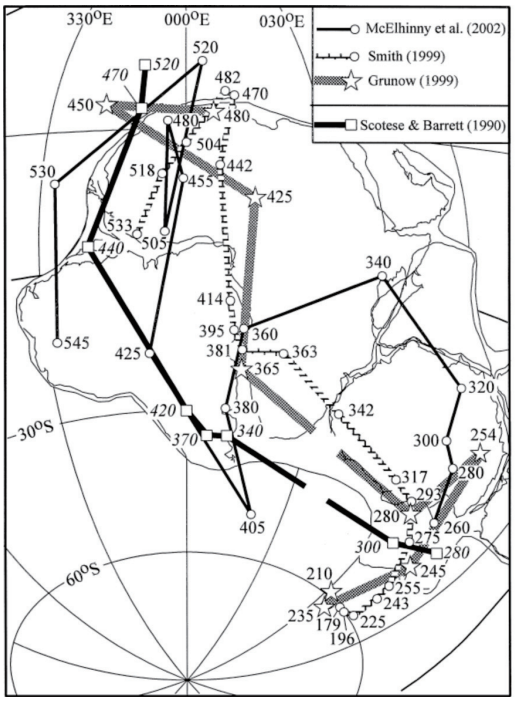



図９　伝統的なゴンドワナ超大陸．層序学的記録に氷河の証拠のある後期古生代の堆積盆地を示している．Glacial episode I＝後期デボン紀～最前期石炭紀；Glacial episode II＝後期石炭紀前期；Glacial episode III＝後期石炭紀～前期ペルム紀（円内の番号は GSA 論文の当該の章を示す）．López-Gamundí & Buatois（2010）の fig. 1.



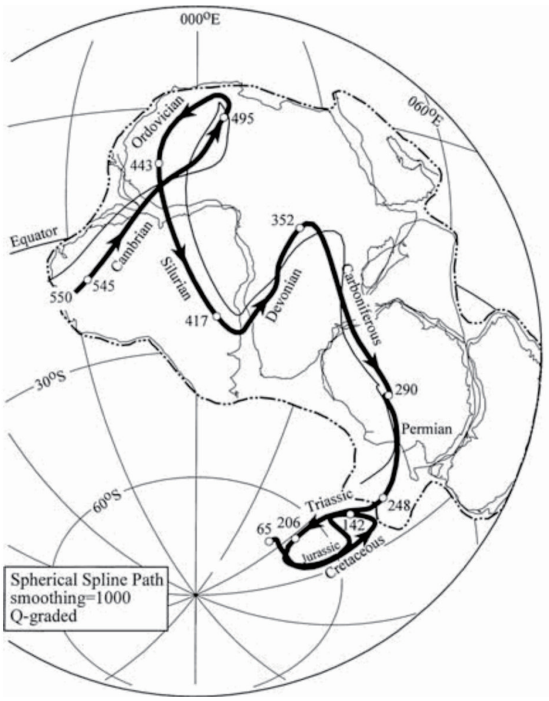




図 10 左図：4 つの見かけ上の極移動経路（Torsvik & Van der Voo, 2002 の fig. 4）．Scotese & Barrett によるものは，古地磁気データよりも古気候を優先しているという．右図：Torsvik & Van der Voo（2002 の fig. 5）による APW 経路．数字は 100 万年．

東部に到達し，340Ma には中央アフリカに，約 330～260Ma には南極を横切った．その後は，オーストラリアに入り，175Ma に西南極の海岸沖に達した（図９）[*3]．一方，レンチテクトニクスにしたがうと，南極点は中～後期古生代にこれらの正確な位置のどこにもなく（位置の違いは約 10º～約 90º），約 35Ma になってはじめて，極点が南極に位置するようになるにすぎない．

*3　プレートテクトニクスの文献で，古地磁気極に 95％の確率半径―古生代°では 10°程度であることが多い―を与えるのが普通である（Robardet & Doré，1988；Torsvik et al.. 2012）．レンチテクトニクスの文献では，これは標準的処理方法になっていないようだ．

図 10 はプレートテクトニクスによる復元の違いを表していて，５つのより見かけ上の極移動経路を示す．古地磁気学者は，内輪でそれらの違いを勝手に論じ合えばいいのである．

## 結　論

私の先の総説の結論を繰り返すと：**‘地質学的･地球物理学的･古生物学的および古地磁気学的データは，大規模なプレート運動または極移動を必要としていない；それらは，移動しない大陸と安定した極点を示し，海陸分布に周期的な変化をもたらす鉛直造構運動に調和的である．’**

## 文　献


Becker, R.T., Gradstein, F.M., & Hammer, O., 2012. The Devonian Period. In: Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D., & Ogg, G.M., eds., The Geologic Time Scale 2012. Elsevier, ch. 22, p. 559-601.

Biju-Duval, B., Deynoux, M., & Rognon, P., 1981. Late Ordovician tillites of the Central Sahara. In: Hambrey, M.J., & Harland, W.B., eds., Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record. Cambridge: Cambridge University Press, p. 99-107.

Boucot, A.J., 2009. Early Paleozoic climates (Cambrian-Devonian). In: Gornitz, V., ed., Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments. Springer, p. 291-293.

Boucot, A.J., & Gray, J., 1983. A Paleozoic Pangaea. Science, v. 222, no. 4624, p. 571-581.

Brezinski, D.K., Cecil, C.B., Skema, V.W., & Stamm, R., 2008. Late Devonian glacial deposits from t he eastern United States signal an end of the mid-Paleozoic warm period. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 268, nos. 3-4, p. 143-151.

Caputo, M.V., & Crowell, J.C., 1985. Migration of glacial centers across Gondwana during Paleozoic era. Geological Society of America Bulletin, v. 96, no. 8, p. 1020-1036.

Caputo, M.V., Melo, J.H.G., Streel, M., & Isbell, J.L., 2008. Late Devonian and early Carboniferous glacial records of South America. Geological Society of America Special Paper 441, p. 161-173.

Cecil, C.B., Brezinski, D.K., & Dulong, F., 2004. The Paleozoic record of changes in global climate and sea level: Central Appalachian Basin. In: Southworth, S., & Burton, W., eds., Geology of the National Capital Region – Field trip Guidebook. US Geological Survey Circular 1264, p. 77-135.

Chumakov, N.M., 1994. Evidence of late Permian glaciation in the Kolyma River basin: a repercussion of the Gondwana glaciation in Northeast Asia? Stratigraphy and Geological Correlation, v. 2, no. 5, p. 426-444.

Chumakov, N.M., & Zharkov, M.A., 2002. Climate during Permian-Triassic biosphere reorganizations. Article 1: Climate of the early Permian. Stratigraphy and Geological Correlation, v. 10, no. 6, p. 586-602.

Díaz-Martínez, E., & Grahn, Y., 2007. Early Silurian glaciation along the western margin of Gondwana (Peru, Bolivia and northern Argentina): paleogeographic and geodynamic setting. Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, v. 245, p. 62-81.

Díaz-Martínez, E., Vavrdová, M., Isaacson, P.E., & Grahn, C.Y., 2011. Early Silurian vs. late Ordovician glaciation in South America. In: Gutiérrez-Marco, J.C., Rábano, I., & García-Bellido, D., eds., Ordovician of the World. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, p. 127-134.

Dickins, J.M., 1985a. Late Palaeozoic glaciation. BMR Journal of Geology and Geophysics, v. 9, p. 163-169.

Dickins, J.M., 1985b. Palaeobiofacies and palaeobiogeography of Gondwanaland from Permian to Triassic. In: Nakazawa, K., & Dickins, J.M., eds., The Tethys. Tokyo: Tokai University Press, p. 83-92.

Dickins, J.M., 1992. Permian geology of Gondwana countries: an overview. International Geology Review, v. 34, no. 10, p. 986-1000.

Dickins, J.M., 1993. Climate of late Devonian to Triassic. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 100, p. 89-94.

Dickins, J.M., 1994. What is Pangaea? In: Embry, A.F., Beauchamp, B., & Glass, D.G., Pangea: Global environments and resources. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 17, p. 67-80.

Dickins, J.M., 1996. Problems of late Palaeozoic glaciation in Australia and subsequent climate in the Permian. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 125, p. 185-197.

Dickins, J.M., Choi, D.R., & Yeates, A.N., 1992. Past distribution of oceans and continents. In: Chatterjee, S., & Hotton, N., eds., New Concepts in Global Tectonics. Lubbock, TX: Texas Tech University Press, p. 193-199.

Doornbos, D.J., & Hilton, T., 1989. Models of the core-mantle boundary and the travel times of internally reflected core phases. Journal of Geophysical Research, v. 94, no. B11, p. 15,741-15,751.

Doré, F., 1981. The late Ordovician tillite in Normandy (Amorican Massif). In: Hambrey, M.J., & Harland, W.B., eds., Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record. Cambridge: Cambridge University Press, p. 582-584.

Epshteyn, O.G., 1981a. Middle Carboniferous ice-marine deposits of northeastern USSR. In: Hambrey, M.J., & Harland, W.B., eds., Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record. Cambridge: Cambridge University Press, p. 268-269.

Epshteyn, O.G., 1981b. Late Permian ice-marine deposits of the Atkan Formation in the Kolyma river headwaters region, USSR. In: Hambrey, M.J., & Harland, W.B., eds., Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record. Cambridge: Cambridge University Press, p. 270-273.

Fielding, C.R., Frank, T.D., & Isbell, J.L., 2008a. The late Paleozoic ice age – a review of current understanding and synthesis of global climate patterns. Geological Society of America Special Paper 441, p. 343-354.

Fielding, C.R., Frank, T.D., Birgenheier, L.P., Rygel, M.C., Jones, A.T., & Roberts, J., 2008b. Stratigraphic imprint of the late Paleozoic ice age in eastern Australia: a record of alternating glacial and nonglacial climate regime. Journal of the Geological Society, v. 165, no.1, p. 129-140.

Finnegan, S., Bergmann, K. Eiler, J.M., Jones, D.S., Fike, D.A., Eisenman, I., Hughes, N.C., Tripati, A.K., & Fischer, W.W., 2011. The magnitude and duration of late Ordovician-early Silurian glaciation. Science, v. 331, no. 6019, p. 903-906.

Ghienne, J.-F., 2011. The late Ordovician glacial record: state of the art. In: Gutiérrez-Marco, J.C., Rábano, I., & García-

Bellido, D., eds., Ordovician of the World. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, p. 13-19.

Green, R., 1961. Palaeoclimatic significance of evaporites. In: Nairn, A.E.M., ed., Descriptive Palaeoclimatology. New York: Interscience, p. 61-88.

Grunow, A.M., 1999. Gondwana events and palaeogeography: a palaeomagnetic review. Journal of African Earth Sciences, v. 28, no. 1, 53–69.

Harland, W.B., 1981. Gander Bay tillites of the Davidsville Group (Ordovician), northeastern Newfoundland. In: Hambrey, M.J., & Harland, W.B., eds., Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record. Cambridge: Cambridge University Press, p. 711-712.

Isaacson, P.E., Diaz-Martinez, E., Grader, G.W., Kalvoda, J., Babek, O., & Devuyst, F.X., 2008. Late Devonian-earliest Mississippian glaciation in Gondwanaland and its biogeographic consequences. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 268, nos. 3-4, p. 126-142.

Joachimski, M.M., Breisig, S., Buggisch, W., Talent, J.A., Mawson, R., Gereke, M., Morrow, J.R., Day, J., & Weddige, K., 2009. Devonian climate and reef evolution: insights from oxygen isotopes in apatite. Earth and Planetary Science Letters, v. 284, nos. 3-4, p. 599-609.

Jones, A.T., & Fielding, C.R., 2004. Sedimentological record of the late Paleozoic glaciation in Queensland, Australia. Geology, v. 32, no. 2, p. 153-156.

Kennedy, M.J., 1981. The early Palaeozoic Stoneville Formation, northern Newfoundland. In: Hambrey, M.J., & Harland, W.B., eds., Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record. Cambridge: Cambridge University Press, p. 713- 716.

Kerr, R.A., 1987. Tracking the wandering poles of ancient earth. Science, v. 236, p. 147-148.

Le Heron, D.P., & Dowdeswell, J.A., 2009. Calculating ice volumes and ice flux to constrain the dimensions of a 440 Ma North African ice sheet. Journal of the Geological Society of London, v. 166, p. 277-281.

Le Heron, D.P., & Howard, J., 2010. Evidence for late Ordovician glaciation of Al Kufrah Basin, Libya. Journal of African Earth Sciences, v. 58, no. 2, p. 354-364.

López-Gamundí, O.R., & Buatois, L.A., 2010. Introduction: late Paleozoic glacial events and postglacial transgressions in Gondwana. Geological Society of America Special Paper 468, p. v-viii.

Lugli, S., 2009. Evaporites. In: Gornitz, V., ed., Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments. Springer, p. 321-325.

McElhinny, M.W., Powell, C.McA., & Pisarevsky, S.A., 2002 [2003]. Paleozoic terranes of eastern Australia and the drift history of Gondwana. Tectonophysics, v. 362, nos. 1-4, p. 41-65.

Meyerhoff, A.A., 1970. Continental drift: implications of paleomagnetic studies, meteorology, physical oceanography, and climatology. Journal of Geology, v. 78, p. 1-51.

Meyerhoff, A.A., & Meyerhoff, H.A., 1974. Tests of plate tectonics. In: Kahle, C.F., ed., Plate Tectonics – Assessments and Reassessments. Tulsa, OK: American Association of Petroleum Geologists, Memoir 23, p. 43-145.

Meyerhoff, A.A., & Meyerhoff, H.A., 1976. Climatically controlled sediments, the geomagnetic field, and trade wind belts in Phanerozoic time: a discussion; plus reply by G.E. Drewry, A.T.S. Ramsay & A.G. Smith. Journal of Geology, v. 84, no. 3, p. 365-375.

Meyerhoff, A.A., & Teichert, C., 1971. Continental drift. III: Late Paleozoic glacial centers and Devonian-Eocene coal distribution. Journal of Geology, v. 79, p. 285-321.

Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kaymen-Kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C., & Choi, D.R., 1996a. Surge Tectonics: A new hypothesis of global geodynamics (D. Meyerhoff Hull, ed.). Dordrecht: Kluwer.

Meyerhoff, A.A., Boucot, A.J., Meyerhoff Hull, D., & Dickins J.M., 1996b. Phanerozoic Faunal & Floral Realms of the Earth: The intercalary relations of the Malvinokaffric and Gondwana faunal realms with the Tethyan faunal realm. Geological Society of America Memoir 189.

Montañez, I.P., & Poulsen, C.J., 2013. The late Paleozoic ice age: an evolving paradigm. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 41, p. 629-656.

Morelli, A., & Dziewonski, A.M., 1987. Topography of the core-mantle boundary and lateral homogeneity of the liquid core. Nature, v. 325, no. 6106, p. 678-683.

Paris, F., Elaouad-Debbaj, Z., Jaglin, J.C., Massa, D., & Oulebsir, L., 1995. Chitinozoans and late Ordovician glacial events on Gondwana. Seventh International Symposium on the Ordovician System, Society for Sedimentary Geology, Pacific Section, p. 171-176.

Porcelli, D., & Turekian, K.K., 2003. The history of planetary degassing as recorded by noble gases. In: Keeling, R.F., ed., Treatise on Geochemistry. Elsevier, v. 4, p. 281-318.

Powell, C.McA., & Li, Z.X., 1994. Reconstruction of the Panthalassan margin of Gondwanaland. I n: Veevers, J.J., & Powell, C.McA., eds., Permian-Triassic Pangean basins and foldbelts along the Panthalassan margin of Gondwanaland. Geological Society of America Memoir 184, p. 5-9.

Raymond, A., & Metz, C., 2004. Ice and its consequences: glaciation in the late Ordovician, late Devonian, Pennsylvanian-Permian, and Cenozoic compared. Journal of Geology, v. 112, p. 655-670.

Robardet, M., & Doré, F., 1988. The late Ordovician diamictic formations from southwestern Europe: North-Gondwana glaciomarine deposits. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 66, p. 19-31.

Schwarzbach, M., 1961. The climatic history of Europe and North America. In: Nairn, A.E.M., ed., Descriptive Palaeoclimatology. New York: Interscience, p. 255-291.

Schenk, P.E., & Lane, T.E., 1981. Early Palaeozoic tillite of Nova Scotia, Canada. In: Hambrey, M.J., & Harland, W.B., eds., Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record. Cambridge:

Cambridge University Press, p. 707-710.

Scotese, R.C., & Barrett, S.F., 1990. Gondwana's movement over the south pole during the Palaeozoic: evidence from lithological indicators of climate. Geological Society, London, Memoirs v. 12, p. 75-85.

Smith, A.G., 1999. Gondwana: its shape, size and position from Cambrian to Triassic times. Journal of African Earth Sciences, v. 28, no. 1, p. 71-97.

Soldati, G., Boschi, L., & Forte, A.M., 2012. Tomography of core-mantle boundary and lowermost mantle coupled by geodynamics. Geophysical Journal International, v. 189, no. 2, p. 730-746.

Steiner, J., & Falk, F., 1981. The Ordovician Lederschiefer of Thuringia. In: Hambrey, M.J., & Harland, W.B., eds., Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record. Cambridge: Cambridge University Press, p. 579-581.

Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet: Earth history in new perspective. Bergen, Norway: Alma Mater.

Storetvedt, K.M., & Longhinos, B., 2012. The Atlantic and its bordering continents – a wrench tectonic analysis: lithospheric deformation, basin histories and major hydrocarbon provinces. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 64, p. 30-68.

Storetvedt, K.M., & Bouzari, S., 2012. The Tethys configuration and principal tectonic features of the Middle East: a wrench tectonic survey. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 65, p. 103-142.

Streel, M., Caputo, M.V., Loboziak, S., Melo, J.H.G., & Thorez, J., 2000. Palynology and sedimentology of laminites and tillites from the latest Famennian or the Parnaíba Basin, Brazil. Geologica Belgica, v. 3, nos. 1-2, p. 87-96.

Sze, E.K.M., & van der Hilst, R.D., 2003. Core mantle boundary topography from short period PcP, PKP, and PKKP data. Physics of the Earth and Planetary Interiors, v. 135, p. 27-46.

Tanaka, S., 2010. Constraints on the core-mantle boundary topography from P4KP-PcP differential travel times. Journal of Geophysical Research, v. 115, no. B04310.

Tauxe, L., 2013. Essentials of Paleomagnetism. University of California Press, 2010; 2nd web edition, 2013, http://magician.ucsd.edu/Essentials_2.

Teichert, C., 1964. Some biological and paleogeographical factors in the evaluation of ancient climates. In: Nairn, A.E.M., ed., Problems in Palaeoclimatology. London: Wiley-Interscience, p. 597-600.

Torsvik, T.H., & Van der Voo, R.V., 2002. Refining Gondwana and Pangea palaeogeography: estimates of Phanerozoic non-dipole (octupole) fields. Geophysical Journal International, v. 151, p. 771-794.

Torsvik, T.H., Van der Voo, R., Preeden, U., Niocaill, C.M., et al., 2012. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. Earth-Science Reviews, v. 114, nos. 3-4, p. 325-368.

Tsai, V.C., & Stevenson, D.J., 2007. Theoretical constraints on true polar wander. Journal of Geophysical Research, v. 112, B05415, doi:10.1029/2005JB003923.

Ustritsky, V.I., 1973. Permian climate. In: Logan, A., & Hills, L.V., eds., The Permian and Triassic Systems and their Mutual Boundary. Calgary, Alberta, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 2, p. 733-744.

Van Houten, F.B., 1961. Climatic significance of red beds. In: Nairn, A.E.M., ed., Descriptive Palaeoclimatology. New York: Interscience, p. 89-139.

Vasiliev, B.I., & Yano, T., 2007. Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 43, p. 3-17.

Wicander, R., Clayton, G., Marshall, J.E.A., Troth, I., & Racey, A., 2011. Was the latest Devonian glaciation a multiple event? New palynological evidence from Bolivia. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 305, p. 84-92.

Williams, Q., & Hemley, R.J., 2001. Hydrogen in the deep earth. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 29, p. 365-418.

# サージテクトニクス― KARSTEN STORETVEDT への回答
# SURGE TECTONICS – A RESPONSE TO KARSTEN STORETVEDT

**James C. MEYERHOFF*, Donna MEYERHOFF HULL, and Richard D. MEYERHOFF**

* Corresponding author, geo2law@gmail.com

（小泉　潔・矢野 孝雄 [ 訳 ]）

訳者注：「 」内の翻訳文は，杉山 明 [ 訳 ]（2014）* から引用.

* Storetvedt, K.M. (2013) グローバルな理論と判断の基準：知識か根拠のない推測か．グローバルテクトニクスの新概念（An international journal for New Concepts in Global Tectonic）日本語版，v.1, n.3, 24-62.

NCGT2013 年 9 月号の評論「グローバルな理論と判断の基準：知識か根拠のない推測か」で，Karsten Storetvedt は彼特有の言葉で，私たちの父である Arthur（“Art”）A. Meyerhoff が「彼がいくつかの重要な動力造構論の要素に関する彼の意見を変え，私の議論を概略受け入れた」(本号の英語版 p.91 第 4 段落，日本語版 p.53 左上)，そして「後にレンチテクトニクスと呼ばれる私の理論がグローバルテクトニクスの“大きな絵（全体像)”を示す……ことを受け入れた」(p.93 英語版 p.91 第 3 段落，日本語版 p.54 左下）とし，その上サージテクトニクスが「二次もしくは高次オーダーの」（英語版 p.91 第 3 段落，日本語版 p.54 左下）の学説である，と誤った結論をくだした．私たち，彼の子供ら（Jim Meyerhoff・Donna Meyerhoff Hull・Richard Meyerhoff）は，1993 年 9 月に Storetvedt 博士が父に会った時に居合わせていなかった．しかし，私たちの父のコメントや多くの主張を誤解した彼のこの論文を読むと，その唯一の目的が Storetvedt 博士独特の理論を推進することにあったことは明白である．この回答の目的は，このような前提と結論について 2，3 コメントすること，そして，サージテクトニクスについて，生前の Art Meyerhoff の最後の願いが何であったのかを公開・記述することである．

父の余命が 6 ヶ月 ( 彼は 1994 年 9 月 18 日に亡くなった ) を切ることが明らかとなった 1994 年 7 月 20 日に，彼の最後の著書の企画“サージテクトニクス：グローバルダイナミクスの新理論”を完成できないことが明らかになった．これは彼にとってとても期待はずれなことであったが，神がサージテクトニクスのマントルを他の人々に委ねた事実を，彼は完全に了解した．彼は彼の家族に最後の願いを述べた：サージテクトニクスに関する彼の最後の研究を刊行するためには，何が必要なのか．Kluwer Academic 出版からの出版契約を担保するために，Art Meyerhoff はこの著書がグローバルテクトニクス理論に対する彼の最後の貢献であり，サージテクトニクスの理論を集大成したすべての知識の最高点であることを明示した．1996 年に刊行するとの出版契約書が，Donna Meyerhoff Hull に届いた．彼女は生前の父と病院でかわした会話やメモを参考に，父の死後，研究をまとめあげた．この著書の刊行のために，彼女はその編集者として，共著者たちと共同してかぎりなく働き，父の筆記，未完成の草稿，以前に公表された資料などをとりまとめた．Storetvedt 博士が自らの評論で他人の情報を蔑視・無視することについて述べたコメント（「そのように決定的な情報を意図的に排除することは不誠実で，NCGT 誌の基本的意図にも反する」（英語版 p.59 第 2 段落，日本語版 p.27 右上）に照合すると，父が取り組んだ“出版企画”に関する漠然としたコメント（英語版 p.91 第 3 段落，日本語版 p. 52 右下）以外に，Storetvedt 博士がこの著書の存在を公式には認めず，それを彼の評論の文献欄に掲げないことに，私たちは皮肉を感じる．私たちはこの明らかな見落としを正すために，次の文献を掲げる：Meyerhoff A.A.，Taner I.，Morris A.E.L.，Agocs W.B.，Kamen-Kaye M.，Bhat M.I.，Smoot N.C.，Choi D.R.，1996. サージテクトニクス：グローバルジオダイナミクスの新仮説，Donna Meyerhoff Hull 編，325p.

グローバルテクトニクスは Art Meyerhoff の単なる専門であるばかりでなく，彼の情熱であることは，地質学界ではひろく知られている．地質学の命題にとらわれずに，1 つの，あるいはそれとは別の考え方を創出し，考察することに挑戦しつづけた．彼には，昼夜もわかたず，サージテクトニクスについて夜を徹して研究することもしばしばであった．彼は，自らが考えたことが，入手されうるかぎりのデータを正確に解釈できることに確信できるまで，一つ一つのデータをできるかぎり詳細に検証した．プレートテクトニクスを支持する新論文は，毎月のように公表されていた．旺盛な読書家である彼は，新データを常に通読し，考察して，それらを彼のサージテクトニクス学説と照合し，それらの論文を吟味した．それらの新しいデータによって，ときに彼の考え方の一部が変わると，新しい調査 - 考察 - 執筆サイクルが始まった．

私たちは必ずしも，グローバルテクトニクスを父ほどに熱望するものではないが，成人後に私たちが帰省した際には，午後はほとんどいつも，そして，そうでないときは夕刻に，地質学の議論をしてすごした．父は私たちに，彼の論文を読んで，批評したり，必要に応じて修正・加筆してほしいと希望した．私たち 3 名はいずれも，基礎的素養のある科学者（Jim Meyerhoff は経験 33 年の地球物理学者で，数学学士・地質学修士，Donna Meyerhoff Hull は教育者で，地質学生物学学士，地球科学博士，そして，Richard Meyerhoff は水質 / 調整専門家で，水生生態系学士･修士･博士 ) であり，それぞれ父の研究に役立つさまざまな可能性をもっていて，父の望みにしたがって多かれ少なかれ貢献した．例えば，Jim は父に，新データがサージテクトニクスをどのように支持するのかを説明するために，圧縮場にある強褶曲地帯の新しい二次元地震データを紹介することがしばしばあった．

父は，1982 年の構想後，1994 年に亡くなるまで，グローバルテクトニクスに関する唯一無二のモデルとしてサージテクトニクスを研究しつづけてきたことは，ここまででも明らかであろう．彼が揺らぐことはなく，また，自らのサージテクトニクス理論から逸脱することはまったくなかった．キーワードは，“発展しつづける”であった．父は，彼 ( あるいは

地球科学者の誰か) がすべてを理解しているとは決して思わず，彼がひどく興味を示したのは，自らの学説の弱点を発見することであった．弱点が判明すると,彼はデータを支持するアイデアを証明するか，必要に応じてアイデアを変更するまで，探究をつづけた．それゆえに父は，ある“科学的方法”に拘った．多くのグローバルテクトニクス研究者 ( そしてその問題にかかわる多くの他分野の科学者 ) が，そのような方法を選択することはなかった．結論は簡単であり，私たちは父が他界した時に，彼が信じていたもの，そして彼の研究が目指していたものをあますことなく理解することができた．すなわち，彼の目標は次の２つであった．(1) サージテクトニクスについての彼の著書を刊行すること（彼のもくろみは，この著書がサージテクトニクスについてより多くの地球科学者を教育し，サージテクトニクスをグローバルテクトニクスの議論の最前線におしあげることに尽きる)．(2) 科学者仲間と議論して，サージテクトニクスをいっそう推進すること．これらの目標は，ともに達成されたのである．

この討論記事の後半部では，Storetvedt 博士がオクラホマ州タルサに父を訪ねた一日 (Storetvedt, 2010 の写真 ) から，そして，その後に父が Storetvedt 博士へ宛てた手紙から，それぞれ導きだされた結論のなかから，私たちはいくつかをとりあげて検討する．私たちのねらいは，父の目標と意志をはっきりと記録に残すことである．きわめて重要で実証的な造構学説である“サージテクトニクス”を破り裂くいっぽうで，Storetvedt 博士が自らの“レンチテクトニクス”を支援するために父の名前を利用しようとしていることを曝け出す必要がある，と私たちは信ずる．Storetvedt 博士はさらに，次の文章のなかで，近い将来“テクトニック論争”があることを示唆している：「現在，サージテクトニクスとレンチテクトニクスという２つのかなり異なる理論が徹底的に吟味されている．多彩な地質学的事実からなるシステムに対して両立しない２つの理論がどのように対応できるのかが決定的になる」(英語版 p.58 第 1 段落, 日本語版 p.26 右中)．また，Storetvedt 博士の論文が，自ら推進・支持する学説を発展させ，確証するよりも，他人の論理の欠点により多くの関心を払っていることは，読者にはすぐにもわかることである．言い換えると，Storetvedt 博士は，自らの学説を実証するために“科学的方法”を用いることに気が進まないようである．ハッキリ言って，私たちみんなで記憶しておくべきもっとも重要なことは，私たちの父が Storetvedt 博士を科学者仲間あるいは協働者と呼んだことが，私たちの記憶にないことだ．私たちは，うかつにも，Storetvedt 博士が 2010 年に公表した論文のなかに，父の手紙 (1994 年 4 月 10 日付 ) を引用していたことを，つい 1 ヶ月前まで気づいていなかった．私たちが Storetvedt 博士の 2010 年の発言に気づいていれば，私たちはすぐにも，この討論記事と同様の回答をしていただろう．

サージテクトニクスに関する私たちの父の主張とコメントに関する Storetvedt 博士の多数の記述や結論には，多くの曲解や単純なまちがいが含まれている，と私たちは信じている．Storetvedt 博士の結論のうち重要なものを，以下に５つ選んだ．

(1) 1993 年 11 月の Storetvedt 博士と父との 1 日の会合，そして，その後に父が Storetvedt 博士へ宛てた手紙を，Storetvedt 博士は次のようにまとめた：「いずれにせよ，彼は後にレンチテクトニクスと呼ばれる私の理論がグローバルテクトニクスの“大きな絵”を示し，他方，サージテクトニクスは地表 / リソスフェアのテクトニクスの詳細を説明するうえで役に立つということを受け入れた」(英語版 p.93 第３段落，日本語版 p.54 左下)．図 9 (NGCC による World Digital Magnetic Anomaly Map：英語版 p.80，日本語版 p.44) は確かに”big picture”であるが，Storetvedt 博士の記述の意図を私たちは断固として拒否する．Meyerhoff et al. (1992) のなかで，父自身が Surge Tectonics について宣言したことを，Storetvedt 博士は次のように引用している：「リソスフェアの重要な構造は，それが大洋中央海嶺であろうとアルプス型の褶曲帯であろうと，どれもサージテクトニクスの産物である．褶曲運動・衝上運動・変成作用・鉱床形成作用・洪水性火山活動などの主要な造構過程はどれも 1 つまたはそれ以上のサージチャンネルの存在に直接関連している」(英文版 p.77 第２段落，日本語版 p.42 左上)．私たちの父がサージテクトニクスが全地球テクトニクスのもっとも優れたモデルであると信じていたことは，確かである．さらに，父のサージテクトニクスへの情熱と信頼は前述したとおりたいへん強く，私たちに，彼の著書を時宜をえた方法で出版することを依頼した．私たちの父が，はたして，自らの学説の隆盛に一喜一憂したであろうか？　もし，あなたがたが，私たちと同様に Art Meyerhoff をご存知であれば，その答えが絶対に否であることがおわかりになるだろう．
(2) Storetvedt 博士の論説でとりあげられた私たちの父の手紙について，Storetvedt 博士は自らが提案するレンチテクトニクスをより好ましく思い，父が最後には，ためらいを感じつつサージテクトニクス学説を放棄したことを表現するために”ざんげ”という言葉を使った．1 つのそのような”ざんげ”は英文ジャーナルの p.92 (日本版 p.53 左上) に示されていて，そこでは，私たちの父が「しかし，君の仮説はウラル褶曲帯を少しうまく説明するし，先三畳紀の北部アンデス–アパラチア，Ouachita-Arbuckles，そしておそらくもっと古いもののいくつか(東アフリカのカレドニアとさらに古い褶曲帯，アゼルバイジャンその他) も説明するだろう．それはまた，カレドニア山地 (狭義) を説明する際にも

役立つだろう」と述べたことになっている．このような発言は，サージテクトニクスがレンチテクトニクスに次ぐものであることの承認以外の何ものでもない. この記述にもとづいて, Storetvedt博士は,「彼［Art］は，多くの褶曲帯を説明した私の理論が彼自身のサージテクトニクスより優れていることを認めた」（英語版 p.93 第 1 段落，日本語版 p.54 第 1 段落）とさえ結論している．私たちの父が Storetvedt の研究とそのサージテクトニクスへの適用が有益であることを理解していたことは，Art Meyerhoff を知っている人であれば，みんながそう思っている．サージテクトニクスに関する著書（p. 10）のなかで彼は，他の人々が長距離移動に原因をもとめる古地磁気データの混乱を，Storetvedt (1992) は鉛直および水平回転によって説明することができると記した．しかしながら，Art Meyerhoff が Storetvedt の研究のより傑出した点のいくつかを認めたことが，彼がサージテクトニクスよりもレンチテクトニクスを好んだことを意味することはありえない．これは, 全地球造構学説の科学的状況を十分に研究し，その成果の公表に彼が大きく貢献したことを示す好例である．流体流動と水力学，および，それらと地球自転との相互作用がサージテクトニクスの駆動要因であることを理解する必要がある．そうすれば，サージテクトニクスによって発生する引張性および圧縮性の造構運動（ねじれ断層運動を含む）のすべてが，このモデルによって説明され，そして，レンチテクトニクスはサージチャネルから生じうる造構作用の 1 つであることが理解される．Storetvedt 博士は,「サージチャンネルシステムは，幹線チャンネル・支流チャンネル・受動的縁辺チャンネル・活動的縁辺チャンネル・破裂チャンネル・支流チャンネルといったように，必要ならどこにでも特殊なケースでいっぱいにされる」（英語版 p.77 第 2 段落，日本語版 p.42 左上）という理由で,”サージチャネル学派”を批判する . Storetvedt 博士は，このような記述につづいて，Larry Laudan (1977) の文章「（すなわち，特殊な造構問題を解決するために）異常を取り去りたいという願望を動機とした理論の変化はいかなるものでも何かしら怪しいものである．そのように確信する理由は，一旦我々がその異常が何であるかを知ると，異常を疑いのない事実に転換する何かメンツを立てる理論の変化を作り出すことは子供の遊びと大差ないが故に，我々がそのようなうわべだけの外科手術を本当に信用することはできないということである」（英語版 p.77 第 3 段落，日本語版 p.42 左中）を引用する．これは，サージテクトニクスを葬りさろうとする彼の試みのなかで, 流体流動と水力学が文字通り, 数千もの（数 100 万ではないにしても）多様な成果をもたらしうることを Storetvedt 博士が認めたくないがために，このような引用を利用した興味深い場面である．これは，初期条件における微小な違いが著しく多様な結果をもたらすことを解明するカオス学説とは異なるが，別々の初期条件におかれた 2 つのサージチャネルは, 数 100 万年後には, ひどくちがった特徴（すなわち，形状，長さ，幅，容積）を示すようになる．それは，流体流とそれに関連する水力学的結果が予期できない閾を含んでいるからである．

(3) Storetvedt 博士は，私たちの父の「仕草は自分が古気候に関する初期の主張に実際は満足していないことを物語っていた」（英語版 p.92 第 6 段落．日本語版 p. 53 右中）と主張する．私たちは，それを強く疑っている．しかし，Storetvedt 博士がほぼ 20 年前の会話についてのこのような解釈が彼の科学学説を推進するのに必要であると思っているのであれば，ここでこの”仕草”に助けられなくても, 彼には自由にそうすることができるはずである．さりとて，長年の生活を通して，私たちは，自らの仕事に誇りをもっていない父をみたことはなく，Storetvedt 博士が 1 日の訪問で目撃したよりもはるかに多くの Art Meyerhoff の仕草を私たちは目撃してきた. 私たちの父が自らのモデルを変更したり，彼がまちがいを認めたという新資料なるものは，論外である．父の古気候に関する確信は強固であるにもかかわらず，Storetvedt 博士は父の手紙の文章を不適切に引用して, それを「" さんげ "」と称した．私たちの父は,「君はサージテクトニクスが古気候に直接的な関係を持たないと述べたのは完全に正しい．いいや, カルステン, 君は何も誤解していなかった．誤解していたのは私だったと思う．君がサージ造構運動が他の方法では説明できない多くの細かい造構的な地形の原因を説明する一種の水力ポンプであると言ったことは完全に正しい」（英語版 p.92 第 3 段落 , 日本語版 p.53 左下）と言ったと描かれている．Storetvedt 博士は，この記述から,「彼の手紙から判断すると，彼は後で私が提示した先カンブリア後の地球の気候変化のトレンドに適合するように自分の証拠を解釈し直した」（英語版 p.92 第 6 段落 , 日本語版 p.53 右中）と結論する．私たちは，この結論を認めることはできない. 古気候は, プレートテクトニクスを論破する私たちの父の研究の品質証明書であり, それは亡くなるまで変わらなかった．父が率直に言おうとしたことは，Storetvedt 博士が彼のレンチテクトニクス説で提案しているように大陸が回転することはなく, 大陸は静止しているので，サージテクトニクスは古気候に直接的な影響を与えなかった，ということである．

(4) 全地球テクトニクス研究において，極移動が古気候に影響をもたらすことは明らかである．Storetvedt 博士は，ふたたび，極移動に関する父の見解について一連のまちがった結論をひきだす．まずもって理解していただきたいのは，父の見解はこの問題をめぐって決してゆるぐことがなかったことである．Storetvedt 博士は，極が移動したことを Art Meyerhoff が認めたと乱暴に宣言する（英語版

p. 93 第 1 段落，日本語版 p. 54 左上）．この結論を導く上で，彼は，古生代褶曲帯の起源に関する一連のまったく不正確な記述を論拠にする（上述の項目（1）を参照）．そして, Storetvedt 博士によると，逆に, 父が「自分の古気候図をそれとなく取り下げ，最終的には真の極移動の現象を受け入れた」（英語版 p. 93 第 1 段落，日本語版 p. 54 左上）という．私たちは Storetvedt 博士に，引用していないサージテクトニクスに関する父の書籍（Meyerhoff et al., 1996, pp. 7-8）を調べることを薦める．そこには，極移動は **"……多くの物理学的問題を抱えているので，そのようなことは起こりえないだろう "** と記されている．

(5) 古地磁気学について，Storetvedt 博士がたくさんの論文を公表されてきたことを，私たちは知っている．それらの論文のなかで, この問題について，上述した課題のすべてよりも，父がこの課題に費やした総時間に比べて，Storetvedt 博士がさほどの時間を費やしていないことを私たちは重視している．父は Storetvedt 博士へ宛てた手紙で，それらのうちの 2 つは「全く違って解釈したことは間違いないが，全体として我々は多くの点で同意したように思う」と父が述べた（英語版 p.92 第 1 段落，日本語版 p. 53 左上）とされる．しかし，次のページに示される Storetvedt 博士の宣言「アーサーの古地磁気学に関する知識がごく限られている」（英語版 p. 93 第 2 段落，日本語版 p. 54 左中）は間違いである．私たちは，この点をあげつらう理由はまったくないと信じる．父は古地磁気学に関する多数の論文を出版しているのである（Meyerhoff, 1970; Meyerhoff and Meyerhoff, 1972; Meyerhoff and Meyerhoff, 1974; Meyerhoff et al., 1972; Meyerhoff et al., 1992; など）．

最後になるが，Storetvedt 博士は自らの造構学説がサージテクトニクスよりも優れていること誇示する努力のかたわら，皮肉なことに，冒頭の章”人間の企てとしての科学”で自らが述べた（引用した）ことがらの多くを無視してしまっているようだ．たとえば，Storetvedt 博士は，「科学的討論はしばしば確証され事実とみなされた観察の陳述で一杯になる．しかし，ひとまとまりの観察というのは一般に多くの隠れた意味を持っていて，‘好み’の先駆者の理論に決定的に依存しているという事実は通常理解されていないし，それ故に見落とされる」（英語版 p. 56 本文第 1 段落，日本語版 p. 25 左中）と記述している．この記述や，彼の評論のこの章に含まれる他の多くの記述に，私たちは賛成である．しかしながら，Storetvedt 博士は，科学界の盲点として自らがたいへん注意深く記述しているのとまったく同じ落とし穴にはまりこんでいるようである．

結論として，父が Storetvedt 博士に宛てた 1994 年の手紙は父の人格の現れであった，と私たちは理解している．父は，単純に，独自の考え方をもつだけではなく，サージテクトニクスと”相互に両立しうる”であろう考え方をもった友人科学者と協力するさらなる機会であると，その手紙をとらえていたのである．Art Meyerhoff をご存知であれば，このような機会はまちがいなく彼を興奮させ，一人の科学者として彼を何よりも駆り立てるのは，アイデアをめぐる建設的で前向きな討論や，全地球テクトニクスを解明することに興味をもっている人々との共同研究であった．それが，私たちが知っている Art Meyerhoff である．**" すべてのデータを統合して，地球のすべての地質特性とダイナミクスを説明することに，既存のモデルが成功したためしはない……私たちは，私たちの仮説—サージテクトニクスがその能力をもっている，と信ずる "**（Meyerhoff et al., 1996, p. 11）．

2013 年 9 月 9 日

# 出版物　PUBLICATIONS

（矢野 孝雄 [ 訳 ]）

## Eltanin 断層帯 ( 太平洋 ) における海洋地殻の構造—岩石学的データにもとづいて
## Structure of the oceanic crust in the Eltanin Fault Zone (Pacific Ocean) based on petrographic data

G.L. Kashintsev and D.I. Frikh-Khar, Marine Geology, v. 18, no. 1, p. 39-42, 1978.

要旨：510m 以上の間隔で採取された断続的な海洋地殻断面が，調査船 Acadmic Kurchatov 第 24 次航海の Eltanin 断層帯（南西太平洋）ドレッジ調査にもとづいて研究された．断面の下部（水深 5,640 ～ 5,040m）は，緑簾石 - 角閃石相の結晶片岩類からなる．断面の上部（5,040 ～ 662m）は，下位からかんらん岩，はんれい岩，ドレライト，および石灰岩で構成されている．この結論は，さまざまな海域にみられる海洋地殻の玄武岩 - はんれい岩 - かんらん岩かんらん岩 - はんれい岩 - ドレライト層序の下位に変成岩が存在することを意味する．

## 地震 / 火山活動と太陽周期
## Earthquakes/volcanic activities and solar cycles

Dong R. Choi, Global Climate Status Report (GCSR), Edition 3-2013. p. 10-19. www.spaceandscience.net.

要旨：最近の研究によって確証されたとおり，地震や火山噴火のような地球力学的事象はおもに太陽周期の影響を被っている．太陽活動周期と地震周期は逆相関関係にある．多数の破壊的な地震・火山噴火は，太陽活動が低下した，あるいは低下しつつある期間，すなわち，Maunder 極小期（1645-1715 年），Dalton 極小期（1793-1830 年），”1900 年の低下期”（新称），および，1990-2013 年の長期にわたる太陽周期の減退期に発生した．さらに，1996-2003 年の地震 - 火山活動の顕著な静穏期にみられるように，未知の惑星的な力［複数］が太陽の影響に重ねあわさっている．これらの事実は，地球の造構的事象とそれゆえの気候現象は，太陽と他の惑星系によって強い影響を被っていること，ならびに，太陽がもっとも強力な地球気候の制御要因であることを意味する．将来の気候変動予測には，長期的太陽活動が考慮されなくてはならない．

## *財政的支援について*　FINANCIAL SUPPORT

多くの読者からの示唆にしたがって，NCGT Newsletter は公開雑誌になった．今や，登録することなく，誰でもすべての号にアクセス可能である．これは，この雑誌の発行費用を賄うために，私たちは読者からの善意・無償の寄付と広告収入に頼らなければならないことを意味する．私たちは読者の寛大な財政支援を歓迎する．印刷版の購読費は，US$140/ 年 ( あるいはユーロ相当額 )+ 郵送費である．広告費は, 裏表紙 (Premium position) 半ページで US$60/ 号，US$220/ 年，全ページで US$100/ 号，US$360/ 年 ( あるいはユーロ相当額 ) である．他のページでは，10% 割引．詳細は editor@ncgt.org. へ.

■ もしあなたが PayPal 口座をお持ちであれば，下記口座へ送金されたい (PayPal はクレジットカード Visa・MasterCard で支払い可能．この方法の利用を推奨する．

http://paypal.com/cgi-bin/
口座名 :New Concepts in Global Tectonics
E-mail:ncgt@ozemail.com.au (editor@ncgt.org ではない )

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

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

## *NCGT ジャーナルについて*　ABOUT THE NEWS LETTER

この NCGT ジャーナルの先行誌—グローバルテクトニクス新概念ニュースレターは，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．その名称は，1989 年のワシントン D.C. 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 .

# お知らせ：NCGT ジャーナル日本語版の新発行方式

NCGT　NEWSLETTER は，1996 年に創刊され 65 号まで発刊されましたが，2013 年 3 月に NCGT Journal として，新しい一歩をふみだしました．

ふりかえってみますと，創刊号～ no.40 は 10 ～ 30 ページでしたが（第 1 期），オンライン化後の no.41 ～ no. 55 は 40 ～ 80 ページになり（第 2 期 a），電子化がたいへん有効であったことがわかります . 2010 年代の no.56 以降 (第 2 期 b) は, 英文版で 80 ～ 180 ページになりました．

Journal 化にともなって，今後はさらに充実し，ページ数の増加も予測されます．NCGT ウェブサイト（http://www.ncgt.org/）の閲覧回数も最近では 10 万回 / 月という驚異的な状況との由です．これは，世界の地球科学界が依然 NCGT を無視していても，多くの人々が NCGT に注目せざるをえない段階に到達したことの反映だと思われます．

これまで，日本語版では，翻訳者のご協力により全論文の和訳を行って来ましたが，上記のように，ページ数が多くなり，全論文の翻訳が困難となってきました．

したがいまして，今後は，日本語版の編集につきましては，NCGT Journal Editor のご諒解も得られ, 下記のように行うことにしました．ご了承のほどよろしくお願いいたします．ちなみに，英語版全文は上記サイトから自由にダウンロードできますので，こちらもご覧ください．

1．全文の翻訳ではなく，論文・記事を選択して翻訳・発行する．
2．翻訳する論文･記事は，下記の基準を優先して，NCGT 日本グループの複数人で選定する．
- 翻訳分担者が希望する論文・記事
- 日本人著者の論文・記事
- 地質分野の論文や情報