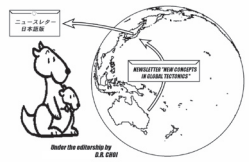
国際オンラインジャーナル

グローバルテクトニクスの新概念

An international journal for New Concepts in Global Tectonics <http://www.ncgt.org>

日本語版 Vol. 2, No. 2（2014 年 10 月） ■ **Print edition ISSN 2186-9693**

多数のカラー図面は→ ■ **Online edition** <http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/ncgt/>



編集長：**Dong CHOI**，編集委員会：**Ismail BHAT, India (bhatmi@hotmail.com); Giovanni P. GREGORI, Italy (giovanni.gregori@alice.it); Louis HISSINK, Australia (lhissink1947@icloud.com), Leo MASLOV, USA (lev.maslov@unco.edu); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dp@daividpratt.info); N. Christian SMOOT, USA (christiansmoot532@gmail.com); Karsten STORETVEDT, Norway (Karsten@gfi.uib.no); Boris I. VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru); Takao YANO, Japan (yano@rstu.jp)**

もくじ

■ 編集者から　私たちは今どこにいるのだろうか？　［小松宏昭 訳］…… 2

■ 編集者への手紙　親愛なる編集者へ　Johann-Christian PRATSCH　［岩本広志 訳］…… 3

場面の背後を見よ　Karsten STORETVEDT　［杉山　明 訳］…… 3

■ 原著論文

Beloussov's view of the origin of oceans　Lidia IOGANSON

海洋の起源にかんするベロウソフ（BELOUSSOV）の見解　［赤松　陽 訳］…… 7

Seismo-volcanic energy propagation trends in the Aleutian Islands and North America　Dong CHOI, Fumio TSUNODA & Leo MASLOV

アリューシャン列島と北米へ伝播していく地震・火山エネルギー　［角田史雄 訳］…… 12

Transmigrating heat passing through Aogashima Volcanic Islands, Izu Volcanic Chain, Japan　Fumio TSUNODA, Takayuki KAWABE and Dong CHOI　伊豆火山列青ヶ島火山島を通過する熱移送　［川辺孝幸 訳］…… 20

Earth and Moon: similar structures – common origin　Gennady G. KOCHEMASOV

地球と月：類似した構造 – 共通した起源　［山内靖喜 訳］…… 24

Mw7+ cyclic earthquakes sharing the same epicenter　Valentino STRASER

同一の震源で発生する Mw7+ の周期的地震　［矢野孝雄 訳］…… 32

Seismic zoning of Pakistan　Haleem Zaman MAGSI　パキスタンの震度分帯　［久保田喜裕 訳］…… 39

Tectonic development of Pacific Ocean and its periphery: a constraint on large-scale rotations of lithospheric blocks

Takano YANO　太平洋と周辺域の構造発達史：リソスフェアブロックの大規模回転への制約　［矢野孝雄 訳］…… 44

■ 討論

On the rotation of the Australasian continental block in the Miocene　Dong R. CHOI

中新世におけるオーストラリア大陸ブロックの回転について　［久保田喜裕 訳］…… 55

Prediction-confirmation: a must in global theorizing　Karsten M. STORETVEDT

予測と証明：グローバル理論の確立に不可欠なもの　［杉山　明 訳］…… 59

■ 出版物

Significant statistical relationship between great volcanic eruptions and the count of sunspots from 1610 to the present　Michele CASATI

1990 年以降の地震とマグマ活動の全地球的増加とそれらに関係する太陽活動周期　［小泉　潔 訳］…… 63

Global increase in seismic and magmatic activities since 1990 and their relation to solar cycles　Dong R. CHOI, John CASEY, Leo MASLOV and Fumio TSUNODA

1610 年～現在の巨大火山噴火と太陽黒点の数との有意な統計的関係　［柴　正博 訳］…… 67

Self-organization of the Earth's climate systems versus Milankovitch-Berger astronomical cycles　Leo MASLOV

地球の気候システムの自己組織化 対 天文学のミランコビッチ – バーガーの天文サイクル　［柴　正博 訳］…… 68

■ 地球気候コーナー

Global cooling underway　Sierra RAYNE　進行進行中の全地球的寒冷化　［矢野孝雄 訳］…… 68

Open letter to President Barack Obama　John CASEY　オバマ大統領への公開書簡　［小泉　潔 訳］…… 69

■ ニュース［EGU］/ 財政的支援について / ニュースレターについて …… 70

連絡・通信・原稿掲載には，次の方法の中からお選び下さい：NEW CONCEPTS IN GLOBAL TCTONICS　1）E メール：editor@ncgt.org, ncgt@ozemail.com.au, または，ncgt@hotmail.com（≤ 10 MB），ncgt@hotmail.com（> 10 MB），2）ファックス（少量の通信原稿）：+61-2-6254 4409，3）郵便・速達航空便など：6 Man Place, Higgins, ACT 2615, Australia（ディスクは MS Word フォーマット，図面は jpg, bmp, または tif フォーマット），4）電話：+61-2-6254 4409.　**免責** [DISCLAIMER]　このジャーナルに掲載された意見，記述およびアイデアは投稿者に責任があり，編集者と編集部に責任はありません．NCGT Journal は　季刊国際オンライン査読誌で，3 月，6 月，9 月，12 月に発行されます．電子版 ISSN 2202-0039，印刷版 ISSN 2202-5685.

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

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@rstu.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　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　杉山　明　柴　正博　角田史雄　宮城晴耕　山内靖喜　矢野孝雄

編集者から　FROM THE EDITOR

（小松　宏昭［訳］）

私たちは今どこにいるのだろうか？　Where are we now?

われわれのウェブサイトへの接続回数についての最近のデータや，多くのウェブサイトに投稿された意見によると，世界の地球科学界からNCGT Journalへの注目度が増しつづけていることがわかる．NCGTサイトのウェブアナライザーからの報告によると，今年の接続回数には下表のような急増があった．

接続の少なかった今年の２月や３月でさえも，25,000 ～ 45,000 件の接続回数が記録されている．新しい号の発行時には，当然のことながら，接続数が増加する．NCGT 各号のインターネット公開以降の過去数年間にわたって，閲覧者が継続的に増えてきたことをわれわれは実感している．新しい閲覧者は,最新号や既刊号を数多くダウンロードしている．

これらの数値は，われわれを大いに勇気づける．NCGT Journal への多くの好意的コメントは，他のウェブサイトでも見ることができる．私は，次の２つのコメントを引用したいと思う．それらは，2013年６月にケンブリッジ大学の研究者たちが主催した″The Naked Scientists Forum 率直な科学者たちの討論会″(http://www.thenakedscientists.com/forum/index.php?topic=47405.0) で発表されたものである．

１つ目は，NCGTJournal 第１号に掲載されたV. Rainerman 氏が編集者に宛てた次の手紙である．「夢中になったり，魅力を感じるが，誤った理論であるプレート運動，磁気極性，気候などから，若い科学者たちを引きもどすには，今が格段の努力をする時です．これによって，彼らが正しい研究方向を保持できるようにしなくてはなりません.」

匿名コメンテイターが次の所感を述べている．「私が，（プレート説に）否定的な研究者との間で思案していた時，プレート支持者は科学者の代表として強力に自説を押し付けてきました．彼らは個人的利益のために，脆弱で，時代遅れの誤った理論を先頭にたって強化しています．そのような試みは，あなたのような人々の前では長くはもたないでしょう．私は，プレートの造構運動・地磁気・造山運動・火山活動・地震・海嶺と海溝など，（プレートを否定する）直接的な科学データを示すことができます.」

別のコメントが，同じウェブサイトに載っている．「私がグローバルテクトニクスについて考えていたまさにその時，あなたは最も新鮮な情報を知らせてくれました．私の手紙で述べたように，正当な構造地質学研究をなりふりかまわず妨害する輩がいます．あなたが言うとおり，彼らは不合理で馬鹿げた原理を維持し，美しく体裁づけることによって彼らの地位を保とうとしています.」

サイトに掲載された上述の意見，そして，NCGT サイトへの無数の接続とファイルダウンロードは，NCGT Journal が世界の第一線の地質学系雑誌の１つになったこと，そして，NCGT グループが発足以来，18 年間にわたって正しい道を歩んできたことを証明している．この勢いを，より質の高い研究を行って保持する必要がある．また，私たちは，傲慢さと自己満足からうまれる教条主義や権威主義の陥穽におちいらないように，常に自分の健全さをチェックする必要がある．そして，この号の最終ページに掲載されている″NCGT Journal について″に述べられているように,初心をもちつづけなくてはならない.

われわれは，とくに，困難と我慢を強いられた1996 年の NCGT 創設当初とそれに先立つ日々を忘れてはならない．当時の私たちは（プレートを信奉する）主流の科学者たちとその組織によって検閲され，抑圧され，嘲笑され，孤立させられていたのである.

われわれは何のために戦ってきたのだろうか．それは，自然科学の最も根本的観点，すなわち，科学的思考の自由と事実への絶対的信頼のためである．ここで，私が師事した日本の故 湊　正雄教授の教えを紹介したいと思う．″自然をありのままに見なさい，詳細にそして包括的に″．つまるところ，私たちは母なる地球の学徒にすぎないのである.

年 月	接続回数	日平均接続回数	ページのダウンロード数	ファイルのダウンロード数
2014 年 1 月	119,403	3,852	84,824	81,277
2014 年 4 月	123,951	4,132	73,407	80,190
2014 年 5 月	113,760	3,670	85,649	60,307

編集者への手紙　LETTERS TO THE EDITOR

親愛なる編集者へ　Dear Editor

（ 岩本　広志［ 訳 ］）

最近の NCGT Journal (vol. 2, no. 1, p. 3-6) を見て，失望というか，驚きを覚えたので，以下に意見を記す．

「自然科学のある特定の分野は，それについての特別な理解がなくてもそれが生産的でかつ有用だということはすぐにわかる．石油産業はそのよい例である．石油の起源やその岩石中での移動についてはまだよくわかっていない．石油は一般に言われている考えに反して，たとえばしばしば結晶質基盤岩の中で見つかったりする．以前私はこのジャーナル誌上で，〝そのことは石油や天然ガスが地球のコア部分から延びる板状のものからの脱ガス化と，それに関連したマントルの遷移によって生成されるという考えを支持するに十分な事例だ〟と述べた（Storetvedt and Longins, 2012; Storetvedt and Bouzari 2012, その他）．アセノスフェアやリソスフェアでの揮発性ガスの圧力が上昇すると，その力はその上に重なる物質の荷重を超えて大きなものになる．」

実際，石油と天然ガスの起源は今日では非常によく理解されていて，それらはいずれも有機化学的作用に由来する．全ての発生は，１つの例外を除き，生物起源（動植物プランクトン）の組成から，個々の地質年代を通じて炭化水素の熱熟成を受ける十分な深度で，石油と天然ガスは密接に関係して生成盆地の近くに存在する．

石油と天然ガスは，貯留可能な孔隙をもつ，いかなる種類の岩石にも産する．移動は貯留層・形成堆積層の深度の違いによる圧力差に起因する．石油と天然ガスの移動経路は鉛直か斜めである．花崗岩は，開口裂罅や風化に由来する（グラニット・ウォッシュ）孔隙があれば，一種の炭化水素貯留槽となり得る；私はリビアの Sirte Basin，マラカイボ盆地，そしてコロンビアの下部マグダレーナ盆地で花崗岩中に生産可能な油ガスを発見し，コロンビアの場合に類似した出現を他の場所で知った．地熱の影響によって形成されたマザーベッドは，地下の孔隙発達岩石に比較して，より高い地層圧をそれらの地層中に獲得することが可能で，油ガスもまた〝下方向〟への移動［ダウンマイグレーション：訳者注］が可能である．これらの幾つかのケースは，堆積岩の基底の花崗岩中に生産的な油ガスが出現することを説明している．

地殻深部，マントル，さらには核 (!) にまで油ガスが生成するという状態は，地殻で形成された生産可能な油ガスの出現の一例とは限らないものの，世界中の油ガス出現の何千にも及ぶデーターベースのケーススストーリーを無視している．

油ガスが生成堆積盆地から大きく移動した場所で生産可能な容量の油ガスを探し出す試みは，例えばスウェーデンのように，世界中で失敗に終わっている．

Johann-Christian Pratsch
Petroleum Geologist , Houston, Texas

場面の背後を見よ　Glimpse behind the Scenes

（ 杉山　　明［ 訳 ］）

編集者殿

私が経験したように，科学におけるドラマツルギー[*1]的な演技－地質学的・地球物理学的な事実が，深くしみこんだ或いはお気に入りの考えを維持するために，根深い幻影を補強しつつ，どのように隠され，無意識のうちに誤り伝えられるか－について私はかなり強い関心を抱いてきた．自分がこの道に入った初期の段階においてさえ，私はこれがほとんどの地球科学者があえて公然と話そうとしないトピックであることを悟った．しかしながら，ひと握りの仲間は彼らがあえて見せたいと思っていた間違った正面 (false front)[*2] を，驚いたことに何年にもわたって個人的に公開していた．私が約 25 年前にプレートテクトニクスを捨て去った後，地球科学以外の分野の研究者は，保護論者の背後で実際何が進行しているのかについて知りたがった．私が 1996 年にベルゲンで科学の社会科学的側面について話題提供したセミナーの後，大学の元副学長だった Ian Dundas 教授は，" 君が自分の科学的進展と，君の仕事が引き金となった多くの騒々しい活動やエピソードについて本を書くなら，それは科学に大きな利益をもたらすだろう．私は君が自分の物語を本にすることを強く奨める ." と言った．この強い奨めに勇

気づけられ，私は2005年に（ノルウェー語で）自分の科学的自伝を出版した．この次の短い提案と評論で私は非協調的な自分の人生で学んだ経験と教訓を分かちあい続けるつもりである．以下に述べることは，科学の'別な面'にふさわしい例－私が1992年のニュージーランドでの巡検の間に得た経験－である．

＊1　ドラマツルギー（dramaturgy）：米国の社会学者ゴッフマン（Goffman, E.,1922-1982）が1959年に初めて演劇の場から導入した社会学的観察法．この世の中を劇場にたとえ，登場人物は時間・場所・観客を意識しながら演技をしている（perform），つまり，舞台上の俳優と舞台裏の私人とは行動パターンが同じとは限らないと見る．（Wikipediaほか）

＊2　間違った正面（false front）：真の自分ではなく舞台上で演技をしているときの俳優の顔という意味であろう．

出世第一主義とそれに関連した経済的利益が支配的な誘因になると，"知的崩壊"と自己検閲の間に境界線を引くことが困難になる.それにもかかわらず，理論的危機が深まるにつれ，そしてそのリーダーシップの緊急性が増すにつれ，科学は熱狂と'チームスピリット'を刺激しつづける．そのようなフォルスカラー[*3]は'下層に生まれた'大衆を支配する一定の力を維持する助けとなる．私自身の経験では倫理的問題がしばしば認められ，それはしばしば不安と不快なボディランゲージに表われた．さらに，喉の乾いた状態が集団の正面を混乱させると，戦略的でベールに隠された機動作戦が普通にあからさまにされた．

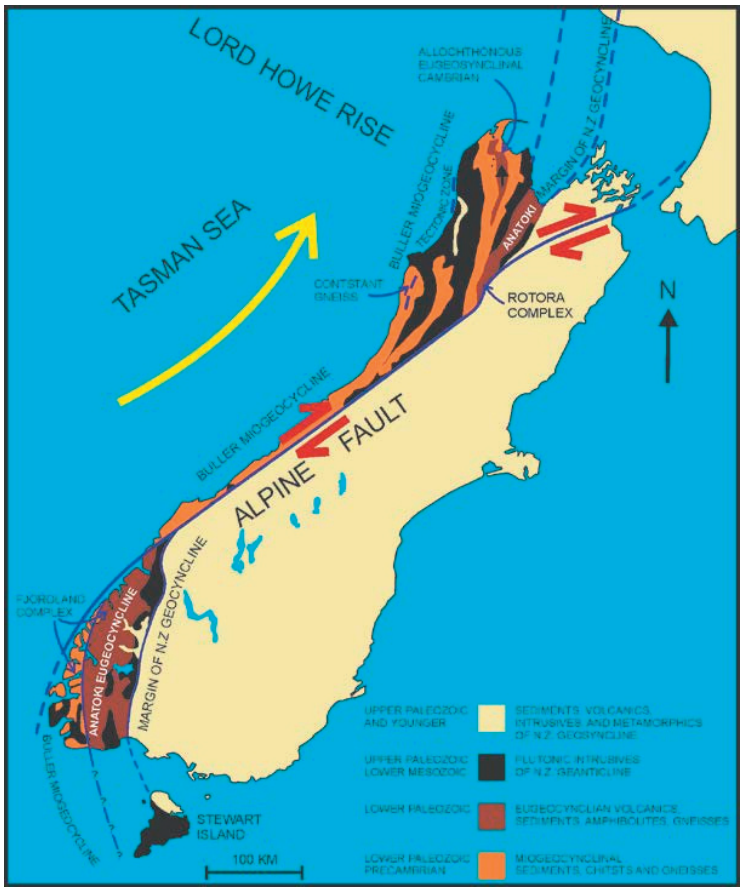
＊3　フォルスカラー（false color）：衛星画像用語．ある種の情報を強調するために異なるセンサーのイメージを重ね合わせ，人間の見た目とは異なる色にしたもの．

1992年11月下旬にアデレードのフリンダー大学へ行く途中，私はニュージーランド地球物理・地質協会の合同年次会議－その年はクライストチャーチのカンタベリー大学で開かれた－に参加した．私はD.A. Christoffel教授によってその会議へ招待され，彼はその会議が私をニュージーランドの地球科学社会の主なメンバーに会うまたとない機会になると書いてきた．私はずいぶん遅く登録したので提出する論文を持っていなかった．私にとってその会議は長いヨーロッパからの旅の後の初めてのゆったりした数日であった．11月25日の水曜日はその会議の巡検日であった．私は大規模な横ずれ圧縮性の走向移動帯である主アルパイン断層（the major Alpine Fault）が南島（South Island）の北西境界に沿って850 km余りも伸びるマルイア川（Maruia River）の現場訪問を含む旅行にサインをした．その断層は北東方向でケルマデック海溝（Kermadec Trench）に沿って延びていると考えられていた．

1960年代早期に，カリフォルニアの有名なサンアンドレアス断層と多くの点で類似しているアルパイン断層はゆっくりした走向移動をしていると示唆されていた．示唆されたゆっくりしたクリープを監視するために24 mの長さのコンクリート観察壁がマルイア川との会合点における断層跡と交差して建設された．この地点で断層は植生が密で山がちな地域から抜け出て，第四紀の河川堆積物の比較的平坦で開けた地域と交差する．この河川堆積物はその断層に垂直的及び水平的に切られてオフセットをなしていて，そこでの最も新しい再活動は先史時代である．コンクリート壁の建設の数年後，プレートテクトニクスがグローバルテクトニクスの中で根付き，このNE-SW走向の断層は，北では収束性とされているケルマデック－トンガ境界，南ではマッコリー海嶺（Macqurie Ridge）に接続する陸上のトランスフォーム断層とみなされた．プレートテクトニク的考えに従うと，その断層は現在，南西太平洋に想定される比較的速い海底拡大にそのまま調和した走向方向の動きをしているべきであった．それが正しければ，壁は1.5 mオーダーの累積オフセットを引き起こしたはずである．しかし，その建設から28年後，壁には何のずれも生じていなかった．したがって，プレートテクトニクスの重要なテストは否定的結果になった．1950年代初期以来，ニュージーランドの地質屋の大部分はアルパイン断層が大規模な右ずれ走向移動断層であるということを受け入れてきた（例えば，Wellman 1955; Suggate et al. 1978）．全体で走向方向の動きが数100 kmであるという初期の提案はそれ以降の議論の中で支配的であり続けた．その根拠は，断層の両翼にあたる南島の南部と北部で変成岩の岩相と岩石構成が極めてよく一致し，現在は変位している岩相的に類似した岩石が並列しているということである（枠で囲った概略図を参照）．

この断層に沿った収束は南アルプス（the Southern Apls）の急速な隆起の原因とみなされてきた．Berryman et al.(1992)は右ずれの走向移動速度は，断層の中央部で最大25 mm/yr及び10 mm/yrと見積もった．Wellman and Wilson（1964）は全体的な右ずれのオフセットは第三紀後期であると主張した．他の研究者（Suggate 1963; Grindley 1963; Reed 1964）は全体的な動きは白亜紀中～後期に生じ，中新世中期頃にいくらかの再活動があったと示唆した．しかしながら，Spörli(1987)はこの断層の全体的な走向移動の歴史に関して中新世及びそれより若い時代とするのがふさわしいと見ている．堆積作用の地域的なパターンは一般的にNE-SW方向をもった造構的トラフ－少なくとも白亜紀後期からずっとアルパイン断層の一般的な方向に調和した幅広い造構帯－の形成を示唆していると言われている．

数年前に私はプレートテクトニクスのすべての面を



図は南島に沿って SW-NE 方向に走るニュージーランドのアルパイン断層の概略を示している．島の南西及び北東における古生代の地向斜変成シーケンスの並列にもとづいた右ずれ圧縮走向移動の推定断層（赤の矢印で表示）はオーストラリアとその周辺の大陸性及び準大陸性大洋地域の反時計回りの慣性回転（曲がった黄色の矢印で表示）と調和的である．地質図は Suggate et al.(1978) にもとづく．

破棄し，当時は南半球のテクトニクスが私のレンチテクトニクスにどの程度適合するかを評価する初期段階にあった．その証拠と出会って，アルパイン断層に沿った右づれの走向移動は私の新しいグローバルシステムに調和的であった．グローバルな古地磁気データに対する私の考察（Storetvedt 1990）から，オーストラリア，ニュージーランド及びそれらを取り巻く準大洋域は慣性を原動力とした反時計回りのリソスフェアの捻れという白亜紀後期以降のイベントに支配されてきたという結論が得られた．これらの造構的イベントの最も重要なものは第三紀の中～後期に生じ，反時計回りの回転は約 70° に達した．したがって，巡検のとき，私が推定したオーストラリア・ニュージーランド・メラネシアを合わせたリソスフェアブロックの反時計回りの回転は手元の地質学的証拠を説明できると思われた．したがって，アルパイン断層は，それに関する変位の歴史とオフセットのセンスが私のレンチテクトニクシステムと調和的な正常の横ずれ圧縮性断層であった．この文脈からマルイア川の観察壁の否定的な結果は少しも謎ではなかった．

巡検参加者が壁を眺め否定的に終わった実験を巡ってあれこれ考えている間，なぜ何も起こらなかったかについてたくさんの意見が出た．しかしながら，その動きはなぜか＂ごまかされ＂，蓄積されたエネルギーは，その川の流路変更を伴う破壊的な巨大地震を発生させることにより，単一の大きな裂け目の中で開放されたのだろうという一般的な合意があった．議論のこの段階で私は何か決定的な見解を示すことによって抵抗することはできなかった．地質学的に比較的最近のある時期にアルパイン断層に沿って顕著な動きが生じたことについてはほとんど何の疑いもないが，我々は本当にいわゆるトランスフォーム断層の上に立っているのだろうかと私は尋ねた．私はそのグループに，トランスフォーム断層の概念というのは海底拡大が真のプロセスである場合にのみ真実であるということを思い起こさせた．マルイア川の観察壁は，仮説である拡大モデルに否定的な唯一の試験だったのではない．深海掘削で得られたすべての決定的な試験が実際に失敗していたのである．言い換えると，我々は過去のある時期に活動的であったどれかの断層帯に立っているに違いない．例として私はスコットランド北部のグレートグレン断層（Great Glen Fault）のことを述べた．アルパイン断層がいつその動きを再び始めるかは予測できない．

私のコメントで恐ろしい沈黙が生まれた．困ったような静寂の末に，巡検のリーダーはバスに戻って次の観察地点へ行きましょうと提案した．バスの中で私はプレートテクトニクスのいくつかの問題点を詳しく述べるという珍しい機会を得た．僅かな思慮深い同意が認められたが，プレートテクトニクスに伴う重大な困難を私の仲間は何とか議論しないようにするか，議論することができなかった．あたかも彼

らは見えない権威にこの大きな問題の責任をとらせようとしているように見えた．そのようなヒエラルキーの役割について，ノルウェーの哲学者であり著述家であるNina Karin Monsen (2000)は次のように書いている．"ヒエラルキーは，全体や関連を考えようとしない人には便利である．個々人は熟考すべき小さな領域と考えるべき些細な事柄を抱えている．(・・・) ヒエラルキーの底辺では，人は人生の小さな喜びを味わうことができ，さらに基本的な問題の責任は他人にとらせる．"

午後おそくだったが，我々は種々の巡検の参加者が一堂に会する地点－そこではいつものバーベキュー夕食でその日を締めくくることになっていた－に向かっていた．私はニュージーランドの地質・地球物理協会の多くの著名な人たちと出会う機会を持った非常に楽しい夕べに出かけた．4時間後その会はお開きとなり，レストランの外で到着するバスを待って立っている間に若い地質屋が笑いながら私に近づいてきた．私がどこから来たのか，私をニュージーランドへ引き寄せたのは何だったのかという手始めの質問の後，我々はすぐに南西太平洋の造構発展に関する問題に切り替えた．その流れで私はプレートテクトニクスの基本的なメカニズムの確証を得ることはとても無理だと述べた．私は，この現代の地球物理学的枠組は簡単に人を誤らせる間違った仮説である可能性があり，この場合，どちらがマルイア川の観察壁での否定的な試験結果と調和するだろうかと言った．そして,我々が熱心に話をしている間に,彼は突然はじけた．"しかし今は私は何も分らない．あなたが提起する問題は，単にすべての地球科学者が生き生きと従事すればよいことだ．だから私はなぜあなたの議論がこの会合であのような騒動を作り出したかを理解することができない．"

私がその会合で騒ぎを作り出したという若い仲間の'内密の'メッセージは全く予想外のものであった．その夕べは何も異常とは思えなかった．巡検に先立つ2日間の会議の間，大部分が国内の小さなスケールの問題に焦点を当てた討論に私は口を挟んだり加わったりはしなかった．しかし，他に20名ほどの参加者がいた野外巡検の間，私は決して黙ってはいなかった．私が口に出した意見は明らかに夕食のテーブルを渡って野火のように広がった．それぞれの人が研究を築きあげている土台が問われた．(プレートテクトニクスのような) 包括的な理論の分かりきった表面的な知識によって議論は'家族'の中で続けられた．そのような状況では'トラブルメーカー'は考え方と行動が一致した共同社会の'安心感'から自然と締め出されるだろう．重要なことは，したがって，あらゆる問題にもかかわらず進行中の研究の成果が正しい方向へ踏み出せるような信念を再確立することである．チームスピリットは強化されなければならない．そのグループの信頼はしばしば'罪人'の誠実性と道義性を疑うことによって回復されるものだ．

私は改めて場面の背後にあるドラマツルギー的な活動を目撃した.そのような平凡ではあるが微妙な'演技'はGoffman (1959) によって広く扱われている．彼は"演技者が他のチームによって示された自分のイメージを危機にさらす場合，我々は'レンガ'もしくはヘマをした演技者を話題にするだろう"と書いている．このように，プレートテクトニク仮説が直面しているいくつかの重大な問題を私があからさまにしたことにより，私は誰も知らない困難に直面した．

文　献

Berryman, K.R. et al., 1992. The Alpine Fault, New Zealand: Variation in Quaternary structural style and geomorphic expression. Annales Tectonicae, v. 6, p. 126-163.

Goffman, E., 1959. The presentation of self in everyday life. New York, Doubleday Anchor Books, 259 p.

Grindley, G.W., 1963. Structure of the alpine schists of South Westland, Southern Alps, New Zealand. N.Z. J. Geol. & Geophys., v. 6, p. 872-930.

Monsen, N.K., 2000. The Fighting Man; The Ethics of Power (in Norwegian). Bergen, Fagbokforlaget, 223 p.

Reed, J.J., 1964. Mylonites, cataclasites, and associated rocks along the Alpine Fault, N.Z. J. Geol. & Geophys., v. 7, p. 645-684.

Spörli, K.B., 1987. Development of the New Zealand Microcontinent. Am. Geophys. Un. Geodyn. Ser., v. 18, p. 115-132.

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.

Suggate, R.P., 1963. The Alpine Fault. Trans. Roy. Soc. N.Z., Geol., v. 2, p. 105-129.

Suggate, R.P. et al., 1978. The Geology of New Zealand, vols. I and II. Wellington N.Z., New Zealand Geol. Surv. Govt. Printer, 819 p.

Wellman, H.W., 1955. New Zealand Quaternary tectonics. Geologische Rundschau, v. 43, p. 248-257.

Wellman, H.W. and Wilson, A.T., 1964. Notes on the geology and archeology of the Martin's Bay district. N.Z. J. Geol.& Geophys, v. 7, p. 702-721.

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

原著論文　ARTICLES

海洋の起源にかんするベロウソフ（BELOUSSOV）の見解
BELOUSSOV'S VIEW OF THE ORIGIN OF OCEANS

Lidia IOGANSON
Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia
ioganson@bk.ru; iogan@ifz.ru

（ 赤松　陽［訳］）

要旨：地球発展史のなかでの海洋の起源に関する Vladimir V. Beloussov の見解の進化が議論される．Beloussov は，塩基性化作用によって大陸地殻が海洋化するという概念を提唱した．彼は，地球進化の中に〝玄武岩〟時代（最近の研究では〝海洋〟時代）を区別した．それは，長期にわたる大陸時代の後，中生代－新生代に起こった．Beloussov は海洋時代を地球発展の最終段階とみなした．現在の地質学的・地球物理学的データは，たとえそのメカニズムに議論の余地があるとしても，海洋化現象を確実なものにしている．
キーワード：*Beloussov, 海洋化作用, 塩基性化作用, 内生的変動体系*

1．海洋化作用に関する独創的な考え

海洋の性質と起源は，著名なロシア人地質学者 Beloussov によって 50 年にわたって研究されてきた．彼の最初の論文『海洋の地質構造について』は 1942 年に公表され，彼のそのテーマに関する最終的な考え方は 1991 年に公表された（Beloussov, 1942, 1954, 1960, 1970, 1983, 1989 and 1991）．Beloussov の初期の研究では，地球の構造に関する一般的な見解の中でこの問題がとりあげられた．しかしながら 1960-1970 年代になると，それは彼の研究の中心的課題になった．プレートテクトニクス支持者との激しい論争は，海洋の起源に関する彼自身の概念－地球進化における自然の法則にのっとった発達段階としての海洋化作用－を発展させた．

最初の論文『海洋の地質構造について』において，Beloussov は「海洋と大陸の地質学的性質は同一であり，われわれの惑星の構造発展史は全表面において一様に進行する」ことから，「海洋と大陸は地球表面における大きな凹凸にすぎない」ことを強調した．彼は，「地質学の著作では，この問題の意義が誇張されている」と指摘した．この論文の末尾に，彼は次のような先見の明のある言葉を遺している．「疑いなく，将来の海洋地質学者は，地質学における私たちの考え方の土台を掘り崩す数々の発見をもたらすであろう」（Beloussov, 1942, p. 39）．

海洋と大陸の性質が均一であるとの見解を，まもなく Beloussov が断念したことは注目すべきである．1950 年代以降，彼は，海洋は大陸に比べて二次的であると主張し，大陸地殻が海洋地殻へ変化するプロセスに注目した．Beloussov は，とくに 1960 年代にこの問題に深い関心を寄せ，その頃には，国際的プロジェクトの結果，海洋の構造にかんする多数の新データが蓄積されていた．これらのデータは，海洋と大陸の構造が本質的に違っていることを明らかにした．同時に，もっぱら海洋のデータに依拠したプレートテクトニクスが意気揚々と始動した時代でもあった．プレートテクトニクスに対して，Beloussov はその誕生以来，明確に反対してきた．新移動論者の考え方への批判にとどまらず，自らの海洋の起源についての仮説を発展させた．1960 年代には，海盆の起源を説明するメカニズムとし

て，大陸地殻の塩基性化概念を公表した（Beloussv, 1960, 1964, 1968）.

Beloussov は，元の大陸に代わって発生した海洋の起源について，次の地質学的論拠を提示した.

1. 海洋内部での大陸岩石の発見
2. 海洋の地史の若さ
3. 最近の急速な海洋深化
4. かつての大陸が大きな面積を占めていた証拠
5. 大陸構造が海洋縁辺で切断されていることを示す数多くの事例．たとえば，アフリカ大陸は巨大な構造的断片にほかならない.

Beloussov はこのように，大陸域にとって代わって海盆が形成されたという決定的証拠を，入手できる地質データが提供している,と述べた．その過程で，沈降のみならず，固化した地殻は次のように著しい変化を被った：「大陸地殻の厚さの減少，花崗岩質層の消滅，そして大陸地殻の海洋地殻への転化をもたらす自然の作用が存在する」（Beloussov, 1960, p.8）．この作用は海洋化と命名され，提案された地殻変化のメカニズムは塩基性化作用とよばれた.「結論は塩基性化作用のメカニズムであり，いずれは大陸地殻の海洋化に直面することは避けられない，ということである．そのため，もし，われわれがひどく嫌な質問を回避したくなければ，われわれは，海洋化作用をはっきり示す，という課題を解決しなければならないだろう」（Beloussov, 1960, p.8）.

Beloussov は，塩基性化（作用）の基本的メカニズムとして,次のようなことがらを提案した．つまり，大量のマントル物質の加熱，それにつづく塩基性や超塩基性のマグマが，地殻中に鉛直および横方向の裂かに沿って貫入・充填後に，いくつかのブロックを地殻本体から完全に分離させ，マグマの固結後には，地殻と上部マントルの間の密度逆転をひき起こす．こうして，重くなった地殻ブロックはマントル中へ深く沈んだ．Beloussov は次のように結論づけた.「もしわれわれが，このメカニズムが広大な範囲にひろがったと考えると，われわれは，大陸地殻の'分解'と上部マントルによるそれらの物質の吸収を説明することができ，……．最終的に，そのような作用の究極的な発達の結果として，大陸地殻は，完全に破壊され，海底で塩基性および超塩基性噴出岩にとって代わられる」（Beloussov, 1960, p.10-11; Beloussov, 1968, 1970, 1979）.

大陸・海洋双方の地殻内部のより多様な構造について，新しい地球物理学的データがえられるようになった．地球の地殻を大陸地域と海洋地域におおざっぱに区分していたかつての見解に比べると，それらは海洋化概念に有利な要素になる．Beloussov の意見では，典型的な大陸地殻から典型的な海洋地殻への地殻構造の変化（多くの過渡的変化を含む）は，いろいろなタイプの地殻が地殻の転化過程における種々の中間的段階の反映であることを示唆する.「もし，大陸地殻の海洋地殻への転化作用が事実であるならば，いくつかの場合にこのプロセスの中間段階が観察されるのは妥当な事象である．中間段階は，大陸地殻の一般的特性が保持された全般的劣化（亜大陸地殻），あるいは亜海洋地殻の出現によって示されるだろう．亜海洋地殻は，厚い被覆堆積物，あるいは'玄武岩質'層とマントルとの中間的な地震波速度層の出現に特徴づけられる」（Beloussov, 1960, p. 5）.

強調されるべきこととして，Beloussov は 1950 年代以降，海洋の起源を地殻の活性化問題に結びつけてきた．つまり，「海洋の形成は，台地の活性化にいくぶん類似するところがあり，地球の地殻進化における重要な転換点を表している．この転換点の意義とその深部要因は明らかではない」（Beloussov, 1954, p.24）．さらに Beloussov は，この転換点を境に，地史が花崗岩時代と玄武岩時代の２つのステージに区分される，と述べた．花崗岩時代は，地向斜－台地の発達（大陸地殻の形成にともなう地向斜の漸進的縮小とそれに相応する台地の拡大）に特徴づけられる．中生代の初めに，このステージは，大量の玄武岩の地表への上昇と花崗岩地殻の破壊を伴う「玄武岩」時代にとって代わられた.「玄武岩」時代は次の３項目に特徴づけられる.

1. 台地となった大陸地域の造構的活性化
2. 大陸における厖大な台地玄武岩の溢流
3. "花崗岩質"地殻の破壊と"玄武岩質"地殻への転移の結果，個別的地溝と地中海のような海の両者における地殻の塩基性化・海洋化

1980 年代に Beloussov は，最近の地質時代における大陸地殻の破壊に関連したリフト形成作用の内因的な規則的過程を識別した（Beloussov and Pavlenkova, 1986）．大陸内のこの規則的過程の構造的な出現（縮小・固化した地殻を伴う深い盆地，内海や縁海）は，海洋化の事実を Beloussov に確信させた．それ以降，リフト形成作用の内因的な規則的過程は，大陸地殻破壊の最初の段階として説明され，極端な場合には，大陸地殻を海洋地殻が完全に置換する可能性がある．この規則的経過に対する構造的な証拠は，大陸の中では疑問の余地のないものであった．それは，最終的に海洋を生み出すプロセスの初期段階が観察されたことを意味する.

リフト形成作用の規則的過程が識別される前には，Beloussov は西シベリア低地を「未成熟な海洋」と考えていた．その後，彼はリフト形成作用の規則的経過を経験したすべての地域を「未成熟な海洋化」をうけた地域と考えるようになった（Beloussov, 1960 and 1991）．このように，リフト形成作用の規則的過程を大陸地殻の破壊の初期段階として識別し

たことは，彼を次の結論に導いた．すなわち，「大陸地殻の破壊のプロセスは，現在の輪郭の海洋が形成されるまで続いた．おそらくユーラシアに事例がみられるように，このプロセスは拡大をつづけ，残っている大陸内にも浸透しつづけている ..... かつての構造圏の発達は大陸地殻の形成・固化の方向へむかっていたことは明らかである．ところが今では，大陸地殻の破壊と海洋地殻による置換が進行中である」(Beloussov, 1991a, p.56)．Beloussov の見解では，ユーラシア大陸の地殻破壊は，西部と東部では隣接する海洋から拡大し，徐々に大陸内部へ作用しつづけている．つまり「地質学的時間スケールでみると，リフト形成作用の規則的経過が西部と東部から中央アジアへさらに拡大することが予見される」(Beloussov, 1989, p.319)．

海洋化作用は，地球の進化方向にかんする Beloussov 概念の１つの重要な構成要素となった．後の研究で，彼は「大陸時代」と「海洋時代」を区別し，それらを地球内部の熱的変化と関連づけた．つまり「古生代の終わり，あるいは中生代の初めに，継続してきた大陸の規則的経過に加えて，異常な熱的活動の開始を意味する１つの新しい作用が現われた．われわれは海盆の形成について言及している ..... 厚さ数 km の固結層として地球の 2/3 を覆う膨大な玄武岩の噴出は，地球内部におけるきわめて多量の熱エネルギーの蓄積を示している．この（熱の）放出は，地質学的に言えば，著しく急激に起こった (Beloussov, 1989, p.339)．さらに重要なこととして，Beloussov の意見によれば，初期の海洋化作用は地球の構造発展の最終段階を示している．彼は「極端に枯渇したマントルをともなう海洋は，地球の進化における最終的構造であると信じている．それらは大陸地殻の破壊に起因する．マントルの転移の一般的傾向は大陸地殻の消滅の方向である．この進化における最終段階は海洋性マントルである」という (Beloussov, 1989, p.11)．

Beloussov の時代には，塩基性化作用のメカニズムと海洋化作用の概念は，大多数の地質学者に承認されていなかった．彼らの中には，プレートテクトニクス陣営に属する反対者だけではなく，かつての彼の信奉者の幾人や支持者を含んでいた．いっぽう，プレートテクトニクス信奉者を含む幾人かの先見性のある科学者たちは，Beloussov の考えへの評価にいっそう慎重であった．たとえば，著名な日本人地球物理学者上田誠也は，彼の本「新しい地球観」の中で反対の考えを表明しているが，「とくに海洋化作用のプロセスについての様々な視点からの徹底的な分析の結果，この仮説が他の仮説よりも妥当である場合には，理論的説明が困難であると言う理由で Beloussov の立場を単純に拒絶することは，近視眼的な見方かもしれない」と述べた．「海洋化作用は，まさに，実際的に役立つもう１つの理論である．それは，おそらく地球に関するもう１つの新しい見解の出発点を象徴するものであろう」(Uyeda, 1980, p.189)．

Beloussov がこの世を去ったのは，1990 年 12 月のことであった．彼の研究をまとめた最後の本「地球の構造圏：上部マントルと地殻の関係」は，1991 年 9 月に出版された．同じ年に日本人地質学者 Hoshino (1991) は，「玄武岩時代－地質学の基本概念」を出版した．Hoshino は，太平洋の大半の海域における基盤岩層は，「地球の進化の最も新しい玄武岩時代」（イタリックは著者 L.I. による）の開始を示す膨大な火成活動の結果，ジュラ紀～白亜紀に発生した，と述べた．同様な内容の考え方が，ほぼ同時に様々な研究者たちによって提出されたわけである．

２．最近の発展

海洋化作用に関する考えの発展やそれに関連した問題を，この 20 数年以上にわたってたどってみるのは興味深いことである．なによりも注目すべきは，この期間に，海洋域に古期・大陸性岩石が広く分布することを裏付けるたくさんの新しいデータが集められたことである．Meyerhoff and Meyerhoff (1974) によると，大陸性岩石が全海洋の中でわずかながらも９地点から報告された．そのころ，そのような発見は珍奇なできごと－流氷によって運ばれたとする「氷河性の迷子石」，あるいは船舶のバラスト－として理解されていた (Platt, 2000)．しかし，Huxley は「多くの美しい仮説の１つ１つは，醜い事実によって抹殺されてきた」と言う．1970 年代後半から現在まで，プレートテクトニクスの「美しい」仮説に対する「醜い事実」は，急速に増加した．

世界の海洋における大陸性岩石に関するデータの概説がいくつか，NCGT Newsletter で公表されてきた．Vasiliev and Yano (2007) は，大西洋，インド洋，太平洋で大陸性岩石（花崗岩類，片麻岩，結晶片岩，グラニュライト，陸源粗粒砕屑岩，そして　大陸性かんらん岩）の存在を立証した．そのような岩石が，断裂帯，台地や海嶺斜面，そして特に重要なことに，中央海嶺の中で発見された．さらに，大陸性岩石が海洋底で「偶然に発見されてきたが，将来の掘削やドレッジは，おそらく，世界中の海洋で古期大陸性岩石の系統的分布を立証するであろう」(Vasiliev and Yano, 2007, p.3)．

2009 年に，Yano et al.(2009) は，大西洋で発見された古期大陸性岩石の詳細な性質を紹介した．そのような岩石は，大西洋の 42 ヶ所で発見され，4 つのタイプに区分された．2011 年に，Yano et al.(2011) は，インド洋の 32 ヶ所で類似の情報を公表した．Vasiliev, Yano and Choi(2012) による論文で要約されたように，「大西洋の 42 地点 (Yano

et al., 2009) とインド洋の 32 地点 (Yano et al., 2011) とを合わせて，古期大陸性岩石が世界の海洋の 172 地点で発見された．それらの中で，87 地点から発見された A タイプの岩石（大洋底の深さより深い大陸海洋遷移帯にある大陸性岩石）は，大陸の一部が沈降して海洋底になったことを立証する．78 地点から採取された B および C タイプの岩石（中央海嶺と海盆にある大陸性岩石と大陸性の地球化学的特徴をもった岩石）は，海洋の大陸起源的特質を示している．D タイプの岩石（予想された海洋プレート年代よりも著しく古い時代の岩石と化石）は.....」(Vasiliev et al., 2012, p.80).

それらが大陸起源であり，岩石の古い形成年代が立証されたことは，海洋地殻が「0.2Ga より古い岩石，あるいは大陸起源のものは含まない」というプレートテクトニクスの主張に矛盾する．しかも「大西洋の地殻は 1.85Ga の古い岩石を含んでいる」(Yano et al., 2009).「７地点から」発見された太古の岩石と化石は，「海洋リソスフェアの年代がそれぞれ，1.9Ga とオルドビス紀に遡ることを示している（例えば，海洋リソスフェア岩石の放射性年代のデータは 1.9Ga に遡り，大洋底から得られている古期の化石はオルドビス紀に遡る）」(Vasiliev et al., 2012, p.80)．さらに，上述の論文の他に，最近，同様の主旨の注目すべき２つの論文が公表された．すなわち，James(2011) による「海洋下の大陸－どのくらいの大きさ，どのくらいの深さ？」と Platt (2013) による「沈んだ大陸対プレートテクトニクス」である．

Platt (2013) が結論づけているように，「現在の海洋中に存在する大量の古代大陸地殻についての証拠がますます増え，それらはプレートテクトニクスへの著しく深刻な挑戦になっている」．プレートテクトニクスへのもう一つの同じ様に深刻な挑戦は，海洋地殻の玄武岩層の研究の結果として紹介されている．2011 年にロシアの地質学者 Bluman (2011) は『地球の海洋地殻』という本を出版した．この研究は，海洋の本質についての討論には欠くことのできない重要性をもち，海洋化作用を支持する研究であることが誇張なしに述べられているようである．Bluman は，大西洋，インド洋および太平洋の第２層玄武岩に関する深海掘削のオリジナルデータを分析した．これらの文献では，玄武岩の一般的な性質がはっきりと規定されていて，彼は DSDP Initial Reports を検討し解釈した．彼は，ほぼ全海域に分布する海洋底堆積物におおわれた第２層の玄武岩には，地表で風化作用を受けた痕跡をもつことを発見した．このことは，海洋性「玄武岩 ..... は陸上環境で形成されたもので，それらの年代，構造，そして地層の基本様式は大陸性玄武岩と同じである」(Bluman, 2011, p.330) ことを意味している．Bluman はまた，玄武岩質層の最上部には，海洋底被覆堆積物と第２層との間に地球規模の不整合を証拠づける現地性砕屑岩が大量に広く分布していることを重要視している．彼の DSDP Initial Reports の分析によって，現代の海洋域では，中－新生代の間に地球規模で陸上環境が水中環境へ変化したとの結論が導かれた．言いかえれば，海洋化作用は地球規模で起こったわけである．

Bluman の発見は，莫大な費用をかけた国際深海掘削計画の解釈が偏見に満ちていることを明確にした．つまり，「掘削コアの記載についての系統的研究は，深海掘削データがいろいろな点でプレートテクトニクスの教義と相入れないことを著者に確信させた．国家的・国際的論文に含まれるこのような矛盾についての情報の欠如は，世界の深海掘削の結果に対する現代の研究者の貧弱な認識の結果とみなされよう」(Bluman, 2011, p.12).

海洋地殻に関する新しいデータの出現は，つまるところ，海洋の起源と進化についての新たな見解の発展をもたらし，Beloussov の考えを明確に裏付けている．太平洋の構造と進化に関する Vasiliev and Choi(2008a and b) の研究に，まず最初にふれるべきである．太平洋における多数のドレッジの結果は，地殻の構造・組成は疑いなく大陸性であることを示した．そして著者らは，後生的に複合的構造－マグマ作用の支配下におかれたことを強調した．地質学－地球物理学的およびトモグラフィデータの分析は，三畳紀～ジュラ紀に核から上昇した流動体によってもたらされた巨大なエネルギーの波によって太平洋が形成されたことを示している．低速度異常マントルの上昇は，地殻の構造・組成を変化させ，主要海盆の形成と造構－火成活動が続いた．この活動の空前のスケールは，大変動とみなされるだろう．著者の意見では，これが Beloussov のいう「塩基性化作用」のプロセスである (Vasiliev et al.).

Hoshino が「地球進化のもっとも新しい玄武岩時代を開始させた膨大なマグマ活動」と呼んだことや，Vasiliev and Choi によって仮定された中生代の「巨大なエネルギー波」という考えは，Beloussov によって提案された中生代の「熱噴出」に調和的である．言いかえれば，新しいデータは，Beloussov の海洋化作用にかんする主要な考え方だけでなく，海洋化作用が地球進化における決定的な転換点となったという見解をも支持している．

このように数 10 年の間，海洋地殻の構造･組織および年代に関するたくさんの新しいデータが，主要海域のかつての大陸的性質にかんする Beloussov 概念を明確に裏付けた．多くの研究者は，海洋はかつての陸地が深く沈水し，大陸地殻の大規模転化によって発生したと確信している．最近，いくつかの海洋化作用の概念が現れた．たとえば，1980 年代以来，

カリーニングラード大学（ロシア）の Orlenok は，地球の海洋化作用についての自らの概念を提案した．彼は，海洋化作用は，地球内部からの揮発性物質と水の加速された上昇と，その後の上部地殻の沈降をひきおこしたと述べている．彼の意見では，海洋は，中生代／新生代境界頃の地球内部物質の自発的脱水によって形成されたという．Orlenok が，地球史を前海洋時代（中生代末以前）と 70Ma から現在まで早いテンポで続いている海洋時代に分けたことは注目すべきことである．Orlenok はさらに，海洋化作用が惑星進化の最終段階であると考えている（Orlenok, 2010）．

Storetvedt（2013）は，「深海への沈降は地球史においては新顔である．－基本的には中生代末以降に出現した－」．そして，それは「地殻の海洋化作用」の結果として生じた．それは「薄い地殻に覆われた海盆の形成－厚い地殻で覆われたかつての大陸地域を犠牲にした－に限定されない」．それは，「核あるいは CMB で不規則に発生する脱ガスの地表での産物である」という（Storetvedt, 2013, p. 73）．また，海洋化作用のメカニズムの説明は他の研究者によっても試みられてきた（Artyuskov, 1993; Rezanov, 1990; Rusinov, 2001；ほか）．

3．結　論

まとめると，Beloussov 時代以降，事実に基づいて大陸地殻の海洋化作用を支持するデータが著しく増加したことを重要視しなければならない．それにもかかわらず，海洋化作用のメカニズムは，未解決である．それは，50 年前に Beloussov が述べた次のコメントが，まだ要をえたものとして通用する理由になっている．つまり，「自然の作用は，大陸地殻の縮小，花崗岩質層の消滅，そして大陸地殻の海洋地殻への転化をもたらす」（Beloussov, 1960, p. 8）．この作用の解明は，課題として将来の地球科学者にの手に残されている．

文　献

Artyuskov, E.V., 1993. The physical tectonics. M.: Nauka (Science). 456p. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1942. On the geological structure of oceans. Priroda (Nature), nos. 5–6, p. 26–40. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1954. The next problem of geotectonics. Soviet Geology, Collected works, no. 41, p. 3–25. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1960. Development of Earth and tectogenesis. Soviet Geology, no. 7, p. 3–27. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1964. Tectonic activation in the development of Earth's crust. Activated zones of Earth's crust, the newest tectonic motion and seismicity. M.: Nauka (Science), no. 7–13. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1968. The Earth's crust and upper mantle of oceans. M.: Nauka (Science). 254p. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1970. On the certain hypothesis of ocean development. Bulletin of Moscow Society of Earth's investigators. v. 45, no. 4. Geol. Department, p. 92–114. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1979. The continents and oceans – the main irregularity of lithosphere and its study. Reporter of Moscow State University, no. 3, p. 3–12. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1983. The endogenic regimes and mantle volcanism. Geotectonics, no. 6, p. 3–12. (in Russian)

Beloussov, V.V. and Pavlenkova, N.I., 1986. Relationship of the Earth's crust and upper mantle. Geotectonics, no. 6, p. 8–20. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1989. The basic geotectonics. M.: Nedra (Earth's Interior). 382p. (in Russian)

Beloussov, V.V., 1991. Tectonosphere of the Earth: the relationship of upper mantle and crust. M.: Interdepartmental Geophysical Committee of Presidium Ac. Science of Soviet Union, 72p. (in Russian)

Bluman, B.A., 2011. The Earth's oceanic crust. Sankt-Peterburg, 344p. (in Russian)

Hoshino, M. 1991. The basaltic stage – basic concepts of geological science. Tokai University Press, Tokyo, 456p.

James, K.H., 2011. Continent below the oceans: how much and how far? The future for deepwater exploration (and geopolitics). Oil & Gas Journal, v. 109, issue 10, p. 22-29.

Orlenok, V.V. 2010. Global volcanism and oceanization of the Earth and planets. Kant State University of Russia Press, 195p. (in Russian)

Pratt, D., 2000. Plate tectonics: A paradigm under threat. Journal of Scientific Exploration, v. 14, no. 3, p. 307-352.

Pratt, D., 2013. Sunken continents vs plate tectonics. Edge Science, no. 14, May 2013, p. 11-15.

Rezanov, I.A., 1990. History and recent state of oceanization problem. Journal Bulletin of Moscow Society of Earth's investigators, v. 69, no. 5, Geol. Department, p. 3–18. (in Russian)

Storetvedt, K., 2013. Global theories and standards of judgment: knowledge versus groundless speculation. NCGT Journal, v. 1, no. 3, p. 56-102.

Uyeda, S., 1980. A new look at the Earth. M.: Mir (World). 213p. (in Russian)

Vasiliev, B. and Yano, T., 2007. Ancient and continental

rocks discovered in the ocean floors. NCGT Newsletter, no. 43, p. 3-17.
Vasiliev, B. and Choi, D.R., 2008a. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 3. Structure and composition of basement. NCGT Newsletter, no. 48, p. 24–52.
Vasiliev, B. and Choi, D.R., 2008b. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 4. Geological interpretation of seismic tomography. NCGT Newsletter, no. 48, p. 53–61.
Vasiliev, B.I., Yano, T. and Choi, D.R., 2012. Progress report of the study of ancient continental rocks in the Pacific Ocean. NCGT. Newsletter, no. 63, p. 80–83.
Yano, T., Choi, D.R., Gavrilov, A.A., Miyagi, S. and Vasiliev, B.I., 2009. Ancient and continental rocks in the Atlantic Ocean. NCGT Newsletter, no. 53, p. 3-17.
Yano, T., Vasiliev B.I., Choi D.R., Miyagi, S., Gavrilov A.A. and Adachi, H., 2011. Continental rocks in the Indian Ocean. NCGT Newsletter, no. 58, p. 9-28.

謝辞　私は，この研究を激励し，原稿を注意深く査読して改善してくれた編集者 Dong Choi に深く感謝する．ちょうど NCGT に掲載された海洋構造にかんする新しいデータをみることができたのは，私の研究の支えになった．現代地球科学者たちの良心を清新にしてくれるこの雑誌のすべての内容とあわせて，偏見のない情報を伝えてくれるこの雑誌の格段の重要性を強調したい．私は，原稿を改善し，英語を改良するために親切に努力してくださった David Pratt にとくに感謝する．

著者プロフィル　Lidia Ioganson, ロシア科学アカデミー地球物理学研究所の指導的研究者．1961 年モスクワ大学卒．専門は，深部堆積盆地，地震テクトニクス，および地質学史．

アリューシャン列島と北米へ伝播していく地震・火山エネルギー
SEISMO-VOLCANIC ENERGY PROPAGATION TRENDS IN THE ALEUTIAN ISLANDS AND NORTH AMERICA

Dong CHOI[1], Fumio TSUNODA[2] and Leo MASLOV[3]

[1] International Earthquake and Volcano Prediction Center, Australia. dchoi@ievpc.org
[2] Saitama University (Emer. Prof.), Japan. Tsunochan2@gmail.com
[3] Department of Physics & Astronomy, University of Northern Colorado, USA. lev.maslov@unco.edu

（ 角田　史雄［訳］）

要旨：アリューシャン列島と北米の太平洋沿岸における大規模な地震と噴火の時空分布を調べると，地震・噴火エネルギーは，アラスカからアリューシャンへという西方と，アラスカ南部からカリフォルニアを通ってメキシコへという南方へ伝達していく．これらの方向に沿う区域において，マントル浅部の 50km 以浅では，震央域の平均移動速度は，どこでも 120-140m/ 日（45-50km/ 年）で，ほぼ等速度である．これに対して，そこでの噴火の移動速度は 470-620m/ 日（170-225km/ 年）と計算され，震央域の移動速度よりやや速い．これは後者の熱エネルギーが地下 100-250km に想定される，より深い移送路を伝達するためだろう．これらに加えてアリューシャンでは，67km/ 年 =185m/ 日という速度をもつ，噴火と震央域との東方への伝達（うかが）も認められる．このことから，異なった深さに分布する熱移送路の存在が予想され，熱移送システムの複雑さを窺える．

マントルトモグラフィ画像で認められる，地球全体の地震－火山のエネルギーの移送システムという観点からみれば，南太平洋から湧昇した熱エネルギーは，中部マントル中をハワイを経て太平洋を横切るように伝達し，アラスカ湾直下の上部マントルに達すると見られる．こうした西あるいは南への熱移送に伴われる温度勾配は，アリューシャンから北米にかけての太平洋沿岸域で大きい．これは，その沿岸域に発達する構造帯あるいは深部断裂に関連する現象とみられる．こうした熱移送の方向や速度は，地球の自転やその他諸々の原因で発現するものと思われるが，まだ解明されていない．

キーワード：*アリューシャン，アラスカ，北米，地震，火山，熱伝達速度*

1．概説

すでに筆者らは，熱エネルギーの移送（伝達）とその移り変わりについて総括した（Tsunoda et al., 2013）．その報告では主に，西太平洋域とアフリカのスーパープリュームからの熱伝達域における熱移送システムを明らかにした．この報告では，北米における地震と噴火に関する熱移送に焦点をあてて，いままでの研究を補完する．

最近の筆者らの研究（たとえば Choi, 2014 と Tsunoda et al., 2014［訳者注；最初は Tsunoda and Kawabe だったが，最終的には，Tsunoda, Kawabe and Choi に変更］）によって，環太平洋新

生代－中生代変動帯の深部断裂に沿ったリソスフェアにおける熱移送はより確かなものになった．今日における熱移送説は Blot (1976) によって提唱され，Meyerhoff et al. (1994) や Tsunoda et al.(2013) などによって発展して，大地震や大規模な噴火のメカニズムを知るための基礎となる仮説である．そして，その仮説は実用的に役立つもので広く応用できる；たとえば，この仮説にしたがって予知された 2014 年 4 月の Tarapaka 地震(M6.7)は，その２週間後の超巨大地震（北部チリ，M8.2）の前兆となる地震であった (Choi, 2014)．

２．強い地震と噴火の時空分布から求められるエネルギー流

１）アリューシャンからアラスカへの流れ

強い地震（M6.5 以上）と噴火（VEI3 以上）の時空的な分布は，USGS (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/)，IRIS (www.iris.edu/seismon/)，スミソニアン自然史博物・Global Volcanism Program (http://volcano.si.edu/reports_weekly.cfm) などから引用した．それらのデータは表１と表２に示してある．

表１　アラスカ－アリューシャン地域における 1970 年から 2014 年 4 月までの M6.5 以上の地震（アミかけは M7.0 以上の地震）

Magnitude	Depth (km)	Year	Day	Time	Latitude	Longitude	Locality
6.6	11.4	2014	24/04/2014	3:10:12	49.85	-127.44	VANCOUVER ISLAND REGION
7	33.5	2013	30/08/2013	16:25:02	51.61	-175.36	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
7.5	10	2013	5/01/2013	8:58:19	55.39	-134.65	SOUTHEASTERN ALASKA
7.8	14	2012	28/10/2012	3:04:08	52.79	-132.1	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.5	22	2011	9/09/2011	19:41:34	49.54	-126.89	VANCOUVER ISLAND REGION
6.8	32	2011	2/09/2011	10:55:53	52.17	-171.71	FOX ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
7.3	52	2011	24/06/2011	3:09:39	52.05	-171.84	FOX ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.5	45.8	2010	3/09/2010	11:16:08	51.63	-176	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.7	21.5	2010	18/07/2010	5:56:45	52.75	-169.77	FOX ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.6	8.7	2009	17/11/2009	15:30:46	51.96	-131.6	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.6	5.1	2008	2/05/2008	1:33:35	51.86	-177.49	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.6	26.4	2008	16/04/2008	5:54:21	51.88	-179.1	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.5	25.9	2008	15/04/2008	22:59:54	51.9	-179.37	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.6	10	2008	5/01/2008	11:01:05	51.26	-130.76	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
7.2	36.2	2007	19/12/2007	9:30:28	51.4	-179.54	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.5	18.9	2007	15/08/2007	20:22:13	50.34	-177.57	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.7	53.8	2007	2/08/2007	3:21:47	51.36	-179.98	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.6	8.5	2006	8/07/2006	20:39:59	51.32	-179.27	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.6	53.9	2005	14/06/2005	17:10:15	51.16	-180.52	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.7	13.2	2004	2/11/2004	10:02:11	49.21	-128.83	VANCOUVER ISLAND REGION
6.8	20	2004	28/06/2004	9:49:46	54.82	-134.49	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
7.7	27.1	2003	17/11/2003	6:43:05	51.1	-181.36	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.8	0.7	2003	23/06/2003	12:12:31	51.45	-183.29	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.5	34.2	2003	15/06/2003	19:24:35	51.56	-183.15	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
7.1	32.4	2003	17/03/2003	16:36:17	51.24	-182.09	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.6	14.5	2003	19/02/2003	3:32:35	53.64	-164.73	UNIMAK ISLAND REGION
6.5	45.8	2002	7/11/2002	15:14:08	51.2	-180.63	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
7	10.8	2002	3/11/2002	22:12:41	63.63	-147.61	CENTRAL ALASKA
6.7	19.7	2002	23/10/2002	11:27:20	63.55	-148.07	CENTRAL ALASKA
6.8	134.1	2001	28/07/2001	7:32:43	59.01	-155.09	SOUTHERN ALASKA
6.8	33	2001	10/01/2001	16:02:43	56.99	-153.46	KODIAK ISLAND REGION
6.6	42.2	2000	11/07/2000	1:32:26	57.45	-154.41	KODIAK ISLAND REGION
7	19.5	1999	6/12/1999	23:12:28	57.4	-154.57	KODIAK ISLAND REGION
6.8	25.8	1999	20/03/1999	10:47:45	51.56	-177.72	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.6	56.3	1999	28/01/1999	8:10:04	52.86	-169.17	FOX ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.5	21.7	1997	17/12/1997	4:38:51	51.17	-181.17	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.6	36	1997	26/03/1997	2:08:57	51.28	-180.47	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
7.6	34.1	1996	10/06/1996	4:03:35	51.55	-177.61	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.8	4.1	1996	22/03/1996	3:24:17	51.28	-181.32	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.8	12.3	1993	15/05/1993	21:52:22	51.34	-178.69	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.9	33.3	1993	13/05/1993	11:59:47	55	-160.39	ALASKA PENINSULA
6.9	13.6	1992	7/08/1992	18:19:20	57.59	-142.94	GULF OF ALASKA
6.7	10	1992	6/04/1992	13:54:40	50.65	-130.06	VANCOUVER ISLAND REGION
6.8	37.2	1991	30/05/1991	13:17:43	54.59	-161.59	ALASKA PENINSULA
6.5	20.2	1991	21/02/1991	2:35:34	58.43	-175.45	BERING SEA
6.5	100.2	1991	23/01/1991	1:12:28	51.96	-181.19	RAT ISLANDS, ALEUTIAN ISLANDS
6.6	209.7	1990	1/05/1990	16:12:21	58.85	-156.83	ALASKA PENINSULA
7	11	1989	4/09/1989	13:14:58	55.58	-156.86	SOUTH OF ALASKA
7.3	10	1988	6/03/1988	22:35:36	57.27	-142.79	GULF OF ALASKA
7.8	10	1987	30/11/1987	19:23:15	58.8	-142.6	GULF OF ALASKA
7.2	10	1987	17/11/1987	8:46:50	58.82	-143.25	GULF OF ALASKA
6.5	33.8	1987	21/06/1987	5:46:10	54.2	-162.66	ALASKA PENINSULA
6.8	25.9	1987	6/05/1987	4:06:15	51.26	-179.88	ANDREANOF ISLANDS, ALEUTIAN IS.
6.5	31	1986	12/09/1986	23:57:15	56.19	-153.4	KODIAK ISLAND REGION
6.8	17	1986	19/06/1986	9:09:10	56.39	-152.86	KODIAK ISLAND REGION
6.6	30	1985	9/10/1985	9:33:32	54.73	-159.65	SOUTH OF ALASKA
6.5	45.5	1983	14/02/1983	3:20:05	55.03	-159.19	ALASKA PENINSULA
6.5	28.8	1972	30/07/1972	21:45:15	56.77	-135.91	SOUTHEASTERN ALASKA

表２　アラスカ－アリューシャン地域における 1970 年から 2013 年までの VEI3 より規模の大きい噴火(VEI4 以上の噴火は黄色)

Spurr, Alsaka	1992	61.3	-152.25	4
Redoubt, Alaska	2009	60.48	-152.74	3
Redoubt, Alaska	1989	60.48	-152.74	3
Augustine, Alaska	2005	59.36	-153.43	3
Augustine, Alaska	1986	59.36	-153.43	4
Augustine, Alaska	1976	59.36	-153.43	4
Trident, Alaska	1974	58.24	-155.1	3
Ukinrek Maars, Alaska	1977	57.83	-156.51	3
Veniaminov, Alaska	1983	56.17	-159.38	3
Pavlof, Alaska	1986	55.42	-161.89	3
Pavlof, Alaska	1983	55.42	-161.89	3
Pavlof, Alaska	1981	55.42	-161.89	3
Pavlof, Alaska	1980	55.42	-161.89	3
Pavlof, Alaska	1980	55.42	-161.89	3
Pavlof, Alaska	1974	55.42	-161.89	3
Shishaldin, Aleutian	1995	54.76	-163.97	3
Shishaldin, Aleutian	1995	54.76	-163.97	3
Westdahl, Aleutian	1991	54.52	-164.65	3
Westdahl, Aleutian	1979	54.52	-164.65	3
Westdahl, Aleutian	1978	54.52	-164.65	3
Bogoslof, Aleutian	1992	53.93	-168.03	3
Okmok, Aleutian	2008	53.4	-168.17	4
Okmok, Aleutian	1997	53.4	-168.17	3
Okmok, Aleutian	1981	53.4	-168.17	3
Gareloi, Aleutian	1982	51.79	-178.79	3
Gareloi, Aleutian	1980	51.79	-178.79	3

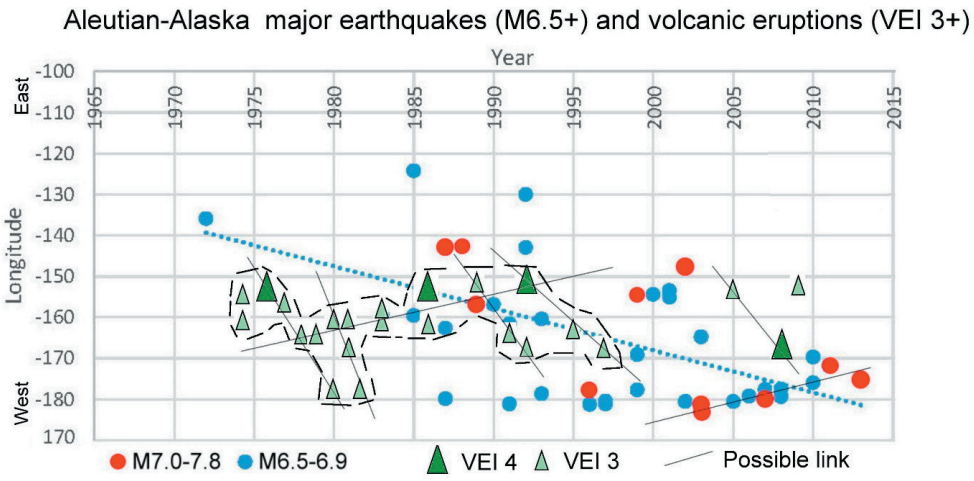


図１　大きな噴火と地震の経度－時間グラフ．全体的にみた場合，大きな噴火と地震は西方へ移動しているが，一部に，東への移動も認められる．

表１，表２の地震と噴火の経度－時間プロットが図１である．全体的に見た場合，震央分布の集中度の高い部分（点線）は，時間の経過とともに，左上から右下（西）へ移っている．点線の傾斜で示される震央集中域の移動速度は 46km/ 年 = 130m/ 日である．2002 年から 2013 年までの間では，きわめて明瞭な震央集中域（実線）が左下から右上（東）へ移動している．これは東方への熱移送を示すものであり，その速度は 50km/ 年 = 137m/ 日である．

これに対して噴火の場合の移動方向は２つあり，西への移動が速く，東への移動が遅い．つまり，前者は 180 ～ 225km/ 年 = 500 ～ 620m/ 日で，後者は 67km/ 年 = 185m/ 日である．

２）アラスカ～カナダからオレゴンへの流れ

表２に M6.0 より大きい地震を示した．この地域における大きな地震の震央は，図２の経度－時間グラフに示したが，大きく見ると震央域は南へ移動している．その速度は 49km/ 年，135m/ 日となる．

３）北米南部（オレゴン，カリフォルニア，メキシコ）での熱エネルギー流

この地域における主な地震は表３，その時空的な分布を示すグラフは図３に，それぞれ示した．時間－緯度のグラフで M6.0 より大きい地震を示した図３から，平均した移送速度は 50km/ 年 =137m/ 日と読

表２　アラスカ，カナダ，オレゴンにおける M6.0 より大きい地震

Magnitude	Depth (km)	Day	Time	Latitude	Longitude	Locality
6.1	37.4	12/07/1983	15:10:03	61.04	-147.37	SOUTHERN ALASKA
6.2	42.8	7/09/1983	19:22:04	60.97	-147.47	SOUTHERN ALASKA
6.4	16.9	28/02/1979	21:27:06	60.74	-141.55	SOUTHEASTERN ALASKA
6	14	28/06/1983	3:25:16	60.22	-141.27	SOUTHEASTERN ALASKA
7.2	10	17/11/1987	8:46:50	58.82	-143.25	GULF OF ALASKA
7.8	10	30/11/1987	19:23:15	58.8	-142.6	GULF OF ALASKA
6.1	1	6/01/2000	10:42:25	58.13	-136.93	SOUTHEASTERN ALASKA
6.3	9	12/11/2012	20:42:14	57.79	-142.86	GULF OF ALASKA
6.2	10	6/03/1988	23:14:36	57.74	-142.94	GULF OF ALASKA
6.9	13.6	7/08/1992	18:19:20	57.59	-142.94	GULF OF ALASKA
7.3	10	6/03/1988	22:35:36	57.27	-142.79	GULF OF ALASKA
6	21	16/01/1999	10:44:39	56.24	-147.42	GULF OF ALASKA
7.5	10	5/01/2013	8:58:19	55.39	-134.65	SOUTHEASTERN ALASKA
6.8	20	28/06/2004	9:49:46	54.82	-134.49	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6	20	12/07/2003	23:01:39	54.77	-134.35	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.2	20	17/02/2001	20:11:30	53.97	-133.76	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
7.8	14	28/10/2012	3:04:08	52.79	-132.1	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6	20	12/10/2001	5:02:35	52.71	-132.18	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.3	9	28/10/2012	18:54:20	52.67	-132.6	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.2	9	30/10/2012	2:49:02	52.37	-131.9	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.6	8.7	17/11/2009	15:30:46	51.96	-131.6	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6	10	9/01/2008	14:40:01	51.64	-131.17	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.6	10	5/01/2008	11:01:05	51.26	-130.76	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.1	5.5	3/09/2013	20:19:06	51.23	-130.45	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6	9.9	4/09/2013	0:23:12	51.2	-129.9	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.4	10	5/01/2008	11:44:48	51.15	-130.54	QUEEN CHARLOTTE ISLANDS REGION
6.7	10	6/04/1992	13:54:40	50.65	-130.06	VANCOUVER ISLAND REGION
6.6	11.4	24/04/2014	3:10:12	49.85	-127.44	VANCOUVER ISLAND REGION
6.4	25.5	19/07/2004	8:01:48	49.55	-127.01	VANCOUVER ISLAND REGION
6.5	22	9/09/2011	19:41:34	49.54	-126.89	VANCOUVER ISLAND REGION
6	10	2/07/1999	11:45:32	49.33	-129.15	VANCOUVER ISLAND REGION
6.1	13.7	8/11/2012	2:01:50	49.23	-128.48	VANCOUVER ISLAND REGION
6.7	13.2	2/11/2004	10:02:11	49.21	-128.83	VANCOUVER ISLAND REGION
6	10	11/01/2001	0:04:06	49.17	-128.9	VANCOUVER ISLAND REGION
6	10	6/10/1996	20:13:09	49.01	-127.89	VANCOUVER ISLAND REGION
6	10	14/09/2001	4:45:12	48.91	-128.26	VANCOUVER ISLAND REGION
6.7	56	28/02/2001	18:54:31	47.15	-122.63	WASHINGTON
6.2	10	2/06/2000	11:13:49	44.43	-130.18	OFF COAST OF OREGON
6.3	10	16/01/2003	0:53:15	44.21	-129.05	OFF COAST OF OREGON
6.3	10	10/01/2008	1:37:20	43.84	-126.91	OFF COAST OF OREGON
6.1	10	20/01/2000	9:41:53	43.7	-126.56	OFF COAST OF OREGON
6	8	11/04/2012	22:41:46	43.58	-127.64	OFF COAST OF OREGON
7.1	18	15/06/2005	2:50:55	41.45	-125.58	OFF COAST OF NORTHERN CALIFORNIA
6	10	21/02/2008	14:16:04	41.1	-114.88	NEVADA
6.6	12	17/06/2005	6:21:41	40.75	-126.47	OFF COAST OF NORTHERN CALIFORNIA
6.5	20.6	10/01/2010	0:27:41	40.67	-124.47	NEAR COAST OF NORTHERN CALIF.

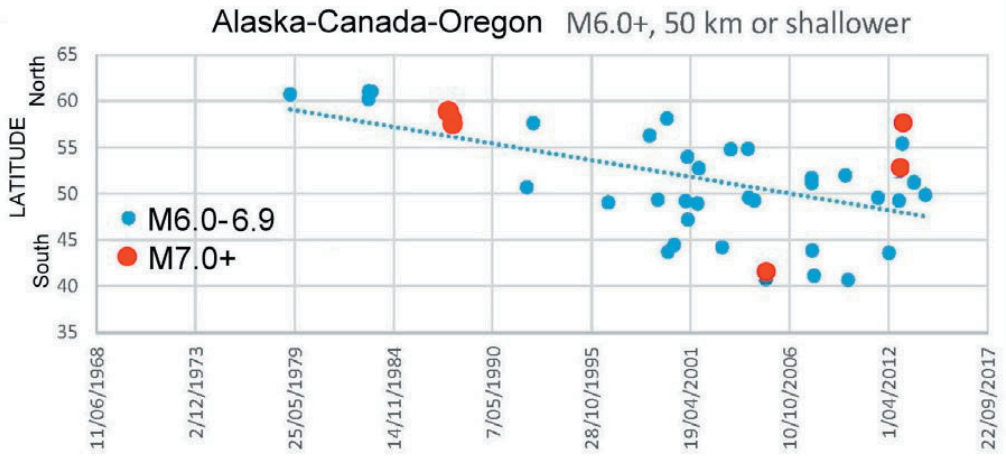


図２　時間－緯度グラフにプロットされた，深さ 50km 以上で M6.0 より大きい地震

み取られるが，これは，アラスカ－カナダからオレゴンに至るルート，ならびに，アリューシャンのそれとほぼ同じ速度である．1980 年５月のセントヘレンズ火山の噴火エネルギーは非常に膨大で，おそらく，その後に起こった M7.0 以上の２つの大地震を発生させたと考えられる．

３．討論

１）アリューシャン，アラスカ，カナダ，北部 USA，メキシコでの熱移送

この論文で扱った区域のそれぞれは，窓のように仕

表３　北米南部の主な地震

Magnitude	Depth (km)	Day	Time	Latitude	Longitude	Locality
6.4	0	26/03/1970	19:00:00	37.3	-116.53	SOUTHERN NEVADA
6.2	9.4	9/02/1971	14:00:40	34.4	-118.43	SOUTHERN CALIFORNIA
6.1	5	28/03/1975	2:31:06	42.04	-112.41	EASTERN IDAHO
6	11	26/11/1976	11:19:24	41.33	-125.66	OFF COAST OF NORTHERN CALIFORNIA
6.1	0	25/05/1980	16:33:44	37.6	-118.8	CALIFORNIA-NEVADA BORDER REGION
6.2	4.6	8/11/1980	10:27:31	41.15	-124.3	NEAR COAST OF NORTHERN CALIF.
6.5	10	3/11/1981	13:47:34	43.56	-127.7	OFF COAST OF OREGON
6.2	6.8	2/05/1983	23:42:37	36.24	-120.27	CENTRAL CALIFORNIA
6	9	22/07/1983	2:39:54	36.21	-120.37	CENTRAL CALIFORNIA
6.2	10	28/10/1983	14:06:07	44.1	-113.81	EASTERN IDAHO
6.1	5	10/09/1984	3:14:09	40.39	-126.8	OFF COAST OF NORTHERN CALIFORNIA
6.6	10	13/03/1985	19:34:57	43.5	-127.62	OFF COAST OF OREGON
6.6	10	18/06/1988	22:49:42	26.81	-111.04	GULF OF CALIFORNIA
6.9	7.6	18/10/1989	0:04:14	37.06	-121.79	CENTRAL CALIFORNIA
6.8	11	13/07/1991	2:50:14	42.19	-125.65	OFF COAST OF OREGON
6.4	7	16/08/1991	22:26:16	41.72	-125.42	OFF COAST OF NORTHERN CALIFORNIA
6.9	13.5	17/08/1991	22:17:15	41.85	-125.41	OFF COAST OF NORTHERN CALIFORNIA
6.2	12.4	23/04/1992	4:50:23	33.91	-116.48	SOUTHERN CALIFORNIA
7.1	15.1	25/04/1992	18:06:04	40.36	-124.05	NEAR COAST OF NORTHERN CALIF.
6.7	22.2	26/04/1992	11:18:26	40.47	-124.36	NEAR COAST OF NORTHERN CALIF.
7.2	1.1	28/06/1992	11:57:35	34.25	-116.48	SOUTHERN CALIFORNIA
6.3	10	28/06/1992	15:05:31	34.27	-116.78	SOUTHERN CALIFORNIA
6.1	25.9	17/05/1993	23:20:52	37.13	-117.81	CALIFORNIA-NEVADA BORDER REGION
6	10.7	21/09/1993	3:28:55	42.31	-122	OREGON
6.7	15.9	17/01/1994	12:30:54	34.14	-118.58	SOUTHERN CALIFORNIA
7.1	10	1/09/1994	15:15:53	40.44	-125.69	OFF COAST OF NORTHERN CALIFORNIA
6.1	14	12/09/1994	12:23:43	38.84	-119.65	CALIFORNIA-NEVADA BORDER REGION
6.4	10	19/02/1995	4:03:16	40.56	-125.53	OFF COAST OF NORTHERN CALIFORNIA
6	29.3	30/06/1995	11:59:00	24.75	-110.25	BAJA CALIFORNIA, MEXICO
6.6	12.2	28/08/1995	10:46:14	26.27	-110.36	GULF OF CALIFORNIA
7.1	0	16/10/1999	9:46:45	34.58	-116.44	SOUTHERN CALIFORNIA
6.1	17.7	13/11/2001	9:47:35	22.38	-106.95	NEAR COAST OF CENTRAL MEXICO
6.1	80	16/01/2002	23:10:19	22.5	-93.2	GULF OF MEXICO
6	120	30/01/2002	8:42:30	24.4	-95.6	GULF OF MEXICO
6.4	10	3/10/2002	16:08:29	23.3	-108.5	GULF OF CALIFORNIA
6.4	10.3	12/03/2003	23:41:33	26.65	-110.58	GULF OF CALIFORNIA
6.4	10	22/12/2003	19:15:56	35.67	-121.05	CENTRAL CALIFORNIA
6.5	14.1	4/01/2006	8:32:33	28.23	-112.13	GULF OF CALIFORNIA
6.1	9.8	1/09/2007	19:14:23	24.99	-109.66	GULF OF CALIFORNIA
6.9	7.8	3/08/2009	17:59:56	29.07	-112.91	GULF OF CALIFORNIA
6.2	10	3/08/2009	18:40:49	29.43	-113.76	GULF OF CALIFORNIA
7.2	5.2	4/04/2010	22:40:43	32.28	-115.26	CALIF.-BAJA CALIF. BORDER REGION
6.7	13.9	21/10/2010	17:53:13	24.79	-109.17	GULF OF CALIFORNIA
6.1	12	26/07/2011	17:44:20	25.1	-109.53	GULF OF CALIFORNIA
7	13	12/04/2012	7:15:48	28.7	-113.1	BAJA CALIFORNIA, MEXICO
6	9	12/04/2012	7:06:00	28.84	-113.03	BAJA CALIFORNIA, MEXICO
6.3	10	25/09/2012	23:45:24	24.67	-110.17	BAJA CALIFORNIA, MEXICO
6	14	8/10/2012	6:26:23	25.13	-109.57	GULF OF CALIFORNIA
6.4	13	14/12/2012	10:36:01	31.1	-119.66	OFF W. COAST OF BAJA CALIFORNIA
6.1	11.1	14/12/2012	10:36:18	32.41	-119.37	OFF COAST OF CALIFORNIA
6.4	1	19/10/2013	17:54:56	26.27	-110.18	GULF OF CALIFORNIA

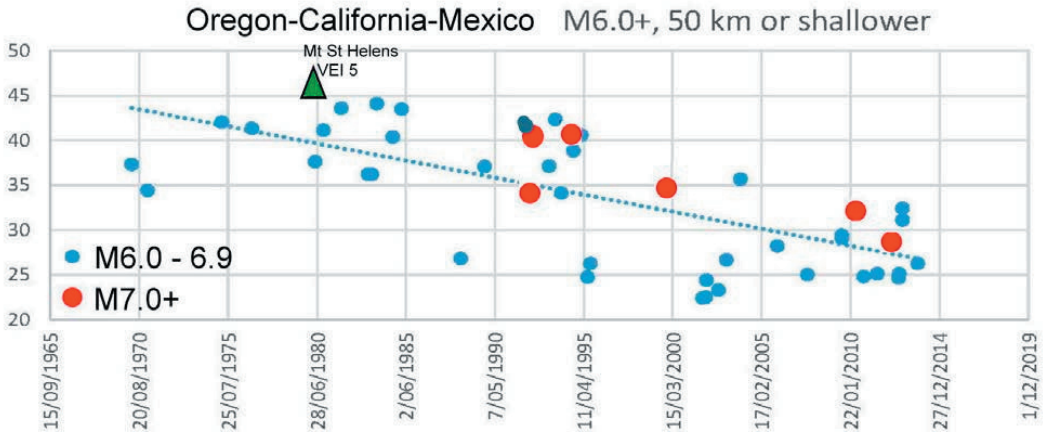


図３　時間－緯度グラフにプロットされた北米南部（オレゴン，カリフォルニア，メキシコ）における M6.0 以上の地震

切られた狭いものであるが，それらの区域における地震エネルギーの移送速度はほぼ一定していて，すべて 120 ～ 140m/ 日の範囲に収まった．西アリューシャンにおける西向きの移送速度も 137m/ 日で，同じ範囲に収まる．どこでもこのように一定な移送速度であるということは，北米やアリューシャン列島の全域における移送速度がこの範囲に収まることを示している．

一方，アリューシャンにおける噴火エネルギーの移送速度は，地震エネルギーの速度よりずっと速く，とくに，西向きのそれは地震エネルギーのそれを４倍も上回っている．これは，おそらく，より深部の地下 100 ～ 250km における熱エネルギーの移送速度と考えられる（Blot，1976，1981 ；Blot et al.，1974）．

２）アリューシャンにおける東向きの熱エネルギー移送

いままで述べてきたように，アリューシャン列島地域では，地震と噴火の集中域が東へ移っていく．この傾向は，1878 年から 1992 年の間の東アリューシャンにおける噴火集中域の移動でとくに顕著だった．東アリューシャンでは，2002 年から 2013 年にかけての期間も，地震集中域の移動がはっきりと現われた．筆者らは，この東への移動はカムチャッカに起因していると考えている（図４）．これは，アリューシャン地域における熱移送ルートの構造的な複雑さに原因があると考えられる．同じような入り組んだ熱移送は，カリブ海周辺でも認められる（Choi et al.，準備中）．

３）他の地域における熱移送との比較

より深部の北部チリの断面で Choi（2014）は，地下 214 ～ 128km で 410m/ 日，地下 128 ～ 35km で 360m/ 日という移送速度を得た．浅層（地下 0 ～ 50km）の大規模な地震密集域が南米の太平洋沿岸を移動する速度は平均 250m/ 日である．この速度は，すでに述べた北米のそれより速い．

Blot が算定した西太平洋の地震から得られた和達－ベニオフ帯に沿うエネルギー移送速度は，地下 600km で 2.6km/ 日，地下 200km で 0.9km/ 日，地下 33km で 0.5km/ 日である（Grover，1998）．興味深いことに，北米の移送速度（120 ～ 140km/ 日）より，西太平洋の移送速度の方が遅い．

カリブ海で起こったハイチ地震（Choi，2010）で得られた移送速度が地下 160 ～ 7km で 1.57km/ 日であるので，北米での速度よりはるかに速い．これらのことは，熱源と関係しているらしい；つまり，カリブ海の直下ではマントルがドーム状にもり上がっているが，これは熱エネルギーが深部マントルあるいは熱源（外核；訳者注）から直接移送されているためと考えられる（Choi，2010）．

Tsunoda et al.（2013）は，地震の熱エネルギーの移送速度に関連する要因，とくに熱源，温度勾配，地質などを検討した．それによると，西太平洋の移送速度が速いのは，熱源となる南太平洋のスーパープリュームが原因らしい．

アリューシャンにおける激しい噴火に関連する西方への熱エネルギー移送速度は 500 ～ 620m/ 日に達す

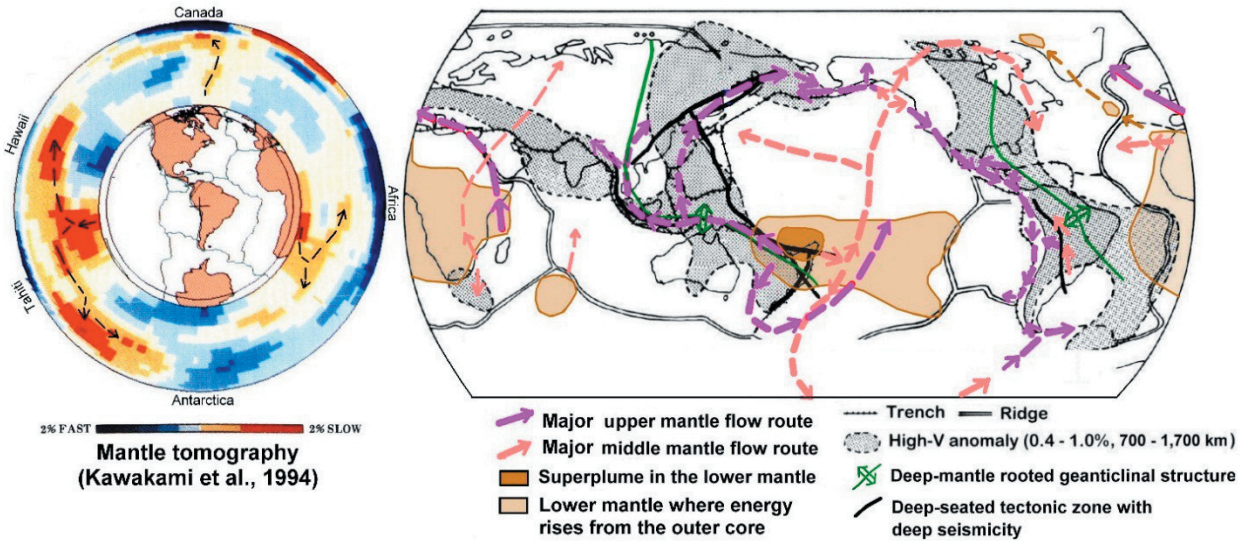


図４　Kawakami et al（1994）によるマントルトモグラフィ画像．左図の破線は筆者らの一人が解釈で加筆したもの，DC．右図は Choi（2012，未公表）によるマントル内における熱移送路．これらのン熱移送路では，南太平洋のスーパープリュームを上昇してきた熱エネルギーが中部マントルで横に拡がる．中部マントル内では，熱エネルギーは太平洋を横切ってハワイを経て，アラスカ湾で上部マントルへ上がってくる．そのとき，「支流」が産まれて，西，南東，北の３方向へ分れる．

るが，東へのそれは 185m/ 日と遅くなっている．ちなみに，富士火山帯における VE 活動の（北上；訳者注）速度は約 400m/ 日である（Tsunoda et al, 2014）．

４）熱源について

筆頭筆者（DC）はブリスベン（2012）の IGC で，Kawakami et al（1994：図５）に基づいて，図４のような熱移送ルートを報告した．これよりもっと詳しい地球全体のマントルトモグラフィ画像（Ohbayashi，未公表）が Tsunoda（2010）によって紹介された．これらの画像でＰ波速度が遅く，蒸気や液体を含んだ低速度域が熱移送路のようである．アラスカ湾には西への移送と南東への移送という２つの交わる移送路があり，中部マントル内には南太平洋－ハワイ－アラスカ湾を通る移送路があるらしい．これらの新しい移送路をめぐっては，もっと多くのデータと新しい視点とによる一層の検討が望まれる．

アラスカ湾直下の中部マントルから浅部マントルへ熱エネルギーが上昇することを示す他の証拠が在る．それは図６で示されているように，2014 年２～５月の３ヶ月間に海水面温度（SST）が上昇したことである．ご承知のように，2013 年 12 月初旬から，アラスカ湾の地下は広域にわたって高温状態になってきた．上記の SST が現われた時期と，2010 年から太平洋を横切ってきた地震集中域が 2014 年４月に急速に浮上してきた時期とは一致する（図７）．

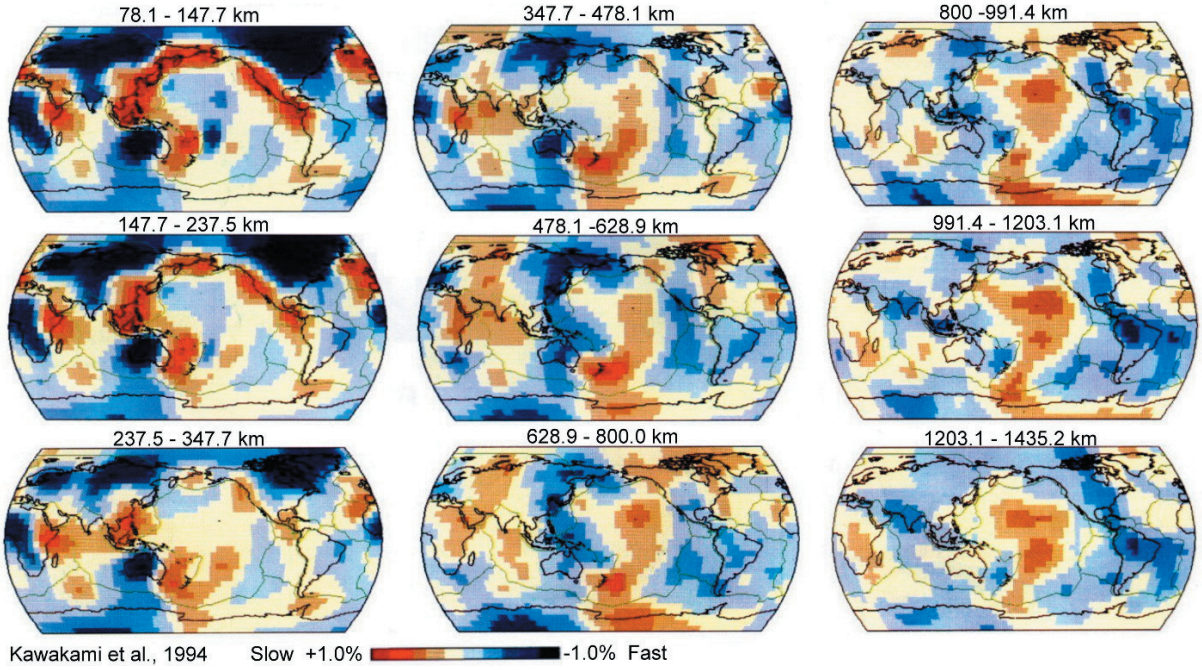


図５　Ohbayashi（未公表，角田，2009 に掲載；訳者注；Kawakami et al, 1994 は誤植）のマントルトモグラフィ画像．地下 1200 ～ 630km の深さにおける低速域は，北西太平洋からアラスカ湾まで達した後，しだいに深さ 630km から深さ 78km へと引っ込んでいく．筆者らは，この中部マントル内における低速域が，北米とアリューシャン地域への熱移送ルートであると考えている．同じように地下 1200 ～ 600km の深さで，ハワイから日本への移送ルートのあることも読み取れる．

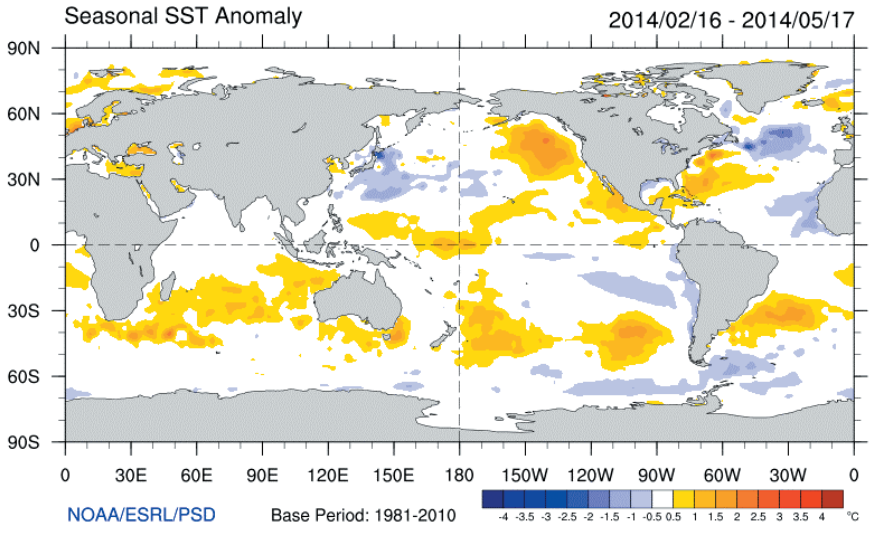


図６　2014 年の１月 16 日から５月 17 日までの海水温異常の映像．アラスカ湾に高異常の「目」があることに注意．そして，この現象は 2013 年の 11 月から出現した（http://www.esrl.noaa.gov/psd/map/clim/sst.shtml.）．また，日本沖の低温部にも注目（訳者補筆；本文参照）．

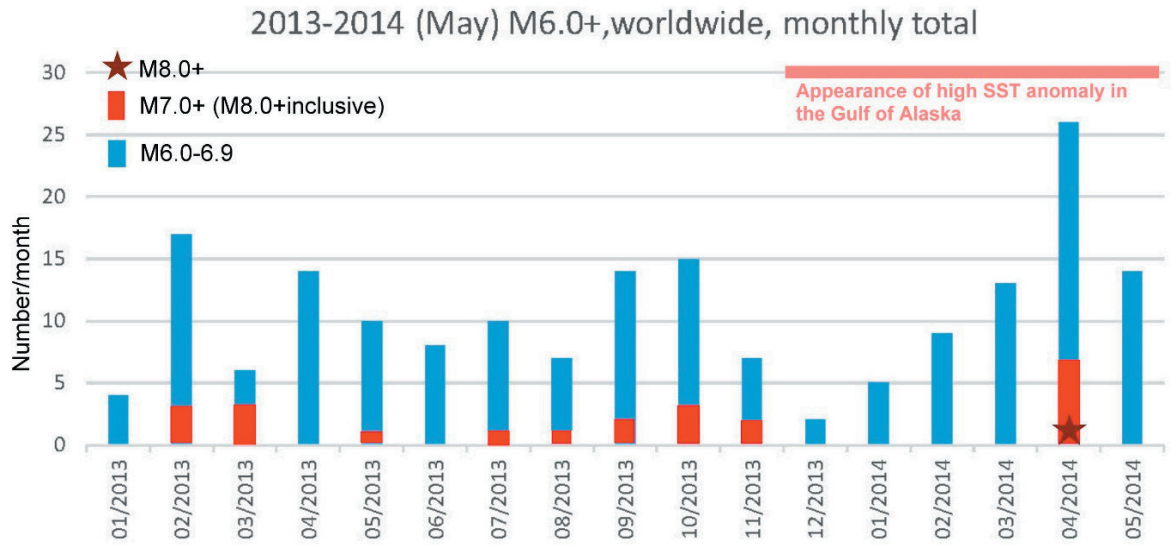


図 7　世界の大地震の月別発生数．2014 年 3 ～ 4 月の大地震の大部分は太平洋地域で発生した．2013 年 12 月にもっとも少なかった大地震の数はそれ以後，2014 年 4 月まで急上昇して増加している点が注目される．この期間は，2013 年 12 月からアラスカ湾で SST の非常に強い高温異常，日本沖で低温異常が現れた期間と一致している．

図 6 の SST 異常についてはこの他にも，興味をそそられる事実がある．図 6 に示されているように，非常につよい SST 異常は，北西太平洋（日本沖）と北東太平洋（アラスカ湾）の二か所に対照的に発現している．つまり，前者は地下の低温部であり，後者が地下の高温部となっているのである．加えて，低温異常の領域に囲まれるような状態で，SST のするどいピークが現れたのが 2013 年からで，その状態は 6 ヶ月経った 2014 年 6 月初旬まで続いた．こうした現象は，Gregori（2013）が指摘する「海のいたずら」モデル，あるいは，「ジュール熱による高温化」と良く対応する．

4．結論

大地震と噴火の時空的な分布を解析したこの研究によって，北米とアリューシャン列島で起こっている熱エネルギー移送の実態が明らかになった．つまり，これらの地域を通じて，浅部マントルと地殻における 120 ～ 140m/ 日という，ほぼ一定な熱エネルギー移送速度の存在が明らかになった．この移送速度は，西太平洋や南米に比べて遅い．

アリューシャン列島では，東と西の両方に移送されるエネルギー流があって，複雑な移送パターンになっている：

1）アリューシャン列島における西向きの噴火エネルギー移送速度は，地震エネルギー移送の速度より速い．これは，移送ルートの深さが地下 100 ～ 250km にあり，速度は，180 ～ 225km/ 年，つまり，500 ～ 620m/ 日である．

2）火山の配列（訳者加筆；ならびに，そこでの噴火の時系列）で見つかった，西への移送速度より遅い東へのエネルギー移送速度は 67km/ 年，つまり，185m/ 日と計算で求められた．一方，東アリューシャン列島で 1978 ～ 1990 年に観測された東への地震集中域の移動速度は，火山噴火で得られた速度とほとんど同じである．

この論文で明らかにされたエネルギーの熱源は南西太平洋と考えられる．そこでの熱エネルギーは中部マントル中を移送された後で，アラスカ湾に湧昇した．湧昇流は，そこから 2 つの大きな支流となって，アリューシャン列島から北米の海岸線沿いに，西と南東へ移送されたのである．

中部マントルの熱エネルギー流がアラスカ湾へ湧昇したことは，アラスカ湾に広い海水温（SST）の高温異常域が，ごく最近（2013 年）の 12 月以降に発現したことで証明される．アリューシャンや北米の地域では，アラスカ湾から下方へ放射された熱エネルギーが，激しい火山・地震活動を引き起こすに違いない．つまり，太陽の弱活動期と相まって，地球内部の熱エネルギーはどんどん蓄積されて増大し，解放されれば（Casey, 2012; Choi, 2013; Choi et al, 2014），破壊的な地震や噴火などの大きな災害を引き起こすのは間違いない．そこで，こうした熱エネルギーが湧昇する場所や移送速度があらかじめ知れれば，いつ，どこで災害を軽減する手立てを考えたら良いかが分かる．

最近の研究で，地球内部における熱移送の正確度は増し，主として，環太平洋の中生代－新生代変動帯に発達する複雑な熱移送路のしくみを明らかにしつつある．熱移送システムをもっとはっきり解明するには，その地質学的な規則性，地球の自転の効果，

深部地質での変動の動態と変動過程，地球外の宇宙力などを探求する必要がある．

謝辞　筆者らは，John Casey，Bruce Leybourne，Giovanni Gregori をはじめとする方々から励ましの言葉をいただいた．

文　献

Blot, C., 1976. Volcanisme et sismicité dans les arcs insulaires. Prévision de ces phénomènes. Géophysique, v. 13, Orstom, Paris, 206p.

Blot, C., 1981. Deep root of andesitic volcanoes: new evidence of magma generation at depth in the Benioff zone. Jour.Volcanology and Geothermal Research, v. 10, p. 339-364.

Blot, C. and Choi, D.R., 2004. Recent devastating earthquakes in Japan and Indonesia viewed from the seismic energy transmigration concept. NCGT Newsletter, no. 33, p. 3-12.

Blot, C., Defossez, M. and Monget, J.M., 1974. Relations entre magmas volcaiques et zones séismiques dans les arcs Honshu et Hokkaido. Bull. Volcanologique, v. XXXVIII-4, p. 988-997.

Casey, J., 2012. Cold Sun. Trafford Publishing, 167p.

Choi, D.R., 2010. The January 2010 Haiti seismic disaster viewed from the perspective of the energy transmigration concept and block tectonics. NCGT Newsletter, no. 54, p. 36-44.

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., 2013. Earthquake/volcanic activities and solar cycles. Global climate Status Report (GCSR), Edition 3-2013, p. 10-19.

Choi, D.R., 2014. Seismo-electromagnetic energy flow observed in the 16 March 2014 M6.7 earthquake offshore Tarapaca, Chile. NCGT Journal, v. 2, no. 1, p. 61-65.

Choi, D.R., Casey, J., Maslov, L. and Tsunoda, F., 2014. Increased seismic and magmatic activities since 1990 in the North and South Americas, and their relation to solar cycles. Global Climate Status Report (GCSR), Edition 2-2014, p. 7-19.

Gregory, G.P., 2013. Crustal stroms of continental/planetary scale. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 40-64.

Grover, J.C., 1998. Volcanic eruptions and great earthquakes. Advanced warning techniques to master the deadly science. CopyRight Publishing Co. Pty Ltd., Brisbane, 272p.

Kawakami, S., Fujii, N. and Fukao, Y., 1994. Frontiers of the earth and planetary science: a gallery of the planetary worlds. Jour. Geol. Soc. Japan, v. 100, p. I-VIII.

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

Tsunoda, F., 2011. The March 2011 Great Offshore Tohoku-Pacific Earthquake from the perspective of the VE process. NCGT Newsletter, no. 59, p. 69-77.

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

Tsunoda, F., Kawabe, T. and Choi, D.R., 2014. Transmigrating heat passing through the Aogashima Volcanic Island, Izu Volcanic Chain, Japan. NCGT Journal, v. 2, no. 2, p. 27-31.

伊豆火山列青ヶ島火山島を通過する熱移送
TRANSMIGRATING HEAT PASSING THROUGH THE AOGASHIMA VOLCANIC ISLAND, IZU VOLCANIC CHAIN, JAPAN

角田史雄・川辺孝幸・Dong R. Choi

[1] 1-11-25, Kamifukuoka, Fujimino, Saitama, Japan, tsunochan2@gmail.com
[2] Faculty of Education, Art and Science, Yamagata University, kawabe@kescriv.kj.yamagata-u.ac.jp
[3] International Earthquake and Volcano Prediction Center, Canberra. dcho i@ievpc.org

（ 川辺　孝幸［訳］）

要旨：地震活動の詳細な検討をもとに，VE 過程の新しい移送モデルがここに提案された．すなわち，熱移送の主要な経路は，上部マントルと下部地殻の 2 つの深度レベルと，これらの上部マントルと下部地殻の 2 つの経路を繋ぐ移送経路が識別できた．VE 過程からは，VE15 イベントは，現在，青ヶ島火山島を通過中である．この過程は，やがて，2017 ～ 2018 年に東京の南の相模地域に到達し，猛烈な地震被害が起こる可能性が予測される．

キーワード：*VE process, heat transfer, volcanic and seismic activity, northing of energy*

1．序

VE 過程は，伊豆－ボニン火山列（図１）における火山活動と地震活動の北への移動をくりかえす過程に対して，筆頭著者によって提案された（Tsunoda, 2009）．1980 年代から現在まで，合計 16 の VE 過程が識別されている．このような VE 過程は，上部マントルと地殻における熱移送によってもたらされていると考えられる．伊豆－ボニン火山列における地震活動の詳細な検討によって，VE 過程のメカニズムとそのプロセスをより詳細に理解できた．本報告では，我々の詳細な解析結果の概要を報告する．

2．北上する VE 過程の繰り返し

大島火山島から南の福徳－岡ノ場海底火山まで南北方向に伸びる伊豆－ボニン火山列において，火山活動と地震活動は，始新世からおこなわれてきた（図１）．火山列の総直線距離は，およそ 1,700km である．この火山活動と地震活動は，筆頭著者によって，VE 過程と呼ばれている（Tsunoda, 2009）．気象庁の HP に掲載されているデータは，1972 年から，この火山列における地震と火山噴火が北への移動を周期的に繰り返してきたことを示している．

北への移動速度は，およそ 1,700km/11.5 年（図２の VE15 ゾーンの場合）≒ 147.8km/ 年（約 400m/ 日）で，VE イベント間の間隔は，およそ 2005 ～ 2014 年の期間でみると 3.5 ～ 4.5 年である（Tsunoda, 2010a, 2010b ; Tsunoda et al., 2013）．

3．過去 5 年間の VE 過程

VE 過程の北への移動

北への移動パターンの経路における全ての火山イベントと地震イベントに対して，番号が付けられた（Tsunoda, 2009, 2011）．富士火山帯における過去

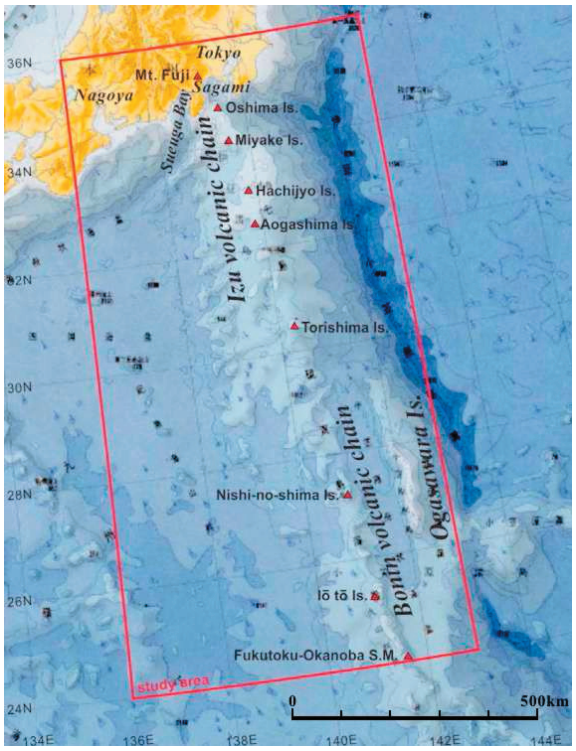


図 1 位置図

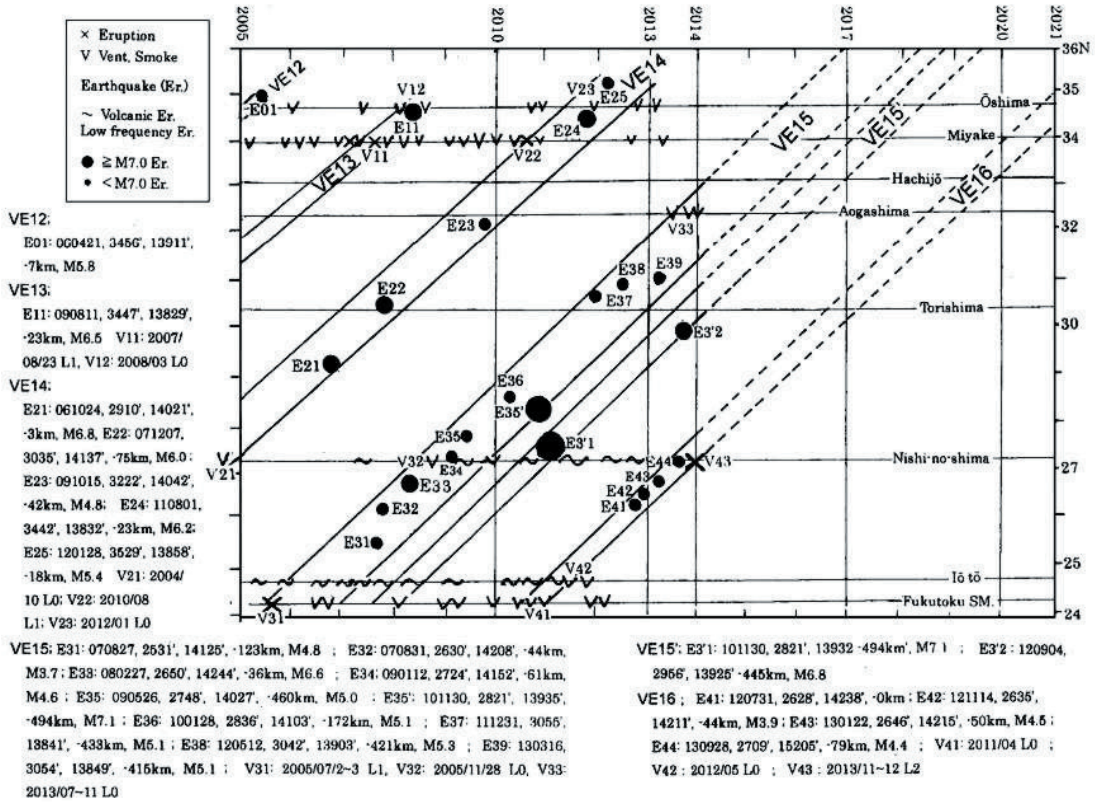


図 2 伊豆－ボニン火山列における 2005 ～ 2014 年の VE チャート．地震と火山のデータは，気象庁 HP(2014) による．

250 年間の火山活動と地震活動は，VE チャートにまとめられた（図３）．2001 年の福徳－岡ノ場海底火山から始まる VE14 の場合，３つの火山イベント（V21 ～ V23）と５つの地震イベント（E21 ～ E25）が，経路の中央部で起こっている（気象庁 HP，2014）．しかしながら，VE14 と VE16 の経路における M5 以上の震源は浅いが，VE15 における１つの震源は深い．VE15 の経路における地震は，伊豆－ボニン火山列における時間ごとの断面図に示されるように，上方と下方に移動している（図４・図 5）．

VE 過程の新しいモデル

地殻～最上部マントルの岩石系は，冷えた脆性的な層と熱い塑性的な層の繰り返しでできている．熱く無地震の層は，熱をよく伝導し，震動は硬い脆性的な層に限定される．２つの主要な熱の水平輸送ルートと主要な火山と急な通り道が，伊豆－ボニン弧に存在すると考えられている（Tsunoda，2010b）．地震層は，熱輸送ルートの近傍に限られる（Tsunoda et al.，2013）．過去 17 年間における地震の集中は，

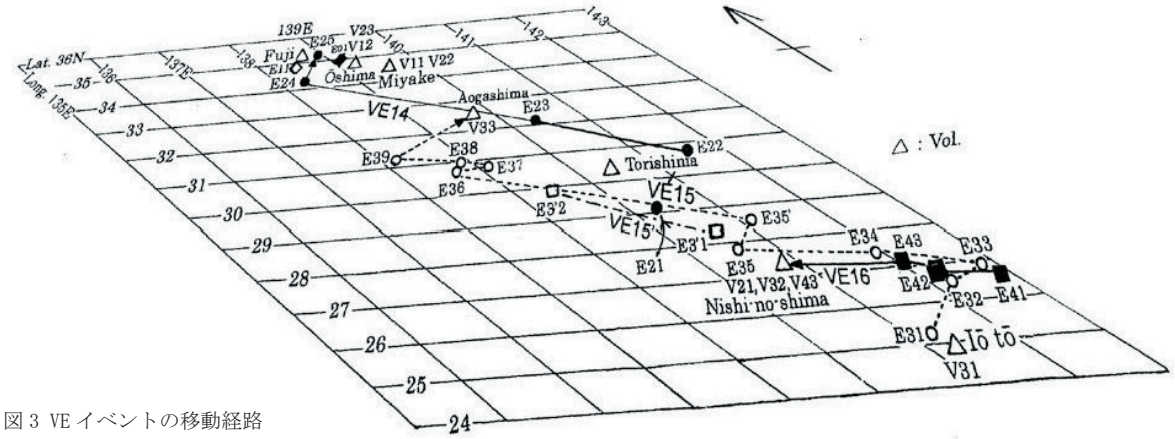


図 3 VE イベントの移動経路

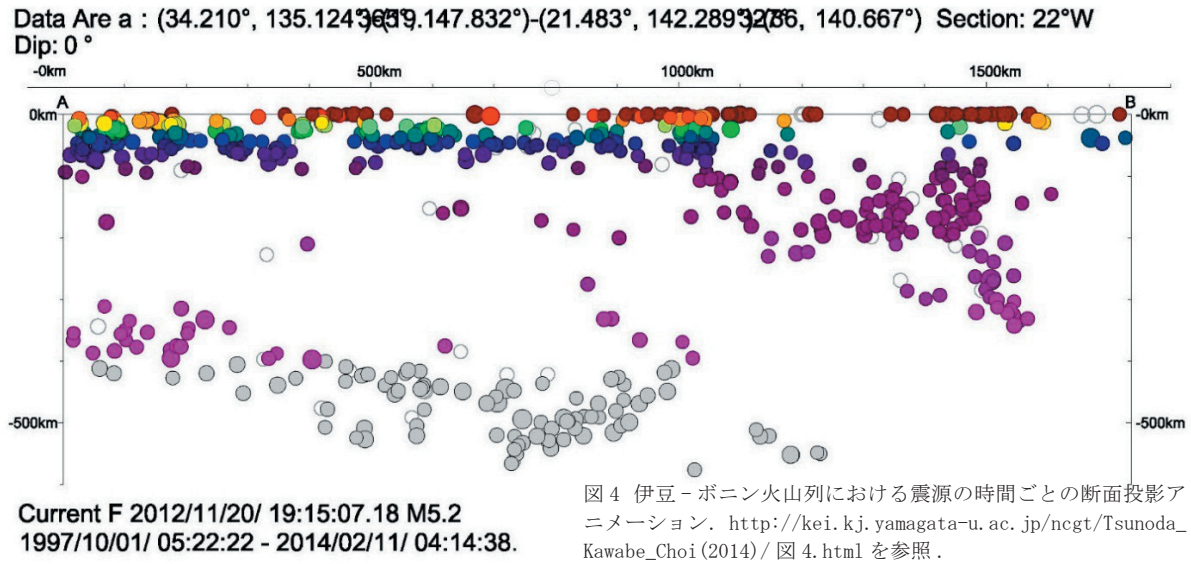


図 4 伊豆－ボニン火山列における震源の時間ごとの断面投影アニメーション．http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/ncgt/Tsunoda_Kawabe_Choi(2014)/ 図 4.html を参照．

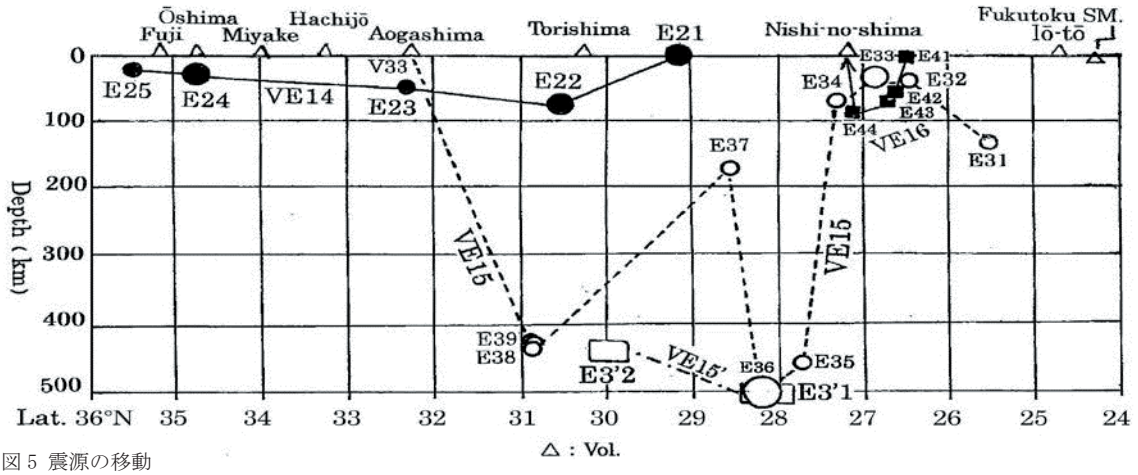


図 5 震源の移動

実際にこの地域で明らかになっている（図４の時間アニメーション参照のこと）．新しい移動モデルを図６に示す．

熱移送は，すぐに青ヶ島火山島を通過する

青ヶ島火山島沖の南東海域には，2009 年 10 月 15 日に地震がやってきた（E23，M4.8，図２・図３）．この地震イベントは，北に移動する VE14 が横切ったことを示している．その後，VE15 の熱流がやってくることで，海底噴火による海面変色を伴う青ヶ島火山島の火山イベント列が始まった（図２・図３の V33）．V33 の火山イベントは，図７（気象庁のデータをもとに描画）に，2-4 として示されている．熱移送は，青ヶ島火山島をすぐに通過するであろう．

VE チャートに基づく長期予報

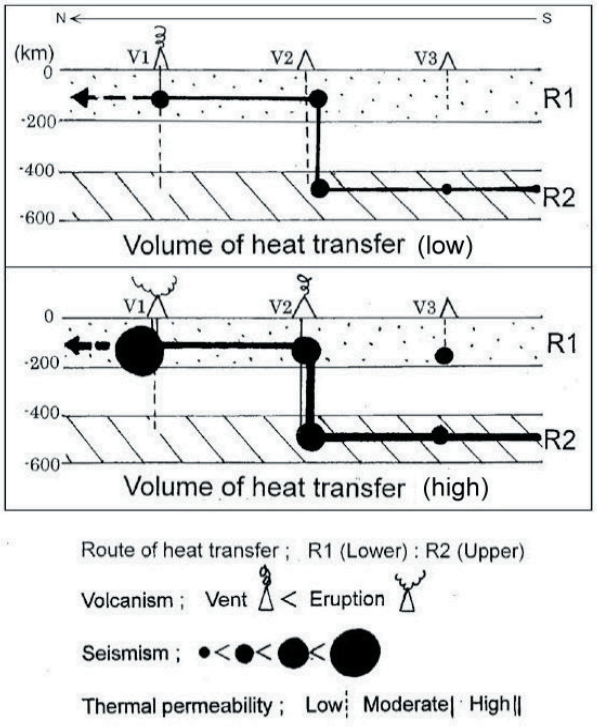


図 6 伊豆－ボニン火山列における熱移送モデル

2011 年 8 月に駿河湾の沿岸地域で起こった大きな地震（図２の VE14 の E24）は，Tsunoda（2010a）によって予測されたとおりに起こったすべての VE 過程のゾーンが直線的なゾーンをなしていて，それぞれが互いに平行であることから，VE チャート（図２）におけるすべての VE イベントの移動の平均的速度はほぼ同じである．この事実は，長期的予報における未来の VE イベントの発生の証しとなる．もし，VE15 を外挿すると，東京の約 100km 南の相模エリアは 2017 年～ 2018 年に，地震被害に見舞われるであろう．伊豆－ボニン弧における VE15 と VE15’，VE16 の将来の移動に注意深く注目する必要がある．

謝辞： 気象庁による気象庁一元化震源データを使用させていただいた．このデータは，気象庁，防災科学研究所，北海道大学，弘前大学，東北大学，東京大学，名古屋大学，京都大学，高知大学，九州大学，鹿児島大学，地質総合センター，東京都，静岡県，神奈川温泉研究所，横浜市および日本海洋研究開発機構によるものであり，上記の諸機関に深く感謝する．

文　献

Tsunoda, F., 2009. Habits of Earthquakes. Part 1: Mechanism of earthquakes and lateral thermal seismic energy transmigration. NCGT Newsletter, no.53, 38-46.

Tsunoda, F., 2010a. Habits of Earthquakes. Part 2: Earthquake corridors in East Asia. NCGT Newsletter, no.54, p. 45-56.

Tsunoda, F., 2010b. Habits of Earthquakes. Part 3: Earthquakes in the Japanese Islands. NCGT Newsletter, no. 55, 35-65.

Tsunoda, F., 2011. The March 2011 Great offshore Tohoku-Pacific Earthquake from the perspective of the VE process. NCGT Newsletter, no. 59, p. 69-77.

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

Japan Meteorological Agency HP, 2014. http://www.jma.go.jp/jma/en/menu.html

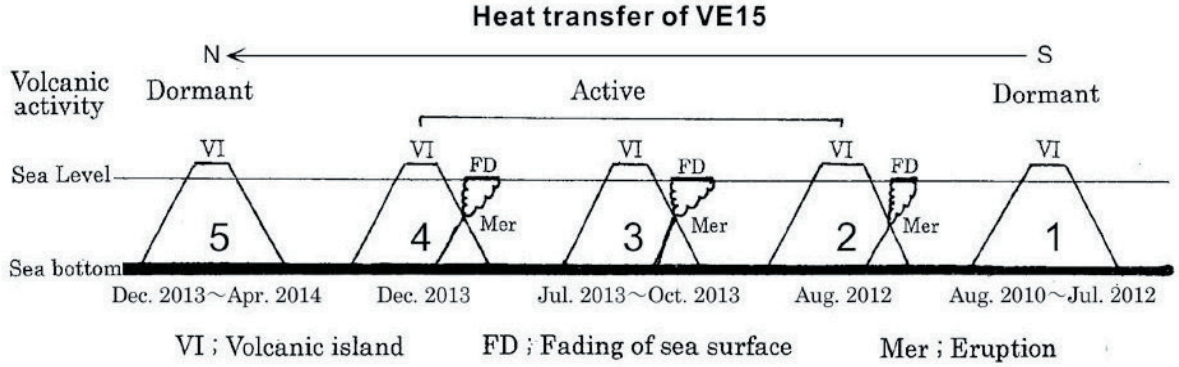


図 7 青ヶ島火山島における火山イベント

地球と月：類似した構造 ― 共通した起源
EARTH AND MOON: SIMILAR STRUCTURES – COMMON ORIGIN

Gennady G. KOCHEMASOV
IGEM of the Russian Academy of Sciences, kochem.36@mail.ru

（ 山内　靖喜［訳］）

要旨：地球－月の宇宙での対に関する新しい一般的な波動テクトニクスは，惑星世界の真の構成に関する私たちの理解を著しく前進させた．２つの天体における類似性は半球規模の隆起部と沈降部（2πR 構造），最も深いジオイド異常（インド洋最小値と南極エイトケン盆地）を伴う顕著な地域（πR 構造），同心円状のテクトニック性粒状構造（πR/4 構造－月の盆地と海及び地球上の始生代クラトンの上部構造）である．上記の造構性ブロックの規則的な配列とそれらの調和した関係は，両天体が波動起源であることに全く疑いを残さない．両者の類似はそれらの相対的な大きさだけでなく，両天体上での関係のある配列においてであるが，しかし両者は大きさ，質量及び内部のエネルギー体において大きく異なっている．惑星の構造をつくるエネルギーの主な源は自明のことで，それは軌道エネルギーである．すべての検討したテクトニックなデータは明らかに次のことを示した．すなわち，地質学と古生物学において２つの広く受け入れられている仮説，プレート・テクトニクスと圧倒的な衝突は間違いである．

***キーワード*：地球－月テクトニクス *Earth-Moon tectonics*，太平洋 *Pacific*，嵐の大洋 *Procellarum*[*1]，KREEP テレーン *KREEP Terrains*[*2]，インド（洋）ジオイド最小値 *Indian geoid minimum*，南極エイトケン盆地 *SPA basin*[*3]，東の海 *Mare Orientale*[*4].**

*1：嵐の大洋 Procellarum Ocean は月面西部の大きな海（訳者注）.

*2：KREEP は月探査機アポロ 12 号が着陸点（嵐の大洋）で採取した岩石の中で最も特異な成分をもつ標本の名称．月のマグマオーシャンがそのまま固結したものと考えられている（訳者注）.

*3：南極エイトケン盆地は月の裏側の南極付近にある巨大クレーターで，巨大隕石の衝突によって作られ，月深部の物質が掘り出されていると考えられている（ウィキペディアより，訳者注）.

*4：東の海は月の海の１つ（訳者注）.

はじめに

惑星学においては，毎日見ているまったく異なる２つの天体が共通した多くの点をもっているという非常に重要な科学的事実に注目が集まっている．地球と月（図１）は，その大きさと質量，全組成，内部エネルギー及び現在のテクトニックな活動性（月はほとんど死んでいるも同然で，地球は非常に活動的である）において徹底的に異なっているが，両者は太陽の周りの同じ軌道を共有している．私達の衛星に関する地質学，地形学及び地球物理学の最新のデータを使うことによって，月の最終的な全球規模の特徴は地球上のそれらをくり返していると言えるのである．これらの特徴を形成するためには莫大なエネルギーを要するため，外部の宇宙エネルギーを適当な候補としなければならない．すべての検討された初期のエネルギー源は捨て去られたわけではないが，それらは明らかに惑星系において従属的な役割しか演じていない．ケプラー楕円軌道内の天体の周期的に変化する宇宙加速を通して軌道エネルギーは，いろいろな波長と方向の定常波を用いてその天体自身を変形させている．すなわち，なぜいろいろな階層（惑星,衛星,小惑星,彗星,及び光球ですら），物理状態，大きさ，及び組成の天体上に，類似したテクトニックな特徴が現れているのか．月は衛星として２番目の軌道をもつが，テクトニックな特徴－この軌道によって引き起こされた粒状（構造）－をもっている．この粒状（構造）化の相対的な大きさは，同じように１月の自転周期をもつ太陽の光球の粒子状構造と一致している．

図１　土星軌道からみた地球と月．PIA17170．2013 年 7 月 19 日，NASA の土星探査機カッシーニのカメラが地球と月のこの珍しい光景を撮影した．

結果と討論

太陽系のすべての惑星，衛星及び小惑星にみられる重要な共通した特徴は，楕円のケプラー軌道（地質学的過去においてはより明白である）における運動である．これは軌道曲線と宇宙加速を周期的に変化させている．この変化は，それらの表面と深部に影響を与える慣性重力波をゆがめる．自転していて変化しない特徴をもつ天体（すべての天体は自転して

いる）において，波動は直角と斜めの４つの方向に進行して，隆起する（＋），沈降する（－）及び中立の（釣り合いを取って〝＋〟と〝－〟）テクトニック・ブロックの形成に干渉する：線分，扇形及び粒子－粒．これらの大きさはゆがみを起こす波動の波長に依存している．以下の定理は波動によって誘導される構造化を定めている：1）天体は２つに分けられる，2）天体はセクター的である，3）天体は粒状である，4）いろいろなレベルのブロックの角運動量は等しくなる傾向にある．最初の定理は基本的な波１　log 2πR（R は天体の半径）の作用を反映している．２番目は，最初の倍音の波２　log 2πR の作用を反映している．３番目は公転周期に比例する，あるいは軌道周波数に逆比例する個々の波長の作用を述べている．４番目の定理は，歪んだ天体がその完全性をどのようにして維持するかを説明している（Kochemasov，1992，1994 and 1998a & b）．

月と同じく，地球はテクトニック的に完全に２つに分けられている（図２・図３）．両者の東半球と西半球は，惑星半径，リソスフェア密度及び地殻の厚さにおいて著しく異なる．長い間，この明白な現象は重要視されなかった．その理由は，多くの科学者－いわゆる衝突論者－は次のことを信じていたからである．すなわち，直径約 3200 ㎞の月の’嵐の海’は衝突起源であり，従って，行き当たり的であり，規

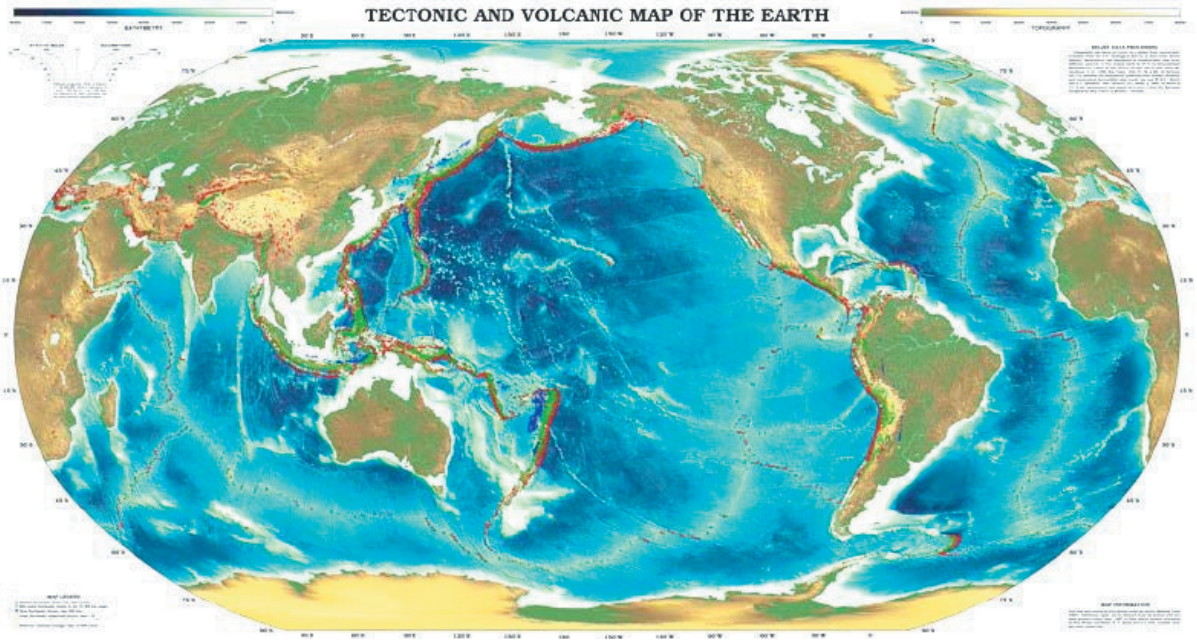


図２　地球の地形とテクトニクスを示す地図．

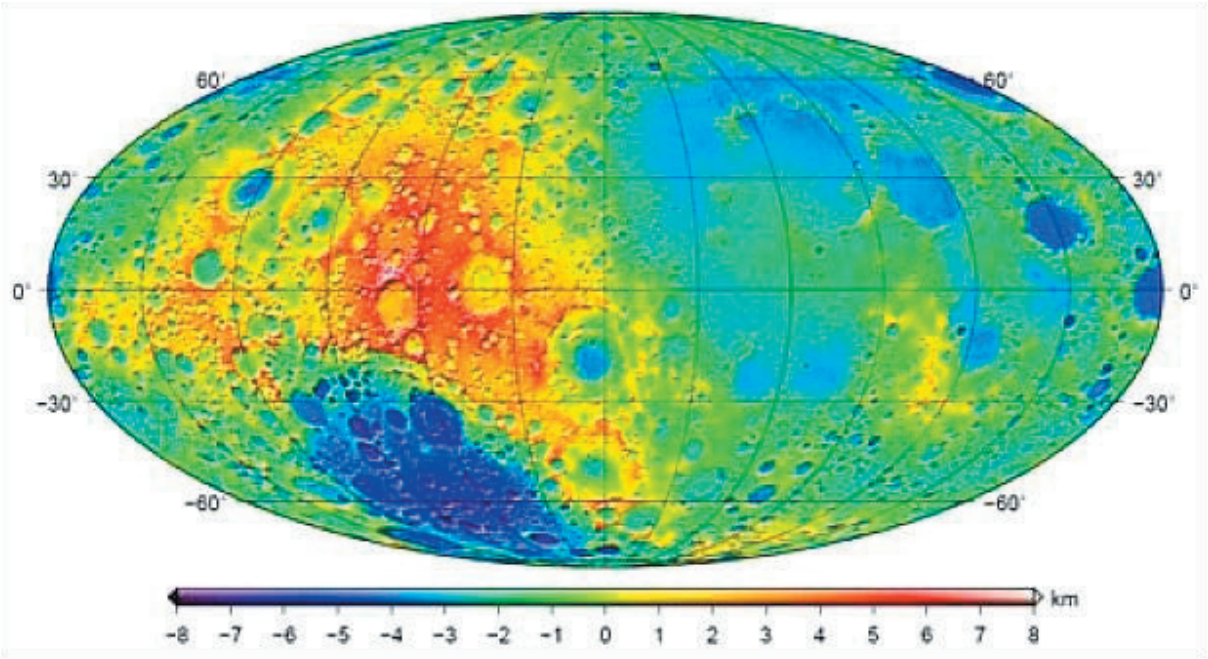


図３　月の地形．

則的な地形はでないと信じていた．最後に，最近，その衝突起源は何人かの指導的惑星科学者によって拒否された（Andrews-Hanna et al., 2014）．その不思議な特徴の一つ -'嵐の海'中部のKREEP(Kカリ，REE 希土類元素，P リン，Th トリウムに富んだ玄武岩）テレーン（図８，９）は，太平洋中部のそのような玄武岩(同じようにアルカリ,希土類元素,リン,トリウム，ウランに富む，いわゆる SOPITA[*5] 地球化学的異常と正確に対照された（図４～図７）．両者の異常テレーンは，海洋底の大きな隆起によって関連づけられた.地球についてさらに述べるならば，フランス領ポリネシアとその北方延長下の〝スーパースウェル〟としてそれは示されている（図４・図５：Guille et al., 1996）．したがって，構造上と地球化学的な類似性が全球的レベルの造構的二分性として認められる．

*5：South Pacific Isotopic and Thermal Mantle Anomaly の略（訳者注）．

月と同じく，地球は対蹠的関係にある３つの構造的対をもつ．これらは球体内部に刻まれた組織的

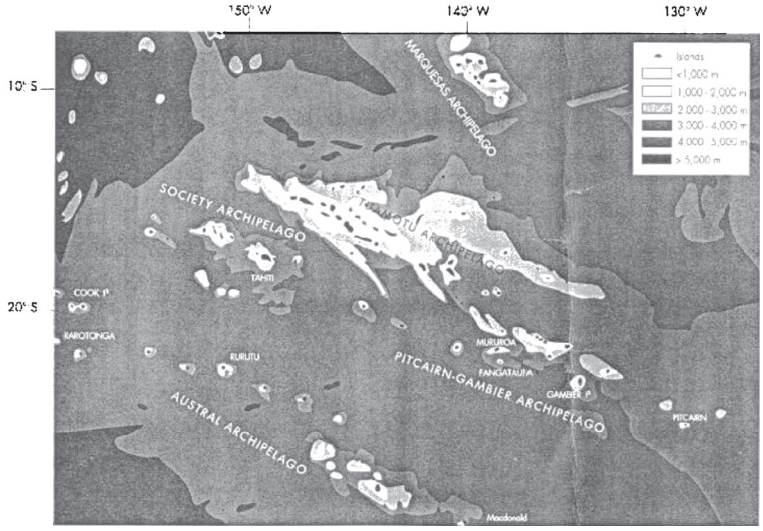


図４　フランス領ポリネシア．海底地形といろいろな配列の位置（Guille et al., 1996）．

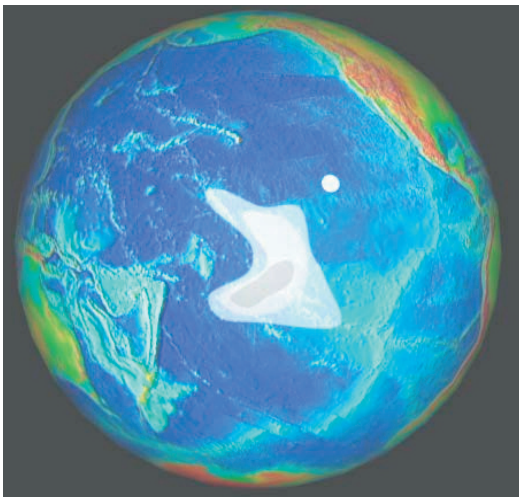


図５　南太平洋〝スーパースウェル〟（Adam and Bonneville, 2005）．

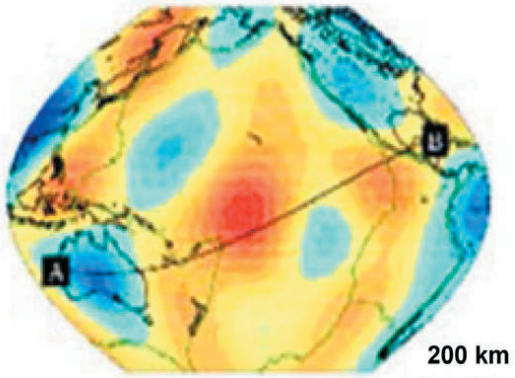


図６　深度 200 kmでの南太平洋〝スーパースウェル〟，地震トモグラフィー（Gung and Romanovicz, 2004）．

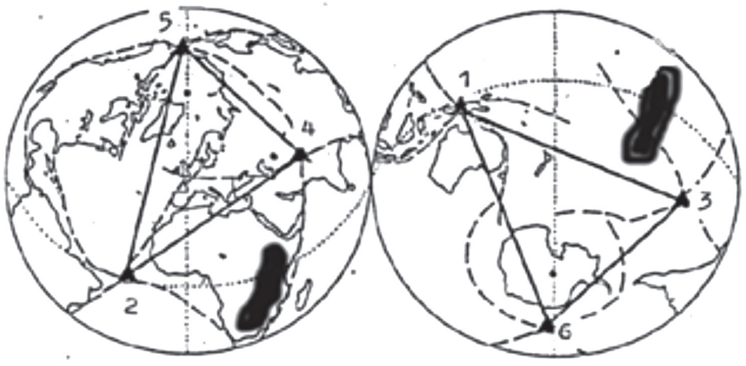


図７　南太平洋と対蹠的な東アフリカの〝スーパースウェル〟と位置：前者は最大の陸地を，後者は最大水面を伴う半球上．黒三角は構造的八面体の投影．1. ニューギニア，2. 赤道大西洋，3. イスター島，4. パミール高原－ヒンズークシ山地，5. ベーリング海峡，6. ブーベ島．

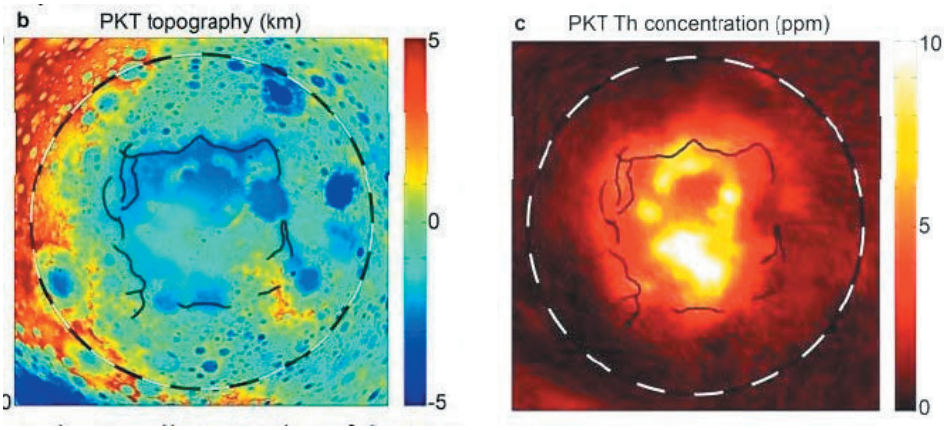


図８（左図）と図９（右図）．月の嵐の大洋地域を中心にした極投影図（図８）とトリウムに富む部分（KREEP テレーン）（図９）．円は直径 180°．四角を作っている境の構造は黒色部をトレース（Andrews-Hanna et al., 2014）．

八面体を形成している扇形のπR構造の中心にある（Kochemasov, 1998c, 2003, その他あり）（図７）．それらは以下の通りである：1. ニューギニア，2. 赤道大西洋，3. イースター島，4. パミール高原－ヒンズークシ山地，5. ベーリング海峡，6. ブーベ島．それらは赤道，回帰線及び極圏の輪に見いだされ，これらの輪は天体の宇宙方位とその内部構造との間の関係を強調している．月のπR構造の内，対蹠的関係にある中心をもつことが認められているのは以下の通りである：東の海－ジョリオ Joliot，マックスウエル Maxwell，ジョルダーノ・ブルーノ Giordano Bruno[*6] 地域；ダイダロス Daedalus[*7]，ヘビサイド Heaviside[*6]－プトレマイオスとフラマリオン[*8]（Kochemasov, 1998c）．嵐の大洋中央部の大きな造構性四角形（図８・図９）は月の構造的八面体を反映している．

*6:ジョリオ，マックスウエル，ジョルダーノ・ブルーノ，ヘビサイドは月の裏側にあるクレーター（訳者注）．

*7：月の裏側にある盆地（訳者注）．

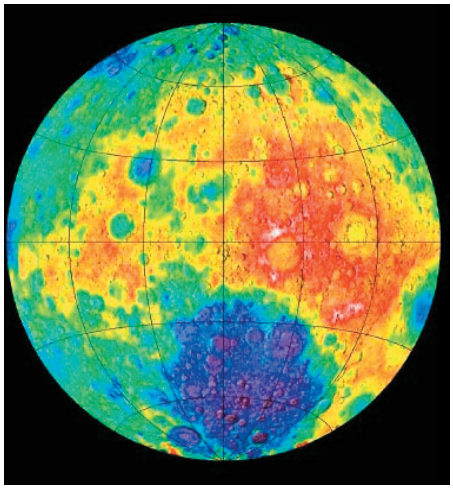
*8:ヘビサイド,フラマリオンは月の表側のクレーター（訳者注）．

地球のパミール高原－ヒンズークシ山地八面体頂点には４つの扇形が集中している：そのうちの向かい合った２つは別々に隆起し（アフリカ＋＋，アジア＋），別々に沈降した２つの地域（ユーラシア又は極海－，インド洋－－）を引き離している．最も深い扇形〝－－〟は最も密度が大きなソーレアイトに満たされており，最も高いもの〝＋＋〟は片麻岩と花崗岩に富んでいる．東の海の周りには４つの扇形が集中している：そのうちの向かい合った２つは異なるように沈降したもの（嵐の大洋と南極エイトケン盆地）と向かい合った２つは異なるように隆起したもの（ニックネーム Africanda ＋＋と Antiafricanda ＋：Kochemasov, 1998c）．最も高いものは軽いアノーソクレースから作られている；Naに富んでいることはそれらの密度をそれほど大きくしない．嵐の大洋は玄武岩，Ti 玄武岩及び KREEP 玄武岩で満たされている．南極エイトケン盆地は密度のさらに大きな岩石によって満たされているに違いなく，ここでは斜長石を含まず，輝石に富み，鉄金属とトロイリ鉱[*9]（？）の著しい混合物を伴う岩石を期待することができる（Kochemasov, 1998c）．地球の扇形と深く沈降した月の扇形の両者は，最も深いジオイド異常によって特色づけられている（図10・図11：Kochemasov, 2011 and 2012）．

*9：鉄の硫化鉱物で，化学式は FeS である．地球上では珍しい鉱物であるが、隕石中には普通に存在する.（ウィキペディアより，訳者注）

地球とその衛星は地形学的及び重力構造的に詳しく研究されている．両方の天体には唯一珍しい惑星規模の対象があって，科学者を当惑させる源となっている．地球物理学者はインド洋の深さ－112m のジオイドの異常なくぼみの存在を知っているが，その起源はなぞである．流行しているプレートテクトニクスによれば，インド洋の海盆は大洋中央海嶺の三重会合点から地殻ブロックを引き離した結果として形成された．現在のテクトニクスのこのような解釈は，インド洋ジオイド最小値の周りのいろいろな時代の惑星地質ブロックが現実に堆積していることと矛盾しており，それの非常に深い性質を説明していない．この最小値は地球の主要な慣性モーメントの３本の主軸のｂ軸で生じており，自転形状の基本部分を構成する（Liu and Chao, 1991）．

知られているように，月の盆地と海は初期（30～40 億年前）の爆撃のときに巨大な天体の衝突の跡として伝統的に考えられている．表面でそれらが規則的に対称的なくぼみであることは無視されている（Melson, 2013）．しかしながら，それらの想定された年代と〝衝突〟角礫の年代の一致と両者の関係において容易ならない困難が最近生じている．ところが，衝突支持者たちは彼等の意見を固守しており，他の意見を受けいれない．南極エイトケン盆地は太陽系で最大の衝突盆地と考えられている；深さは約８kmで，月の全起伏量は約 16 kmになる．



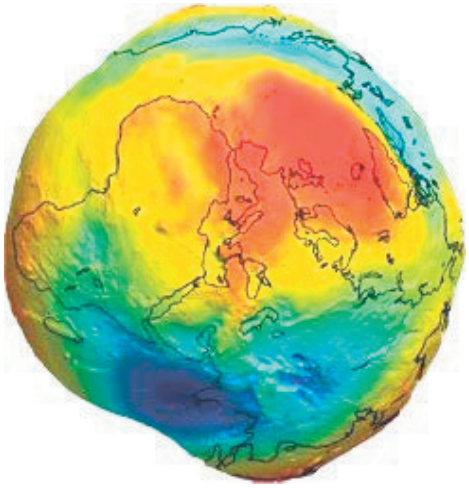


図 10（左図）　月のジオイド．中央下部（濃い青色）―南極エイトケン盆地（moontopogeoidusgs farside.jpg）

図 11（右図）　地球のジオイド．中央下部（濃い青色）―インド洋最小値（832e4f812dle.jpg）

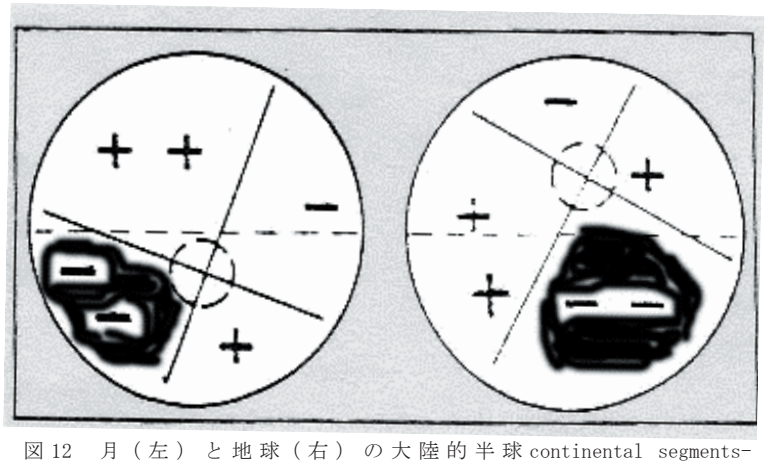


図 12　月（左）と地球（右）の大陸的半球 continental segments-hemispheres におけるテクトニクスのレベルの違いによる地域区分．この区分は東の海とパミール高原－ヒンズークシ山塊の周りでグループ分けを行った．黒色部―最大沈降部：南極エイトケン盆地とインド洋のジオイドは最小値．

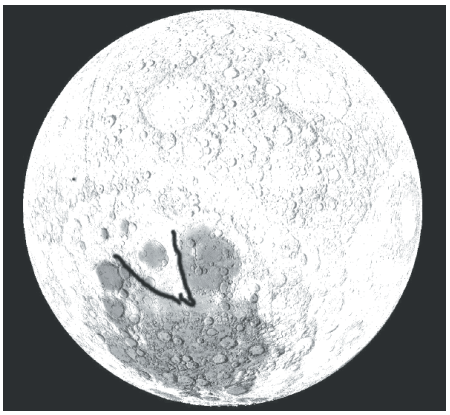


図 13　細部にわたって対照的に強調した月の南極エイトケン盆地のジオイド最小値は〝海〟に囲まれた扇形の〝半島〟として現れる．インド半島と周りの海と本図を比較せよ．

比較波動惑星学 comparative wave planetology（Kochemasov, 1992, 1998a & b, 2001, 2003, その他）はこの問題の解決に貢献するだろう．両方の惑星構造はそれらの天体の波動構造内の類似した位置を占めていることが判っている（図 10 ～図 12）．それぞれの隆起した大陸高地部分からなる半球（2πR 構造）上において，それらは深く沈降した扇形（πR 構造）を形成している（Kochemasov, 2010 and 2012）．２つの球体上のこれらの規則的配置は，プレートテクトニクスと衝突仮説の説明を疑わしいものにする（Kochemasov, 1998c, 2010 and 2012）．

月と地球の最も深いジオイド最小値（南極エイトケン盆地とインド洋海盆）の類似性は，それらの相対的な大きさ，類似したテクトニックな背景及び重いマントルによって証明されている（図 10 ～図 12：Kochemasov, 1998c, 2010, 2012）．これらの決定的な要因から，内部構造におけるいくつかの類似性をつけ加えなければならない．このように，インド半島の大変特徴的なとんがった扇形は，丸いジオイド異常地域においてとんがって相対的に濃くない投影図の形において南極エイトケン盆地と類似している（図 13・図 14）．この投影図の西方と東方において，南方の広い地域と同じくジオイド異常は大きくなっている．このような内部構造はインドの周りの沈降した地殻ブロックに対応している：アラビア海，ベンガル湾及びインド洋（Kochemasov, 2011）．

月面の表側から裏側への移行帯内の先に検討した 2 つの大きな 2πR 構造と πR 構造の間では，よく知られた東の海の多重リング構造がある．伝統的に，惑星科学者の大半はそれを典型的多重リング状地形としている（Pike and Spudis, 1987; Spudis, 1993）．しかし，その πR/4 の大きさ，特別なパターン及び 2 つの半球の間の位置（ちょうど地球のインドネシア－マレー諸島の多重リング構造と同じように，図２，図 14，図 16）はこの主張に疑問を投げかけている（図２・図３）．さらに，それは対蹠的位置の盆地に匹敵する構造線の一部であり，一つは表側，一つは裏側にある（図 15）．

グレイル[*10] の重力探査は次のことを示した．Moscoviense, Freundlich-Sharonov, Dirichlet-Jackson, Hertzsprung, 東の海 Orientale のような月の裏側の高地にある大きな盆地は，クレーターがビーズのようにつながった不思議な首飾りをもっている．それらは最も大きい東の海の周りに良く現れており，それらは盆地の周りだけでなく，この巨大な同心円構造の内側にも現れている．この多重リング構造物は，地形によって示される山地帯と平原帯の繰り返しからなる．しかし，より深いところのグレイルの重力は，これらの帯の多くは一様なクレーターのつながりからなる（このつながりは図 17 において＋の重力の〝赤色〟地域と，－で多少小さな方によっている重力の〝青色〟地域に良く示されている）．概してこの構造のリングの間隔は外側に向かって広くなっており，おおよそ√2 の割合に従っている（Pike and Spudis, 1987；Spudis, 1993）．上記の構造を飾っているビーズ状のものからなる不思議な首飾りは確かに初期の惑星進化の一部であるので，それらは説明されるに違いない．最も充分な説明は，規則的な波動が粒状（構造）を作ったとして説明することである．その粒状（構造）の大きさは地球と共通した軌道周波数（1/1 年）によって決まる．地球の周りを回る月の２番目の軌道周波数（1/28 日）は，πR/48 の大きさの波動粒状（構造）をもたらし，〝首飾り〟と月の全表面に〝浴びせかけられたもの〟の中にみられる（図 20）．

*10：GRAIL，月の重力分布を高精度に測定する目的で 2011 年に NASA が打ち上げた月探査機．

地球上のインドネシア多重リング構造（πR/4）は 8 個の粒状（構造）からなる赤道帯の一部である．図

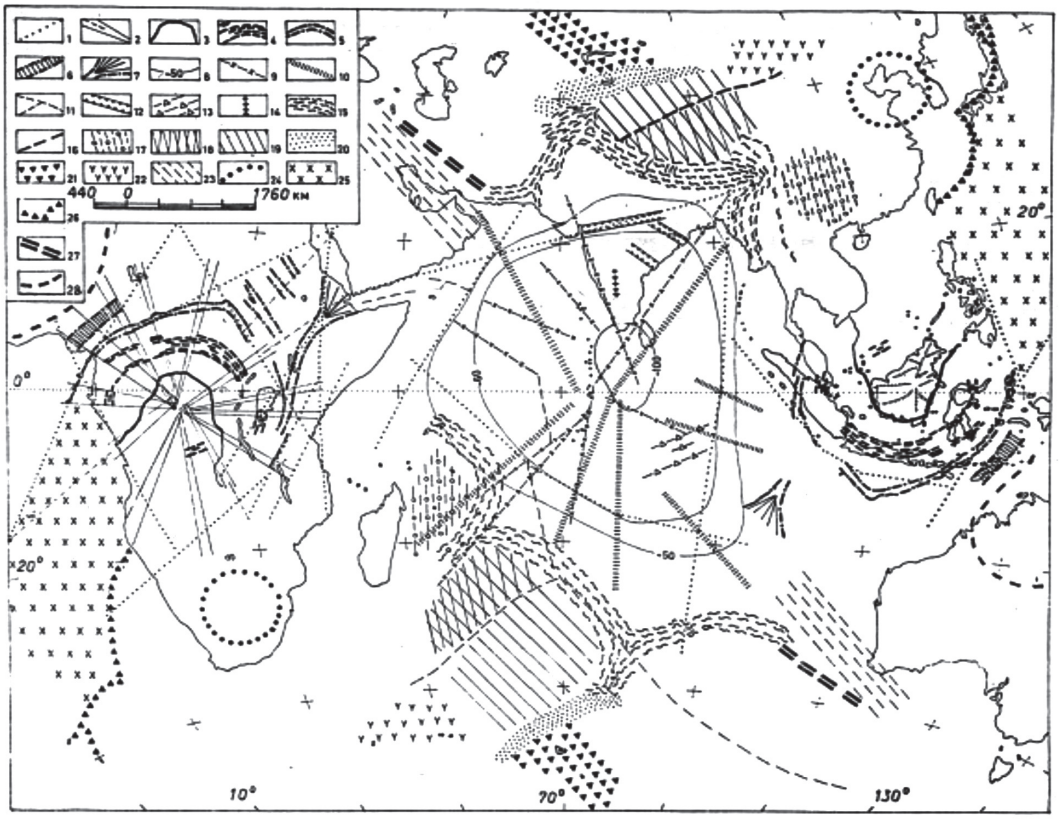


図 14　コンゴ，インド及びインドネシアの上部構造の構成．
1. 接線方向の弱帯，2-7. コンゴ上部構造と 180° 回転させてインドネシア上部構造に重ねた位置：2. 放射状弱部，3. コンゴ川とボルネオの外形，4. 始生代緑色片岩帯とマレー島弧，5. クラトン内のリフトと船状海盆，6. Benoue 凹地，7. アファー三角地帯；8-14. インド上部構造：8. ジオイド等値線，単位 m，9-10. 放射状弱部（9：表面地形による，10：ジオイド異常による），11. 水面下のリッジ，12. 地溝，13. 海洋性地殻中の褶曲，14. クロスペット花崗岩 Closepet Gr.，15-28. 構造地質学的対：15. ヒマラヤ－″反ヒマラヤ″，16. アルチン山脈 Altyn-Tagh[*1]－南西インド海嶺，17. 長江台地（オーメイシャン〈峨眉山〉玄武岩）-Mascarene 海盆[*2]，18. チベット－マダガスカル海盆[*3]，19. タリム－クロゼー海盆 Crozet basin[*4]，20. テンシャン（天山）－ケルゲレン島 Isl. Kerguelen[*5] とセントポール島 Isl. St. Paul [*6] の間の隆起した海底，21. 中央カザフスタン－ケルゲレン台地 Kerguelen Plateau，22. ゴビ－クロゼー海台 Crozet Plateau，23. ペルシャ湾とメソポタミア Mesopotamia－南西オーストラリア沖海盆，24. 始生代クラトン：南アフリカ—中国－朝鮮，25. アンゴラ盆地－フィリッピン・プレート，26. ワルビス海嶺 Walvis Ridge[*7] —琉球－日本列島，27. 断裂帯：Zagros-Diamantina，28. 始生代クラトン：西アフリカ－北オーストラリア（Kochemasov, 2009）

[*1]：中国西部のタリム盆地とツァイダム盆地を境している山脈（訳者注）．
[*2]：マダガスカル島東側にある海盆（訳者注）．
[*3]：マダガスカル島南方にある海盆（訳者注）．
[*4]：インド洋最南部のクロゼー諸島北方の海盆（訳者注）．
[*5]：インド洋最南部にある島（訳者注）．
[*6]：オーストラリアとマダガスカル島の中間付近にある島（訳者注）．
[*7]：アフリカ大陸南西海岸沖の海嶺（訳者注）．

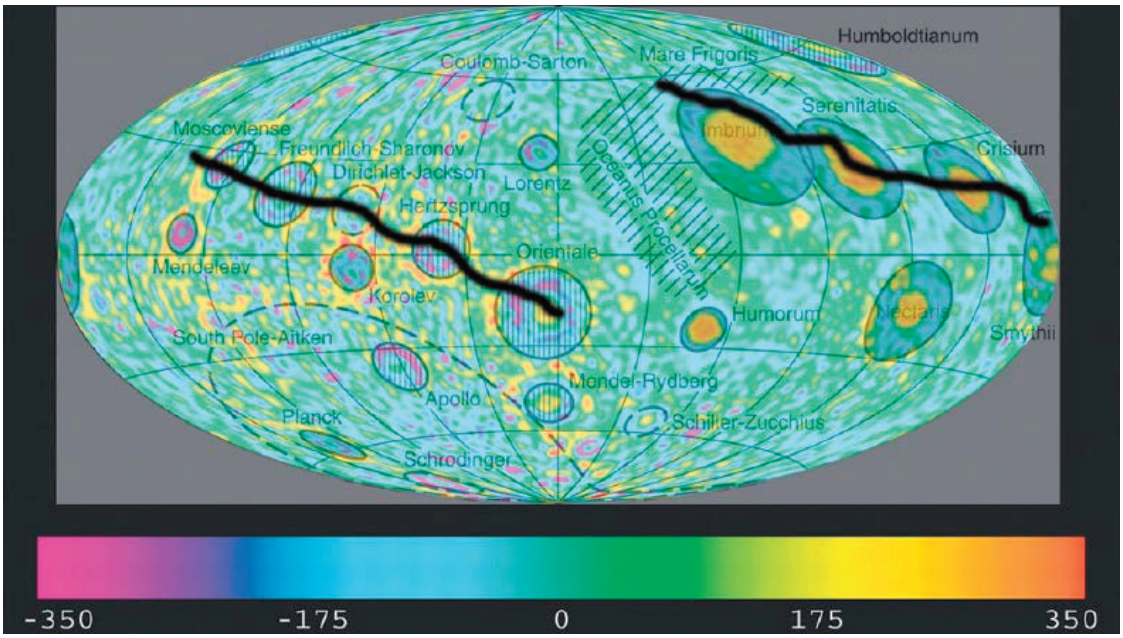


図 15　月のマスコン mascon[*1] とマスデフ masdef[*1]．2 本の対蹠的な線は πR/4 規模の同心円状構造を結んでいる．LPOD-Sept. 6-09. jpg.
[*1]：マスコンは月での正の重力異常を，マスデフは負の重力異常をいう（訳者注）．

14 には，波動が作った３つの粒状（構造）を含む絵の中にその規則的な位置が示されている．規則的全球テクトニクス網を示す対称的なテクトニックの構造がインド洋にある地球で最も深いジオイド最小値を取り囲んでいる．このテクトニクス網は 4 方向の歪んだ定常波の干渉によって作られている．これらの波は周期的な加速度の変化によってケプラーの楕円軌道上を移動する自転する惑星内に現れる．地球サイズでの 2πR/4（直径約 5000 km）で特徴づけられる２つの造構性粒状（構造）が目につく：それはコンゴ始生代クラトンからなる上部構造とインドネシア（マレー諸島の島の体系）（図 14）．それらの内部構造の輪郭（型）は 180° 回転したものと一致する（これは全球的波動成構造パターンに従う）．コンゴ川の曲がりはボルネオの輪郭をくり返している．中央アフリカのグリーンストーン帯はマレー島弧などをくり返している．２つの上部構造は同じ大きさのインド上部構造によって隔てられている．赤道を取り巻く８個の上部構造の一部は同時である．この地理学的－地形学的－テクトニクスによる新事実は地球の構造的歴史を真に理解することを意味あるように増幅した．

波動惑星学定理３（″天体は粒状である″）は造構性粒状（構造）の大きさを関係づけている．それらは密集したリング構造からなる規則的なグリッドを作っている（図 18 ～図 22）．それらの大きさは軌道周波数によって決まる：より高いは周波数－より小さなリング，そして逆も同様である．軌道周波数が大きく異なるいくつかの天体の並びは，図 18 ～

図 16 マレー諸島（インドネシアリング状上部構造）．

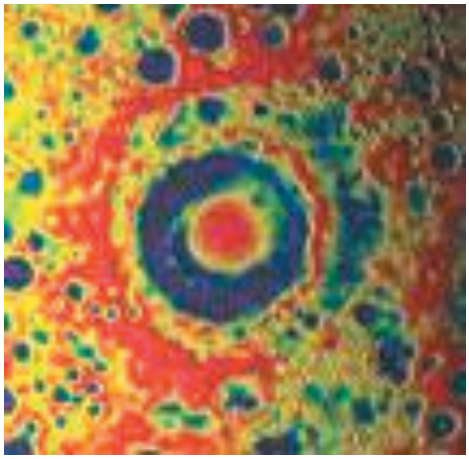


図 17　東の海地域における月の同心円的重力．赤色：高い，青色：低い（Science, 2013, v.339, #6120, 表紙カバー）．

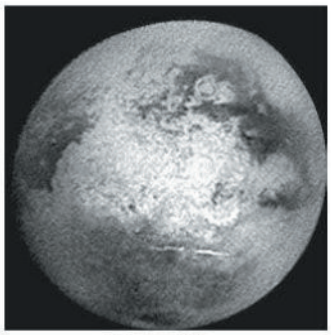


Fig. 18

Fig. 19

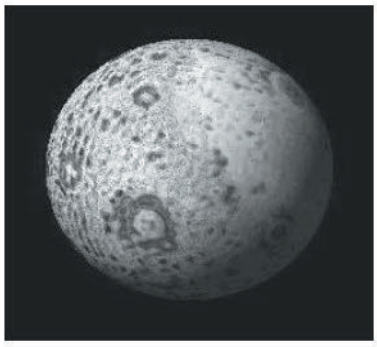


Fig. 20

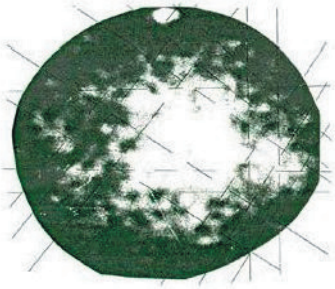


Fig. 21

Fig. 22

図 18 ～図 22　軌道周波数が小さくなる順序での天体の全面画像．18. タイタン（土星の衛星），PIA06154；19. カリスト（木星の衛星）；20. 月，カグヤ（月探査機），forum.worldwindcentral.com；　21. 水星（Slade et al., 1992）；22. 地球，PIA04159.

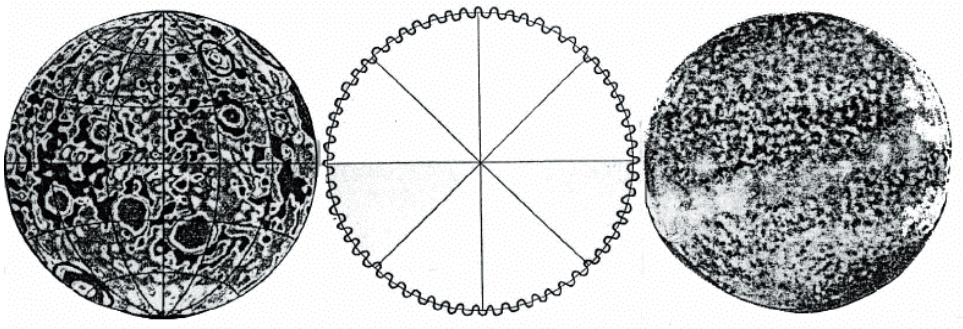


図 23　月（左図，Konopliv et al.，1994）と太陽光球（右図）の波動テクトニクスの粒状化の比較，πR/48-60．固体媒質とガス体媒質の類似した波動構造．中央の図：大きさ πR/60 の粒状（構造）の体系．

図 24　ハッブルは小惑星の神秘的な崩壊を目撃している（heic*1 14495-Science 公開，2014 年 3 月 6 日）．小惑星 P/2013R3．10 個の破片；最大の 4 個の岩石質破片は半径 200m に達する．貸方：NASA，ESA，and D. Jewitt（UCLA）．

*1：ハッブル欧州宇宙機関情報センター（訳者注）．

図 22 に示されている：衛星タイタン（1/15.9 日）から衛星カリスト（1/16.7 日），衛星月（1/27.3 日），惑星水星（1/88 日）と変化して，惑星地球（1/365 日）までである．粒状（構造）の大きさは，タイタンで πR/91，カリスト πR/88，月 πR/48，水星 πR/16，そして地球で πR/4 である．

最近，自己崩壊した小惑星の撮影された画像（図 24）が惑星科学者たちを驚ろかせた．その理由は，破壊の観察された過程はいかなる衝突も含まないからである．絶縁による加熱効果もまた無視できる．唯一適合する過程は，長年にわたって唱えられている慣性－重力波による小さな天体の歪みと破壊の効果である．最も長く，最も振幅の大きい基本波 1 が天体を曲げており，その天体の半球は圧力を受けて，もう一つの半球を破砕しながら広がっている．多くのより大きな天体におけるこれらの波動の効果は上記の通りである．

結　論

２つのまったく異なる惑星天体上で半球を横切る２本の線がいろいろな大きさ（2πR，πR/4 及び πR）の類似した波動構造をつないでいる．地球上ではそれらは以下の通りである：太平洋海盆，インドネシア多重リング構造及びインド洋ジオイド最小値．月面ではそれらは以下の通りである：嵐の大洋，多重リングのある東の海，南極エイトケン盆地のジオイド最小値．地球上でその線はほぼ緯度線であるが，月ではそれは北東－南西である．これらの方向の違いは天体の自転軸の傾きの違いを反映しているのであろう．自転軸は角運動量ゼロの線であるので，その後で考えられた構造線は軌道エネルギーの作用によって天体の形状を引き起こした規則波との関連を示している．この２つは大きさ，質量，組成及び天体の軌道の特徴において大きく異なるが，両者の解明された全球的な構造の類似性は，以下の決定的な結論を導く．すなわち，普及しているプレートテクトニクスと圧倒的な衝突の両仮説は間違っている．小さな小惑星を傷つけた軌道エネルギーの効果が，現在では観察できるようになった．

文　献

Adam, C. and Bonneville, A., 2005. Extent of the South Pacific Superswell. Jour. of Geoph. Res., v. 110, B09408.

Andrews-Hanna, J.C., Head, III, J. W., Howett, C.J.A. et al., 2014. The geophysical nature of the Procellarum region on the Moon as revealed by GRAIL gravity data. 45th Lunar and Planetary Science Conference, LPSC Abstract no. 2679 pdf.

Guille, G., Goutiere, G., Sornein, J.F., Buigues, D., Gachon, A. and Guy, C., 1996. The atolls of Mururoa and Fangataufa (French Polynesia). I. Geology-Petrology-Hydrogeology. CEA (Comissariat a l'Energie Atomique)- Musee oceanographique, Monaco, 1996, 175p.

Gung, Y. and Romanovicz, B., 2004. Q tomography of the upper mantle using three component long period waveforms. Geophys. Jour. Int., v. 157, 813-830.

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

Kochemasov, G.G., 1994. An alternative (not impact) model of ring structure formation: order out of chaos and harmony of nature. 20th Russian-American microsymposium on planetology, Abstracts, Moscow, Vernadsky Inst.,

(GEOKHI), p. 42-43.

Kochemasov, G.G., 1998a. Sectoral tectonics of the Earth's eastern hemisphere and its crucial role in localization of giant ore deposits, prominent rift systems and large flood basalt provinces. Global Tectonics and Metallogeny, v. 6, nos. 3 & 4, 1998, p. 195-197.

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

Kochemasov, G.G. 1998c. The Moon: Earth-type sectoral tectonics, relief and relevant chemical features. Abstracts of the papers submitted to the 3rd international conference on Exploration and utilization of the Moon, Oct. 11-14, 1998, Moscow, Russia (Eds.: Galimov, E.M., Polyakov, V.B. and Sidorov, Yu.I.), p. 29.

Kochemasov, G.G., 2001. On one condition of further progress in lunar studies. First Convention of Lunar Explorers, 8th to 10th March, 2001, Palais de la Découverte, Paris, France; Programme and Contributed Abstracts; ESTEC, eds: D. Heather and B. Foing, 58p (p. 26).

Kochemasov, G.G., 2003. Coherent structurization of the Earth's geospheres from core to atmosphere and lithospheric weakness zones favourable for concentration of metals. Global Tectonics and Metallogeny, 2003, v. 8, nos. 1-4, p. 209-212.

Kochemasov, G.G., 2004. Mars and Earth: two dichotomies-one cause. In Workshop on "Hemispheres apart: the origin and modification of the Martian crustal dichotomy", LPI Contribution # 1203, Lunar and Planetary Institute, Houston, p. 37.

Kochemasov, G.G., 2009. Geometric tectonic regularities in the Eastern hemisphere of Earth. MatGeoS'09.

Geosciences from Earth to Space. 2nd workshop on mathematical geosciences, 07 to 08 December 2009, Freiberg, Germany.

Kochemasov, G.G., 2010. Well known outstanding geoid and relief depressions as regular wave woven features on Earth (Indian geoid minimum), Moon (SPA basin), Phobos (Stickney crater), and Miranda (an ovoid). EGU Congress, Vienna 2010, Abstract # EGU2010-A-4044.

Kochemasov, G.G., 2011. The lunar South Pole-Aitken Basin: a twin of the Indian geoid minimum? European Planetary Science Congress (EPSC) Abstracts, v. 6, EPSC-DPS2011-102.

Kochemasov, G.G., 2012. Outstanding large depressions and geoid minima on some celestial bodies as regular wave woven features (Earth, Moon, Mars, Phobos, Phoebe, Miranda, Lutetia): cosmic sense of the Indian geoid minimum tectonic phenomenon. NCGT Newslatter, no. 63, p. 76-79.

Konopliv, A.S. et al., 1998. Clementine: gravity survey of the Moon. Science, v. 281, no. 5382, p. 1476-1480.

Liu, H.S. and Chao, B.F., 1991. The Earth's equatorial principal axes and moments of inertia. Geophys. Jour. Intern., v. 106, no. 3, p. 699-702.

Melosh, H.J., Freed, A.M., Johnson, B.C. et al., 2013. The origin of lunar mascon basins. Science, v. 340, no. 6140, p. 1552-1555. DOI: 10.1126/science. 1235768.

Pike, R.G. and Spudis, P.D., 1987. Basin-ring spacing on the Moon, Mercury, and Mars. Earth, Moon, and Planets.1987, 39/2, 129-194.

Slade, M.A. et al., 1992. Mercury: the radar experiment from Earth. Science, v. 258, p. 635-640.

Smith, D.E. and Zuber, M.T., 2014. Isolating the gravitational signature of the lunar mantle from GRAIL. 45th Lunar and Planetary Science Conference. LPSC abstract no. 1956 pdf.

Spudis, P.D., 1993. The geology of multi-ring impact basins: the Moon and other planets. Cambridge [England]; New York: Cambridge University Press, 1993, 263p.

Zuber, M.T., Smith, D.E., Watkins, M.M. et al., 2013. Gravity field of the Moon from the Gravity Recovery and Interior Laboratory (GRAIL) mission. Science, v. 339, # 6120, 668-671. DOI: 10.1126/Science.1231507.

同一の震源で発生する Mw7+ の周期的地震
MW7+ CYCLIC EARTHQUAKES SHARING THE SAME EPICENTRE

Valentino STRASER
fifurnio@tiscali.it

（ 矢野 孝雄［訳］）

要旨：1900 ～ 2012 年に起こった ≥Mw7.0 地震のリストは，ある地域では地震が正確に再来することを示している．これは，中東～アラスカに延びる，いわゆる"火の輪 Ring of Fire"にあてはまる．同じ緯経度で表層震源地震が発生し，それらはよく類似している．このような地震の再来性は，地震の影響を緩和し，地震の再来時期を解析するうえで有用である．再来性を研究するためのメカニズムは，断層力学解析で構成されている．本研究で提案されたモデルは，断層核に発見された岩片の大きさがしだいに減少することを考慮している．同一の震央帯において２つの地殻ブロックの間の変位は，断層破壊帯の摩擦がそこに働く造構応力よりも小さくなったときに発生する．強

い地震の後に岩石の分解が再開し，同じ地域において新しく地震が発生するまで，長時間をかけて震源周辺へ移動する．この研究は，地震の発生と特定の惑星配置時の太陽活動との間に想定される関係を解析する．これら２つの分析結果は，それぞれ 84% と 68% であった．

キーワード：Mw7.0 再来地震，断層力学，太陽活動，確率解析，惑星配置

1.0　まえがき

地震の発生過程をよりよく理解するために，それらの再来性および予期される破壊的地震活動の再来時間が，地球物理学における中心的論点になっていて，この数年にわたって科学的議論がさかんにつづいている．過去に被害をもたらした破壊的地震が今後も発生する可能性があるとすれば，それらのメカニズムの要点を理解することは，そのような地震を予知し，それらの破壊的影響を緩和するための基礎になる．

この研究の目的は，同一の震央帯に周期的に発生する強い地震の影響を緩和するために考えられたモデルを提案することである．そのためには，次の２つの要素が必要になる：(1) ≥Mw7.0 の強い地震によって周期的に被災する地帯の特定，(2) 実際の地震はまだ発生していないが，科学的記録に遺されている，いわゆる ” 化石地震 ” と断層との関係の理解．

この研究は確率的考察，すなわち，地震発生がある時間間隔で同一の震央帯に発生するであろう確率の特定にもとづいている．ある強い地震が発生する任意の時刻後，そのシステムが時間とともに初期条件に復帰し，断層に沿う岩石破壊によって開放されたエネルギーが長時間にわってふたたび蓄積されていく．

これらの地震再来性とその支配メカニズムの解析は，確率論的予測と ” 再来周期 ”- 文献（よく知られた事例は，Allegre et al.，1982；Prejean et al.，2003）に示されたとおり，同一地域に発生した同じ規模をもつ２つの地震の時間間隙 - の見積もりに有用である．しかしながら，研究対象にしている地震の予測された時間スケールについて，地震発生の規則性と地震周期の支配メカニズムに関する正のフィードバックは，これまでまったく知られていない．

1900 ～ 2012 年に発生した Mw7+ 地震を USGS からダウンロードして作成した表をソートすると，いくつかの地帯で Mw7 以上の ” 双子 ”，” 三つ子 ”，そして ” 四つ子 ” の地震が，異なった期日に，同様な性格をもって同一の緯経度に発生したことがわかる．これらの特徴的地震は，太平洋をとりまく火の輪 - アリューシャン列島，千島，日本海，アラスカ，および，イランとアフガニスタンを断ち裂く地震断層に沿って再来してきた（図１）．

同一の震央帯に類似した規模で再来するこれらの地震はとくに，本研究に適している．再来地震リスト（表１）に示されるように，震源は多かれ少なかれ同一深度にあり，開放された地震エネルギーは実質的に同一である．

2.0　素材と方法

この研究を実施するために，≥Mw7.0 地震に関する USGS データ（www.usgs.gov）と，この研究で解析

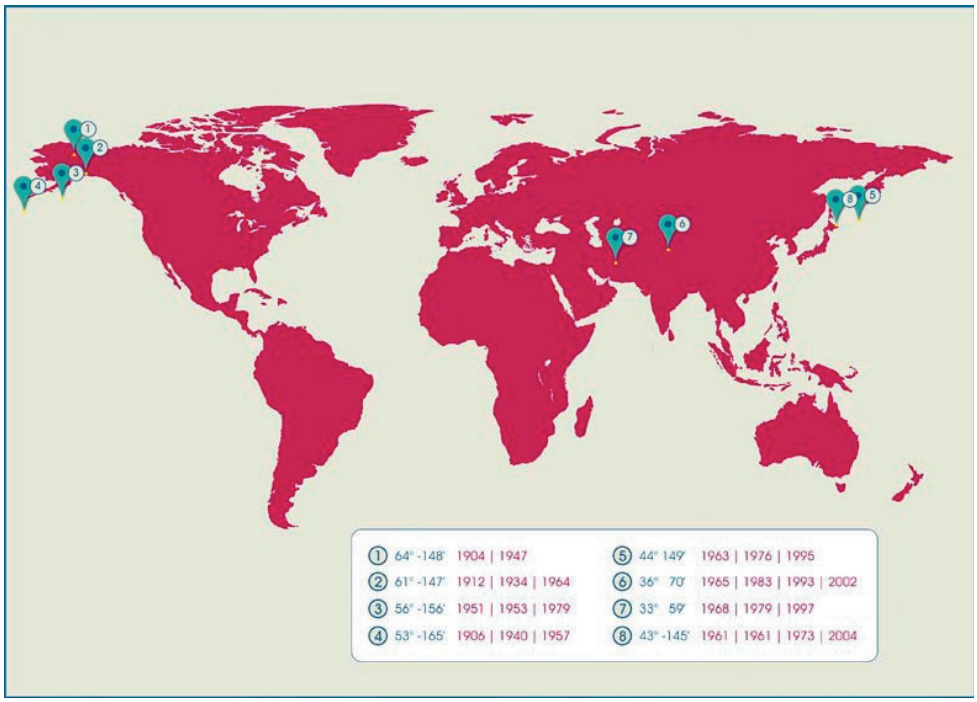


図１ 本研究で解析されたマグニチュード Mw7+ の再来地震の震央位置

表 2 解析された地震，惑星配列のパターン，太陽活動の間の相互関係

N	Year	Month	Day	Latitude	Longitude	Depth	Mw
1a	1904	8	27	64	-148	0	7.8
1b	1947	10	16	64	-148	0	7.2
2a	1912	1	31	61	-147	80	7.2
2b	1934	5	4	61	-147	80	7.2
2c	1964	3	28	61	-147	23	8.5
3a	1951	2	13	56	-156	25	7.1
3b	1979	5	20	56	-156	9	7.0
4a	1906	12	23	53	-165	0	7.6
4b	1940	8	22	53	-165	25	7.2
4c	1957	3	22	53	-165	33	7.0
5a	1963	10	13	44	149	60	8.2
5b	1976	1	21	44	149	41	7.0
5c	1995	12	3	44	149	33	7.9
6a	1965	3	14	36	70	260	7.5
6b	1983	12	30	36	70	214	7.2
6c	1993	8	9	36	70	214	7.0
6d	2002	3	3	36	70	225	7.4
7a	1968	8	31	33	59	13	7.3
7b	1979	11	27	33	59	10	7.1
7c	1997	5	10	33	59	10	7.3
8a	1961	8	11	43	143	50	7.0
8b	1961	11	15	43	143	43	7.0
8c	1973	6	17	43	143	48	7.7
8d	2004	11	28	43	143	39	7.0

された強い地震が発生したときの惑星位置の解析ソフト（www.celestia.softonic.it）が用いられた．この研究で提案されたモデルの構築方法は，解析されたさまざまなメカニズムに共通する要素と再来性をみいだすためのデータ比較である．

3.0　考察

3.1　造構的意義と断層力学

USGS 編纂の表（http://earthquake.usgs.gov 参照）を解析すると，≥Mw7.0 地震と後続地震との間における物理過程の”再充電”速度に規則的周期はみとめられない．これらの特徴的な地震の震源が数百 km 隔たっているにしても，また，別々の広域構造区に位置するとしても，震源が高エネルギー地球力学システムに位置する点で共通する．

地球力学的観点からみると，研究対象とした地震の起震断層は海溝に関係した走向移動断層であり，斜め短縮性の地殻圧力に由来する．このような地球力学的枠組みでは，震央帯では，傾斜移動成分と走向移動成分との間で移動分別（slip partitioning）が起きている（Lallemant and Oldow, 2000）．イランとアフガニスタンで解析された地震の震源は走向移動タイプの断層セグメントに位置し，これらの断層セグメントは過去にも活動的で，強い破壊的地震をひきおこしたことがある（Berberian et al., 1999；Hollingsworth et al., 2006）．

環太平洋の火の輪にはこの研究とは別の震源帯が分布し，そこでの地震活動は，マントル対流に由来する造構応力によってもたらされた歪に由来し，衛星データにもとづいて大地震の起震力を特定することができる（Liu et al., 2003）．

地震現象の再来性を考察するために，ある概念，すなわち，力学的力の蓄積に起因する引張力が岩石物体の抵抗力よりも大きくなり，岩石を破壊する地震を発生させる，というに概念が用いられる．この場合の地震強度は,破壊点に集積したエネルギー量に，いいかえると，力学エネルギーが蓄積中の岩石のタイプ，それらの破壊強度，内部歪，および断層タイプに依存するだろう．

逆に，この研究で仮説されるメカニズムは次のとおりである．まず岩石が直交裂罅によって分割され，つづいて断層に発生する侵食と”摩耗効果”によって”破壊帯”断裂部で粒子化サイズ（granulometry）が小さくなっていく．ある臨界値にたっすると，摩擦の減少によって，２つの断層地塊の間で変位が発生し，その結果，新しい地震が発生する（図２）．このメカニズムは，多くの化石地震にも適用されるだろう（Billi et al., 2003a-b）．

一般に，私たちは，地震が発生する地震帯に関して，次の２つの場合を識別することができる．１つはマグニチュード〈Mw5 とまれな Mw6+ の地震が発生する地震帯，もう１つは Mw7+ の地震を発生させる地震帯である．前者の場合，起震断層にはたらく応力は

漸進的衝上運動をともなって進行し，臨界値に達して２つの地塊に変位が生じるまで，ゆっくりと定常的に粒子を分解しつづける．この場合，大規模な破断域にくらべて，より小さい弾性エネルギーを解放する．というのは，この過程が長時間にわたって分散して進行するからである．

いっぽう後者の場合，問題の衝上断層は，破壊領域の粒子がまだ粗粒で，臨界値に達していなくても，変位を発生させることができる．この場合，飛躍的に増大したポテンシャルエネルギーが巨大な弾性エネルギーに変換される．このような変位予測によると，より巨大なポテンシャルエネルギーが蓄積されているために，自律的展開律にしたがって長時間にわたって蓄積された引張力を解放して，より巨大な地震エネルギーを放出することになる．

図３は，断層の構成要素－断層核，破壊領域，および未破壊母岩－を図解している．断層核では，長時間にわたる摩擦によって，また，過去の地震によって，粒子サイズは著しく減少している．引張力による侵食が進行すると，断層核における分解された岩石片は，反復破壊の結果として常にセメントされる．このセメント作用は，流体拡散に対する遮蔽領域となり，物理的障壁をなす．

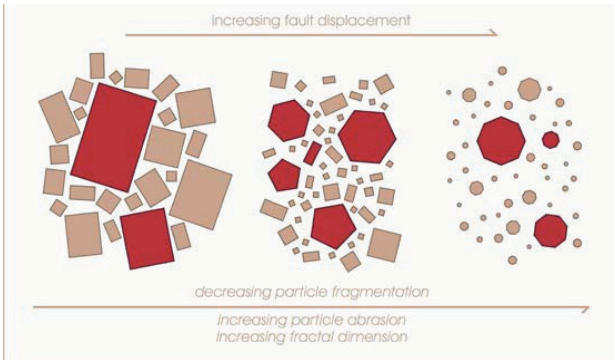


図２ 造構応力由来の摩擦侵食による，断層核における粒子サイズの経時的減少

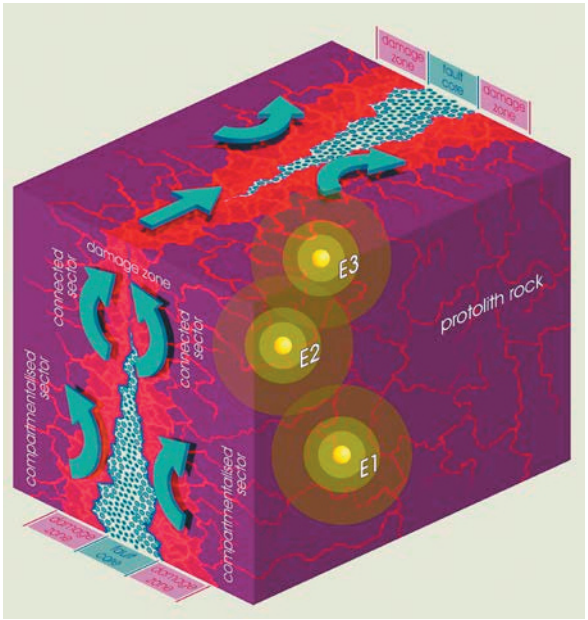


図３ 地震断層の発生を示す概念図．破壊帯，断層摩擦による粒子サイズの減少，および，その結果としてもたらされる震源，を示す（Billi et al., 2003b を編図・再描画）

いっぽう，断層の破壊領域は，断裂によって形成された通路網によって十文字に切断される．その結果，被圧流体が循環し，いくつかの場合には岩石の分解が加速され，地震が発生する（Byerlee, 1993；Tadokuro et al., 2000；Lachenbruch, 1980；McCaig, 1988）．断層核が時間とともに大きくなると，新たな破壊領域が発生し，断裂や間隙を形成する．そこでは，水のほか，炭化水素さえも循環することができ，場合によっては貯留槽を形成する．このような岩体中における長期にわたる断層核と破壊領域の移動は，ある特定の領域に囲まれ，この研究で考察された地震のように，同一震源帯に震源をもつ新しい地震が発生することになる．

表１からわかるように，ほとんどの場合，震源は長時間にわたって浅層をゆっくりと移動し，広く認められているように，破壊的地震が地殻表層の深度７～15km に発生する．

3.2　地震と太陽活動

この研究で検討する >M7 地震の大部分は，太陽活動の極小期および極大期に一致して発生する（表２）．Tavares and Azavedo は 2011 年に，地球規模でみた地震数は太陽活動に関連する可能性を指摘した．最近の研究（Choi and Maslov, 2010；Choi, 2014）は，最近 100 年間の地球ダイナミクスの激変的事件と太陽活動との間に逆相関がみられることに注目している．太陽活動は地球大気の輻射と循環にかかわっていて，地球の気候変動にも関連しているだろう．そして，太陽活動が気候変動と地球物理的激変事件の両者に関係しているとすれば，それは移行特性を通じて，破壊的地震が気候変動に関係している可能性も想定される．

これに関係して，Choi and Maslov は 2010 年に「激甚な地震や火山噴火の多くは，太陽活動の主要な衰弱期あるいは衰弱期間－マウンダー寒冷期（1645～1715 年），ダルトン寒冷期（1793～1830 年），1900 年寒冷期［1900 trough］（1880～1915 年，新称），および太陽周期の長期減衰期（1990～2003 年）－に発生した」と述べた．

同様の研究は，最近の 100 年間でみると，太陽活動と全地球的地震数との間に相関性があることを確証した（Choi and Tsunoda, 2011；Han et al., 2004；Mazzarella and Palumbo, 1988）．

表２を解析すると，第１期間（1904～1947 年）に

は２つの地震が太陽活動の極大期間に発生したことがわかる．いっぽう，第２期間には，1912，1934および1964年の地震が太陽活動の極小期に発生している．1963，1976，および1995年の地震を含むno.5の場合のように，また，たとえば1965，1983および2002年の地震を含むno. 6の期間のように，太陽活動の極小期に対応している．ただし，この地帯において1993年の地震は例外的で，太陽活動の極大期に発生している．

Choi (2014)およびChoi and Maslov (2010)によって提案されたように，地震頻度と太陽活動との逆相関現象は太陽活動極小期に発生している．この最新の研究のなかで，表２で考察された最初の５つの場合は，Choi and Maslovによって2011年に提案されたパターンを反映している．しかし，６，７，および８の場合には，このパターンはうまくあてはまならない．後者に関しては，いくつかの考え方ができるだろう．たとめば，(1) 他の場合に比べてより低緯度で地震活動が発生した，あるいは，(2) それらの主要異常が，本論文で研究している地震のひきがね力学に影響をあたえたであろう地震核の活動の回復期間である1990 ～ 2013年に発生した地震に由来した，という考え方である．震源もまた，no.6の場合を除くと，1973 ～ 2010年に全地球規模で発生したM>7地震（Choi and Masolov, 2010）と調和的に，つねに同一地帯の表層部に位置する．より信頼できる関係性は，太陽磁場の反転（inversion）にかかわっている．それについては，Zolotov et al. (2010)が，太陽周期のパターンと太陽風および粒子放射の間にある関係性を認定している．

いっぽう，Han et al. (2004) は地球磁場異常が断層帯に渦電流を誘導するという仮説を提案し，力学的観点から実際に発生することが確認された．Han et al. (2004) によると，「渦電流が断層構成岩石を加熱し，それらの岩石の剪断抗力強度と静摩擦限界を減少させ,大地震が容易に発生する」とされる．

最近の研究として，Johnson (2014) は，太陽の大爆発が地球のテクトニクスと鉛直成分をともなう地球力学にかかわっている,というモデルを提案した．

にもかかわらず，本研究で解析された地震がすべて太陽活動に関係するわけではない．25件のM ＞ 7地震のうち，4件は太陽活動の活発化および減衰化の期間に発生している．これは，地震発生のひきがね過程が，かならずしも太陽活動に関係するとはかぎらず，他の要因によっても起きることを示す．

太陽活動と地震との間に存在する関係性を証明する学際的研究の出現が待望される．いっぽうで，いずれにしても，そのような関係性は解析された事例の75%で信頼できることが証拠づけられている．

3.3　地震と惑星配列

天文学のソフトウェアを使い，地震震央の緯経度をあたえることによって，表２が作成された．この表は,地震にかかわる地球の状況を示したものである．おなじソフトウェアを使って，惑星配列の緯経度をたとえわずか1°ほどでも変化させると，地球の状況が変わることがわかる．同一地域を襲った３～４

表２　解析された地震，惑星配列のパターン，太陽活動の間の相互関係

N	Year	Month	Day	Latitude	Longitude	Depth (km)	Mw	Alignments	Solar Activity
1a	1904	8	27	64	-148	0	7.8	Venus-Mercury-Moon-Earth	Max
1b	1947	10	16	64	-148	0	7.2	Venus-Mercury-Moon-Earth	Max
2a	1912	1	31	61	-147	80	7.2	Venus-Mars-Earth	Min
2b	1934	5	4	61	-147	80	7.2	Sun-Mars-Earth	Min
2c	1964	3	28	61	-147	23	8.5	Sun-Mars-Earth	Min
3a	1951	2	13	56	-156	25	7.1	Venus-Mars-Earth	Max
3b	1979	5	20	56	-156	9	7.0	Venus-Mars-Earth	Max
4a	1906	12	23	53	-165	0	7.6	Venus-Mercury-Earth	Max
4b	1940	8	22	53	-165	25	7.2	Venus-Mercury-Earth-Mars	Max
4c	1957	3	22	53	-165	33	7.0	Venus-Mercury-Earth-Sun	Max
5a	1963	10	13	44	149	60	8.2		Min
5b	1976	1	21	44	149	41	7.0	Venus-Mars-Earth	Min
5c	1995	12	3	44	149	33	7.9	Venus-Mars-Earth	Min
6a	1965	3	14	36	70	260	7.5	Venus- Mars-Earth-Sun	Min
6b	1983	12	30	36	70	214	7.2		Dim
6c	1993	8	9	36	70	214	7.0		Dim
6d	2002	3	3	36	70	225	7.4		Dim
7a	1968	8	31	33	59	13	7.3	Venus-Mercury-Earth	Max
7b	1979	11	27	33	59	10	7.1		Max
7c	1997	5	10	33	59	10	7.3		Asc
8a	1961	8	11	43	143	50	7.0		Max
8b	1961	11	15	43	143	43	7.0	Sun-Mars-Earth	Max
8c	1973	6	17	43	143	48	7.7	Venus-Mercury-Earth	Dim
8d	2004	11	28	43	143	39	7.0	Venus- Mars-Earth	Dim

件の地震群は，期日や距離が違っていても，驚くほど一致している．

同一の震央でＭ＞７の再来地震が発生した８つの地帯を解析した結果，次のことがらが解明された：

第１ケース：金星－月－地球の直列にともなって２つの地震が発生した（図４）．
第２ケース：火星－地球の直列（太陽と２回，金星と１回の直線配列）では３つの地震
第３ケース：いっぽう，金星－火星－地球が直列した時に，この地帯で地震が発生する．
第４ケース：金星－水星－地球の直列の場合には，第１ケースと同様の地震が発生する（太陽や火星が直線配列する２つの場合には，より強化される）．
第５ケース：金星－火星－地球の直列に対応して，同一震源帯で２～３の地震が発生する．
第６ケース：金星－火星－地球の直列に，太陽が加わる場合には，研究対象とした３つの地震の１つが発生するだろう．
第７ケース:この地帯でも観測されるように，金星－水星－地球の直列時にも再来地震が発生する（第１および第４ケースを参照）．
第８ケース：４件のM>7地震のうち，金星と地球が直列した時に，３つの再来地震がこの地域で発生する（４件のうち２件）．

金星－火星－地球が直列すると10件の地震(40%)が，太陽－火星－地球が直列すると４件の地震(16%)が，太陽－火星－地球の直列では４件の地震（16%）が，それぞれ発生した．解析された25件の地震（100%）のうち14件（56%）が，金星－地球の直列時に発生する．

さらに，惑星配置と地震との関係性は多数の文献に論述されてきた．それを示すには，最近80年間にわたる200以上の研究をリストしたKukus（2011）の１例で十分である．

ところが，このような仮説にもかかわらず，惑星配列による地震のひきがね機構は，68%の事例研究において依然としてよくわかっていない．そのため，これらの場合も，これらの２つの現象をむすびつける要素として何らかの関係性（再来性に示されるように，不規則性以外の何か）を考察するうえで重要である．

Circumstances

Local Time	21:00:00 27 Aug 1904			Latitude	64:00:00 N
GMT	21:00:00 27 Aug 1904	Dawn	None	Longitude	148:00:00 W
Julian Date	2416720.37500	Dusk	None	Height	0 m
Local Sidereal Time	9:30:39	Night Length	0:00	Temperature	20 C
GMT - 0		Epoch	Of Date	Atm Pressure	29.53 in Hg

Ephemerides

	RA	Dec	Altitude	Azimuth	HelLong	HelLat	EaDist	SunDist	Elong	AngSize	VisMag	Phase
Sun	10:24.0	10:00	35:12	163:51	334:07	0:00	1.0099	0	0.0	1900.38	-26.8	100.0
Moon	23:38.6	-2:52	-25:24	324:24	353:58	-0:30	406053	1.0125	-160.2	1765.71	-12.7	89.0
Mercury	11:53.9	-2:56	18:02	142:05	283:47	-5:51	0.80262	0.45296	25.8	8.40	-1.6	38.3
Venus	11:18.1	6:00	28:54	149:08	187:44	3:09	1.6582	0.72065	14.0	10.20	-4.0	97.1
Mars	8:43.6	19:17	44:36	195:41	112:23	1:39	2.4698	1.6232	-26.0	3.79	1.5	98.1
Jupiter	1:54.2	10:08	-0:12	296:01	20:23	-1:17	4.3179	4.9537	-124.0	45.56	-2.7	99.3
Saturn	21:16.9	-17:03	-43:00	4:29	318:11	-1:04	8.918	9.8846	162.2	18.57	0.8	100.0
Uranus	17:42.5	-23:36	-35:20	70:29	268:46	-0:12	18.9	19.298	111.9	3.48	5.6	99.9
Neptune	6:33.0	22:14	39:04	236:31	96:02	-1:01	30.457	29.911	-56.5	2.04	7.9	100.0
Pluto	5:33.4	15:10	26:50	248:26	82:20	-8:12	47.035	46.713	-70.8	0.17	15.7	100.0

Circumstances

Local Time	2:00:00 16 Oct 1947			Latitude	64:00:00 N
GMT	2:00:00 16 Oct 1947	Dawn	14:04	Longitude	148:00:00 W
Julian Date	2432474.58333	Dusk	5:13	Height	0 m
Local Sidereal Time	17:43:01	Night Length	8:51	Temperature	20 C
GMT - 0		Epoch	Of Date	Atm Pressure	29.53 in Hg

Ephemerides

	RA	Dec	Altitude	Azimuth	HelLong	HelLat	EaDist	SunDist	Elong	AngSize	VisMag	Phase
Sun	13:20.8	-8:31	2:54	244:19	21:52	0:00	0.99691	0	0.0	1925.22	-26.8	100.0
Moon	14:49.2	-15:24	3:11	221:40	224:30	0:50	385440	0.99453	22.6	1860.13	-9.2	12.6
Mercury	14:52.9	-19:43	0:35	219:32	308:28	-6:55	0.96646	0.42461	24.9	6.97	-1.8	57.3
Venus	14:04.6	-11:55	3:48	233:03	228:46	1:34	1.6748	0.72399	11.3	10.10	-4.0	98.1
Mars	8:44.8	19:23	0:56	317:45	91:05	1:14	1.536	1.5748	-73.4	6.09	0.5	89.7
Jupiter	15:45.1	-19:10	3:57	207:46	244:44	0:45	6.1228	5.3545	36.5	32.13	-1.8	99.7
Saturn	9:32.8	15:30	1:09	305:40	135:02	0:56	9.5871	9.1511	-61.4	17.27	0.8	99.8
Uranus	5:42.9	23:31	-1:04	0:01	83:24	0:08	18.64	19.094	-115.8	3.53	5.6	99.9
Neptune	12:42.7	-2:59	3:58	255:16	190:38	1:32	31.267	30.289	-11.0	1.99	8.0	100.0
Pluto	9:20.5	22:55	6:42	311:06	133:59	7:05	37.451	37.067	-66.7	0.22	14.7	100.0

図４　1904年および1947年の地震時の惑星位置．２つの地震の正確な位置も表示

4.0 結　論

この研究で解析された強い地震は，大きな造構エネルギーをもつ地帯において同一の震央に再来する，と結論づけられる．≥M7.0 地震の再来性について提案されたモデルは，断層力学，すなわち，断層核における岩石の累進的断片化プロセスで構成される．このような力学は，大きな造構力による地殻引張によってひきおこされる．考察されたひきがね機構は，解析された地震のじつに 84% が説明され，太陽活動に条件づけられるだろう．そして，研究された事例の 68% は，特定の惑星配列によって説明される．地震の原因にはさまざまな種類があるので確率は 100% にならないが，それはかなり高率である．

それゆえ，確率論的観点からは，M ＞ 7 地震を経験した地帯においては，将来も同様の規模，あるいはより大きな地震が予想され，この仮説は多くの分野の共同研究によって支持されるだろう．

謝辞　本研究の実施を励ましてくれた Fernando La Greca 博士に，いっそうの研究を奨励し，未公表データを提供していただいた Dong Choi 博士に，そして，原稿を改善してくれた Pavel Kalenda 博士に，心より御礼申し上げる．

文　献

Allegre, C.J., Le Mouel, J.L. and Provost, A., 1982. Scaling rules in rock fracture and possible implications for earthquake predictions. Nature, v. 297, p. 47–49.

Berberian, M., Jackson, J.A., Qorashi, M., Khatib, M.M., Priestley, K., Talebian, M. and Ghafuri-Ashtiani, M., 1999. The 1997 May 10 Zirkuh (Qa'enat) earthquake (Mw 7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran. Geophysical Journal International, v. 136, Issue 3, p. 671–694.

Billi, A., Storti, F. and Salvini, F., 2003a. Particle size distributions of fault rocks and fault transpression: are they related? Terra Nova vol. 15, p. 61–66.

Billi, A., Storti, F., Salvini, F., 2003b. The damage zone-fault core transition in carbonate rocks: implications for fault growth, structure and permeability. Journal of Structural Geology vol. 25, p. 1779–1794.

Byerlee, J., 1993. Model for episodic flow of high-pressure water in fault zones before earthquakes. Geology, v. 21, no. 4, p. 303-306.

Choi, D.R. and Maslov, L., 2010. Earthquakes and solar activity cycles. NCGT Newsletter, no. 57, p. 85-97.

Choi, D.R. and Tsunoda, F., 2011. Volcanic and seismic activities during the solar hibernation periods. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 61, p. 78-87.

Choi, D.R., 2014. Global climate status report (GCSR), "Earthquake/volcanic activities and solar cycles", Space and Science Research Corporation (SSRC), p. 10-19.

Han, Y., Guo, Z., Wu, J. and Ma, L., 2004. Possible triggering of solar activity to big earthquakes (Ms≥8) in faults with near west-east strike in China. Science in China Series G: Physics and Astronomy, v. 47, Issue 2, p. 173-181.

Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Reza Gheitanchi, M. and Javad Bolourchi. M., 2006. Strike-slip faulting, rotation, and along-strike elongation in the Kopeh Dagh Mountains, NE Iran. Geophysical Journal International, v. 166, Issue 3, p. 1161-1171.

Johnson, R., 2014. Massive solar eruptions and their contribution to the causes of tectonic uplift. NCGT Journal, v. 2, no. 1, p. 16-36.

Kokus, M., 2011. Lunar and Solar periods in earthquakes and volcanism: a review of the literature. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 60, p. 38-49.

Lachenbruch, A.H., 1980. Frictional heating, fluid pressure, and the resistance to fault motion. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012), v. 85, Issue B11, p. 6097–6112.

Lallemant, HGA, and Oldow, J.S., 2000. Active displacement partitioning and arc-parallel extension of the Aleutian volcanic arc based on Global Positioning System geodesy and kinematic analysis. Geology. v. 28, no. 8, p. 739-742.

Liu, H.S., Kolenkiewicz, R., Li, L.J. and Chen, J.Z., 2003. Satellite detection of the convection generated stresses in Earth. Recent Research Developments in Geophysics, v. 5, p. 117-137.

Mazzarella, A. and Palumbo, A., 1988. Solar geomagnetic and seismic activity. Nuovo Cimento C, Serie n. 1, p. 353-364.

McCaig, A.M., 1988. Deep fluid circulation in fault zones. Geology, v. 16, no. 10, p. 867-870.

Odintsov, S., Boyarchuk, K., Georgieva, K., Kirov, B., Atanasov, D., 2006. Long-period trends in global seismic and geomagnetic activity and their relation to solar activity. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, v. 31, Issues 1–3, p. 88–93.

Prejean, S., Stork, A., Ellsworth, W., Hill, D. and Julian, B., 2003. High precision earthquake locations reveal seismogenic structure beneath Mammoth Mountain, California. Geophysical Research Letters, v. 30, no. 24, p. 2247, doi:10.1029/2003GL018334, 2003.

Tadokoro, K., Ando, M. an d Nishigami, K., 2000. Induced earthquakes accompanying the water injection experiment at the Nojima fault zone, Japan: Seismicity and its migration. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012), v. 105, Issue B3, p. 6089–6104.

Tavares, M., Azevedo, A., 2011. Influences of solar cycles on earthquakes. Natural Science, v. 3, no. 6, p. 436-443.

Zolotov O.V., Namgaladze A.A., Zkharenkova, I.E, Shagimuratov, I.I. and Martynenko, O.V., 2010. Modeling of ionospheric earthquake precursors generated by various electric field sources. Natural Hazards Earth System Sciences, v. 10, p. 7-18.

パキスタンの震度分帯　SEISMIC ZONING OF PAKISTAN

Haleem Zaman MAGSI

Department of Earth Sciences, Karakoram International University
University Road, Gilgit 15100, Pakistan　　r.magsi@kiu.edu.pk

（ 久保田　喜裕［訳］）

要旨：活発な地震活動があるパキスタンでは，市民の生活基盤や都市開発への地震の影響を軽減するため，設計家にとって震度分帯図は欠かせない．通常，全世界あるいはその地域固有の有用な震度分帯図は，地震学的データや表層地質を用いた方法でつくられている．地震活動が表層地質に関連して弱くなるような地域では，そのような図は誤って利用される可能性がある．そのため，パキスタンの震度分帯図をさらに有用なものにし，地震の深さや規模に見合ったゆれの強さを軽減する震源の地震－造構環境を決定するため，固有の地震力や地殻の変形強度，地球物理学的データに，造構運動や深部構造，地震学的データを加えた解析がひとつの試みとして行われている．パキスタンの浅部震源域は，主として 10 ～ 20 km および 30 ～ 45 km の起震層に限られている．そのため，地震の分帯には，造構作用や起震層の物理化学的特性や，地震－造構帯を分断する深部断層への深い理解が求められる．パキスタンでは，主要な断層に直交する軸をもつ造構運動を規制する深部構造は，インドプレートとユーラシアプレートの境界とされている．地震の深さ，規模および固有強度の軽減値との関係は，震源深度と地震規模の果たす役割が震度分帯の本質的な条件であることを認識させてくれる．パキスタンの地震帯は，すべての有用な条件を評価することによって決定されている．現在の地震災害図は修正メルカリ震度階の 7，8，9 の等震線強度値を取り入れている．パキスタン領土の 80% は，地震に脆弱なことが知られている．

キーワード：震度分帯，震度，地震－造構運動，地震－造構環境，等震線（isoseismals）

はじめに

地震は，なかでも人口の急増によって発生する需要に見合うエネルギーや重工業，生活基盤，都市開発といった巨大プロジェクトが必要な国において，社会－経済分野に激しい衝撃を与えてきた．古来，パキスタンの地震の歴史は（図１），震度分帯や破壊的な地震を最小限に留める減災策の重要性を示してきたが，多大な死傷者と市民生活基盤の破壊をもたらした 2005 年 10 月 8 日の壊滅的なカシミール地震後になってようやく，注意が払われるようになった．震災軽減の一般的条件は，地震の規模と震源の深さに対応した地表におけるゆれの強さのおおよそを知ることである．このことから，また，震源の地震－造構作用が常に表層地質を反映するとは限らないことから，震度分帯における震源の地震性造構環境を決定するには，表層地質にも増して深部構造を知ることが重要である（Magsi，2014）．Magsi（2014）によれば，震源過程は地震－造構容量（seismotectonic volume）もしくは地震－造構震源域（seismotectonic focus）の軸部の影響が強い．深部の変形は，地震－造構震源域の軸部の角度が 45° 以上の場合に限って見られる．表層地質は，対象地域の造構過程を反映する指標になろう．したがって，起震層の深さを決定することは，地表の震度を予測し，地盤の加速度を見積もるうえで重要である．

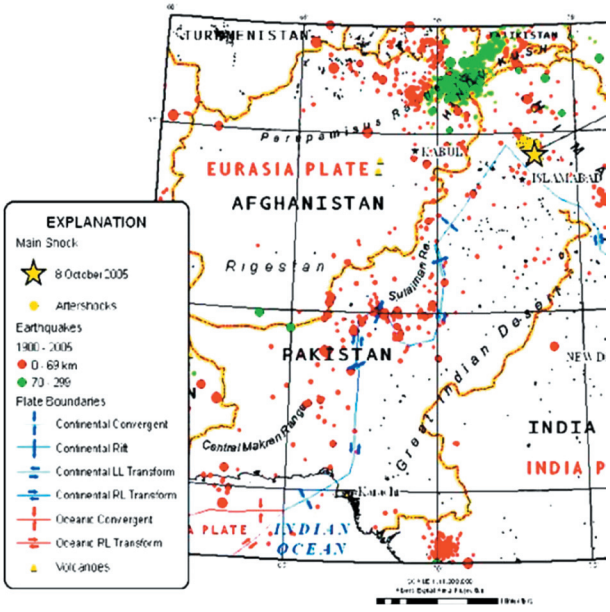


図１ パキスタンの地震活動（EERI，地震特別報告：2006 年 2 月による）．

パキスタンの震度分帯に関するデータの有効性評価は，震度分帯図（最大地盤加速度ないしは地表強度）が地震データや表層地質にもとづいているため，ある地域の地震活動は表層断層や拡散した地震活動にまったく関連していない，という誤った方向へ向いてしまうのが常である（Quittmeyer et al., 1979）．そのため，強い地震のゆれが起こると，いつも最大地盤加速度の値を無理に細かく区分するだけになっている．たとえば，2013 年 9 月 24 日（M7.7）および　同年 9 月 29 日（M6.8）の Awran 地

震は，Mirza et al. (1988) の震度分帯，図２に示されたとおり，地帯 C（強度 I° Ⅶ）内で発生した．しかし，実際の震度 I° は＞Ⅷであった．そのようなことがおこった理由は，主に地震－造構特性と地震活動が希薄な要因といった観点から，起震層の認定とそれへの考慮がなされなかったためである．このことから，地盤の震動強度予測や地震－造構状態 (seismotectonic conditions) (Schukin, 2008) を把握するために，適切な震度分帯図には地質－地球物理学や地質工学，地球力学的データが必要なことが分かる．一方，Ulomov (2004) は，地震活動は地殻と全リソスフェアの力学的作用の結果であると主張している．そのため，地震－動力学的作用地帯 (seismogeodynamic process zones) の認識が将来の地震予測にとって重要になる．

地震－動力学的研究は，長期的な地震危険度予測のためにも重要で，地殻に関する地震学や地質－地球物理学などの領域まで複雑に絡んでいる．地震－動力学的作用が深部で起こっているように，造構エネルギーの発生，蓄積，変形後の解放が生ずる深部地帯を把握するために，深部構造の情報が重要である．このような深さは地表の激しいゆれを軽減するための重要な役割を担っている．したがって，筆者は，地殻の力学的作用を明らかにし，起震層を確立し，強震動の軽減を見積もるために，パキスタン領域の複雑に絡んだ地質－地球物理的，地震学的データおよび地震－造構特性について事前評価してきた．上述した考えにもとづき，筆者はパキスタンの震度分帯を行った．

パキスタンの地震－動力学

アルプスーヒマラヤ褶曲帯は一連の花綵状や線状の構造要素を形成し，パキスタン領内を通り抜けている (Powell, 1979)．その褶曲帯（図３）は，激しいネオテクトニクス運動を受けている．これらのネオテクトニクス運動は破壊的な地震をもたらす．Quittmeyer et al. (1979) によると，上述のネオテクトニクス運動は，インド－ヨーロッパプレートとアラビアプレートの衝突の結果とされる．しかし，Indus-Kohistan 地震帯における地震発生の力学モデル (Blot and Choi, 2005) や起震層モデル (Magsi, 2013)，北部地域の深部地震断面 (Belousov et al., 1979) からは，プレートの水平運動は支持されない．筆者は，パキスタンの震度分帯には，起震層の上部ないし下部の造構過程が重要と考える．したがって，主に水平運動にもとづいた地震－動力学的モデル (Ulomov, 2004) をパキスタンの震度分帯に適応する前に，導（地震）波岩層としての上・下部起震層の造構作用を明らかにする３次元的データが必要である．

一方，震度分帯には，地殻と上部マントルのさまざまな深さにおける起震層の造構過程や変形の様式，物理化学的特性が重要である．さらに，地震－造構性震源の断層を通じて解放されるエネルギー量を見積もることも重要である．Shedlock et al. (2000) によれば，サブダクションによるエネルギー解放はトランスフォーム断層帯のそれより大きい．固有震動図 (Magsi and Kazi, 1988) と地殻の変形強度 (Magsi, 1985) を比較検討すると，大地震は，あまり変形していない地帯，あるいは地殻が強く変形された地域で，地震の空白域や地震活動の小さい場所と関係していることが分かる．強い地震力の中心部やあまり変形していない地塊の中軸部は，トランスフォーム断層やサブダクション帯に対してほぼ垂直に走っている；言い換えれば，パキスタンのアル

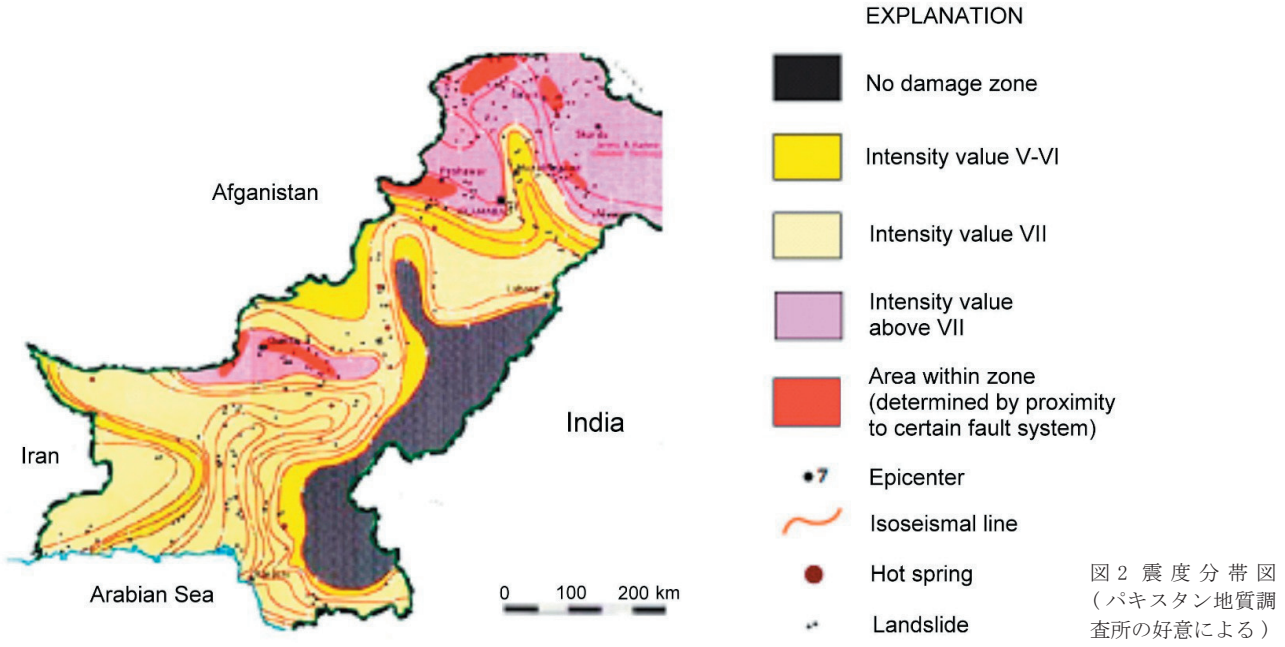


図２震度分帯図（パキスタン地質調査所の好意による）

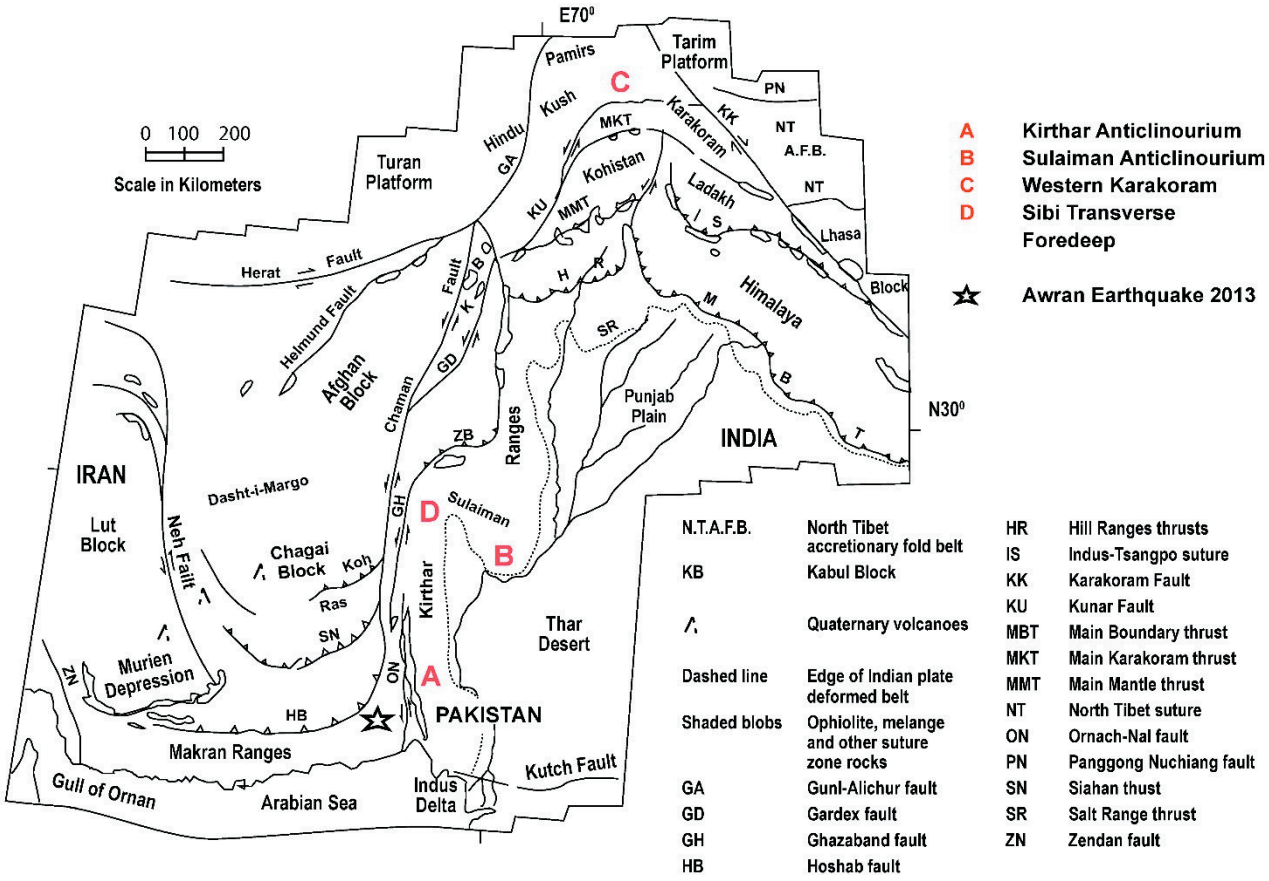


図 3 パキスタンの地質構造と断層（Kazmi, 1979 による）

プス－ヒマラヤ褶曲帯の曲げ褶曲地域に沿っている．Blot and Choi (2005) の地震駆動力モデルは上述の仮説を裏付けている．固有震動と変形強度，および地質構造との関係をみると，Sibi- 横断前弧海盆，Sulaiman 複背斜南部，オーラコーゲン状構造を伴う Kirthar 複背斜，Nanga Parbat-Haramosh 地塊地域，Makran 横断トラフ帯は，（破壊的な地震を起こすエネルギーを解放する）運動エネルギーの主要な貯留場として特徴づけられる．広域深部断層 (Kalinin, 1966; Khain, 1974; Auden et al., 1974) は，Sibi- 横断前弧海盆と Kirthar 複背斜北部に形成されたグラーベン構造 (Zaigham and Malik, 2000) を分断しているが，ネオテクトニクス運動の強弱に大きな役割を果たし，隆起･沈降地塊の造構エネルギーを生み出している．ネオテクトニクス運動の強弱は Makarn 地方でも観察されている；強い地震はあまり変形していない隆起ブロック (Chagai) と沈降ブロック (Makran Coast) で起きている．ところが，強く変形した Balochistan 地塊では，地震活動が低いことで特徴づけられる．強く変形している Gilgit-Baltistan 地方で地震活動が小さいことは，造構エネルギーが規模の小さい地震によって解放されていることを裏付けている．厚い堆積物のあるインダスデルタでは，地震活動は NE 方向の Kutch 断層帯に垂直に走る構造によって規制されている．

震度分帯の方法

震度分帯は，社会－経済分野への地震の影響を軽減する基礎的な指標となる．震度分帯は，技術の進歩とともに，常に向上し，改良される手法である．それは，地殻や上部マントルに生ずる作用についての多くのデータを集約することによってなされる．そのため，震度分帯は，震源での地震－造構環境を識別するために，地球物理や造構運動，深部断層，地震学的データ，さらに地殻の物理－化学的特性といったさまざまなデータの相互作用に依っている．パキスタンの地震－地球力学は，地質構造と地震活動や固有地震力，地殻の変形強度，上･下部起震層，重力場と地震活動との相互作用にもとづいて識別された．強度分帯を明らかにするために，起震層を考慮した震度の軽減も開発された．

震度の軽減
(ATTENUTION OF INTENSITY OF EARTHQUAKES)

震度分帯において，震度の軽減はある意味で工学的課題といえる．強震動データに基づいた軽減式がすべての地方で開発されているが，パキスタンでは適度な強さの震動データがないため，開発されていない．しかし，Mona Liza et al.(2004) は，イスラマバードとペシャワールそれぞれの震度分帯の値から，世界の沈み込み帯における浅発地震の軽減値

表 1 マグニチュード（M）と深さ（h）に比例した震度（I°）低減

h \ M	5	6	7	8	
10	7-8	9	10-11		
20	6-7	8	9-10	11	I^o
30	6	7-8	9	10-11	
50	5	6	8	9-10	
80	4	5	7	8	

を採用した．Mona Liza et al.(2005)は，一定の深さ 10km を浅発地震として採用した．しかし，パキスタンの浅発地震は，上･下部起震層に規制されている（Magsi, 2013）．Pasolini（2008）の考えでは，地震動のエネルギーは球面状のある一点から放射状に減少するので，断層の長さが 5km を超えなければ，震源のマグニチュードは 5 以上の値にはならないとしている（Well and Coppersmith, 1994）．Gusperini and Ferrari（2000）によれば，震央での強さ I° は震源の深さに見合った地震で観測された最大の強さに関係しているとしている.そのため，パキスタンでは，マグニチュード（M）と深さ（h）に比例した強度減少式は次のように表される：

$$I° = bM - V\log h + C \quad (1980)$$

ここで，b，V，C は係数で，マグニチュード（M），強さ（I°）および等震度データの信頼できるデータから計算したものである．パキスタンでは，係数の値は次のように計算されている；b= 1.6，V=3.5，C=3.5．上述した式に計数値を入れるといった，震央での強度低減値はパキスタンで開発された．

パキスタンの震度分帯

破壊的な地震の歴史は，パキスタンの活発な地震活動を立証している．大地震が海岸から北部地方まで社会－経済の中枢を揺さぶり続けている．震度分帯が巨大プロジェクトや都市開発の維持にとって基本的な条件にもかかわらず，パキスタンでは十分な配慮がなされてこなかった．しかし，パキスタンの震度分帯図は，Huda（1967），Mirza et al.（1988），パキスタン気象庁・NORSAR（2007），および UNOHABITAT（2010）らの個別の研究に依ってきた．近隣諸国（Bhatia et al.，1999）や全地球地震災害プロジェクト（Giardini et al.，1999；Shedlock et al.，2000）の一部として，国際研究はパキスタン領域を網羅した．個別ないしは国際的な震度分帯図の解析は，２つの範疇に分類される：1）地表最大加速度図；2）地表最大加速度・強度図．Huda（1967）は，地表の最大加速度値を a. 1/5g-1/10g；b. 1/10g-1/20g；c. ≤1/20g の３つに区分した震度分帯図を作成した．Mirza et al.（1988）は，震度等高線を用いた地表の最大加速度にもとづき，5 つの地方に区分した．ところが，パキスタン気象庁，NORSAR（2007）および UNOHABITAT（2010）は，パキスタン領域に４つの地表最大加速度を設定した．一方，Youssef et al.（2011）および Nasser et al.（2011）は，パキスタン北部の震度分帯で,斜面の安定度を取り入れた．上述の震度分帯図はおもに，地震発生源としての断層の長さに基づいた地表最大加速度値を採用している．

最近の地震の表層震度と上述の震度分帯図とを比較すると，地震学的データと表層断層だけで作成された震度分帯は，必ずしも社会－経済地区の脆弱性の問題を解決しないことを示している．それはむしろ破壊的な強震動帯について誤解を与えている；たとえば，2013 年 9 月 24 日と 29 日に発生した Balochistan Awran 地震（それぞれ M7.7 および 6.8）のように．Awran 地区は，最大加速度 1/10g-1/20g の b に当てはまり，また震度分帯の地帯３（UNOHABITAT，2010）と地帯 C（パキスタン気象庁・NORSAR，2007 および Mirza et al.，1988）に属する．震央地帯の実際の震度は，震度分帯のそれより高くなっている（USGS，2013）．

上述の誤算は，深度が異なる震源のデータや，地表の震度に直接影響する震源の実際の深さなど，震源の地震－造構環境についてのデータが欠落しているためと説明される．したがって，震度分帯には深部構造や広域的な変動，地殻の変形強度，地球物理学的特性，固有地震力，地震の深さと規模に見合った固有強度などを含む幅広い分野のデータが必要とされる．

震央でのゆれの強さ（I°）の見地から，パキスタンの震度分帯という試みがなされてきた.現在の図は，地質－地球物理学や地震－造構特性，深部構造，ネオテクトニクス変動（Chistyakov，1976；Poretti et al.，2010）のほか，地殻の変形強度（Magsi，1985）や固有強度減衰の詳細な解析に基づいている．この図は社会－経済に重要な巨大プロジェクトの計画や建設にとって適切なものと考えている．震度分帯図には，等震度線 7,8,9 が描かれた．その図はエネルギー解放源としての活断層や，地質構造に接している活地塊もいっしょに描かれている．そ

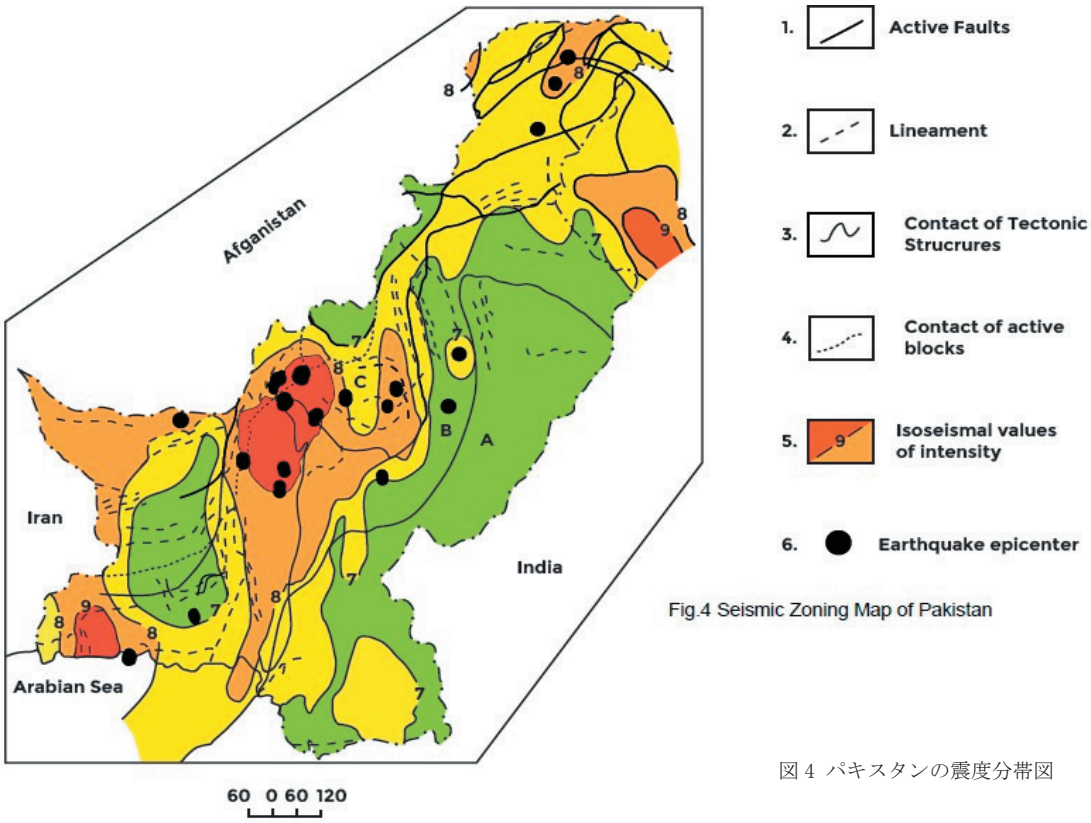


Fig.4 Seismic Zoning Map of Pakistan

図 4 パキスタンの震度分帯図

の震度区分図（図４）には，Sibi 横断前縁海溝北西部や Kirthar 複背斜北部，Trans Makarn 海岸前縁海溝で，大きな震度値 9 が示されている．震度値 8 は Kirthar 複背斜南部や Sulaiman 複背斜，Gilgit-Balistan 地域を覆っている．しかし，震度値 7 の等震度線は，インダスデルタやインド楯状地西側斜面，Potwar 台地，Hazara，Bannu，Peshawar 盆地，Balochistan 地塊を抜けて走っている．

結　論

地震分帯図（図４）には，修正されたメルカリ震度階の 7, 8, 9 の等高線がマグニチュード ≥ 6.0 の震央とともに描かれている．地震－地球力学条件からすると，活造構地塊が認定される．活造構地塊と起震層は，運動エネルギーの発生源として，重要な役割を担っている．アルプスーヒマラヤ褶曲帯の中軸部を変化させている垂直な地質構造は地震エネルギーの主要な力源である．地殻の脆弱に変形した地帯は，主要な造構エネルギーの蓄積場である．ところが，強く変形した地帯は，造構エネルギーの蓄積や小規模の地震による（エネルギーの）解放には適していない．パキスタンの強震動帯は，Sibi 横断前縁海溝や Kirthar 複背斜，Sulaiman 複背斜南部，Makarn 海岸前縁海溝西部，Balochistan，Gilgit-Balistan 地域北部である．

謝辞：この研究の間，妻 Emilia の精神的な応援と息子 Iftikhar Magsi の作図に対して感謝する．

文　献

Auden, J.B., 1974. Afghanistan-Pakistan. In Spenser A., ed. Mesozoic-Cenozoic belts data for ergogenic studies. Geological Society of London, Spec. pub. 4, p. 235-253.

Belousov, V.V., Belyavsky, N.A. and Borisov, A.A., 1979. The structure of the lithosphere the profile of deep seismic sounding of the Tien Shan, Pamir-Karakoram Himalaya. Sovetskaya Geology, no. S, p. 11-28. (in Russian)

Bhattia, S.C., Kumar, M.R. and Gupta, K.H., 1999. A probabilistic seismic hazard map of India and adjoining areas. Annali Di Geophysica, v. 42, no. 6, p. 153-164.

Bilham, R., Lodi, S., Hough, S., Saria Bukhary, Khan, A.M. and Rafeeqi, S.F.A., 2007.Seismic Hazard in Karachi, Pakistan: Uncertain Past, Uncertain Future. Seismological Research Letters, v. 78, no. 6, p. 601-613.

Blot, C. and Choi, D.R., 2005. Forerunners of the catastrophic Kashmir Earthquakes (8 October, 2005) and their Geological significances. New Concepts in Global Tectonic Newsletter, no. 37, p. 4-16.

Chistyakov, A.A., 1971. Recent Tectonics of Hindustan. Tr. NII. Zarubezhgeologiya, v. 22, p. (in Russian)

Giardini, D., Grünthal, G., Shedlock, K. and Zheng, P., 1999. The GSHAP Global Seismic Hazard Map. Annali di Geofisica, v. 42, p. 1,225–1,230.

Gusperini, P. and Ferrari, G., 2000. Deriving numerical estimates from descriptive information: the computation of earthquake parameters. Annali di Geofisica, v. 43, p. 729–746.

Huda, S., 1967. Seismicity of Pakistan, Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Japan. p. 23-34

Kalinin, N.A., 1966. Geological Issues of Oil and Gas of India. M- Science, p.188 (in Russian). Khain, V.E., 1979. Regional Geotectonics of Asia and Australia. M. Nedra. (in Russian)

Magsi, H.Z. and Kazi, A.A., 1988. Some special characteristic development of seismic activity in Pakistan. Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan, v. 23, p. 467-474.

Magsi, H.Z., 1985. Evaluation of seismic danger zones in Pakistan based on the interpretation of Landsat Data. Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan, v. 21, p. 133-137.

Magsi, H.Z., 2013. Seismogenic layers of Pakistan. NCGT Journal, v. 1, no. 4, p. 29-33.

Magsi, H.Z., 2014. Relation of Seismicity with Surface Faults in Pakistan: An overview. NCGT Journal, v. 2, no. 1, p. 42-55.

Magsi, H.Z. and Kazi, A.A., 1989. Some special characteristic development of seismic activity in Pakistan. Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan, v. 23, p. 133-137.

Mirza, M.A., Babar, M.Z. and Sabir, K. and Khan, A., 1988. Seismic Risk Map of Northern Pakistan, National Geo-Data Center Geological Survey of Pakistan Quetta, Pakistan.

Mona Liza, A., Khwaja, A. and Gaved, M., 2004. Seismic hazard assessments of Islamabad, Pakistan using deterministic approach. Geol. Bull. Univ. Peshawar, v. 37, p. 199-214.

Mona Liza, Khwaja, A.A. and Qureshi, S., 2005. Structural interpretation based on focal mechanism studies in the area of Khot Plateau, Bannu Basin and Western Extension of Salt Range. Pakistan Journal of Hydrocarbons Research, v. 15, p. 43-51.

Naseer A., Dr. Ahmed, Z. and Akhtar, G., 2011. Investigation of Seismic Hazard in NW-Himalayas, Pakistan using Gumbel's First Asymptotic Distribution of Extreme Values Pakistan. Pakistan Journal of Meteorology, v. 6, issue 12, p. 31-39.

Pakistan Meteorological Department and NORSAR, 2007. Report on seismic hazard analysis and zonation for Pakistan. Azad Kashmir and Kashmir, 156p.

Pasolini, S.C., 2008. The attenuation of seismic intensity. Dottorato di Ricerca in Geofisica XX Ciclo SETTORE SCIENTIFICO DISCIPLINARE: GEO/10 Bologna, Marzo.

Poretti, G., Calligari, C., Tariq, S. and Khan, H., 2010. Comparison between the tectonic movements of Mt. Everest and the Nanga Parbat-Haramosh Massif. www.irsa.cnr.it/Docs/Archivio/Poretti_21-6-11.pdf.

Powell, C.Mc.A., 1979. A speculative tectonic history of Pakistan and surrounding: some constraints from Indian Ocean. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p. 5-24.

Quittmeyer, R.L., Farah, A. and Jacob, K.H., 1979. The Seismicity of Pakistan and its relation to surface faults. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p. 271-284.

Schukin, Yu.K., 2008. Geodynamics, mass, seismicity. All-Russian Conference "Tectonophysics and current issues of Earth Sciences". On the 40th anniversary of the Laboratory of Tectonophysics, named after Gzovskim, M.V.M. 369-371. (in Russian)

Seismic zoning of USSR 1980. Nauka, M. (in Russian)

Seismic zoning map of Pakistan 2010. UNOHABITAT

Shedlock, K.M., Giardini, D., Grünthal, G., Zhang, P., 2000. The GSHAP global seismic hazard map. Seismological Research Letters, v. 71, no. 6, p. 679-689.

Ulomov, V.I., 2004. Implication of horizontal tectonic movements for seismogeodynamics and seismic hazards prediction. Fazika Zemli, no. 9, p. 14-30. (in Russian).

Wells, D.L and Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and rupture area and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am., v. 84, p. 974–1002.

Youssef, M.A., Scott, M.O., Byungmin, K. and Arshad, A., 2011.Report: seismic hazard analysis and seismic scope stability evaluation in northwestern Pakistan. USAID, 158p.

Zaigham, N.A. and Mallick, K.A., 2000. Prospect of hydrocarbon associated with fossil-rift structures of the southern Indus Basin, Pakistan. v. 84, no. 11, p. 1833-1848.

太平洋と周辺域の構造発達史：リソスフェアブロックの大規模回転への制約
TECTONIC DEVELOPMENT OF PACIFIC OCEAN AND ITS PERIPHERY: A CONSTRAINT ON LARGE-SCALE ROTATIONS OF LITHOSPHERIC BLOCKS

矢野孝雄

日本　680-8551 鳥取市 鳥取大学地域学部地域環境学科
yano@rs.tottori-u.ac.jp

（ 矢野　孝雄［訳］）

要旨:この論文は，構造解析によって太平洋と周辺域における後期中生代の構造発達史を解明し，それがリソフフェアブロックの大規模回転へあたえる制約について考察することを目的とする．

解析結果によると，太平洋の形成メカニズムは，(1) 太平洋規模の巨大なプリューム頭部と上載リソスフェアとの重力不安定，(2) アセノスフェア領域における全般的な造構性東方流動（おそらく地球自転に起因），(3) 太平洋にかつて存在していた大陸性リソスフェアの＂海洋化＂，で構成される．

太平洋と周辺域における中－新生代の偏心構造と全般的な東方への造構極性は，環太平洋変動帯に分布するさまざまな造構－火成活動帯が一体的な構造であることを示す．この一体的構造は地球大円にほぼ沿っていて，リソスフェアブロックの大規模な回転運動とは相容れない．

キーワード：太平洋，環太平洋変動帯，偏心構造，東向き造構極性，重力不安定，巨大プリューム，地球自転，海洋化作用

まえがき

地球表面の 32% を占める太平洋は，環太平洋変動帯に縁どられている．環太平洋変動帯は，幅数百（最大 2,500)km，総延長約 40,000km の地球大円に匹敵する環状構造を形成している．そのため，太平洋および周辺域は地球の半球を占め，＂太平洋半球 [Pacific Hemispher]＂（PHS：Vasil'yev, 1991；Vasiliev, 2006）とよばれる．このような巨大な太平洋半球の発生プロセスは，地球の造構史を理解するためのもっとも本質的な課題の１つであろう．

Ijiri(1960) は，環太平洋変動帯と太平洋が同源的であることを示唆した．Mastumoto（1967）は，環太平洋変動帯とダーウィン海膨における後期中生代の造構－火成活動が同期していたことを解明した．本論文は，環太平洋変動帯とダーウィン海膨でおこった造構－火成活動の構造解析によって，太平洋半球の中－新生代構造発達史の解明を目的とする．

環太平洋変動帯における後期中生代の造構－火成活動

環太平洋変動帯の東アジア区は私たちの野外調査の主要対象であり，そこでは，きわめて典型的な地質構造がみられる．そのため，まずは，この区間の歪像・運動像・力学像を解明し，次に，それらを環太平洋変動帯の全域に敷衍する．

東アジア区における造構－火成活動

歪像　後期中生代の東アジア大陸縁は，現在の陸弧に類似した変動帯であったが，その幅は異常に広く，2,000km 以上に達していた（Matsumoto, 1967；Li and Li, 1973；Suzuki et al., 1978；Fujita, 1980；Nishimura, 1985）．後期中生代の東アジア大陸縁は，平行配列する３つの造構ユニット，すなわち，海側からオリストストローム－フリッシュ凹地，火山－深成帯，および内陸盆地で構成される（図１）．内陸盆地（たとえば，インドチャイナのタイ湾盆地と Khorat 盆地，中国の四川盆地とオルドス盆地，東シベリアの Yakutsk 盆地と Kolyma 盆地）は，北西縁を成長断層に境された傾動盆地である．ただし前二者は，両側を火山－深成帯にはさまれているため，sag 盆地になっている．火山－深成帯は，地窪［Diwa］地帯（Chen, 1965）ともよばれ，広域的隆起帯の頂部に形成された地塁－地溝帯で，厖大な火山－深成岩類をともなう．インドチャイナの Gaoligong 帯と Tenasserim 帯，中国南東部の華南火山－深成帯，朝鮮半島の大宝造山帯，中国東北部の大興安嶺火山－構造性陥没盆地，および極東シベリアの Okhotsk-Chukot 火山－深成帯に代表される．オリストストローム－フリッシュ凹地は，おもに半遠洋性斜面堆積盆地であり，短縮変形によって褶曲－衝上断層帯（しばしば＂付加帯＂と解釈される)になる．アラカン山脈,東部カリマンタン･台湾･日本などの島嶼部や，ナダンハダ［那丹哈達］・シホテアリン・コリアーク［Koryak］山脈に位置する．さらに，もう１つの構造ユニットは横断方向の花崗岩帯であり，それらは，古期断裂帯に沿って 2,000km 以上にわたって延び，大陸内部に達する．

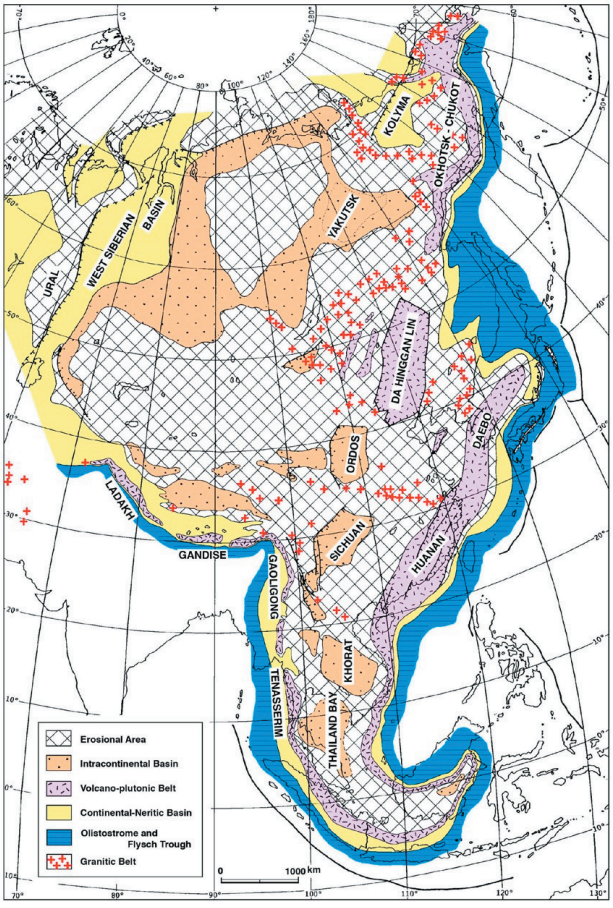


図１　東アジアにおける後期ジュラ紀～前期白亜紀の構造図（Yano and Wu, 1997, 2006 にもとづいて修正）

運動像　復元すべき運動像は，上述した４つの構造ユニットの形成プロセスを１つの統一されたメカニズムで説明しなくてはならない．このような条件を満たす運動像は，熱的に駆動された海側フェルゲンツ［vergence］の非対称アーチングである（第２図）．非対称アーチングは，後翼部～軸部の引張場と前縁部の圧縮場をうみだす．その結果，後翼部にはアンティセティックな成長断層に境された傾動盆地が，軸部には地塁－地溝構造が，そして，前縁部にはオリストストローム－フリッシュ凹地がそれぞれ形成され，この凹地は短縮変形によって褶曲－衝上断層帯になる．アーチの軸部周辺と古期断裂帯への熱集中は，火山－深成帯ならびに横断方向の花崗岩帯に厖大な火成活動をもたらす．

力学像　幅 2,500km，高さ数 km の巨大なアーチは，たとえばプレート境界にはたらく連結力［coupling force］のような面積力ではなく，なんらかの体積力によって支持される．火山－深成帯と花崗岩帯における厖大な火成活動は，広大な大陸縁の地下に巨大な熱源を必要とする．冷却の進んだプレートの沈み込みや，一時的な海嶺の沈み込みが，広大な大陸縁の下にひろがる巨大な熱源をつくりだすことはないだろう．運動像を説明しうる力学像は，アーチ軸部へむかって斜めに湧昇する板状の高温マントル流［hot mantle wall］であると考えられる（図２）．というのは，斜めに湧昇する高温マントル流は，巨大な重力荷重に抗して巨大な非対称アーチを形成し，火山－深成帯と花崗岩帯の厖大な火成活動のために大量の高温溶融物質を供給しうるからである．

環太平洋変動帯における造構－火成活動

東アジア大陸縁の歪像（図１）は，環太平洋変動帯の全体（図３），すなわち，南北両アメリカのコルディレラ大陸縁（図４：Dewey and Bird, 1970），西南

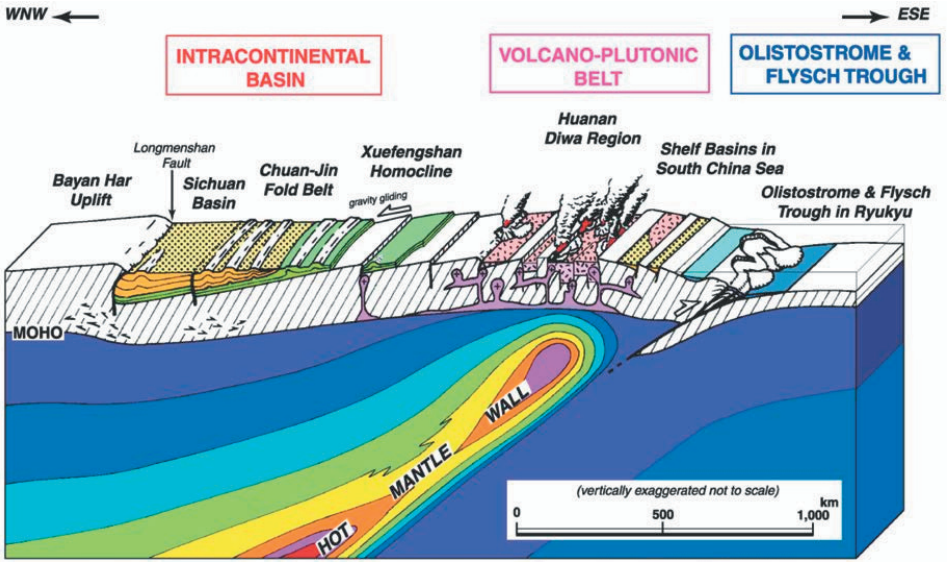


図２　東アジア大陸縁（四川省～琉球を通る横断面）における後期ジュラ紀～前期白亜紀の歪像，運動像および力学像．Yano and Wu (1997, 2006) および Yano (2001) を修正．

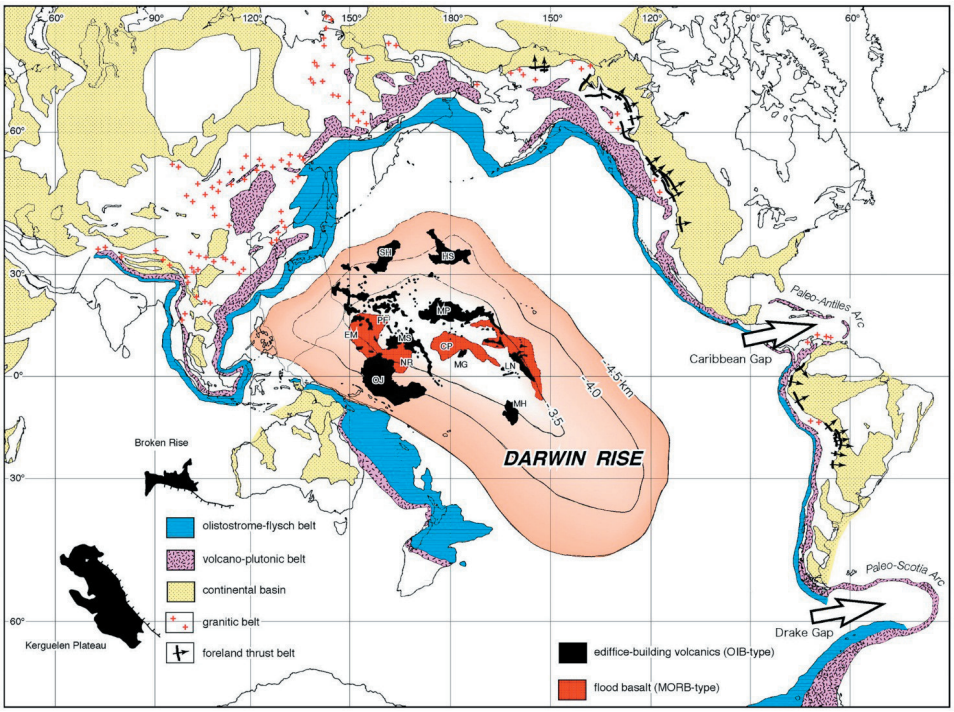


図３　太平洋と周辺域の中生代後期構造図（Yano and Wu, 1997, 2006; Yano et al., 2006 にもとづいて修正）．CP: Central Pacific Basin, EM: East Mariana Basin, HS: Hess Rise, LN: Line Islands, MG: Magellan Rise, MH: Manihiki Plateau, MP: Mid-Pacific Mountains, MS: Marshall Islands, NR: Nauru Basin, OJ: Ontong Java Plateau, PF: Pigafetta Basin, SH: Shatsky Rise.

極の大陸縁（たとえば，Craddok, 1972; Whitham, 1993），および，オセアニア大陸縁（たとえば，Wang and Stein, 1992; Bryan et al., 2000）へ敷衍される．したがって，後期中生代の環太平洋変動帯の３次元的歪像は，平面的にはオリストストローム－フリッシュ凹地，火山－深成帯および内陸盆地の同心状配列（図３），断面では求心的フェルゲンツの非対称アーチング（図２・図４）によって特徴づけられる．環太平洋変動帯の３次元的歪像をもたらした運動像・力学像は，それぞれ，変動帯の求心的非対称アーチングと，アーチ軸部へ斜めに湧昇する高温マントル流（図４では"mobile core"に相当する）であると考えられる．

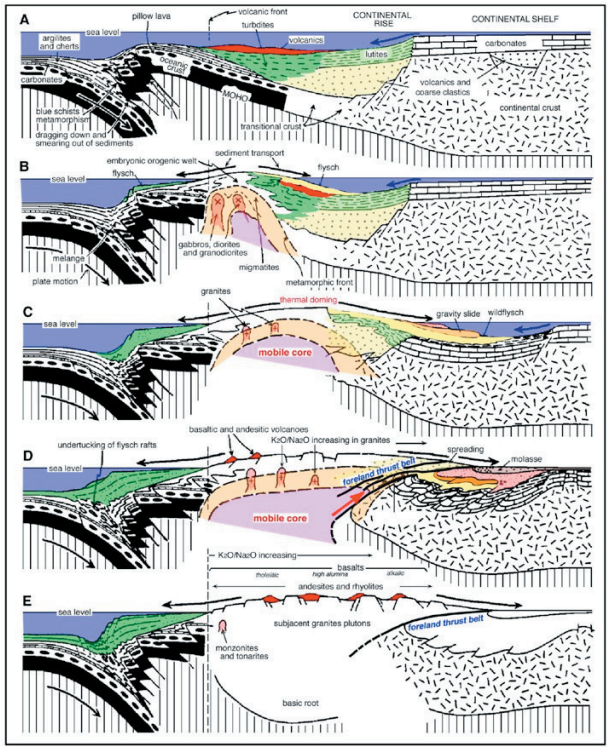


図４　南北アメリカにおけるコルディレラ造山期の構造発達史（Dewey and Bird, 1970 を修正）．断面 A ～ E は，それぞれ，King (1977) による Sonoma（後期二畳紀～三畳紀），Nevadan（ジュラ紀），Sevier（白亜紀），Laramide（白亜紀末～始新世）および Pasadena（新生代末期）変動を示す．

ダーウィン海膨における造構－火成活動

西太平洋の深海平原には，多くの海台と多数の海山が屹立する．1970 年代以降に掘削およびドレッジデータが蓄積された結果，西太平洋では後期中生代に広範囲にわたる火成活動と造構性膨隆［swelling］がが確認され，Menard（1964）の"ダーウィン海膨"概念が復活した（Schlanger et al., 1981; Larson, 1991）．この膨隆の大きさは，長軸 10,000km，短軸 6,000km，最大高度 2km と見積もられる（図３）．広域的火成活動は，Menard（1964）がダーウィン海膨上で"火山と群島周縁部"と呼んだ領域の北西側 2/3 で確認された．残りの 1/3 は未調査であるために，依然として不明である．ダーウィン海膨は，海洋地質データをまとめると，少なくとも２，３段階の発達を遂げたことがわかる（Yano and Wu, 1997；Yano et al., 2001；Yano, 2003）．

前期白亜紀後半

中期ジュラ紀～前期白亜紀前半の造構－火成活動は断片的に知られるにすぎないが（たとえば，Leg

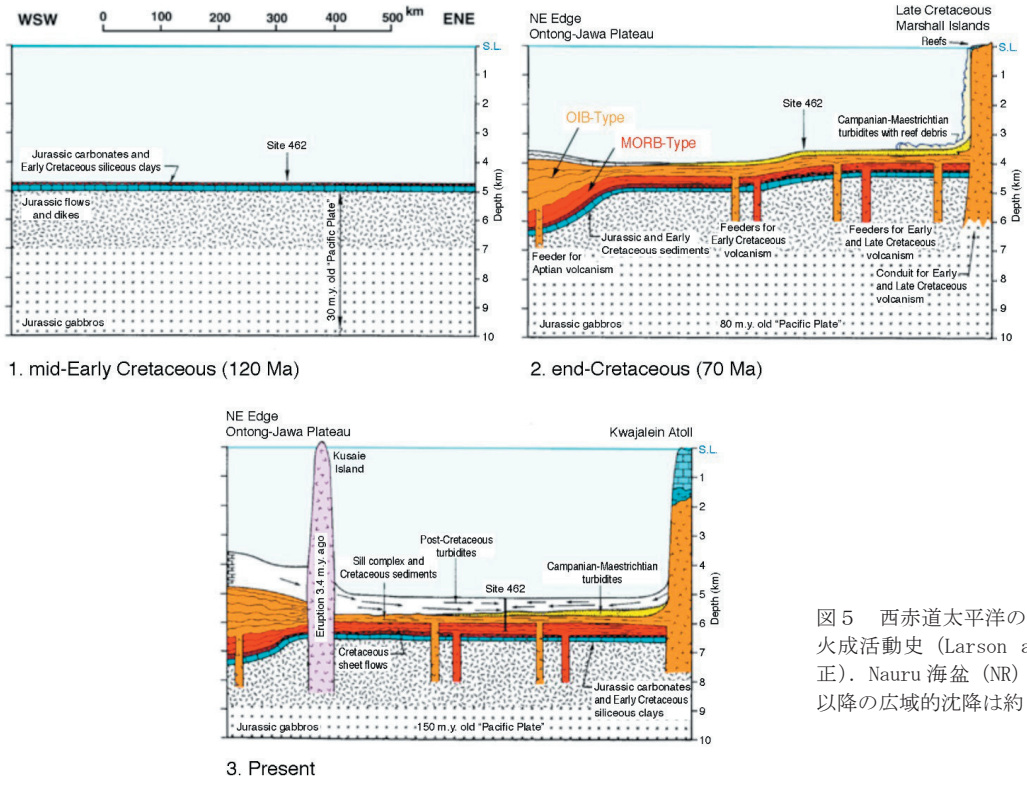


図５　西赤道太平洋の Nauru 海盆における造構－火成活動史（Larson and Schlanger, 1981 を修正）．Nauru 海盆（NR）の位置は図３．白亜紀末以降の広域的沈降は約 2,000m に達する．

129 Shipboard Scientific Party, 1990), 前期白亜紀後半 (Aptian ～ Albian) の火成活動は広大な範囲にひろがっていて, 2つの活動様式が認められる. 洪水溶岩をもたらした火山活動では, 中央海嶺玄武岩 [MORB] タイプの溶岩がシルをともない, East Mariana 海盆と Pigafetta 海盆南東部 (Abrams et al., 1992), Nauru 海盆 (Larson and Schlanger, 1981), Central Pacific 海盆 (Winterer, 1973) などの広大な範囲に溢流した. これらの洪水玄武岩マグマは, 下位の海洋地殻中に密生する多数の裂罅系を通じて同時的割れ目噴火によって流出したと考えられる (Larson and Schlanger, 1981). というのは, 掘削された玄武岩溶岩は, 一般に, 層厚が数十 cm ～ 2-3m の薄い溶岩流が累積したもので, 複雑に入り組んだ周縁急冷相をもっているため (Shipboard Scientific Party, 1981), 長距離にわたって移動したとは考えられないからである. もう１つの海洋島玄武岩 [OIB] 型の火山活動も広く分布し,容積も厖大である(図３). たとえば, 世界最大の海台である Ontong Java 海台をつくっている玄武岩類の層厚は 5km 以上と見積もられる (Tarduno et al., 1991). ダーウィン海膨上の多数の火山体の頂部は平坦に侵食されている (図５－２：Winterer et al., 1995; Haggerty and Premoli Silva, 1995). この侵食面を覆う礁性石灰岩には, 多くの波浪浸食～陸上浸食面が挟在していて, 多光帯 [euphotic zone] ～陸上環境にあったことを物語る.

白亜紀後期～古第三紀

白亜紀後期には OIB 型火山活動が優勢で, また, 火山砕屑性タービダイトが比較的大量に堆積した. この事実は, 広範囲にひろがる山体形成火山活動と山体斜面を流下する運搬作用が活発であったことを示す (図５－２). これらの活動は, 局所的には古第三紀までつづいた (Schlanger, 1963). 山体頂部は一般に, 白亜紀末頃から, 深海堆積物あるいは急速に成長する礁複合岩体におおわれはじめ, この広域的沈水はダーウィン海膨の沈降を反映するものである (図 5-3：Schlanger et al., 1981; Larson and Schlanger, 1981).

ダーウィン海膨の形成要因

Hsü and Schlanger (1968) は, 海域の膨隆における広域的造構－火成作用の要因を, 伏在する上部マントルにおける地温勾配の大規模変化に求めた. ダーウィン海膨における後期中生代の火成活動は 10^7 km^2 の範囲にひろがっていて, その活動期間は少なくとも 40m.y., もしくは, 活動がジュラ紀中期にはじまったとすると 90m.y. にわたって断続した. このような広範囲に同時的に活動する長寿命火山活動は, Morgan (1972) のホットスポット概念では説明できず (Schlanger and Premoli Silver, 1981; Larson and Schlanger, 1981), プレートの拡大境界 (中央海嶺) に沿う火山活動とも相容れない. そのため,Aptian ～ Albian に極大期を迎えたダーウィン海膨での造構－火成活動の原因は, 後期中生代の巨大プリューム (Larson, 1991) に求められるようになった. 後期白亜紀に優勢になった OIB 型火山活動は, 部分溶融率の減少, そして / あるいは, マグマ分離深度の増大を示唆し, いずれも給源マントルの冷却を物語る. このように, 白亜紀末以降のダーウィン海膨における火山活動の衰退と沈降運動は, 伏在する上部マントルの全般的な冷却を示唆している (Yano et al., 2001).

太平洋半球形成の造構モデル

太平洋半球の形成プロセスを解明するためには, この半球の地質構造の幾何学的規則性, および沈降シートの遠心加速機実験が重要な手がかりになる.

太平洋半球の偏心構造

後期中生代の太平洋半球は, 全体として, NW-SE 方向に伸長した偏心構造を形成する (図３). この偏心構造は, 西太平洋に中心をもつダーウィン海膨とそのまわりの環太平洋変動帯によって構成される. 環太平洋変動帯は, 前述のとおり３つのサブゾーン, すなわち, オリストストローム－フリッシュ凹地, 火山－深成帯および内陸盆地からなる. 西太平洋にある偏心構造の中心からみると, 太平洋変動帯は全体に東へ並進していて, この現象は太平洋非対称性 (Pacific asymmetry：Beloussov, 1962) として知られる. 偏心性の原因は不明であるが, 東方への並進が全地球的にみられることから (Meyerhoff et al., 1992；Bostrom, 2000), おそらくは地球の自転 (Bostrom, 1971; Meyerhoff and Meyerhoff, 1972; Nelson and Temple, 1972; Meyerhoff et al., 1992),そして / あるいは,地球自転の減速(Li, 1973) に起因し, マントルの比較的低粘性領域に発生する (地表を基準にして) 東向きの造構性流動に駆動されていると考えられる.

このような慣性力に駆動された東方流動は, 環太平洋変動帯における板状高温マントル流の向心的湧昇に対して, 東太平洋縁では相殺的に, 西太平洋縁では相乗的に作用する. そのため, 後期中生代の環太平洋変動帯の幅は, 東縁ではわずか数百 km であるのにたいして (図３), 西縁では 1,000 ～ 2,500km にも達する (図２). マグマフロントをみると, 西縁では, 中－新生代をつうじて 1,000 ～ 4,000km にわたって東方へ移動した (図６・図８, Li and Li, 1973；Rutland, 1973, 1976；Nishimura, 1985；Fujita, 1990；Yano et al, 1992；Yano and Wu, 2006). いっぽう, 東縁では造構－火成活動史の

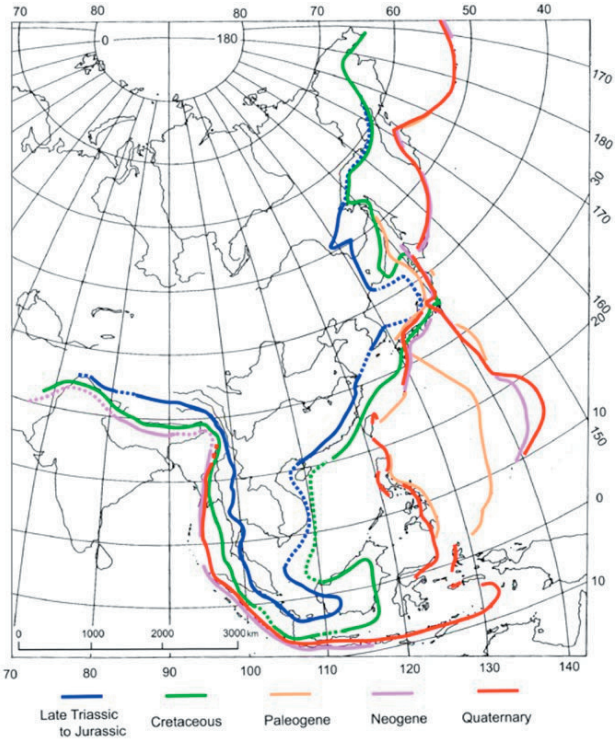


図６　東アジアにおける中－新生代マグマフロントの移動（Yano and Wu, 2006 を修正）.

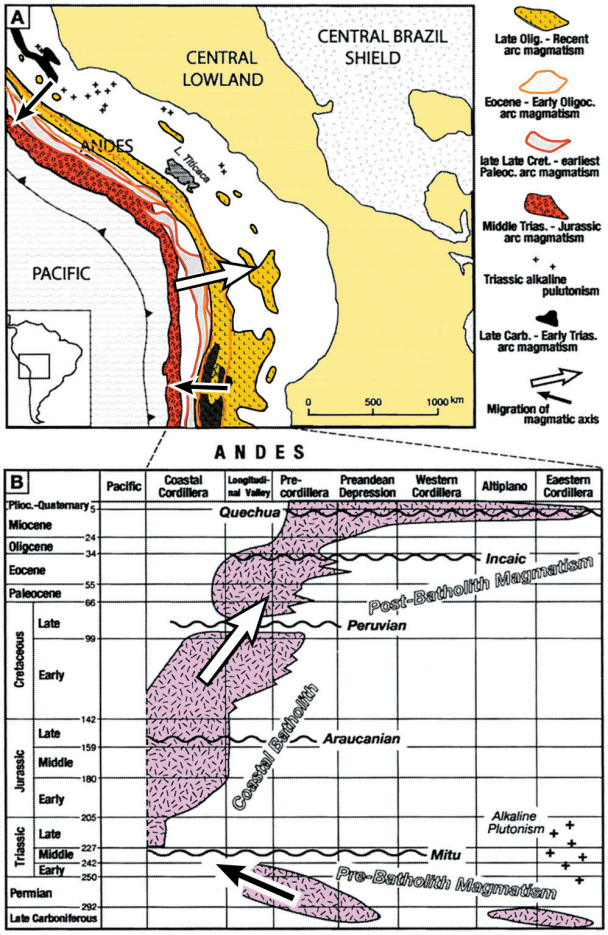


図７　中部アンデスにおける古生代後期以降の火成活動帯の移動．A:平面図，B:時間断面（Yano and Wu, 2006 を修正．元データは Soler, 1991; Scheuber et al., 1994 ; Jaillard et al., 2000 から編図・簡略化）.

後半期に，"mobile core" が東へ向きを変えて数 100km（幅広い basin and range 構造が発達する合衆国コルディレラでは，例外的に 1,000km）にわたって湧昇し（図４・図７：Dewey and Bird, 1970 ; Jaillard et al., 2000），Laramide 時相，そして一部の地域ではより後期までひきつづいて，東向きの前縁衝上断層帯［foreland thrust belt］を形成した（図３）．北米，南米および南極の間の大陸欠損域［continental gap：Caribbean gap と Drake gap］では，後期中生代のマントル流動によって東へ突出した古 Antilles 弧ならびに古 Scotia 弧が形成された（図３：たとえば，Alvarez, 2001 ; Udintsev and Kurentsova, 2005）.

沈降シートの遠心加速機実験

沈降するシートの遠心加速機モデル実験（Model S-221: Ramberg, 1981）は，太平洋半球の形成に次の３つの手がかりをあたえる（図９）．１）高密度シートは重力不安定のために沈降する．２）それに相補して，より低密度で，より延性的な下位層はシート縁に反転流［backwash current］を形成する．３）この反転流は、外向きに減少する圧力勾配をもたらし，沈降シートをドーム状に隆起させる．

太平洋半球の形成に関する力学モデル

沈降シート実験（図９：Ramberg, 1981）にもとづくと，太平洋形成の力学モデル（詳細は，Yano and Wu, 1997 ; Yano et al., 2001 を参照）は、次の５つの要素で構成されていたと推論される：(1) 太平洋規模の巨大プリューム頭部と上載荷重との重力不安定，(2) 縁辺反転流に駆動された高温マントル流の向心的斜め湧昇，(3) 巨大プリューム頭部に発生した外向きに減少する圧力勾配に由来するダーウィン海膨のドーム隆起，(4) 慣性力に駆動されたアセノスフェアの東向きの造構流動（たとえば，Bostrom, 2000），(5) かつて太平洋に存在していた大陸地殻の " 海洋化作用（Beloussov, 1962, 1990）".

太平洋域における " 海洋化作用 " についてみると，太平洋および縁海の深海盆から 100 以上の地点で古期・大陸性岩石（ACRs）の産出が報告されている（図８：Vasiliev et al., 2012）．それらの広汎な産出は，大西洋やインド洋と同様に（Vasiliev and Yano, 2007; Yano et al., 2009, 2011），太平洋が大陸としての前史をもっていることを示す．" 海洋化作用（Beloussov, 1962, 1990）" のメカニズムは今もよくわかっていないが，そのメカニズムが太平洋半球の形成プロセス（図 10）を理解する根本的課題になることはまちがいない．

ちなみに，ダーウィン海膨の沈降後，東向きのマン

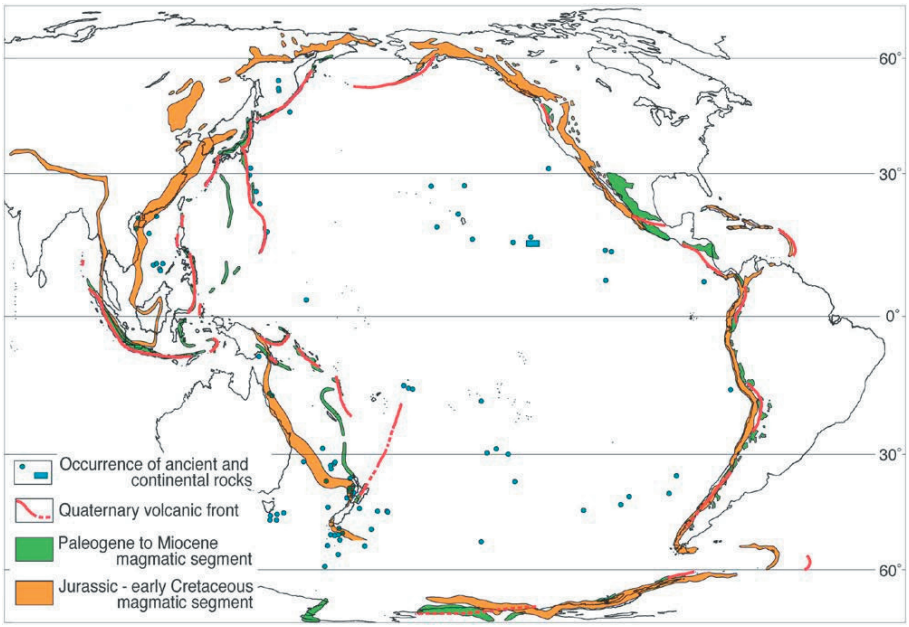


図８　環太平洋変動帯のマグマ活動帯と太平洋における古期・大陸性岩石の分布（Yano, 2013. 元データは，Yano and Adachi, 2006；Vasiliev et al., 2012 から編図）

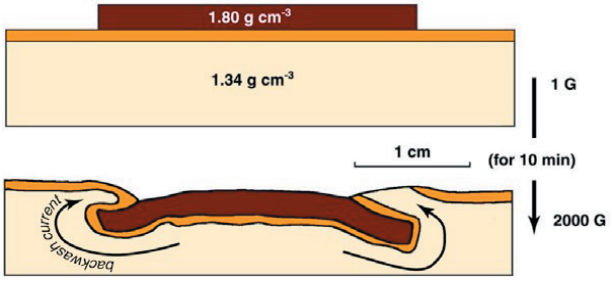


図９　沈降シートの遠心加速機実験（Yano and Wu, 2006 より．下図は，Elsevier から許可をえて Ramberg 1981 の Fig. 14.17 をトレース・編図）．ρ =1.34 g cm^3：絵画パテ，ρ =1.34 g cm^3：シリコンパテ（表層は塑像粘土の薄層をはさむシリコンパテ），実験：10 分間で 1G から 2000G まで連続加速．

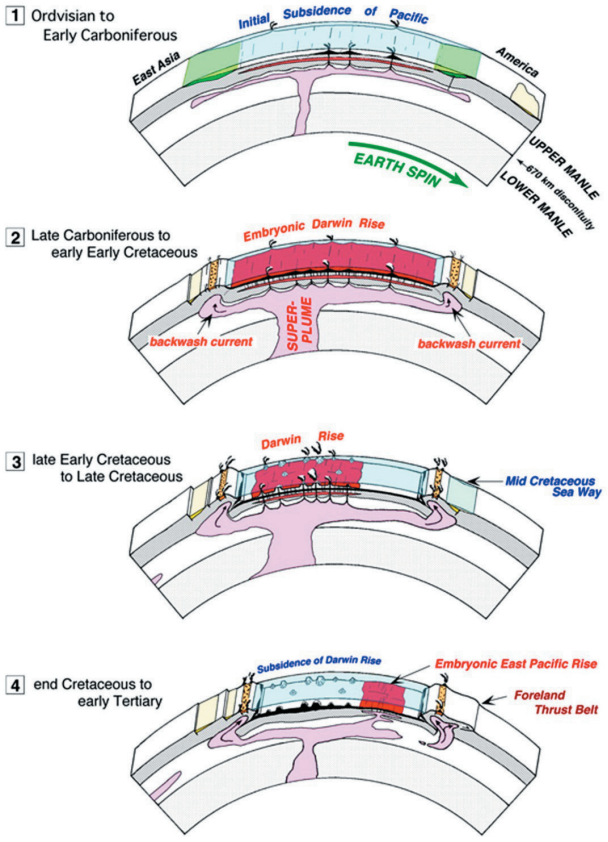


図 10　太平洋形成史の模式図（Yano and Wu, 2006 を改変）．形成メカニズムは，(1) 太平洋規模の巨大プリューム頭部と上載荷重の重力不安定，(2) おそらくは慣性力に駆動された，アセノスフェア領域における東向きの造構性流動，および，(3) 海洋化作用によって駆動された．詳細は，Yano and Wu (1997), Yano et al. (2001) を参照．

トル造構流が東太平洋海膨を発生させた可能性がある．それは，東太平洋海膨下に存在する板状の低速度マントル壁が東フェルゲンツであること（たとえば，Zhan and Tanimoto, 1993；Montagner, 2002；Toomey et al., 2002；Romanowicz and Gung, 2002）によって支持される．

リソスフェアブロックの大規模回転への制約

リソスフェアブロックの大規模回転が．プレートテクトニクスおよびレンチテクトニクスの両仮説によって提案されている．プレートテクトニクス（たとえば，Morgan, 1968；Le Pichon, 1968）は，マントル対流やその他の原因によって，リソスフェエアプレートがオイラー極をめぐって回転する，と主張する．また，レンチテクトニクス（たとえば，Storetvedt, 2005；Storetvedt and Longhinos, 2012）は，極移動にともなって位置を変える（古）赤道を境に，大陸ブロックが慣性力によって北半球では時計回りに，南半球では反時計回りに現位置回転することを，と提唱している．ところが，Pratt (2013) は全世界的資料を 19 世紀に遡って検証し，「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や極移動を必要としない．それらは，移動しない大陸と安定した極を示す…….」と結論した．

この論争に関係して，太平洋半球の幾何学的構造（図

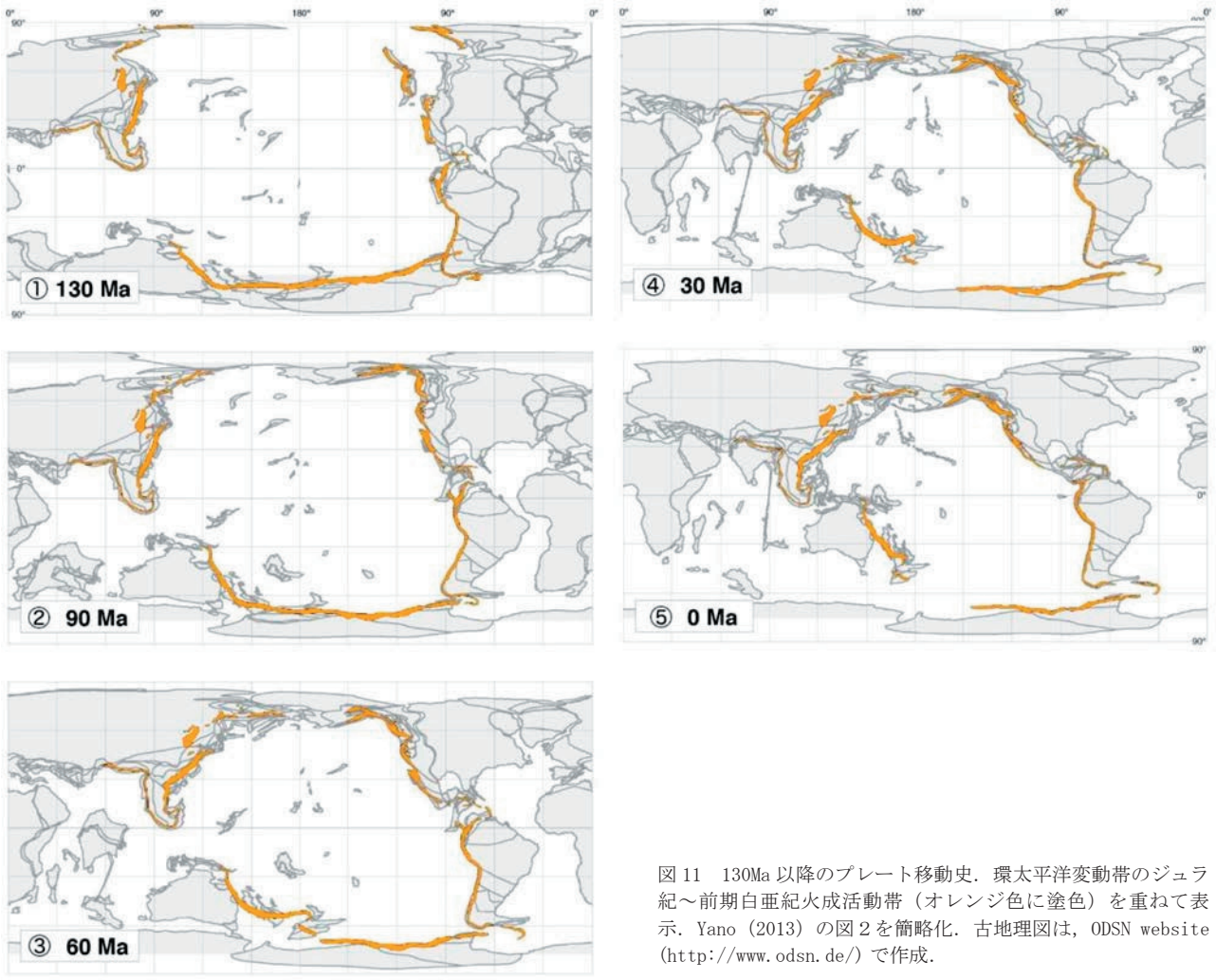


図 11　130Ma 以降のプレート移動史．環太平洋変動帯のジュラ紀～前期白亜紀火成活動帯（オレンジ色に塗色）を重ねて表示．Yano（2013）の図２を簡略化．古地理図は，ODSN website（http://www.odsn.de/）で作成．

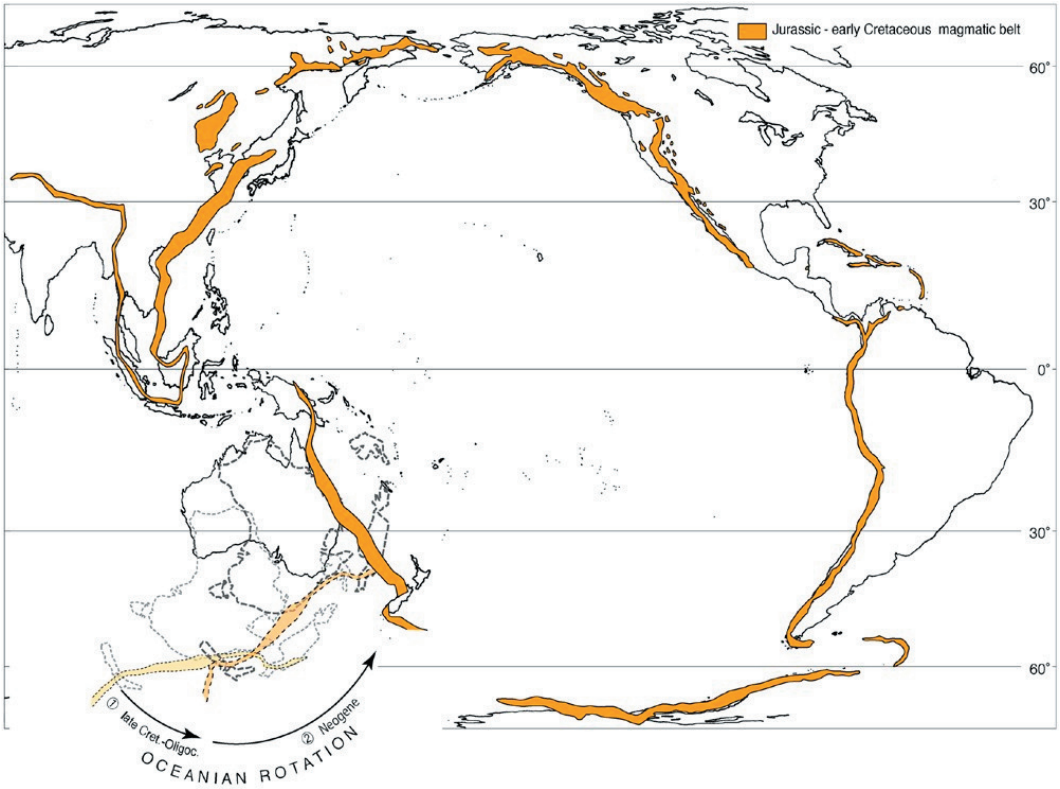


図 12　環太平洋変動帯におけるジュラ紀～前期白亜紀火成活動帯の大円状配列（Yano et al., 2012 を簡略化）と後期白亜紀～新第三紀のオセアニア回転（Storetvedt and Longhinos, 2014 から編図）．

３）は，リソスフェアブロックの大規模回転運動に１つの制約をあたえる．すなわち，３つの主要時相（ジュラ紀～前期白亜紀，古第三紀～中新世，第四紀）の火成活動帯は，大円状の環太平洋変動帯に束ねられていて（図８），環太平洋変動帯が少なくともジュラ紀以降は幾何学的一体性を保っていたことを示す．したがって，多くのプレートが 130m.y. にわたって長距離移動を行った末に，それぞれの大陸縁に形成されていたジュラ紀～前期白亜紀火成活動帯がほぼ大円に沿って配列したといったことはありそうにもない（図 11：Yano, 2013）．また，オセアニア大陸ブロック（Storetvedt and Longhinos, 2012 による "Australian-SW Pacific continental mass" または "Australia-New Guinea-Sulawesi land mass"．ただし，その範囲は明確ではない）が，後期白亜紀～前期漸新世に 30° 回転しながら北方へ移動し，さらに中新世に 70° 回転した結果，中生代後期の環太平洋変動帯の一部に組み込まれた，ということもありそうにない．ましてや，太平洋をとりまく大陸ブロックのすべてが，数 10° の回転後に，それらの後期ジュラ紀～前期白亜紀の火成活動帯を環太平洋変動帯（図３・図８）に沿って大円状に配置される，といったことは起こりえなかっただろう．

環太平洋変動帯に環状配列するジュラ紀～前期白亜紀の火成活動帯（図３・図８）は，図 11 や図 12 に示されるような外来の火成活動帯の偶然的集合ではありえない．太平洋の火の環［Pacific Ring of Fire］の起源は，すくなくともジュラ紀まで遡る．環太平洋変動帯に重なり合って発生した３つの時相の造構－火成活動は，" 環太平洋変動系列 "（Fujita, 1990）と総称される．この変動系列は，縁辺反転流をともなった太平洋規模の巨大プリュームの挙動，ならびに東向きの造構極性を反映したものである（図 10）．このような太平洋半球の造構特性によって，私たちは，太平洋の発生を海洋地質のみならず，環太平洋変動帯における陸上地質からも探究することができるわけである．

あとがき

この論文は，構造解析によって太平洋半球の中生代後期の造構史を解明し，それが，東向きの造構極性場において，太平洋規模の巨大プリューム頭部とその縁辺反転流の挙動によって駆動されてきたことを明らかにした（図 10）．

環太平洋変動帯の中－新生代火成活動帯の大円状構造（図２・図７）は，それらがジュラ紀以降一貫して幾何学体一体性を保持してきたことを示し，オイラー極のまわりのリソスフェアプレートの回転（図 11）や大陸ブロックの現位置回転（図 12）とは相容れない．

謝辞　この論文は，移動論的観点と比較しながら，太平洋半球の形成に関する私の固定論的観点を論述したものである．それは，私たちの多くの共同研究にもとづいている．共同研究の共著者である Boris I. Vasiliev, 呉　根耀（Wu Genyao），松本征夫（Yukio Matsumoto），Dong R. Choi, 宮城晴耕（Seiko Miyagi），Alexander A. Gavrilov, 足立久男（Hisao Adachi）をはじめとする多くの方々，ならびに，Ocean Drilling Stratigraphic Network［ODSN］をはじめ，転載図面の版権者のみなさまに，厚く御礼申し上げる．世界の海洋底から産出する古期・大陸性岩石にかんする総説の契機をあたえて下さった佐藤完二（Kanji Sato）・小坂共栄（Tomoyoshi Kosaka）の両氏，ならびに，原稿を厳密に査読して，改善方法をご教示いただいた N. Christian Smoot, Dong R. Choi および David Pratt の諸氏に深く感謝申し上げる．

文　献

Abarams, L.J., Larson, R.L., Shipley, T.H. and Lancelot, Y., 1992. The seismic stratigraphy and sedimentary history of the East Mariana and Pigafetta Basins of the western Pacific. In: Larson, R.L., Lancelot, Y., et al., Proc. ODP, Sci. Results, v. 129, p. 551-569, College Station, TX (Ocean Drilling Program).

Alvarez, W., 2001. Eastbound sublithosphere mantle flow through the Caribbean and its relevance to the continental underflow hypothesis. Terra Nova, v. 13, p. 333-337.

Beloussov, V.V., 1962. Tectonic map of the Earth. Geol. Rundshau., v. 50, p. 316-325.

Beloussov, V.V., 1990. Tectosphere of the Earth: upper mantle and crust interaction. Tectonophysics, v. 180, p. 139-183.

Bostrom, R.C., 1971. Westward displacement of the lithosphere. Nature, v. 234, p. 536-538.

Bostrom, R.C., 2000. Tectonic Consequences of the Earth's Rotation. Oxford University Press, New York, 266p.

Bryan, S.E., Ewart, A., Stephens, C.J., Parianos, J. and Downes, P.J. (2000) The Whitsunday Volcanic Province, Central Queensland, Australia: lithological and stratigraphic investigations of a silicic-dominated large igneous province. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., v. 99, p. 55-78.

Chen, G.D., 1965. Diwa Region —A new type post-platform region. In: Geotectonic Problems of China, p. 1-52, Science Press, Beijing.

Craddock, C., 1972. Antarctic tectonics. In: Adie, R.J. (ed.), Antarctic Geology and Geophysics, p. 449-555, Universitetsforlaget, Oslo.

Dewey, J.F. and Bird, J.M., 1970. Mountain belts and the new global tectonics. Jour. Geophy. Res., v. 75, p. 2625-2647.

Fujita, Y., 1980. Late Mesozoic to recent regional block-type movement around the northern Pacific Ocean —Relationship between crustal movement and plate—. In: Sugiyama, R., Hayakawa, M. and Hoshino, M. (eds.),

Earthquake, p. 149-168, Tokai University Press, Tokyo.

Fujita, Y., 1990. Genesis of Japanese Islands (new edition) — Circum-Pacific Tectonic Movement Series—. Tsukijishokan, Tokyo, 259p.*

Haggerty, J.A. and Premoli Silva, I., 1995. Comparison of the origin and evolution of northwest Pacific guyots drilled during Leg 144. Proc. ODP Sci. Res., v. 144, p. 935-949.

Hsü, K.J. and Schlanger, S.O., 1968. Thermal history of the upper mantle and its relation to crustal history of the Pacific Basin. Proceedings of the 23rd International Geological Congress, v. 1, p. 91-105.

Ijiri, S., 1960. Green tuff movement — Structural development of the Pacific Ocean. Chikyu Kagaku (Earth Science), n. 50-51, p. 6-8. *

Jaillard, E., Hérail, G., Monfret, T., Díaz-Martínez, E., Baby, P., Lavenu, A. and Dumot, J.F., 2000. Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Peru, Bolivia and northernmost Chile. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A. and Campos, D.A. (eds.), Tectonic Evolution of South America, p. 481-559, Rio de Janeiro.

King, P.B., 1977. The Evolution of North America. Princeton Univ. Press, Princeton, 197p. Larson, R.L., 1991. Geological consequences of superplumes. Geology, v. 19, p. 963-966.

Larson, R.L., and Schlanger, S.O., 1981. Geological evolution of the Nauru Basin, and regional implications. In: Larson, R.L., Schlanger, S.O., et al., Init. Repts. DSDP, v. 61, p. 841-862, Washington D.C. (US. Govt. Printing Office).

Leg 129 Shipboard Scientific Party, 1990. Ancient crust on Pacific plate. Nature, v. 345, p. 112.

Le Pichon, X., 1968. Sea-floor spreading and continental drift. Jour. Geophys. Res., v. 73, p. 3661-3697.

Li, G.P. and Li, Y.S., 1973. The features of Mesozoic and Cenozoic tectonic developments in eastern China and their relationship to seismicity. Scientia Geologica Sinica, 1977 (3), p. 238-244.

Li, S.G., 1973. Crustal structure and crustal movement. Scientia Sinica, 1973 (3), p. 400-429.

Matsumoto, T., 1967. Fundamental problems in the circum-Pacific orogenesis. Tectonophysics, v. 4, p. 595-613. Menerd, H.W., 1964. Marine Geology of Pacific. MacGraw-Hill, New York, 255 p.

Meyerhoff, A.A. and Meyerhoff, H.A., 1972, "The new global tectonics": major inconsistencies. Amer. Ass. Petrol. Geol. Bull., v. 56, p. 269-336.

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

Montagner J.-P., 2002. Upper mantle low anisotropy channels below the Pacific Plate. Earth Planet. Sci. Lett., v. 202, p. 263-274.

Morgan, W. J., 1968. Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. Jour. Geophys. Res., v. 73, p. 1959-1982.

Morgan, J.W., 1972. Convection plumes and plate motions. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 56, p. 203-213.

Nelson, T.H. and Temple, P.G., 1972. Mainstream mantle convection: A geologic analysis of plate motion. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 56, p. 226-246.

Nishimura, K., 1985. On the character of the Meso-Cainozoic tectono-magmatic activity in East Asia. Bull. Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto Univ., v. 35, p. 41-54.

Pratt, D., 2013. Palaeomagnetism, plate motion and polar wander. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 1, no. 1, p. 66-152.

Ramberg, H., 1981. Gravity, deformation and the earth's crust (second edition) —In theory, experiments and geological application—. Academic Press, London, 452p.

Romanowicz, B. and Gung, Y., 2002. Superplumes from the core-mantle boundary to the lithosphere: implications for heat flux. Science, v. 296, p. 513-516.

Rutland, R.W.R., 1973. On the interpretation of Cordilleran orogenic belts. Am. Jour. Sci., v. 273, p. 811-849.

Rutland, R.W.R., 1976. Orogenic evolution of Australia. Earth Sci. Rev., v. 12, p. 161-196.

Scheuber, E., Bogdanic, T., Jensen, A. and Reutter, K.J., 1994. Tectonic development of the Northern Chilean Andes in relation to plate convergence and magmatism since the Jurassic. In: Reutter, K.J., Scheuber, E. and Wigger, P.J. (eds.), p. 121-139, Springer-Verlag, Berlin.

Schlanger, S.O., 1963. Subsurface geology of Eniwetok Atoll. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, n. 260-BB, p. 901-1066.

Schlanger, S.O. and Premoli Silva, I. 1981. Tectonic, volcanic, and paleogeographic implications of redeposited reef faunas of Late Cretaceous and Tertiary age from the Nauru Basin and the Line Islands. In: Larson, R.L., Schlanger, S.O., et al., Init. Repts. DSDP, v. 61, p. 817-827, Washington D.C. (U.S. Govt. Printing Office).

Schlanger, S.O., Jekins, H. C. and Premoli Silva, I., 1981. Volcanism and vertical tectonics in the Pacific Basin related to global Cretaceous transgressions. Earth Planet. Sci. Lett., v. 52, p. 435-449.

Shipboard Scientific Party, 1981. Site 462: Nauru Basin, Western Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 61. In: Larson, R.L., Schlanger, S.O., et al., Init. Repts. DSDP, v. 61, p. 19-394, Washington D.C. (U.S. Govt. Printing Office).

Smoot, N.C. and King, R.E., 1997. The Darwin Rise demise: the western Pacific guyot heights trace the trans-Pacific Medocino Fracture Zone. Geomorphology, v. 18, nos. 3&4, p. 223-235.

Solar, P., 1991. Contribution à l'étude du magmatisme associé aux zones de subduction. Pétrographie, géochemie et géochemie isotopique des roches intrsives sur un transect des Andes du Pérou Central. Implications géodnamiques et métalogéniques. Dr. Thesis, Univ. Paris VI, 950p.

Storetvedt, K.M., 2005. Polar wander and global tectonics.

Boll. Soc. Geol. It., Volume Speciale, n. 5, p. 177-187.

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. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, n. 64, p. 30-68.

Storetvedt, K.M. and Longhinos, B., 2014. Australasia within the setting of global wrench tectonics. NCGT Journal, v. 2, p. 66-96.

Suzuki, Y., Kodama, K. and Mitsunashi, T., 1978. The formation of intermediate and deep earthquake zone in relation to the geologic development of East Asia since Mesozoic. Jour. Phys. Earth, v. 26, p. S579-S584.

Tarduno, J.A., Sliter, W.V., Kroenke, L., Leckie, M., Mayer, H., Mahoney, J.J., Musgrave, R., Storey, E.L. and Winterer, E.L., 1991. Rapid formation of Ontong Java plateau by Aptian mantle plume volcanism. Science, v. 254, p. 399-403.

Toomey, D.R., Wilcock, W.S.D., Conder J.A., Forsyth, D.W., Blundy, J.D., Parmentier, E.M. and Hammond, W.C., 2002. Asymmetric mantle dynamics in the MELT region of the East Pacific Rise. Earth Planet. Sci. Lett., v. 200, p. 287-295.

Udintsev, G.B. and Kurentsova, N.A., 2005. Main features of the structure and evolution of the Scotia Sea, western Antarctic. In: Geological Structure and Origin of the Pacific Ocean, p. 124-150, Dalnauka, Vladivostok.

Vasil'yev, B.I., 1991. Principal Characters of Geologic Structure in the northwestern Pacific. Translated by Oshite, K., Hanada, M. and Ishida, M., Research Center of Geoscience, Tsurugashima, Japan, 204 p.*

Vasiliev, B.I. [translated by Yugov, I.V.], 2006. Geological structure and origin of the Pacific Ocean. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 60, p. 185-196. **

Vasiliev, B.I. and Yano, T., 2007. Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, n. 43, p. 3-17.

Vasiliev, B.I., Yano, T. and Choi, D.R., 2012. Progress report of the study of ancient continental rocks in the Pacific Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, n. 63, p. 80-81.

Wang, Z. and Stein, C.A. (1992) Subsidence of the Gulf of Papua in the Cenozoic. Tectonophysics, v. 205, p. 409-426.

Whitham, A.G., 1993. Facies and depositional processes in an Upper Jurassic to Lower Cretaceous pelagic sedimentary sequence, Antarctica. Sedimentology, v. 40, p. 331-349.

Winterer, E.L., 1973. Regional problems. In: Winterer, E.L., Ewing, J.I., et al., Init. Repts. DSDP, v. 17, p. 911-922, Washington D.C. (U.S. Govt. Printing Office).

Winterer, E.L., van Waasbergen, R., Mammerickx, J. and Stuart, S., 1995. Karst morphology and diagenesis of the top of Albian limestone platforms, Mid-Pacific Mountains. Proc. ODP, Sci. Res., v. 143, p. 433-469.

Yano, T., 2003. Darwin Rise —Review of research—. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 57, p. 161-168. *

Yano, T., 2013. Origin of the Pacific Ring of Fire. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 1, n. 1, p. 153-158.

Yano, T. and Adachi, H., 2006. Green tuff on the Andes. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 60, p. 175-178. *

Yano, T. and Wu G.Y., 1995. Middle Jurassic to Early Cretaceous arch tectonics in East Asian continental margin. In: Chang, K.H. (ed.), Environmental and tectonic history of East and South Asia, with emphasis on Cretaceous Correlation (IGCP 350) — Proceedings of 15th International Symposium of Kyungpook National University, p. 177-192, Kyungpook National University, Taegu.

Yano, T. and Wu G.Y., 1997. Late Mesozoic geodynamics interrelating Circum-Pacific mobile belt and Darwin Rise. Jour. Geol. Soc. Philippines, v. LII, p. 235-271.

Yano, T. and Wu, G.Y., 2006. A tectonic model of Pacific genesis. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 60, p. 197-211.**

Yano, T., Matsumoto, Y., Sato, S., Nishida, T., Kano, T., Doi, S., Cong, B.L., Liu, B.G., Lu, D.F. and Wu, G.Y., 1992. Latest Paleozoic to Mesozoic tectonics in south China. In: Exploration of volcanoes and rocks in Japan, China and Antarctica —Commemorative Papers for Professor Yukio Matsumoto—, p. 419-440, Commemorative Association for Professor Yukio Matsumoto, Yamaguchi. **

Yano, T., Matsumoto, Y. and Wu, G.Y., 2001. Pacific genesis induced from Phanerozoic reheating of upper mantle. Himalayan Geology, v. 22, n. 1, p. 51-64.

Yano, T., Choi, D.R., Gavrilov, A.A., Miyagi, S. and Vasiliev, B.I., 2009. Ancient and continental rocks in the Atlantic Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, n. 53, p. 4-37.

Yano, T., Vasiliev, B.I., Choi, D.R., Miyagi, S., Gavrilov, A.A. and Adachi, H., 2011. Continental rocks in the Indian Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, n. 58, p. 9-28.

Zhang, Y.S. and Tanimoto, T., 1993. High-resolution global upper mantle structure and plate tectonics. Jour. Geophys. Res., v. 98, p. 9793-9823.

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

補遺　Smoot and King (1997) は，赤道西太平洋北部における多数のギョーの高度（周辺深海底から陸上侵食台地面までの高さ）の分布にもとづいてダーウィン海膨海膨の崩御を提案した．彼らの等高線の描画（図 13-A）は，東北東－西南西方向の Surveryor-Mendocino 断裂を重視しすぎているように思われる．Smoot and King (1997) による同じ高度データにもとづいて別に描かれうる等高線図（図 13-B）は，北西－南東方向のダーウィンライズの概略的起伏を反映しているかもしれない．いずれにしても，両者はともに唯一解ではなく，この議論を解決するためにはより詳細な研究が必要である．

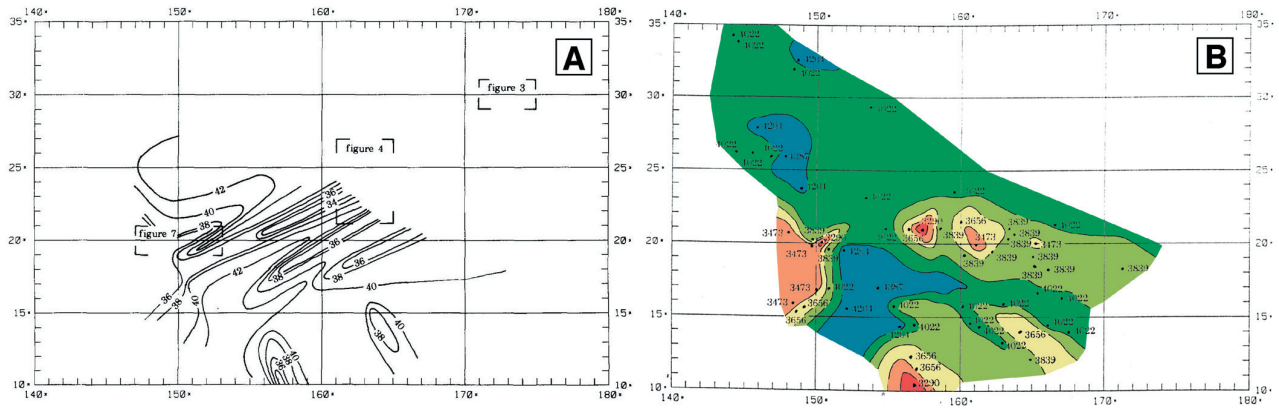


図 13　赤道西太平洋北部におけるギョー高度（周辺深海底から陸上侵食台地面までの高さ）の分布．等値線間隔 = 200m．A：Smoot and King (1997)［出版社の許可をえて転載］．B：著者による別の可能な等値線描画．

討　論　DISCUSSION

Storetvedt and Longhinos 論文 "Australasia within the setting of global wrench tectonics". NCGT Journal, v. 2, no. 1, p. 66-96. へのコメント：

中新世におけるオーストラリア大陸ブロックの回転について
ON THE ROTATION OF THE AUSTRALASIAN CONTINENTAL BLOCK IN THE MIOCENE

Dong R. CHOI
International Earthquake and Volcano Prediction Center, Australia　dchoi@ievpc.org

（ 久保田　喜裕［ 訳 ］）

NCGT Journal 最新号［v. 2, no. 1］の論文で，Storetvedt and Longhinos は，ねじれテクトニクス（wrench tectonics）からみたオーストラリアのあらたな造構モデルを提案した．そのモデルでは主に古地磁気データにもとづいて，オーストラリア／南西太平洋大陸ブロックが後期白亜紀～古第三紀に約 2,000km 北方へ移動，反時計方向へ 30° 回転，さらに中新世には反時計方向へ最大 70° 回転したとしている（彼らの論文の図 10，図 11/**図 1** 参照）．しかし，彼らは回転したオーストラリアブロックの境界，とくに南部と西部の輪郭を明示することはできなかった．

与えられた情報が限られているので，現時点ではそれらの回転モデルについて完全に言及することはできない．したがって，ここではそのモデルを支持しない，あるいはそのモデルの大幅な修正を求めるといった，一般的な地質と地球物理データのいくつかを述べるに留める．

1. オーストラリアの先カンブリア紀リニアメントとそれらの周辺海域への連続

以前，私は，オーストラリア大陸と周辺海域における線状構造と地質データについて述べたことがある（Choi, 1997）．オーストラリアに発達する線状構造は，鉱物探査を実施した O'Driscoll と彼のチーム（O'Driscoll, 1986; O'Driscoll and Keeniham, 1980; Elliott, 1994; ほか多数）によって詳細に研究された．彼らは，オーストラリア大陸を貫く数セットのリニアメント（大規模鉱床の位置をほとんど規制している）を見出した（**図 2**）．重要なことには，そのリニアメントはすべて先カンブリア紀（原生代）を起源とし，後の構造発達に影響を与えた．O'Driscoll と彼のチームは，これらのリニアメントが海洋底に続くことも見出したが，それは地球全体を取り巻くテーチスおよびローラシア方向の提唱をもたらした（O'Driscoll and Campbell, 1997）．

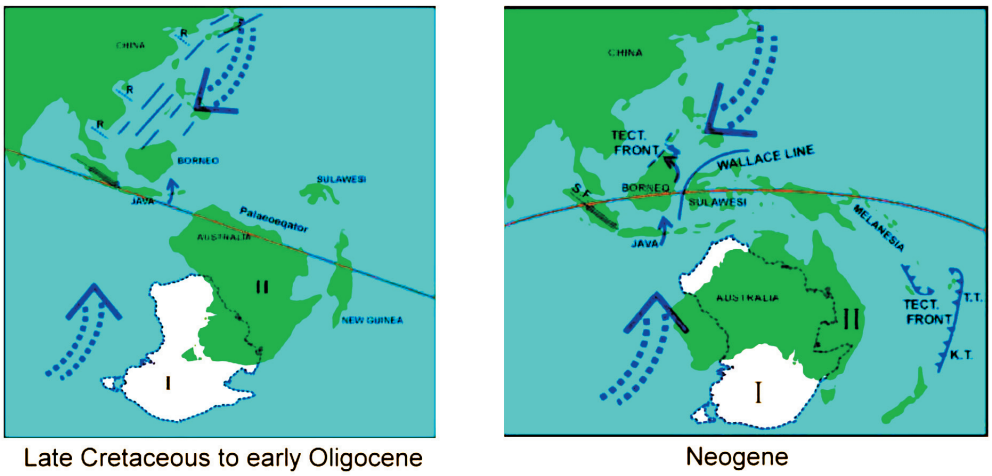


図１　Storetvedt and Long-hinos(2014) によって提案されたオーストラリアの回転.

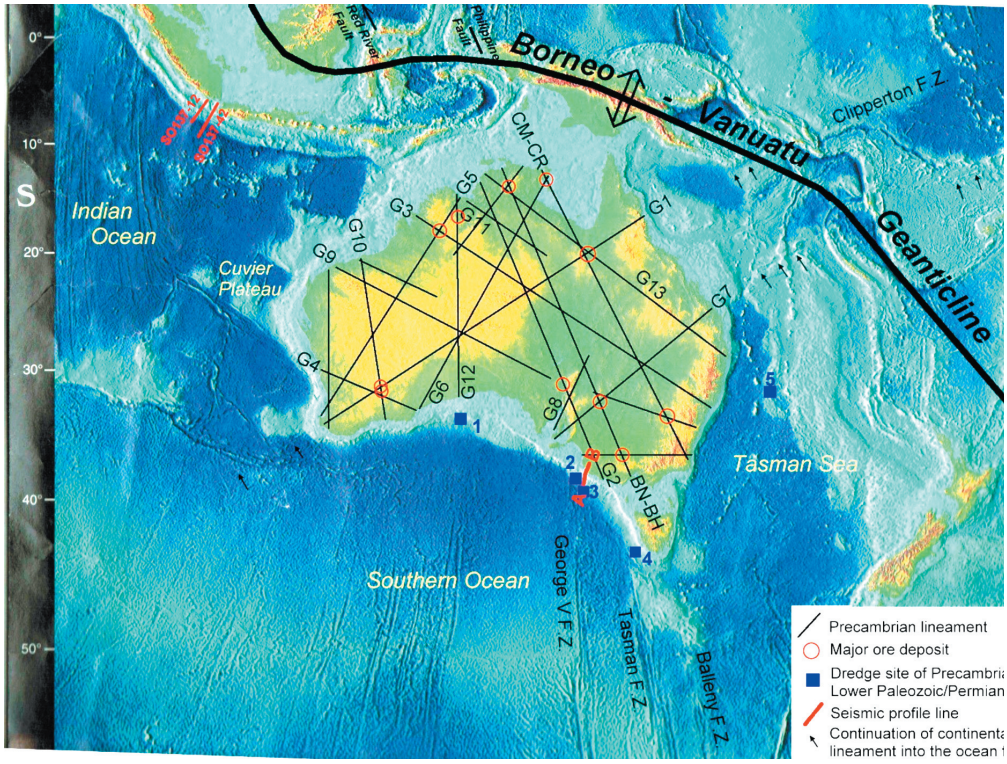


図２　先カンブリア紀の大陸リニアメントと海洋底への連続．大陸リニアメント（O'Driscoll, 1986 および Elliot, 1994 による）とドレッジデータ（Choi, 1997 が要約したさまざまな出典にもとづく）．ドレッジされた岩石のうち，1) no. 1～4 は，それぞれ，原生代～古生代前期の，花崗岩閃緑岩，変成岩，変堆積岩・火山岩，および花崗岩（Exon・Lee, 1987; Davies et al., 1988）；2) no.5 は二畳紀中頃の花崗岩，ガブロ，および長石質砂岩（McDougal et al., 1994）である．基図の衛星マップは Sloss (2000). A-B, 地震波断面線と解釈（Gravestock et al., 1986 による）．S0137-12 および 42 はドイツグループによる地震波断面線（Choi, 2006 により解釈）.

図２に見られるように，海洋底の衛星画像は，大陸のリニアメントがオーストラリア周辺の海洋底へ続くことを明瞭に表している．それらのいくつかを引用する：G1 の東方延長はクリッパートン断裂帯へ，G7 はクリッパートン断裂帯の南に並走する名称のない ENE リニアメントへ，連続する．南氷洋の Balleny 断裂帯は大陸の BN-BH へ明瞭に連続する．明瞭ではないが，G1 および G7 リニアメントも南氷洋へ連続している．G4 は明確にインド洋へ延びており，Cuvier 台地の西縁を縁取っている．1997 年および 2005 年の論文では，CM-CR と G2 リニアメントの北方延長がそれぞれフィリピン断層とレッドリバー断層であることを指摘した（**図３**）.

また，私はこれまで，オーストラリア以外の地域でも，大陸内部に認められるリニアメントが海洋底に延びていることを繰り返し示してきた（たとえば，東北日本と千島－カムチャツカから北西太平洋への延長，など：Choi, 2011; Choi et al., 2012）．南米大陸では，大規模構造と線状構造の向きが太平洋底へ延びている（Choi, 2002）.

上記の事実は，O'Driscoll et al. によって確認されたリニアメントはすべて，先カンブリア紀に端を発し，深部に根を下ろし，全球規模の断裂系であることを示している．それらは，地殻の薄い海洋地域でとくによく発達し，その深部の根がマントルへ達していることを支持している．これらの全球規模の断裂系は，直交方向のパターンを形成し，組み合わさっている（De Kalb, 1990；ほか）．これらの事実は，海洋と大陸地殻の大規模な水平変位を支持しない.

もし，主張されているようなオーストララシアの大規模な回転と北西移動が本当に起こったとしたら，回転したブロックは海底地形のすべての境界部に非

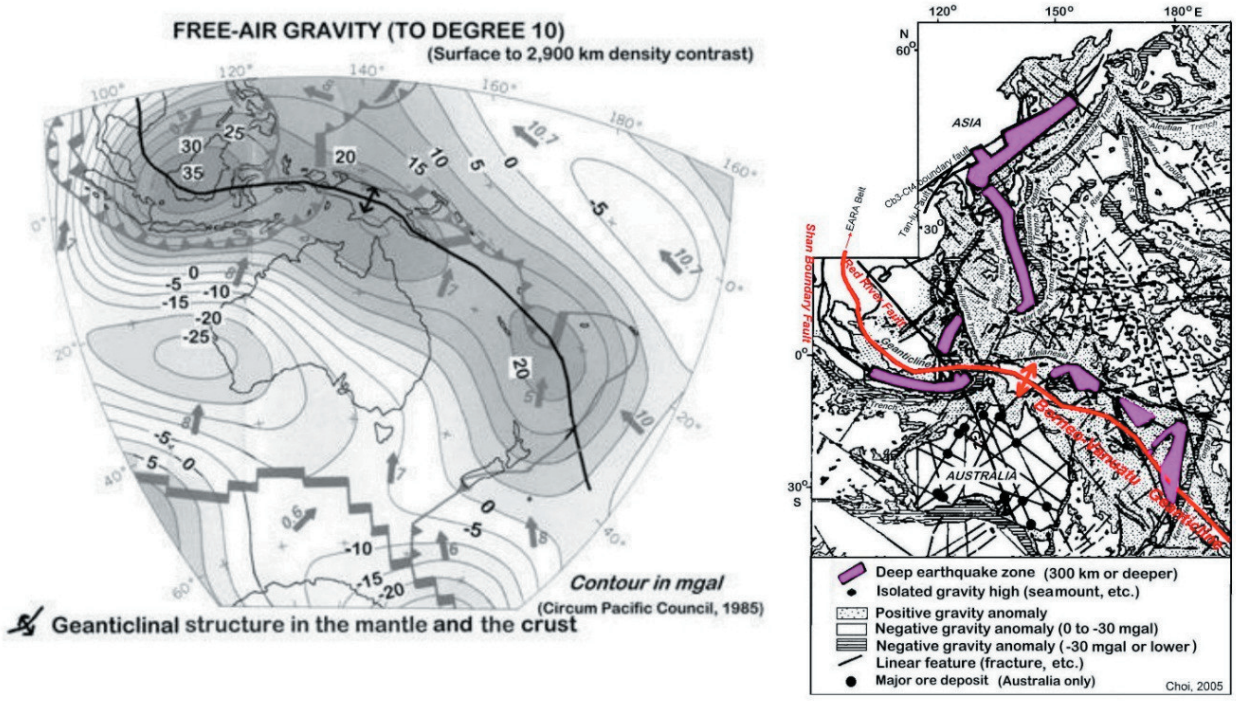


図３　左：オーストラリア大陸およびボルネオ－バヌアツ地背斜周辺のフリーエア重力異常（10 段階）．右：ボルネオ－バヌアツ地背斜（BVG）およびその周辺に生じた深発地震．Choi (2005) から引用．

常に強い傷跡と擾乱の跡を残すであろうが，そのようなものは見られない．

2. ボルネオ－バヌアツ地背斜

東南アジアにおける最も顕著な地質的特徴のひとつは北西方向の地背斜構造であり，南西太平洋からパプアニューギニアを通り，ボルネオとタイへ抜ける（**図３**）．この地質構造はボルネオ－バヌアツ地背斜（Choi, 2007）と命名された．その後の研究で，その北方延長は中国南部を通りシベリアクラトンに達し，その起源は始生代～原生代であることが示されている（Choi, 2013）．この北方延長は，ジュラ紀後期～白亜紀前期の構造図（NCGTJ 本号　矢野論文の図１，p. 55）に良く表れていることから，先カンブリア紀の地背斜が，後の中生代造構運動を含むこの地域の地質発達史にずっと影響し続けてきたことを示している．

この地背斜の存在は，エネルギー･鉱物資源環太平洋協議会（1985）刊行のフリーエア重力図（10 段階）によって識別されたもので（**図３**），地表～コア･マントル境界（2,900km）の密度差を示したものとみられる．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の高速度帯に位置していることから，その根が下部マントルに達していることを支持している．

重力値の最大地点はフィジー海盆北部･南部，ニューギニア，ボルネオに位置している．その中軸地帯には，パプアニューギニアの新生代の活発な隆起（Ollier and Pain, 1980），高熱流量とくにフィジー海盆，マントル起源の超塩基性岩ないしはオフィオライト岩類（ニューギニアおよびバンダ海），先カンブリア紀～古生代前期の岩石ないしは花崗岩（ボルネオ）がみられる．ボルネオ－バヌアツ地背斜の両翼には，深発地震群を伴う深部断裂帯が発達している．

これらの偽りない地球的規模を示す深部に根ざした先カンブリア紀（始生代～原生代）の地質構造は，大きく引き離されることなく，今日まで良く保存されている（東南アジアのほとんどの活構造セグメントにいたるまで）．地球規模のリニアメントはすべて，著しく引き離されることなく，地背斜（G1, G7, など）を横切っている．これらの事実は，ボルネオ－バヌアツ地背斜内や周辺域の地殻－上部マントルにおいて，いかなる水平移動や回転に対しても異議を唱えるだけである．

3. オーストラリア／南太平洋の地震波トモグラフィ

Kawakami et al. (1994) の地震波トモグラフィ画像を**図４**に示す．オーストラリアが移動・回転するためには，アセノスフェア層（低速度マントル）が浅部マントルのある深さに連続的に存在していることが必要である．しかし，低速度マントルの分布は，オーストラリア大陸北西部と東部の深さ 350km 以浅に限られている．オーストラリア大陸南部と西部における同様の深度帯は高速度マントルに占められている．この高速度マントルは，低速度マントルへ側方変化している．したがって，第三紀の期間に

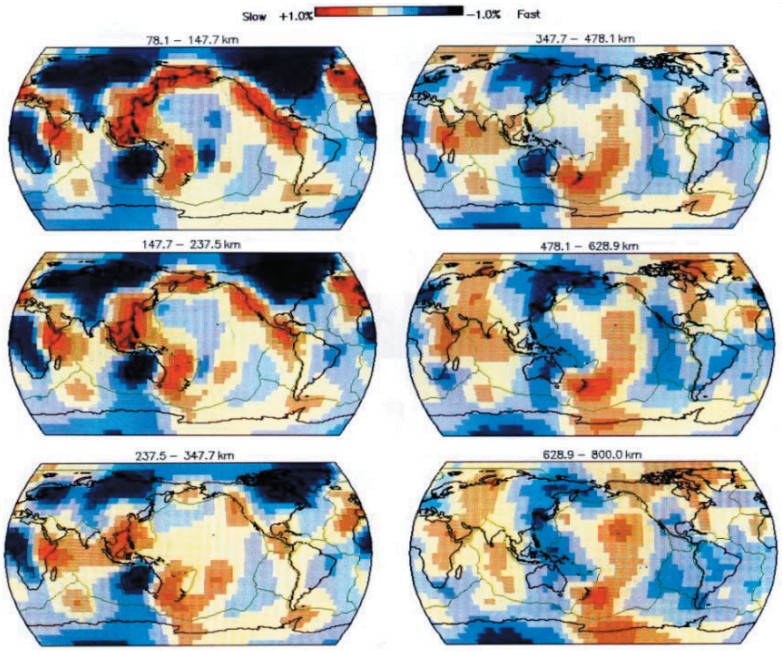


図４　地震波トモグラフィ（Kawakami et al., 1994）．オーストラリア大陸周辺では高速度マントルが優勢なことに注意．800km 以深でも，コア･マントル境界（2900km）へ続く高速度層で占められている．237km 以浅では低速度マントルがオーストラリア西部［訳者注：誤表記か？］と東部を占めているが，南部と西部は高速度マントルが支配的である．

膨大な外殻サージが起こり，オーストラリア大陸ブロックの下にアセノスフェアが広く発達していなかったとすれば，現在のトモグラフィデータは大規模な水平移動を支持しない．

4. 結　論

現在得られるデータでは，Storetvedt and Longhinos が提案したオーストラリア大陸ブロックの中新世の回転は支持されない．オーストラリアは，白亜紀後期と新生代の海洋地域の全般的沈降を除いて，ジュラ紀～白亜紀前期の周辺海域の沈水（Dickins, 2005; 鉱物資源局, 1979）以降，地質構造的にはずっと安定している．

文　献

Bureau of Mineral Resources, Australia, 1979. BMR Earth Science Atlas of Australia.

Choi, D.R., 1997. Geology of the oceans around Australia. NCGT Newsletter, no. 3, p. 8-13.

Choi, D.R., 2002. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones. Part 2: South America. NCGT Newsletter, no. 24, p. 9-21.

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

Choi, D.R., 2006. Where is the subduction under the Indonesian Arc? NCGT Newsletter, no. 39, p. 2-11.

Choi, D.R., 2007. Borneo-Vanuatu Geanticline and the tectonic framework of Southeast Asia and the Indian Ocean. NCGT Newsletter, no. 43, p. 18-25.

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., 2013. An Archean geanticline stretching from the South Pacific to Siberia. NCGT Journal, v. 1, no. 3, p. 45-55.

Choi, D.R., Bapat, A. and Pulinets, S., 2012. Planetary fracture systems and recent seismic activities in the Northwestern Pacific Ocean. NCGT Newsletter, no. 64, p. 24-29.

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

Davies, H.L., Clarke, J.D.A., Stagg, H.M.J., McGowran, B., Shafik, S., Alley, N.F., Graham, T., Choi, D.R. and Willcox, J.B., 1988. Geological results of R/V Rig Seismic cruise 11, BMR Record, 1988/16. DeKalb, H. F., 1990. The twisted Earth. Lytel Eorthe Press, Hawaii, 156p.

Dickins, J.M., 2005. Formation of the present continents, their margins and shelves, and hypsographic bimodality. Boll. Soc. Geol. It., Vol. Spec. no. 5, p. 53-59.

Elliot, C.I., 1994. Lineament tectonics: an approach to basin analysis and exploration. In Purcell, P. and Purcell, R. (eds.), “Sedimentary basins of Western Australia”. Petrol. Explo. Soc. of Aust. Conf. Proc., p. 77-90.

Exon, N.F. and Lee, C.-S., 1987. Preliminary Post-cruise Report. BMR Rig Seismic Research Cruise 1987/1.

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

Gravestock, D.I., Hill, A.J. and Morton, J.G.G., 1986. A review of the structures, geology and hydrocarbon potential of the Otway Basin in South Australia. Dept. of Mines and Energy, South Australia. Rpt. BK. No. 86/77, 54p.

Kawakami, S., Fujii, N. and Fukao, Y., 1994. Frontiers of the Earth and planetary science: a gallery of the planetary worlds. Jour. Geol. Soc. Japan, v. 100, I-VIII

McDougal, I., Maboko, M.A.H., Symonds, P.A., McCullock, M.T., Williams, I.S. and Kudrass, H.R.., 1994. Dampier

Ridge, Tasman Sea, as a stranded continental fragment. Aust. Journ. Earth Science, v. 41, p. 395-406.

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

O'Driscoll, E.S.T. and Campbell, I.B., 1997. Mineral deposits related to Australian continental ring and rift structures with some terrestrial and planetary analogies. Global Tectonics and Metallogeny, v. 6, no. 2, p. 83-101.

O'Driscoll, E.S.T. and Keeniham, S.L., 1980. Toowoomba – Charleville lineament, southern Queensland. APEA Journ., v. 20, p. 16-24.

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.

Sloss, P.W., 2000. Surface of the Earth. World data Center for Marine Geology and Geophysics, Boulder, Report MGG-5R. 1:40,000,000 scale (at equator).

Yano, T., 2014. Tectonic development of the Pacific Ocean and its periphery: a constraint on the large-scale rotations of lithosphere blocks. NCGT Journal, v. 2, no. 2, p. 54-68.

予測と証明：グローバル理論の確立に不可欠なもの
PREDICTION-CONFIRMATION: A MUST IN GLOBAL THEORIZING

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

（ 杉山　明［訳］）

概要：すべての人間の試みと同様，科学は人間によって行われる活動であり，社会的影響，流行，移り気に簡単に左右されるものである．科学者たちが物理的世界について考える場合，通常，専門的な指針を設定したある有力な個人が先鞭をつけた踏み跡を辿る．これは,それ以外に学究的な生活の別な面に及ぼす決定的な効果を持っている．こうした理由で何らかの包括的な理論を受け入れるにあたって最高の基準を採用することは最も重要である．当代の固体地球科学を特徴づけている多くの特別な弁解と場当たり的な解決策のために，これらの問題を研究することはとりわけ重要である．地球のような物理系はおそらく特定の方向で発展してきたし，発展のパターンは地史のすべての主要な局面を説明できる能力を持っているに違いない．さらに，この系は以後の広範囲にわたる一連の予測を詳述できるほどきちんと定義されているに違いない.地球の現実的な理論では,こうした予測が適切な観察によって証明されるに違いない．要するに，これは私が機能的なグローバルテクトニク理論に対して絶対的に必要と考える予測と証明の連鎖である．この必要条件を受け入れて，Peter James はジオイドテクトニクスが実際そのような資格を有していると自負している．彼の理論のいくつかの主要な側面を評価することにより，私は断定された予測と証明の能力ははっきりしたものではないと結論づける．

この雑誌の目的は，地球のいろいろな理論－その内部及び外部の構造と地史－に関する開かれた討論の土台を提供し，しばしば新しい独創的なアイデアに反対する個人や特別な圧力団体の不都合な振る舞いをあからさまにすることである．本当に進歩的な地球科学は，具体的な観察の寄せ集めが多くのやり方で解釈されうるがゆえに特定の点を'立証する'ためにさらに多くの証拠を収集することではない．自然を真に理解するには現象学的な関連をつけることが何よりも大事である．それゆえ，様々な観察から理論的統一を作り上げることは，グローバルな現象の現実的理解に向かう唯一の道である．最近の記事－グローバル理論に必要なドミノ（NCGT，v. 1，2013）－で，私は第一次オーダーの現象学的関連，すなわち，私のグローバルレンチテクトニクス（Storetvedt，2003）の著書で詳しく扱った提案の概略を述べた．私は自分の最近の論文で，"グローバルテクトニクスの［現実的な］理論は，惑星の進化経路をつなぐ予測と証明の長い連鎖を，特別な弁解やその場限りの調整という流れを持ち出すことなしに示すべきである"と結論づけた．それに続く討論記事でPeter Jamesはこの結論を支持すると表明した（NCGT，v. 2，2014）.

Peter Jamesは彼のジオイドテクトニクスが仮定-解釈-予測-証明というタイプの例を含んでいると主張し，彼のモデルは私が機能的グローバル理論に求めた予測と証明の特質を実際に備えていると断言した．私は分かっているが，彼は今，自分の造構システムにコメントさせるために私を試しているのだ．彼の理論に関して私が長く沈黙してきた理由は，私にはそれが最も顕著な造構的事実に対してさえ説明をつけることができるとは思えないというだけのことである．それにもかかわらず，私は彼が極移動－伝統的には地球表面もしくはその内部の質量再配分の結果とみなされた惑星の天文学的回転軸に

対するその（もしくはリソスフェアの）突発性の転倒－のダイナミックな原理を持ち込んだことを非常に喜んでいる．George Darwin（1877）は極移動の問題に初めて重要な科学的考察を加えたものであろう．しかし，彼と後の Joseph Barrell（1914）は共に地球が本質的に剛体であるという共通の見方を基礎にしていたので，系統的／漸進的な極移動は起こりそうにないと結論づけた．しかしながら，これらの研究者が不可欠とした理論的な前提を Damian Kreichgauer（1902）や Alfred Wegener（1915）のような地球物理学者は成り立ちそうにないと考えた．

Kreichgauer と Wegener は共に，北の大陸を横断する立証された古気候帯の時間的変遷（**図 1**）－太平洋の方向への段階的な惑星の空間的転倒が示されている－が極移動に極めて都合がよいことを物語っていると確信した．半世紀後，古地磁気学が前途有望な地球科学的学問分野として確立された後，大陸に関する地球の回転軸の位置変化を検討した van Hilten（1962）は，極移動が惑星の内部体をおおう堅い外皮（彼は多分リソスフェアと考えた！）が動いた結果である可能性があると示唆した．しかしながら，地震学的研究（MacDonald, 1964）は，マントル内に数 100 km にも伸びた大陸の深い‘根’が存在するという証拠を呈示し始めていた．これは van Hilton の変位システムには都合の悪い観察結果であった．長期の極位置の変化を小規模で多少とも不規則な極の動き（これには種々の動力学的及び天文学的原因がある）と区別するために，漸進的な古地磁気極の移動パターンは真の極移動と呼ばれた．それにもかかわらず，1960 年代には大規模な大陸移動というアイデアが広く受け入れられた．しかし，このアイデアに対する支持が増えたのは社会政治的なトレンドに過ぎなかった．Wegener の大陸の水平的な移動がすぐに町で’最も前途有望な’ゲームと看做されると，その他の可動的なスキームは全く評価や検討をされなくなった．1970 年代の初期までに支配的な見解となった超可動的なテクトニクスが流行する中では，極移動は邪魔でほとんど理解されない要素であり，それゆえにその概念は次第に忘れ去られていった．しかしながら，Peter James にとって，赤道の膨らみと極の平坦化が周期的にリセットされることを意味する極移動のイベントはグローバルテクトニクスの原動力である．

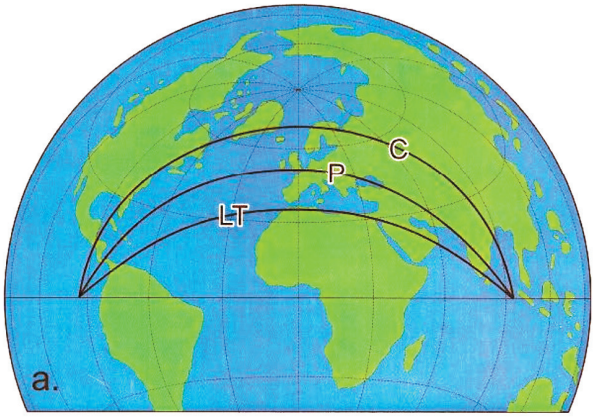


図 1　3 つの異なる時代の古気候にもとづく赤道：C，石炭紀；P，ペルム紀；LT，第三紀前期― Wegener（1929）による．古地磁気学的検討（Storetvedt 1990, 1997）はこのパターンを確認した―地球体は太平洋の方向で繰り返し空間的な方位を漸進させ，その動きはグリニッチ子午面近くで生じたように見える．

1989 年，私は主要大陸に対する古地磁気データを総合的に理解しようと試みている間にリソスフェアの新たな可動システム－その発端からプレートテクトニクスにとっては悩ましい要素だった多くの物理学的・地質学的な難点を避ける慣性駆動システム－を発見した．私のグローバルレンチテクトニクスの予備的段階が生まれ（Storetvedt 1990），新たな動力造構スキームと結びついて古地磁気学に基礎をおいたグローバルな極移動経路が明らかになった．そこで私は Wegener の 1929 年の本を再読し，彼が古気候データにもとづいて確立した極移動の軌跡は私が古地磁気学的考察から到達したものとほとんど一致することを発見した．Wegener（1929）は＂もしスピッツベルゲンと南アフリカを通る子午線が最も大きな気候的変化を経過したとすれば（それは古地磁気学にもとづく極の漸進と一致する），90°E と 90°W というこの 2 つの子午線（気候変化が最大の子午線）における同時期の気候変化はゼロかごく僅かであったに違いない．そしてそれが事実なのだ＂と主張した．Kreichgauer（1902）のような他のドイツ及びオーストリアの研究者は先に同様の結論に達していた．私の判断できる限りでは，Peter James は明らかにいかなる単純な漸進的極移動経路も決定できない．彼の極移動は不規則なものになるだろう．

私が 1962 年にニューカッスル・アポン・タインのキングスカレッジ（Kings College, Newcastle upon Tyne）で研究生として古地磁気学の道に入ったとき，古地磁気学的に推定された古緯度と古気候を反映する岩石の証拠にもとづいた古緯度はよくマッチするということがしばしば指摘された．この一致は 1963 年 7 月のニューカッスルでの古気候検討会での主要な問題であった．Peter James と私は真の極移動がダイナミックな事実であるということで一致した．しかしながら，彼は古極／赤道の経路には何ら言及していない．そして，彼はユーラシアを横断する古赤道の漸進的な南への移動（**図 1**）が，北半球を横断する古生代中期及びそれより若い主要な褶曲帯の南への移動と広範に一致するという 100 年以上前に立証された事実を無視しているように見える．言い換えると，大陸の褶曲帯－それらの前身である地向斜と共に－は明らかに古赤道環境にあったのである．古赤道と当時の地向斜及びそれに関連のある造構帯の形成の結びつきもまた Peter James の理論における基本的な側面であるが，彼の古赤道

の位置づけと，大洋と大陸の地殻の間に想定される境界面に沿ってできた褶曲帯は地質学的事実に根拠を置いていない．

一般に古気候の証拠となる岩石／化石と同様，古地磁気データは,少なくとも新第三紀以前に対しては,あったかもしれない‘高頻度’(**図１**に示される以上)の真の極移動変化を証明するのに必要な分解能を欠いている（Storetvedt, 1997 and 2003 参照）．したがって，地質時代にまたがるより明瞭な変化だけは立証できるが，これらの変化は主要な地質時代の境界に極めてよく一致する．Peter James は＂地質時代にまたがる何度もの極移動＂があったことを示唆しているが,未解決の多成分磁化(multicomponent magnetization）によって引き起こされる偽の古地磁気学的証拠を除いた場合，先カンブリア後の合理的で十分立証された極移動イベントは 10 以下に減ってしまうだろう．それにもかかわらず，相対的な極移動は長期のダイナミックな時代と地質学的に静穏な時代を中断するきわめて短期的なイベントであるように思われる．地球の歴史は明らかに地球の回転の変化－極移動のイベントの間及び／または惑星の回転速度が変化する時のどちらか－と密接に伴っている（Storetvedt, 2003）．これは地球の歴史がパルス状の発展パターンを経てきたという古い認識に一致する．

Peter James は極移動の結果としてのジオイドの歪は大陸地殻に造構的な損傷／圧縮を引き起こすには不十分だろうが，他方でそれは相対的に薄い大洋地殻に構造的な損傷を作り出すことはできるだろうと推測している．しかし，古赤道と歩調を合わせた古生代初期以降のユーラシアを横断する造構帯の全体的な南への漸進は明らかに別なことを物語っている．James は造構過程が大洋と大陸の境界－それは彼の論理に従うと古赤道に一致する－で激化し，地向斜の発展と海底拡大（イベント？）によって力を得たその後の堆積物の変形を引き起こすだろうと述べている．例として，彼は事実上オルドビス紀～前期石炭紀の局地的な古赤道に沿っているアパラチア褶曲帯を挙げている．しかしながら，地質学的証拠は，北米東部に沿った境界地帯が古生代の大洋と大陸の境界をなしていたという彼の前提に反する．19 世紀後半以降，アパラチア地向斜が実際は隣接する大西洋の境界地帯からシアル質砕屑物を供給されていたということが受け入れられてきた（例えば Holmes 1965）．

大西洋側のそのような隆起した前地に関する基本的証拠は，本来のアパラチア帯から大西洋縁辺に向かって地向斜堆積物が粗くなっていて，一連のデルタ性堆積物が北西方向へ広がっている（運搬方向が陸へ向かっている）ということである．Holmes (1965) によると，＂これらの堆積物を供給した河川は，東及び南に位置した広大な陸地，すなわち，古生代のかなりの期間ずっと浸食をうけていたに違いない隆起した陸域から流れ出ていたに違いない．＂言い換えると，アパラチア地向斜／褶曲帯の発達は，James のモデルが要求するものとは反対に，大陸内部の環境にあったと思われる．さらに，James は＂ロッキー山脈は概略南北に走り，北米西側の大洋と楯状地の境界へと伸びるカンブリア紀前期の赤道で生まれた＂と述べている．しかしながら，ロッキー帯は彼のモデルが要求する大洋と大陸の境界ではなく,北米西縁からはるか内陸側で生まれた．

環太平洋ベニオフ帯の起源－米国西部のテクトニクスはそれと密接に結びついている－は明らかにカンブリア紀よりずっと古い（おそらく始生代後期から）．そして，米国西側の海岸線に沿った古生代初期もしくはより若い古赤道の位置を特定する古地磁気および古気候の証拠はない．北半球のクラトン地域から得られた新期原生代の古地磁気極は,ほぼ 65°E, 25°N と 115°W, 25°S の対蹠的な位置という合理的な一群にまとまっている（Storetvedt, 1997 参照）．これは新期原生代～前期古生代（ほぼ 450 m.y. 以前）の赤道を北極圏カナダとラブラドル海に位置づけ，その南への延長は現在の中央～南大西洋に沿うことになる．北米は熱帯～亜熱帯の古緯度に当たり，フランクリン－イヌーシアン造構帯*はこの古赤道に沿っていた．しかしながら，当時の北極－北米のリソテクトニク帯－北はエレスミア－グリーンランド北部造構帯(Ellesmerian-North Greenland tectonic zone)，南はグレンビル及び西部コルディレラ区－は新期原生代～前期古生代の赤道にほぼ直交する方向を有していたということを強調する必要がある．したがって，これらの顕著な大陸内部の造構帯は古赤道に沿って配列していたのではなく，明らかに惑星加速イベントの間のリフティングと剪断作用（捻れ過程）によって発達したのである（Storetvedt, 2003）．同様の説明はパンアフリカ帯及びブラジルのリソテクトニク帯にも適用できると思われる．

＊フランクリン－イヌーシアン造構帯（Franklinian-Innutian tectonic belt）：北米楯状地の最北端に位置する原生代後期の変動帯．

したがって，Peter James が彼の造構仮説の中に大陸のアルプス－ヒマラヤ造構帯を含めるということで困っていることは私にとっては驚きではない．アルプス－ヒマラヤ帯の前身である長く存続したテーチス盆地は少なくとも古生代後期～第三紀前期まで古赤道の位置にあったが，その発達の全段階で基盤はずっと大陸性であった．

アンデスの場合は,岩相別層厚分布の研究（Miller, 1970; Isaacson, 1975）がボリビア・チリ北部・ペ

ルー南部の沖にあった西の古陸を示唆していることから，デボン紀の広範で厚い（ほぼ 4 km）浅海成～非海成堆積物を中央アンデスのクラトン内盆地へ供給した源は大陸地域の外にあったと思われる．ナスカ（Nazca）海嶺からドレッジされた花崗岩ブロックがペルー／ボリビア内陸区に存在するものと類似しているという事実はこの解釈を支持するものである．

後期原生代～前期古生代の赤道が横断するもう 1 つの大陸造構地域は中央オーストラリア［オーストラリアの先第三紀方位における（Storetvedt and Longhinos, 2014）参照］であり，それは当時の古赤道に整列したアデレード（Adelaide）地向斜とワーブルトン－ジョージナ－ボナパルト盆地（Warburton-Georgina-Bonaparte basins）によって代表される．James のモデルでは説明できない大陸褶曲帯とリフト帯のロングリストにはオスロ及びライン地溝やウラル帯のような大規模な大陸の構造を含んでいて，それらはすべて当時の古赤道にほぼ直交する環境で形成されている．James はジオイドの変化は大陸地殻内に造構歪を引き起こすには不十分であると主張しているが，大陸地殻を切るメガスケールの造構帯の多くの顕著な例は，彼のシステムが‘第一次オーダーの造構過程’の大部分を説明できないことを示している．彼のモデルには基本的な誤りがあるように思える．予測はそれらが地質学的事実によって証明されないので明らかに間違っている．

私は，極移動が世界の大洋の水塊に影響を及ぼすだろうという Peter James の見解に同意するが，地殻に影響を及ぼすマントル過程と比較して，この効果がどの程度海水準変動に現れるかは全く明らかでない．彼はその効果が局地的で，＂海水準はある場所では劇的に上昇し，別な場所では降下するだろう＂と主張している．この考えに従うと，地球の地域ごとに極めて不規則な海水準変動があるということになり，それは現在十分立証されているユースタティックな（地球規模の）海水準変動曲線（**図 2**）－顕著な局地的差違の代わりに長期的及び短期的振動の重なりによって特徴づけられた様々な海水準変動パターンがある－と明らかに相容れない．オルドビス紀とシルル紀の間，浅海が現在の大陸の大部分を覆い，その間，広範囲に及んだ陸棚性動物相は普遍的な特質を獲得した．この大規模な海進に続いて古生代中～後期の長期にわたる海退があり，ペルム紀と三畳紀の境界付近で地球全体の海岸線レベルは顕著に低くなった．中生代の間，大陸はセノマニアン海進という新たな長期にわたる海水の流入を経験し，それは白亜紀最末期にピークに達した．さらに，主要な地質時代境界が主要な海退イベントと密接に伴っていることが分かっている．グローバルレンチテクトニクスの理論に従うと，地球規模の低海水準は大洋の下部地殻の薄化が促進されるというイベントとそれに関連した海盆のかなり急速な沈降－急速な海退イベントを引き起こす－を反映している．上部マントルへの断続的な地殻の消失は惑星のパルス状の加速を招き，次にそれはリソスフェアの捻れというイベントの引き金を引いた．そして（マントルからの）有毒ガスのパルス状の発散とそれに関連する生物危機へとつながった．この説明では，地球回転の変化（極移動のイベントを含む）が，地球のパルス状地史の原因となる動力造構過程を引き起こすマントル流体上昇の何よりも重要な引き金装置と見られる（Storetvedt, 2003）．

Peter James は彼が示唆する大規模な海水準変化の例として，現在は 3000 m 以上の高度にある中央アンデスのアルチプラノ（Altiplano）を挙げている．この地域がごく最近になって隆起したことはチチカカ湖（Lake Titicaca）の現在の海生動物相によって支持される．しかしながら，そのようなスケールでの表面隆起の原因を（極移動によって引き起こされた）ジオイド変化に求めることは法外な行き過ぎである．つまり，中央アンデスの新第三紀の隆起，及びその後のアンデス山脈の出現は地球規模の現象である．地形的に極めて平坦な先新第三紀の地球からすべての山脈が数 100 万年前に出現し始めた．事実，我々が今日見る山脈は明らかに地史の中では新

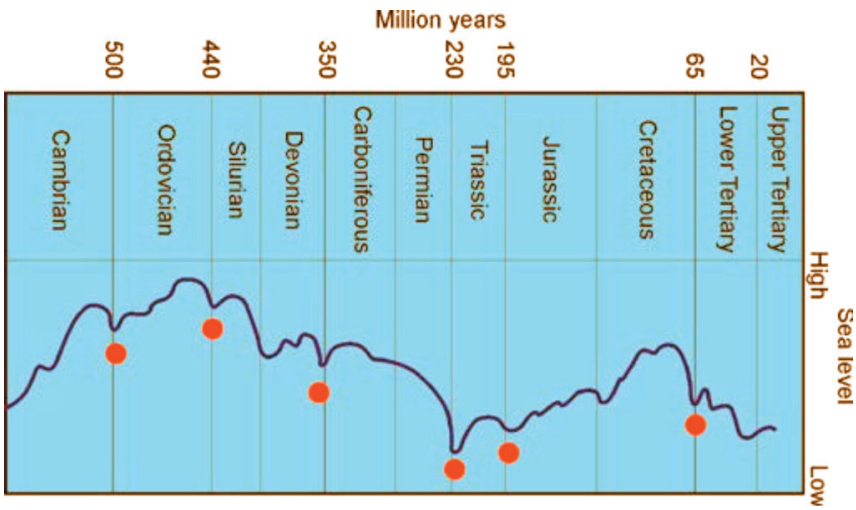


図 2　先カンブリア紀以降の一般化された海水準変動曲線―Hallam（1992）にもとづく．6 回の主要な生物大異変が顕著な海退で特徴づけられる主要な地質時代境界にいかに一致しているかに注目．

顔である．地質時代の長い期間中，地球規模の造構活動が進行している時期でさえ，浅海が現在の大陸をまたいで広がっていた．したがって，南米もヨーロッパも（全地球的な海退の結果としての），主として最後の 500 万年間のアンデス及びアルプス山脈の隆起とともに大陸の乾燥が生じる前は広く浅い縁海に覆われていた．

地球規模の現象としての海水準変動も地質学的にはごく最近の山脈の出現も，グローバルレンチテクトニクスの基礎である脱ガス地球の表面的な産出物（Storetvedt 1997，2003）というのが最も真実らしい．極移動イベントは結果として地殻と海水準に自然に影響を及ぼしたが，マントルに原因のある造構地形的産出物と比較すると重要性は低いように思われる．もう一度言うが，James のジオイドテクトニクスは明確な予測を引き出すことができるほどきちんと定義されていないし，その中に言われるような予測と証明のスキームは見られない．

文　献

Barrell, J. 1914. The status of hypotheses of polar wandering. Science, v. 40, p. 333-340.

Bonatti, E. and Arrhenius, G., 1970. Acidic rocks on the Pacific Ocean Floor. In: The Sea, New York, John Wiley, v. 4, p. 445-464.

Darwin, G.H, 1877. On the influence of geological changes on the Earth's axis of rotation. Phil. Trans. Roy. Soc., Ser. A, v. 178, p. 242-249.

Hallam, A., 1992. Phanerozoic Sea-Level Changes. New York, Columbia Univ. Press, 266p. Holmes, A., 1965. Principles of Physical Geology. London, Nelson, 1288 p.

Isaacson, P.E., 1975. Evidence for a Western Extracontinental Land Source During the Devonian Period in the Central Andes. Bull. Geol. Soc. Am., v. 86, p. 39-46.

James, P., 2014. Global Tectonics: Prediction and Confirmation. NCGT Journal, v. 2, p. 97-98.

Kreichgauer, D., 1902. Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl, Missionsdruckerei, 394p.

MacDonald, G.J.F., 1964. The deep structure of continents. Science, v. 143, p. 921-929.

Miller, H., 1970. Das Problem des hypothetischen "Pazifischen Kontinentes" gesehen von der chilenischen Pazifikkuste. Geol. Rundschau, v. 59, p. 927-938.

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

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

Storetvedt, K.M. and Longhinos, B., 2014. Australasia within the setting of Global Wrench Tectonics. NCGT Journal, v. 2, p. 66-96.

Van Hilten, D., 1962. A deviating Permian pole from rocks in northern Italy. Geophys, J. Roy. Astro. Soc., v. 6, p. 377-390.

Wegener, A., 1915. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig, Vieweg, 94 p.

Wegener, 1929 (1966). The origin of Continents and Oceans. London, Methuen, 248 p.

出 版 物　PUBLICATIONS

1610 年～現在の巨大火山噴火と太陽黒点の数との有意な統計的関係
Significant statistical relationship between great volcanic eruptions and the count of sunspots from 1610 to the present

Geophysical Research Abstracts, Vol. 16, EGU2014-1385-2, 2014

Michele Casati
Via Valico 18, Altopascio - Lucca (Italy)　michelecasati1974@alice.it

（ 小泉　潔［訳］）

要旨：太陽黒点が火山の巨大噴火の引き金として重要な役割を担っているとの主張は，多くの地球物理学者によって議論されてきており，現在でも議論されている．たくさんの科学論文が，それらの出来事と地球と太陽との電磁気的な繋がりとの間の可能性のある相互関係を認証してきたが，誰一人として地磁気活動・太陽風・黒点数のような系列と巨大火山噴火との間の可能性のある統計的に有意な関係を強調できていなかった．

[Abdurakhmanov, Firstov, Shirokov, 1976] [Casati; Straser, 2013] [Casey, 2010] [Charvátová, 2010] [Duma; Vilardo, 1998] [Jaggar, 1931] [Jensen, 1902, 1904] [Lyons, 1899] [Madonia; Gurrieri; Inguaggiato; Giugliano; Romano; Spadaro; Zuccarello, 2005] [Mazzarella; Palumbo, 1989] [O'Relly, 1899] [Stothers, 1989] [Střeštik, 2003] [Sytinsky, 1998] [Kolvankar, 2008]

1610 ～ 2012 年に記録された噴火指数 VEI4 の 148 の火山噴火（その内 37 は噴火指数 VEI5 あるいはそれ以上の主な歴史的火山噴火）と閾値として星印を付けた黒点数 46/ 月のものとを対照し（1883 年 8 月のクラカトア火山の VEI6 という歴史的指数の巨大噴火で記録された），いくつかの可能性のある関係に注意し，我々の研究では統計的検定を行っている．

・1610 ～ 1955 年に記録された，噴火指数 VEI5 以上の 31 の歴史的巨大火山噴火の内，29 の噴火は黒点数 46 以下の時に記録された．残りの２つの噴火は黒点数 46 以下の時に記録されたものではなく，むしろ 1739 年の太陽活動極大期の期間と太陽活動№ 14（1739 年の支笏噴火と 1907 年の Ksudach 噴火）の中にある（図１）．

・1610 年から現在までに記録された噴火指数 VEI6 以上の８つの歴史的巨大火山噴火の内，７つの噴火は黒点数 46 以下の時に記録され，マウンダー（1645 ～ 1710 年）・ダルトン（1790 ～ 1830 年）と 1880 ～ 1920 年の極小期として知られる極小期の３つの大きな太陽活動極小期の期間内に入っている．唯一の例外として，我々は太陽活動№ 22（図２）の太陽活動極小期に記録された 1991 年 6 月のピナツボ噴火に注目している．

・1955 年以降に記録された火山指数 VEI5 以上の６つの歴史的巨大火山噴火の内，５つの噴火は低太陽活動期に記録されているわけではなく，むしろ太陽活動№ 19，21 および 22 の太陽活動極大期に記録されている．

表１　1610 年から現在までに発生した噴火指数 VEI5 と同じかそれ以上の火山噴火と相対的太陽黒点数の一覧．主な歴史的噴火のリストは，スミソニアン協会（Global Volcanism Program）からの引用である．太陽黒点数は，ベルギー太陽活動の影響データ分析センター（SIDC）からの引用である．

(*)　相対的太陽黒点数データ：1610 ～ 1699 年は年毎の太陽黒点数；1700 ～ 1749 年は “SIDC” の年毎の太陽黒点数；1749 年から現在は “SIDC” の月毎の太陽黒点数．

(*1)　Jihong Cole-Dai, David Ferris, Alyson Lanciki, Joël Savarino, Mélanie Baroni, Mark H. Thiemens　タンボラ（1815 年）ともう１つ（1809 年）の成層圏火山噴火による寒冷な 10 年間（1810 ～ 1819 年）．Geophysical Research Letters, 39 巻，22 号，2009 年 9 月，doi: 10.1029/2009GL040882.

カイ二乗 χ^2 = 7,782 を導いた重要な検定では 0.005 に等しい確率値を検出している．イェーツの補正を適用すると，確率値は 0.009 と推測している．

それ故，太陽活動の弱い時期に，噴火指数 VEI4 と同じかそれ以上の主な火山噴火の発生は，統計的に重要な意味があり，現在進行中の太陽活動周期の弱い時期 SC24 ばかりでなく，おそらく次の太陽活動周期への移行期へと続く長く深い太陽活動極小期の入口である．これから 10 年間で巨大火山噴火仮説が証明されると，我々は確信している．多くの太陽物理研究者によって練られた仮説である．［Ahluwalia, 2013］［Goelzer; Smith; Schwadron; McCracken, 2013］［Livingston; Penn; Svalgaard, 2012］［Steinhilber; Beer, 2013］

噴火指数 VEI6 と同じかそれ以上の８つの主な火山噴火の内７つは，よく知られた歴史時代，すなわちマウンダー・ダルトンと 1880 ～ 1920 年の太陽活動

Volcano	Date eruption	Index VEI	Relative sunspots number (*)
Hudson Cerro	12/08/1991	5+	176,3
Pinatubu	15/06/1991	6	169,7
El chichon	03/04/1982	5	122
St.helen	18/05/1980	5	179,9
Agung	17/03/1963	5	17,1
Benzymianny	30/03/1956	5	118,4
Kharimkotan	08/01/1933	5	12,3
Cerro azul	10/04/1932	5+	11,2
Colima	20/01/1913	5	2,3
Novarupta	06/06/1912	6	4,1
Ksudach	28/03/1907	5	60,7
Santa maria	24/10/1902	6	16,3
Mount tarawera	10/06/1886	5	15,7
Krakatoa	27/08/1883	6	46
Askja	29/03/1875	5	33,8
Shiveluch	18/02/1854	5	20
Cosiguina	20/01/1835	5	7,5
Galunggung	08/10/1822	5	0,4
Tambora	10/04/1815	7	31,6
Source Unknown (*1)	1809	6	2,5
St. Helens	15/01/1800	5	6,9
Katla	17/10/1755	5	23,7
Shikotsu	19/08/1739	5	101
Katla	11/05/1721	5	26
Fuji	16/12/1707	5	20
Tongkoko	1680	5	0,8
Gamkonora	20/05/1673	5	0
Shikotsu	23/09/1667	5	0
Usu	16/08/1663	5	0
Long island	1660±20years	6	0
Shiveluch	1650±10years	5	0
Kolumbo Santorini	1650	6	0
Parker	04/01/1641	5	0
Komaga-take	31/07/1640	5	15
Vesuvius	16/12/1631	5	4,4
Furnas	03/09/1630	5	0
Katla	02/09/1625	5	42,4

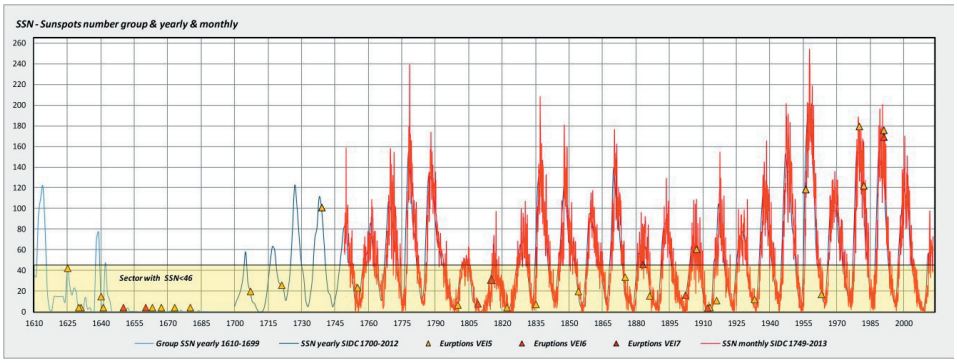


図１　黒点数 46 以下の時に発生した火山噴火．黄色の領域は 1610 年から現在までの時代を示し，噴火指数 VEI5 と同じかあるいはそれ以上の 37 の火山噴火の内，30 を含んでいる．

極小期に発生した．これらの時代のすべては，非常に太陽の電磁気的活動が低かった．

補足　M8.3 以上の巨大地震と太陽磁気活動：すなわち太陽活動極小期と極大期（図３）の 11 年周期に含まれる既知の２つの時期との関係を観測することは可能である．しかしながら，この分析は統計的に重要な相互関係を示していない．

1900 年以降に発生した M8.3 以上の 29 の地震リストは，アメリカ地質調査所の http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/mag8/magnitude8_1900_date.php から引用した．M8.3 以上の 29 の地震の内，

- 17 地震は黒点数 46/ 月以下の時に発生している
- 9 地震は太陽活動極大期の周期 14・15・17・23 と 24 の時に発生している
- ３地震は太陽活動極小期または極大期の年には発生していない

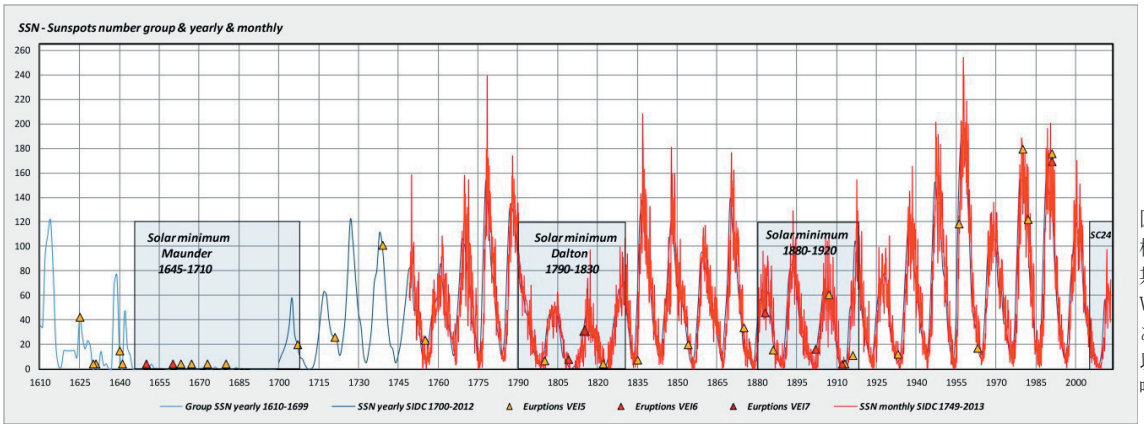


図２　太陽活動極小期の継続期間と噴火指数 VEI6 と同じか，あるいは，それ以上の火山巨大噴火．

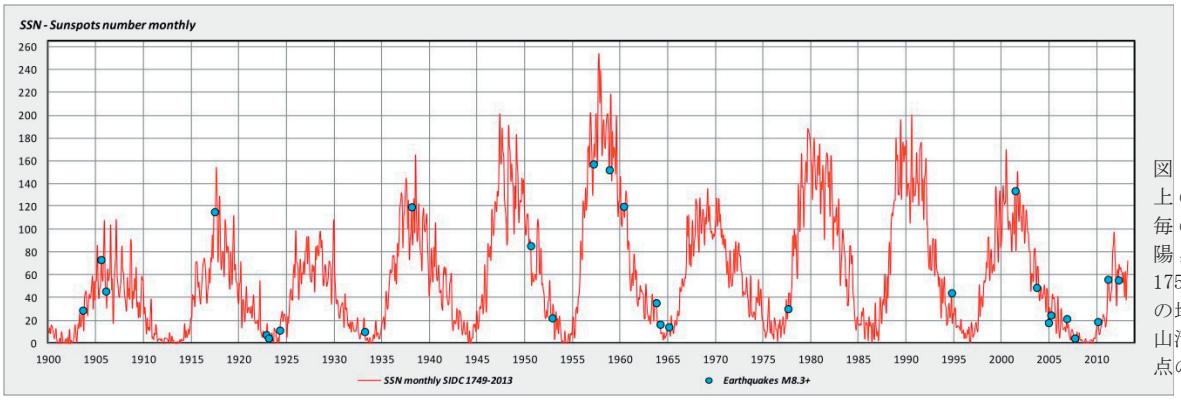
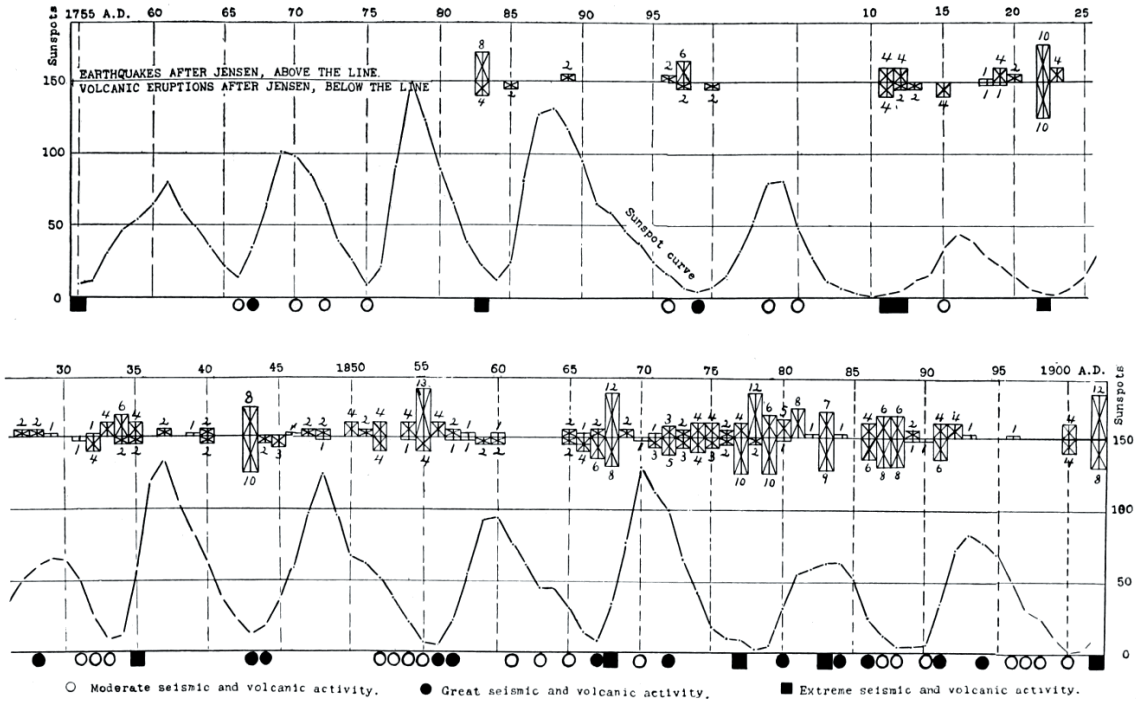


図３　M8.3 以上の地震と月毎の相対的太陽黒点．西暦 1755 ～ 1900 年の地震および火山活動と太陽黒点の関係．



1755 ～ 1900 年の地震および火山活動と太陽黒点の関係．

注記　『Popular Science Monthly』72巻（1908年6月）で，次のような図表を公表したEllsworth Huntington博士は，次のように述べている：
「地球の活動と太陽の活動が，上に示唆したようなやり方で互いに関係しているなら，この研究はほかにも我々の知識を大いに増やすだろう．一方で，太陽活動の変化の研究は，地球上で発生している何かについて，我々は予告することができるようになるかもしれない．他方で，地球の地史の慎重な解読は，数百万年前の太陽の歴史を明らかにするかも知れず，熱史の興味深い問題や，知識が増えてくるとますます陸上生活に大きな影響を与える者のように見える我々人類の最終的な運命を明らかにするかも知れない．」

文　献

Abdurakhmanov, A.I., Firstov, P.P. and Shirokov, V.A., 1976. A possible link between volcanic eruptions and the 11-year cycle of solar activity (in Russian). Byul. Vulkanol. Stants., v. 52, p. 3-10.

Ahluwalia, H.S., 2013.An empirical approach to predicting the key parameters for a sunspot number cycle University of New Mexico, Department of Physics & Astronomy, MSC07 4220, Albuquerque, NM 87131, USA An empirical approach to predicting the key parameters for a sunspot number cycle doi:10.1016/j.asr.2013.11.044.

Casati, M. and Straser, V., 2013. ; Possible relationship between changes in IMF, M7+ earthquakes and VEI index, during the transition between the solar minimum cycle 23 and the rise of solar cycle 24. EGU General Assembly 2013, Vienna, Austria, id. EGU2013-1405.

Casey, J. L., 2010. Correlation of solar activity minimums and large magnitude geophysical events. Space and Science Research Center, Research Report 1-2010 (preliminary), p. 1-5.

Charvátová, I., 2010. Long-term relations between the solar inertial motion (SIM) and solar, geomagnetic, volcanic activities and climate: AGU Foz do Iguaçu Brazil 2010

Cole-Dai, J., Ferris, D., Lanciki, A., Savarino, J., Baroni, M. and Thiemens, M.H., 2009. Cold decade AD1810–1819 caused by

Tambora (1815) and another (1809) stratospheric volcanic eruption. Geophysical Research Letters, vol. 36, Issue 22. doi:10.1029/2009GL040882.

Duma, G. and Vilardo, G., 1998. Seismicity cycles in the Mt.Vesuvius area and their relation to solar flux and the variations of the Earth's magnetic field. Phys. Chem. Earth, v. 23 (9-10), p. 927-931. doi:10.1016/S0079-1946(98)00121-9.

Jaggar, T. A., 1931. Volcanic cycles and sunspots, Volcano Lett., v. 326, p. 1-3.

Jensen, H. I., 1902. Possible relation between sunspot minima and volcanic eruptions, Journ. R. Soc. N. S. W., v. 36, p. 42-60,

Jensen, H. I., 1904. Possible relation between sunspots and volcanic and seismic phenomena and climate, Journ. R. Soc. N. S. W., v. 38, p. 40-90.

Kolvankar, V.G., 2008. Sun induces semi-diurnal stress on the earth surface, which trigger earthquakes and volcanic eruptions. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 47. Seismology Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Mumbai 400 085, India.

Livingston, W., Penn, M. J. and Svalgaard, L., 2012. Decreasing sunspot magnetic fields explain unique 10.7 cm radio flux. The Astrophysical Journal Letters, vol. 757, Issue 1, article id. L8, 4p. doi:10.1088/2041-8205/757/1/L8.

Lyons, C.J., 1899. Sunspots and Hawaiian eruptions. Mort. Weather Rev., v. 27, p. 144.

Madonia, P. and Gurrieri, S., 2005. Inguaggiato, S.; Giugliano, P.; Romano, P.; Spadaro, D.; Zuccarello, F Atmospheric Pressure Anomalies Recorded on Italian Volcanoes: Possible Relationships With Solar Activity American Geophysical Union, Fall Meeting 2005, abstract #A43C-0118 2005AGUFM.A43C0118M

Mazzarella, A. and Palumbo, A., 1989. Does the solar cycle modulate seismic and volcanic activity? Journ. Volcanol. Geotherm. Res., vol. 39, no. 1, p. 89–93. .doi :10.1016/0377-0273(89)90023-1.

O'Reilly, J.P., 1899. On the dates of volcanic eruptions and their concordance with the sunspot period. Proc. R. Irish Acad., v. 5, p 392-432.

Smith, G. and McCracken, S., 2013. An analysis of heliospheric magnetic field flux based on sunspot number from 1749 to today and prediction for the coming solar minimum. Journ. of Geophysical Research: Space physics, v. 118, p. 7525–7531, doi:10.1002/2013ja019404.

Steinhilber, F. and Beer, J., 2013. Prediction of solar activity for the next 500 years. Journ. of Geophysical Research: Space Physics, vol. 118, Issue 5, p. 1861–1867. doi:10.1002/jgra.50210.

Střeštik, J., 2003. Possible correlation between solar and volcanic activity in a long-term scale Solar variability as an input to the Earth's environment. International Solar Cycle Studies (ISCS) Symposium, p. 23 - 28, Tatranská Lomnica, Slovak Republic. Ed.: A. Wilson. ESA SP-535, Noordwijk: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-845-X, 2003, p. 393 – 396.

Sytinsky, A.D., 1997. About planetary atmospheric perturbations during the strong earthquakes. Geomagnetism and Aeronomy, v. 37, p. 132-137.

Stothers, R.B., 1989. Volcanic eruptions and solar activity. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012), v. 94, Issue B12, p. 17371–17381, doi: 10.1029/JB094iB12p17371.

http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-1385-2.pdf

1990 年以降の地震とマグマ活動の全地球的増加とそれらに関係する太陽活動周期
Global increase in seismic and magmatic activities since 1990 and their relation to solar cycles

The Global Climate Stastus Report (GCSR), June 2014, p. 7-19. www.spaceandscience.net/id73.html

Dong Choi[1], John Casey[2], Leo Maslov[3] and Fumio Tsunoda[4]

[1] International Earthquake and Volcano Prediction Center (IEVPC), Australia. dchoi@ievpc.org

[2] Space and Science Research Corporation (SSRC)/IEVPC, Florida, USA. mail@spaceandscience.net; jcasey@ievpc.org

[3] Department of Physics & Astronomy, University of Northern Colorado, USA. lev.maslov@unco.edu

[4] Professor (Emeritus), Saitama University, Japan. Tsunochan2@gmail.com

（ 柴　正博［訳］）

要約：世界的な傾向と調和的に，南北アメリカの地震は 1990 年以降増加してきた．1990 年は太平洋縁辺の周囲に強い深発地震が現われはじめた年であり，その後，2010 年から劇的に増加した．特に 2014 年には，その第１四半期の記録で明らかなように，地震がさらに増加している．地震活動のこの全体的な増加傾向は，地球全体の地震活動の傾向ならびに 1990 年にはじまる太陽活動の減退期に一致する．

アリューシャンと北 / 南アメリカでの非常に強い火山活動（VEI　4+）のすべては，シュワーベサイクル（11 年）―高活動期の第２ピークと低下期を含む―の減衰期に起きている．けれども，同じ地域において，それらのいずれも増大期には起きていない．世界中の歴史的な火山噴火にも，若干の例外はあるものの，1600 年以降に同様の傾向がみられる．

この研究によって，地震と火山噴火によって表される地球のジオダイナミックス活動が太陽活動サイクルと逆相関するとの主張が強化された．2010 年以降の地震活動の突然の増加は地球の外核から強いエネルギー放出を意味し，それは，深まる太陽の冬眠に関係している可能性が大きい．

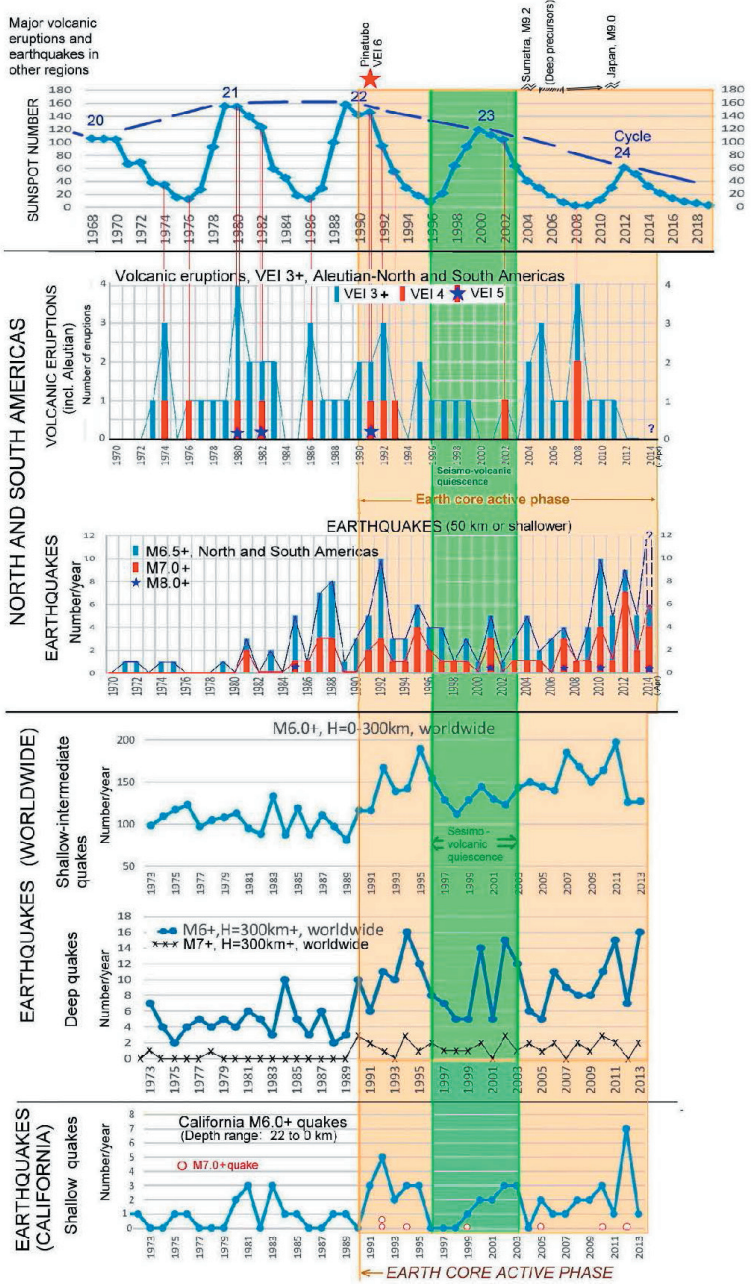


図１　太陽サイクル（上）とアリューシャン～北 / 南アメリカでの大規模な火山噴火（VEI 3+）（下）．火山データはスミソニアン研究所の火山プログラム（www.volcano.si.edu.）による．VEI3+ の火山噴火のほとんど，特に VEI4+ の噴火が，太陽サイクルが低下した谷の期間に起こっている．地球の核の活動フェイズは Choi and Maslov (2010)，地震－火山静止期は Choi (2010) and Tsunoda et al. (2013) による．2012 年以後の太陽黒点数は Solar Influence Data Analysis Center (http://sidc.oma.be) からとられた．下の３つのグラフは Choi et al. (2104) による．

地球の気候システムの自己組織化 対 天文学のミランコビッチ - バーガーの天文サイクル

Self-organization of the Earth's climate system versus Milankovitch-Berger astronomical cycles

Journal of Advances in Modeling Earth Systems, AGU, vol. 6, issue 1, doi: 10.1002/2014MS000312, 10-June-14.
科学的目的であれば無料で入手できる　*http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/%28ISSN%291942-2466*

Lev A. Maslov
University of Northern Colorado, Greeley, CO, 80639, USA　lev.maslov@aims.edu; lev.maslov@unco.edu

（ 柴　 正博［訳］）

要旨：後期更新世の南極の温度変化曲線は，2つの構成要素の中に分解される：それは「サイクル的」と「高い頻度，確率的」である．これらの構成要素のそれぞれにとって，サイクル的であり確率的な温度変化が明白であることが示される数学的モデルが発展している．しかし，それは相互に結びついた，それら自身の自己組織化にともなう過程である．循環的構成要素のモデルに対して，自動振動して一定の期間に自己組織化するプロセスに代表される普通の微分方程式のシステムが書かれた．これらの方程式は，変化するサイクル期間をともなう温度のより現実的な変化をモデル化できることが明らかにされた．確率構成要素のために，多フラクタルスペクトルが計算されて，そして重要なサインサイクル図の多フラクタルスペクトルと比較される．この研究の中では，適切な数学的モデルの物理的解釈と将来の気候発達の議論が行われる．

地球気候コーナー　GLOBAL CLIMATE CORNER

進行進行中の全地球的寒冷化　　GLOBAL COOLING UNDERWAY

掲載誌：*Principia Scientific Intenationa*l, http://www.principia-scientific.org/global-cooling- underway.html?utm_campaign=Newsletter_May_14_2014&utm_medium=email&utm_source=newsletter

（ 矢野 孝雄［訳］）

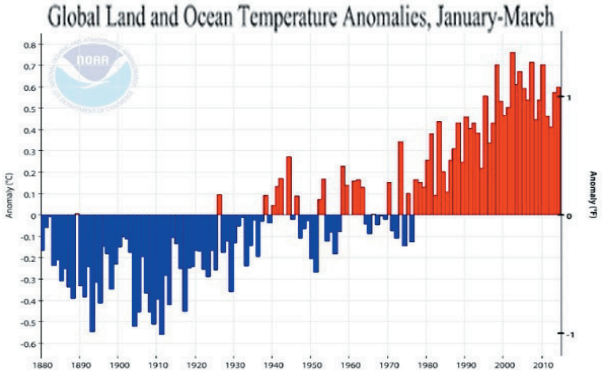
今入手できる2014年の最初の3ヶ月間の全世界気温データには，興味深い明瞭な傾向，すなわち寒冷化が認められる．もはや，それは単なる仮説ではない．2002年以降の毎年の第1四半期において，それは，合理的で顕著な統計的有意性をもつ事実として認識される．ここに，そのデータがある．

2002年以降のそのような気温低下傾向はp値＝0.097(r = -0.48)を示す．この値は,p = 0.10(90%: 統計的有意性として多くの気候研究に用いられる閾値）以下であり，物理および生物科学で一般にひろく用いられている標準的閾値p = 0.05にたいへん近い．統計的有意性は，パラメータあるいは非パラメータ傾向解析法にかかわらず，同レベルにある．

幾人かの読者はこの図を見て，1880年以降の全地球的気候データは，ほぼ70年毎にくりかえす寒冷期と温暖期からなる約140年間の安定した（温暖化でもなく，寒冷化でもない）周期性を示している，と考えるかもしれない．それは，確かにそのようにみえる．そうであれば，10年あるいは20年後には，すなわち2050年までには，1～3月の全地球的気温が"通常"にもどることが予測される．

Reaganが大統領になる以前から合衆国の冬期気温にまったく変化はないが，Guardian誌は次のように報告している．すなわち，最新の国家気候評価によると，気候変動は"明瞭で，実在する危険"な状態にあり，"アメリカ人は身近な変化に気づきはじめ，冬は一般により短く，より暖かくなっている"，と．

1980年以降の合衆国の冬期気温には，何らの傾向も認められない．くりかえして言うが，一定の傾向はないのである．3月に終わる年度でみると，1986年以降(実際には,おそらく1985年以降であろうが，警告論者たちに便利だろう）の合衆国の連続的気温変化には何の変化もない．それは，正しい．Bon Joviがヒット曲"You Give Love a Bad Name"をだし,Banglesが"Walk Like an Egyptian"と語りかけ，Madonnaが父親に説教をしないでと頼み，Robert



Palmer が "Addicted Love" にあった頃から，合衆国の年間気温に変化はないのである．

合衆国地質調査所の地球変動主任科学者である Virginia Burkett は，" すべての地域が温暖化しつつある " という．すべての，というのは本当だろうか？　そのように不正確であるのは，あまりにもひどいことだ．全 Ohio Valley 気候局は，1896 年以来，年単位でいかなる有意な温暖化も観測していない．全合衆国南部気候局では，1907 年以降には温暖化していない．全南東部気候局も，1896 年以来，温暖化を報告していない．

国家気候協会は，" 夏がより長期になり，暑くなっている " と主張する．より暑い夏？　1930 年以来，合衆国の 6 ～ 8 月平均気温に，そして，7 月と 8 月の平均気温にも，変化傾向はみられない．

3 月に終わる年間（より完璧なデータベースを利用できる）でみると，1997 年の統計的期間に全地球的温暖化は終わり，寒くなった．そして，2002 年以来，相関係数が実際にわずかながらも負になり，統計的証拠も，全地球的温暖化ではなく，寒冷化を示すものが多くなった．Western Washington 大学の地質学の名誉教授である Don Easterbrook は，全地球的気温について同様の予測を行っている．

気候科学者は「南極氷床が,今後 10,000 年にわたって海面を上昇させつづけるかもしれないほど制止しようのない融解の崖っぷちにある」と明確に警告している南半球では，2003 年以降は年間寒冷化傾向がより確実である（r = -0.22 で,p 値は非パラメータ研究によると 0.34 まで小さくなる）．

気候変動を報告する質のわるい科学が蔓延している．" 全地球的気温（気象観測点）" の図を私たちは発見した．惑星表面の 71% を海洋が占めていることを考えると，気象観測点だけから求められた " 全地球的気温 " が何らかの意味をもちうるのだろうか？　答えは，否である．全地球的気温について語るには，海陸のデータが必要であり，観測点のタイプと位置によって適切に重みづけすることが求められる．データそのものは正確であると仮定されているが，気候にかんするさまざまな懐疑的ウェブサイトがくりかえし指摘していることは，分析だけではなく,データそのものも疑う必要があることである．提案された気候変動への合意形成が 2015 年に迫っているので，到来しつつある全地球的寒冷期を否定すること，そして，基礎データにみいだされないヒステリックな無意味さが予期される．私たちにできることは，カナダ，オーストラリアおよび連合王国の中程度の保守的指導者たちがこのヒステリーの餌食にならないことを希望するだけである．それを変えるには，原則的な科学規範に立脚して，2015 年のあらゆる国際的気候とりきめも拒絶するために，万全の力を蓄積しておくことが必要である．

残念ながら，多くの資本主義者仲間 - 多数の化石燃料企業そのものの構成員を含む - は，真実のために闘うことなく，ヒステリーに乗じて自らの資金的便益の拡大をはかりはじめている．

じつに危険な時代である．今後の２年のうちに，アメリカ経済の優位性が世界規模で終焉を迎えるのみならず，共産主義中国にトーチを渡すことになる．公共の関心のなかで育まれた厳密で客観的な科学が死ぬほどの苦しみに遭遇することになろう．

オバマ大統領への公開書簡　OPEN LETTER TO PRESIDENT BARACK OBAMA

（ 小泉　潔［訳］）

バラク H. オバマ大統領

The White House

1600 Pennsylvania Ave. NW Washington, D.C. 20500

2014 年 4 月 28 日

主題：危険な寒冷気候へのアメリカの準えの要望

親愛なる大統領殿,

おはようございます.

歴史的で潜在的な危険性をはらんでおり，すでに始まっている新たな寒冷気候に十分に備えて防ぐための行動を，アメリカ合衆国が緊急に起こすことを心から要望するために，この手紙を送ります．

この要望は，地球の気候の現実の状況のほかに，気候変化の要因の過去数十年以上にわたる調査研究によって裏付けられています．以下に，その調査研究の鍵となる発見を，広く受け入れられるか，あるいは容易に正当性が認められうる多くのことがらの一部として提示します．

１．そもそも太陽によって引き起こされる地球温暖化の時代は終わりました．今では，地球大気の対流圏の気温が実質的に上昇することもなく 17 年以上が過ぎようとしています．これは，皮肉にも，国際社会がこの期間の大部分にわたって地球温暖化に取り組みながら何も起こらなかったことを意味しています．それ故，地球温暖化は終わったことを認めることが重要です．地球温暖化はなかったのです！

２．地球は実際には寒冷化しており，それは何年も前からです．この期間の大気圏のように，世界の海洋は 11 年間にわたって寒冷化してきました．SSRC（Space and Science Research Corporation）によって観測され，季刊誌 GCSR（Global Climate Status Report）に記録された 24 の気候パラメーターの内，18 パラメーターが顕著な傾向として地球寒冷化を示しています．残りの６つは，これからの５年以内に＂寒冷化＂状態に変換するはずです．すでにいくつかの海洋域がより寒冷になっている所で，海水準が低下し始めています．SSRC は，今年～ 2020 年代に始まり，30 年間継続する世界的海面低下を予測してきました．これらの傾向に変化があれば，SSRC がまずもって報告するでしょう．しかしながら，実際の地球気温ともっとも信頼のおける気候モデルに基づくと，地球の現在の気候状況についての結論－新たな寒冷気候が到来した！－があるのみです．

３．過去の出来事（ほぼ 200 年前と 400 年前）につづいて最近の寒冷な時代が始まっているとすると，我々は大規模な全地球的農作物被害・社会的政治的激変や生命の損失を被るでしょう．これらの悪影響はすぐにも始まり，少なくとも 30 年間は続くと見られます．我々には準備期間がほとんどありません．尊敬するロシアの科学者は，すでに新＂小氷河期＂が今年始まるだろう！，とまで言っています．これは，進行する寒冷気候が我々人類にとって深刻な脅威であることを意味しています．

４．新しい寒冷気候は，太陽の 206 年周期によって地球にもたらされます．私は独自にこの周期を発見し，2007 年に発表しました．多くのほかの研究者もこの周期を発見するか，寒冷気候が来ることを予測したりしてきましたが，彼らは無視されてきました．この 2 世紀にわたる周期のなかの寒冷期は太陽に起因し，惑星を暖めるエネルギーを劇的に減少させます．この太陽が引き起こす寒冷気候期を，SSRC は＂太陽冬眠＂と呼んでいます．注目すべき重要な事実は，NASA・アメリカ空軍や国家太陽観測所が，太陽活動が衰弱しつづけていることを確認していることです．私が予測したとおり，寒冷化が起きたのです．太陽が自然に反復する不吉な変化は止められないことを認識する必要があります！

５．太陽活動休止期に関する研究は，また，それらが壊滅的な地震や火山噴火の大半と同時に発生し，火山噴火はすでに進行している寒冷化の度を加えているとみられます．

さらに，アフリカ系アメリカ人やほかの少数派，ならびに貧困層が，新しい寒冷期と貴方の気候政策がおもな原因となって苦しんでいることを，私は確信しています．この主張はこれらの市民の多くが，食糧をアメリカ政府に大きく頼っているという事実によって支持されます．そして食糧は，寒冷気候が農作物に害を及ぼし始めるにつれて不足し始めるでしょう．これは，貴方の気候政策の結果を意味しており，彼らは寒冷気候が到来する最悪の時代に，日々の食糧を準備することも、手に入れることもできなくなるでしょう．さらに，貴方の気候政策は，貴方の言葉を引用するとエネルギーコストを＂急上昇＂させるでしょう．それらのエネルギーコストの増加が，少数派や貧困層を襲うことになるでしょう．

まとめると，多くのアメリカ国民の命が，新しい寒冷気候の到来，信頼するに足りない間違った人為的地球温暖化学説への貴方の変わらぬ支持，そして，合衆国が次の気候変化へ備える行動を貴方がとらないことのために，危うくなるでしょう．

＂加速している＂地球温暖化（そのようなものは存在しない）における貴方の公式見解とは関わりなく，合衆国大統領として貴方は，我々 3 億 1700 万市民の快適な生活に全責任を負っていて，十分に説明しなくてはなりません．

それ故，ほかのことはともかく，新しい寒冷気候についてのこの真剣な警告を，貴方は公式に受け入れるべきです．　よろしくお願いします．

John L. Casey
President Space and Science Research Corporation
Orlando, FL 32860. www.spaceandscience.net

ニ ュ ー ス　NEWS

″グローバルテクトニクスにおける他の考え方″セッション報告
ヨーロッパ地球科学連合［EGU］全体会議オーストラリア，ウイーン，2014 年 5 月
Report of the Session on Alternative Thoughts in Global Tectonics at
European Geosciences Union General Assembly　Vienna, Austria May 2014

（矢野 孝雄［訳］）

EGU 全体会議 2014 は成功裏に組織され，口頭発表 4,829 件，ポスター発表 9,583 件，ならびに PICO（Presenting Interactive COntent）発表 483 件があった．こうした，126 のポスター要旨・討論とともに，567 の個別学術セッションが開催された．その１つのセッション（T.S. 1.3）は，"グローバルテクトニクスにおける他の考え方"と題して，グローバルテクトニクスの新概念を議論するために，2014 年 5 月 2 日に開催された．

このセッションでは計 20 編の論文が受理され，EGU 規則にしたがって，そのうちの６件が口頭発表された．他の論文はポスターセッションで発表された．

Karsten Storetvedt は，南北アメリカとアフリカ－ヨーロッパとの間にあったかつての厚い大陸地殻が，慣性力に駆動された中生代の捩れ変形によって薄化し，アイソスタシーによって海盆へ沈降したことを説明する大西洋形成の新モデルを発表した．氏は，惑星脱ガスをきっかけにはじまる地殻下のデラミネーションモデルを示し，基盤に広く発達する直交断裂系の１つに沿って大陸縁が形成されたと説明した．全地球規模でみると，上部マントルへの地殻物質の移動によって自転がやや加速し，その結果，地球全体のリソスフェアを西向きに捩るように変形させた．このようなアルプス時相の捩れ変形において，かつての直交断裂系を形成する密な断裂網が海洋をよこぎる大規模な横ずれ断層群となり，大西洋海盆の形状をいくぶん変形させた．初期の大西洋では，両側の大陸縁の平行性は今日よりももっと厳密であったが，その後のアルプス時相のリソスフェア回転によって，北および南大西洋の南へ開いた扇型形状が形成された．海洋底拡大は証明されず,また，今日の大西洋をとりかこむ諸大陸が融合したこともない．古地磁気データは，ウェゲナー型の大陸側方移動を必要とせず,大陸の原位置回転だけを求める．

超大陸サイクルが人為的産物であるとの考え方を発表した J. Marvin Herndon は，マントル対流は物理的には不可能であり，それもとづく疑問に満ちたパラダイムによる観察結果を再解釈しようとした．氏は，"全地球減圧ダイナミクス"とよばれる，これまでとは基本的にちがった，新しい包括的な地球科学パラダイムからの考察を展開した．このダイナミクスは，地球力学を理解する基礎であり，また，超大陸サイクルの想定を不要にする．

Nina Pavlenkova は，供給される流体とその運動という観点から地球の大陸性および海洋性リソスフェアの相違を指摘した考え方を携えて登壇した．彼女の岩石構成にしたがうと，流体に飽和したマントル物質から長期間にわたって，シリカ，アルカリ，流体，および不適合元素が地殻へ移動することによって大陸地殻が形成され，同時にマントル岩石が枯渇することが提唱された．地球深部における流体の水平対流が，大陸の下での物質集中をひきおこし，そこでは，規則的なリフト系，全地球的な震央帯や火山帯，などのようなリソスフェアの不安定点から脱ガスが起きる．造構運動の原因を，コアからの地球脱ガスとそのダイナミクスに求めたのである．

Hatam Guliyev は，変形集中にかかわる物質の密度変化に注目して，地球ダイナミクスを説明した．現在の地球進化様式として，固化，融解，相転移，剪断硬化帯（waveguides）の形成，などの地球力学作用をとりあげた．固化メカニズムが，実際にも圧縮変形作用にかかわっている．地球のさまざまな不均質性，とくに，変形の不均質性が，地球の定常的質量あるいは融解状態を不安定化させる．それゆえ，変形の不安定性が，地質媒質に幾何学的構造をもたらす．これらの構造が別の希釈物質の集中をもたらすので，外核流体がマントルのさまざまな部分の変形作用に直接に関与することはない．地球内部では現在も顕著な地球化学的不安定が存在し，それによって，観測される現在の構造が形成され，内部力学が作用している．

Valentino Straser は，マントルとリソスフェエアの間に発達する渦流に関する考え方を提議した．氏によると，地球の内側殻での温度差が対流運動を駆動するという．その結果，大規模な層流と，地球の限定的領域に集中する小規模な乱流が生じる．対流運動には，コリオリ力によって，全体として螺旋状の上昇運動が発生する．それは，リソスフェア殻と相互作用する大気圏のサイクロンと同様な効果である．上昇する渦運動が，ある特定の地域に限って発生すると，過去そして現在も，地殻の特定点に捩れ変形をもたらし,地表の広域的応力場が決定される．

Mikhail Kholmiansky は，ロシアの Kara 海と Barents 海に注目して，深部構造と造構作用が海洋生態系に影響することを示し，注目を集めた．氏は，重金属供給，活動的腐食作用，活発な地震活動，地震由来の活発な地表沸騰，自然電場など，生態系への内因的危険性をリストアップした．これらの脅威によって，無脊椎動物が死滅し，遊泳－底生生物と補食動物の個体密度が減少し，Kara 海と Barents 海で深海生物が急減している．海底での強い腐食作用は，鉱化塩水が深層から多量に滲出していることを示す．両海域は現在の諸学派が考えているように安定した卓状地ではなく，深層では大陸造構作用が活動的に働いていることを，生物挙動が物語る．

口頭発表セッションの座長は，Biju Longhinos 博士と Vladimir Anokhin 博士が務めた．このセッションに，会議参加者 54 名が出席した．PSD 16.27 セッションの座長は Karsten M. Storetvedt と J. Marvin Hendron であり，次の論文が発表された．

・科学的真実をめぐるEGUでの厳しい討論（Lubor Ostrihansky）
・震源帯と海洋中央海嶺―プレートパラダイム以外を展望して（Vladimir Anokhin and Mikhail Kholmianskii）
・地殻磁場異常とグローバルテクトニクス（Karsten Storetvedt）
・GIS ENDDBデジタルモデルの地震活動と衝突クレータの典型的構造要素（Anna Mikheeva）
・重力的巨大物体の地表効果（Anna Mikheeva and Konstantin Khazanovitch-Wulff）
・ダイトリームの場と帯の独立した造構的位置（Konstantin Khazanovitch-Wulff）
・アイスランドの地殻－再評価（Biju Longhinos）
・地球テクトニクスについての知識工学的研究（Cyril Pshenichny）
・地球および月における放射性元素分布の相違とその造構作用への意義（Girish T Easwaraiyer, Varnana Mohana Kumar, Thara NaliniSathyan, Anjana Panicker, and Biju Longhinos）
・造構渦の世界的環状配列―地球流動の再検討：西太平洋縁における南方環状電流によるEMプラズマと造構作用との結合（Bruce Leybourne and Christian Smoot）
・グローバルテクトニクスの新概念を創出する基盤（Vladimir Anokhin）

このセッションにつづいて，参加者の間で短時間の会合がもたれた．この会合では，グローバルテクトニクスのさまざまな（代替の）学派の研究者の間で考え方を定期的に交流すべきである，との提案があった．この方向での取り組みは，教義にもとづかない科学という精神をもっている現行のNCGT, Transect，および他の組織と協調する必要がある．Valentino Straser博士は，2015年にイタリアで開催されるEDPD-2（会場と日程は6月に決定）での主宰を，そして，Hatam Guliyev博士は2016年にアゼルバイジャンで開催されるEDPD-2での主宰を提案した．参加者たちは，NCGT NewsletterからNCGT Journalへの格上げを歓迎していて，このジャーナルを成功裏に運営しているDong Choi博士と彼の編集チームに心から感謝した．

T.S.1.3において，科学の根本的前提に関するセッションを設けることに理解を示されたSusanne Buiter博士（NGUチームリーダー，EGUテクトニクスと構造地質学部門責任者）にお礼申し上げる．彼女の支援は，European Geo-science Union会議2014における本セッションの組織に大きな援助となった．

Dr. Biju Longhinos
biju.longhins@gmail.com
EGU全体会議2014，TS1.3セッション招聘者

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．

（以下，省略）

NCGジャーナルについて　ABOUT THE NCGT Journal

グローバルテクトニクスの新概念ニュースレター（現在のNCGTジャーナルの前身）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年のワシントンにおける第28回万国地質学会に連携してワシントンのスミソニアンスミソニアン研究所で開催された，それ以前のシンポジウムにちなんでいる．NCTGニュースレターは，2013年にNCGTジャーナルに改称された

目的は次のとおりである：

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．