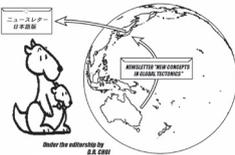




日本語版 Vol. 3, No. 2 (2015年10月) ■ Print edition ISSN 2186-9693

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 (lhisink1947@icloud.com); Leo MASLOV, USA (lev.maslov@unco.edu); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dp@dauidpratt.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	アメリカ合衆国中央部, ニューマドリッド地震帯: 新しい戦いの最前線	[小松宏昭 訳]	2	
■ 編集者への手紙	海洋化論争の再考	Karsten STORETVEDT	[矢野孝雄 訳]	3
	氷河性地殻均衡回復説は疑わしい	Richard GUY	[小泉 潔 訳]	5
■ 原著論文				
	The required science for a ready term – Geonomy Lidia IOGANSON 準備された用語 – ジオノミーにふさわしい科学 [久保田喜裕 訳]		6	
	Essential points of the advection-polymorphism hypothesis Vadim GORDIENKO 水平対流 – 多角形状仮説の核心 <要旨> [小松宏昭 訳]		11	
	Tectonic history of Jeju Island, Korea Sun YOON, Cha Yeon JUNG, Weon Hak HYUN and Shi Tae SONG			
	韓国・チェジュ島の構造運動史	[小泉 潔 訳]	11	
	Solar wind ionic variation associated with earthquakes greater than magnitude 6.0 Valentino STRASER and Gabriele CATALDI			
	マグニチュード 6.0 を上まわる地震を起こす太陽風のイオン多様性 <要旨> [久保田喜裕 訳]		14	
	Celestial bodies: relation between ubiquitous tectonic dichotomy and universal rotation Gennady G. Kochemasov			
	天体: 遍在する二分性と普遍的な自転との関係 <要旨> [矢野孝雄 訳]		14	
	Polygonal crater formation by electrical discharges Wayne BURN 放電による多角形クレーターの形成 [赤松 陽 訳]		15	
	Evolution of the tectono-magmatic pulsation in the Earth's history Valery ERMAKOV			
	地球史における脈動的造構 - 火成活動の進化 [矢野孝雄・小泉 潔 訳]		35	
	The Darwin Rise and geomorphological-geological indications of focal systems on the Pacific Ocean floor Alexandr A. GAVRILOV			
	ダーウィン海膨と太平洋底に中心をもつプリュームおよび他のシステムの地形 - 地質学的意義 [矢野孝雄 訳]		43	
■ 討論				
	Giovanni P. Gregori comment on Stephen Hurrell Robert J. TUTTLE			
	Stephen Hurrell への Giovanni P. Gregori のコメント [山内靖喜 訳]		52	
	Robert J. Tuttle: Earth expansion and thick air for ancient birds James MAXLOW			
	Robert J. TUTTLE: 地球膨張と太古の鳥に対する濃い空気 [山内靖喜 訳]		54	
	Robert J. Tuttle: Earth expansion and thick air for ancient birds John F. RIGBY			
	Robert J. TUTTLE: 地球膨張と太古の鳥に対する濃い空気 [山内靖喜 訳]		56	
■ 随筆				
	Natural seismicity Peter M. JAMES 自然地震活動 [柴 正博 訳]		58	
	Migration of foreshocks and/or volcanic eruptions. The "Blot's migration Law" Giovanni P. GREGORI			
	前震および / あるいは火山噴火の移動 — "Blotの移動法則" — <要旨> [角田史雄 訳]		71	
■ 出版物				
	New Madrid Seismic Zone, Central USA Dong R. CHOI and John L. CASEY アメリカ合衆国中央部 New Madrid 地震帯 [矢野孝雄 訳]		72	
	The Earth's crust and upper mantle structure of the Northern Eurasia from seismic profiling with nuclear explosions Nina I. PAVLENKOVA and Galina A. PAVLENKOVA			
	核爆発地震探査による北部ユーラシアの地殻 - 上部マントル構造 [角田史雄 訳]		72	
■ 追悼	James Nelson Murdock Dale GLOVER and Charles HUTT [矢野孝雄 訳]		74	
■ 財政的支援について / ニュースレターについて			76	

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 TONICS 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, 編集者と編集部には責任はありません. 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 ])

## アメリカ合衆国中央部, ニューマドリッド地震帯: 新しい戦いの最前線 New Madrid Seismic Zone, central USA: a new battle front

アメリカ合衆国フロリダに設立された「The Space and Science Research Corporation」による2015年6月8日付の報道機関向け発表は、太陽活動の長期的低下期間（休眠期間）が到来し、かつて1811～12年に起こったマグニチュード8以上の地震と同じような地震が2017～2031年に再び発生するかもしれない、と報じた。報道機関向け発表はwww.spaceandscience.net. から自由にダウンロードできる。New Madrid地震の科学的要因の詳細はGlobal Climate Status Report(1-2015版)のChoi and Casey論文に記述されていて、同じウェブサイトで廉価に利用できる。この論文を希望する読者には、著者から無料pdfコピーを送ってもらうことができる。論文の要約と関連した総括的情報はこの本号のp.244-245ならびにp.251-252に掲載されている。

長期的警告を発表することになったNew Madrid地震の研究は、5つの確実な根拠に基づいている。1) 長期的太陽周期は今後30年以上つづく不活発期間もしくは休眠期間に突入した。それは1793～1830年のDalton小氷河期あるいは、いっそう悪い場合には、1645～1715年のMaunder小氷河期に匹敵する。2) 地震/火山活動と太陽活動周期との間に十分に確立された逆相関性。3) New Madrid地震帯で起こった最近の4回(1450年・1699年・1811-12年・1895年)の大地震の発生がそれぞれ、太陽活動不活発期(the Spöre, Maunder, Dalton, Centennial Solar Miniums)に発生したという事実。4) New Madridとミシシッピ渓谷中～下流部の構造的な位置は、エネルギー移送ルートあるいはサージチャンネルになった先カンブリア時代の背斜軸に位置している。5) 新しく考案された地震モデル—地震エネルギーの起源, 移送伝播, 貯留構造, 地震発生の引き金, 電磁気と惑星の影響—が, NCGT地質/地震研究グループによって開発された。

この研究は重要で、画期的なものである。今やわれわれは、最近の4回の地震がいずれもなぜ太陽活動の不活発期にNew Madrid地域で発生したのかをたやすく、また直感的に理解することができる。さら

に、この研究は、太陽活動が世界的気候をコントロールするのに決定的な役割をはたしていること、そして、太陽の活動が長期にわたって不活発になる期間に入ったことを裏書きしている。

しかしながら、この研究に適用された地質学的、気候学的モデルとその結果は、アメリカ合衆国政府の専門家の公式見解と政策—すなわちプレートテクトニクスと人為的地球温暖化—に真っ向から対立するものである。疑う余地のない証拠と人々の生活や社会の安定に重大な影響をもたらす起こりうる地震に直面し、この研究成果は深刻なジレンマに陥っている。われわれの論文を客観的に評価できる人物は皆無である。もしわれわれの論文を彼らが受け入れるとしたら、プレートテクトニクスと世界的な温暖化説の終結を受け入れなければならないだろう。しかし、もし彼らがそれを拒否するとしたら、彼らは長年にわたる批判と非難に向き合わざるを得ないだろう。私は、New Madrid地震に関する私たちの研究が、教義に縛られた学説や権威主義から解放された創造的科学の新しい時代を拓くことに貢献するであろうことを確信している。

上記のような地震の警報とは別に、New Madrid地震に関する研究は、複数の学問領域のアプローチが重要であることを証明した。それは、地質、地球物理、地震、天体物理、そして太陽の研究者による密接な協力によって成し遂げられたものである。同様にLidia Iogansonの時機を得た「地球学」に関する論文が今回のNCGTに掲載されている。この論文は、地質学、地球化学、そして地球物理学を総合した地球科学が提案されている。New Madrid地震に関する研究は、すそ野の広がった新しい段階を示している。私は地質学の将来が、BelousovやVan BemmelenやShadechzy-Kardossによって描かれた地球学の方角の中にあることを確信している。しかしながら、将来いかなることが起きようとも、われわれ地質研究者は野外での詳細な観察を通してわれわれの研究手段を磨いておかななくてはならない。われわれの地質学的洞察力は、コンピューターからではなく、地球そのものによって培われるからである。

# 編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

## 海洋化論争の再考 THE OCEANIZATION DEBATE REVISITED

Karsten M. Storetvedt

Institute of Geophysics, Univ. of Bergen, karsten.storetvedt@uib.no

( 矢野 孝雄 [ 訳 ] )

この雑誌では、最近、塩基性化作用による大陸-深海の基盤転化に関する議論が行われている。この議論は、塩基性化地殻変換モデルが著名なロシア人地質研究者 Vladimir Belousov 教授によって発想された、とする Linda Ioganson の主張に端を発している。1960年代に私がまだ若い地球物理研究者であった頃に、世界中の海洋基盤は薄化-化学変化した大陸地殻である、つまり、現在の大陸地殻は地球全体を覆っていた初原的な珪長質殻がその場に残留したなごりである、との考え方を広めた人物がまさに Belousov 教授であった。大陸漂移および海洋底拡大という考え方が討論の最前線にあった頃、とくに地球物理学分野の仲間の間では、ベローソフの反移動論という反抗は反動的なものとされ、実際にも、唾然とする反応をもって迎えられた。プレートテクトニクスが全地球テクトニクスにおける主流パラダイムになった1970年代後半までには、海洋化モデルは、その生来の不確かさのために世の中から忘れ去られることになった。

私が地球テクトニクス学説史の総論の著作に専念していた1990年代に、もうひとりの著名な地質研究者 Joseph Barrell がすでに1919年に地殻の海洋化モデルを提出していたことを、すぐに発見した。1960年代に Belousov によって公表されたものと基本的に同じ Barrell の地殻発達モデルを、最近の手紙 (NCGT, v. 3, no. 1, 2015) で概説した。それゆえに、私は Barrell をこの提案の創始者とすべきであると論じた。急増した海洋底の地球物理的事実を Belousov が説明しえないことがはっきりした1960年代後半~1970年代の時代を背景に、氏の海洋化作用の力強い提唱は極度の困難に陥った。Linda Ioganson の回答 (NCGT, v. 3, no. 1, 2015) から判断すると、地殻の海洋化作用に関する Barrell の研究に彼女が衝撃をうけたことは明らかである。彼女は、Belousov が主張したモデルが Barrell の塩基性化モデルにかなり合致することを認めながらも、Belousov が Barrell の研究 (下記参照) に気づいていなかったにちがいないと推察した。ところが、彼女の回答の大半は、私への個人攻撃に終始している。このような「ボールのかわりに人を打つ」戦術は、

周知のように、議論から逃避するときの策略である。

Linda Ioganson の回答は、まず、この雑誌における私の広汎な考察について言及する。彼女の見解によると、私の考察は「科学界の迎合的多数者の犠牲者として、なおかつ、もっとも包括的な地球テクトニクス仮説の創始者として自らを位置づけながら、彼のその意見を汚している」という。つづいて彼女は、私のあらゆる考察が「Storetvedt 自らの”レンチテクトニクス”仮説の価値をさらに強調する機会にすぎない。そのような自己宣伝が多数の文献を引用することによって行われ、それらの文献に通じている事は、科学的議論に対するより適切な研究に適合するように Storetvedt を教育し、尊大な論調を避け、氏自らの科学的成果を穏当に評価しているのは、奇妙である」と言う。

この悩ましい緒言がまずもって私に告げていることからは、私の議論がいくつかの痛みに、そして、おそらくは”製作中の科学”に関するいくつかの好ましくない感覚に触れた、ということである。Linda Ioganson は、私が Belousov の研究を無視していることに驚いたというが、実際私は、とくにユーラシアのテクトニクスに関する Belousov の重要な地質学的研究を論議する際にいかなる背景や意図ももっていなかった。私は、唯一、氏の海洋化モデルについての強力な主張と、それが直面している現在の海洋地球物理データの問題に関心をもっているだけである。西側の地球科学界では、Belousov は地質学の重鎮であり、大半の研究者にくらべてはるかに広く広域的/全地球的テクトニクスに通じていたが、固定論にもとづく全地球テクトニクスという点では氏が道を誤ってしまったことは広く知られている。Belousov の友人 Victor Sholpo との会話を通じて私に伝えられたのは、私の最初の全地球テクトニクスに関する統一見解 (Storetvedt 1990) がプレートテクトニクスに比べるとはるかに少ない移動論的要素でもって、海洋の構造と地球物理特性を説明できるということであった。そのような情報が知れわたることが、Linda Ioganson には受け容れがたい自己宣伝にみえるのであろう。

彼女は、1975年にグルノーブルで開催された IUGG 全体会議の席上での Belousov に関する唯一の科学的考察 (NCGT, v. 1, no. 3, 2013) を著した記事を読み返すべきである。私がノルウェー人であることを氏が認識した後、私たちの友好的会話はすぐに終りを迎えた。これは、氏は科学的目的でその少し前にノルウェーを訪れたが、ノルウェー地質学界の要人に会う機会がえられなかったからである、と私は理解した。氏が無視されたことに傷つき、ひどく動転したことは明らかであり、そして、氏のノルウェー訪問について何も知らない若い地球物理研究者であった私は、席を立ち、私の同国人たちの愚かな行動を非難せざるをえなかった。これは、科学と人格—それは、科学研究の実際を理解するうえでたいへん重要である—との間に密接なかわりがあることを示している。

この雑誌へ投稿した私の手紙とエッセイでは、科学をありのままの姿として次のように記述した: 観察、確立された観点と手法、盲目的信仰、専門性の障壁、および、改革への抵抗、これらが織り合わさったものが科学である。この混合物に加えて、私たちには、希望的観測という共通する性癖にしたがった天性の人間の複雑性—競争心、嫉妬、錯誤、便宜的省略、国家的自尊心、社会政治的策動など—が備わっている。とくに、科学哲学者 Paul Feyerabend (1975) が知識の最前線をおし拡げる場で見いだすことができた唯一の規則性は、” 何ごとも許される ” ということであった。実際の科学の歴史は、舞台裏での混沌とした行動に満ち満ちている。

さらに、ひろく知られているように、ほとんどの科学者は科学現場で解明された混沌とした混合物を敬遠し、確立されたパターンの方法論と学習した合理性を好む、すなわち、できあがった科学を研究することにひどく熱心である (Latour, 1987 と比較せよ)。それゆえ、知識の大きな進歩はつねに戦いであったことが、容易に理解される。一般に、新しい基本概念は、十分な意思力と勇気をもった比較的少数の個人によって創出され、発展させられてきた。しかるに、科学者の大多数は埒外にいて、彼らの一部はひどく抵抗した。

ある確立された研究者集団は、科学に秘められた無政府状態を詳らかにすることは挑発であると感じるのが常であった。研究者というものは、高貴で、公平で、そして、合理的な伝統の中に自らをおいて、パンドラの箱の秘密の内容物を問うことは、正直な努力の価値を落とすことすぎない、という態度を好む。Michael Brooks (2012) は、20世紀の著名な科学者の人間性に関する著書で、彼らの謙虚さを表明した主張がまったくの欺瞞であると述べ、次のようなわかりやすい一例を記述した。「Newton は謙虚ではなく、彼は [他の] 巨人たちの肩の上に

乗ることによって大きな成功をおさめたというのが、[中略] 真相であろう。彼の研究分野において Robert Hook や Gottfried Leibniz のような他の人たちが画期的進歩をうちたてたときに、Newton は、それらの研究への信頼を否定するために残忍な戦いを展開した。」と。

Belousov は、Barrell とは違って、海洋の地殻と上部マントルの近代的地球物理学的研究の恩恵を受けたが、氏の研究は、海洋化作用概念の物理-化学的メカニズムに関してほとんど前進をもたらしていない。したがって、この発見の名誉は Joseph Barrell に帰するはずである、と私は結論している。とはいっても、議論の余地のある案件がある。Belousov はなぜ Barrell の研究に言及しなかったのか? Ioganson 博士は、Belousov が Barrell の研究に言及しなかったもっとも単純な理由は、彼はその存在に気づいていなかったことに違いない、と示唆した。これは、信頼できる説明ではない。

Belousov と同様に、Barrell は地殻の脈動的運動、惑星内部の駆動機構、ならびに、結果としてもたらされる地球テクトニクスに興味をもっていた。Barrell は、アセノスフェア—これは彼が創出した用語で、剛体のリソスフェアの下にある塑性的であると考えられる領域帯—から揮発性物質が上方浸透するために、それは鮮明に規定されず、したがって、アイソスタシー補償深度は、Pratt モデルにもとづく Hayford-Bowie (1912) の計算で前提されたように均一ではない、と述べた。Barrell の考えによると、地殻の鉛直方向の脈動は、アイソスタシー補償帯の下での鉛直方向の物質移動と侵食・堆積・地震および他の造構運動のような表層現象の結果であり、内部作用へのまさに受動的応答であるという。Barrell は 20 世紀初頭の数 10 年間に活躍した北米の地球力学研究者であり (1919 年に不慮の死去)、テクトニクスの根本問題を研究していた。1962年に発行された Belousov の著書—“Basic Problems in Geotectonics”—は、“Rhythms and the Measurement of Geologic Time” (Barrell 1917) と題された Barrell の 50 p. の論文に言及していて、Barrell を知っていたことは明らかである。この著書で Belousov は多くの西側の科学者たちについて述べているが、Belousov は自らの研究テーマに密接している Barrell の研究にほぼ完全に沈黙し、Barrell を無視したのはなぜだろうか?

1960年代前半以降、私の研究活動はヨーロッパの古地磁気学という狭い分野に限られ、1990年代前半になっても私の全地球的地質学の知識はごく限られていた。しかし、私の新しいテクトニクス学説 (全地球的古地磁気データの再検討にもとづいている) と地球進化を主題とする私の著書のために、歴史的に提案されてきた重要な全地球学説を総説する

ことが必要になった。しかしながら、この研究はかなり困難で、多くの時間がかかった。全地球的地質学において（他のすべての科学分野と同様に）、根本的課題に専念した科学者の数はかなり少なく、限られた数の書籍や総説論文の文献リストにしたがって、私は時代を遡って研究を行った。その途上で、Joseph Barrell や Damian Kreichgauer のような人々の研究をすぐに発見した。彼らについて、それ以前には、私は何も知るどころがなかった。私は、Joseph Barrell—Yale の地質学教授でたくさん著作を残した—が全地球理論と地質学史の真の研究であることをすぐに見いだした（たとえば、Barrell 1914, 1917, 1918a, b および 1919 を参照）。

こうして、出版物のすべてを読むまでもなく、必要な情報を得ることができた。いずれにしても、地球科学におけるほとんどの論文は伝統的に記載的で、野外調査に関係するものであり、そのため全地球力学—造構学説の創出にはほとんど重要性をもたない。したがって、私（1人の地球物理研究者）は、それほど努力をばらうことなく必要な情報を得ることができ、その際に、Belousov がその研究経歴のほとんどの期間にわたって著しく広域にわたる地質学や全地球地質学にもっとも重要な関心をよせていたことを容易に理解できた。Linda Ioganson は、Belousov がなぜ Barrell の研究を無視したのかという窮地を脱するための簡便な方法として、「すべての科学文献を読むことは物理的に不可能である」と論じた。私はそのような場当たりの合理化を選択したことはない、というのが私自身の経験である。

創造的科学が、日曜学校のような代物であった試しはない。パラダイムの大きな前進は、比較的少数の個人による非慣習的思考や新しい発見から生まれ、2, 3の創造的科学者の出現が他の多くの科学者の没落を招く。Michael Brooks (2012) は、科学の最前線における戦いを次のように適切に描写した。「あなたは同僚から、あるいは、目上からさえも、見く

びられてはならない [中略]。あなたは、そのシステムを打ち負かす方法を発見する。というのは、科学が柔和なものでも、温和なものでもないからである。それは血みどろの戦いであり、考え方そのものや革新は適者生存則に従う。すぐれた科学者は、仲間の“名声”を打ち倒し、傷つけ、そして破壊しようと努力しなくてはならない。」と。パラダイム科学では、科学的命脈は安泰なものではない。

## 文 献

- Barrell, J., 1914. The status of hypotheses of polar wanderings. *Science*, v. 40, p. 333-340.
- Barrell, J., 1917. Rhythms and the measurements of geological time. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v. 28, p. 745-904.
- Barrell, J., 1918a. A century of geology – The growth of knowledge of Earth structure. In: *A Century of Science in America, with Special Reference to the American Journal of Science, 1818-1918*. New Haven, Yale Univ. Press, p. 153-192.
- Barrell, J., 1918b. The growth of knowledge of Earth structure. *Am. J. Sci.*, v. 196, p. 133-170.
- Barrell, J., 1919. The status of the theory of isostasy. *Am. J. Sci.*, v. 198, p. 291-338.
- Brooks, M., 2012. *The Secret Anarchy of Science*. London, Profile Books, 311p.
- Feyerabend, P., 1975. *Against Method*. London, Verso, 296p.
- Latour, B., 1987. *Science in Action*. Cambridge (MA), Harvard Univ. Press, 274p.
- 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.
- Wegener, A., 1966 (1924 & 1929). *The Origin of Continents and Oceans (reprinted)*. London, Methuen & Co, 248p.

---

## 氷河性地殻均衡回復説は疑わしい

## THE GLACIAL ISOSTATIC REBOUND THEORY QUESTIONED

Richard Guy

Northwest Territories, Canada

richardguy9@gmail.com Tel: 867-445-8012

( 小泉 潔 [ 訳 ] )

---

地殻均衡回復学説 (Isostatic Rebound Theory) と氷河期仮説 (Ice age hypothesis) に重大な関心をもって注目下さるよう、私はすべての思慮深い地質研究者にご援助をお願いする。

“隆起海岸” についてのダーウィンの見解は間違っているというのが、私の確たる意見である。ダーウィンは陸地が海から上昇してきたと考えた。彼は海水準が一定高度にあり、決して変化しないと想定した。安定した海水準という概念は、ダーウィンの時代における思想家の信念であり、遺憾ながら今日まで社会通念として言い習わされてきた。この考え方にもとづくと、隆起しているのは陸地であるに違いないとの想定はダーウィンにとっては当然であった。もちろん海面高度の低下はあり得ない。さらに現在の考え方に基くと、海面高度は当然永久に固定されていると仮定されているダーウィンの観察のような論争はない。それ故、ダーウィンの推論は間違っている。

ダーウィンが、彼の受け入れられうる観察をしていること疑っても仕方がないが、間違っているのは彼

の結論である。推論が当時のほかの思想家や科学者に受け入れられ、やがて地殻均衡回復説を誕生させたことが問題である。

地質学をかじった程度の農学者であるジェマーソンと魚類を含めて何事にも手を出した氷河学者であるアガシーは、ダーウィンの推論を丸ごと信じ込み、単純に次のようにその理論を述べた。“陸地が海から隆起した理由は、昔の氷河時代に氷と氷河によって沈降していたためであり、現在氷と氷河は溶けてしまい陸地が回復しているためである”

私は、全理論に真剣に目を向け、ダーウィンの推論を検証するよう地質学者の仲間に質問している。最も重要なことは、歴史時代と先史時代から現在までの海面高度を調査し、不可解な海退中の最近 50 年に私がしたことを調査することである。Richard Guy による“不可解な海退”と名付けた [www.YouTube.com](http://www.YouTube.com) に掲載された私の 17 巻のビデオシリーズをご覧ください。ウェブページ: <https://xbraille.wix.com/receding-seas>

## 原著論文

## ARTICLES

### 準備された用語—ジオノミー (geonomy) —にふさわしい科学 THE REQUIRED SCIENCE FOR A READY TERM - GEONOMY

Lidia IOGANSON

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

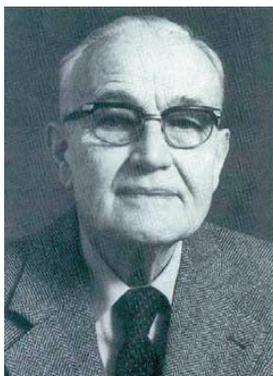
(久保田 喜裕 [訳])

**要旨**：地質学と地球化学、地球物理学を統合する総合的な地球科学の名称である“ジオノミー”の用語の歴史についてレビューする。多くの支持者がいるにもかかわらず、“ジオノミー”という用語をすべての人々が受け入れるには至っていない。その一方で、暗黙の了解を得ているこの統合地球科学は、地質学の問題だけではなく、環境問題の解決にもその必要性が増している。

**キーワード**：統合科学、地質学、地球物理学、地球化学、地球科学、ジオノミーからのアプローチ、統合化された研究方法、21 世紀の科学

20 世紀の中頃、国際地質学界では、ある特定の概念に関わりなく、あらたに統合された地球科学—ジオノミーを示す特別な用語の導入といった、とりわけ重要な議論がなされた。事実、“ジオノミー”の用語は、18 世紀以来、科学的議論の場で知られてきた。Van Bemmelen (1969) によれば、古くは、地質学や鉱物学・鉱床学の理解を結びつける用語として、Fuchsel が 1761 年に使用した。Verner は 1780 年に、Gebirdkunde (山脈についての理解)

に代わって、この用語を使用した (Van Bemmelen, 1969)。19 世紀には、地質学の用語として使用された。ロシアの哲学者 Grot (1904) は 1884 年に、第一段階は記載学としての地理学、第二段階は歴史的側面をもつ地質学、そして、“ジオノミー”の用語を地球科学の発展の第三段階と規定することを提唱した。彼はまた、ジオノミーは地球の発展法則を確立するための 20 世紀の地質科学であると信じていた (Lapo, 2006 ; Poka, 2005)。



R.W. Van Bemmelen  
(1904-1983)



V.V. Belousov  
(1907-1990)



E. Shadeczky-Kardoss  
(1903-1984)

20世紀前半, “ジオノミー”の用語はしばしば異なった意味に使われていたが, それは一連の特別な辞典で扱われている. 例えば, Van Bemmelen (1969) は次のように述べた: “標準”ブリタニカ辞典では, ジオノミーは地質学や物理学, 化学, 力学的問題, つまり, すべての地球に関する研究に用いられるとした. 米国地質研究所が発行した「地質学および関連科学の用語辞典」では, ジオノミーは地球に関する物理法則の科学と言っている (Van Bemmelen, 1969).

20世紀中頃, この用語への関心が再び高まった. “ジオノミー”の主な支持者たちは3名の著名な地質家であった—オランダの地質家 Van Bemmelen, ロシアの Belousov, ハンガリーの Shadeczky-Kardoss. ただし, 彼らは “ジオノミー”の用語をそれぞれ少しずつ違った内容に捉えていた.

ウラジミール・ベロウソフは, 1950年代と60年代に, 地帯構造論と一般地質学の全般的問題と現行の問題に関する著書のなかでジオノミーについて繰り返し記述している. この問題に関する前提はきわめて明瞭である: 地質学は表層現象だけを研究するもので, その方法論には限界があった. したがって地球の深部層準は, 物性や化学組成といった観点から地球物理や地球化学の対象であった. そのため, 地質学は深部過程の表層への現れについてのみ研究する科学とされた.

ベロウソフは, ジオノミー全般における地球科学の統合の必要性についても言及した: “地球物理学, 物理学, 物理化学, 数学の研究者は, 地質の問題にもっと関心をもつべきで, もっと直接的な (訳者補足: 地質に関する) 研究を担うべきである. 彼らは, 一般的な地球や地殻の構造や発達史の課題を解明するために, 地質家とともに研究を進めなければならない. 地質的事象や物理的・数学的・地化学的分野の代表的な事物から, まったく新しい現象や作用を学ぶことができるはずだ. したがって, 科学的視野が拡がり, あらたな試みが生まれるであろう.

その研究成果は, 地質学的仮説だけでなく, 他の科学分野における仮説の発展にも貢献するであろう. 多くの科学分野を結びつける努力は, 膨大な観察・実験的土台と真の仮説をもつあらたな地質学の誕生に寄与するだろう” (Belousov, 1953, p. 22).

ベロウソフは他の研究で, 地球科学の統合は, 地質学に方法論的変革, とくに “古典的地質学への定量的方法の導入” をもたらしてきた, と述べた. 後に, 地質学の着想は急速に, 定量化と測定によって特徴づけられるまでになり, それらは物理-物理化学的解析を促進し, 地質学・物理学・化学の研究者たちによる共同調査が行われることになる (Belousov, 1963, p. 21).

1960年代, 国際 “上部マントル” プロジェクトがベロウソフによって着手されたが, それは内因的現象全般に作用する原因を明らかにするための地殻深部の研究を目的とした. それを解明するために, ベロウソフは “地質学は他の科学分野と連携しなければならない...” と考えた. それは, 共同研究のためのさまざまな地球科学分野の成果のためだけでなく (しかし, それは完全に必要とされる段階で), あらたに統合された地球科学のためでもある. その中には地質学的, 地球物理学的, 地球化学的方法が共に融合している... 地球に関する融合科学には新たな名称をつけるのが賢明で, 天文学, 上層大気学 (などすでにあるが) などの用語に類似した “ジオノミー” という用語になるはずだ (Belousov, 1963, p. 21).

同様の考えが, 1963年の第23回 IUGG 全体集會および1964年の第22回 IGC (深部作用の原因と機構の研究関連) で表明された. ベロウソフは, “この地域で, もしすべての地球科学が内因的作用に関する単一の学問大系—地質学的-地球物理学的-測地学的科学—のなかに合流し融合すれば, 大きな成功を得ることができる” と述べた. それを簡略化して “ジオノミー (Geonomy)” と呼ぼう, と提唱した (Belousov, 1964, p. 4). ベロウソフは, 主に

地殻と上部マントルの研究（その相互作用が造構作用と内因的発現を規定）のなかで、ジオノミーがなすべきことを明らかにした。換言すれば、ただ地殻だけを知るのではなく、地球全体について知ることである。明確な規定のないペロウソフの体系は、深部作用の研究についてもジオノミー的な統合化された研究手法を提示した。

その意味で、ペロウソフの協力者は皮肉なことに、プレートテクトニクスの創始者のひとりで将来の主要な敵対者、T. J. ウイルソンであった。ウイルソンは地質学の状況を分析し、その威信の低下に気づいた後は、それ（訳者注：地質学）が物理・化学・数学を用いていない、と説明した（Wilson, 1968）。

対照的に、ヴァン・ベンメレン（Van Bemmelen）は、地球科学を結びつけるもっと一般的な認識として、簡潔で合理的な用語が必要であり、その意味で“ジオノミー”が最もふさわしいと述べた。そもそも、彼はその用語を全地球規模の地体構造論を研究する科学として捉えていた（Van Bemmelen, 1967）。後にヴァン・ベンメレンは、ジオノミーの概念を地球や大気、地球-月系として考察されるべき我が惑星の深部球殻の領域にまで拡張することを提案した。さらに、ヴァン・ベンメレンは、長く認められてきた“天文学（アストロノミー）”に対応して、調和のとれた“ジオノミー”が地球にかかわる統合科学として最も重要であるとずっと考えていた。このように、彼は“ジオノミー的観点からの観察は、我が惑星の特性と発展に関する我々の概念にもとづいた基本的データ（診断事実：diagnostic facts）を提供してくれる。ジオノミーは、自然本来の姿に関する認識を提供してくれる総合科学である”と信じている（Van Bemmelen, 1969）。

このように、ヴァン・ベンメレンは、ジオノミーを、天体としての地球に関する統合科学、すなわち、地質学・地球物理学・地球化学を含む造構作用の規則性を解明ための統合科学と理解していた。この観点に対しては、まったく逆の主張がなされた。ヴァン・ベンメレンは次のように主張した：“ジオノミーを地球の状態や大深度（たとえば、上部マントル）の諸作用の研究を扱う地球科学にだけ適応することはやや独断的と思われる”。地質学があつかう本来の境界はどこにあるのか？ 深度10km, 100km, それとも、モホ面？ ジオノミーの用語の使用には、地球深部の研究だけでなく、大気圏も包含する浅層に関する研究分野を含む、拡張されたペロウソフの提案が有効と思われる。地球-月系の研究でさえ、いわゆる“ジオノミー”とよばれる地球科学分野に属しているように思われる（Van Bemmelen, 1969）。

当然ながら、ヴァン・ベンメレンは、1964年第22回 IGC デリおよび翌1968年第23回 IGC プラハの間

に率先して、特別シンポジウム“地質家とその世界”を計画し、“ジオノミー”の用語の意義や重要性、有用性、さらに“ジオノミー”は“ジオ・サイエンスあるいはアース・サイエンス”の名称に取って代わるにふさわしいかどうか、について議論した（Manten, 1969）。第23回 IGC 以前に、関連した質問書が12種類におよぶ Elsevier ジャーナルに散見されるようになり、その結果、“ジオノミー”の用語を認めようとの国際地質委員会の考えが表明された。この質問書の著者がヴァン・ベンメレンや Krupichka, Manten であった。1969年、Manten は“アースサイエンスレビュー／アトラス”に、論文〈〈ジオノミー、ジオロジーそれともジオサイエンス？〉〉を公表したが、その中で“ジオ・サイエンスかジオノミーか”という疑問に対する国際地質委員会の検討結果を明らかにした。そこでは、ジオノミーは地質学、地球物理学、地球化学に加え、大気圏と水圏の研究も含まれることが提案された（Manten, 1969）。

質問書の結果によれば、参加者の多くは“ジオノミー”の用語を導入することに賛成であったが、過半数程度であり、大多数ではなかった。多数のチェコスロバキア人参加者を除くと、賛否の割合は賛成56%、反対42%程度であった。“ジオノミー”の賛成票のほとんどは、北欧と東ヨーロッパ諸国によるものであった。オランダや南ヨーロッパ・南米諸国（イタリア、スペイン、ラテンアメリカ）がジオノミーへの積極的姿勢を表明した。ジオノミーへの否定的姿勢は、英語圏諸国—イギリス、米国、カナダ、および豪州の一部であることが分かった。“ジオノミー”への反対の背景にある動機を知るとは幾分興味深い。“ジオロジー”の用語を、古典的な狭義の意味ではなく、広義の意味で長い間使用してきた英語圏の専門家から、最も重要と思われる論点が表明された。さらに、すでに“ジオ・サイエンス”の用語もある。そのため、“ジオノミー”は類似語になるだけである。

“ジオノミー”という名称の導入への反対意見には、“ジオノミー”の語幹が語源的にはギリシャ語の“nomos” — “法則（law）”を意味していることも理由となった；地球科学は、残念ながら、天文学や物理学、化学などに匹敵する法則を産み出す段階には達していないため、“nomos”の用語を正当に使用すると主張できない（Manten, 1969）。ある反対者は、“アース・サイエンス”という用語の“ジオノミー”への転換は、ジオノミーが明確な定義をもち、世界中の研究者によって認知されるようになって初めて容認されると考えた。ほかの者は“ジオノミー”は古くさい用語“geognosy”を思い出させると感じた。“ジオノミー”に反対する悲観論者は、受け入れられる余地のない新しい用語を導入するには遅すぎると言った。それにもかかわらず、Manten

は結論として，“固体地球，大気圏，水圏を扱う科学すべてを正しく意味づけるため”，“ジオノミー”の名称を採用することについて議論を続けることを提案した (Mantén, 1969).

この議論とは別に，ハンガリーの地質家 Shadeczky-Kardoss は，彼自身の“ジオノミー”の概念を発展させた．その概略は著書“Geonomia” (1974) に記されている．この研究はハンガリー語で刊行されたため，IGC には知られなかった．いっぽうで，この研究者はジオノミーの内容について最も広く理解していて，それには，近年の深刻な環境問題に関連した特別重要な観点が含まれている．

Shadeczky-Kardoss は地球科学のすべてを包括する総体としてジオノミーを考えた：“ジオノミーの主要な任務は，異なる方法を用いたさまざまな専門分野によって認知された科学的現象の相互関係を総合化することである”．さらに，彼は次のように言及した— “地球はその発達過程で，初期の無機的要因に加え，後期には有機的，(古)生物学的要因の振る舞いの役割が増大しつづけるという点において，他の惑星と異なっている．そのため，ジオノミーは原因を追及する科学に留まらず，起源に関する生物学的根本テーマと生命に関する無機的背景をも包括している(“ジオノミー — 21世紀に向けた地球科学の総合化”，2005 より引用)”．Shadeczky-Kardoss は，さまざまな周期的運動による対数時間と空間図式のふたつをプロットするような“万物の周期的連関”という手法で，すべての事象(電磁的，機械的，化学的，生物学的，および亜原子的運動)としての森羅万象を記述しようとした (Geonomy, 2005)．

このように，Shadeczky-Kardoss の概念は，“ジオノミー”のテーマや地球科学分野すべてを総合化が必要とするペロウソフの考え方の一部を担保する Van Bemmelen の見方に通ずるものがあるが，実際にはそれ以上のものが含まれている．

“ジオノミー”に関するつっこんだ議論が事実上停滞していた間に，地球の地質構造に関する研究に対して，さまざまな地質学的・地球物理学的・地球化学的手法がますます適用されるようになった．

ペロウソフ—すべての分野を包含する地球科学：ジオノミーの出現 (Belousov, 1975, p. 3) —によれば，このことはジオノミーの出現を保証するように思われる：“地球科学では，近年驚くべき変化があった．それらは主に3つの要因による：1) 地球内部研究に関する地球物理学的-地球化学的手法の進展，2) 海洋底構造研究の進展，および 3) 地質学的な訓練を受けてなく，ほとんど数物的訓練を受けてきたようなあらたな研究者集団．

1980年代，ペロウソフは自らの研究の中で，地殻とその発達史の解析のために，地球物理学的，地球化学的データを広く取り入れた．さまざまなタイプの地殻とそれらの相互遷移を選定した結果，地殻とマントルの相互作用に関する考えが深まった (Belousov, 1989, 1991; Belousov and Pavlenkova, 1986, 1988)．しかし，彼は自らの研究をジオノミー的 (geonomic) とは呼ばず (そのような基準を満たしてはいるが)，それ以降“ジオノミー”の用語は彼の出版物から消え去ってしまう．

その主な理由として，地質学的問題を解明する際の彼の見識には，プレートテクトニクスの台頭へつながった地球物理学的データに対する強い憤りがあった可能性が強く示唆される．この段階で，彼にはある種の好ましくない心理的側面が現れた．それは，彼が提案したさまざまな‘地質学的’研究分野をただひとつのジオノミーへ組み入れるということに見通しがたたなかったことであつた．このような動機は，ペロウソフの1980年代の研究に繰り返される．主に地質学的手法に依らない新たなデータがたくさん得られるようになり，これらの新たな資料が一般的に言われている地球造構作用を検証するために利用された．その一方で，何百年間もの間蓄積されてきた地質学的な実証的土台を完全に無視してしまった．ペロウソフは，地質学的問題の解明には，地質学以外の手法(物理学や数学)をもつまったく新たな人々の多くや，研究テーマへの別の考えを含み入れることを認めなければならなかった．さらに，このことは地質学的一般化の必然の結果であることが明らかになった．

ペロウソフは，次の問題点に関して，彼の考えを表明した：“私はいまその問題の別な側面についてお話しします—やや哲学的 (philosophical) ではありますが．このことは，プレートテクトニクスがこれまでの地球科学にはみられなかった独特の見方 (philosophy) を地球科学へ導入した，という事実によって証明されます．地質学は自然-歴史科学です．地球の歴史を研究するものです．そして，それらが発現する規則性は歴史性でもあります... プレートテクトニクスは海洋の研究から立ち上げられましたが，そこでは地球物理学的手法がきわめて優勢です．後者は概して歴史的過程の研究に適応していません：それらは地球内部の現在の構造や現在起きている作用を規定しています．地球物理学的手法のこの“迅速性”は，“プレートテクトニクス”の本質的な先見性に合致する事象として受け止められています... そしていま，私たちはこの即時性 (immediacy) が現代地質学へどれほど浸透しているかを目の当たりにしています (Belousov, 1984, p. 57).”

最近の10年間，“ジオノミー”という用語が，幾人かの研究者によって未だ使われているという事実

があるにもかかわらず、確たるものにはなっていない。“ジオノミー”に替わって、“ジオダイナミクス (geodynamics)”の名称が広まったが、それはむしろ地球の造構運動の研究結果を適切に反映している。“地球科学 (Earth science)”の用語も未だ広く使われており、地質分野を広く含む。一方、地球科学は、地質学や地球物理学、地球化学、測地学、物理学、数学、天文学、さらにはペロウソフが記したジオノミー的手法 (geonomical approach) と連携することによって、総合的な研究手法を立ち上げた。

魅力的で論理的に正当化されたいかなる考えであろうと、新しい科学を生み出さないことは明白である。あらたな仮説の創造とその確立には、いくつかの学際領域 (あるいは、まったく関連しない分野さえ含む) のデータを統一的に用いるだけ (このようなことはすでに散見されることではあるが) ではまったく不十分で、そのためにはいくつかの特別な条件が必要である。“ジオノミー”の場合、おそらく、さまざまな分野から得られた異種間データを処理するという、これまでにない特別な研究方法が必要とされるであろう。

それにもかかわらず、ジオノミーを復活するための試みは分断されている。ハンガリー科学アカデミーが出版した書籍 “Geonomy: the synthesizing Geoscience for the 21st Century” (2005) には、この点が示されている。とくに、Dudich (2005) は標題をつけた著書の巻頭に次のように記述している: “20 世紀半ば以降、解析科学 (analytical science) が長く大きな成果をあげた今日、総合化の必要性が世界中の科学界で増大している。宇宙・惑星科学のブームと共に、特別な惑星としての全地球観を考察する取り組みが次第に広く認められようとしている。21 世紀は人類の英知をすべて包含するまったく新しい科学の総合化へ、また同時に人間中心で全世界共通の目標、人道的で一自らがつくった核兵器や “地球最後の日から逃れる” ために、そして、生態学的大惨事 (ecological apocalypse) から人類を救うために不可欠なものへ、と前進するだろうとの予測をめぐって、未来予測の専門家さえ単なる予言者になってはならない (Geonomy..., 2005. p. 4)。

この書籍は、Shadeczky-Kardoss の生誕 100 周年記念日に捧げられ、彼の科学的遺産と進展する彼の考えに関する一連の論文から構成されている。しかし、そのような待望された書名にもかかわらず、この成果は本質的には地球科学のさまざまな論文の寄せ集めである。Shadeczky-Kardoss の考えの分析とは別に、ジオノミーのより拡張された定義に直接的に関係するテーマは、ジオノミーは理論分野であり、他の地質科学 (geosciences) で得られた情報を処理

し伝えるものである、との Poka の主張に見出されるだろう (2005, p. 8)。その目的は、やや閉鎖系で生命を誕生させた地球を特徴づける構造的-機能的な相互関係を見出すことにある。ジオノミーは、“地球システムのダイナミズムと発展の歴史を解釈し研究するもので、その短期的・中期的・長期的変化を予測し、この認識を他の科学へも展開し、ついには世界の人道主義的科学概念 (a humanistic scientific concept) を打ち立てるもの” である。

このように、2 世紀以上にわたって未だ成立していない科学 (science) という用語があるが、その必要性は地質学界で広く認知されていて、実際のところ、このような逆説 (a certain paradox) について述べることは可能である。さらに、その用語はそれ自身、進展するという経験を経てきている; それはすべての時代に活用され、現在では時代が要求する科学とその客観的事実を映し出している。明らかに、“ジオノミー” は用語としてだけ存在するのではなく、また単にさまざまなデータの統一的解釈と理解されるものでもない。“ジオノミー” を解読するには、特別な手法の進展が必要である。そして、地球について、全地球レベルですべての既存情報をまとめることができる Suess のような人物的スケールをもつ科学者たちの出現が必要である。

謝辞: 私の研究に対して終始思慮と配慮をいただいた編集者 Dong Choi 博士に再び心からの謝意を表することは光栄である。E. Shadeczky-Kardoss に関する貴重な資料を提供いただいた Andrey Lapo 博士および英文を改善いただいた Peter James 博士へも感謝する。

## 文 献

- Belousov, V.V., 1953. About the current state of theoretical Geology. Priroda (Nature), no. 2, p.15–22. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1963. On the ways of development of geological science. Sovetskaya geology (Soviet Geology), no. 1, p. 11–28. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1975. The basic geotectonics. M.: Nedra (Earth's Interior). 262p. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1964. The upper mantle and its influence on the development of the Earth crust (the Project “Upper mantle”). Sovetskaya geology (Soviet Geology), no. 1, p. 3–9 (in Russian)
- Belousov, V.V., 1984. Speech at the meeting of the department of Geology, Geophysics and Geochemistry on March 13, 1984. Izvestiya Ac.Sci. USSR. (News of Ac.Sci. USSR.) Ser. Geol., no 12, p.57–58. (in Russian)
- Belousov, V.V. and Pavlenkova, N.I., 1986. The relationship of the Earth's crust and upper mantle.

- Geotectonics, no. 6, p.8-20. (in Russian)
- Belousov, V.V. and Pavlenkova, N.I., 1989. The types of the Earth's crust of Europe and Northern Atlantic. Geotectonics, no. 3, p. 3-14. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1989. The basic geotectonics. M.: Nedra (Earth's Interior). 382 p. (in Russian).
- Belousov, V.V., 1991b. 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)
- Dudich, E., 2005. Introduction. In "Geonomy: the synthesizing Geoscience for the 21st Century», p. 4.
- Geonomy: the synthesizing Geoscience for the 21st Century, 2005. Hungarian Academy of Sciences. Budapest. 82 p.
- Grot, N.Yak., 1904. Philosophy and its general objectives. St. Peterburg.
- Lapo, A.V., 2006. Reversion of Geonomy. INHIGEO. NEWSLETTER, no, 38, p. 52-54.
- Manten A.A., 1969. Geonomy, Geology or Geo-sciences. Results of an international inquiry. Earth Sci. Rev./Atlas, 5. Elsevier Publishing Company, p. A88-A93.
- Poka T. 2005. Geonomy – past and present. A historical approach. In: Geonomy: the synthesizing Geoscience for the 21st Century», p.7-9.
- Shadeczky-Kardoss, E., 1974. Geonomie. Budapest. 458p. (in Hungarian)
- Van Bemmelen, R.W., 1967. The importance of the geonomic dimensions for geodynamic concepts. Earth Sci. Rev., v. 3, no. 2, p. 79-110.
- Van Bemmelen, R.W., 1969. Notes on the history and future use of the term GEONOMY. Earth Sci. Rev./Atlas, 5. Elsevier Publishing Company, p. A85-A88.
- Wilson, J.T., 1968. A revolution in Earth science. Geotimes, v. 13, no. 10, p. 21, December.

---

## 水平対流 – 多角形状仮説の核心 ESSENTIAL POINTS OF THE ADVECTION-POLYMORPHISM HYPOTHESIS

**Vadim GORDIENKO**

IntInstitute of Geophysics, National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine  
tectonos@igph.kiev.ua; vgord@inbox.ru

( 小松 宏昭 [ 訳 ] )

---

**要旨**：構造圏の熱機関のメカニズムが、固体物理学の証拠に基づいて分析される。この仮説的メカニズムは、エネルギー保存則の枠内で地史の主要な出来事を定量的に説明する。この論文では、造構要因 (tectogene) 仮説の要件—地殻の下方屈曲、構造圏のエネルギーバランス、水平対流の熱や物質移動、アセノリスの大きさ、マントルにおけるマグマだまりの深さと温度—が、計算され実験的に決定された地球内部の様々な作用のパラメーター比較とともに考察される。

**キーワード**：構造圏、深部作用、地殻と上部マントル、内因的条件、大陸、海洋、遷移帯

---

## 韓国・チェジュ島の構造運動史 TECTONIC HISTORY OF JEJU ISLAND, KOREA

**Sun YOON<sup>1\*</sup>, Cha Yeon JUNG<sup>2</sup>, Weon Hak HYUN<sup>3</sup> and Shi Tae SONG<sup>4</sup>**

\*\* 連絡責任者：釜山大学，韓国 .sunyoon@pusan.ac.kr. sunyoon@pusan.ac.kr

<sup>1</sup> Department of Geological Science, Pusan National University. Busan 609-735, Republic of Korea

<sup>2</sup> Gyeongnam Regional Headquarters, Korea Rural Community Corporation. Changwon, 641-840, Republic of Korea

<sup>3</sup> Jeju Environmental Education and Research Institute. Jeju 690-150, Republic of Korea

<sup>4</sup> Jeju Seo Middle School. Jeju 690-170, Republic of Korea

( 編集者注；原著は Journal of the Geological Society of Korea, v.50, no.4, p.457-474, 2014 [ 韓国語 ] )

( 小泉 潔 [ 訳 ] )

**要旨：** 韓国のチェジュ島（済州島）の地質は、一般に、下位より、基盤岩・古チェジュ（済州, Jeju）火山岩・ソギボ（西帰浦, Seogwipo）層・ピョソンリ（表善里, Pyoseolli）玄武岩群・タムナ（耽羅, Tamna）層・玄武岩質岩脈複合体・ハルラサン（漢拏山, Hallasan）玄武岩群・ペンノクタン（白鹿潭, Baengnokdam）粗面岩群・火山性岩屑なだれ堆積物・シニヤンリ（新陽里, Sinyangni）層および古海浜・内湾砂層に区分されている。島の構造運動史は、ハルラ山（漢拏山）が上昇してくるマグマによって形成されたドーム状に隆起した火山性構築物であり、火山島でも盾状火山でもないことを示している。

**キーワード：** チェジュ島・ハルラ（Halla, 漢拏漢拏）山・ペンノクタン（Baengnokdam）・タムナ（Tamna）層・ドーム状に隆起した火山性構築物

## はじめに

チェジュ島は、東海（日本海）に繋がる朝鮮海峡への南西の入り口に位置している。この島の平面形は長円形である。ENE-SWS 方向の長軸はほぼ 74km, NNW-SSE 方向の短軸はほぼ 32km である（図 1）。標高 1950m のハルラ山（韓国名、<sup>はるら</sup>山）と島の主な山体は成層火山と考えられているために、チェジュ島は火山島として知られている。しかし、Yoon et al. (2005; 2006) はハルラ山が成層火山ではなく、マグマの上昇によって形成されたドーム状に隆起した火山性構築物であると述べた。本論では、我々の最近の研究からチェジュ島の構造運動史を論述する。

## 火山岩層と層序

**基盤；**海面下約 210～312m に分布し、ジュラ紀と後期暁新世花こう岩及び火山性砂岩のような白亜紀の火山岩・泥岩・溶結凝灰岩や火山礫凝灰岩よりなる。

**古チェジュ（済州）火山岩；**ソギボ層の礫質堆積物中の玄武岩礫と粗面岩礫として認められているだけである。

**ソギボ（西帰浦）層；**基盤を直接覆い、西海岸に沿って小露出している。層厚 371m, 上部 65m のみが中央海岸に露出している。主に礫質砂岩・細粒砂岩・砂質泥岩及び泥岩よりなる。上部にハイアロクラスタイトと水中火山砕屑性堆積物を挟む。軟体動物や有孔虫のような海棲生物化石が豊富に産出する。年代は後期暁新世～前期更新世である。

**ピョソンリ（表善里）玄武岩群；**ソギボ層を覆い、玄武岩質パホイホイ溶岩よりなる。チェジュ島の東部と西部に分布する。溶岩は非常に良く発泡し、針状の斜長石と径約 1mm のカンラン石斑晶が特徴的である。組織は、針状の斜長石斑晶を含むものと含まないものの 2つのグループに区分される。ピョソンリ玄武岩群の K-Ar 年代は南東海岸のもので約 0.63Ma, 西海岸のもので約 0.60Ma である。

**タムナ（耽羅）層；**ピョソンリ玄武岩群を不整合に覆い、礫岩・礫質砂岩・砂岩・礫質砂質泥岩および泥岩よりなる。火山泥流起源の河川性堆積物で、海

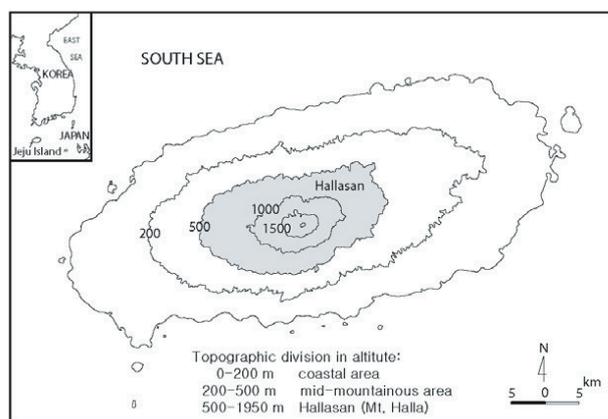


図 1 チェジュ島の地形区分と位置図

岸地域からハルラ山山頂でチェジュ島の表面を覆っている。層厚は海岸地域近傍ではほぼ数 m～数 10m であるが、ハルラ山山頂近傍では 200m 以上である。

タムナ層は、ほぼ 0.47Ma (K-Ar 年代) のペンノクタン（白鹿潭）玄武岩溶岩（ハルラ山玄武岩群）に覆われている。地質年代は中期更新世のほぼ 0.5～0.6Ma と推定される。礫質砂岩に含まれる脈状石英と珪岩礫は、チェジュ島と朝鮮半島南西隅の間に大きな陸地が存在したことを示唆している。すなわち、タムナ層が堆積した時代に半島から島を隔てる河川が流下していた。

多くの岩脈が見られ、それらはまとめて玄武岩岩脈複合岩体と呼ばれている。複合岩体の岩脈は、岩床状の単独の岩脈と集合体を形成する岩脈の二つに区分される。前者は厚さほぼ数～10m 以下で低角あるいはほぼ水平に貫入しているのに対し、後者は厚さ 0.5～1.5m で高角あるいは鉛直に貫入している。

**ハルラサン（漢拏山）玄武岩群：**タムナ層を不整合に覆う玄武岩溶岩。このグループの溶岩はパホイホイ溶岩・アア溶岩・それらの中間型の溶岩と塊状溶岩に区分される。

**ペンノクタン（白鹿潭）粗面岩群：**ハルラ山山頂地域付近に主に分布している。ハルラ山山頂火口の西壁を形成しているペンノクタン溶岩ドームの粗面岩の K-Ar 年代はほぼ 0.07Ma である。

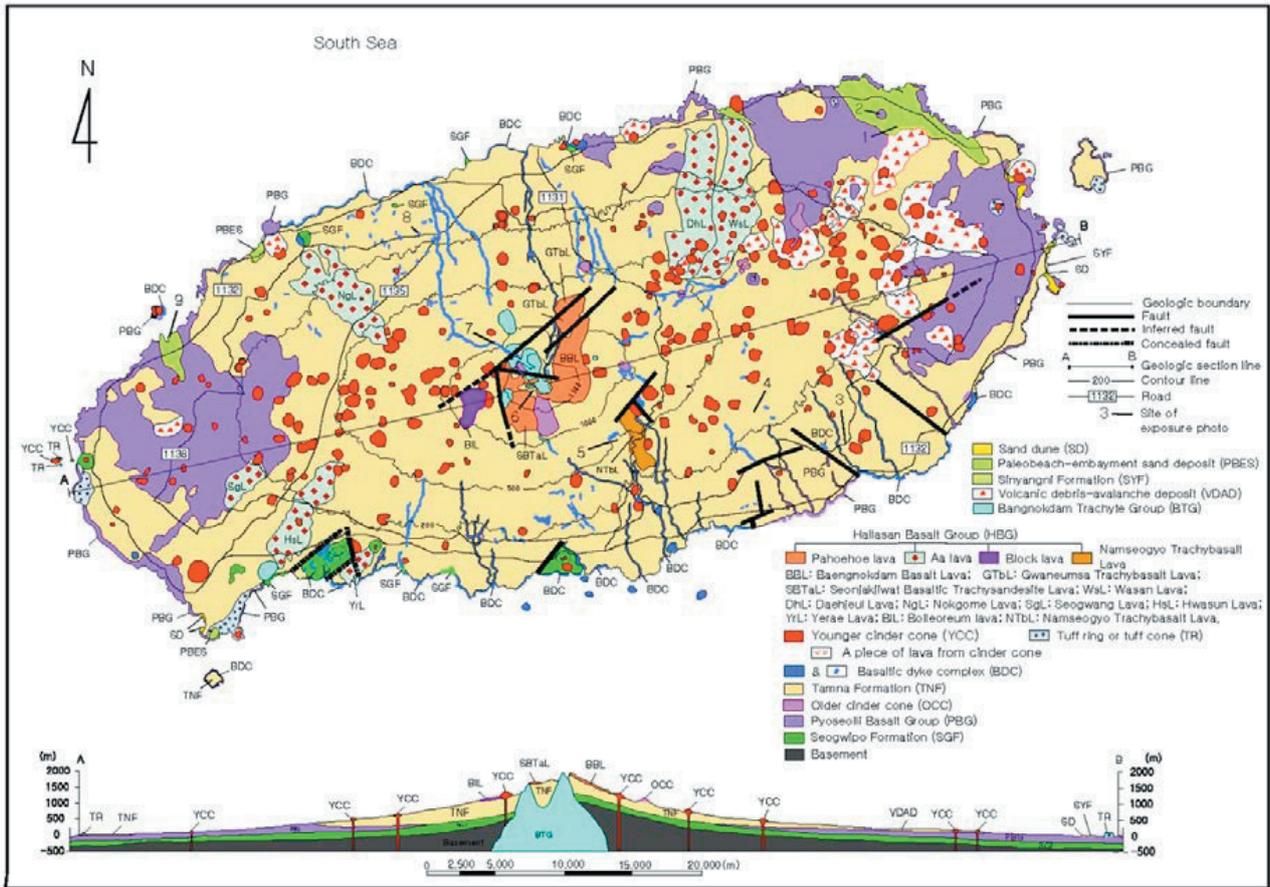


図2 チェジュ島の地質図. Yoon et al. (2006) を修正

火山性岩屑なだれ堆積物：噴石丘の部分陥没によって形成された。噴石丘はタムナ層形成以前の古いものとタムナ層形成以後の新しいものとに区分される。

チェジュ島の南東隅のシニャンリ（新陽里）層は、細～中礫礫岩と粗粒砂岩互層の海浜および海浜近傍堆積物よりなる。層厚は10m以上である。

古海浜 - 内湾砂層：チェジュ島の北東と北西隅に分布し、主に貝殻片からなる砂よりなる（図2）。

**ハルラ山の形成**

チェジュ島中央の標高500～1950mの高地はハルラ山と定義されている。ハルラ山は成層火山として知られてきたが、Yoon et al. (2005) はハルラ山が成層火山ではなくドーム状隆起の構築物であり、山頂火口は噴火口ではなく、陥没孔であると報告した。

**チェジュ島の構造運動史**

**第I段階** 盆地の形成と海進：ソギボ層の時代  
盆地がチェジュ島地域に形成され、海進が盆地に発生した。地質年代は後期鮮新世～前期更新世である。

**第II段階** 玄武岩質火山活動 - I：ピョソンリ玄武

岩群の時代

チェジュ島は陸地となり、パホイホイ溶岩がこの地域の東部と西部を覆った。年代は古期噴石丘形成時代のほぼ0.6Maである。

**第III段階** 河川性環境：タムナ層の時代

ピョソンリ玄武岩群の火山活動の後、この地域は河川環境で、タムナ層の火山泥流堆積物が堆積した。年代はほぼ0.5～0.6Maあるいは中期更新世と推定される。

**第IV段階** 玄武岩質火山活動 - II：ハルラサン玄武岩群の時代

パホイホイ溶岩アア溶岩が押しだし、タムナ層を覆った。新期噴石丘が形成された。

**第V段階** 粗面岩質マグマの貫入：ハルラ山のドーム状隆起の時代

チェジュ島の中央部に粗面岩質マグマが貫入し、隆起したドームを形成し、現在のハルラ山の山体を形成した。山体の頂上が陥没し、丸い陥没孔を形成した。年代は後期更新世の0.07Maである。

**結論**

このような構造運動史をもつチェジュ島は、火山島

でも盾状火山でもない。沈水した火山で、その形態は複式火山と見られる。

文 献

訳者注；なお、本論は、Journal of the Geological Society of Korea, v. 50, no. 4, p. 457-474, 2014 に韓国語で書かれた論文の要約です。山内輝子さん・山内靖喜さんが原論文を和訳したものが、小澤幸重さんのHP（比較解剖学と「歯と骨の訪問研究室」, <http://odontology.sakura.ne.jp/>）に掲載されています。必要な方はご覧ください。

Yoon, S., Hyun, W.H. and Jung, C.Y., 2005. Geology of Hallasan (Mt. Halla), Jeju Island. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 41, no. 4, p. 481-497 (in Korean with English abstract).

Yoon, S., Jung, C.Y. Song, S.T. and Hyun, W.H., 2006. Geology of Jeju Island. Jeju Provincial Office, Korea Rural Community and Agriculture Corporation (KRC), 73p., 1 map (1: 150,000) (in Korean with English Summary).

## マグニチュード 6.0 を上回る地震を起こす太陽風のイオン多様性 SOLAR WIND IONIC VARIATION ASSOCIATED WITH EARTHQUAKES GREATER THAN MAGNITUDE 6.0

Valentino STRASER and Gabriele CATALDI

valentino.straser@alice.it

ltpaobserverproject@gmail.com.

( 久保田 喜裕 [ 訳 ] )

**要旨：**地震の原因は人間活動に関したものを含むなど多種多様といえる。データの具体的モデル体系を築くためには、造構起源のものに加えて、さまざまなタイプのエネルギーが見積もられるべきである。それらには、重力的、慣性的、電気的、そして電磁気的なエネルギーが含まれる。筆者が現在の研究において解明しようとしてきた科学的疑問は、地球上の M6+ の地震活動に先だって、太陽活動の増大、とくに太陽風イオンの多様化が起きる。この目的のために、2012～2014年に全地球で発生したマグニチュード M6+ かそれと同等の 428 個の地震を解析した。地震活動のデータは、地磁気観測所から提供されたものと、ACE 衛星から送信された太陽変調 (solar modulation) のそれ (地球から 1500km 離れた L1 地点で得られたもの) を比較検討した。結果として解明されたのは、マグニチュード M6+ より大きい地震の発生は、太陽風の陽子密度の増減期間に明らかに多いことである。

**キーワード：**太陽風イオン多様性，地震予測，陽子密度

## 天体：遍在する二分性と普遍的な自転との関係 CELESTIAL BODIES: RELATION BETWEEN UBIQUITOUS TECTONIC DICHOTOMY AND UNIVERSAL ROTATION

Gennady G. KOCHEMASOV

Kochem.36@mail.ru.

( 矢野 孝雄 [ 訳 ] )

**要旨：**波動天文学の第 1 定理は、「天体は二分的である」ことを示す。これは、加速度が周期的に変化する非円形ケプラー軌道上を運動するために生じる基本波 1 の曲がりによって由来する。この変形は、Le Chatelier 原理\*に従って、歪みを解消しようとする逆向きの運動をひきおこす。この運動には、角運動モーメントが半分ずつ解放され質量を再配置して自転させる、という 1 つの普遍的意義がある。こうして自転は、自然的損傷を修復することによって、できるかぎり最良の平衡 (均衡) 状態を天体にもたらすことになる。

**キーワード：**造構的二分性，自転，平衡，土星の衛星，セレス，地球，月，火星

\*ルシャトリエの原理：化学的平衡状態にある反応系において、その状態に対して何らかの変動を起こさせたときに、平衡が移動する方向を示す原理のことである。『ウィキペディア (Wikipedia)』

# 放電による多角形クレーターの形成

## POLYGONAL CRATER FORMATION BY ELECTRICAL DISCHARGES

Wayne BURN boz8257@yahoo.co.uk

( 赤松 陽 [ 訳 ] )

**要旨**：たとえば火星、金星、水星、そして地球の月や他の惑星の衛星、それらの表面にみられる規則的な六角形の多角形クレーターは、隕石のような物体（隕石あるいは小惑星）による衝突の結果だと考えられている。一般に‘おおよそ円形’あるいは‘菱形’をしているといわれている地球上の大型のクレーターもまた、そのような衝突の結果であると考えられている。本論文では、これらのクレーターの多くは、実際には八角形をした多角形であり、稲妻電光（稲妻）の概念的なモデルの集積によって、稲妻電光の裏に隠された形成過程とその内部のダイナミックな関係の両方が、直接、結果として生じる多角形クレーターのこれらの全く異なった2つの独特なタイプの形態に反映されている。

したがって、それらは、稲妻のたった一度の打撃の直接的結果であることを証明している。ダイアトリーム（火山ガス噴出による円形火道とされている—訳者註）やキンパーライトは火山活動の過程で形成されたと考えられるが、キンパーレビッグホールに対する稲妻電光モデルの適用によって、このモデルは、流布している理論とモデルが行う説明以上に、ダイアトリームとキンパー層についてのより完全な申し分ない説明がなされる。このモデルはまた、稲妻電光は、隕石すべての形成の原因というだけでなく、それらの起源については別にして、隕石の中やK-T境界で発見される高レベルのイリジウムの原因でもあるということを示すのに利用されるだろう。したがってそれは、一般の衝突説、特にアルバレス理論を否定するものである。

**キーワード**：多角形クレーター、放電、アルバレス理論、キンパーライトダイアトリームの形成、隕石の形成、K-T境界におけるイリジウム

### 1. 専門用語

この論文の焦点はプラズマ媒体を通過するアーク放電（電弧放電）の特殊なタイプであり、いかなる混乱もさけるため以下の区別を行いたい。

維持されるアーク — 数秒あるいは数分の以上の時間にわたり地表との接触が長く続く電弧放電は、安定したあるいはコントロールされた、つまり、実験室において見られるプラズマ実験あるいはアーク溶接のような電流のレベルで維持される。

稲妻電光 — Z-ピンチ（プラズマ中の電流による自己収縮効果—訳者註）によって生じるアーク放電。それは、雲の中に見られる地上への稲妻の打撃のように、数マイクロ秒といったごく短時間に地表に発射される。

も近いところ、つまり雷雲の底部で始まり、その雲から降りてきて地球への最も良い通路を探し出すステップリーダー（道筋先導者）として現れる。地表に近いステップリーダーのように、地球の中の正電荷は地表の方向への移動によって反応する。この表面の電荷の増加は、地面に接近した帯電粒子が、ビルケランド電流の地面の近くでの再形成に反応することに起因する。それは、地面から立ち上がる‘正電荷先導者’のように見える。下降するステップリーダーが、立ち上がる正電荷先導者と接触する時、イオン化された通路は完成し、電荷の移動が始まる。次の3~5ミリ秒に起こることは、そのように短い時間以下の間隔で起こる過程のモニタリングに関わる極度の困難のために比較的知られていない。私は、放電の開始から、地表との接触を通じて、結果として生じる放電メカニズムとしての稲妻電光の概念的モデルを集めて整理して説明することを提案する。

### 2. 原理

#### 2.1 イオン化された経路

雷雲の中で電荷分離に続いて、負の電荷が雲の底部に集合する。もし、過剰な電荷が地上に移動させられることがあれば、大気は電気伝導性がひじょうに乏しいので、移動するためのイオン化された通路が必要となる。この通路は、大気圏で帯電した粒子が、ビルケランド電流の形成による大量の電荷の存在に反応する時に作り出される。この過程は、電荷に最

#### 2.2 稲妻電光

##### 2.2.1 構成と外部構造

プラズマ媒体を通過するアークの放電は、等しい直径のシリンダー型をした多数のフィラメント状のビルケランド電流を作りだし、フィラメント化を受けることが知られている。電流レベルの瞬間的急増が、Z-ピンチに導く時、電流のフィラメントの束は、それらの放射状の磁界によって、体積 (volumetric) 中心に向かって圧縮されるであろう (図1)。

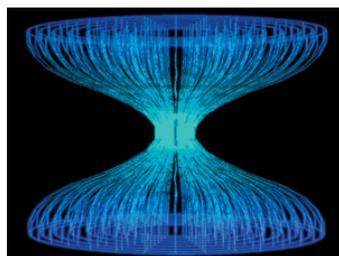


図1 Z-ピンチ

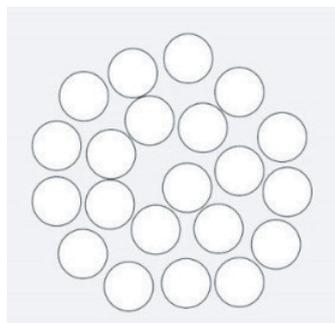


図2 電流フィラメントの水平方向の断面

Z-ピンチは、電流フィラメントの経度軸と直角をなす動作の1つの平面を横切って起こる、フィラメントは活動の面、例えば横への運動の面の中でたった1度の自由度しか持たないので、その時、それらは2つの大きさがぴったり合うもの一同じ直径の円に無理に変形されるはずである。空間的な形状配置がその円にあてはまるものは何でも、また、電流のフィラメントにあてはまってしまうであろう。フィラメントの水平の断面（図2）をとってみると、同じ直径の円のかたまりが見られる。

Z-ピンチのもとで、電流フィラメントは、放射状の磁界により、ぎっしりと詰まった配置に押し込まれ（最密充填配置—訳者註）で、急速に締め付けられる。同じ直径の円（そして電流のフィラメントの拡張によって）は、起こりうるただ2つの最密充填配置—六角最密充填（HCP: Hexagonal close packing）と立方体型最密充填（CCP: Cubic close packing）を持つ（図3, 4）。

これらの2つの最密充填配置は、それぞれ電流フィラメントを利用できる唯一のものなので、私は、稲妻電光は、2つだけの可能な断面、規則正しい六角形（図3）と等角の八角形（図4）を持つことができ、それらは、長い側面と短い側面が交互に現れると考えている。

両方の最密充填配置は、無数の連続した同軸電流フィラメントの多角形の層を作り出し、稲妻電光の基本となる形成過程は無限に変わるということを示唆している。それ故、私は、このことが、たとえ最近の記録された歴史では証明されなくとも、遠い過去に起こったであろう巨大なスケールの稲妻電光の（発生の）可能性を立証するものと考えている。

六角形や八角形でない稲妻電光が発生するメカニズ

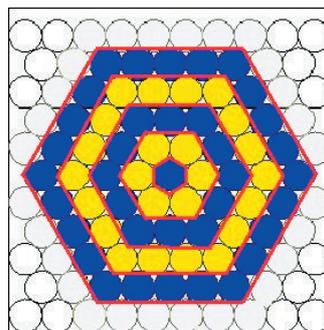


図3 六角形最密充填

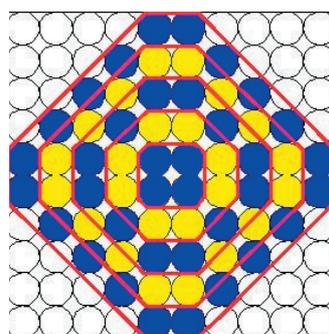


図4 立方体型最密充填

ムは、今の時点では不明確であるが、私は、一応、変動する電流のレベルによるものだろうと述べておく。もし、電流が高ければその結果として起こる放射状のより強い磁界の強さが、HCP配置を強めながら、より強いZ-ピンチを起こすようになるであろう。もし、電流が低レベルであれば、強さの弱い放射状磁界となり、より弱いZ-ピンチとなる。そして電流のシリンダー（筒）はCCPの配列を採用する。電流のレベルがコントロールされている実験室の条件下では、HCPはより一層広く認められる配置となる。そして、CCPは電流のレベルがコントロールされていない自然界では、なおさら普通に存在するであろう。電気を用いて機械加工された金属の表面は、おそらく、これに関するさらに多くの情報を提供してくれるであろう。

### 2.2.2. 内部構造

ビルケランド電流に関する既定の研究により、それら（B電流）はその軸の成分の周りでの長い領域の引力と、その放射状の成分による短い領域での斥力の両方を示すことが知られている。その短い領域の斥力は、それ自身の外側の空間に向かう電流フィラメントの原因となる（図5）。しかし、それにもかかわらず、同軸多形層の配置によるその制限された空間的形状によって規制されている。

同軸層への分離により、電流フィラメントはそれらが1つの単位として回転できる自由度を得る。これは、白色で示されたフィラメント（図6）が、唯一の可能な方法として、互いに反発すること、つまり反対方向に回転することを可能にしている。これはScott (2015)によって予測された反回転効果（図7）を自動的に引き起こす。

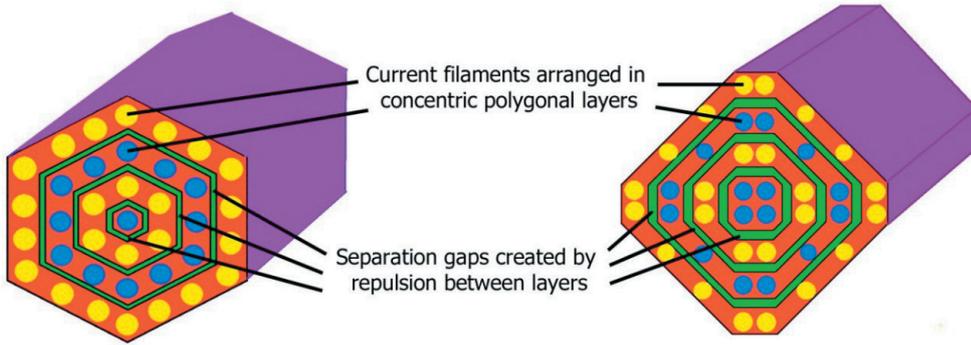


図5 (斥力による) 反発作用で分離された後の電流フィラメントの配置を示している六角形と八角形の稲妻電光の拡大断面。

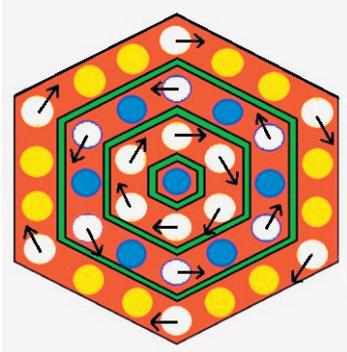


図6 層の間の反発作用

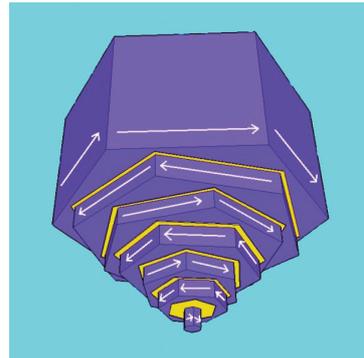


図8 稲妻電光のモデル

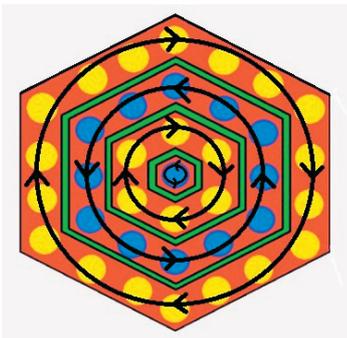


図7 層の逆回

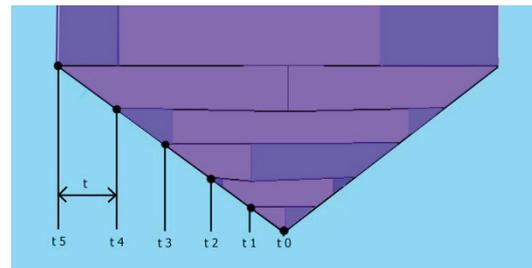


図9 連続的構成層の境界の間の時間間隔

視覚化を容易にするためにこれをすべて3次元の形に表現して、稲妻電光モデルの概略図を図8に示そう。それぞれの層は、層の間の反発により電光内の運動の自由が強調されている。つまり、反発作用による間隙は黄色で示され、白色の矢印は回転方向を指示している。

図の簡略化のために、また、重複をさけるために、これ以後のすべての図は、六角形の電光(の図)を示す。これと八角形の電光の重要な違いについては必要に応じて述べることにする。

### 2.2.3. 地表面との接触

稲妻電光を通過する高レベルの電流の急激な上昇により誘導された強い放射状の磁界は、電光の長さ全体にわたって構造的な完全無欠状態を維持する。これは、稲妻電光の幅がその長さ全体に対して一定であるように見えるという広く知られた観察と一致している。地表面に接触する直前に、電光の先端部に向かって押し寄せる高いレベルの電流の波がZ-ピンチを誘発する。電流密度は、電光の中心から外縁

に向かって減衰するので、電光の中心からその外縁に向かって移り変わる次のそれぞれの層が、その放射状の磁界によって、徐々に小さく細くなっていく。それは、電流密度低下として強さを減少させていく。このような電光の先端部の断面図(図9)が表している効果は、地表面との連続した接触が存在することを示している。

中央部の電流フィラメントが地表と接触して $t_0$ で放電し、外側の層が接触して $t_5$ で放電するまで、それぞれの層は連続して $t$ マイクロ秒の間隔で放電する。

この過程は、図10に示されており、そこではそれぞれの層は、放電パターンに見合った異なる色で示してある。

図に示されているように、それぞれの層は、次の層が接触する前に接触し放電する。放電のパターンは、連続する層が接触の時間間隔によって分けられている連続放電の原理を描くために単純化されている。

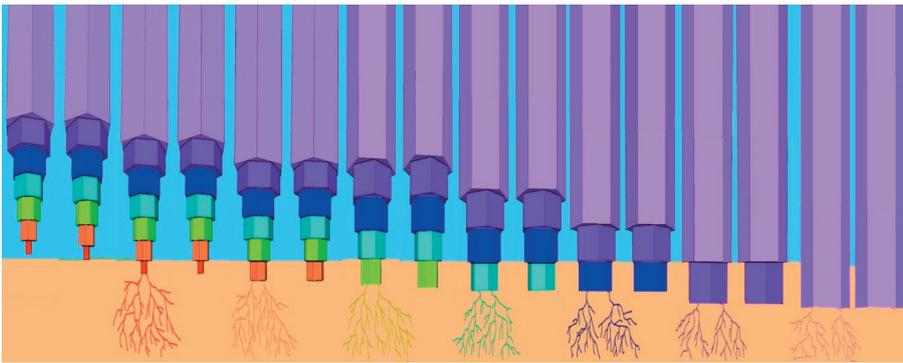


図10 接触とその結果として生じるフィラメントの連続する層の放電

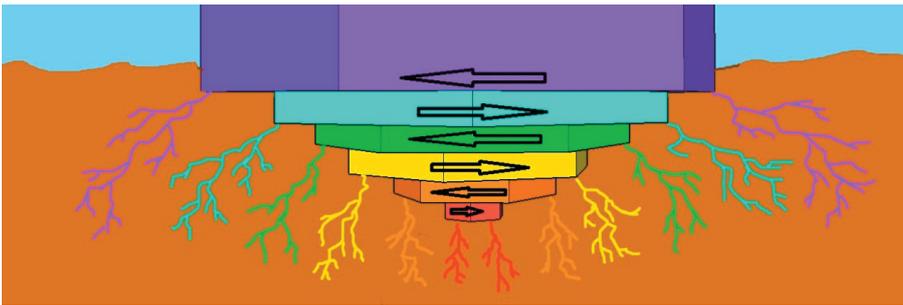


図12 逆方向に回転している層とその放電の断面図

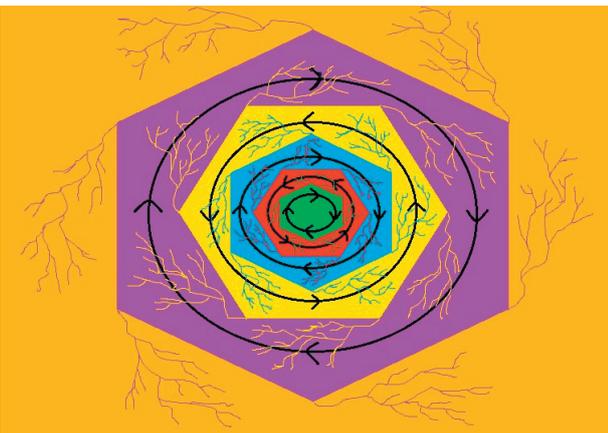


図12 逆方向に回転している層とその放電の平面図

先端部の側面図も同じ意図で誇張されている。

#### 2.2.4. 放電のメカニズム

それぞれの層が隣接する層とは逆の方向に回転していることに注目すると、放電のパターンは、図11と図12とでまさにぴったり似ている。この図では、すべての層とそれが関係する放電において、ひじょうに効率的な帯電の解放と分散の方法を生み出すために、そのシステムがいかに働いているかについての優れた認識が得られるように、同時に並べて示されている。

稲妻電光が地表と接触する時、その機能はできるだけ速く効率的に多量の帯電を解放、分散することである。この連続的に放電するフィラメントの層への逆回転のシステムを使うことによって、電流がすべて同時に放電されることが妨げられる。私は、それは決して効率的ではないと言いたい。その代わりに、帯電の総量は増加分に引き渡されており、それは、絶えず拡大している円に連続して逆の方向に回転し

て横にはじき出されている。このように、放電は、帯電総量の均一で効率的な分散を確実にすることを、互いにできるだけ避けている。

私がここで概説した稲妻電光モデルは、稲妻電光プロセスの正確で完璧なモデルであり、そのどの様態も、本論で述べた2つの多角形クレーターそれぞれの形態についての明瞭に観察できる特徴に直接結びつけることによって証明されるだろうと考えている。

### 3. 証拠

#### 3.1 クレーターの輪郭

##### 3.1.1. 火星

以下に示すような六角形のクレーター（図13: 記者）は、火星や他の太陽系の（天体の）表面のどこでも観察されているし、しばしば報告されている。

けれども、さらに多数あるにもかかわらず、八角形クレーターについては、どこにも言及されていない。それは六角形クレーターよりも認定することが一層難しいからかもしれない。この主な理由は、HCPとCCPの配置（図14）の間のパッキング密度の違いである。

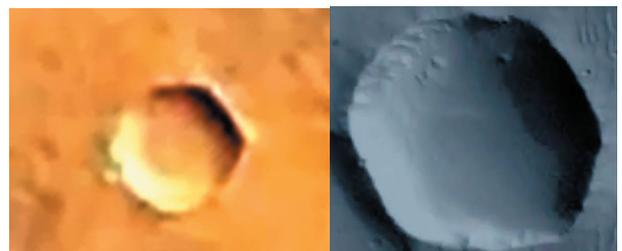


図13 火星の六角形クレーター：画像ファイル（1）

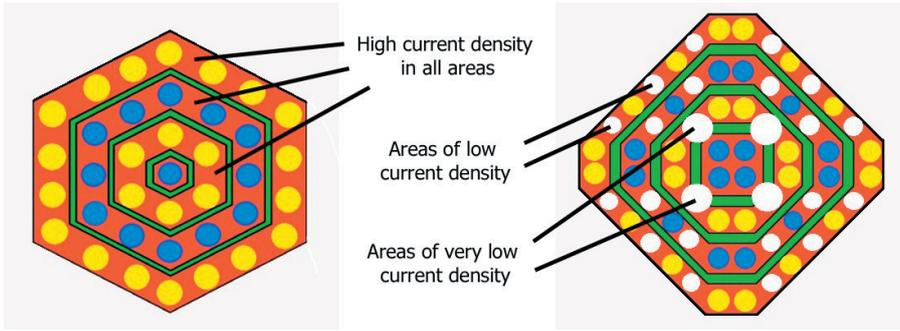


図 14 HCP と CCP の配置によって発生した電流密度の違いを示す六角形と八角形稲妻電光の断面図

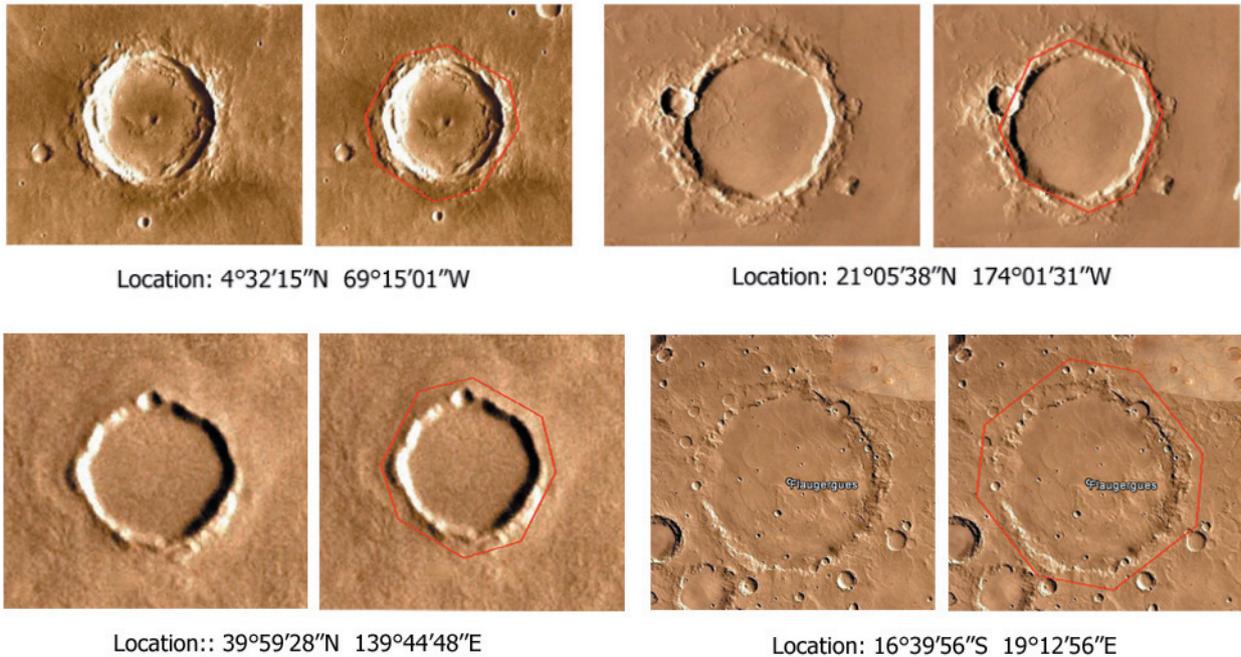


図 15 八角形の輪郭と認定するのが困難な状態を示す火星の一連のクレーター

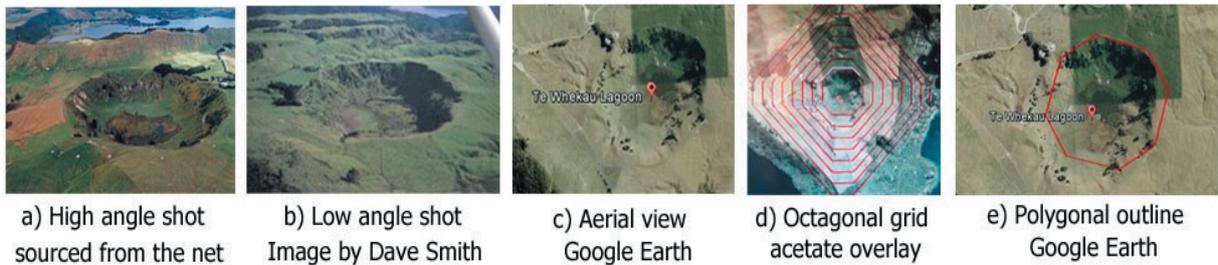


図 16 航空写真とグーグルアースを使ったクレーターの識別.

六角形電光は、すべての領域で高密度電流をもっており、八角形電光より一層強い'掘削力'をもっている。八角形電光は低密度電流の領域をもち、それで'掘削力'もより小さい。

火星の表面のような滑らかで岩のように硬い表面では、クレーターは、内側の壁や底に滑らかな面をもち、きれいにカットされたはっきりした縁をもつ六角形のクレーターになる (図 15)。だが一方、八角形クレーターは、起伏の多いクレーター壁と、それほどはっきりしない縁をもっているようである。それは、浸食の影響を受けやすく、その輪郭を認めるのが困難なように形成され、とくに、角度のある頂角には、起伏の多い円形の輪郭を残している。

図 16 のクレーターのグーグルアース (GE : Google Earth) 画像ファイルはこの例であり、案内のように、多角形の輪郭をしていたり、いなかったりしている。火星における他の八角形クレーターの例は、補遺 A に含まれている。

### 3.1.2 地球

火星とは異なり、地球は浸食を行うための十分な水の供給があり、おまけに植物が広範に被い隠しており、浸食されたクレーターの輪郭は容易に見つからない。都市化と農業の発達した地帯はさらに問題を増加させており、地球上では、視覚という手段によるクレーターの認識は、一層困難になっている。

航空機による上空からの写真は、クレーターを確認するのに最良の方法かもしれないが、それさえ、当てにならない。図 17 画像 a) は、ニュージーランドの Te Whakau ラグーンで、ほぼ円形のくぼみと言ったところでそれ以上のものではない。さらによく見える外観は、多角形の頂角が強調された低角度

からの画像 b) によって示されており、六角形の輪郭の初期イメージを見せてくれる。グーグルアース (GE) による真上からの画像 c) を見ると、大部分の輪郭は浸食されてしまっているが、北東方向の陰影の中にはっきり認められる 3 つの縁を見ることができる。それは約 135° の 2 つの内角を示している。



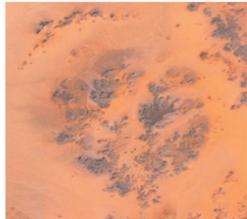
Odessa, Texas 31°45'21" N 102°28'44" W

Odessa, Texas 31°45'44" N 102°31'54" W



Lonar Lake, India 19°58'39" N 76°30'30" E

Patomsky crater, Russia 59°17'05" N 116°35'22" E



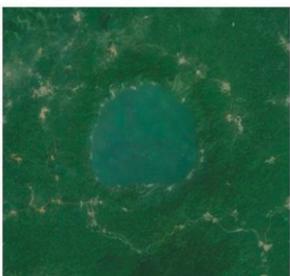
Kebira Crater, Libya 24°40'53" N 24°57'55" E

Oasis Crater, Libya 24°34'36" N 24°24'28" E



Barringer Crater, Arizona 35°01'39" N 111°01'23" W

750m south of Barringer Crater 35°00'52" N 111°01'34" W



Lake Bosomtwe, Ghana 6°30' N 1°24'32" W

Crooked Creek, Missouri 37°50'14" N 91°23'41" W

図 17 (つづき) 規則的な六角形と等角八角形といった多角形の輪郭のはっきりした証拠を示している確認されたインパクトクレーターと未確認のインパクトクレーター。

CCP 配列によって生み出される等角の八角形の内角合計は  $135^\circ$  であり, Te Whekau ラグーンはおそらく八角形クレーターの形態をもっているであろうことを暗示している. 3つの壁の中央は, 隣接する他の壁の縁が示しているように, 浸食が輪郭をわかりにくくする前の垂直な岩石の表面を見せており, それらはクレーターの最も浸食されていない部分であることを示している. d) の表面にグリッド格子を適用し, これらの3つの縁を基準線として使い, クレーターをグリッドの中心に置くことで, グーグルアースのポリゴンツール (多角形ツール) で描いた輪郭ガイドラインを e) に引いた.

‘ほぼ環状の形’をしたインパクトクレーターと見なされている多くのクレーターは, 実際には, 規則的な六角形あるいは等角の八角形のどちらかの形をした多形 (のクレーター) であり, 私は, 世界中のクレーター形状のサンプルの上に述べた方法を適用した. これらの大部分は, インターネットの報告や画像, あるいはグーグルアース検索によって手に入れた別の例から, インパクトクレーターと確認された (2) (3). これらのいくつかは, 図 18 に示されている. さらに他の例は補遺 A にある.

1) 図 17, 補遺 A のすべてのクレーター, そして本論文のいたるところでいろいろな特徴の例証として使われてきたクレーターは, 等辺等角の六角形か等角の八角形の輪郭である. 2) これらのはっきり異なった独特の多角形の輪郭は, 稲妻電光がもつことができるたった2つのありうる断面に正確に適合している. 3) 惑星とその衛星に関する隕石体による無作為の衝突が, なぜ, 完全な等辺等角の六角形と等角の八角形の形でクレーターを残すのか十分

満足がゆく説明ができる電流理論あるいはモデルはない. 私は, この研究の過程の中で調査したすべてのクレーターや, 同じように適合した2つの多角形の輪郭を持つ別のクレーターは, 隕石の衝突でなく, 稲妻の打撃によって形成されており, 稲妻クレーター (lightning craters) という新しく名づけられるべきだと思っている.

### 3.2 同軸の (同心の) 環状構造

同心環状構造はしばしばインパクトクレーターの底で観察されるが, それらの満足な説明はみられない.

#### 3.2.1. Chad, Borkou, Aorounga クレーター

CP0 (同軸 (同心) 多角形輪郭) に接近して見ると, それらは, いくつかの峰の頂部に沿って走る焦げた岩石の鮮明な線のある高まった尾根状の部分にあることがわかる.

図 18, 19 の CP0 の光景は, 電流フィラメントの同軸 (同心) 多角形層の輪郭を示している. つまり, 電流が地表面に接触し放電したところにある焦げた岩石の列である. 高まった尾根の形状に見えるこれらの輪郭は, 正電気を帯電した表面での放電を示唆している. これは, クレーターの中央部の姿は, Aorounga クレーターが正電気に帯電した地表面での稲妻の打撃の例であることを示している膨らんだドームである, という事実によって支持されている.

#### 3.2.2. オリンポス山 Olympus Mons

オリンポス山は, 正電気に帯電した表面で稲妻の打撃を受けた同様の例である. そこには等角の八角形の輪郭 (b); ワイングラス形状の中央ドーム (c);

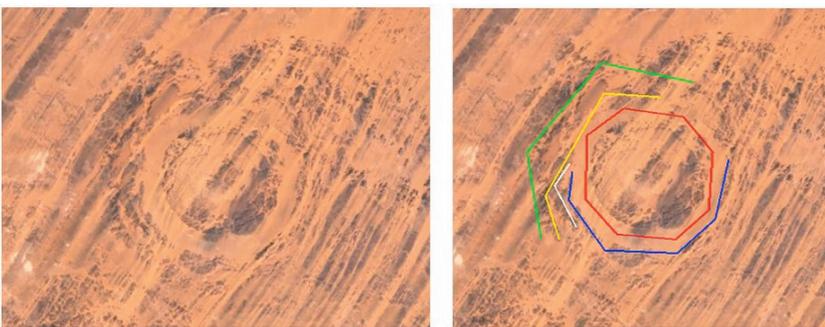


図 18 高まった中央領域のまわりに等角の八角形を見せている Aorounga クレーター ( $19^\circ 05' 30''\text{N}$ ,  $19^\circ 14' 34''\text{E}$ ) と約  $135^\circ$  の角度をもった一連の同軸 (同心) 多角形輪郭 (CP0). (GE 画像)

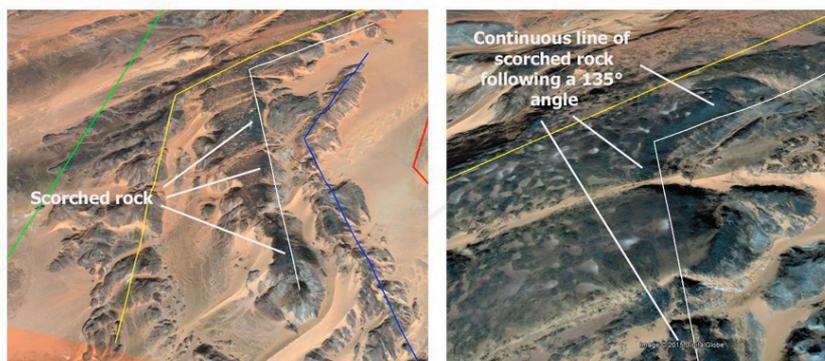


図 19 高まった峰の上の焦げた岩石を示している CP0 の拡大写真. (GE 画像)

そして高まった尾根の形状の中に一連のCPO (c, d, f)が存在している. 八角形電光の低電流密度地域(図14)は, 電光の規模が増加するにしたがって増加する. オリンポス山は直径が350マイル以上あり. 八角形電光のこの大きさは, 放射状の磁界が, 地表面と接触する直前に発生するプラズマピンチ(締め付け)の中で最も強くなるので, たぶん, その多角形層(e)の中に, ある変形を示すことが予想される. この現象は, 2つの縁が内側に曲がって示されている図20(f)でわかるはずである.

### 3.2.3. 火星クレーター

図21に示されているCPO(同軸(同心)多角形輪郭)は, (電氣的に)負の地表面における打撃によるCPOの例なので, 異なった形成のされ方をしてい. この場合, 輪郭で示された峰とクレーターの底の(尾根とは)別の高まった地域は, その他のクレーターほどは浸食されていない. というのは, CCP(立方体型最密充填配置)によって作り出された多角形層は, 層の縁で最も低い電流密度領域をもっているから, 言い換えれば, そこが層の間の分離した隙間である低電流密度領域(図14)をもっているからである. このような峰は, 電流フィラメントの多角形層の縁を示している. 峰の頂部に注目すると, Aoroungaのそれとは似ていない頂部は焦げていないが, その内側の側面は, 峰の列の内側で電流を放電したことを示している.

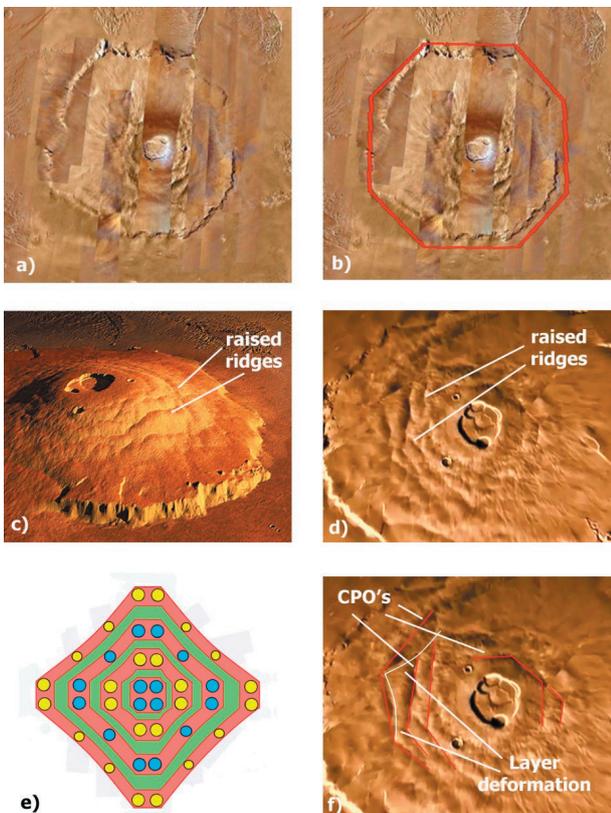


図20 a) オリンポス山, b) 輪郭線, c) 鳥瞰プロフィール, d) 上空からの外観, e) 層のゆがみ, f) CPOと層の内側への弓形変形. 図の出所: a) b) -GE画像; c) インターネット; d) f) 画像ファイル<sup>(2)</sup>.

Aorounga クレーター, 火星のオリンポス山や八角形クレーターの同心の環状構造は, (Aoroungaの焦げた岩石の列を含み) およそ135°の内角をもった多角形を示しており, それらのおおのクレーターの多角形の輪郭はみな共通しているの, 私は, これはすでに述べた幅のせまい反発作用によって分離した電流フィラメント(図5)の同軸多角形層の体系についての確かな証拠であると判断している.

### 3.2.4 CPO(同心多角形輪郭)のランダムな様式

もし, Aoroungaクレーターで発見された同軸多角形層が, 同じ方向に回転しているとする(図22a)と, 地表面と接触している連続した層の間の時間間隙を考慮に入れるとしても, 同じ方向に回転する連続した層の頂角に関する赤い線の弧によって示されるような, 滑らかな跡が付けられたパターンが予測されるだろう.

AoroungaのCPOのパターン(図23)は, 図22b)のパターンに一層似ており, 同軸を示しているそれは逆方向に回転している. 私は, これはすでに述べられた逆回転(図7)の確かな証拠と考えている.

### 3.3 中央部の特徴

八角形稲妻電光は, HCP配列に比較されるCCP配列

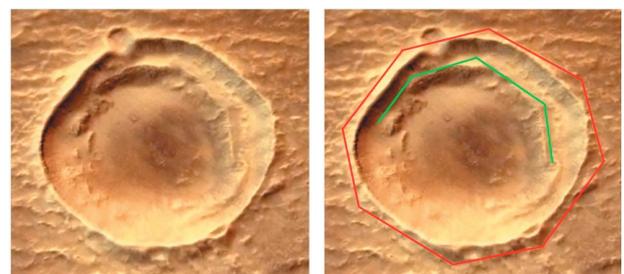


図21 正八角形の火星クレーターとCPO. 画像はScreenshots<sup>(1)</sup>

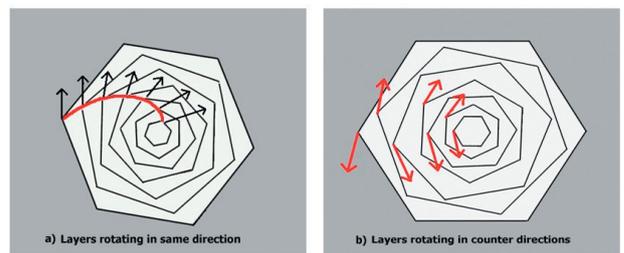


図22 多角形層層の回転パターンの可能性



図23 AoroungaのCPOの拡大写真. GEのクレーター画像

の比較的低い充填密度が原因のいくつかの低電流密度の地域を持っている (図 14). 電流密度がそこでは最も低い特別な 4 つの地域がある. —それは真ん中の 4 つの電流フィラメンによって形成された正方形の隅にあり, 最も低い電流密度地域を作っている明瞭な 'コーナーポスト' (かどの突起 = 電極) を伴った, 四角い広場のような外見 (図 24) に由来している. 同じような姿は, ブラジルの Serra de Cangalha クレーター (図 25) でも見ることができる.

コーナーポストは, 電流密度がもっとも低い地点であり, 中央部の特徴が最もしっかりした部分で, 浸食の影響をほとんど受けにくい所である. これ (図 26) は, 3 つのポストの根だけが残っており, ぼんやりした 4 番目の (ポストの) 痕跡を残したかなり激しく浸食されたクレーターのように見える. 私は, これは, 狭い幅の反発作用に基づいて分離した多角形層の体系のより明確な証拠であると考えている.

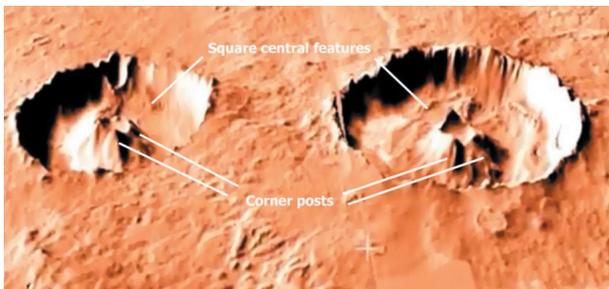


図 24 'コーナーポスト' をもった四角い中央部の形を示している 2 つの '標的' クレーター. 画像: 画像ファイル<sup>(1)</sup>

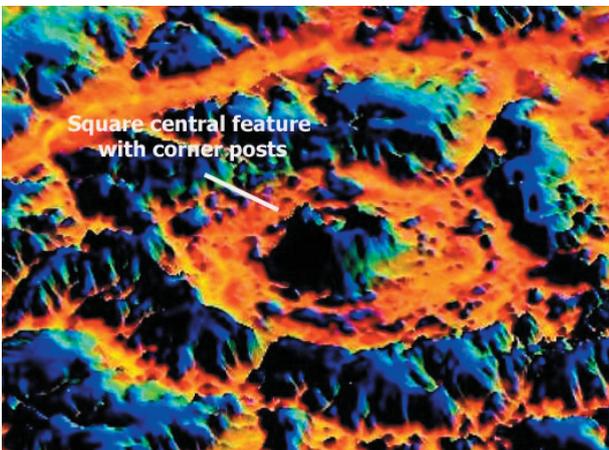


図 25 ブラジルの Serra de Cangalha クレーター. Reimold, W.U. et. al. (2006) .

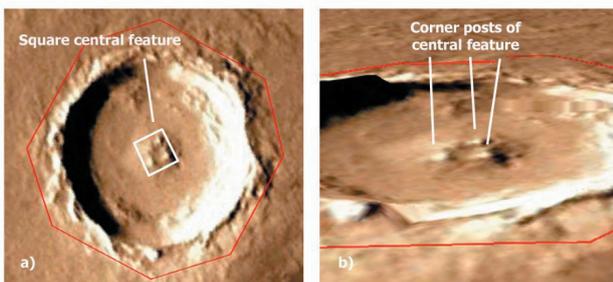


図 26 中央部の浸食された特徴をもつ八角形クレーター. 画像: GE 画像ファイル.

### 3.4 一度の打撃の中での連続放電

M. Geoff McHarg (Director, USAF Space Physics and Atmospheric Research Centre) は, 超スローモーションによる電光の映画撮影 (4) により, 一回の電光の打撃は, 短い間隔によって分けられた連続する放電からなることを実際に明らかにした. 私は, これは表面に接触する直前のプラズマピンチに起因する連続した接触のしゅみ (図 9, 10) のはっきりした証拠であると考えている.

### 3.5 シャッターコーン (隕石の衝突や核爆発などの激しい衝撃波で形成された円錐型の構造 (破片錘) — 訳者註)

シャッターコーンは長い間, インパクト事件の地形学的な指標と見なされ, その形成については, 衝撃波の伝搬における干渉を巡るすべての回転など, いくつかの体系が提案されてきた (Baratoux and Melosh, 2003; Sagy et al., 2004). しかしながら, これらの理論のどれ一つをとっても, シャッターコーンの 3 つの目立つ特徴についての十分満足する説明は与えられていない. それはつまり, 1) それらは放射状の爆発で形成され, それ故, 同じ方向に向いているという一般的な理論を否定するような, それらが互いに反対の向きで発見される頻度. 2) 細い筋状の条線のあるそれらの表面の模様はしばしばホーステイル (馬の尾) と言われる. 3) それらの偏球型あるいはスプーン型の表面形である.

シャッターコーンのこれら 3 つの特徴における鍵は, 稲妻電光モデルで提案されたような, 連続的に放電しながら逆回転する電流フィラメントの体系 (図 12) によって容易に説明できる.

すでに図 11 で示したように, 電流フィラメントの逆回転層の方式は, Steinheim の例 (図 27 c) のように, 隣の層からこれらに対して逆の方向の放電を自動的に起こす. 連続的に放電する層に伴って, 1 つの層は放電し, 隣の層のトップコーンが形成される前にボトムコーンが形成される (図 27b) のような状態を作りながら, 次の層が放電する前にシャッターコーンを形成する.

同じことは, 左上の小さいコーンが, より小さいコーンの周りで放電した大きいコーンの形成前に形成された kentland の例 (図 27a) にも適用できる.

私は, シャッターコーンは岩石中を通過する放電の結果であり, それらの表面のパターンは実際に, Lichtenberg 像 (図 28c と d) であると考えている. 私はまた図 28 に示されているように, 2 つの異なる形があるということを述べたい. Charlevoix コーン a) は繊維状で羽毛パターンをもち, c) における

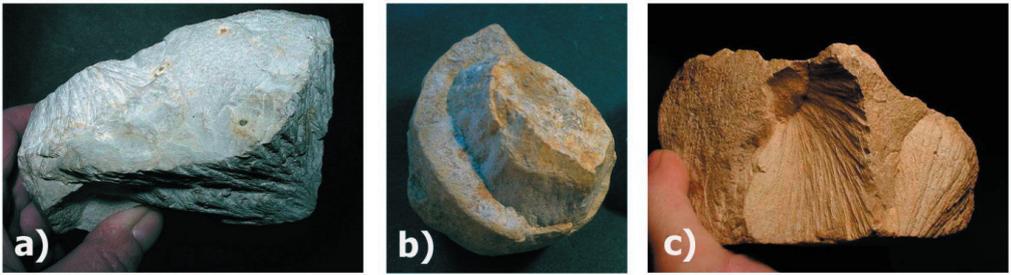


図 27 逆配置を示すシャッターコーン  
1) Kentland インパクトクレーター, 2) Tuttersee クレーター, Chiemgau インパクト, 3) Steinheim インパクト構造. 写真: impact-structures.com.

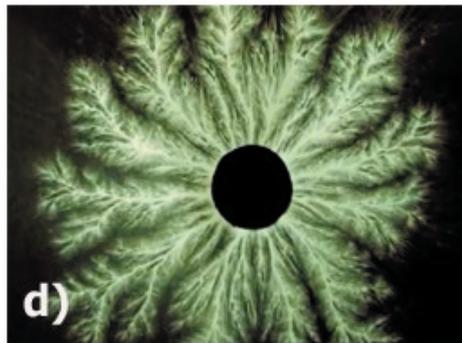
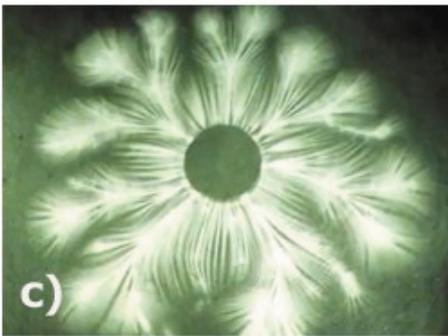


図 28 放電と比較されるシャッターコーンの表面のパターン. a) Charlevoix クレーター, カナダ, b) Vredefort ドーム, SA c) 負に帯電した表面への 9 b 放電 d) 正に帯電した表面への放電. 画像: a) b) インターネットより. c) d) は画像ファイル (1).

負の地表面への放電のパターンと似ていることを示している. しかしながら, Vredefort でのコーンは, d) における正の地表面への放電のように頻繁な枝分かれを伴い, 実際はより一層樹枝状である. これはクレーターのある Charlevoix (負の地表面) やドームのある Vredefort (正の地表面) など, コーンが見つかるそれぞれのサイトと調和するように現れるのかもしれない. しかし, 異なる場所のコーンのより詳細な検討には, このようなことを主張するためのさらなる証拠を用意する必要がある.

Steinheim (図 27c) や Charlevoix (図 28a) の図に似た例であるつぶれた球の表面のパターンは, 図 28c) と d) のようなパターンをコーンの形に押し流すほどの速い速度によるだけでなく, 放射状の部分のまわりを包んでいるものの螺旋回転の性質によるビルケランド電流の螺旋運動に連動した回転運動によって起こされた放電の結果である. これは, 図 29 のコーンによって示唆されるように, 下方への螺旋回転で放電を旋回させる傾向がある.

シャッターコーンがビルケランド電流の放電に起因するという更なる証拠は, 図 30 の Crooked Creek



図 29 かなり螺旋状の旋条を示している起源が未知のシャッターコーン. 画像: インターネットより

の円錐の先端が切られたシャッターコーンである. 断面をあてはめた輪郭線は, 等角の八角形, 由来が明らかなクレーターのような同様の多角形の輪郭 (図 17 参照), そしてそれを最終的に生み出した稲妻電光をはっきりと示している.

私は, シャッターコーンの定義となるような典型的な 3 つの特徴とその形成過程 (何一つ満足な説明がまだなされていなかった) を, 私の稲妻電光モデルの観点から説明することができたので, シャッター

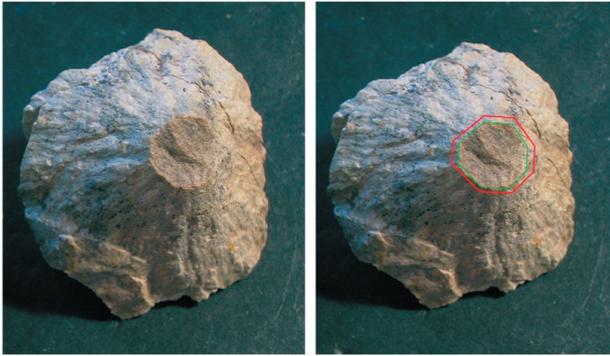


図 30 断面が等角八角形の輪郭を示している Crooked Creek の円錐の先端を切られたシャッターコーン, 画像: impact-structures.com

コーンは、私の稲妻電光モデルを利用した、逆回転のシステム、連続する放電、電流フィラメントの層などに対する確かな証拠を与えてくれると考えている。この観点から、私はこれらの構造に‘放電コーン’ (dischargecones) と名付け、(電光の) 打撃の指標として扱われると考えている。

3.1, 3.2, 3.3 そして 3.5 節で述べた証拠を要約すると、私は、議論された 4 つの鍵になる形態論はすべて稲妻電光モデルの点から十分すぎるほど説明されてきたと考えている。しかしながら、電流インパクトモデルは、すべての領域で不足していることがわかってきた。この基礎の上に立って、私は、これらの鍵となる形態は、電光の打撃によって形成されたクレーターの信頼できる指標として評価されるものと思っている。

### 3.6 海底のクレーター

これらのクレーターは、その所在からみてつきとめることは難しいはずであるが、現代のイメージング技術は、一定の地形学的な姿・形を確認するのに非常に役立っている。

#### 3.6.1 Silverpit クレーター

Silverpit クレーターは、Underhill (2004) によって提案された脱塩理論に代わるもう一つの理論として、Stewart and Allen (2002) によって‘多重環状インパクト構造’として最初に提案された。そのどちらの理論も中央の四角い床面と多角形の輪郭の両方を説明できなかった。これらの両方の地形学的な特徴を私の稲妻電光モデルの全般的な関係の中で説明した (3.2 および 3.3 節) ように、私は、Silverpit クレーターは隕石でなく稲妻電光によって形成されたと考えている。

#### 3.6.2 Chicxulub クレーター

Alvarez の 仮 説 (Alvarez et al., 1980) は、Chicxulub クレーターを、白亜紀末のダイノサウルス他の多くの種の大量絶滅で最高潮に達した一連の

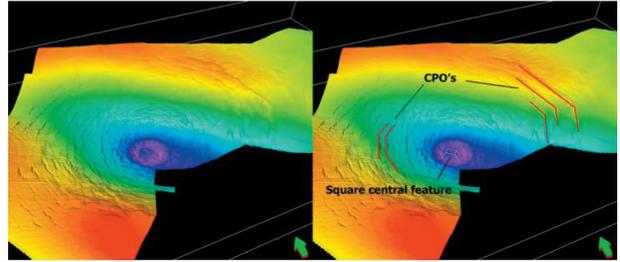


図 31 135° の角度と中央の四角い床面をもった CPO をしめす Silverpit クレーター. 画像: インターネットより

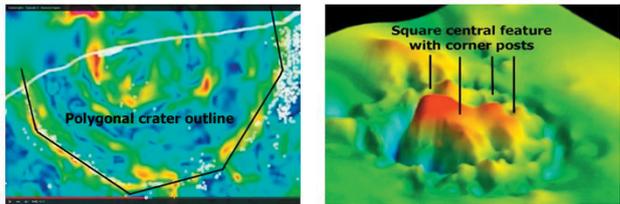


図 32 正八角形の外形、およびコーナーポストをもつ中央部地形. 画像は Screenshots (6).

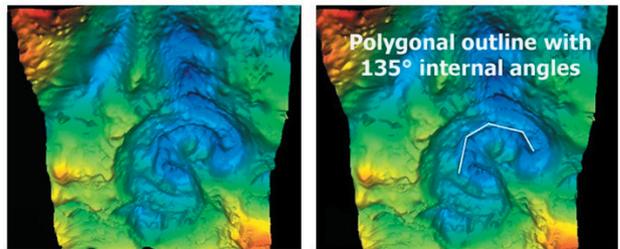


図 33 多角形状の外形を示す同心構造. 画像は Screenshots (6).

壊滅的な事件のきっかけとなった塊状の小惑星の衝突現場であるとみなした。しかしながら、それは、稲妻電光によって形成されたというはっきりした証拠を示している。クレーターの輪郭は、その南端の縁に続く cenotes (ユカタン半島の石灰岩台地に自然にできた深い穴—訳者註) によって表わされているように、等角の八角形の形をした多角形で、それに調和して内側に CPO を伴っている。また、コーナーポストを伴った中央部の四角い床面もある。電光打撃についてのさらなる証拠は、Dan Bridges (2004) による地震と重力のデータの分析によってもたらされた。彼によるクレーター中央部の東の部分の概念図で表された岩石学的な断面 (Dan Bridges 2004., 図 4) は、クレーターの中央部から外側の縁に向かって移動するにつれ、環状断層の深さが徐々に浅くなり、白亜紀最上部の炭酸塩岩礫の層が徐々に薄くなっていることを示している。これは、電光の一撃と一致している。稲妻電光の温度と衝突圧力は、図 36 に示されている図に従った電流密度の大きさに依存している。電流密度が電光の中心でもっとも高く、外側の縁に向かうに従って急激に減少する。このように、環状断層の変化する深さは電光の衝突圧力のプロフィールを、そして礫層の変化する厚さは電光の温度のプロフィールを反映している。礫層それ自体は、3.8 節と 3.9 節でより詳しく扱われている過程に起因しているので、稲妻の打撃の間に形成されている。私は、これは、Chicxulub クレーター

が巨大な稲妻電光によって形成されたということをも十分示していると判断している。

cenotes (深穴群) は、クレーターを形成したと思われる小惑星からの衝撃波に起因すると考えられる。私は、多角形の輪郭は、放射状衝撃波のどのような法則の原則からはずれており、衝撃波は丸い輪郭を作るはずであると考えている。私は、それらは、地下水が地表下の石灰岩を溶かした地域において、石灰岩の台地の表面殻を貫いて打撃を受けた外側の多角形層の中で、電流フィラメントによって形成されたという考えを提案する。もしそうであるならば、私は、cenotes (深穴群) は、ビルケランド電流に起因した下方に向かって渦を巻く放射状の溝の痕跡を示しているかもしれないと考えている。それらはまた、多角形の輪郭の痕跡を示しているかもしれない。もしそうでなければ、あまりに激しく浸食されている。

### 3.7 シベリアのクレーター

次の写真 (図 34) は、シベリアの Yamal 半島で観察された異常な (半欠け) クレーターの構造を示している。私の知る限りでは、少なくともこれらの変ったクレーターの内の 3 つは観察されてきた。最近では 2014 年 7 月である。クレーターは地表のすぐ下のメタン貯留層を伴った地域に見られる。科学者は前進的なさまざまな説明をつけてきたが、その主な統一見解は、地殻表面を弱体化しメタンを放出する永久凍土層の解凍であるとするものである<sup>(6)</sup>。

私は以下のような説明を述べたいと思う。これらの

半欠けのクレーターは、薄い殻を通して叩き、地表面すぐ下のメタン貯留層を燃え上がらせた電光の打撃の影響を示している。であるから、私は、等角の八角形の穴 a), b) は、八角形の稲妻電光の輪郭であると判断している。写真 b) と c) は、等角の八角形の完全に 135° にカットされた頂角がみられることがこれを支持している。4 枚すべての写真は、クレーターの縁の周辺に、稲妻電光による吹き流しによって作られた樹枝状の峰と溝の痕跡が示される。私はまた、稲妻の打撃のさらなる証拠、例えば、fulgarite (閃雷岩・雷管石: 珪砂への落雷によってできる天然のガラス管—訳者註) がメタン貯留層を保持する地下空間で見つかるかと予想している。

### 3.8 キンバレービッグホール

キンバレービッグホール (KBH) は、採掘されたキンバライトパイプ (キンバライトの噴火活動でできた火道でダイアトリームの一種と考えられている—訳者註)、あるいはダイアトリーム (火山ガスの噴出によってできた火道—訳者註) であり、火山活動の段階的な過程で形成されてきたと考えられている。それにもかかわらず、それは、稲妻の打撃の結果である痕跡を示している (図 35)。それは、ダイアトリーム孔の縁の周辺に CP0 と調和している等角の八角形クレーターの輪郭をもっていること、クレーターの外側の床はワイングラス形状を呈しており、その外側の縁には側面が急傾斜の内壁を伴っていることである。下方への螺旋運動を表している放射状の刻み目は、ダイアトリームの壁の周りにはっきり見られる。



第 34 図 シベリアのクレーター, Yamal. a) 多角形の輪郭をもつ上空からの外観 b) 多角形の輪郭の拡大写真 c) 樹枝状の溝 d) 樹枝状の溝の拡大写真。インターネットによる画像。

ダイアトリームやキンバーライトの形成と関連づけられているこれらの特徴、あるいはその他の異例なものが、ダイアトリームやキンバーライト形成の電流モデル (Kazanovitch-Wulff, 2011) によって満身に説明されたものは何1つない。

Kazanovitch-Wulff (2011) によって言及されているように、地球物理学の最近の進歩は、地表下たかだか10kmの深さに、高い電気伝導性をもつ大陸性地殻の層があることを指摘している。そのような帯電性をもつ広い地域の存在は、稲妻電光が、地球への最短経路を探し求めるための焦点(的)となる地点を容易に形成するだろう。

クレーターの現場での衝突力(の大きさ)の見積りには、原因となる動作主の性質には関わりがなく、例えば稲妻電光のような、他の原因となりうる動作主が直接適用される。衝撃の変形効果の存在、例えば衝撃を受けた石英は8 GPaの圧力を示しており、さらに、ウィスコンシンのRock Elmクレーターでのレイダイト(reidite:クレーターでのみ産する稀少鉱物、ジルコンの仲間—訳者註)の発見では、衝突力の幅としては8~80 GPaが与えられているが、30~80 GPaの圧力を示している。

地表面に向かう稲妻は、電荷を帯びた粒子の集合体であるその周りの大気を30,000°C (30 × 10<sup>3</sup> K)以上に熱する。それは、核/マントルの境界での温度よりも6倍も高い。

この数字は、おそらく直径1mかそれ以下の電光に対するもので、稲妻電光の中心での温度はもっと高いだろうから、控えめな見積もりである。直径がキロメートルで測られるほどの電光によって発生した温度は、ただ見当がつけられるだけであるが、電光の直径100mに対する規模の2桁の外挿法での推測は、3 × 10<sup>5</sup> Kの温度を与えてくれるはずである。KBHは直径が460mであるから、そのサイズの1つの電光は、およそ(4.6 × 3) × 10<sup>5</sup> K = 1.38 × 10<sup>6</sup> Kの温度を発生させるはずである。

このような極端に高い温度と圧力をともなうKBHのサイズの大きな稲妻電光は、温度と圧力に関しての一組の条件を与えている。それは、地球のどこか他の所では再生できないし、核/マントル境界でさえできないものである。稲妻電光の温度と圧力は電流密度によって決まり、図36で示されているようなプロフィールに従っている。そこでは、もっとも高い温度/圧力は電光の中心にあり、縁の方向に向かって急激に減少している。

それぞれの電流層が地表面と接触する時、標的となる岩石は、1) 破碎作用 2) 突発的加熱・突発的冷却(FHFC) 3) 放射方向の外側への排出 から成り立つ



図35 キンバレービッグホール。 a) キンバレービッグホール、 b) 多角形の輪郭とCP0との調和、 c) CP0の拡大写真、 d) 外側のクレーター床の外観、 e) 放射状刻み目の5点での縁からの高さの測定値。画像a) -d) グーグルアース画像ファイル、e) インターネット画像。

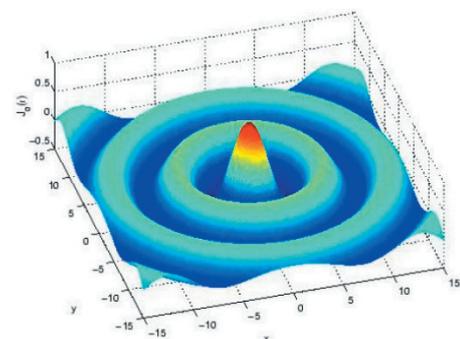


図36 ビルケランド電流の電流密度のプロフィール。画像はDonald E Scottの好意による。

ている衝突の周期 (IC: impact cycle) に支配されるであろう。私は、形成された KBH が図 37 に示されているように進行したと思われるその打撃とキンバーライトダイアトリームの形成の原因は、ユニークな条件の組み合わせにあると考えている。

中央部の電流は、伝導性のある層と接触することを捜し求めて放電するやり方で、下方に螺旋下降して、岩石を粉碎し、圧縮し、溶かすであろう。放電に続いて、おそらくただ 1 回だけの IC (衝突周期) を経験した根もと一帯の岩石は、ゆっくりと冷却されるままになり、火成岩の貫入岩、半深成岩のキンバーライトとして出現するだろう。根元一帯はそれ自体、“目立たない付属物のようならばららの円柱や柱石” これは図 37 に示されているように、放電によって生成された構造の適切な説明だと考えている。

連続する電流層は、ダイアトリームの穴の周りに放射状の溝を残しながら、放電の前に当てるその‘掘削力’がある限り、電流密度の急激な減少が効果をもたらし、外側の層が地殻の深部まで貫通する力を失うまで、下降を続けるだろう。そしてその代わりに、稲妻電光の外側の刃によって切られた、垂直の内壁を持つはっきりとした輪郭のワイングラス状の地形をクレーターの外側に残しながら地表を掘るだろう。

ダイアトリーム帯周辺の岩石は、多様な IC (衝突周期) に支配されているが、電流の中心部による最初の破碎作用に続く、ダイアトリームの中のその封じ込めは、さらなる破碎作用を押さえ込む。ダイアトリームの岩石は衝突の圧力に支配されており、衝撃波は、ダイアトリームの壁に反射して戻るエネルギーのいくらかをもった半熔融状態の岩石破片を通して伝わるだろう。この過程は、ダイアトリーム帯の中の半熔融状態の岩石に加えられている確定しがたい数の高圧‘パルス’に起因している。私は、この過程は、掘られたクレーターのサイトーそこでは衝突エネルギーの多くは放射状の衝撃波によって散逸させられている一での高圧よりもさらに高い圧力を生み出し、キンバーライトに関連したダイヤモンド、ザクロ石、カンラン石のゼノクリストなどの生成の原因となっていると考えている。

ダイアトリーム地帯でどのくらいの数の IC が起こったかを推定することは不可能であるが、散弾状の火山礫がこれに関する非常に良い指標を与えてくれる。

図 38 の例は、微粒子状の物質の熔融した固まりが、ダイヤモンド結晶の周りに急速に凝縮した最初の衝突周期の時に形成されたものであろう。連続した IC は、縁の周りに付加して大きくなった一連の層を作りだしながら、徐々に低温になり、それ以前の

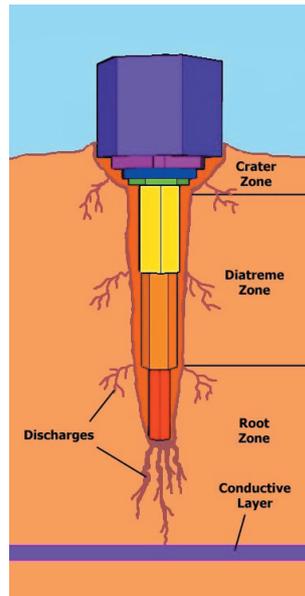


図 37 稲妻電光によるダイアトリームとキンバーライトの形成。

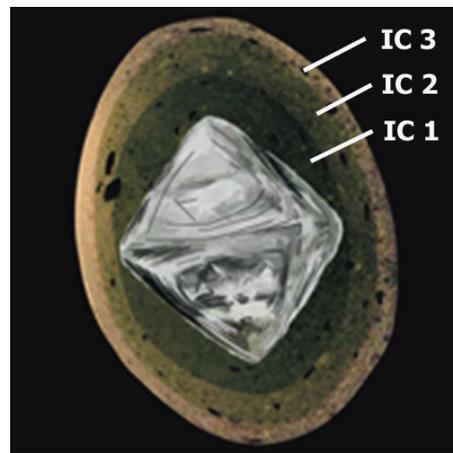


図 38 ダイヤモンドの結晶の‘種晶’の周りに形成された散弾状火山礫。3つの衝突結晶を指示している。画像出所: southampton.ac.uk<sup>(7)</sup>。

IC で形成された岩石を溶かすのに十分な高い温度ではなかったであろう。それぞれの層は次第に低くなる温度と圧力で作られた溶融物を象徴している。形成条件の急激な減少は、中央部から縁へ移るに従って減少する IC の層の厚さに反映されている。

これらの過程は、最初の破碎作用による母岩のゼノリス、異質岩片、すでに述べたゼノクリストなどを含んだ火成岩礫に似たダイアトリームの岩石に帰着するだろう。私は、これは tuffistic (= 火道 pipe 中の破碎された母岩のような一訳者註) キンバーライト礫だと考えている。また、ダイアトリームの壁は、電流層と接触したかもしれないような溶融の兆候を示している。

クレーターゾーンでは IC は急激であり、現在、母岩はもはやダイアトリーム壁には含まれていないという破碎段階に入っている。ここの岩石は、火山碎屑性のキンバーライトのような噴出火成岩に似ている。より細かい微粒子は、外側に吹き付けられ、クレーターの内壁に凝灰岩の内張りを形成するだろう。

ダイアトリームクレーターの中にシャッターコーン

を採す論拠はこれまで誰にもなかったが、私は、それらは、図 37 の放電によって示されたように見つかるだろうと予測している。シャッターコーンの形成に関して裏付けとなる証拠は、コンゴ民主共和国の Luizi インパクトクレーターの中で見つかった、稲妻の打撃とキンバーライトの間の連関に関する、3つのキンバーライトパイプがある (Ferriere et al 2014)。そこでは、シャッターコーンはクレーターの 6km 深度の直上で発見された。同じ連関は、Dorjnamjaa et al. (2011) によるモンゴルの '宇宙パイプ' (astropipe) で観察された。これらは、キンバーライトと金がシャッターコーンに伴って発見されている小さな 'インパクト構造' である。

稲妻電光モデルは、マントル深部の熱と圧力にまさる熱と圧力によって地殻が支配されていることによって、キンバーライトに関連づけられている異常のすべてを説明している。

キンバーライトは、FHFC の条件の下で、本来の場所に形成されるので、深部溶融体の急速上昇と、後に続く、石墨よりもむしろダイヤモンドの形成に必要とされる、急速冷却の説明は不要だろう。

地殻の表面からのキンバーライトの起源は、また、多くの研究者によって指摘されたように (Kazanovitch-zwulff, 2011)、地殻の堆積岩や変成岩についての高い揮発性をもつ内容物や化学組成の類似性を説明している。稲妻電光は、1つのこと一地球への最も短い進路を見つける必要性によって動かされている。つまり、稲妻電光によって形成されたダイアトリーム的位置は、地表下の大量の帯電の存在によって決まるのだろう。例えば、先に述べた高い伝導性を持つ大陸性地殻の層の存在であり、それ以外の要因はありえないのである。これは、構造運動の起こっている地帯から遠く離れたダイアトリーム位置、他の岩石の物性あるいは基盤構造との関連性の欠如、また、それらの無秩序な空間分布などを分かりやすく説明している。また、外側のクレーターに関連した地形的な異常 (図 35) は、散弾状の火山礫の形成についての満足すべき完璧な解説とともに説明されてきた。そこで、私は、キンバーライトダイアトリームとキンバーライトの形成に関

わっている稲妻電光モデルは、現在流布しているダイアトリームとキンバーライト形成の理論とモデルに代わるより一層信頼のおける理論を与えてくれると判断している。

### 3.9 隕石

もし本論文で討論されている多角形クレーターが、稲妻の打撃で形成されたとすると、私たちは、隕石の破片、例えばバリンジャー隕石孔の中や周辺で発見されたキャニオン・ダイアブロ (Canyon Diablo) 隕石に伴った破片をどう説明したらよいのだろうか？ もしクレーターが稲妻の打撃によって形成されたなら、私は、それに関連したどのような隕石の破片もまた、打撃の事件で形成されたと考える。私は次のように説明をしたい。

稲妻電光の温度と圧力は、電流密度によって支配されている。それは図 39 の左に示されているようなプロフィールをもっている。KBH における直径 460m の稲妻電光の温度を計算した見積もりに基づくと、バリンジャークレーターの電光の大きさは、直径およそ 1km で、 $30 \times 10^5$  K の熱を発生させたことになる。右は同心円状に描かれた打撃の範囲の図で電流フィラメントの逆回転層を表している。この上に重ねられているのは、電流密度のプロフィールにほぼ対応している温度と圧力の一連のゾーンである。それは、打撃地域の中心で最も高く外側の縁に向かって急激に減少している。

打撃は、中央の電流が地表に衝突する時に始まり、電流フィラメントの外側の層が接触し放電するまで、(すでに 3.8 節で概説したように) 衝突のサイクルの連続が進展する。それぞれのゾーンは、それらが形成された時点での温度と圧力によって決まる構成をもった岩石破片を生み出す。電流隕石分類体系 (current meteorite classification system) の主なグループへの成帯モデルの適用によって、私たちは、1回の稲妻の打撃によって作られた様々な岩石タイプの完全な写真を集めることができる。それぞれのタイプは、組成と顔つきによって、そのそれぞれの形成ゾーンに割り当てられるはずである。

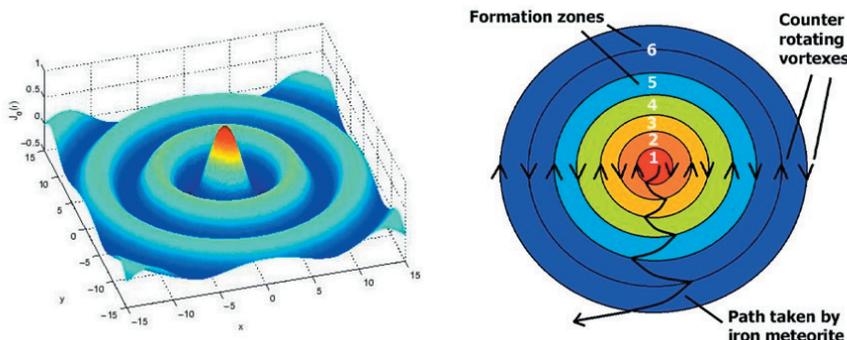


図 39 光照射域内における隕石の形成。左画像は Donald E. Scott の厚意による。

ゾーン1

30 × 10<sup>6</sup> Kと見積もられた温度で、すべての鉱物の大部分が気化されるだろう。そして、残された金属は、もし、的になる岩石の中に存在するとすれば、微量なthe ironpeak series (IPS)の他のメンバー、Cr, Mn, Co, V,を伴った鉄とニッケルであろう。(IPS)金属は、星の核種合成の最後の生成物と見なされており、およそ15 × 10<sup>6</sup> Kの温度、そして、より重い元素の生成に必要なより高い温度への安定した上昇、超新星(爆発)で起こると想定される過程で生じると考えられている。鉄とニッケルは、安定した状態で作られる最も高い核結合エネルギーを持っているので、最も重要なIPSである。超新星の核種合成に必要なより高い温度がそこまで達しない時、鉄とニッケルは、突発的な加熱のもとで鉄-ニッケル合金テーナイト(taenite: :鉄隕石の中に含まれる(Fe, Ni)合金鉱物一訳者註)が生成された後に残される。

他のIPS金属の存在は、鉄隕石に関連した鉱物、例えば例えば、クロマイトchromite (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)とコヘナイトcohenite ([Fe, Ni, Co]3c)を基礎にした鉄-ニッケルに合成されるだろう。結果として生じたかなりの量の溶融したテーナイトは、その後すぐ、急速に冷却される。

急激な冷却は、kamaciteとtetaeniteのほとんど同時の結晶作用により、図40の状態図の急速な降下を促進するだろう。私は、これは、鉄隕石に特有なウィドマンステッテン構造(図41b)が原因であ

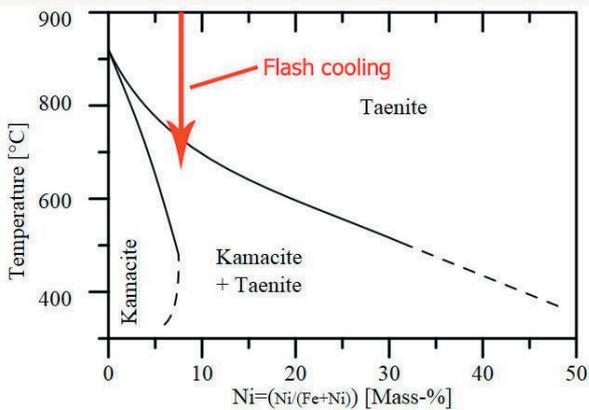


図40 Tobias (1984)による“taenite kamaciteの鉄隕石状態図”. CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons (8) 許諾

ろうと考えている。この極端に速いFHFCサイクルに続いて、金属片は図39に示された経路と連続しているゾーン2に投げ出される。これ(経路)は、一連の逆回転の渦を通り抜けてそれら(金属片)を運ぶだろう。そこでそれらは、岩石片、何らかの固体、何らかの溶融体に叩かれるだろう。しかしながら、ひょっとしたら、打撃地域からはじき出される前の短い期間、FHFCを経験するかもしれない。これは、刻み目とレグマグリプト(regmaglypt:隕石表面の小さい傷または穴一訳者註)に被われたCanyon Diablo隕石(図41a)のサンプルに似た最終段階の顔つきということになる。

ゾーン2

わずかに低い温度と圧力でさらに多くの鉱物が残されるようである。ゾーン2は、パラサイト(カンラン石とFe-Ni合金からなる石鉄隕石一訳者註)が見つかるところである。これらの石鉄隕石は少量の鉱物を含む主に鉄-ニッケル合金からなり、鉄-ニッケルのマトリックスの中にカンラン石のクラスト(異質鉱物片)が見られる。鉄質隕石のように、それらはまた、破裂する岩石破片のゾーンを通過して移動するだろう。そして多量の刻み目をもつ打ち叩かれた姿を持つだろう。

ゾーン3

ゾーン3では、電気密度の急激な減少が影響を及ぼし、温度は著しく下がる。

ここはmesosideritesメソシデライト(菱鉄鉱鉄隕石)が見つかるところである。ほぼ同量の金属と珪酸塩を含むこれらの角礫化した石鉄隕石は、金属と鉱物の破片が高熱で溶かされ、打撃の地域から追い出される前に、どのような優勢な組成も伴わずに一緒に溶融体になる。

それらの最終的な姿は、衝突によって刻み目をつけられるかもしれない切れ目のない金属面が欠如していることに由来している。それどころか、溶けた金属の塊と岩石の塊からなる、部分的に石のような異常な表面は、図43aのVaca Meurtaの例のように、それらが打撃地域の縁に向かって外側に移動するにつれて、砕かれればばらなるだろう。



図41 鉄質隕石: a) Holsinger隕石(Canyon Diablo断片), b) Gibeon隕石, ナミビア, ウィドマンステッテン構造を示している。

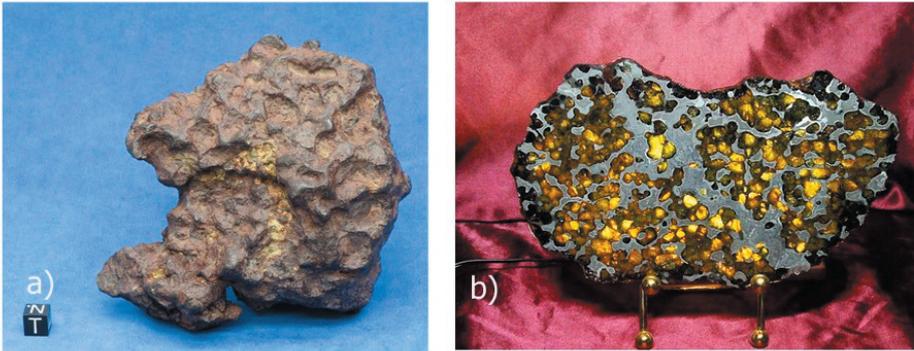


図 43 a) Vaca Meurta mesosiderite, spacerocksuk.com b) Dalgara mesosiderite, astro.washington.edu.

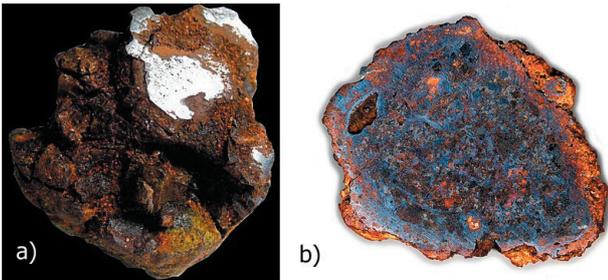


図 44 a) Milbillillie ユークライト, b) NWA2482 ユークライト. 画像: meteorite-recon.com

#### ゾーン 4

ゾーン 4 は、石質隕石、エイコンドライトの最初の出現をともなった、温度と圧力のもう一つの重大な低下が知られる。それらは、熔融と再結晶作用の証拠を示す火成岩の礫のように見える。このシリーズの主要なメンバーは HED エイコンドライトーハワードイト howardite, ユークライト eucrite, ダイオジェナイト Diogenite である。ダイオジェナイトは粗粒で、中央部に最も近い所で見つかるが、より小さい粒子サイズのユークライトは、小さい粒子はが吹き飛ばされるようなさらに外側の地表面の、中央部から遠く離れた場所に溜まるだろう。ハワードイト howardite は、ダイオジェナイト Diogenite とユークライト eucrite の混合物であり、ゾーン 4 の外側の縁で、吹き飛ばされ溶かされたユークライトとダイオジェナイトから生成したことを示している。

連続した石質の表面をもつエイコンドライトは、FHFC に続いて表面殻を形成するだろう。それらは、打撃地域から排出される前にはほとんど衝突を経験していないだろうから、図 44a の Milbillillie ユークライトのようなより規則的な表面の外観を呈しているだろう。

#### ゾーン 5

ゾーン 5 には、熔融過程を示している、火成岩の組織をもつ初生のエイコンドライトがある。エイコンドライトらしくないけれども、それらは、コンドライトとよく似た化学組成をもち、さらにコンドライトを含んでいる。コンドライトはゾーン 5 で見られるが、その形成過程はゾーン 3 の早期かあるいはゾーン 2 でさえ始まる。ダイオジェナイトとユークライトの場合でふれたように、数段階

の FHFC を通り抜ける確率を増加させながら、細かい粒子は大きな破片よりもより速い速度で放出される。つまり、大きい破片は、それらが最初に形成されるときに 1 回の FHFC 段階を経るだけであり、連続する衝突サイクルの FHFC 段階で捕らえられるほど十分なすばやさでは放出されないであろう。

私は、コンドライトの形成過程は次のように考えている。単体の鉄あるいは珪酸塩鉱物の微塵サイズの粒子は、ゾーン 4 にすばやく放出される前に、ゾーン 3 の中で、FHFC のもと溶かされ濃縮される。ゾーン 4 でのより低い温度は、粒子を溶かすのには不十分であろう。そのかわり、カンラン石と輝石に富む濃縮溶融物の層に包まれるようになり、それからゾーン 5 に放出される。低い温度と圧力のもとでさえ、粒子は濃縮した溶融物の層に再び包まれる。しかし、この溶融物は、長石質の物質に富んでおり、濃縮したその溶融物の最後の層に包まれたコンドライトを供給する。この過程は、それによって '種晶' の粒子が、組成や / あるいは外見が異なっている物質からなる別々の層の連続した凝固のために、核形成の場を準備するのであるが、キンバーライトの散弾状の火山礫を造り出す過程と同じである。散弾状の火山礫のように、コンドライトは、連続した衝突サイクルに起因する数回の FHFC の段階を示している。

この点では、2 つの異なった広い環境の中で作用している同じユニークな過程についてのこれら 2 つの似たような発想は、キンバーライトと隕石の形成過程との間の関係を推論するだけでなく、連続する FHFC サイクルを予測する稲妻電光モデルのような一般的な因果関係を示す手段をも示唆している。

あるコンドライトは、大量の凝縮した溶融物に捕らえられ、初生的なエイコンドライトの中に姿を現すだろう。一方、他のものはゾーン 6 の中に追い出されるだろう。初生的なエイコンドライトは図 44a にあるエイコンドライトによく似た表面の組織をもっている (図 44a)。

#### ゾーン 6

この外側では温度は岩石を溶かすほど十分な高さで

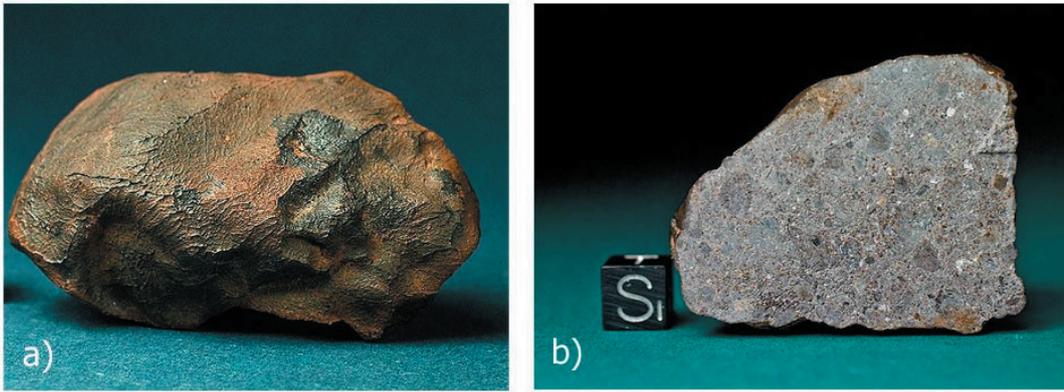


図 44  
a) Millbillillie  
ユークライト,  
b) NWA 2482 ユー  
クライト画像.  
meteorite-recon.  
com



図 45 コンドライト  
arizonaskiesmeteorites.com

はなく、ゾーン5から排出されたコンドリュールは、ゾーン6の破碎された岩石とともにコンドライトを形成するために溶かされるであろう。他の石質隕石のように、コンドライトは溶けた殻を作り上げるが、しかし、それらが形成されそれ故ほとんど衝突に左右されないゾーンより他の、どのようなインパクトゾーンも通過しないので、それらはエイコンドライトより滑らかである (図 45)。

ゾーン6の外側、周辺地域は、はじき出された隕石の破片とテクトタイト tektite によって被われているだろう。それは、ルーズな砂や土壌の作用によって作られたフルグライト (fulgurite: 閃電石・雷管石) の実例である。つまり、高温度を暗示する暗い黒焦げのその色合いは、その形成に関係している。それらは、母岩を被っているペドリ石 pedolith から形成される。それらは形成される最初の生成物である。最も軽いので、クレーターから最初に追い出され、広い地域一面で、そしてクレーターから離れた遠いところで見つかる。

私は、それらの起源にかかわらず、すべての隕石は、母岩への稲妻の打撃の生成物であると考えている。それぞれの組成と特徴は、ゾーンに分けられた形成モデル (図 39) に基づいて、それらが打撃地域の内部で形成された場所に起因している。

すべての隕石は、地球上のインパクトクレーターと関連していようと、目撃証言のある落下によるものであろうと、イリジウムの高い濃集がみられる。私

は明らかにしたと信じているが、もし、本論分で取り上げた多角形クレーターが稲妻電光によって形成されたとすると、それはイリジウムに関連した隕石かもしれないし、見つかったイリジウムがハイレベルであるのは、ただ稲妻電光の過程に起因するだけであるはずである。私は、以下のような説明をしたい。親鉄性のあるイリジウムは、鉄との高い親和力を持っている。私は、稲妻の打撃による非常に大きな大気圧の低減で、高い気温と圧力によって、標的の岩石の中に存在するいかなるイリジウムも、ゾーン1、そしておそらくゾーン2、ゾーン3 (もし、これらのゾーンの温度と圧力が十分高ければ) で作られた単体の鉄との金属結合を形成する、という条件のユニークな組み合わせを備えているだろうと考えている。これらの内側のゾーンで形成された隕石は、衝突と FHFC に支配されており、打撃地域を出る前に、それぞれの FHFC サイクルで他の隕石と合成される打撃地域の至る所にイリジウムをくまなくまき散らす。また、クレーターはそれ自体、打撃によって放出されるすべてのより細かい粒子によって高いレベルのイリジウムの存在を示すだろう。

地球は、月、火星から、ことによると、マーチソン隕石のように、私たちの太陽系の外側から、隕石を受けとっている。それで、私たちは、隕石は惑星の表面から宇宙空間へ放出されたのだらうということを知っている。太陽系中に散在した多数の多角形クレーターを考えると、それは、稲妻電光と、小惑星帯のような場所における多量の隕石体によって掘られたのだらう。私は、巨大な稲妻電光による惑星表

面の穿孔は、私たちの太陽系の歴史の中で何回も起こった1つの過程であると考えている。

#### 4. まとめ

第3節で紹介したすべての証拠に基づいて次のようなまとめをおこないたい。

1) ここで紹介した稲妻電光モデルは、稲妻電光過程の、今日までの最も完全なそして的確なモデルであり、地表面の稲妻を起す雲と、例えば、スプライト、エルフ、そしてブルージェット（落雷の際雷雲の上空に現れる発光現象—訳者註）のような雲にかかわる現象の両方についての私たちの理解を深めることに役立つことを証明するであろう。これらの雲にかかわる現象は、地面の稲妻を起す雲と同時に起こるように見えるので、私は、それらはすべて、自然界が、特定の場所に集中する、稲妻電光プロセスの媒介による帯電の移動によって起こる電位のアンバランスに対処するのに使っている唯一の調整システムの一部だろうと考えている。もし地上の稲妻を起す雲が、地上へ向かう雷雲の底でマイナス帯電に転移すると、スプライト、エルフ、そしてブルージェットは、電離圏へ向かう雲の頂部で正帯電への転移に巻き込まれるかもしれないと考える。

2) 本論分で述べた2つの多角形クレーターの例はすべて、稲妻電光に起因し、それらの鍵となる形態、例えば、多角形の輪郭、放射状の多角形構造、決定的な指標である中央部の形態と放電コーンなどは、稲妻電光により形成されたクレーターであることを示している。

3) 前にふれた散弾状の火山礫についての満足な説明を欠いていることを含み、ダイアトリームとキンバーライトの関係した異常を説明することによって、稲妻電光モデルは、電流理論と、ダイアトリームとキンバーライトの形成モデルについて、型にはまらないより説得力のある提案を行っている。

4) 本論で紹介されたゾーン形成モデルによって輪郭を示したように、すべての隕石は大きな稲妻の打撃によって形成され、それらの組成と形態は、稲妻電光領域中のそれらの各位置を直接に反映する。

5) 稲妻電光の形成過程は、無数に大きさが変えられることが示されており、巨大な稲妻電光がありうることは確実に立証されている。そのような巨大な放電を考えた1つの発端は、地球の歴史上のある時代に、巨大な稲妻電光によって膨大な量の帯電の転移を起すような、地球の電位よりも高い電位をもった大きい惑星本体との接近に直面した可能性があることである。これと地表へ向かう雲の稲妻との

間の、私たちが今日見る唯一の違いは、惑星本体が雷雲の代用になっているということ、つまり、根本原理と過程が同じであるということである。現在受け入れられている太陽系形成の理論とモデル、そして太陽系内での惑星本体のふるまいは、このことを考慮に入れていない。であるから、これは惑星間の接近の直面とその結果として生じる巨大な放電を予測する唯一のモデルであるので、電気宇宙モデル Electric Universe Model の筋書きは再検討されるべきである。

6) K-T境界で見つかった高レベルのイリジウムが、隕石/小惑星の衝突に関連した事件での大量絶滅に関するいくつかの理論の基礎となっている。最も目立つのは Alvarez の仮説である。本論文で述べた Chicxulub や他のインパクトクレーターは、稲妻による打撃に起因したこと、そして、稲妻は高レベルのイリジウムの存在原因であることが述べられているので、高レベルのイリジウムと隕石衝突に結びつい大量絶滅は、上記の5で述べたのと同様の理由で、電気宇宙モデル Electric Universe Model の背景のもとで再考と再調査がなされるべきである。

謝辞：著者は、次の方々に感謝したい。Dr. Louis Hissink 本論文の準備に際しての助言と指導に対し、Donald E. Scott 私の稲妻電光モデルに対する概念と論拠の提供に対し、Wal Thornhill 正しい方向性への当をえた私への指摘に対し。

#### 文 献

- 1) "Symbols of an Alien Sky part 2 – The Lightning Scarred Planet, Mars"
- 2) List of impact craters on Earth: [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_impact\\_craters\\_on\\_Earth](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_impact_craters_on_Earth)
- 3) Impact structures of the world: <http://www.somerikko.net/impacts/database.php?show=all>
- 4) Lightning in super slow motion: <https://www.youtube.com/watch?v=RLWIBrweSU8>
- 5) Channel 4 Documentary series "Catastrophe – episode 4 – Asteroid Impact", 2008
- 6) <http://www.sott.net/article/283249-Earth-is-opening-up-Mysterious-Siberian-crater-attributed-to-methane>
- 7) "Rare Mineral Discovered in Ancient Meteorite Impact Crater." <http://www.livescience.com/48584-reidite-discovered-rock-elm-wisconsin.html>
- 8) [http://www.southampton.ac.uk/oes/news20120516\\_chocolate\\_and\\_diamonds\\_why\\_volcanoes\\_could\\_be\\_a\\_girls\\_best\\_friend.page?](http://www.southampton.ac.uk/oes/news20120516_chocolate_and_diamonds_why_volcanoes_could_be_a_girls_best_friend.page?)
- 9) "Meteoritic iron phase diagram taenite kamacite" by Tobias1984 - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons - [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meteoritic\\_iron\\_phase\\_diagram\\_tauenite\\_kamacite.svg#/media/File:Meteoritic\\_iron\\_](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meteoritic_iron_phase_diagram_tauenite_kamacite.svg#/media/File:Meteoritic_iron_)

phase\_diagram\_taanite\_kamacite.svg

Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. and Michel, H.V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction. *Science*, v. 208, p. 1095-1108.

Baratoux, D. and Melosh, H.J., 2003. The formation of shatter cones by shock wave interference during impacting. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 216, p. 43-54.

Dan Bridges, L.W., 2004. The volcanic interpretation of Chicxulub, Mexico. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 28, p. 9-15.

Dorjnamjaa, D., Voinkov, D.M., Kondratov, L.S., Selenge, D., Altanshagai, G. and Enkhbaatar, B., 2011. Concerning diamond and gold-bearing astropipes of Mongolia. *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, v. 1, p. 98-104.

Ferrière, L., Kaseti, P.K., Lubala F.R.T., Akwerali, J. and Djuma, A., 2014. New finds of impactites at the Luizi impact structure (Democratic Republic of Congo). 77th Annual Meteoritical Society Meeting.

Field, M. and Scott-Smith, B.H., 1999. Contrasting geology and near-surface emplacement of kimberlite pipes in Southern Africa and Canada, *Proceedings of the VIIth International Kimberlite Conference*, vol. 1.

Khazanovitch-Wulff, K.K., 2011. Some problems and questions of kimberlite geology and electric discharge hypotheses. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 61, December.

Reimold, W.U. et al., 2006. Investigation of Shuttle

Radar Topography Mission data of the possible impact structure at Serra da Cangalha, Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*, v. 41, no. 2, p. 237-246.

Sagy, A., Fineberg, J. and Reches, Z., 2004. Shatter cones: Branched, rapid fractures formed by shock impact. *Jour. Geophys. Research*, v. 109, B10209, doi:10.1029/2004JB003016.

Scott, D.E., 2015. Birkeland Currents: A Force-Free Field-Aligned Model. *Progress in Physics*, v. 11, Issue 2.

Stewart, S.A. and Allen P.J., 2002. A 20-km-diameter multi-ringed impact structure in the North Sea. *Nature*, v. 418, no. 6897, p. 520-523.

Underhill, J.R., 2004. Earth science: an alternative origin for the 'Silverpit crater'. *Nature*, v. 428, no. 6980.

著者について 英国を本拠にする学士（優等コース取得）で環境モニタリングの独立（無所属）研究者。彼の専門的な科学のバックグラウンドは、大規模耐火産業研究開発局での数年間にわたる研究を含み、その後、学位取得後、野外教育センターの環境研究コースでデザイン、教育に従事。現在、彼は、沈船から引き上げられた銅やリサイクルガラスによる絵画とデザインの作品の制作デザイナー、作家として独立自営。彼の仕事は化学と物質科学の豊富なバックグラウンドを使っている。彼はなお科学的なものに興味を持ち続け、本論文は、彼の電気宇宙モデルへの特別な興味に由来している。

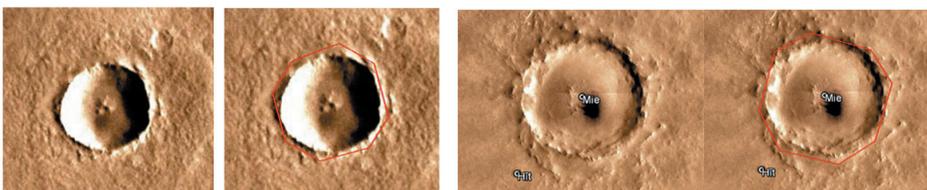
付録 A

火星



Location: 25°01'05"N 167°34'35"E

Location: 55°34'14"N 139°34'22"



Location: 38°35'30"N 137°13'52"E

Location: 48°05'54"N 139°38'08"E

地球



Bni Hadifa, Morocco 35°00'25"N 407'40"W

Puchezh-Katunki crater, Russia 56°58'01"N 4156'48E

地球



Wolfe Creek crater, Australia 19°10'18"S 127°47'43"E



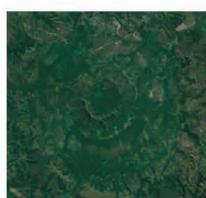
Monturaqui crater, Chile 23°55'41"S 68°15'42"W



Manicouagan crater, Canada 51°24'23"N 68°39'59"W



Ramargh crater Rajasthan 25°19'57"N 76°37'31E



Serra da Cangalha, Brazil 80°4'50"S 46°51'28"W



Shoemaker crater, Australia 25°50'41S 120°52'40"E

## 地球史における脈動的造構 – 火成活動の進化 EVOLUTION OF THE TECTONO-MAGMATIC PULSATIONS IN THE EARTH'S HISTORY

Valery ERMAKOV

Institute of the Physics of the Earth, RAS, Moscow, Russia ermak@ifz.ru, ermakov.v@gmail.com

( 矢野 孝雄・小泉 潔 [訳] )

**要旨:** この論文は、地球発達の地質史ならびにいくつかの造構-火成活動パラドクスについて考察する。冥王代～リフェイ紀のうち2つの早期期間に主要な内因的作用が最初に原シアル (protosial) の形成に、次に超苦鉄質-玄武岩質 (シマ) 球殻の発生に、関与したことが示される。原マントル (protomantle) は膨大な熱量を失い、成層構造が形成され、圧密作用を被った。融解した軽い物質は地殻中へ上昇した。古原生代の地殻固化は、シアルの逆転現象、シマの沈降、および、その結果としてテクトスフェアの冷却をひきおこした。リソスフェアがかなり冷却されたリフェイ紀には、水-堆積性被覆層が形成された。リフェイ紀～現在には、堆積作用の強度が指数的に増大した。Neogenicにおける優勢な沈降運動は、ジオイド面の一貫した低下、ならびに地球の凝縮と脈動的収縮という持続的影響をもたらした。卓状地地殻の平均厚度は、後続の変形によって乱されていないので、地球半径の減少量の基準値 (約 40km) になるであろう。

**キーワード:** 地球進化 evolution of the Earth, 造構火成作用 tectonomagmatic processes, 原シアル protosial, 玄武岩層 basaltic layer, 堆積被覆層 sedimentary cover, 海洋水 water of the oceans, 地球の脈動的収縮仮説 Earth's fluctuating contraction hypothesis

まえがき

近年、初期地球史にかんする私たちの理解は大きく変わった。地向科学説は地殻の成長と進化の一般的メカニズム—その発生から卓状地形成による固化—を提案したものであるが、最近では劇的なまで追放されている。この学説は沈降運動と旺盛な堆積作用に立脚しているため、地球発達史の初期段階へのこの学説の適用は疑問視されるようになった。逆に、初期地球史が本質的に火成作用とかがわっていることが、増大するデータによって検証されてきた。この新しい観点は、かねてから知られているように (Ronov, 1980 ; Ronov, 1990), Neogeic\* における地球の被覆堆積層に関する基本的結果を想定している。”ジルコン”年代学と同位体地球化学は、惑星の誕生からまもない40億年以前の年代を示す鉱物の発見をもたらした (Hanchar and Hoskin, 2003). 同位体地球化学 (Caro et al., 2003) によると、著しく富化した物質をもたらした地球物質の最初の分化は、地球集積の約1億年後 (4460 ± 115 Ma) におこった。地球大気は、4.45 ± 0.02 Ga に安定化した (Zhang, 1998).

\* Neogeic この用語は、Protogeic の対語として、ドイツ人地質研究者 H. Stille によって1964年に提案された。ロシア語文献では、Neogeic は1.6 Ga 以降のリフェイ紀と顕生代を指す。Neogeic は、大規模な古期卓状地からなる安定陸塊と地向斜帯、および陸塊をへだてる海洋に特徴づけられる。

原シアルの発生

希ガス同位体によると、原マントルは冥王代に8回の循環 (recycling) を経験し、冥王代以降の残

りの時間にはただ1回の循環がおこった (Yokochi and Marty, 2005 ; Marty et al., 2007). ラブラドルおよび西グリーンランドの3.7~3.8 Ga 岩石のNd 同位体値は、現在の花崗岩地殻の40%以上が形成されていたことを示す (Collerson and Kamber, 1999). これらのデータは、地球史の最初の5億年間にあたる4.4~3.9 Ga に地殻の最古期岩石が形成されたことを証拠づけている (Hamilton, 1998, 2003 ; Zahnle, 2003 ; Mojzsis et al., 2007). 最古の帯状ジルコン (4.4 Ga) 中に石英, カリ長石, アルバイト, 磁鉄鉱, 黄鉄鉱が同時成長した微小包有物が発見され、それが花崗岩メルトにともなうものであったことを示す。このジルコンの帯状構造は  $\delta^{18}O_{\text{‰}} = 5.0$  and  $7.0$  であるが、マントルの値は  $\leq 5.3$  である。この問題にかんする最近の総説 (Kuzmin, 2014) によると、研究が進んでいる剛塊 (クラトン) のほとんどすべてで大陸地殻 (原シアル) は4.5~4.0 Ga に形成されていて、その極大期は4.2 Ga であったという (図1)。マグマオーシャンの結晶化温度は700~800 °C と見積もられる。ジルコン中の酸素同位体とCs 濃度の研究は、地殻が含水条件下で形成されたことを示す。

こうして、地球発達最初期の冥王代に花崗岩類が重要な役割をはたしたことの証拠が増えつつあり、逆に、初期地球のはんれい岩—アノーソサイト相あるいは月相という考え方はその正当性を失いつつある (Ermakov, 2002, 2004). これは、この種の岩石が地球上に存在しなかったことを意味しているわけではなく、それらは年代層序でより新しい時代の産物であることを意味する。原シアル岩石は、灰色片麻岩あるいは tonaliet-trondhjemite-granodiorite (TTG) 系に近似し、その特性はカリウムに乏しい

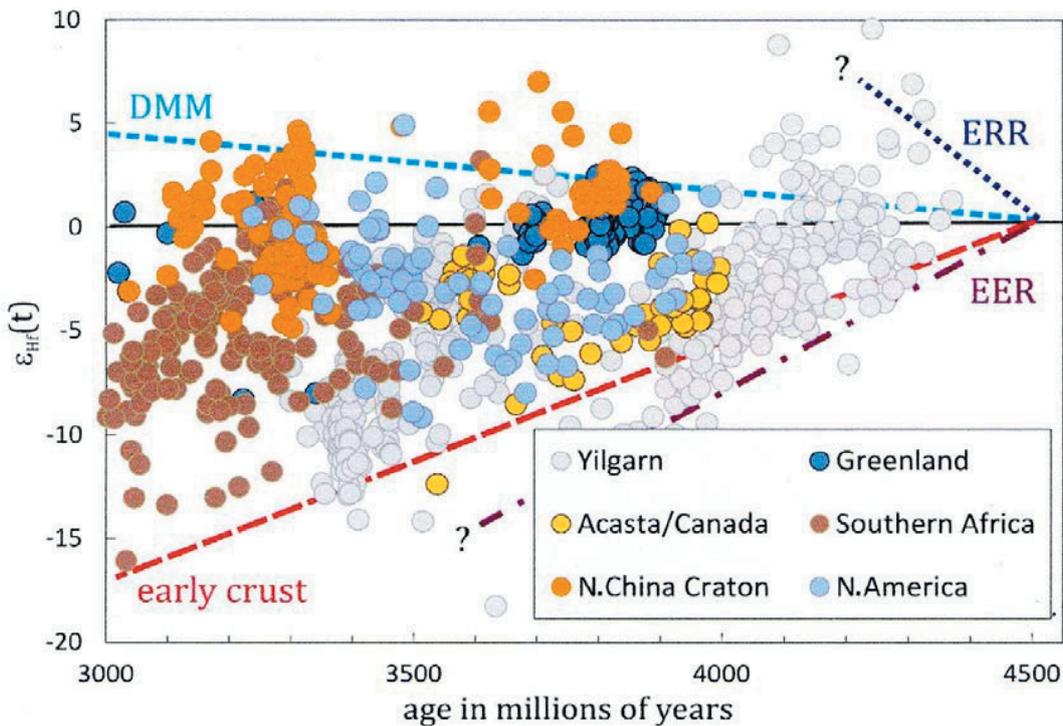


図1 オーストラリア, カナダ, 中国北部, グリーンランド, 南アフリカおよび北アメリカの剛塊 (クラトン) に分散する灰色片麻岩類分布域における堆積物および岩石中の碎屑性ジルコンの組成値 (Nebel et al., 2014 による). Kuzmin (2014) から引用. ERR: 初期残留領域, EER: 初期富化領域, DMM: 枯渇マントル.

ことである。これらの岩石は $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比が低く(0.699-0.701), それはマントル起源であることを証拠づけている。

シアル質地殻の形成にかんする私たちのモデルは、ベナール渦中での原マントルの対流分離作用に関連している (Garagash and Ermakov, 2004). 対流は、マグマオーシャンと厚度約 400km の水に飽和した原マントルという条件下で発生する。低融解率と高含水率は、コンドライトタイプ\*\*の岩石の実験で低カリウムメルトの発生をもたらす (Mysen and Boettcher, 1976). これらのメルトの組成は花崗閃緑岩に類似する。実際にも、ベナール渦の形成は過剰熱放出系の挙動を反映したものである。熱放出は対流渦を分離させ、その後熱が集積すると新しい渦群と新しい対流が発生する。前述したように、そのような周期的変化が、原マントルの上部球殻の全体にわたってくりかえし発生した(8回に達する)。こうして私たちは、集積直後の冥王代における原型形成に蓋然性の高い結論をうることができた (Ermakov, 2011).

\*\*コンドライトタイプ 最近では地球の初源物質として、炭素質コンドライトが高率を占めるより複雑な組成が想定されていることは注目に値する。炭素質コンドライトには、水の存在がかかわっている。

### シマの形成と原シアルの転換

水と大気のは半分は、始生代以降ではなく、すでに冥王代にシアル質地殻と同時に形成されたが、最初存在場所は現在の海洋とは大きく異なっていた。当時は、地表にコントラストのある造構地形は存在せず、海洋は存在しなかった。最初の貯水地形は隕石孔 (astroblems = クレーター) であったのかもしれない。グリーンストーン帯 (GB) あるいは花崗岩-グリーンストーン領域 (GSA) 型の玄武岩-超玄武岩 (ultrabasalts) 類のほとんどは、TTG あるいは灰色片麻岩の複合岩体よりも若く、始生代-原生代に編年される。初生的 (先花崗岩) な苦鉄質-玄武岩質地殻およびアルカリ玄武岩質地殻にかんする仮定でさえも先験的 (a priori) にみえる。超苦鉄質マグマの分化/分別作用によって原シアルが形成されたと説明しようが、その量はかなり少なく、現在みられる初期花崗岩の 5~7% をうわまわることにはない。最古期のアルカリ岩類 (玄武岩類と花崗岩類) は、原生代初期のもので、2.7~2.5 Ga よりも若い。この事実は、アルカリ玄武岩質初期地殻仮説に矛盾する。玄武岩質あるいは超塩基性組成の岩層は、始生代-原生代のほぼ全期間を通じて、リフエイ紀まで形成されつづけた。全層厚は 15~20km に達し、しばしば、より厚い場合も知られている。この期の火山活動の特徴はコマチアイトの形成であり、いくつかの層序断面での含有率は 10~15% に達する。

歴大な文献データの解析によると、始生代-原生代の期間には、おもに火山活動によって地殻 (シマ) の”玄武岩質”層が形成された (Salop, 1982; など)。他のメカニズム-当時は下方からのマグマ付加 (underplating) が一般的な地殻形成様式であった-はあまり重要な役割を果たさなかった。

20 世紀中頃の研究では、地殻の主要な構成要素は貫入岩相 (はんれい岩様岩石) よりも火山岩相の塩基性岩石 (玄武岩類) であると考えられていた。このような地殻構成物質の特徴は、マグマの熱力学-流れ学的特性にかかわっていた。地殻中でははんれい岩貫入岩体の比率は、それらが地表噴出した火山岩相にくらべて本質的に少ない。この結果は、下方からのマグマ付加が小規模であることに直接かかわっている。苦鉄質火成活動の反映は歴大であり、それが地殻全体にひろがっている、と想定されている。多くの研究者たちは、シマの形成を下部マントルからのプリューム進入にむすびつけている (Mantle plumumes..., 2000).

始生代-原生代の堆積岩類は浅海成・陸成・おそらく風成の地層群 (角礫岩、礫岩、中礫岩、頁岩、珪質岩、縞状鉄鉱層) によって構成されていて、全層厚は 3~5km に達する。稀ではあるが、特徴的岩石種はレプタイト (leptite) [堆積岩源の細粒グラニュライト相変成岩]、ヘレフリンタ (hallefrinta) [流紋岩・デイサイト源の微粒緻密変成岩]、縞状鉄鉱層であり、それらの堆積は火山活動中の台風-風の循環に起因したであろう。石英砂岩層は、均質性と 1km に達する大きな層厚を特徴とする (Salop, 1982)。縞状鉄鉱層は玄武岩質火山噴火および原シアル岩石の分布に関連する特徴を示す。層序断面のなかで堆積岩が占める割合は、15% を超えない。

深層掘削結果から、地殻の第 2 層あるいは第 3 層の地球物理学的モデルには弱点があることがわかってきた。いくつかの場合には、低位 (玄武岩層の下位) に花崗岩類が発見された。玄武岩層パラドクスは、この層が最古の TTG 系よりも若いにもかかわらず、楕状地玄武岩類の現在の構造が、花崗岩類に時々および常に関係して分布していることである。この花崗岩類は、楕状地内にみられる GB 原シアル全面積のうち、しばしば 75~85% に達する。若い玄武岩層はどこにあるのだろうか? この問題を解決できるのは、集積したシマ層が原シアルによって置換されたという想定である。これは、原シアルとシマの密度差のみならず、原シアルを加熱・流動化させた高温の玄武岩プリュームが貫入したためである。この種のメカニズムは、多くの研究者たちの文献で考察されている。初期 TTG 系の熱的活性化は、rheomorphism [異相同型] と花崗岩化作用をもたらす、より低密度岩類が地表へ向かってさま

さまざまなタイプの水平対流および浮上を起こす、という結果をもたらした (Ermakov, 2011, 2011a). rheomorphismによって、斜長花崗岩-トーナライト類の初生的組成が大きく失われ、エンダーバイト、シャーノカイト、通常のペグマタイト、およびアルカリ花崗岩類に変わった。GBの花崗岩類と苦鉄質岩類 (あるいは玄武岩類) の双峰性は初生的関係ではなく、後生的関係である。

上昇してくる玄武岩プリュームは原シアルの変化と運動をひきおこし、観察されたドームやreonesを形成する (Escola, 1949 ; Salop, 1982). こうして、地殻進化の最古の2段階、すなわち、シアルを形成したマグマ性造構期とシマを形成したプリューム造構期には、実際にも地殻の大半が形成された。この期間 (4.4 ~ 1.6 Ma) の末期には、地殻の80 ~ 95 %ができあがった。95 %という最大値は、Armstrong (1981) による見積もりである。火成起源の2層性地殻は、熱・揮発性物質・原マントル中の低温融解成分が大量に失われ、マントルが成層したことを明快に語っている。原マントルの最古の成層構造は冥王代の枯渇と複数回の循環によって、次の成層構造は始生代~前期原生代に下部マントルから上昇してきた玄武岩-コマチアイトプリュームから低温融解成分と揮発性成分が失われることによって、それぞれ形成された。

物質の混合、重力によるそれらの配置、そして、最

終的冷却は、地殻を固化させた。古期の原シアル形成は始生代~原生代に後続する複雑な造構変動の全容—原シアルの変換とシマの沈降、それにとまなうskialitesの捕獲、GSAあるいはGBのドーム状構造の形成、変成作用パラドクス、および楕状地の表層における花崗岩類の卓越—をあらかじめ担保するという役割を果たした。薄い海成堆積物の存否は地向斜構造もしくは延長傾斜 (extended dip) を規定し、造山運動の信頼できる証拠がないことを結論づけた。多くの岩石学研究者たちの示唆によると、初期地球における主要な内因的造構メカニズムは古島弧であった。ところが、これらの構造にかんする筆者の長期にわたる研究によって、それらは海洋化による構造であることが示され (Ermakov, 2005, 2006), それは古期先カンブリア紀の未解明の造構作用の類ではない。特別の火山学的-古地理学的研究は、始生代~原生代には被覆火山岩層が水平に被覆したことを示す (Svetov and Sviridenko, 2005). 岩脈貫入域の解析によると、著しく高起伏 (≥10km) の楕状火山が復元される場合がある。

表1は地球発達の3つの主要段階における最重要事件をまとめたものであり、それに続くリストは非循環的造構-火成作用の要点を抜き書きしたものである (Ermakov, 2011, 2011a).

地球の非循環的造構-火成作用の要点 (ロシア人研究者による龐大な研究成果による)

表1 地球発達の3つの主要段階における最重要事件

The main events	Age	Peculiarities of the rock and processes	Peculiarities of the heat processes	Notes
<b>I. Period of magmatectonics.</b> Fluid-molten melting of the protomantle. Formation of the protosial.	Hadean (Prearchean) 4.4 - 3.8 billion years	The tonalites, trondhjemites, and Grano-diorites. Terrestrial magmatism of the ignimbrite type. The high role of the aeolian transfer in the formation of sediments. The primary water and atmosphere. Rare deposits.	Magmatic ocean. The fluid convection of the protomantle in the Bernar cell. Dissipation of the upper layer of the Protomantle to a depth of 400 km	Simultaneous forming of protosial and depleted upper mantle. 8-fold recycling
<b>II. Period of the plumetectonics</b> Expansion of the plumes from the lower mantle sources. Formation of sima, GB, GSA. Wide-scale granitization. Shallow-water sedimentation.	Archean-Early Proterozoic 3.8-1.6 b.y.	Ultramafic-basalt magmatism. Komatiite, basalts, autonomic and stratiform intrusions, anorthosites. Enderbite- charnokite formation. Reomorphic and anatectoid granitoides in the core of GSA. The main mass of the siderophile deposits	Localization of the Earth's core. Accompanying heating the mantle. The main heat transfer agent - magma of the rising plumes. Convective and conductive heat removal.	Komatiite - an indicator of the undepleted lower mantle. Formation of the sima due to magmatism and underplating. Inversion of the protosial, bordered domes, or reones.
<b>III. Period of the block tectonics</b> Consolidation of the early crust. Formation of the platform (plate) and mobile belt. Contrast tectonic processes. Dominating processes of the transformation and destruction of the crust	Riphean and Phanerozoic <1.6 b.y.	Accumulation of the main volume of the sedimentary rock with small part of the mantle magmatism. Reomorphism, anatexis of granitoides. Increasing variety of the tectonic structures and composition of igneous rocks. The main mass of the lithophile and chalcophile deposits.	Mainly conductive heat transfer. The mobile belts - the main places of the heat flow on the plate boundaries. Cyclic pulsation of the heating and cooling the platform. The cooling lithosphere of the platform (emergence of the heat deficit)	Splits of the consolidated crust: its dividing into platform and mobile belts. Three cycles of the water regression with deepening ocean floor in Phanerozoic.

## 火成作用

1. 原シアル岩石 (TTG 系) はカリウムに富むことはなく、ナトリウム質である。冥王代～始生代には、時間とともに TTG 系の役割が減少し、通常のカルクアルカリ花崗岩の役割が増大する。もっとも劇的な転換は Saamian 変動 (約 3.6 Ga) である。
2. 最古のエンダーバイト (enderbite) [含斜方輝石トータル岩質岩] は前期始生代 (3.8 ~ 3.6 Ga) に知られていて、それは原シアルの reomorphism と循環の地質学的証拠となる。これらの岩石は、始生代 / 前期原生代境界に変成作用と花崗岩化作用を被り、それは地球史のなかでもっとも強力なものであった。
3. 高 Mg コマチアイト (Mg=22 ~ 23%) は始生代に、Mg がより少ないコマチアイトは原生代～顕生代に、それぞれ特徴的である。典型的なオフィオライトと青色片岩変成作用は後期原生代以降に限られて出現し、Fe-Ti ピクライトは 2.2 ~ 2.0 Ga 以前には知られていない。リフェイ紀以降には、アノーソサイト・堇青石グラニュライト・シャーノカイトのような岩石がみられなくなった。
4. アルカリ (カリウム) 火成岩は 2.7 ~ 2.5 Ga に出現したが、それらの量と多様性は、原生代末、とくに顕生代に増大した。そして、この時までには、カリウム含有率が大きい堆積物が出現した。ナトリウム質アルカリ岩類 (fooidites) [フォイダイト: 準長石に富む火山岩] はより後期に出現し、響岩は三疊紀以降にのみ知られている。キンバーライトはリフェイ紀以降にのみ出現し、最古のものは 0.4 Ga である。これらの岩石中のエクログャイト捕獲岩は 2.7 ~ 3.5 Ga、最古の帯状構造をもつダイヤモンドは 3.2 ~ 3.3 Ga である。これらのデータは、キンバーライトの形成と同様に、アルカリ岩メルトには地殻物質が関与していることを証拠づける。
5. 地球史のうえで鉱床形成に規則的分布が認められる。鉱床場は始生代には稀である。大規模な親鉄元素鉱床と白金族は前期原生代に集中する。いっぽう顕生代には、最大規模の親石および親銅元素鉱床が存在する。最大の鉱床場は後期顕生代と新生代に形成されていて、これらの元素が大陸地殻の進化に直接関係していることを示唆している。

## 堆積過程

1. 初期地球の最初の堆積物は、本質的に化学溶液からの沈殿とその後の砕屑性のものである。ただしリフェイアン\* (原生代中期～後期) 以降の堆積岩の面積と厚さは構造的な沈降の重要な要因になる。沈降は地殻の重さの大きさに起因し、約 35 億年以降～27 億年に起こった緩やかに増加するエクログャイト化と関係している。

\* リフェイアン (Riphean) は、地質時代の 1 つであり、原生代に含まれる。名前はウラル山脈の古名から、開始年代は 16 億 5000 万年前、あるいは 16 億年前、14 億年前などとされる。終了年代は、8 億 0500 万年前とし Sturtian (=クリオジェニアン) に繋げることが多いが、6 億 5000 万年前とし Vendian (=エディアカラ紀) に繋げることもある。前期 (1650-1400 Ma)・中期 (1400-1050 Ma)・後期 (1050-805 Ma) に分けられる。前期と中期が原生代中期 (=中原生代) に、後期が原生代後期 (=新原生代) の前半にあたる。

2. ジャスピライト (縞状鉄鉱層) のほとんどは緑色岩帯の岩石をとまって原生代前期に形成され、さらに原生代中期にはそれらの形成は停止した。リフェイアンにおいて炭素と黒鉛に富む片岩を含めて生物源岩が現れたが、グレーワックは稀である。一方で、炭酸塩岩と蒸発岩の最大の蓄積は古生代から中生代にあったと考えられている。原生代後期から古生代には、炭酸塩岩の中では苦灰岩が多く、中生代から新生代は石灰岩である。
3. 先カンブリアン代前期において造山源砕屑物の形成の役割は小さかった。原生代中期末に、自由酸素の出現を証明する最初の赤色層が現われた。リフェイアン後期になって顕著な厚さ (約 4 km) のモラッセが現れた。それらは、顕生代のモラッセと比べると 2 ~ 4 倍も薄い。リフェイアンから今までに大陸の中に蓄積した堆積岩の相対的な堆積速度は 7 倍増加した。その長い間に、大陸の上での堆積過程はより変化して、広域的で急激なものとなった。それは直接、堆積物の複合的リサイクルをとまない、また造山運動の激しさの増加と関係している。

## Neogeic — 堆積岩球殻層の時代

リフェイアンから顕生代、または地球発達の第 3 番目の時代である Neogeic は、堆積作用と様々な造構作用に支配されていた。初期と原生代後期 (リフェイアン) の境界は地球外層の地殻の歴史において最も重要である。それは、大気と赤色層の広い発達、最初の蒸発岩、生物源堆積物の堆積作用の強化など、酸素条件の増加と関連づけられる (Ronov, 1980)。堆積性地殻の体積の大半 (約 70%) は大陸上にあり、その 2/3 以上は造山帯で、残りの 1/3 以下は台地にある。大洋の巨大さにもかかわらず、そこには全世界の被覆堆積層のわずか 17% しか含まれていない。シベリアと東ヨーロッパの台地の被覆堆積層の厚さは最高で 9 ~ 13 km で、造山帯の被覆堆積層の全層厚は台地のその 2 倍またはそれ以上である。造山帯においてはリサイクリングの過程、すなわち堆積岩の浸食と蓄積が繰り返し起きていた。大陸上の Neogeic 堆積岩の平均厚度は約 4 ~ 5.1 km で、大陸縁辺では 3.9 km、台地では 2.5 km である。大洋における被覆堆積層の厚さは約 0.4 km である。

(Ronov, 1980; Ronov et al., 1990). これは固結基盤までの統計学的平均厚度が海面下 1.7 km であることを意味する. 永久的で集中的な浸食を被っている楯状地や中央連峰域は大陸の 17~20% を占め, 楯状地だけでは 6% と考えられる (Ronov, 1980). 大陸地域の残りは堆積岩によって被覆されている.

このデータは固結した地殻, そしてそれは明らかにリフェイアン以前に空間の分布が最大に達した地域と浸食された主な地域, そして今日までにその大部分は被覆堆積層下に沈降していることを証拠づける. この沈降はモザイク状であり, 局地的な最大沈降域では, 基盤表面は 20 km の深さにある (南カスピ海). 大西洋や太平洋, そして他の大洋のモザイク状沈降の証拠とそれに対応する構造地質学的スキームは, Belousov (1989), Rudich (1984), Orlyonok (1985), Vasiliev and Choi (2001), Blyuman (2011) や他の研究者によって提出されている.

Neogeic において, 固結地殻のモザイク状の深化と継続的沈降と堆積作用の間に, そして強固にされた地殻を深くしているモザイクと堆積性の過程の急激な増加傾向が継続していた. 水はひとつの地質学的な層で, 軽い地殻である. 水と堆積物はテクトニクスにおいて同様に機能し, 水が堆積物よりいっそう可動的であるという唯一のちがいがあがるが, たわむことが起こる. 地球表面の 2/3 は大洋が占め, 中生代以降それは水と堆積物を蓄積する巨大な海盆となり, 地球表面の構造的沈降という主要な傾向は明白である. 台地と造山帯での海退が同期的なことは確立されていて, それは台地と造山帯の海退が同期的には起こらなかった理由であり, 水がある地域から他の地域に流れたことによって起こされていなかった理由でもある. 顕生代において大陸の上に水圏が急激に転置した 4 つの段階があった: ①カンブリア紀の全体, ②シルル紀後期~デボン紀前期, ③ペルム紀~三畳紀, ④古第三紀~現在 (Ronov, 1980). これらの衝撃は世界の大洋の深化と堆積機構の本質的な変化の時期を示している. 世界の大洋の体積は, ジュラ紀中期以降の 4 km の海底深化によって,  $260 \times 10^6 \text{ km}^3$  増加した (Rudich, 1984).

#### 地球進化の脈動的収縮仮説の可能性

これらの変化の全地球的特徴は, 大陸地域の増加をともなういわゆる海退がジオイド表面の継続的な低下を示していることを証明している. 大陸上で検出される定期的な海進と海退をともなう大洋の連続的なたわみの効果は, 固結した台地が残余に隆起していることを示している. 全地球的な海退と海進の時代が交互にあるよく知られたグラフは, 大陸と海洋のジオイド表面が交互に降下していることを指摘する. 台地の下降運動は海進と被覆堆積層の集積の原

因であり, それに続く海底の沈降と大洋水の堆積増加によって台地での海退が起きる. 台地被覆層の構造の多様性と大洋を満たす水と堆積物は, それらの全地球的造構運動が異なっていたという特徴を示している: すなわち, 台地の沈降は大洋における突発的な沈降に対して比較的均等に起こっている. 実際にはこれは堆積物蓄積に関して大洋が驚くべき窪地\* (著者の語句) であることを説明している.

\*Voidness — 窪地, 堆積物のないまたはほとんどないところ

地球の周囲のより低いレベルの上の地球の主な沈降の構造が圧縮 (と軽量から密集している位相への移行) と関係していることは提案されるかもしれない; これは新しい圧縮応力に導く. それらの交互と特に定期的な台地の沈水は直接地球の歴史における顕生代の大絶滅と関係がある.

広域的な構造隆起によってゆがめられないでいない古い台地は, 現在の大洋に相当するジオイドの以前のレベルを反映しているかもしれない. ジオイドのより古くまたより高い表面は, アイススタシーの浮力によって複雑にされている. これらの表面の結合は, Neogeic における 16 億年間にジオイドのレベルを下げることに反映した. 最初の 2 つの時代に関連して (表 1 参照), Neogeic は海退の発達や, 浸食の発達, 構造的破壊と初期の地殻の変換があった時代である. 図 2 は, 他の研究者による既報の推定を比較して, 大陸地殻の分布を著者の仮説を質的に評価している. このグラフは, 放射性年代のデータ (Hawkesworth and Kemp, 2006) に基づいている. A, B, C, F は 地向斜説とプレートテクトニクスにしたがった地殻の成長曲線であり, G は海洋地殻の玄武岩化作用という考え方にもとづく私たちの線である. 線 G の丸囲み数字は, 表 1 の 3 つの地質時代に対応する.

地史の間の熱流量の変化は, ほとんど下降的な指数曲線の形をとるが, Neogeic における堆積物の蓄積が冥王代と始生代と比較して強い冷却の状態において起きたことを示している. リフェイアンの前にそして特に顕生代の前に (ベンディアンにおいて?) 地球上で 内生的熱量の最初の不足があり, 台地の岩石圏は冷えて硬直した (著者の用語で — 過度に冷えて, 広域的に圧縮して, 最終的に — 強化された) 場所ができた. その時からの地球の内部エネルギー源は局地的に制限されて, 造山帯と中央海嶺の線状構造の中に移行した.

顕生代において, 高熱流量の変動が白亜紀中期に最大に達したが, それは特別な説明が必要とされる; すなわち, 最近それはほとんど枯渇していて, そしてリフェイアン末期には最も低いレベルに達していた. 地質時代の過程において, 地球物質が同時に熱

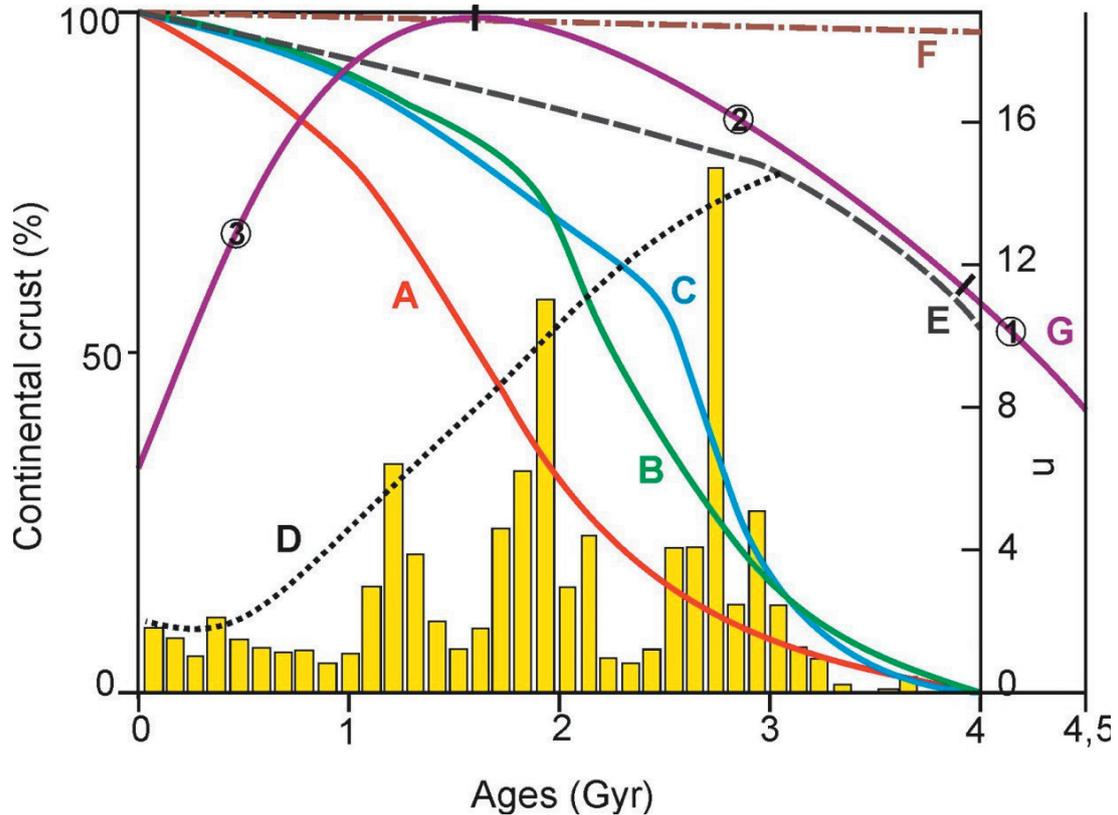


図2 大陸地殻の成長曲線。大陸地殻の生成の棒グラフが著者 (Hawkesworth and Kemp, 2006 による) への賛辞をもって示す。棒グラフは (2006 年に U-Pb 年代に基づいた) 幼年期の地殻年代の分布を示す。右のスケールの数は 確定量。A, B, C の曲線は片岩の中の放射性 Nd (A) と Pb (B と C) に従った種々の著者のデータである。E は Reymer and Schubert (1984) による曲線で; F は Armstrong (1981) による。D は曲線が棒グラフのピークの時代を要約したもの (本論文の著者による)。G はこの論文が Neogenic における大陸地殻の海洋化を想定した本論文データを使用して著者によって計算されたもの。G 曲線の①, ②, ③は、表 1 に記載した地殻の成長と転換の年齢間隔である。現在の時間での見積りは現在の地球表面での大洋地域の部分を反映している。海洋化の始まりはリフェイアンに戻って年代を定められる。

と密度分化がある：源物質の軽い溶融体と揮発性の部分が地殻の中と大気に移動させられた。

地球の最大膨張はマグマオーシャンが存在した最初の時代で、そして最大圧縮期はまだ到来していない；これら 2 つの状態の間に蓄積と放出と熱損失を反映している両方の過程による調和的な降下が活動している。それで我々は地球の歴史における種々の変形あるいは脈動が交互することと出現することの原因を見いだす。地球の未来は — 水の惑星そして次に — 氷の惑星。

地殻あるいは岩石圏 (?) の厚さは、地球の最初の半径が短縮したただの基準に過ぎない。実際、最初のもほ表面は使い尽くされたマントの表面で、それは冥王代において軽い構成要素が放出されたものである (星野, 2014 によって提案されたのと同様の考え)。そのため、短縮した合計の値は平均の地殻の厚さ (約 36-40 km) に対応する。将来、(台地の下の) マントル岩石圏の性質がもっと良く理解されれば、この値が大きくなる可能性がある。もほが複雑でまた層状構造をもっている場合、人は相転移や他の再発テクトニック、またマグマの過程に置き換えて繰り返しの更新や二次的なものとする。提案

された考えは, Kropotkin (1992), Orlyonok (1985) や他の研究者が先に提案した収縮説に質的に近い。しかし、我々の推定は短縮半径が彼らの計算より小さい値になる点で異なる。

提案された脈動収縮の仮説は多くの新しい問題を提起する。冥王代におけるマグマオーシャンの起源の原因は何か？ 広く受け入れられているマント対流あるいは岩流圏の考えについてはどうか？ どれほど世界の大洋は発達したか？ これらの問題の部分はこの論文において考察されていて、他の部分は以前に論じられた (参考文献参照)。提案された仮説の独創性はその新しい経験的な基礎によって保証される。収縮と海洋化作用 (Belousov, 1989; Rudich, 1984; Orlyonok, 1985; Meyerhoff et al., 1996; Milanovsky, 1996 and 1998; Støretvedt, 1999; Vassiliev and Choi, 2001; Blyuman, 2011; その他の研究者) の問題にとまなう上げられた質問をふくんで、最近興味をもった研究のセットは表示されていない。収縮メカニズムは非常に徹底的に Meyerhoff (Meyerhoff et al., 1996) によって考察され、彼は岩流圏においてそれをサージチャンネルと結び付けた。この点に関してそれはクロボトキンによって提案されたメカニズムに近く、そ

これは超過した岩流圏から表面への転置と押し出し (Kropotkin and Efremov, 1992) を意味する。いくつかの部分において提案された仮説は Storetvedt (1999) の進化モデルに近い、それは地殻の海洋化メカニズムに基づいていて、そして古代の花こう岩 - グラニュライト地殻の提案を含むものである。我々の考えから次のように、両方のこれらの推定がより客観的な議論を得る。

ここで重要なことは、まさしくその考えの生産性に気付くことであり、そしてそれは将来もっと良い結果を得ることと同様に、収縮の考えに基づいて物議をかもしているアプローチの集合に対する希望を与える。

謝辞：著者は、文献の数を含めて必要な追加の説明をテキストに挿入することを可能にする貴重な助言をいただいた、編集委員会と匿名の査読者に感謝します。

## 文 献

- Armstrong, R.L., 1981. Radiogenic isotopes: the case for crustal recycling. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, v. A-301, p. 443-472.
- Belousov, V.V., 1989. *The basic geotectonics*. M.: Nedra (Earth's Interior). 382p. (in Russian)
- Blyuman, B.A., 2011. *The Earth's oceanic crust*. St.-Peterburg. 344p. (in Russian)
- Caro, G., Bourdon, B., Birck J.-L. and Moorbath, S., 2003.  $^{146}\text{Sm}$ - $^{142}\text{Nd}$  evidence from Isua metamorphosed sediments for early differentiation of the Earth's mantle. *Nature*, v. 423, p. 428-431.
- Collerson, K.D. and Kamber B.S., 1999. Evolution of the Continents and the Atmosphere inferred from Th-U-Nb systematics of the depleted mantle. *Science*, v. 283, p. 1519 - 1522.
- Ermakov, V.A., 2002. The qualitative model of the origin of the Earth' protocrust. The tectonics and geophysics of lithosphere, v. 1, p. 192-196. Moscow. (in Russian)
- Ermakov, V.A., 2005. The island arches and their role in the evolution of the continental margin. *Volcanology and seismology*. No. 5. P. 3-18. (in Russian)
- Ermakov, V.A., 2006. Tectonics of the island arches and the continental crust formation. *Bulletin of Moscow Society of Earth's investigators*. v. 81, no. 5. Geol. Department, p. 21-34. (in Russian)
- Ermakov, V.A., 2008. Nonrecurring history of the Earth. General and regional problem of Tectonics and Geodynamics. Moscow: GEOS, v. 1, p. 287-293. (in Russian)
- Ermakov, V.A., 2011. The tectonic-magmatic evidence of the oscillate contraction. Part 1. *Geophysical research*, v. 12, no. 2, p. 57-82. (in Russian)
- Ermakov, V.A., 2011. The tectonic-magmatic evidence of the oscillate contraction. Part 2. *Geophysical Research*, v. 12, no. 3, p. 66-91. (in Russian)
- Eskola, P.E., 1949. The problem of mantled gneiss domes. *Quart. Journ. Geol. Soc. London*, v. CIV, pt.4.
- Frolov, V.T. and Frolova T.I., 2011. On the Pacific Ocean origin. Moscow: Max Press. 52 p. (in Russian)
- Garagash, I.A. and Ermakov, V.A., 2004. A probable geodynamic model of the early Earth. *Reports of Earth Sciences*, no. 1, p. 73-77.
- Hamilton, W.B., 1998. Archean magmatism and deformation were not products of plate tectonics. *Precambrian Research*, v. 91, nos. 1-2, p. 143-179.
- Hamilton, W.B., 2003. An alternative EARTH. *GSA Today*. November. p. 4-12.
- Hanchar, J.M, Hoskin, P.W.O (eds.), 2003. *Zircon*. Mineralogical Society of America *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, v. 53. 500p.
- Hawkesworth, C.J. and Kemp, A.S., 2006. Evolution of the continental crust. 2006. *Nature*, v. 443, p. 811-817.
- Kropotkin, P.N. and Efremov, V.N., 1992. Change of the Earth' radius in the geological past. *Geotectonics*, no. 4, p. 3-14. (in Russian)
- Kuzmin, M.I., 2014. The early stages of the Earth' formation. *The science in Russia*, no. 6(203), p. 13-24. (in Russian).
- Marty, B., Coltice, N. and Meibom, A., 2007. Noble gas sources and fluxes in the Hadean. Presentation on 9th International Conference on Gas Geochemistry, October 1-8,
- Mojszsis, S.J. and Cates, N.L., 2007. Geochemical evolution of the atmosphere and ocean at the Hadean-Archean transition. XVIII symposia on the isotope geochemistry. Moscow, 14-16 November. p. 17-18.
- Mysen, B.O. and Boettcher, A.L., 1979. Melting in a hydrous mantle (in Russian). Mir Press, 123p.
- Nebel, O., Rapp, R.P. and Yaxley, G.M., 2014. The role of detrital zircons in Hadean crustal research. *Lithos*, 190-191, p. 313-327.
- Orlyonok, V.V., 1985. *Physics and dynamics of the outer geospheres*. M.: Nedra (Earth's Interior). 184p. (in Russian)
- Reymer, A. and Schubert, G., 1984. Phanerozoic addition rates to the continental crust and crustal growth. *Tectonics*, v. 3, no. 1, p. 63-77.
- Ronov, A.B., 1980. *The sedimentary shell of the Earth*. Moscow: Science. 80p. (in Russian)
- Ronov, A.B., Yaroshevsky, A.A. and Migdasov, A.A., 1990. Moscow: Science. 183p. (in Russian)
- Rudich, E.M., 1984. *The spreading oceans: facts and hypothesis*. M.: Nedra (Earth's Interior). 252 p. (in Russian)
- Salop, L.I., 1982. *The geological evolution of the Earth*

in Precambrian. Leningrad: Nedra (Earth's Interior). 343p. (in Russian).

Svetov, A.P. and Sviridenko, L.P., 2005. Centres of endogenous magmatic activity and ore-formation in the Fennoscandian shield (Karelian region). Karelian Research Centre RaN. Inct. Geology. Petrozavodsk, 358p. (in Russian).

The Mantle plumes and metallogeny. 2002. Editor in chief A.F. Grachev. Petrozavodsk-Moscow. 515p. (in Russian).

Vassiliev, B.I. and Choi, D.R., 2001. Geology of the deep-water trenches and island arcs of the Pacific. Vladivostok, Dalnauka. 184p. (in Russian).

Yokochi, R. and Marty, B., 2005. Geochemical constraints on mantle dynamics in the Hadean. Earth

Planet. Sci. Lett., v. 238, nos. 1/2, p.7-30.

Zahnle, R., 2003. Hadean Earth. Geochim. et Cosmochim. Acta. Sp. Suppl. to no. 18, p. 574.

Zhang, Y., 1998. The young age of Earth – Constraints on atmosphere and mantle evolution. Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 62, no. 18, p. 3185-3189.

**著者紹介** Valery Alexandrovich Ermakov. ロシア科学アカデミー物理学研究所地質-鉱物科学主席研究者候補. 火成造構論および島弧研究分野の主席専門家. Kluchevskaya 火山群の地質と岩石成因に関する単行本を含む 200 編以上の論文の著者. 最近 15 年間の主要研究テーマは地球の地質全般と造構-火成活動的進化にかかわっている. 著名な地質研究者 Belousov の門下生.

## ダーウィン海膨と太平洋底に中心をもつプリュームおよび他のシステムの地形-地質学的意義

### THE DARWIN RISE AND GEOMORPHOLOGICAL-GEOLOGICAL INDICATIONS OF FOCAL SYSTEMS ON THE PACIFIC OCEAN FLOOR

**Alexandr A. GAVRILOV**

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Vladivostok, Russia gavrilov@poi.dvo.ru

( 矢野 孝雄 [ 訳 ] )

**要旨:** ダーウィン海膨の特性と環状地形構造の研究成果に対するいくつかの疑義が、海洋底地形および他のデータの研究をレビューすることによって議論される。プリュームとマントルダイピルによって形成された海底の巨大なアーチ状ブロックとアーチ状隆起のなごりが存在していることが、太平洋底の地形ならびに地質データを総合することによって示される。それらは、マグマ中心が異常に高密度分布した膨隆域として解析され、それらは火山性構造とみなされている。すべての主要な集中システムは、1) 放射-同心状地形構造要素(海嶺、海膨、海盆、ブロック、断層、火山、およびギョー)の配置、2) 中心性の高度-地質帯状配列、3) それらの内部要素配置にみられる3つの主要様式(中心核、中心-衛星要素、衛星要素)の存在、および、4) 深部断裂との密接な関係によって特徴づけられる。集中構造および断層は、地殻内部物質を含む基本エネルギーである。ゆえに、それらは、陸域のみならず、海域や海洋底における鉱床区の鉱物学的予測と区分のためのもっとも適切な造構的論拠となる。ダーウィン海膨の存在を論じる考えは、十分な事実をうらづけられていない。

**キーワード:** ダーウィン海膨, 集中システム, 環状構造, 火山, 地形, プリューム, 海底山脈, アーチブロック, アーチ海膨

#### まえがき

H. W. Menard (1964) によって展開された北西太平洋のダーウィン海膨に関するいくつかの議論が、NCGT の最近の月号で (NCGT Journal, 2014, v. 2, no. 3, p. 41, p. 42-54, p. 54-60; 2014, v. 2, no. 4, p. 94-98, p. 98-105) に公表された。海膨の起源と発達史の問題に関するさまざまな見解が、Yano (2014 a & b), Smoot (2014a & b) ならびに Choi (2014) によって提出された。

議論された主な問題と論争点は、ダーウィン海膨

の本性にかかわる進化とさまざまな認識の基準にかかわるものであった。Smoot は水深データの基本的意義を強調し、Yano のモデルは等深線や GEOSAT 衛星システムによる高度情報、ならびに、72° N ~ 72° S の範囲の重力異常や他のデータを無視してとした。彼の意見では、とくに、Mendocino 断裂帯における二重海嶺、海洋底にみられるいくつかの構造方向、および、他の説明すべき広域的な地形構造要素を無視しているという。ダーウィン海膨に関して、”水深データにもとづかない海膨などは存在しえない”、と Smoot は主張する (NCGT Jour., 2014, v. 2, n. 3. p. 41)。

Yano は地質データをもっとも重視して、掘削およびドレッジによって得られた物質はダーウィン海膨の存在をうらづける、と推測する。太平洋西部における後期中生代の火山岩分布を考慮して、彼は多時相の広域的火山活動の解析にもとづいてダーウィン海膨を復元し、それに適合する古水深モデルを提案した。こうして、彼は、ダーウィン海膨は崩御したのか、復活したのか？、と別の疑問を呈し、ダーウィン海膨仮説は、Aptian 末の広域的隆起、後期中生代の同時的広域火山活動、および、西太平洋域における広域的発達史にみられる他のいくつかの特徴を説明することができる、と結論した。

その後 Choi がこの討論に加わり、彼らの論文には、ダーウィン海膨の均一な構造基盤の認定と広域のおよび全地球的位置の理解が必要であることを完全に正しく強調した。氏は、北西太平洋底の造構的枠組みとしてジュラ紀～前期白亜紀火山帯が存在したことを示唆した。この火山帯は全地球的沈降帯と intratelluric 断裂帯に沿って形成されたものであり、ダーウィン海膨は造構のおよび海底地形的に存在しない、とした。

本稿の著者はこれらの主張を検証し、太平洋北西部に関する別の発達モデルをみずから提案することにした。

### 未解明の疑問

陸 / 海域における地形構造要素の理解には、地形、地質および地球物理のデータを含む複合的徴候が活用される。水深情報にもとづく研究は、通常、ネオテクトニクス期の造構様式にかぎられる。より古期の地形構造は、それら自らの発達史がネオテクトニクス期（後期新生代）を通じて踏襲された場合には、地表地形に反映され、本質的改変を被ることはない。ある規模の削剥や造構的破壊を被った海膨は、一般に、地形図や水深図上では、残存起伏形態としてのみ表示される。それゆえ、それは水深データだけにもとづいて認定されることはない。Smoot は”水深データにもとづかない海膨などは存在しえない”と述べているが、小規模な、あるいは一部だけが保存された海嶺の配置として記録されたさまざまな規模の遺存地形を地形構造学的 / 古地形学的に解析することが排除されている。

地質データは、地形的および造構的復元においてもっとも重要である。そのような方法が最大限にとられた結果は、Yano の論文に示される。しかし、高度的あるいは水深的位置を欠いた地質学的情報を適用したのでは、変位が能動的あるいは受動的であるのか、また、遺存したものか、それとも新しく加わったのか、を識別することはできない。たとえば、Marshall 諸島海膨は古第三紀に活動的な火成活動

の舞台であったが、それは白亜紀から遺存した活動なのである。

本稿の著者が大陸縁の山地の研究を通じてえた経験は、次のことがらを示している。すなわち、広域的膨隆の地球力学的解析によってもたらされる判断 (NCGT Jour. v. 2, n. 3 で Yano が提示した”崩御したのか、復活したのか”) は、それらが脈動的に形成されるのが一般的であるために、ほとんどの場合、判定することはできない。膨隆の形成期間は破壊期間に替わり、その逆も生じる。同時に、造構 - 火成活動という現象は、通常は時空的に個別に認識されるが、しばしば広域的発生領域の全体におよぶこともしばしばである。そのような配置と地形構造要素の関係は、正確には、西太平洋の海底地形図と地質図 (International geological ……., 2003 ; Jatskevich, 2000 ; など) に示される。

地殻容量 (地震モデル、重力モデル、など) と未固結堆積物に覆われた火山岩類 (磁気モデル) にかんする地球物理情報も、地形構造研究には欠かせない要素である。それゆえ、筆者は、地形、地質および地球物理データを複雑に適用し、総合することによってのみ、北西太平洋域の地質 - 地形造構モデルをかなり適切に理解することができるとする Yano に賛同する。そのような地形構造配置を構成するパラメータ化された階層的要素の関連性を推論し、主要な変位タイプとともに支配的な造構要因を特定することも必要である。これらの観点からみると、ダーウィン海膨とその造構的基盤は未解明で、矛盾なく説明される学際的データを私たちはもっていない。Yano が使用したいくぶんかの地質データを利用することができるが、地形学および地球物理学的証拠は欠けたままである。このような状況と、Smoot と Choi が結論しているように、現在ではダーウィン海膨は紙上にのみ存在していることを認識する必要がある。それは、地質学的過去に実在したのだろうか？

おもに Jatskevich et al. (2000) にもとづく Choi による北西太平洋の広域造構モデルは、ジュラ紀～白亜紀火山成構造帯が、次の2つの主要条件さえ整えば、ダーウィン海膨に相当する隆起域の造構的枠組みによって実態がもたらされうると仮定する：

- 1—古火成活動巨大集中構造、ならびに、同時代の比較的類似する火成岩活動域を示す火山および火山群の広域的連鎖の存在
- 2—同様の海底地形特性、ギョーおよび同様の後期中生代複合体における対比可能な侵食レベルをもたらす中 - 新生代造構進化期間中におけるダーウィン海膨もしくはその大半の残留隆起地形

しかしながら、それとはかなり異なった海底地質 - 地形構造の描像が存在する。私たちは、相互に数

100km から数 1000km 離れて位置する明瞭で不規則な列島、海底山塊、膨隆 (swell), 火山性海嶺をどこにでも見いだすことができる. 同様な規則性は、ジュラ紀、前期および後期白亜紀の火成岩領域に顕著に認められる (Jatskevich et al., 2000). しかし、それにもかかわらず、後期中生代のギョー、古火山体、および火山性堆積物の大部分 (70 ~ 80%) は北西太平洋 (MWP) 残存巨大アーチ (Gavrilov, 2005, 2013) の内部に集中する. 後期中生代の岩石はアーチ以外の場所にも分布するものの、それらは、断裂帯やいくつかの海膨頂部に孤立した隆起ブロックとして小分布するにすぎない. NWP 巨大アーチは、

ETOPO 1 (図 1) などの海底地形図に直接に表されることはない. というのは、それは後期中生代の海膨であり、後期新生代には解体されて、沈降したからである. しかし、この海膨の放射 - 同心状地形は、海面高度変化の地形的および重力的測定に顕著に表現される (図 2). この現象は、海膨核に重力異常が存在することによってのみ、説明されうるものである. それは、現在の海洋作用に影響をおよぼす過去の集中構造系 [focal system] を示す 1 例である.

北西太平洋海域の現在の地形 - 構造要素は、おもに 2 つのタイプで構成される: 1) 1 つは直線状シス

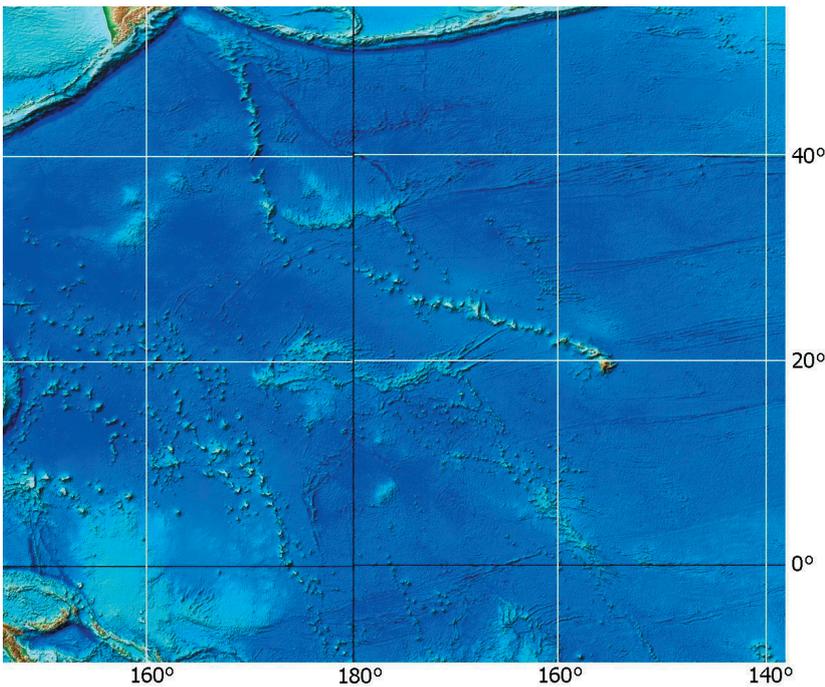


図 1 ETOPO 1 から取得された北西太平洋の海底地形

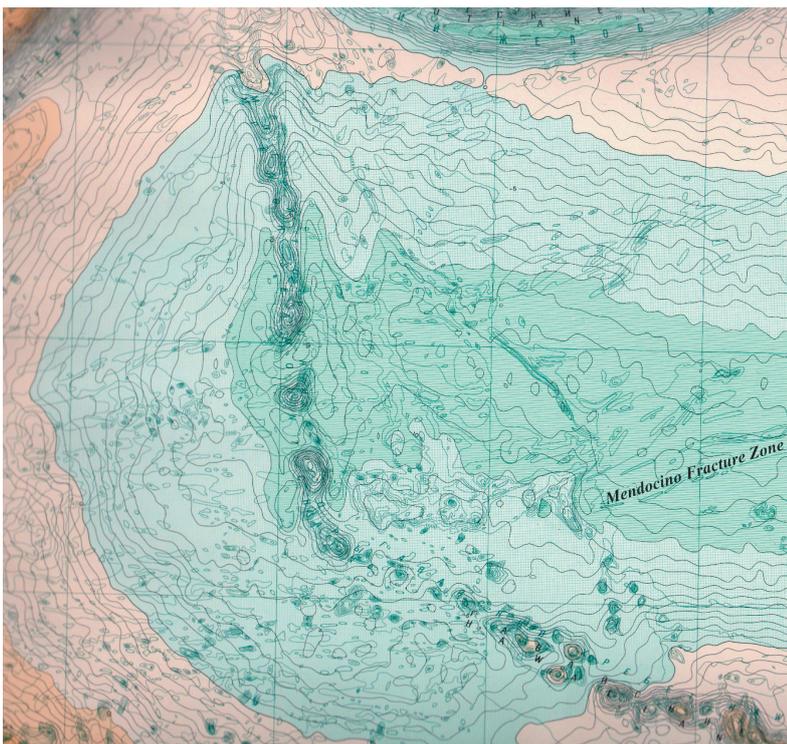


図 2 NWP 巨大アーチの海面高度変化. 高度は m 単位で、-20m (青) ~ +50m (黄). ゼロ等高線は、青領域と黄領域の境界である (International……, 2003)

テムをつくる火山群で、マグマ制御断層群に位置し、2) もう1つは環状の火山群で、深部集中構造系と断層接合部にかかわっている。第1のタイプは、太平洋底に海底山脈を形成する。対応する帯状高度構造をもつ火山性構造の放射-同心状配置を示す造構-火成海膨が、第2のタイプに属す。

後期中生代火成活動は広域的特性を示す (Choi and Vasiliev, 2008; Yano, 2014 a & b, など) にもかかわらず、それは、断層帯 (海底山脈) あるいは深部集中構造系 (大規模な造山性アーチや膨隆のような起伏に反映される) に関係する分離したマグマ中心に分散している。海洋底におけるそのような環状隆起の内部における後期中生代~新生代のもっとも高い集中は、さまざまな形成深度と形成年代をもつ長寿命エネルギーセンター (ホットスポット, マントルダイアピル, など) の反映と理解される。火山活動にみられる同様の構造的規則性が太平洋底の全地質進化過程に存在したと仮定することに、十分な根拠がある。

このような方法でのみ、私たちは巨大規模の火成活動、長寿命、脈動的発達、造構-火成海膨の地形と詳細な構造を説明することができる。それらは、陸域で十分に検証された中心型地形構造 [morphostructures of central type (MCT)] のすべての特徴を備えている。

環状の島弧隆起、海底の山塊、および膨隆における地殻容量の増大に関する地球物理的物質は、火山物質の集積規模が造構的沈降を凌駕 (超過) していることを示す。この場合、展張 (引張) および収縮条件における凸起伏が生じる。それは、火山域形成の過剰補償もしくは余剰である。負の重力異常は、海膨下で密度が減少した領域やそれらの深部延長 [deep "root"] と整合する。

このように、観察されるすべての地形-地質学的事実は、海洋底の内因的地形の主要な形成要因は火成活動と集中地球力学 [focal geodynamics] に関係している。断層地塊テクトニクスは、二次的役割をはたしているのであろう。それゆえ、大規模な集中地形構造と同様に、火山性構造物とそれらが環状・線状配列した複合体は太平洋底における典型的で主要な構造要素である、と筆者は考えていて、それらの研究は多くの根本問題、ならびに鉱床形成・火山災害などの応用問題を解決する前提条件である。

### MCT 研究におけるいくつかの問題

マントルと地殻との相互作用の根本問題に関する研究がいつそう進展した結果、この惑星の地質進化プロセスみられる集中造構作用 [focal tectonic processes] における地球脱ガス、液状化要因、お

よび火成-変成要因などの役割についての洞察と同様に、内因的深部活動の中心を示す惑星的、広域的、および局所的 MCT 系の存在に関する考え方とプリュームテクトニクスとが結びつくようになった。

MCT には、確実な地質学的ならびに地形学的特性が存在する。これらは、起伏高度 (海底地形)、構造要素、およびそれらの物質的複合体にみられる放射-同心状帯状配列、平面的には放射状、弧状、あるいは環状の断層系の存在、そして、断面ではエネルギーセンターあるいはダイアピルと同様の円錐状形態、である。それらは、自らの特性に応じて、さまざまなパラメータ、年代および局所化深度をもつ注入変位 (貫入、噴出、爆発、など) を示す。MCT は、その集中構造形成 [focal tectogenesis] 過程における火成-変成作用による岩石形成、流体-熱水による鉱床形成が同時に発生するので、多くの面で固有の特徴を示す。

そのような構造を記載するために、さまざまな用語 (同心複合構造 [concentric complex], 環状構造, 集中構造系 [focus systems], 環状断層, 中心型構造 [structures of central type]) が使用されてきた。それらの間の区別は不明瞭で、自然物体の形状、構造、あるいは発生 of のいずれを重視するか、ということだけに規定される。局所的な環状形態 (火山性、貫入性、など) の存在には一般に疑問は生じないが、全地球的および広域的な環状地形構造の認識には、新移動論 [neomobility] からの反論がある。上述のとおり、プリュームやマントルダイアピルと結びつく深部熱-物質運搬流が地質構造と地球の地形に痕跡を残すことは明白である (Gavrilov, 2005, 2013, など)。

Grachev (2000) の考え方では、マントルプリュームに固有の地質特性は次のとおりである; 1) 半径 [R] 1000km に達するアーチ状膨隆, 2) 大断層やリフトの三重会合構造, 3) 割れ目噴火タイプの玄武岩火成活動, 4) 高熱流量, 5) 地殻容量の増大, および, 6) 火成岩の特異な地球化学-同位体特性。大陸性 MCT 研究に用いられた地形学的方法およびすべての手順-認定基準セットは、海と海洋底におけるプリュームと他の集中構造系 [focal systems] を識別するために用いることができる。海底表面の地形解析には、放射-同心的帯状配置をもつ異常な起伏形状 (あるいは形状群), 山脈地形要素パターン (海嶺, 盆地, 地塊など) の調査, 集中構造系の標準的記述, などが含まれる。地質学的研究では、火成岩領域の放射-同心的分布, 火山および他の集中構造 (貫入, 噴出, 噴出岩体, 爆発クレータ), 放射, 弧状, 環状断層系, 岩脈などに関する情報が利用される。地球物理的資料のなかでは、重力データ・磁気異常, 放射-同心配列が重要である。

成層地質環境におかれているリソスフェアのなかで深部に発生した強いエネルギーが作用する期間には、放射-同心断層の枠組網だけではなく、衛星火成集中厚層が形成される。それらは断層交差部や地質-地球物理的分割面の交点に集中し (Ezhov and Nikonova, 2003), そこでは、静岩圧の突発的变化(減圧機構によるマグマ形成)が起きる。そこでは、3つの一般的タイプの暗示的MCTパターン—原子力(衛星的中心をもたない)、原子力衛星、および衛星(原子炉を含まない)という3つの基本構造—が存在する。指導的研究者たちによると、これらの規則性はすべてのMGTカテゴリーに典型的に成立する、という。内部構成要素パターンの類似性は、集中構造系の構造的均一現象を示す。それは、対称性原理にもとづく基盤構造の公式記載の可能性を拓く。

得られたデータにもとづいて、集中構造系の相似性に関する次の命題を定式化できる。起源に関するメカニズム、場の深度、パラメータ特性、年代および発生型などとは別に、比較的等方的な地質環境において集中構造系が形成される場合には、注入変位(集中系)が相似形と固有の点対称模様を形成しようとする。MCTの不変性にもとづくと、次の数だけの要素が存在する: 1) エネルギー, ガス, 流体またはマグマの発生中心<sup>[複数]</sup>の存在, 2) 地球内部の層状構造, 3) 集中構造系形成の熱力学機構の存在, および4) 地質環境における熱-質量移送作用による内因的物質移動の相状態, 形態, 方法および条件の類似性 (Gavrilov, 1993, 2002)。

上記命題から、典型的な地形および地質-地球物理データにもとづいて構築された局所的集中構造モデルは、原理的には、大規模な深部貫入岩体(マントルダイアピルならびにプリューム)とそれらの形成メカニズムの説明に適用できる。全惑星的、広域のおよび局所的MCTsの間に相似律が成立することは、巨大物体の信頼性を示す徴候である (Gavrilov, 1993, 2002, 2013)。

### 太平洋底のいくつかのMCTs

これらの考え方とは対照的に、太平洋底で地質研究者によって解明されたプリュームの突出は、しばしば、中心型形状からかけはなれた幾何学的形状を示す。たとえば、Vikulín and Melekestsev (1997)による論文では、ダーウィン海膨は不規則な三角形を示し、それが巨大スーパープリュームの指標と考えられている。その1辺の長さは1万km近くに達し、他の2つは5000および7000kmである。Maruyama et al. (1994)をはじめ幾人かの研究者は、南太平洋スーパープリュームは東太平洋海膨(長さ7600km, 幅850km)に匹敵するという。

プリューム巨大アーチブロック隆起 ( $R =$

2000-2500 km)の上に位置する北西太平洋(NWP)は、西太平洋地形構造パターンの鍵になる要素である。この巨大アーチブロックMCTは、アーチブロック地形構造とともに、北西および中央太平洋の最大群島、海底海嶺、ギョー、海膨(Mapmaker, Emperor, Mid-Pacific, Marcus, Hawaii 海山, シャツキーおよびHess海膨)である。Mapmakers, EmperorおよびHawaii海嶺は、放射状構造方向(さまざまな規模や年代のギョー、および火山性構造が密に分布)を横切る(図3)。

ここで考察されている巨大アーチブロック海膨は、ある研究者(Ezhov and Nikonova, 2003)が識別した北太平洋巨大MCT ( $R = 3400\text{km}$ )に比べると、大きさ(より小さい)、外縁配置、および幾何学的中心を異にしている。この海膨には大規模火山構造物が集中し、火山構造物の多くが鉄マンガン複合団塊、コバルトマンガン皮殻、および燐酸塩鉱化作用(炭酸塩型および珪酸塩型)を含む (Schkolnik et al., 1996)。NWP巨大アーチの南西-北東直径ブロックに含鉱床ギョーが顕著に集中し、MCTの鉱床形成における非対称性を反映する (Gavrilov, 1999)。

新生代火成活動は広域的断裂帯に集中するが、白亜紀火山活動は広域的に発生した。しかし、NWP巨大アーチブロック海膨は放射-同心基盤構造という骨格的構造要素を保持し、それらは、その発達史を通じて残存した。最古期のジュラ紀~前期白亜紀火山岩および火山岩-堆積岩複合岩体はNWPのMCT中央部を占めて分布していて、火山活動分布が中心をもち、遠心的移動傾向を示し、侵食-削剝によって厚層部を移動させてきたことを証明する。軌道高度400kmのMagsatおよびPOGO衛星からの衛星磁気異常図にも、この巨大アーチブロック海膨の放射-同心構造が反映されている(図4)。この巨大MCTの中核には大きな正の異常が存在し、そこにマントルダイアピルによる膨隆が存在することを示す。

深度2850kmに達する太平洋マントル不均一 (Su et al., 1994)は、西太平洋、ポリネシアおよびガラパゴスMCTs領域の地震トモグラフィモデル(図5)のなかで目立った存在である。全地球的な密度-温度異常の環状/弧状パターンは著者の見解、すなわち、海底および大陸にみられる最大規模の山脈網にみられるインド洋-太平洋惑星環状系に調和的である (Gavrilov, 2002)。

NWP巨大アーチブロック海膨から類推すると、太平洋底のいくつかの海膨は深部貫入体と火成アーチの反映と解釈されるかもしれない。東太平洋環状アーチブロック海膨 ( $R = 1100-1300\text{ km}$ )、ポリネシア (Tuamotu) アーチブロック海膨 ( $R = 1000-1200\text{ km}$ )、マーシャル-オントンジャワ アーチブロック海膨 ( $R = 900-950\text{ km}$ )、マーシャルアーチ海膨 ( $R$

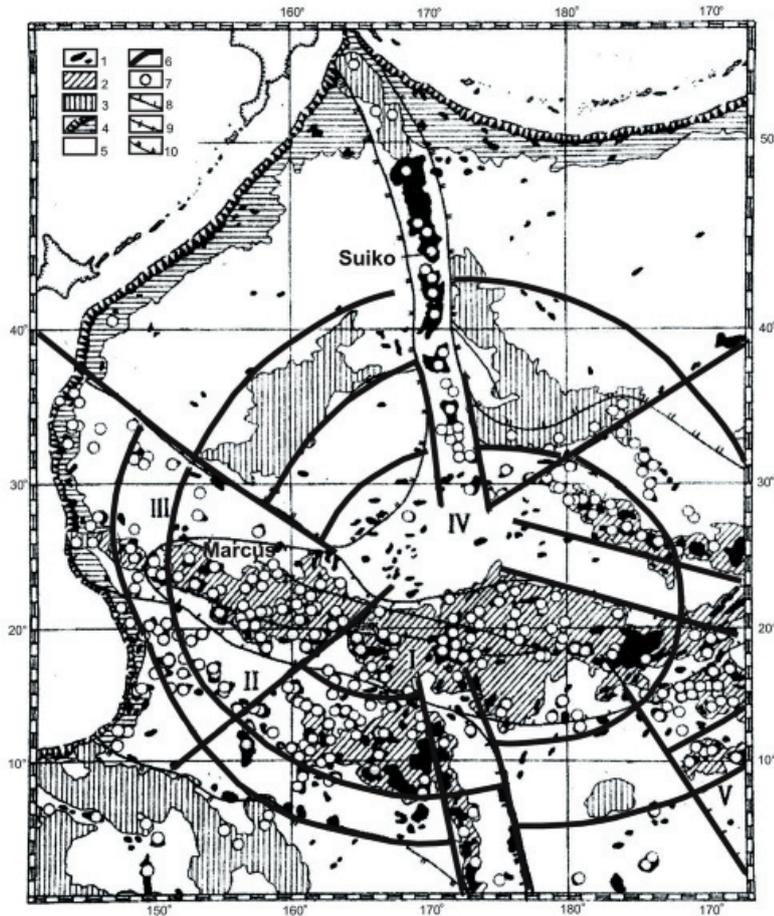


図3 Schkolnik et al. (1996) による太平洋北西部に分布する海底山脈と含鉱床ギョーの骨格に、著者による加筆と新解釈が行われた (Gavrilov, 2013). 1: 海底山脈と海嶺, 2: 膨隆状に隆起した火山性基盤山地, 3: 海嶺 (シヤツキー, ヘス, など), 4: 深海海溝の周縁斜面, 5: 海盆, 6: プリューム巨大アーチ上に形成された放射状および弧状の骨格的リニアメント, 7: 水深 2000m 未満の海底山脈とギョー, 8: 含鉱床域の外縁 (I: 太平洋中央区, II: 東マリアナ区, III: 小笠原区, IV: 天皇-ハワイ区, V: ライン区), 9: 太平洋中央区における炭酸塩岩中の含燐酸塩玄武岩および角礫化燐酸塩岩の分布外縁, 10: 稼行対象鉱床を含むギョーの分布外縁.

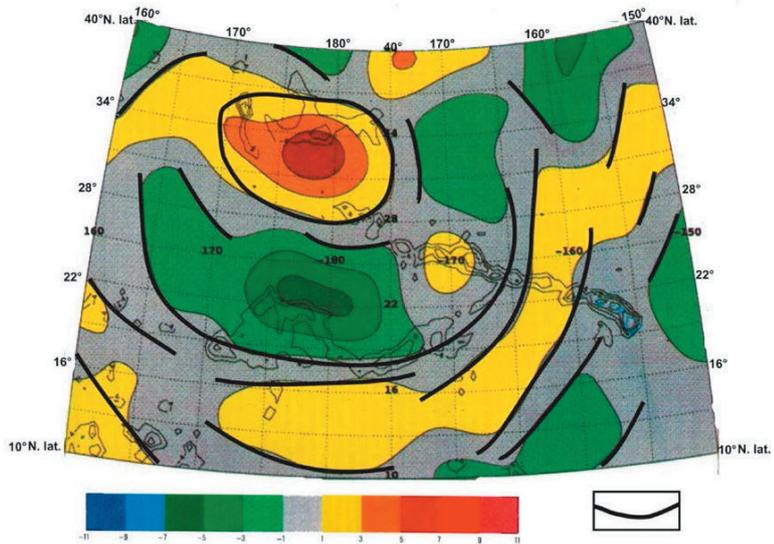


図4 西太平洋巨大アーチブロック海膨内部の衛星磁気異常パターン (Internatinal..., 2003). 単位: nT.

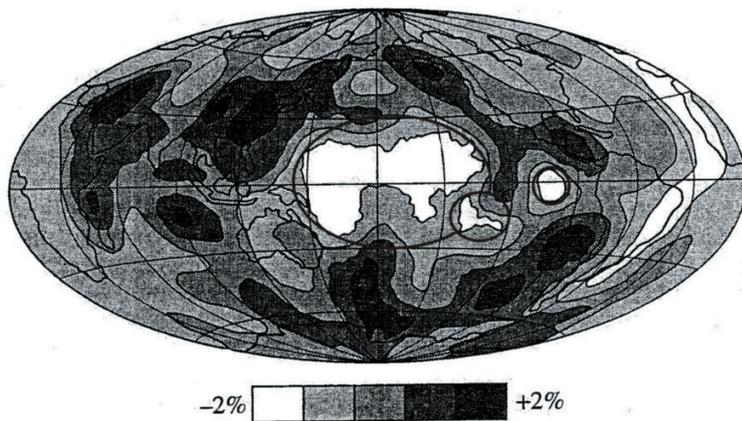


図5 不均一性を示す太平洋マントル深度 2850km の地震トモグラフィモデル (Su et al., 1994). 筆者の解釈 (円) を加筆.

= 500-550 km) (図6), 北部ライン諸島アーチ海膨 (R = 450km) などが存在する. すでに, Magellan 海底山脈 MCT 系 (Kulakov et al., 1987) が記載されている. いくつかの平行な島鎖列 (Marques, Tuamotu, Tubuai などの列島) および海底山脈の配置は, いくつかの造構仮説 (Golovinsky, 1985) によって解明されているように, ポリネシア巨大アーチの地形的構造骨格をなしている.

マーシャル諸島アーチを構成する多数の海底山脈は, ギョーやさまざまな他の火山体で構成される. 後期ジュラ紀に, はんれい岩-ドレライト-玄武岩複合岩体が形成された. アルカリ玄武岩類の噴出が Barremian ~ Santonian に起きた. つづいて, 広域的火成活動の第3時相として, 玄武岩-粗面岩組成の火山岩類が堆積した. 最終段階の古第三紀に, マグマ性アーチと火山性海嶺が形成された. それは漸新世までつづき, その後, リフト形成と大規模沈降がこの海域での変動を主導した. 火成岩類の絶対年代は, 一般に 16 ~ 90Ma である (Vasiliev, 2009).

地質データによると, タヒチには2つの火山構成体

があり, 鮮新-更新世のアルカリ玄武岩, 安山岩および粗面岩でできている. 玄武岩に含まれるいくつかの捕獲岩は 44 ~ 74.9Ma の絶対年代を示し, 火山岩の中には 833Ma の古期変成岩類も発見された. この島には, 後期ジュラ紀の霞石はんれい岩と閃長岩 (150Ma) でできた地塊が知られている. Society および Hervey 諸島は 0.38 ~ 28.6Ma に形成され (Vasiliev, 2009), 長期的火成活動 (漸新世~更新世) と時空的に特異な火成活動に特徴づけられる.

東部太平洋底で次に大きい環状地形構造 (R = 1000km) は Sala-y-Gomez 海嶺, チリ海嶺, いくつかの島嶼, 海底山脈, および東太平洋海膨を形成している単元である. これらの大規模な海底海嶺を横切る連結構造が, それらと中核部を結びつけている.

いわゆる Juan Fernandez マイクロプレートは, 東太平洋火成巨大アーチに対応する MCT のすべての特徴を備えている (図7). 東太平洋海膨は, Vasiliev (2009) によると, 白亜紀以降に活発に形成された.

広域的火山活動に加えて, 大規模な成層火山の噴出が起きた. 玄武岩類と中~酸性組成岩石群 (たとえば, イースター島の軽石と凝灰岩) が堆積した. 現在の高熱流量 (International..., 2003) と地震トモグラフィデータによると, 東太平洋巨大 MCT 中核部の深度 200km に高温マントルが湧昇している.

他のいくつかの領域も, マントルダイアピルあるいはホットスポットの湧昇によって発達史が決定された MCTs であると判断される認めることができる. それらは, ガラパゴス島アーチ海膨 (R = 250km, 図8), ビスマルク MCT (R = 200-400 km), フィジー島火成アーチ海膨 (R = 900km), ハワイ南方火成アーチ MCT (R = 250-320 km, 図9), Sala-y-Gomez に位置する Stokman MCT (R=200km), ナスカ海嶺連結構造, などである. 中核部の内部構造の典型が, フィジー火成アーチ海膨の構造にみられる. この海膨は複雑な基盤構造をもち, その中心部にフィジー諸島が位置する. この海域における最高度の熱流量 (International..., 2003) は, そこで高温マントルが湧昇していることを示す. 同じ高熱流量はガラパゴス火成アーチでも認められ, 同様の意義をもつ.

これまでに検討された MCTs はいずれも中生代後期~新生代前期あるいは新生代前期の長期的集中構造系の現れである, と要約される. アーチ海膨の大半は, 後期漸新世~中新世に著しい破壊と沈水を経験した. この破壊は, リフト形成が著しく活発化したこと, そして, 太平洋底における大規模な玄武岩質火成活動の産物に抗してマントルダイアピルがもたらした顕著な引張応力場に起因する. アーチにみられる島嶼の列は海底海嶺の頂部であり, これら

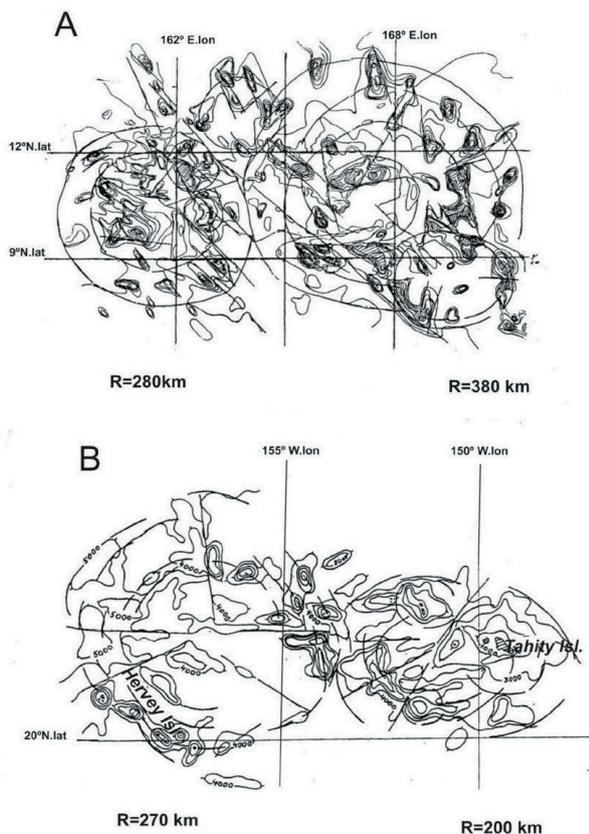


図6 島嶼環状マグマ性アーチのいくつかの事例. 地形構造画像は縮尺 1 : 2 000 000 海底地形図にもとづく. 画像の細線は等深曲線, 太線は弧状および放射断裂要素. A : 中心核-衛星内部パターンをもつマーシャル諸島アーチの MCT は, マーシャル-オントンジャワ巨大アーチブロック海膨の要素である. B : Society-Hervey 諸島の中心核-衛星内部パターンをもつ MCT は, ポリネシア (Tuamotu) 巨大アーチブロック海膨の範囲内に位置する.

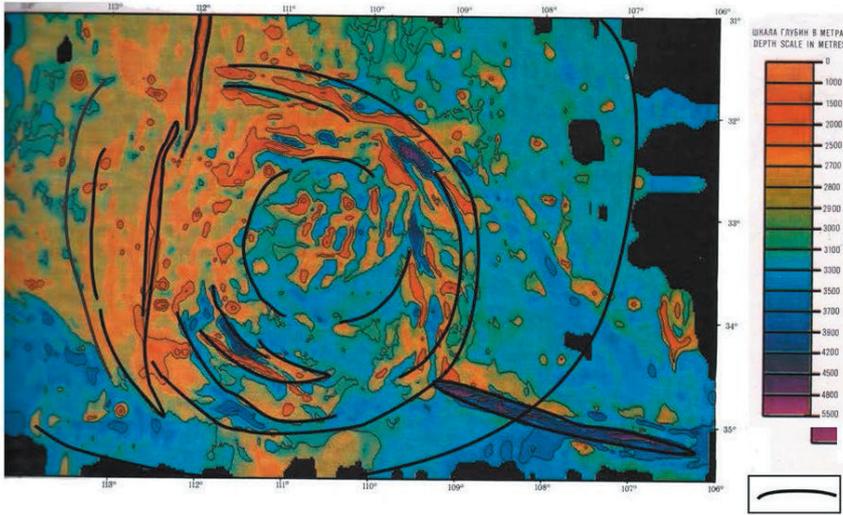


図7 東太平洋巨大アーチブロック海膨. 海底地形図 (International..., 2009) にもとづいて地図化. 黒色線は最大海底地形勾配帯.

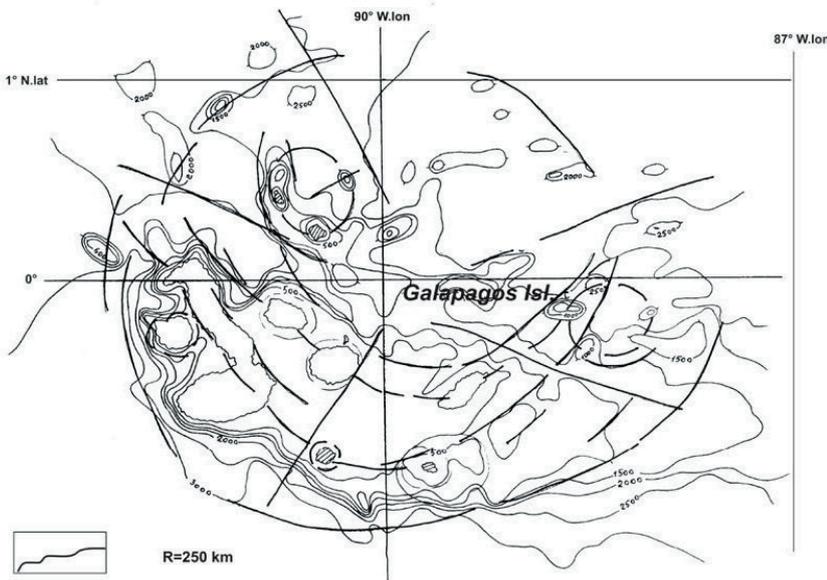


図8 衛星状内部パターンをもつガラパゴス火成アーチブロック海膨. 地形構造は、縮尺 1 : 2 000 000 海底地形図にもとづく. 凡例は図4と同じ.

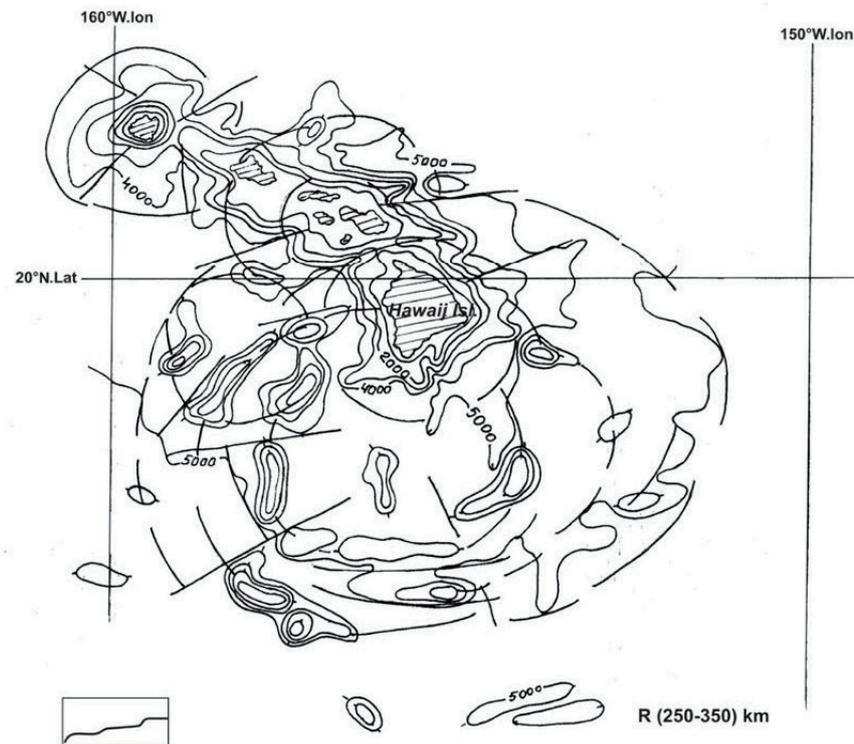


図9 衛星状内部パターンをもつハワイ南方火成アーチブロック海膨. 地形構造は、縮尺 1 : 2 000 000 海底地形図にもとづく. 図中の線は等深曲線.

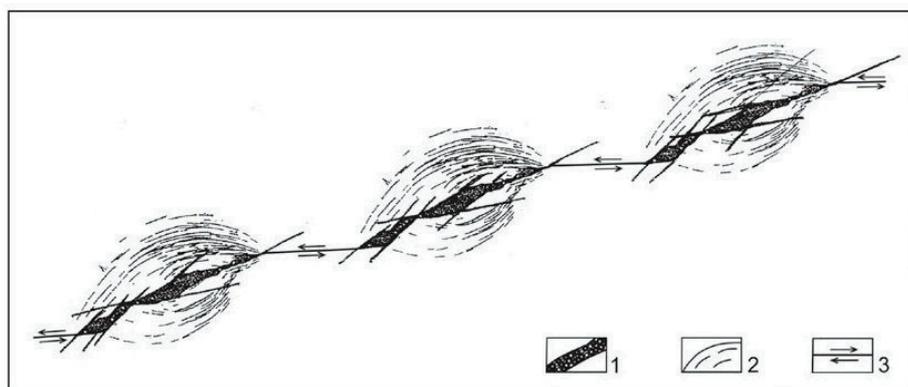


図10 剪断断層帯における環状構造の形成メカニズム. 1: 間隙断層帯, 2: 環状断層群, 3: 変位ベクトル

の海嶺は断層系に制御された環状および放射状マグマに由来する現世および遺存性（ギョー）火山体として形成されたものである。MCT列や火山海嶺の形成メカニズムは剪断断層帯における間隙形成および環状断層群の影響下で形成されたと考えることもできる（図10）。

アーチ海膨あるいはマントルダイアピルの初生的中心型構造を反映した形態をもつ中心海盆と周縁島列で構成された大規模環状地形構造がいくつか存在する。マーシャル-オントンジャワのアーチブロック海膨（ $R = 900-950 \text{ km}$ ）と東カロリンアーチ（ $R = 400-500 \text{ km}$ ）は、それらの中央部に位置するメラネシアおよび東カロリン等軸海盆の隆起の結果、インバージョン〔反転〕を経験した。それらが、伸長性造構場で発生したことは明白である。アーチ頂部の地溝や凹地の形成は、多くの造構物理実験（Gsovsky, 1975; Ramberg 1985; 他）によって支持される。

### 結論

- 1) ダーウィン海膨は統一の造構基盤と地形特性を欠き、それゆえ、それは自然界には実在せず、文献上に存在するだけである。
- 2) さまざまな規模のMCTは太平洋底の典型的な地形構造要素で、重要な構造である。
- 3) 長期的深部集中構造系は中生代後期～新生代前期に脈動的に活動し、残存している。個々のプレュームアーチブロック海膨は、さまざまな規模の火山の階層的グループで構成されている。
- 4) 集中系および断層系は深部および地殻中のエネルギー中心と配送チャンネルを連結していて、マグマ、ガス、流体と熱水を運搬する。それゆえ、それらは海洋底の鉱床予測と鉱床区分のためのもっとも適切な造構的基礎である。

謝辞：筆者は、原稿の改善に役立つ編集と批判的コメントをよせられた Dong R. Choi と匿名査読者に深く感謝する。

### 文献

- Choi, D.R. and Vasiliev, B.I., 2008. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 1. Mesozoic basins and deep-seated tectonic zones. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 46, p. 28-34.
- Choi, D.R., 2014. Tectonic framework of the “Darwin Rise”. *NCGT Journal*, v. 2, no. 4, p. 94-98.
- Ezhov, B.V. and Nikonova, R.I., 2003-2004. Morphostructure of the North Pacific region oceanic floor from positions of the focal geodynamics. *Proceedings of the Profes. Club. Fascicle. 8-9. Vladivostok*, p. 54-64. (in Russian)
- ETOPO 1. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>
- Gavrilov, A.A., 1993. Problems in morphostructural-metallogenic analysis. Parts 1 and 2. *Dal'nauka, Vladivostok*. 322p. (in Russian)
- Gavrilov, A.A., 1999. Mineralogenic asymmetry and dissymmetry of endogene SCT. Article 1. P. Kyuri principle and metal ore, diamondiferous kimberlites allocation within focal systems. *Pacific Geology*, v. 18, no. 1, p. 103-114 (in Russian)
- Gavrilov, A.A., 2002. Classification of the Earth ring structures (RS). Article 1. Planetary model, RS of the constructional trend of the tectogenesis. *Electronic magazine, “(in Russian). It is investigated in Russia”*. v. 180, p. 1990-2010. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/aricles/2002/180.pdf>
- Gavrilov, A.A., 2005. Ring morphostructures of the Pacific Ocean. Regularities of the Structure and Evolution of Geospheres – VII. *Proceedings of VII Internat. Interdiscip. Symposium and Intern. Geoscience Programme (IGCP-476). Vladivostok*, p. 73-75.
- Gavrilov, A.A., 2013. Geomorphologic indication of plumes and other focal systems of the Pacific Ocean bottom. *Geology of seas and oceans. Internat. Scient. Conference (School) of marine geology. Moscow, M.: GEOS. T. V.*, p. 51-55. (in Russian)
- Golovinsky, V.I., 1985. *Tectonics of the Pacific Ocean. M. Nedra*. 196p. (in Russian)

- Gordon, R.G. and Henderson, L.J., 1985. Pacific plate hot spot tracks, unpublished reprint.
- Grachev, A.F., 2000. Mantle plumes and problems of geodynamics. *Physics of Earth*, no. 4, p. 3-37. (in Russian)
- Gsovsky, M.V., 1975. Principles of tectonophysics. M. Nedra, 536p. (in Russian)
- International Geological-Geophysical Atlas of the Pacific Ocean, 2003. Moscow-Sankt-Petersburg, 19p.
- Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. Geological Map of the World. 1:15,000,000. Ministry of Natural Resources of Russian Federation, RAS.
- Kulakov, A.P., Ermoshin, V.V., Ishchenko, A.A. and Nikonova, R.I., 1987. New morphostructure data of the Pacific Ocean southwest part. Preprint. PGI FEB of the USSR Academy of Sciences. Vladivostok, 60p. (in Russian)
- Maruyama, S., Kumazava, M. and Kawakami, S., 1994. Towards a new paradigm of the Earth's dynamics. *Jour. of the Geol. Soc. Japan*, v. 100, no. 1, p. 1-3.
- Menard, H.W., 1964. Marine Geology of Pacific. McGraw-Hill, New York, 255p.
- McNutt, M.K and Fischer, K.M., 1987. The South Pacific Superswell. Geophysical monograph Series V. 43. Seamounts, islands, atolls. p. 25-34.
- McNutt, M.K., 1998. "Superswells". *Reviews of Geophysics*, v. 36, no. 2, p. 211-244.
- Ramberg, H., 1985. Gravity, deformation and the Earth crust. M.: Nedra. 309p. (in Russian)
- Schkolnik, E.L., Govorov, I.N., Hershberg, L.B., Zadornov, M.M., Mel'nikov, M.E. and Volokhin, Yu.G., 1996. Ore provinces of the western and central parts of the Pacific Ocean – scales of a phosphatogenes and cobalt - manganese mineralization. *Pacific Geology*, v. 15, no. 6, p. 120-128. (in Russian)
- Smoot, N.C., 2014a. Darwin Rise– Sisyphus and oceanography. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, no. 3, p. 41.
- Smoot, N.C., 2014b. Sisyphus and the Darwin Rise. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, n. 3, p. 54-60.
- Su, W.J., Woodward, R.L. and Dsienwonski, A.M., 1994. Degree 12 model of shear velocity heterogeneity in the mantle. *Jour. Geophys. Res.*, n. B4, p. 6945-6980.
- Vasiliev, B.I., 2009. Geological structure and origin of the Pacific Ocean. Vladivostok, Dalnauka, 560p.
- Vikulin, A.V. and Melekestsev, I.V., 1997. Seismicity, volcanism of the Pacific Ocean and rotation of the planet. *Bulgarian Geophysical Jour.*, T. XXIII, n. 1, p. 62-68. (in Russian)
- Yano, T., 2014a. Late Mesozoic tectono-magmatism in the west Pacific Ocean – Did the Darwin rise demise or revise? *NCGT Journal*, v. 2, no. 3, p. 42-54.
- Yano, T., 2014b. Late Mesozoic tectono-magmatism in the West Pacific Ocean – in a linear depression or on a domal uplift? *NCGT Journal*, v. 2, n. 4, p. 98-105.

## 討 論

## DISCUSSION

「Stephen Hurrell: 化石羽を用いた古重力計算の新手法」への  
Giovanni P. Gregori のコメントについて

**Re: Giovanni P. Gregori, Comment on Stephen Hurrell:  
A new method to calculate paleogravity using fossil feathers**

*NCGT Journal*, v. 3, no. 1, p. 68-70

**Robert J. TUTTLE** rjtuttle@earthlink.net

( 山内 靖喜 [ 訳 ] )

Gregori 博士は鳥類の複雑な呼吸器系を指摘した。鳥たちはなんらかの形をして白亜紀の終わりを生き延びたが、その他の恐竜のすべては絶滅したという事実を私は考えている。私は真の恐竜を定義するためにそれを用いる。すなわち、“非鳥類”の恐竜というよりは、“白亜紀末までに絶滅した恐竜のすべてでそれのみである”。真の恐竜は効果的でなく活動的な呼吸器系をもっていたが、彼等の皮膚を通して酸素を吸収していた。私達の現代の世界において、人類は新陳代謝の4%を皮膚を通して直接

的に吸収しており、ある生まれたてのカンガルーの子（母親の囊の中にいる赤ん坊のカンガルー）はそれらの50%を吸収しており、ある種の蛙は濡れた皮膚を通して100%吸収している。

Peter Ward (ワシントン大学, “薄い空気から— 恐竜, 鳥類および地球の古代の大気” Joseph Henry Press 社, Washington, DC2006) は, (真の) 恐竜は現代の (真の) 鳥類と同じように効率の良い流れの呼吸器をもたない代わりに, 酸素が少ない (薄い) 大気中で栄えさせることを提案している。これ

は、古代の大気の質量、濃度、圧力は本質的に現代と同じであったという仮定に基づいており、地球膨張によって想像されるまったく異なる世界は考慮されていない。薄い空気（鳥たちがヒマラヤ山脈を飛んで越える場合の小さな密度）と薄い空気（低酸素濃度、恐竜時代の初期に測られたような）とを彼が混同することによって、彼の発表は弱められている。彼もまた、現代の鳥は恐竜の直接の子孫であるという考えに導かれている。すなわち、それらは恐竜以前に存在した一般的な祖先からの子孫であってまったく異なると私は考えている。これらの違いが（真の）恐竜を殺したが、いくつかの（真の）鳥を生き延びさせた“大きな小惑星”の責任にする以外の他のことで彼は恐竜がどのようにして消え失せたか説明していないし、呼吸が類似している鳥がどのようにして生き延びたことを説明する必然性を彼は回避している。

恐竜は彼等の代謝に必要な酸素の大半を皮膚を通してと、ひれ、襟毛、とさか、甲のような、別の言い方をすれば種を見分けるか性別を示すものと説明される解剖学上の顔だちを通して吸収している。活発な呼吸器系（肺）はまず第一に二酸化炭素を排出することに努めると私は推測している。浮力を与えるためにここで提案されている高密度（高圧）の空気は皮膚の酸素吸収を非常に効果あるものにしたであろう。

濃い空気に関する問題の1つは、ティラノザウルス・レックスのような動物やその他の捕食動物が走ることができる速度である。（もしティラノザウルス・レックスとその他の食肉動物が腐肉食者であったとすれば、そのような関心事は議論になっている。）このように極端な世界について正確な類似を組み立てることは難しい。一般的な比較は、水密度の65%の密度をもつ濃い空気中での移動についての類似のように深い水に歩いて入ることである。もし、深い水の中を歩いているあなたの速度が粘性抵抗によって限られるならば、問題となり、もし、同じことが濃い空気についても成り立つならば、水は液体であり、空気は気体であることを認識することが重要であり、そのことによって粘性が大きく異なる。水の力学的粘性（15°C, 1気圧）は1136  $\mu$  Pa  $\cdot$  sであり、他方密度649 kg / m<sup>3</sup>（水の密度の65%）の空気の場合、これはティラノザウルスを支えるために私が常用しているが、その力学的粘性は僅か62  $\mu$  Pa  $\cdot$  sである。粘性抵抗は速度の二乗に比例して変化するので、もしあなたが深い水の中を時速2マイル（約3.2 km）で歩くことができたならば、ティラノザウルス・レックスは同じ大きさの粘性抵抗をもつ濃い空気の中を時速8マイル（約12.9 km）よりやや早い速度で歩く（走る）ことができた。もし、水中で時速25マイル（約40 km）にも達する速度で泳ぐイトマキエイと力学的に似ている翼指竜を考えたならば、

翼指竜のケツアルコアトルス・ノルトロピを支えるために私が常用している空気密度、約800 kg / m<sup>3</sup>は150  $\mu$  Pa  $\cdot$  sの力学的粘性を与える。この値は水の粘性より7.6少ない。イトマキエイの粘性抵抗と同じ大きさならば、それはケツアルコアトルスが濃い空気中を時速69マイル（約111 km）に近い速度で飛べることを認めている。

もし、だれかが提案したように（文献紛失）、初期の地球の大気が現在の2,100倍重かったら、なんらかの機構が時代とともにそれを枯渇させなければならない。（宇宙からの）衝突は大気物質のいくらかを地球外へ消散させた。太陽風は地球磁場逆転期の際に大気を侵食することができる。近くの超新星からの放射エネルギーとガンマー線爆発は大気のいくらかを吹き飛ばすことができる。これらはすべて理論的な結果であり、それらの結果は大災難であっただろうが、幸いなことに、私たちは観察データをもっていない。

幾何学のおよび力学的にティラノザウルス・レックスと似ている現代の動物を見つけることは難しい。三脚の足構えの初期の復元は放棄された。その正確な実情は明らかに真っ直ぐで水平な背骨をもち、二本足で立つサメのようであるだろうと私は考えている。同じように、前足と同様に羽毛のある後ろ足をもつdinobirdsの明らかな類似物は、現代世界には恐らく4枚のヒレをもつ魚類以外にはない。いくつかの古代の動物に適合させるためには、幾つかの独創的解剖を行うであろう。

浜に乗り上げたシロナガスクジラの破滅から巨大な恐竜を助けようと試みているのではないことを心に留め置くことが、この討論において大事であると私は考えている。現代の地球上に棲息する巨大生物の支持についての研究がいくつかあり（R. M. Alexander, “恐竜とその他の絶滅巨大生物の力学”, Columbia University Press, New York (1989), J. E. I. Hokkanen, 最大の陸上動物の大きさ. Journal of Theoretical Biology 118, 491-499 (1986)), シロナガスクジラは注意をそらすものになるであろう。浜に乗り上げたクジラは陸上で生き延びようとするのではなく、水の外でのその巨大な重量のために息絶えるであろう。しかしながら、これらの研究はいろいろな地表重力の可能な効果を認めなく、中生代の巨大動物相から現代までの動物の最大の大きさの減少によって提起される問題を避けている。すなわち、なにかが変化されなければならない。ジュラシックパークのために恐竜を再現することが可能（または不可能）なことを示すよりは、それが恐竜とその友達を支えることができないように思えるので、地球膨張説が消滅しないように試みている。

「Robert J. TUTTLE: 地球膨張と太古の鳥に対する濃い空気」  
(NCGT Journal, v. 3, no. 1, March 2015.) について  
Re: Robert J. TUTTLE Earth Expansion and Thick Air for Ancient Birds  
NCGT Journal, V. 3, No. 1, March 2015.

James Maxlow  
james.maxlow@bigpond.com

( 山内 靖喜 [ 訳 ] )

親愛なる Robert へ

Stephen W. Hurrell の論文 “化石羽を用いた古重力計算の新手法” についてのあなたの最近の討論 “地球膨張と太古の鳥に対する濃い空気” とその返答を読みました (Robert Arthur Beatty and Stephan Hurrell, NCGT Journal, v. 2, no. 4, December 2014). あなたの議論の中でいくつもの箇所膨張テクトニクスについての私の研究のことを言及されており、幾つかの誤解を正すためにそれに答えなければならないと感じております。

第一に、膨張テクトニクス (以前は、地球膨張説) は地球の質量一定という筋書きを支持していないことを特にはっきりさせてよいでしょうか。従って、あなたの相対的な古代の地表重力の要素は関係していないでしょう。膨張テクトニクス研究は出版された世界地質図 (CGMW & UNESCO, 1990) に基づいている。この地質図は観察に基づいた小さな地球のモデルを作る研究の基礎をなしており、その範囲は現在から前期始生代までにおよぶ。この研究は 1980 年代と 1990 年代の Carey とその他の方々の研究と一緒にあって、時代とともに質量の指数的增加に応じて地球の半径は指数的に増加したという結論に達した。このことは私の著書「大陸と海洋の起源」(2014 年, Amazon.com にて入手できる) において詳細に議論している。

付加した質量はどこから来たのか。地球質量の増加の原因となる機構は常に議論的であり、以前は膨張を否定することが絶えず常だったものであった。2000 年に地球の周りの構成物中を飛ぶことによって太陽活動の地球の周りの宇宙環境への衝撃を調べるために、4 つの同一の Cluster II 衛星<sup>\*1</sup> が打ち上げられた。宇宙の歴史において初めて、この飛行は太陽風が磁気圏とどのように相互作用するか、そしてオーロラを含めて地球近くの宇宙と大気にどのような影響を与えるのかということに関する 3次元の情報を収集することができた。この研究はヨーロッパ宇宙機構によって実施され、太陽風が磁気圏を貫くことはそれまで考えられていたより大いに容

易であることをその結果は示した。

\*1: ヨーロッパ宇宙機構が 2 回に分けて打ち上げたまったく同じ衛星 4 個である。4 個は四面体をなすように配置されている。

これらの科学者達は、太陽風の中に期待されていなかったある種の波の存在を直接観察した。これらの波は後から突き進んでくる太陽風粒子が磁気圏を破って通れるようにし、磁気圏が連続した障壁というよりはフィルターとして応答していることを示している。特別な惑星間磁場環境において太陽粒子が地球の磁気圏をどのように貫入することができるのかをこれは示したので、ヨーロッパ宇宙機構のプロジェクトに参加した科学者達はこれらの発見は非常に重要であると考えた。また、これらの波は大変一般的なものに違いないであろうし、恐らく太陽粒子が地球の磁気圏中に絶え間なく貫入していることを、この研究は示した。

膨張テクトニクスの観点から、突き進んでくる電子と陽子からなる太陽粒子は極において地球内部に入り、核-マントル境界直上のマントル基底に位置する厚さ 200 km ~ 300 km の D'' 層内で再結合することが期待される。1992 年に Kremp は次のように結論している。“外核における熱の増加は地球の急速な膨張を起こした、かなり最近の過程だろう。”新しい物質の形成は純粋のエネルギーだけでなく、電子と陽子の両方の存在も必要とし、今や、これらは太陽から沢山くることを科学は知っている。この D'' 層内での突き進んでくる電子と陽子の再結合はそのときに新しい物質を形成する機構を準備する。次々と、この物質は地球上とその内部に存在するすべての元素と鉱物の基礎的要素となる。海盆のすべてにおいて中央海嶺拡大の中心から現在排出されている新しい溶岩、水、および気体がこれらに含まれる。

膨張テクトニクスの地球において、新しい物質のこの増加はマントルの盛り上がりとして現れる地球の質量と容積の増加という結果をもたらす。地球容積の増加とそれに伴われたマントルの盛り上がりはその後には外側の地殻に移り、地殻拡大に帰着する。こ

の拡大は一般に中央海嶺帯の全長に沿っての拡大として起きる。中央海嶺帯内部での拡大は、新しい水と気体の排出に加えて、新しい玄武岩質マントル起源溶岩の貫入を伴う。世界地質図 (CGMW & UNESCO, 1990) に示されているように、海底マッピングとまったく調和するようにこれらは現代の海洋のすべてにおいて表面積を次々と増加させている。

二番目に述べたいことは、大気圏の気体の容積と海洋水の推定容積はどの時代にも相対的に一定であり続けたというあなたの議論における微妙な含蓄である。膨張テクトニクスは大気圏または水圏について一定容積を仮定しないし、支持もしないことを、私は再び特にはっきりさせる。

海洋水と大気圏の気体は古い時代の超大陸地殻と新しい海底の火山性地殻の形成と一致して地質時代の多くを通して蓄積されてきたという前提が膨張テクトニクスの概念にとって基礎である。“時代とともに膨張している地球に関して、古生代以降には海洋の大半が脱ガスを受けてなければならなかったし、そのことは大気圏、気候、動物、堆積学および火山学における基本的な変化を要求した。”と Bailey and Stewart (1983) は考えた。同じく、“海洋底の生成は初生水の脱ガスに基本的に依存しているので、従って海水（および大気圏の気体）の容積と海盆の容量が増加することが期待されるが、しかし、必ずしも位相は正確に一致しないで、関連している。”と Carey (1988) によっても検討された。

原始的大気圏と水圏は地球の内部から脱ガスした原子と分子から主に形成され、その後物理的、化学的および生物学的過程によって改造されたと、Lambert (1982) は考えた。Rubey は 1975 年という早い時期に次の考えを提案した。脱ガス—液体中に溶けている気体が液体（溶けているマグマを含める）から出ていくことが連続的あるいはくり返し起こる過程であり、今日でもまだ起きている。さらに、“海洋の全部の水は地球内部から吐き出されたのであり、それは初生的な過程としてではなく、地質時代を通してゆっくりとして、漸進的で連続的であった”との考えを Rubey は提案した。

溶けた岩石中の水の溶解度は圧力と温度の増加に伴って、最大容積がマントル内に達するまで増加することを、1980 年代以降に行われた溶けた火成岩の研究は示している。引用した事例では、1000 ~ 1200°C の範囲で温度変化する高圧下の火山岩中に溶けている水の重量は 14 ~ 21% である。シリカ (SiO<sub>2</sub>)

に富むマグマの場合、炭酸ガスもまたすぐに溶ける、特に高圧下ではそうであることが示された。もし、水と炭酸ガスがあれば、一般に上部マントルで発生するマグマ中にそれら両者は大いに溶けるであろうことがこれらの研究から結論された。

純理論的な提案と私自身の観察に基づく研究における不一致以前に、あなたと読者は膨張テクトニクスが提供しなければならないものを少なくとも勉強することを私は提案してもさしつえないだろう。小さな半径の地球モデル上でモデル実験したとき、前期トリアス紀以降の各紀、各世の時代に関して 99% 以上の推定プレート接合をもって海底地殻プレートはきちんと互いに適合したということは、単なる偶然の一致ではない。顕生代と原生代の堆積盆地の地表面積をしだいに減少させることによって、残り続けた古い始生代のクラトンの地殻もまた同じような高い精度できちんと互いに接合して、相対的に浅い大陸海と半径 1700 km という非常に小さな大気をもつ原始的な始生代地球ができる。

これらの現象は私の website ([www.expansiontectonics.com](http://www.expansiontectonics.com)) と私の一般的著書と電子版著書の「大陸と海洋の起源について」(2014 年, Amazon.com から入手可能) において詳細に議論されている。

## 文 献

- Bailey, D.K. and Stewart, A.D., 1983. Problems of Ocean Water Accumulation on a Rapidly Expanding Earth. 67-69, in Carey S.W. (ed.): *Expanding Earth Symposium*, Sydney 1981, University of Tasmania.
- Carey, S.W., 1988. *Theories of the Earth and Universe: A History of Dogma in the Earth Sciences*. Stanford University press, Stanford, California.
- CGMW and UNESCO, 1990. *Geological Map of the World*. Commission for the Geological Map of the World, Paris.
- Kremp, G.O.W., 1992. Earth Expansion Theory Versus Static Earth Assumption. In: Chatterjee S. & Hotton N (III) eds. *New Concepts in Global Tectonics*. Texas Tech Univ. Press, USA, p. 297-307.
- Lambert, I. B., 1982. Early geobiochemical evolution of the Earth. *Revista Brasileira de Geociências* 12, 32-38.
- Rubey, W.W., 1975. Geologic history of sea water; an attempt to state the problem. In: Kitano Y. ed. *Geochemistry of Water*. Dowden, Hutchinson & Ross Inc., Stroudsburg, Pennsylvania.

「Robert J. TUTTLE: 地球膨張と太古の鳥に対する濃い空気」  
(*NCGT Journal*, v. 3, no. 1, p. 65-68.) について

多くの人が見落としているような幾つかの出版物に関するコメント

**Re: Robert J. TUTTLE: Earth Expansion and Thick Air for Ancient Birds.**  
***NCGT Journal*, v. 3, no. 1, p. 65-68.**

Comments on some publications most people seem to have missed

**John F. RIGBY** j.rigby@qut.edu.au

( 山内 靖喜 [ 訳 ] )

私は Robert J. TUTTLE の興味ある討論「地球膨張と太古の鳥に対する濃い空気」(*NCGT Journal*, v. 3, no. 1, p. 65-68.) を丁度読み終えた。これは本誌の読者と私の考えとアイディアの幾つかを共有することを教えてくれた。多くの人々に知られていないと考えられる著書については、文末の評論文献欄に入手方法の詳細とともに一覧にして示してある。それらは Carey (1996) と Adams (2010) である。

1970 年代頃まで地球膨張を支持する私の考えは芽生えなかったが、私はさらに以前に戻る必要がある。地質学での私の卒業研究は、1950 年代前半に行われた。その頃は、地質時代を通しての大陸と海洋の過去の分布に関して受け入れられる科学的概念を誰ももってはいないで、大陸は過去の地質時代を通じてジオイド上の現在と同じ位置を占めていたという考えが最も一般的のようであった。後になってみると、他の考えはしばしばほとんど現実的ではなかった。そのようなときでさえ、発表者の背後事情によっていろいろの考えが違っていた。たとえば、私は南半球で古生物学を研究する学生だったが、ここでは Wegener や du Toit の考えがその他の多くの考えより化石分布データとより良く適合するようであった。私はタスマニア大学の学生ではなかったが、S. W. Carey 教授の初期の研究の影響をある程度受けてきた。Carey の 1958 年シンポジウムを読んだ後でこのことはさらに強められた。現在の著者達が Carey の研究を引用するときにはいつも Carey の 1988 年の著書を引用することに、私は気づいた。1958 年から 1988 年までの時代の著書と研究論文が彼の概念の発展的発達を示していることに読者達は気がついていたが、1993 年の彼の最後の著書は私を除いて恐らく誰も引用していないことは不幸である。この著書は、彼の初期の観点から続いている改善と拡大である。これは大変読みやすく、A4 版、図 127 枚による図解そして十分な索引がつけられている。

1960 年代における私の研究の興味は Gondwana の後期古生代の化石植物にあった。私の時代の範囲は

広がったが、それらはまだ今もいることが理由だった。Carey は大変気前よく彼の 1993 年の論文を下さった。それは 44 枚の図と 66 頁からなり、西パプアにおけるペルム紀の 2 つのカタイシア種の産出を記入する基本的地図として使った。それ以外のものはすべて Gondwana 陸上植物群である。この植物群の大半はテーチス海を越えて広がるができない種子植物からなり、プレートテクトニクスによれば、当時、テーチス海は中心角で約 30° 開いていたと推定されている。

1965 年の 2 編の短い論文によって、プレートテクトニクスの優越さは「石のように不屈な媒質中に置かれた」ように思えた。その 2 編の論文とは、2 つの構造的に不活発な大陸プレートの境界がブリティッシュコロンビアのバンクーバー島から沖に向かって延びており、それに沿った断層帯から押し出されて平行に並んだ溶岩中の地磁気の縞模様を記載した Wilson (1965) (最初に読んだ)、および縞模様の年代は断層から最も遠いところで最も古く、溶岩の上昇によって 2 枚のプレートが引き離されていると解釈することができる構造的に活発なゾーンに沿って最も若いと Wilson の観察を解釈した Vine and Wilson (1965) である。一片の新しい組織を形成する傷に沿って盛り上がりを作る新しい細胞の成長を伴って身体は傷を埋め込んでしまう多細胞の動物と植物における傷治療で大変明らかな可能性を彼等も彼等の継承者も考えたようには思えなかった。この行動観察を無生物の世界に移すならば、安定したプレートが引き離されて新しい溶岩の縞で修復された傷を露出させるが、従って科学的観察というより哲学的である。このことは多くの縞で何回もくり返されて、現在私たちがみているような結果となっている。原動力は地球膨張である。必要とされる余分な物質は、地球内部の深部で高エネルギー形態から高質量形態へのニュートリノ変化に由来すると示唆することでこれを説明することを試みた (Rigby, 1999)。

その後、このことがいかに実践的な示唆でないこと

を、先進的で国際的な核物理学者が辛抱強く私に説明した。私は私が認めることができないこの会話に感謝している。同論文において、鳥以外の動物が飛行できるためにはより濃い大気が必要であることを示唆した。顕生代を通して大気圧はほとんど一定であったというプレートテクトニクスの神聖な教義の1つに、これは逆らっている。たとえばCO<sub>2</sub>は大気圧を変化させないが、その組成の変化は全球的平均気温の変化を容易に引き起こすことができるが、飛ぶのに余計な浮力を必要とした4枚の翼と歯をもつ‘鳥’の飛行を助けなかった。これらは恐竜からの派生物で、現代の鳥類が進化したのと同じ時代頃のジュラ紀に目立った。海面上での大気圧をほぼ2倍にすれば、十分な浮力を供給したであろう。

Adams (2010) はジーランディア大陸<sup>\*1</sup>のいつかの部分は西部南極大陸の海岸に沿って南アメリカまで移動したと考えている。西南極大陸は大陸の土台をもってなく、もし氷が溶ければ、深い海溝で隔てられた幾つかの島々におき変わるであろう。私にとって、このことはプレートテクトニクスを先導するのに困難な要求のように思える。第一に、ジーランディアはなにをいい、どこに位置したのか。ニュージーランドと幾つかの小さな海洋島程度の小さな範囲に現在は露出しているかつての大陸として、Sutherland (1999) は南西太平洋の広大な範囲を地図上に示した。Adams (2008) はこのかつての大陸についてジーランディアの名前を使ったが、これがこの名前の最初の使用であるかどうか知ることができなかった。この論文はその後拡大されて、ジーランディアの一部はチリの海岸沿いの地域を占めているという考えの地図が示された (Adams, 2010, fig. 3).

\*1: ジーランディア (Zealandia) は、ニュージーランドの辺りに現存する大陸の断片で、そのほとんどが海面下に沈んでいる。ジーランディアは、約130～85Maに南極大陸から分裂し、さらに、約85～60 Maにオーストラリア大陸と分裂し、その後、そのほとんどが海面下に没したと考えられている。現在のようにジーランディアがほぼ完全に海面下に沈んだのは、2300万年前頃と考えられている。(ウイキーペディアより、訳者注)

かつて将来の太平洋が発展した地域の南端にその位置があったので、これは地球膨張にとって明らかなことであった (Carey, 1996, fig.44). Carey は、テーチス海が狭い海であると考えていたとき (Rigby, 1998) であったため、ペルム紀の幾つかの植物群の分布がプロットされたこの図の写しを彼は非常に気前よく私に下さった。興味深いことに、この論文の編集者達はプレートテクトニクスに基づくほぼ同じ縮尺の同じような地図も入れる限り、地球膨張に基づく分布図を入れることを認めた。プレートテクトニクスに基づく地図はニューサウスウェルズ、アーミデルのニューイングランド大学のI.

Metcalf 教授が親切にも下さった。プレートテクトニクスはとくに生物学的分布に関連して幾つかの著しい流れをもつことを太平洋地域の歴史が明らかに証明すると私は考えている。プレートテクトニクスは生物学的制約のなんらかの検討なしに普及されてきたように思える。大型陸上動物や大型植物に属する生物とは分布の制約が異なる浅い水域の動物相を多くの古生物学者は研究しているので、彼等はプレートテクトニクスを支持している。

郵送は割増料金。購入する前に上記の住所に連絡を取られたい。いろいろなクレジットカードを使用できる。Careyの研究に興味をもった方は、みんなこの本の購入を考えるべきであろう。

### 評論文献

Adams, C.J., 2010. Lost terranes of Zealandia : possible development of late Paleozoic and early Mesozoic sedimentary basins at the southwest Pacific margin of Gondwanaland, and their destination as terranes in southern South America. *Andean Geology*, v.37, pt. 2, p.442-454.

この雑誌はGoogleで *Andean Geology Journal* を検索し、文書ボタンを選べば無料でダウンロードして入手できる。ダウンロードは始まるまで大変時間がかかるであろう、忍耐!

Carey, S. W., 1996, *Earth, Universe, Casinos*. Tasmania 大学地質学教室, Hobart.pp. xiv + 232.

本書はwebsiteや書店で入手できない。下記のアドレスでのみ\$45 (オーストラリアドル) で購入できる。 <http://www.utas.edu.au/codes/publications/publications-for-sale>. 郵送は割増料金。購入する前に上記の住所に連絡を取られたい。いろいろなクレジットカードを使用できる。Careyの研究に興味をもった方は、みんなこの本の購入を考えるべきであろう。

### そのほかの文献

Adams, C.J., 2008. Geochronology of Paleozoic terranes at the Pacific Ocean margin of Zealandia. *Gondwana Research*, v. 13, p. 250-258.

Carey, S.W., 1988. *Theories of the Earth and Universe*. Stanford University Press. 413p.

Rigby, J.P., 1998. Upper Palaeozoic floras of SE Asia. P. 73-82. in Hall, R. and Holloway, J.D. (eds.). *Biogeography and Geological Evolution of SE Asia*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.

Rigby, J.P., 1999. Permian floras and palaeogeography with particular reference on Gondwanaland and the Tethyan margin. *International Symposium Shallow Tethys (ST) 5*, p. 185-196. Available on Researchgate.

Sutherland, R., 1999. *Basement geology and tectonic*

development of the greater New Zealand region: an interpretation from regional magnetic data. *Tectonophysics* v. 308, p. 341-362.  
Vine, F.J. and Wilson, J.T., 1965. Magnetic anomalies over a young granite ridge off Vancouver Island.

*Science* v. 150, p. 485-489.  
Wilson, J.T., 1965. Transform faults, oceanic ridges, and magnetic anomalies southwest of Vancouver Island. *Science* v. 150, p. 482-485.

---

## 随 筆 ESSAYS

---

### 自然地震活動 NATURAL SEISMICITY

**Peter M. JAMES**  
**Dunalley, Tasmania 7177, Australia**  
Dunalley, Tasmania 7177, Australia petermjames35@gmail.com

( 柴 正博 [ 訳 ] )

---

**要旨:** 自然地震頻度は、最大ジオイド応力値について制限された水平応力と下層における関係ある境界面の値に制限されたひずみの強さを伴って、局地的に制限されたひずみ減退に関して分析される。増加を伴ってベニオフ帯まで下がる深さにおける増加にともない、高い揮発物質の(気孔)圧力の役割はますます重要になる。ベニオフ帯の下の深発地震は水力破碎メカニズムの結果であり、そしてそれは下部マントルからの高温/高压の揮発物質の放出によって誘発されている。これらの深発イベントは上部マントルにおける構造の存在を明らかにする。深発地震と下部ベニオフ帯の間にはしばしば起源不明な無地震帯がある。

**キーワード:** earthquake patterns, in situ shear stress/shear strength, geoid stress, hydraulic fracture, volatile migration, Mantle structure

**著者のメモ:** 次のエッセイのいくつかの短いセクションは、以前に NCGT のページで発表された。そのセクションは完全性の目的でそして読者の便宜のためにここに提示されている。

#### 1. はじめに

特に地震は、1年におよそ百万回の割合で起こると推定されていて、その大部分は世界的規模で設置された何十万という地震計局で記録されている。自然現象の領域における知識のふつうの科学的な追求から離れて、このような記録はもう一つの大きい目的をもつ: すなわち、生命と財産に対する脅威を引き起こす可能性が高い特定のイベントにおいて、それは地震を予測する信頼できる手段を開発することである。

自然のイベントの圧倒的多数はかなり無害である。M2 から M3 の地震は容易に人 — そして疑いなく他の敏感な動物相 — によっても感じられるかもしれない。しかし、最近の堆積物のような影響されやすい環境の状態以外のものは、多分通常構造的な損害を起こさない。構造上の損傷は、特に影響されやすい環境や地域の程度が低い品質建築物において普通 M5 付近から始まる。1963年に起こったスコピエとユーゴスラビアでの破壊的な地震は、その境界の規模であったが、スコピエに近く浅かったことから、そのイベントは不完全に建てられた建物がいかに多

いかを明らかにした。しかし、M6であれば、しっかりと造られた構造さえ被害を受けるかもしれない; 地滑りが生じられるかもしれない、そしてある特定の状況の下では津波も。破壊はその後ほとんど急激に増加する。

ウォレス線で有名な A. E. Wallace は、19世紀中頃の間インドネシア群島を広範囲に旅行して、地域には毎週感じることでできる地震があり、毎年いくつかのショックがあったとはっきりと述べている。(実際、それはおそらく控えめな表現であった。) 彼は過去のいくつかの悪い — 有名な噴火を記している: その1つはモルッカ島を引き裂いた1646年の地震で、側面の一方に開いた巨大な深い割れ目を残し、215年後に12のマライ村とともに再び破壊した; ジャワ島のパパンダヤンでは1772年に山全体が爆発した; スンバワ島のトンボロでは1815年に、500 kmも沖に火山灰を拡散させた噴火で、周知の1万2千人の死者数がでる被害があった。クラカトアは、ウォレスの後に(1883年に)、スリランカとオーストラリア西部でもその音が聞かれた噴火を起こした。それで生成した波、津波は村を破壊しと3万~

4万人の人々を犠牲にして、一方でその電波は世界中を数回通過とした。

人の被害は近年の高い人口密度の中で明らかに増加している。そして、20世紀の前半の間に15回の大地震において百万よりはるかに多くの人々が（おそらく同じくらい多くの重症者もともない）死んだと推定される。地震の発生の率は継続していて、地震対策の改良によって多くの国にて死傷者統計値を大いに減少させたけれど、大地が震動するトラウマの脅威はほとんど減少させることはできない。そのため、地震の予測は優先リストのうちでも高いところあるままである。

ローマ時代と同じくらいはるか以前から、多数の先駆者が「地震光」のような現象を含めて、以下のものを長い間に確認してきた；潮の効果；月の段階；蒸気雲；熱の放射線；動物の異常な行動など。しかし、これらの大多数は、特定であるよりむしろ典型的な示唆である。すなわち、それらは事件を予告する可能性が高いが、それらは指定された事件の場所、深さ、規模とタイミング、そしてそれはもちろん、人間の社会が生き残るために必要とされることに関して、繰り返して成功を与えることができないことを意味した。

予測の問題についての個人的見解は、予測のための信頼性が高いモニタリングシステムを準備することができる前に、我々は最初に地震が起こるメカニズムを識別して理解することが必要がある。メカニズムについての知識なしで、我々はしばしば暗やみに捜索する以上にほとんど何ものしないで、幸運に恵まれることを望んでいる。我々が地震活動と通常の潮汐や天文学の効果のような現象の関連を探し求めるとき、これは特にそうである。しばしば規則性をともなって起きる自然のイベントは、特にあとでの知恵としてこのような結合体が推論されることを可能にする。しかし、問題は残っている：すなわち、規則的に起こっている自然現象のどの特定の項目が、先駆者に前もって選ばれていたかである？

2012年前期に国際地震火山予測センター（IEVPC）が、研究をリードするこの雑誌の編集者をふくめてフロリダに設立された。IEVPCは最近、地震のエネルギーが上方へ移動するというClaude Blot 仮説に基づいて、前もってうまくいったいくつかの成功した予測を主張することを可能にした：前途洋々のスタートである。しかし、予測分野での期待はずれの長い歴史は、公的な考え方の信頼が確立する前にモニタリングプログラムの基礎としたいいくつかの科学的なフォームの解決を伴って、IEVPCからの成功の本質的な証書の束を明らかに必要としている。我々はこれが起きることを楽しみにしている。

地震のメカニズムを理解するという上述したことにもどれば、プレートテクトニクスモデルにおいて重要な査定欠如 — 少なくとも主流の地球科学の出版物において — は、予測の問題について手助けにはならなかったと言わざるをえない。次の論議において、移動モデルの推論のどれもがまったく信頼できないことを示す。その代わりに、地震のメカニズムの分析は、その場所での応力条件とその場所でのひずみの強さの関係に基づいていると思われる。そのことは、NCGT 雑誌の前号において人工的に誘発させた地震に関する著者によって紹介されている。このアプローチは、ベニオフ帯の基底より少なくとも下がっている自然地震を分析することでも効果があることが確立されるであろう。このレベルの下で、上部マントルでの地震（例えば、500～700 kmの深さ）のパターンはまったく異なったメカニズムを示す。深発地震地域と下部ベニオフ帯の間にしばしばみられる無地震帯の性質について若干の問題が提起される。

## 2 深部の変わりやすい現位置剪断応力

地殻上部のその場の応力の大きさは、垂直応力（合計）が深さと密度を掛けて典型的に与えられる一方、水平応力（合計）が垂直の値の半分以下からこれの7あるいは8倍まで及ぶことが明らかになっている。前者は伸張の条件を表し、後者は圧縮の状態を表す。これらの値に基づいたどんな分析のために、問題となっている深度で作用する気孔や揮発物質、圧力の効果を考慮に入れた効果的な応力に関する研究が必要である。

深さにおける高い水平応力の存在は、地層の地質学の歴史の間での浸食の結果として多くの教科書で説明されてきた。議論は次の通りである。沈殿を経験している堆積物において、垂直応力（ $\sigma_v$ ）は深さと密度を掛けて与えられる。粘土質の堆積物において、どんな深さにおいての対応する水平応力は、この理論的關係によって与えられる：

$$\sigma_h = \sigma_v \cdot \nu / (1 - \nu)$$

ここで、 $\nu$  = ポアソン率、おそらく圧縮可能な物質では約0.2～0.3。

すなわち、水平応力が多分垂直応力の増加率の4分の1の率で増加すると、そしてこれは堆積作用過程の終わりまで続くであろう。堆積サイクルの終結では、たいいていの堆積物が遅かれ早かれ浸食を受けやすくなる。分かりやすく言えば、これは堆積物が過去に垂直荷重によって元来押しつぶされ、その後にくらか — あるいはたくさん — 垂直荷重が浸食によって取り除かれたことを意味する。荷重の撤去の過程の間に、堆積物の中のいかなる点の垂直応力でも荷重移動の量の割合だけ減少される。しかし、

堆積物の巨大な量は水平方向に半無限であることから、堆積サイクルの終了までに発達させた最初かあるいは最大の水平応力が、浸食ににもかかわらず継続されたままの傾向がある。もし十分な超存在物質が浸食によって取り除かれるなら、垂直応力がその場所の水平応力以下に減少する状況が生ずることができる。その過程は図1で説明される。

<sup>4</sup> 昔はこのような値は器械誤差としてしばしば無視された。

始新世のロンドン粘土層は、典型的に水平応力が垂直応力の2から3倍を示す。これがそれだけで浸食によって引き起こされたことは、堆積物の上の現在の垂直荷重がすでに取り去られていて、10から15倍のような何かを意味する。そのため、もしその場所の応力値が20m深さにおいてされたなら、ロンドン盆地の現在の陸表面の上から少なくとも堆積物の200mがすでに取り去られていたと想定できる。もし測定が40mの深さでされたら、堆積物取り去りの深さはおよそ400mとして出て来る。ロンドン盆地の地質がジュラ紀以降比較的安定していることと、ロンドン粘土層の下から最後の氷河期の堆積物まで重なったシーケンスが若干の地域以外まだ部分的に損なわれないという事実を除いて、ロンドン盆地の現在の陸表面の上からさらに400m、あるいは200mさえ取り去られたたことはないことがかなり明確であり、これはちょっとした困惑となる。そのため、ある人は高い水平応力は構造的な活動の生産物であると結論しなければならない。それは意外ではない。ロンドン盆地の南にあるウェイト島の上に、ロンドン粘土層より少し若い地層が大きな単斜構造をしている：それらは、その地域において南北方向の構造的な圧縮力を受けていることかなり明確に示している。

同じような概要が、Enever and Lee (2000) と NCGT の2つ前の号に人工に誘発した地震により簡単に扱われたが、その場所での応力に基づいて、シドニー盆地の平らに横たわる砂岩頁岩層でもみられる。ここでは、記録された高い水平応力を産み出すためにおよそ5,000 mの浸食サイクルが必要とされる。再び、シドニー盆地の過去の地質においても、超存在物質層がこの量存在していたような何の地質学の指標もない。構造的な圧縮力が働いていたとは、さらに再び結論される。

NCGT への前の原稿とそして James (1994) において、著者は極の歳差運動の結果としてジオイドの変化を調整しなければならなかった地球表面の要素に起因するひずみによる押し付けの応力の概念を紹介した。Heiskanen and Meinesz (1958) は、おそらくこの問題に最初に着目し、そして極の平らになる地域から赤道の「引き伸ばされる」地域までの地殻の「引越」の要素が  $1.5 \times 10^5$  kPa の伸張応力

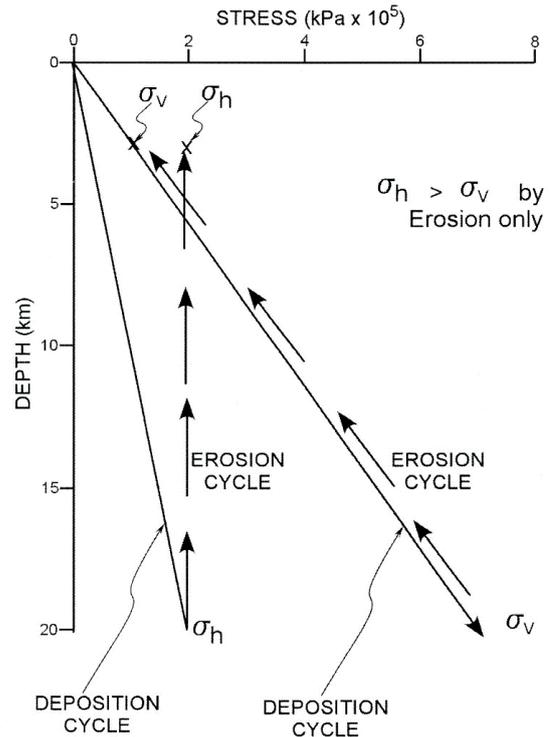


図1 堆積と浸食サイクルの間の応力の変化、それは垂直を超える水平応力を導く。

を受けやすいであろうと計算した。そして逆も同様である。ついでに、同じオーダーの値が、硬い岩石に対する合理的な変形係数を使って単純なフックの法則からも同様に得ることができる。

Heiskanen と Meinesz は、玉ねぎのように同心の殻で構成されていて地球を基にして彼らの値を得た。実際、地球の地殻のしばしばバイモーダルな性質は、例えば楕状地と海洋地殻の接触面が50%に増加することによって応力変化を起こす。応力の規模のこれらのオーダーが、そのように地殻の接触面にそってある古赤道の配列のときに地向斜に適切に生み出されることが、著者によって実証された。付け加えれば、地向斜がより高い緯度に移るときに押し付けられた圧縮応力は、地向斜の堆積物を変形させ、褶曲、衝上断層を生じて、褶曲山地を形成する。これはこの提案の主な主題にとって付随的なものであるが、 $1.5 \times 10^5$  kPa のオーダーの最大のジオイド応力が地震分析において使われることから、ここで紹介する。ついでに、再び、上に概説された同じひずみによって引き起こされた同じく水平応力は主要なジオイドの変化を越えて進みどんな岩石圏のプレートにも押し付けられるだろう。しかし、今までにこの要因の認識が動的なプレートテクトニクス提唱者によってとられなかったように思われる。

### 3 地震のパターン

地震は最初に下部マントル / 上部マントルの境界

にラベルをはられているものが現われ、その境界は橄欖岩のようなある特定の鉱物が研究室の観察で所相変移するのに関係がある。この境界はおよそ 670 km の深部に限定されているが、地震イベントは例えば 700 ~ 550 km の深さの間の上部マントルの中のどこでも最初に起こっていて、もう少し限定的ではない。これらの深発地震帯に示される直接に明白なパターンは太平洋周辺と顕著な親密さがある：カムチャッカからジャワまで、そして次に散発的に南西太平洋を横切ってトンガへ、図 2 に。これらの地域で、深発地震帯は（メルカトル図法の上に）垂直に並べられた地震の長い曲線 - 線形の跡を構成する。すべてがベニオフ（ベニオフ - 和達）帯上に重なって、そして表面において海溝とほぼ平行して関連している。これらの 2 つの主要な重なりの中に、火山そして / あるいは火山の島の平行した「連鎖」を見いだすことは普通である。

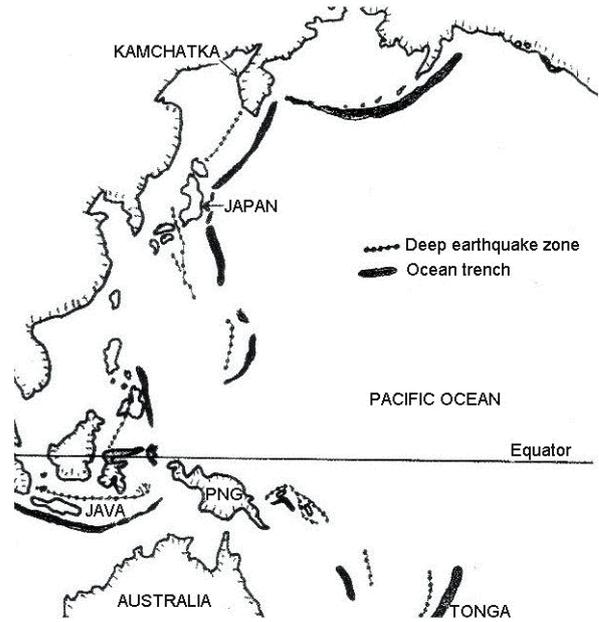


図 2 西太平洋の深発地震帯と海洋性リフト。

類似のパターンが太平洋の反対側の南アメリカでも発見できる。ここでは、しかし深発地震の配列はアンデスの東側の大陸自身の下に存在する、図 3 に。

それにもかかわらず、海溝をとまなう同じくほぼ平行なパターンがあり、それは太平洋の海岸線から離れそして同じくアンデスコルジレラに沿って火山のいくつもの塊がある。ついでに、深発地震の配列はここで南米楕状地の境界の非常に近くを走っている。



図 3 南アメリカの深発地震帯。

深発地震の部分が欠けているという事実以外、海溝とそれと連携する火山の配列という他の地域で紹介されている類似のパターンがある、というこの段階のことを述べる価値が同じくある。例えばスマトラは、ジャワの南側から拡張する深い海溝を持っている；それは火山とベニオフ帯の連鎖が島の下に下がっているようになっている。けれどもそこには 200-300 km より深くにどんなイベントもない。アリューシャン弧は、太平洋の遠い北にあり、同じ曲線 - 線形海溝と、同じくほぼ平行した連鎖状の火山島の、同じ一もしどちらかと言うとむしろ散らされたら - 上部ベニオフ帯を持っている。しかし、再び、およそ 200 km の深さの下に地震がない。類似のパターンが同じく中南米に見いだされる。これに関しては後で述べる。

典型的な表面まで立ち上がる深発地震の断面を図 4 で示す。深発地震は上部マントルにおいて垂直な配列を形成する、そして、タイムスケールに対してプロットしたとき、地震が上方へ移動することが明らかになる。この事実は 1960 年代にフランスの地球物理学者 Claude Blot によって最初に認識された。しかし多くの場所で、500 ~ 350 km の深さの間に無地震帯があるが、時間要因はベニオフ帯より低いレベルで再び確認させられることができる。ベニオフ複合帯を構成する 2 つの帯のそれぞれは、はっき

りした傾向を持ち、一その特徴はベニオフ帯がおそらく異なった起源を持つ複数の帯であることを結論づけている。実際、その浅部の帯は 27°-30° で傾斜していて、圧縮の最初の条件の下での破壊碎パターンに適している。より深い帯はおよそ 60° の傾斜で伸張の条件の下での破壊に適していて、幾何学的な説明が著者や、例えば James (2009) によってほかのところで論じられている。上部ベニオフ帯の活動は、それほど構造化されていないで、特に地殻においてあるいはどちらかと言えばより熱のある状態である。

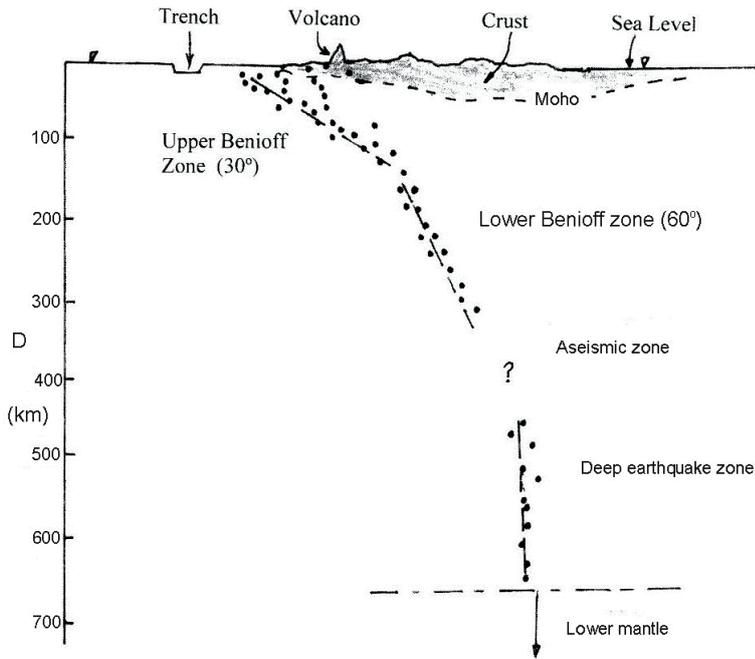


図4 深発地震環境における理想化した地震イベント分布.

20 世紀の半ばの頃に、図 4 の理想化された地震パターンがサブダクションというラベルがはられた過程の基礎になり、その時発展途上にあつた移動するプレートテクトニクスモデルへの恩恵となった。それは海底拡大に関連した論理的で適切な解釈として現われた。それにもかかわらず、多くの不適当な組み合わせ（ミスマッチ）が釈明されるか、あるいは少なくとも無視されなければならなかった。第一に、もしサブダクションが起きているなら予想されるかもしれないように、海溝と深発地震帯の間の連続が常に存在しているわけではない。a) 海溝と浅部ベニオフ帯の間に大きいギャップがしばしば起こる； b) 浅いものと下部ベニオフ帯の間では、ギャップが時折幅 200 km もある；そして c) それ以上のギャップがしばしば、ここで無地震帯と呼ぶ下部ベニオフ地域と深部地震の間に起こる。

これらのギャップに加えて、海溝はそれら自身典型的なサブダクションの証拠は示さず、伸張性の破壊と診断されるリフト型の構造である。さらに、太平洋の実質的な多くの海溝は、その基盤の上に水平に成層した堆積物があり、第三紀またはそれより新しい時代を示している、Bogdanov (1973)。言い替えば、これらの海溝は長期に静的な状況を示し、動的な状態ではない。

仮定されたサブダクションメカニズムに反論する他の証拠は、次のかたちで著者によって提出されている、a) このようなメカニズムに関係している力の定量分析と、b) 上に重なった深海堆積扇状地の可動する基盤(例えばフアン・ドゥ・フカの「プレート」)の影響。前者の場合、サブダクションメカニズムに帰された力はそれらがなすと主張されている仕事に対して非常に不十分であることが明らかにされてい

る。後者の場合、可動な基盤は、上に重なった堆積扇状地の褶曲と衝上断層などの変形を起こすよりほかにオプションを持たない。しかし、世界的に深海堆積扇状地は、世界に広がり、一般に水平に成層してまた、大洋のゆるやかな褶曲から区別され、変形していない。

“Active Margin Geomorphology” という彼らの本で、Smoot et al (2001) は太平洋の周りのどこでもサブダクションの地震の証拠がないことを発見した。Choi (2005) と (2006) は、サブダクションについて同じ質問をする：「証拠はどこにあるか？」と、インドネシア弧とフアン・ドゥ・フカプレートに関して尋ねている。ずっと昔の 1972 年に、Meyerhoff A. A. & A. H. は、サブダクション帯として分類されている境界を直角に横切る地質の連続したシーケンスの例をリストした。これらすべての批判はグローバルテクトニクスへの同一のアプローチのために増大する熱狂の中でむなしなものとなっている。

最終点は、海底パターンから動いていると主張されている海底の破碎地域に地震のどんな水平方向の変形(地震)の証拠がないということを示すことかもしれない。図 5 は意味することの一例を提供する。

ここで、北東太平洋における、磁気の縞模様の年齢に基づいて解釈された海洋底拡大速度は次のとおりである：

帯	拡大速度
1	4 cm/yr
2	4.3 "
3	4.7 "
4	6.7 "
5	4.8 "

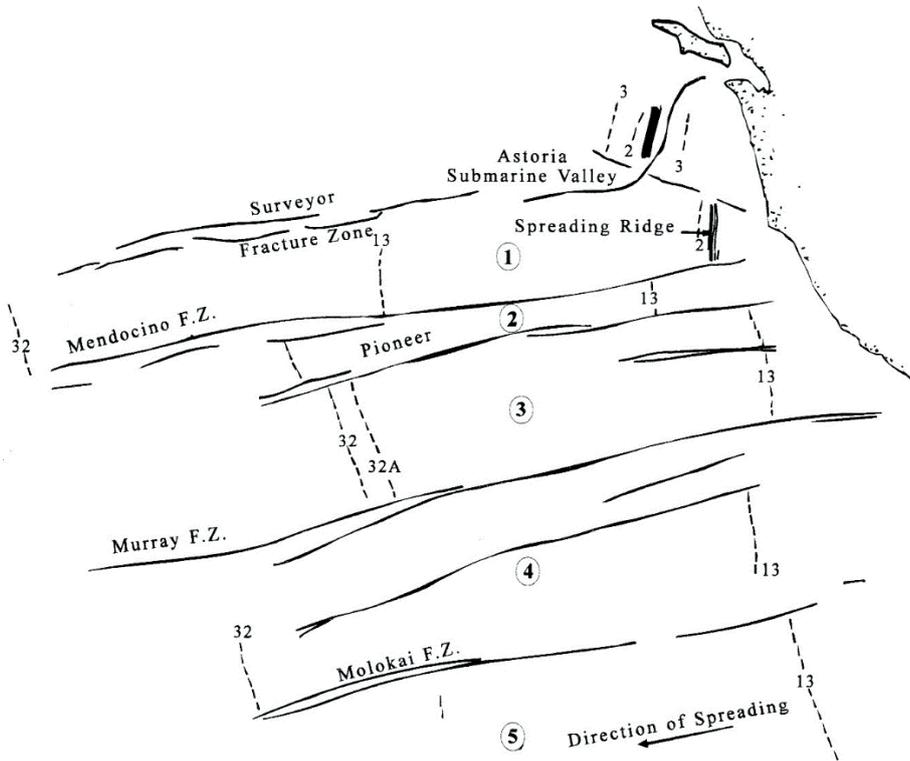


図5 北東太平洋の裂罅帯は、異なった拡大速度を示すとみなされ、無地震である。

マーレーとモロカイ破砕帯の間の地帯は、伝えられるところでは両側での地域より速く、およそ2 cm/yr で広がっている。それはサンアンドレアス断層の測られたものと等しい動きで、特別に早い速度である。それでも相対的な動きと主張されるこの帯のいずれかの側と境界している2つの破砕帯は、無地震である。このオーダーの無地震変形は、移動プレートテクトニクスモデルの全体が地震のパターンに基づいて、いつであるか説明するのに難しいものである。ついでに、北東の太平洋の状況はユニークではなく、オーストラリアの下の南太平洋のパターンでも見られる。

上の図4で見られる地震パターンは頻度の見地から見られるかもしれない。図6は太平洋環境での深さで地震強烈さが変化している頻度の例を示した。図のカテゴリーが次の通りである：

\* A帯：浅く、非常に高い活動の部分的な地殻の帯。それはその下で以下のように明示されるであろう、この帯の上部にふくまれるジオイド圧力を通して起こる地震、しばしば水圧気孔の圧力体制がない状態。

\* BとC帯：ベニオフ帯の地震。ここでは、ジオイド応力モデルに基づいて、隆起した気孔の圧力が地震活動のために必要とされることが説明される。圧縮条件（衝上断層）のもとで破壊がC帯ではなくB帯にだけに起こり、そしてそれは伸張条件のもとでの破壊領域である。（明らかに、B帯のレベルにおいて起こっている伸張破壊を妨げる理由はなく、

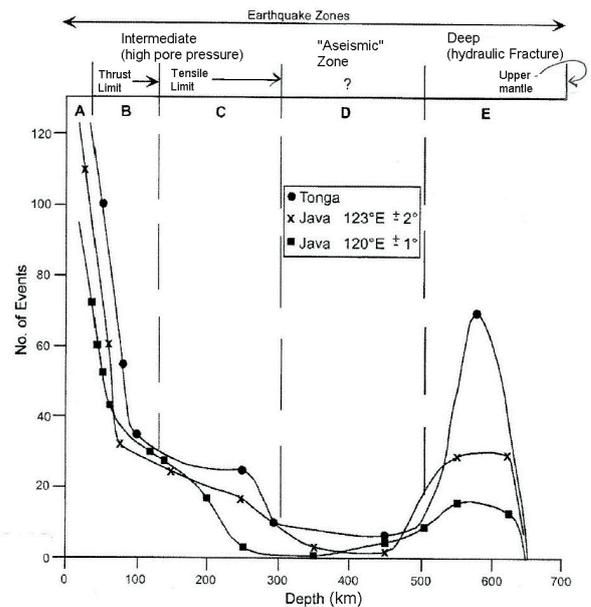


図6 1973年以降のトンガとジャワの深度による地震頻度。

同様に、そしてこれによってこの帯により多くのイベントが発生することができる。）

\* D帯は大規模な無地震帯で、起源については現在未知。

\* E帯：上部マンツルの地震。ここでは、地震はひずみ応力破壊としてではなく、高温の放出、強い圧力、下部マンツルからの揮発物質によって起こされた水力破碎の結果として引き起こされるだろう。

地震帯の順番にとって、これらの正しい説明が今提供されたい。

#### 4 浅発地震

この項では、分析された条件は NCGT 雑誌の前号で提出された人工的に誘発させた地震に関することにあたる：すなわち、地震は効果的なひずみ応力がどんな特定のレベルにおいてでもひずみ力を超えるときに発生する局地的な破壊としてとらえられる。この状況を規制している3つの要因は、そのためその場所でのひずみ応力、その場所のひずみ力—典型的には岩体中の境界面に沿って—そして気孔圧力の仕組みである。上部地殻のレベルにおいて、最初の2つの条件は少なくとも人間の時間スケールでは適度に静的であるととらえられる。この方程式における1つの主要な応力は垂直の荷重  $\sigma_v$  で、それは深さに時間を掛けて与えられ、有効な応力条件  $\sigma_v'$  のための隆起より少ない。水平方向の応力は他の2つの主要な応力を与える。それらは等しくものではなく、破壊条件を規制する水平応力は（圧縮の場合において）より大きく、（伸張の場合において）より小さい。これは二次元における分析を可能にし、圧縮条件では  $(\sigma_h' - \sigma_v')/2$  の形で、そして伸張条件では  $(\sigma_v' - \sigma_h')/2$  のひずみ応力をとらえる。前述したとおり、ジオイドテクトニクスの基礎の上では、最大のひずみ応力がいずれかにおいて利用可能であることはおよそ  $1.5 \times 10^5$  kPa であることで、しかしこれはおそらくたいの環境で存在することがないと思われる。

上に示されるように、地殻での浅い地震は、特にこれらが主要な応力について都合良く方向づけられているときには、以前に存在した境界面の存在において容易に起こる。深いトンネルを調査した誰もが、たいの岩体が過剰な不連続境界面セットを持っていて、その方向の必要条件は通常大問題ではないということを知っている。このような脆弱な平面に沿った要因は、 $20^\circ$  を大きく超えない値と無視できるほど少ない結合をとらえて剪断抵抗（摩擦）の角度として提案される。地殻の比較的安定した地域

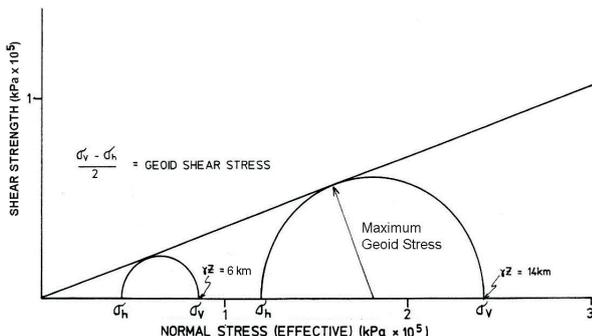


図7 2つの深度での伸張条件（正断層）についてのモールの円関係。

では、静水圧の水圧分布が浅い地殻のレベルで期待され、そしてこの状態は最初の分析に取り入れられる。正断層、衝上断層、走向すべり断層は別に扱われる。

#### 正断層

正断層は伸張条件下で起こり、そしてそれは急傾斜の境界面で起こり得る。その状況の2次元のモールの円分析は、図7で示されるが、深さによる気孔圧力における静水圧増加の場合について図7で示される。図で示された2つのモールの円は、地震が静水圧の気孔圧力体制のもとで起きるかもしれない深さで持つであろう異なったジオイド圧力の役割を説明している。図で、円はそれぞれの深さにおける仮説的に適切な静水圧の気孔圧力状態のために調整されていて、それでそれらは効果的な応力に関して状態に相当する。図の中の最も浅い場合では、ジオイド応力のすべの潜在可能性の一部だけが適用されたとき、モールの円は破壊の包みが断ち切られるようにみることができる。

右手のサークルはジオイド応力の最大値を利用する。このことから、14-15 km くらいの深さを超えると、最大のジオイド応力のモールの円は、少なくとも静水圧の気孔圧力と組み合わせられるとき、破壊の包みの下に落ち始めるだろう。これは少なくともこれらの特定の条件のもとでの、正断層が生じるための深さ限界を示す。

#### 衝上断層

衝上断層についての同様のアプローチは、境界面に沿って例えば  $20 - 35^\circ$  傾斜した破壊をとらえない、図8で示される。再び2つの深さは、これらの特定の条件下で断層を生ずることについての必要条件の例を提供するように独断的に選ばれる。中ぐらいの深さ、例えば 4 km において、衝上断層は最大ジオイド応力値よりも小さい水平応力によって動き始められる。7 - 8 km の深さのどこかでは、しかし全ジオイド応力は静水圧の気孔圧力条件下でモールの

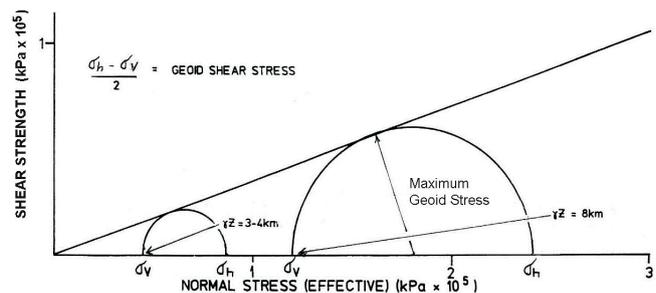


図8 2つの深度での圧縮条件（衝上断層）についてのモールの円関係。

円を破壊基準に至らせることが必要とされる。これはそのために、これらの特定の状態で衝上断層としての限界深度が定義される。

ジオイド応力と静水圧の気孔圧力、好都合な境界面でのありそうな地震の深さの一般的な関係は図9に示される。

明らかに、地震は図9に示されるよりずっと大きな深度において起こり、何がこれについての論理的な説明であるかもしれない？

安定した地質の地域では、上で使用した（岩石）パラメータの2つの中での変化が非常に多くの機会をもつわけではない。地殻の中での境界面にそったひずみの強さは、例えば、いずれかの外からの要因なしに変化することがありそうもない。その場所でのひずみ応力もまた安定した地質の地域では比較的静的であり、しかし地殻の水平移動の長期の記録は、現在世界的規模で利用可能で、進行中のひずみから引き起こされた応力が原因かもしれない。しかし、それはどんな局地的な決定的な分析でこの効果を推測しようとしても、長い弓状に描かれるだろう。

これは変化する可能性がある唯一のパラメータを残す：気孔（または揮発物質）圧力。気孔圧力の大きい変化は、実際、非常に一般に深い掘削孔で見いだされていて、そしてここでは上の、Gold and Sofer (1980)。この要因は、ちょうど上で与えられたそれらよりもっと大きな深度での地震の発生の可能性に重要な役割を果たすと思われる。そして付け加えるならそのことは、ベニオフ帯の地震の一部の断面にも残されるであろう。

### 走向すべり断層

サンアンドレアス断層のような走向すべり（レンチまたはトランスフォーム）断層は、文献では、断層線の片方が他の側の押しに対して逆側に「押し」の結果であると典型的に示されている：言い換えれば、一つの主要な境界線を横切った地域のストレス方向の完全な逆転である。このような状況が生ずるかもしれないことは、ある地域の応力領域がひとつの線状の断層線のどちらか一方で同じレベルの応力を示すことを普通に期待することによって説明することは困難である。

この問題への一つの可能な答えは、並外れた一方向だけの応力領域が作用していることを認めることであるが、それは2つの異なった地殻単元で活動している。もし走向すべり断層線が実際に楕状地または大陸地殻に隣接して対峙する海洋地殻のような地殻境界（あるいはレリックの地殻境界）の目印であれば、それぞれの地殻単元は同じ応力に対して異なっ

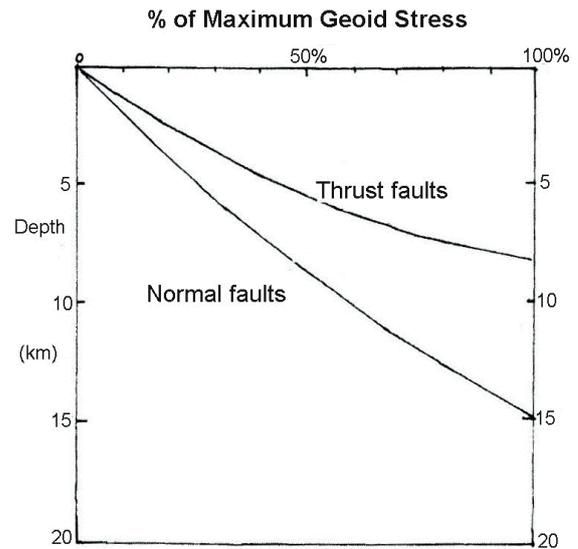


図9 静水圧の気孔圧力体制における、最大ジオイド応力のパーセンテージとしてのひずみ応力による断層深度の見積もり。

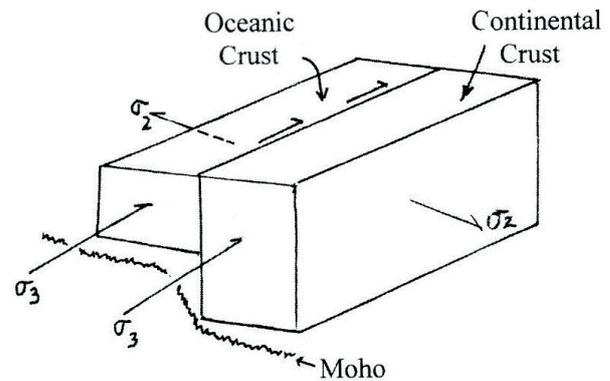


図10 その場でのジオイド応力、 $\sigma_3$ 、地殻の境界での一方向だけの水平方向の「押し」としての動き、境界を横切る異なったひずみ条件のセットアップ、走向すべり断層の線方向の存在に関する変形の生成。

て反応をするだろう。（実際に、走向すべりの線構造は普通過去の地角斜帯に沿ってあり、そしてそれ自身の特徴はある海洋 / 楕状地境界に沿った赤道面の「引っ張り」のもとに形成されることが明らかにされている、James（同じ文献）。これらの走向すべりの特徴は、地角斜から発達した褶曲山地の縁辺に現在一致するようにみえる。）

前号の NCGT の雑誌と James (1994) でも、薄い海洋地殻はジオイド応力による「押し」かまたは「引っ張り」やすいということと、それらは反応における有限な変形を経験していることが説明されている。他方、楕状地または厚い大陸地殻は、準柔軟な反応より多くはないが最大のジオイドの構造的応力に抵抗することができる。そのため、断層線が地殻の接触面の跡を表わすところでは、その線の両側での同じ「押し」によってその反応に顕著な相違が生じる。

走向すべりの状況における力の作用は、その方法の非常に概算の見積もりが与えられる。第一に、もし

$\sigma_3$  応力が圧縮なら、同様に  $\sigma_2$  応力もそうである可能性が高い。これは、断層線自身に沿って高い摩擦抵抗を産み出し、どんな走向すべり変形を非常に困難にしている —もちろん、高い揮発圧力が関連していないなら、この摩擦は減少する。

もし  $\sigma_3/\sigma_2$  応力領域が伸張状態であったなら、しかし、赤道の引き伸ばしまたはこのような状況のレリックにあれば、断層線に沿う変形に対する摩擦抵抗を最小にして、 $\sigma_2$  の値は低くまたは負になるだろう。そのため、走向すべり断層線に沿ったどんな変形も —すなわち地震— が起こる前に、断層線を侵害している高い揮発物質の圧力の発達かまたは、その場所での低いまたは断層線への普通の伸張応力の存在のどちらかが必要であろう。Bruce Martin (1964) と (1992) によるサンアンドレアス断層の太平洋の側で伸張破壊 (正断層) の証拠を示しました研究に注目することは重要である。

この制約の認識をすることは、サンアンドレアス断層のような特徴に沿った主要な破壊を予測するためのモニタリングプログラムをセットアップする支援をするかもしれない。例えば、揮発物質の圧力が高まり、特に表面に確かな変形を示していなかった地域において先駆者を表すことができるだろう。代わりに、断層線 (小さい変形として見られるかもしれない) に沿って普通の応力のどんな減少でも同じく不吉である。

## 5 中間の地震 (ベニオフ帯)

Barton (1976) は、 $\phi = 30^\circ$  の基底線の値が高い応力レベルにおいて硬い岩石のために妥当であるかもしれないことを示唆した：すなわち誘導しやすい範囲で。ベニオフ帯の傾斜からこの意見に対して支持される。すでに述べた通り、若干の例外をとらない、これらは水平に対する望ましいに 2 つの傾斜で起こる：浅いセットは  $27 - 30^\circ$  ほどで、 $100 - 125$  km まで及び；より深いセットではほぼ  $60^\circ$  の傾斜で、しばしば  $300 - 350$  km の深さまで及び。これらの傾斜は単純な砂箱実験によって説明され、そしてここでは、砂が  $\phi = 30$  の値をもっていることから、圧縮と伸長においてそれぞれそれらと同じ傾斜が得られた。

ベニオフ帯は深発地震帯の曲線 - 線形の跡の上に一定不変に位置している。従ってベニオフ帯に沿うイベントがより深い帯から生じた高い気孔 / 揮発物質の圧力の移動によって影響を与えられるために起こった。実際に、これらのページで詳述された最大のジオイド応力のモデルに関して、正断層 (伸張の) ひずみ破壊が最初にベニオフ帯で可能になる。最初の分析は、モール円アプローチを利用することによって再び作られる。

しかし、この話を進める前に、揮発物質の上方への移動についての長い運命を少し見ておく価値がある。地震、あるいは地震のエネルギー転移と呼ばれるものは、深いレベルから上方へ移動する間に減少させられた揮発物質の圧力と温度であろう。すなわち、そのことは上方へ移動している揮発物質がそれらの最初の圧力と温度の本質的な部分を深いレベルから上方にいく過程のそれぞれの段階で、維持することを期待されることを意味する。この方法において、揮発物質の比較的高い圧力と温度は地殻に到達することが可能であろう。ここで、これらの揮発物質は浅い地震の発生を助けるが、地表に着くまで全部の圧力がなくなることはなく、そしてそのときは貫入岩脈やシル、あるいは溶岩の流出か火山噴火のような現象が移動の最終段階を表すであろう。

それらの上方への移動の間のこれらの揮発物質の圧力の規模に関して、どんな深さにおける圧力の上限值と、論理的な選択として提案された深度におけるその合計の超現職の荷重を超えない制限の仮説を提案することができた。これは部分的に任意の限界であるが、同じく推論に基づいていて、もし揮発物質の上方へ移動させる圧力がこの値以上の過剰の全体状態であったなら、地球の地殻あるいは地殻 / 岩石圏が隆起要因を通してその完全性を失う傾向にあり、またむしろひずみ破壊よりも水力の破碎を経験し、超過の圧力を和らげるだろう。このような過程はベニオフ帯のパターンを混乱させる — すなわち、そこはどんな明白な証拠もないと思われる中断である。そのため、ベニオフ帯の上に、どんな特定の深さにおいても荷重に負担を掛けることになる最大の揮発物質の圧力「 $u$ 」を設定することができるだろう。

$$u < \gamma \cdot D$$

およそ  $2.7 \sim 3$  に及ぶ地殻の比重に比べると、岩石圏と岩流圏のそれはよりずっと高く、これは浅発地震にとって第 3 節で用いた静水圧値の 3 倍以上の揮発物質の圧力を必要とするだろう。このより高い揮発物質の圧力パラメータは、モール円の方程式に入れられるとき、前と同じように、図 11 で示されるように静水圧の場合においてモール円はより左にずっと大きい距離に変わる。

最大のジオイド応力は中間の地震レベルにおいて垂直応力と比較すると非常に小さいけれど、揮発物質の圧力の上昇はモール円をそれが破壊の包みを横切るように左に十分遠くに位置を変えることができることは今明白である。衝上断層 (上部ベニオフ帯) と正断層 (下部ベニオフ帯) の両方は、禁止された最大限まで揮発物質の圧力の変化を使って、前の項において実行され分析されることができた。

図 12 は、 $\phi = 20^\circ$  である境界面に沿ったひずみの強さの値をもって、ベニオフ帯に沿った中間の地震イベントのために得られたおよその深さの限度を説明する。伸張と圧縮の両方の条件で、高い気孔圧力の状態の下が描かれている。

図において、揮発物質の圧力が、最大限の負担をかける圧力のそれらのパーセンテージの形で Y 軸の上に与えられる。地震深さは X 軸の上に与えられる。図の曲線は、負担を掛ける率に対してどんな特定の揮発物質の圧力においてでも地震が起きるための深さの限度を予測する。曲線は代数的に元来得られてグラフに直された。そしてそれは、グラフにいくつかの小さな修正を加えた結果であるが、本質的に同じパターンを与えている。

重要かまたは最大の地震の深さは、上の定義された最大の揮発性の圧力で図から読まれることができる：

\* 圧縮の条件 (上部ベニオフ帯) のために、125 km の深さに近づいてくる

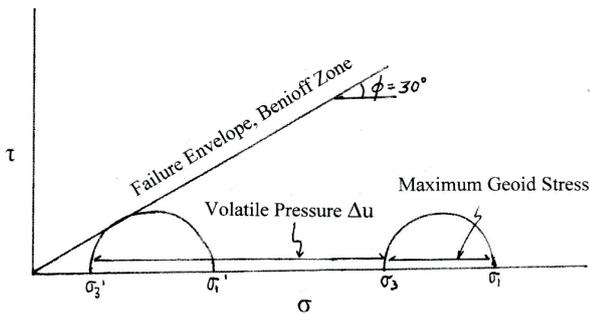


図 11 モール円の転置に対する高い揮発物質の圧力の効果 (スケールはない)

\* 伸張の条件 (下部ベニオフ帯) のために、およそ 300 km の深さ

これらの予測された深さはベニオフ帯に沿った両方の破壊のタイプのために実際の深度限界と適度によく一致する。しかし、このすべては話の内容全体であるかもしれないことのために少しあまりにも極端に単純化しているように聞こえる。しかし、もし我々が図 6 に戻るなら、我々は今深さによる地震の頻度パターンについての部分的な説明を見いだすことができる。イベントは、地殻かあるいは浅い帯、A 帯で最も頻発している、そしてその理由はすべての起源の地震 — 圧縮、伸張、走向すべりタイプ破壊 — が静水圧の気孔圧力体制 (最大ジオイド応力と結合された) あるいは中ぐらいの超過した気孔圧力体制の両方のもので起こることができるからである。B 帯、浅いベニオフ帯においては、超過の揮発物質の圧力が必要とされる。これは 100 km よりも小さな最大深度の圧縮のもとでの破壊をもたらす。すでに述べたとおり、なぜ破壊が同様に伸張条件のもとでこの帯で起こらないであろうかという理由がない。言い替えれば、B 帯における圧縮と伸張の両方の条件のもとでの破壊は、この帯におけるたくさんの数を説明するであろう。それに対して C 帯においては、地震は最大の揮発物質の気孔圧力の圧縮条件のもとでさえもう起こらない。これは伸張条件とこれからより少ないイベントのもとでただ破壊だけを残す。

図 6 の D 帯は無地震帯で、そこは地震活動が欠けているか、あるいはさもなくば不足していて、そして/あるいは規模が小さい、しかし深所地震帯が扱われる後までこの帯のどんな議論も残しておくことは有用であるかもしれない。

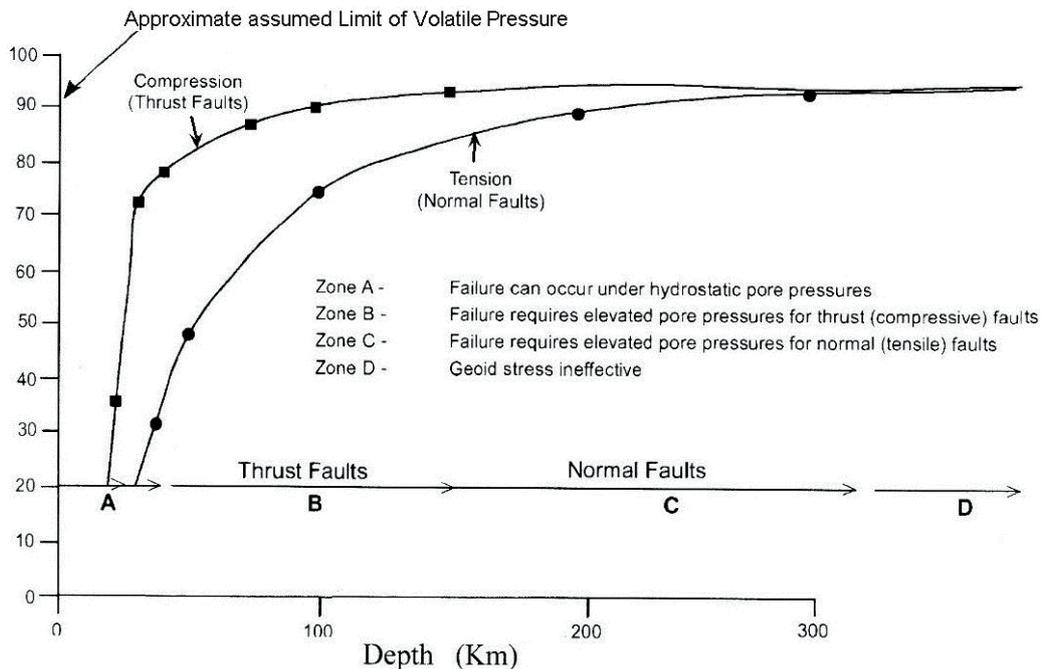


図 12 ベニオフ帯上の地震破壊を起こす最大ジオイド応力に対する揮発物質の圧力の影響。

## 6 深発地震

上ですでに述べた深発地震帯のほかに、地中海での適度に深いイベントの限定された数についてのことを加えるべきである。そしてそこはシシリーの北に位置していて、その地域では火山をとまなっているけれども特定のイベントに関係させられる明白な曲線 - 線形の幾何学がない。

深発地震の場所は限定していて、深発地震パターンについて我々の知識が比較的短い研究の期間に基づいているということをもた述べる必要がある。それは、現在無活動の地球の上に他の深発地震帯を学習するために（個人的な）驚きではないであろう。例えば、環太平洋地帯の例では、深発地震帯の表面の形態に似ているが深発地震自身がないことがすでに上で述べられた。若干の前の時間にこれらの地域では深発地震があったのか？ それ以来「干上がった」事象。あるいは我々は揮発物質の移動の新しい時代を見ている可能性が高いだろうか？

この深いレベルの地震は、上記の浅部のパターンに記述されるような単純なひずみ破壊の結果ではなく、水力により破砕した何らかの形を必要とするように思われる。これは、上方へ移動している高温度 / 揮発物質の強い圧力が下部マントル / 上部マントルの境界から最初に現れるとき、最初に起こるだろう。上部マントルにおけるパターンは、それゆえ垂直の構造の証拠を示す、そしてそれは伝統的に仮定されるほど可塑性でない媒体を示唆するだろう。この見方は地球を空の玉ねぎとして見る見方と同じく対照的である。もしそれが玉ねぎのようであったなら、揮発物質の上方へ移動が下部マントル / 上部マントルの境界や他の大きい帯の境界において水平に広がる傾向にあることを明らかにすることを期待するかもしれない。この種の動きの証拠がなく、そして垂直の構造物はしばしば明らかにされる。例えば、1994年にボリビアの下、13°S と 68°W の近所で起こった非常に大きい地震イベント (M 8.2)、が図 13 に示される。

これは1つのイベントではないが、最初の地震から水平に最高 100 km の距離の位置し、同じ深度の準同時に起きたイベントとともに発生した。三次元において、そのイベントは東西方向にプロットされ、そしてそれは南アメリカの下の深部地震帯の曲線状の配列と斜交する方向である。

### トンガ

トンガ地域における深部地震帯、浅発地震列、火山と海溝の整然とした配列は、サブダクション機構によると主張され、古くから例示に使われてきた。この地域のプランを図 14 に示す。

この複合体の第一印象は、もしこの配列がサブダクションの本当の目的だったら、期待されるかもしれない平行がないということである。深発と浅発の地震の配列の間に適度に良い平行があるものの、海溝はこれに適合していない。深発地震の配列においての例外は、2つの場所で、セクション全体の上に整然としたサブダクションのパターンが適合しない、南緯 18° を真ん中において西経 177 ~ 179° の間の 1973 ~ 1982 年間の深発地震のプロットしたものを示す。これは図 15 で示され、そこには2つ方向が明白である。

線 A は深発地震帯の一般的な配列で、図 14 で示される。その接合点でより興味深いことは、より活動的な線 B であり、その帯は深発地震の方向の延長を横切って続いている。線 B はついでに、線 A に向かって東から下降する超活動的なベニオフ帯の下をうまく通過する。線 B 帯の中で、準同時期発生地震群は数が少ないが、それらは 1973 ~ 2001 年の期間に多くは 1 日 ~ 数日の時間フレームを越えて起きた。

これらの地震群の2つの例は、図 16a と b に三次元の見方を与えてプロットされる。再び、強い印象はそのイベントが垂直構造の何らかの形、あるいは垂直の平らな境界面によって規制されるということである。第二に、つぎのような質問をすることは合理的であるように見える：この垂垂直の平らな構造は上部 / 下部マントの境界における仮定された相の変化の下の方まで拡張しているか？ もしそうであるなら、揮発物質は下部マントル水準から境界を越えることをいっそう実際的な提言にするためにこのような継続を利用することが可能だろうか？ 実際に、地震のトモグラフィーで、Choi (2003) は地球の上部の 1000 km は、特に大陸 (楕状地) と海洋領域とよばれるところの境界に近い地域では、一連の比較的同質でそして等方性の「殻」でない何かであることを示唆している。

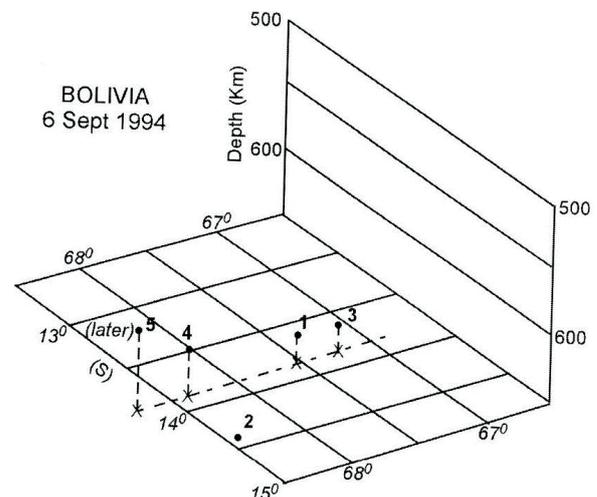


図 13 ボリビア. 1994年6月9日の深発地震配列, 図3に示されたおよそ標準的な深発地震配列.

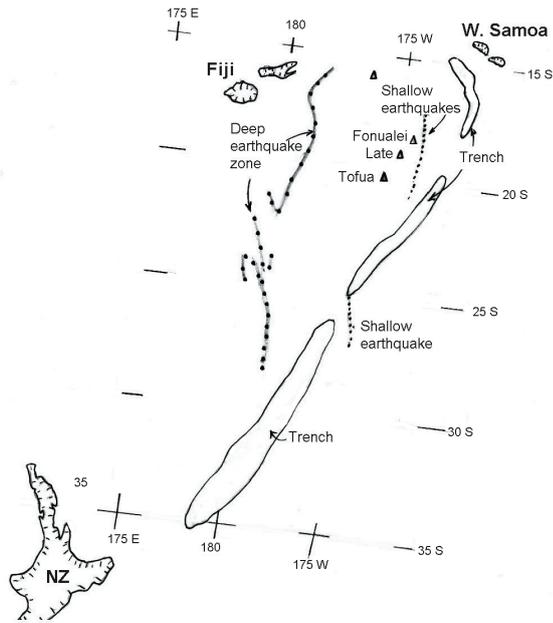


図 14 トンガ海溝と関連する地震ともなう活動.

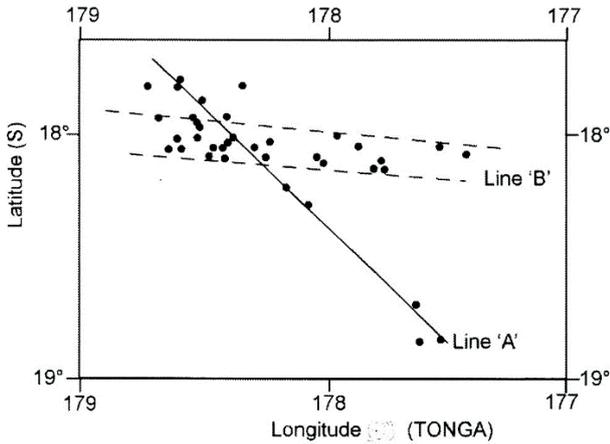


図 15 深発地震 (600km), トンガ, 外見上の構造を示す: (線 B) はサブダクション帯と主張されているもの (線 A) と一致しない.

ニューヘブリディーズ諸島

ニューヘブリディーズ諸島地域の、1973 ~ 2001 年間の深発地震の位置のプランが図 17 に示される。それらのイベントは、すべて 600km の深度かあるいはそれより大きく、これらのイベントは比較的砕けやすい物質中で接合したひずみを思わせる幾何学的パターンを引き起こす 2 つの傾向を示唆する。

一連のイベントはこれらとほぼ同じものがフランスの地球物理学者、Claude Blot によって 1955 ~ 1974 年間に記録され、Grover (1998) の図 68 [129 ページ] に見いだされる。ニューヘブリディーズ諸島は、Blot が深いレベルからの「地震のエネルギー」の上方移動の速さに基づいて、地震 / 火山の詳細な、そして驚くほど成功した長期予測への最初の小旅行を始めたところである。この特定の環境におけ

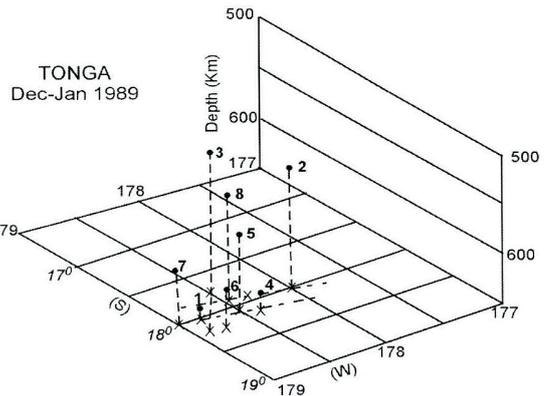
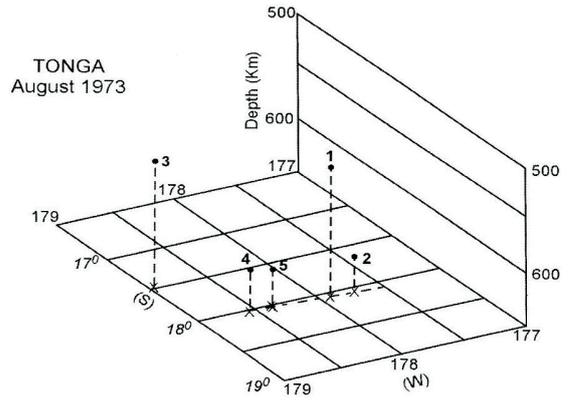


図 16a と b 図 15 の線 B と同列にそろえ垂直の構造の深部の準同時の地震群からの証拠.

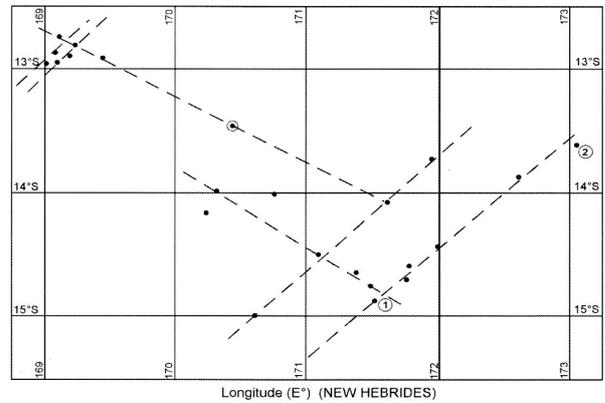


図 17 ニューヘブリディーズ諸島での 1973-2000 年の M>5 の深発地震.

る地震の連続が特に複雑でなかったことは幸運であったかもしれない: 一般におよそ 650 km の深さの深発イベントは少なく、そして深さ 300 km より上までは活動が事実上ない無地震帯である。

7 無地震帯

深発地震帯と下部ベニオフ帯の間の直接の連続性は、太平洋の周りで実質的な数が記録されていない。このギャップは、ここでは無地震帯と呼ばれるが、そしてこのギャップが起こる場所のリストを下を表 A にあげる。無地震のギャップはしばしば垂直に 200 ~ 300 km の範囲で拡張することが指摘されて

表 A 無地震帯

Location or Island Arc	Aseismic Levels (km)	Max. E'q Depth (km)	Remarks
Indonesia	300 – 500	650	Zone undulates along deep trace
S Philippines	390 – 520	610	Curvilinear trace
Marianas	250 – 400	610	“
Japan, Bonin	250 – 350	500 – 540	Zone varies in depth
Kamchatka	200 – 400	680	Deep earthquakes common from 500-600 km
New Hebrides	300 – 600	660	
Tonga	320 – 520	650	
S. America	200 – 550	600 – 680	Occasional event at 680 km

いる。しかし、たいいていの場合大きな地震活動をまったく欠いているけれど、いくつかの場所において時たまのイベントが見いだされることがあると述べられるべきである。さらに、この帯は小規模なイベントのために著者によって調査されていなかった。

このようなギャップの起源はあるなぞを提供している。そして今までに、その問題に対して非常に多くの興味があるように思われず、そして地震活動がこのようにまったく無い状態をもたらすかもしれないメカニズムに与えられたどんな密接な見方もなかった。驚くべき特性は、この帯を通して記録された揮発物質の上方へ移動速度が早いことである。もしダーシーの法則を用いてこの状況の見方を自由にとれば、600 ~ 300 km の深さの間に単純な水力の頭部を使って、我々はこの帯のために浸透性をもつかたまりの一種に到達できるかもしれない。これは  $3 \sim 5 \times 10^{-1}$  cm/sec のオーダーであることが分かり、しまりの悪いかあるいは粗い砂か細礫をとまなう浸透性のある種類に相当する。普通、無地震帯の深度で行なわれている圧力では、開いた、粒状の構造の存在などほとんど認めないということを考える傾向がある。第二に、透過性の媒体を通して上方に移動することは、どのように拡散し、移動し、揮発物質のブリームが — 深発地震帯の「構造」が去った後で — 深発帯から上方へ移動して、そしてそれほど効率的にベニオフ帯の基底に位置することができるかを説明することを難しくするだろう。

ひとつの代案は、深発地震帯と下部ベニオフ帯の間に起こる一連の直接の関係のようなもの、地質時代にわたって発展した残余の移動の「パイプ」のようなものを示唆することかもしれない。再び、この種類の説明を正当化することは慎重を要し、そしてどんな地球科学者でもそのような説明に彼の帽子を掛けることはありそうもないように思われる。しかし、もしこのような「パイプ」が存在することが可能であったなら、それは無地震帯がそうであるかあるいは伸張条件によって影響を受けているその歴史にあったことを示唆するだろう。これは再び「どのよ

うにして？」という問題を提起する。このような管は惑星における初期の冷却過程の間に形成されたのか？ もしそうであるなら、無地震帯はなぜどこにでも存在していないのか？ この帯を産み出したものは何もまだ発達を経験していないで、ある地域は遅れているなら？あるいは多分無地震帯がない地域は、制限された「パイプ」ともなって進歩した段階だろうか？ もしそうであるなら、揮発物質の上昇で何が起きているか？不幸にも、この段階について推測する以上のことはほとんど何もできない。

## 文 献

- Barton, N.R., 1976. The shear strength of rocks and rock joints. *Internat. Jnl. Rock Mech. & Min. Sci.*, v. 13, p. 255-279
- Benioff, H., 1949. Seismic origin for the fault origin of oceanic deeps. *GSA Bulletin*, v. 60, p. 1837-1856.
- Benioff, H., 1954. Orogenesis and deep crustal structures. *GSA Bulletin*, v. 65, p. 385-400.
- Blot C., Choi D. and Grover J., 2003. Energy transmission from deep to shallow earthquakes: a phenomenon applied to Japan. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 29, p. 3-16.
- Blot C. and Choi D.R., 2004. Recent devastating earthquakes in Japan and Indonesia viewed from the seismic energy transmigration concept. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 33, p. 3-12.
- Bogdanov, N.A., 1973. Paper in *The Western Pacific*, 12th Pacific Science Conf., Ed. P.J. Coleman. Univ. of W.A. Press.
- Bolt, B.A., 2003. *Earthquakes*. W. H. Freeman & Co, NY.
- Choi, D.R., 1987. Continental crust under the Pacific Ocean. *Jnl Pet. Geol.*, v. 7, no. 4, p. 437.
- Choi, D.R., 2003. Deep earthquakes and deep seated tectonic zones (E. Asia). *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 27, p. 8-25.
- Choi, D.R., 2003. Deep tectonic zones and structure of the Earth's interior as revealed by seismic tomography.

- New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 30, p. 7-14.
- Choi, D.R., 2005. Plate subduction is not the cause of the great Indonesian earthquake, Dec. 26, 2004. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 34, p. 21-26.
- Choi, D.R., 2006. Where is the subduction under the Indonesian arc? New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 39, p. 2-11.
- Enever, J.R. and Lee, M.F., 2000. On the prediction of rock stress. GeoEng 2000, IEA, Melbourne.
- Gold, T. and Sofer, S., 1980. The deep earth gas hypothesis. Scientific American, June, p. 154-161.
- Grover, J.C., 1998. Volcanic Eruptions and Great Earthquakes. Copyright Publ., Brisbane, Australia.
- Heiskanen, W.A. and Meinesz, V., 1958. The Earth and its Gravity Field. McGraw Hill.
- James, P.M., 1994. The Tectonics of Geoid Change. Polar Publ., Calgary.
- James, P.M., 2000. On the state of stress in the Earth's crust: inferences from RIS. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 17, p. 9-10.
- James, P.M., 2003. An analysis of earthquake patterns. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, # 26, p. 8-15
- James, P.M., 2005. Further inferences on structure in the mantle from deep earthquake patterns. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, # 37, p. 20-27.
- James, P.M., 2007. On the origin and implications of high horizontal stress variations in the Earth's crust. AAPG Conf., Athens (Nov.).
- Martin, B.D., 1964. Geology of the Monterey Canyon. PhD Thesis, Univ. of S. Calif., L.A.
- Martin, B.D., 1992. Constraints to right-lateral movements, San Andreas fault system, central and northern California. New Concepts in Global Tectonics (Ed. Chatterjee S. and Hotton), Texas Univ. Press.
- Meyerhoff, A.A. and Meyerhoff, A.H., 1972. Major inconsistencies in global tectonics. Bull. Amer. Soc. Petrol. Geol., v. 56, no. 2, p. 269-336.
- Smoot, N.C., Choi, D.R. and Bhat, M., 2001. Active Margin Geomorphology. Xlibris Corp., USA.
- Walker, D.A., 1988. Seismicity of the eastern Pacific. EOS Trans. AGU, v. 69, p. 857.

---

**前震および / あるいは火山噴火の移動 — ” Blot の移動法則 ” —**  
**MIGRATION OF FORESHOCKS AND/OR VOLCANIC ERUPTIONS**  
**THE “BLOT’S MIGRATION LAW”**

**Giovanni P. GREGORI**      giovanni.gregori@idasc.cnr.it

( 角田 史雄 [ 訳 ] )

---

**要旨** : かつて故 Claude Blot によって見いだされた観測事実によると, ある地震が後続の激しい地震あるいは火山噴火の前兆になるようだ. この結論は, その後の他の研究によって支持された. いっぽう, 他の研究者たちは, この事実が一般に認められたパラダイムに適合しないかに主張した. しかし, すべての歴史事例が同じである必要はない. さらに, すべての観察が一致するとは限らない. この論文は, Blot によって見いだされた2つの ” 法則 ” の物理学的説明について考察したものである. それらが現実的で, 簡明に説明されることが示される. したがって, 大自然災害のいくつかの歴史的事例を理解するために, それらが考慮されることになる. 最終的に究明されるさまざまなメカニズムを理解するために, また, ときどき Blot モデルに適合しない最終的観測を説明するためにも, ある程度の変化がある発生プロセスの説明が重要になる.

**キーワード** : migration – endogenous heat – foreshocks – island arcs – serpentization – superswells – overthrust – volcanic eruption

# 出版物 PUBLICATIONS

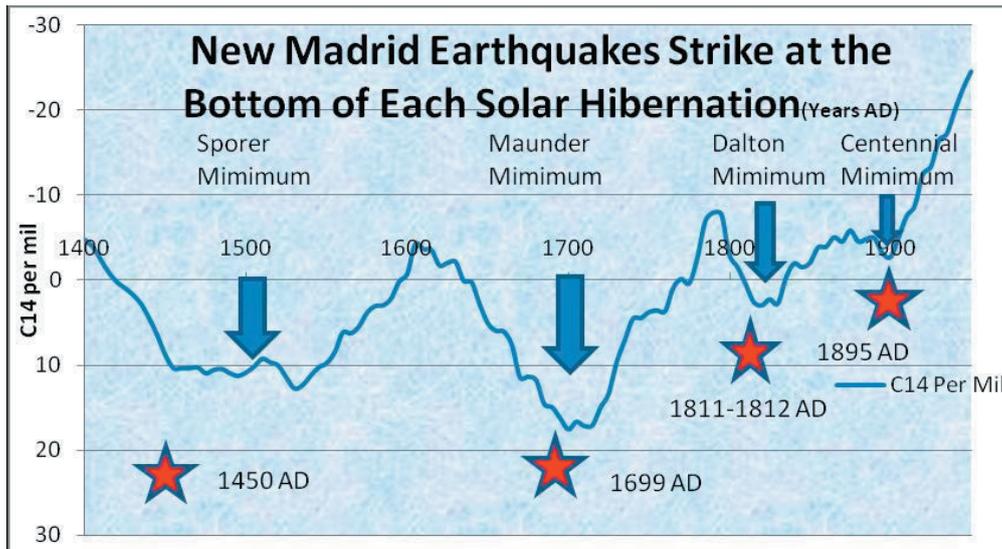
アメリカ合衆国中央部 New Madrid 地震帯：  
 1811 ~ 12 年の大きな地震群，それらの太陽活動との関係，および造構環境  
**New Madrid Seismic Zone, Central USA: The great 1811-12 earthquakes,  
 their relationship to solar cycles, and tectonic settings**

**Dong R. Choi and John L. Casey**

Global Climate Status Report, Edition 1-2015, June, p. 16-29. [www.spaceandscience.net](http://www.spaceandscience.net)

( 矢野 孝雄 [ 訳 ] )

要旨：1811～1812年に起きた一連の New Madrid 地震は，北米大陸では史上最大のマグニチュード (M8.0 以上と見積もられる) に達した地震である。これらの地震は，Dalton 太陽活動極小期 (1793-1830) の中頃に発生した。同じ地域における他の大きな歴史地震も，太陽活動の主要極小期あるいは”休眠期”に発生した。造構運動からみると，New Madrid 地震帯 (NMSZ) は，始生代に由来する南北アメリカ地背斜もしくは超背斜の軸に位置している。この背斜は，原生代～顕生代にくりかえし火成-造構活動の舞台となり，中生代以降にはカリブドーム (現在は，海洋化してカリブ海とメキシコ湾になっている) が外核からの熱エネルギーの上昇場になった。エネルギーは背斜軸 (あるいはサージチャネル) に沿って北方へ移送され，New Madrid 地域北部の低透過性の先カンブリア紀～古生代基盤隆起に蓄積された。今後の 30 年間に予期される継続的な主要太陽活動低下期あるいは”休眠期”は Dalton, もしくは Maunder 極小期 (1645～1715 年) にも匹敵するとみられ，1811～12 年の地震事件がふたたび発生する可能性が高まっている。警戒の強化，前兆の観測，および災害軽減計画が求められている。



New Madrid 地震は，各々の太陽休眠期の底で発生する。

AD 1400～1950 年の太陽活動極小期もしくは”休眠期”と比較した New Madrid 地震の歴史。太陽活動は C14 代理変化 [C14 proxy variation] として表示。主要な New Madrid 地震の発生年は赤色星印で表示されている。資料は Reimar et al., INTCAL04.

核爆発地震探査による北部ユーラシアの地殻 - 上部マントル構造  
**The Earth's crust and upper mantle structure of the Northern Eurasia from  
 the seismic profiling with nuclear explosions**

「ロシアの広域地質に関する小論文集」10号，モスクワ，GEOKART: GEOS, 2014, 191p.

著者：Nina I. Pavlenkova and Galina A. Pavlenkova [ninapav@mail.ru](mailto:ninapav@mail.ru)

( 角田 史雄 [ 訳 ] )

この論文は、ロシアの ROSNEDRA（国営地下資源管理局）と IPE RAS（ロシア科学アカデミー地球物理研究所）のロシア語による報告書・「核爆発を利用した地震解析によるユーラシア北部の地殻とマンツルの構造」を英訳したものである。20 世紀の間にロシアでは、平和核（PNEs）ならびに大規模な火薬を併用した超長距離人工地震探査が行われた。その探査では、1～2Hz という短周期の波を 3 次元的に記録できる地震計のある測定点を 10km 間隔で設けた。測線距離の総延長は 1500km から 3200km である。火薬爆破による探査範囲は 300～600km で、PNEs のそれは 3200km である。探査断面図は、東ユーラシア楕状地、Ural の時代の新しい Timan-Pechora プレートと西シベリアプレート、シベリア楕状地などの地質構造区ごとに作成した。それらは、時代、地史、地球物理学的な特徴はすべて異なっている。

地下 700km までの 2 次元の速度構造モデルは、通常行われる地震波速度解析と速度モデルによって作成した。一方、この解析を広範囲にわたって行うことによって、上部マンツルの 3 次元解析モデルをつくった。いくつかのモデルを解析した結果、厚いリソスフェアの地下 300km あたりでは、古くて低温の東ユーラシア楕状地とシベリア楕状地の速度は、新しい時代の Timan-Pechora プレートやシベリア台地などよりずっと早く、かつ、高温の熱流も伴っていた。上部マンツルでは、一般に、水平方向での不均質性が目立ち、ウラルとシベリアの楕状地のいくつかの地塊における P 波の平均速度は 8.0～8.1km/s から 8.3～8.4km/s（秒）であった。

すべての地震波形を解析した結果、（P 波速度の変わる境界）が地下 100km あたりの N1 と N2、地下

180～240km の L、地下 300～330km の H（図 1）などがきわめて鮮明に浮かび上がった。また、マンツル内における P 波速度遷移帯では、地下 420km、510km、660km の深さの変化が際立っていた。これらすべての遷移帯は単純な不連続面ではなく、それぞれが不均質な層構造を示していて、多重の反射面で構成されていた。このため、リソスフェアとアセノスフェアの境界は漸移的で、はっきりした線引きは困難である。その原因は、地下 250～300km 付近に在る“熱い”アセノスフェアで、いわゆる低速度層が追跡できなくなるからである。しかし、レオロジー（流動学）的に見た場合この現象は、3つの

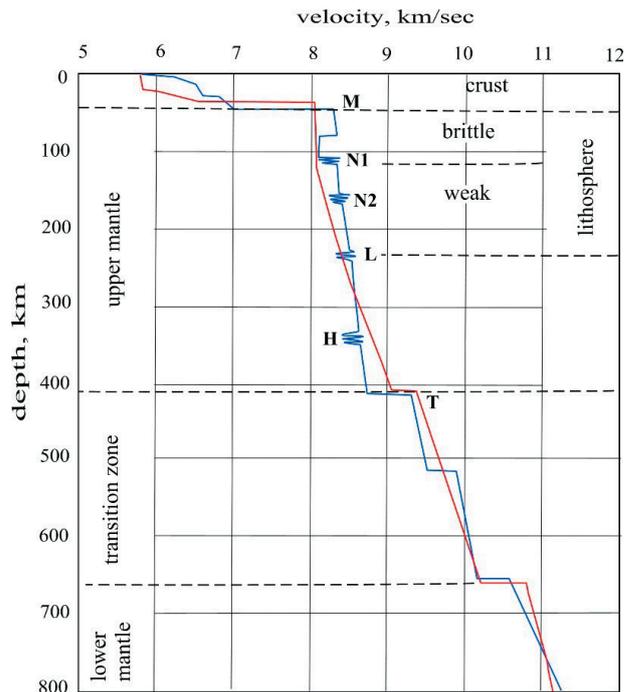


図 1 IASPS-91 モデル（赤線）と比較対照したユーラシア剛塊の上部マンツル遷移帯の一般的 1 次元速度モデル（青線）

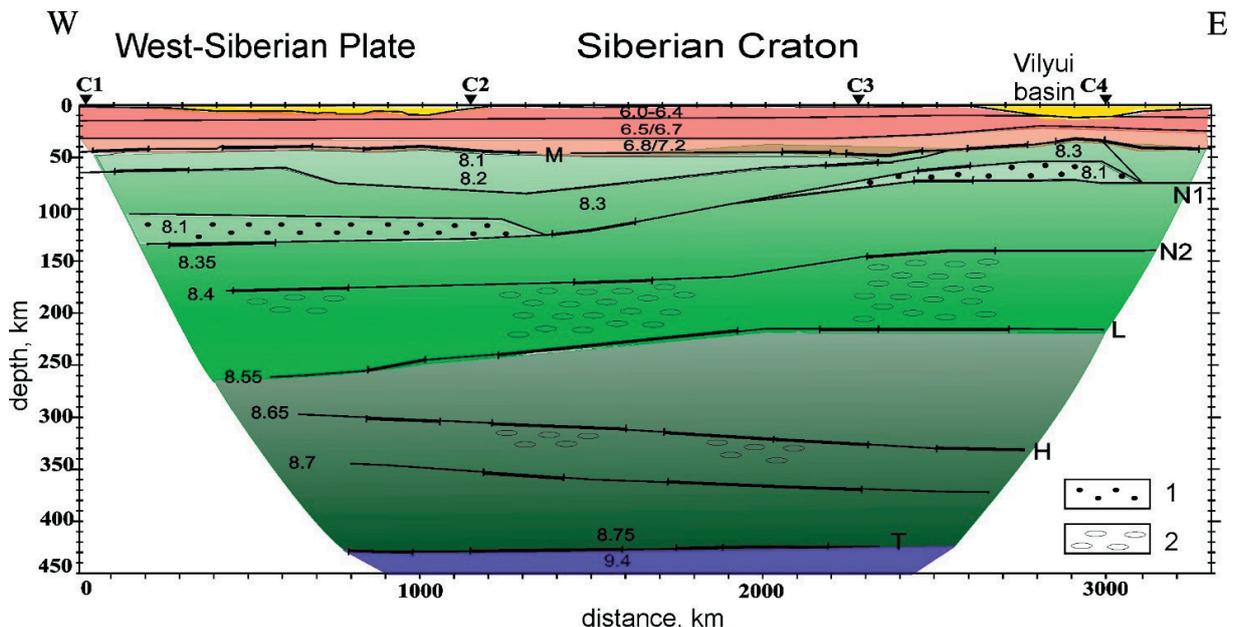


図 2 シベリア剛塊における東西に横断する速度断面。C1-C4 は核爆発地点。屈折並波の反射境界面は太い実線で示した。1：低速度層，2：高不均質帯。

異なった塑性の成層した構造と解釈できる。これらの層構造は、地震波速度の上では、N1 と L で分けられる。つまり、N1 境界の直下でリソスフェアから低速度層になる。こうした構造特性から、リソスフェアの脆性的な部分の底は深さ 100 ~ 120km と想定される。L 境界では Q の値が減少することもある。ここが全体的にみた場合のリソスフェアの下底境界であろう。

PNE の測線に沿って描かれた速度 - 密度モデルによって、ユーラシア北部の上部マントルの塑性が明らかになった。つまり、東ユーラシア楕状地と時代も熱流量もほぼ同じシベリア楕状地の上部マントルは、高速 P 波速度と低密度で特徴づけられる(図 2)。以上のことから、負の重力異常を示すシベリア楕状地の下の上部マントルにおける資源はあまり期待できそうにない。

## 興味深いいくつかの YouTube

## Some YouTubes for your interest

( 矢野 孝雄 [ 訳 ] )

1. 全地球気候 Global climate — John Casey : 到来しつつある寒冷危機 Coming cold crisis <https://www.youtube.com/watch?v=XQanWtkSDHE>
2. 2014 年 11 月 20 日 自然哲学連合会議 Natural Philosophy Alliance Conference, Giovanni Gregori and Bruce Leybourne <https://www.youtube.com/watch?v=WJjVgfUk91I>
3. 生命重力論 Bio-gravitics ハッチンソン効果と音響空中浮遊 Hutchinson effect and acoustic levitation <https://www.youtube.com/watch?v=0qpPi8wNed8>
4. Nassim Hamein の 自然哲学 Nassim Hamein's Natural Philosophy <https://malagabay.wordpress.com/2015/06/18/as-above-so-below-nassim-hamein/>

# 追悼 OBITUARY

( 矢野 孝雄 [ 訳 ] )

## James Nelson Murdock (1930-2015)



James Nelson Murdock は、長い闘病の末、2015 年 1 月 10 日に逝去した。Jim は、ノースカロライナ州の Statesville に生まれた。高校卒業後、Jim は合衆国軍に入隊した。氏は除隊後に Chapel Hill の

ノースカロライナ (NC) 大学に入学した。氏は地球物理学を専攻し、1959 年に地質学学士を取得して卒業した。大学院で地球物理学の研究をつづけ、合衆国空軍関連の地震研究民間企業に職を得た。4

年後には、ニューメキシコ州 Albuquerque 合衆国地質調査所の地震研究者になり、その後は退職まで Albuquerque 地震研究所に勤務した。合衆国地質調査所時代のもっとも大きな成功の1つは、人による解析に匹敵する自動信号受信装置を開発したことである。それは、今日でも活用されている。氏は、1996年に退職した。

Jimはすぐれた Tarheel (North Carolina州あるいは州民?) 愛好者で、いくつもの所属学会と同様に、UNC地質部にも大きな貢献した。

退職後に、Jimはアリューシャン列島の沈み込み帯を研究し、この課題に関する一般的な考え方に関して多くの批判的論文を著した。氏の論文のいくつかは、New Concepts in Global Tectonics journalに掲載された。

Jimは、沈み込み帯の研究に没頭するっぽう、いろいろな趣味と興味を楽しんだ。氏はとくにバラの栽培を誇りにしていて、ニューメキシコ州博覧会で受賞した。また、庭園の池でガチョウの飼育を楽しんでいて、近所の話題にもなった。舞踏会ダンス(退職記念でも開催)、競馬鑑賞、カヤック、他にもたくさん興味をもっていた。

Jimは友人に惜しまれて亡くなった

Dale Glover, Banner Elk, NC, and Charles Hutt

huttal bq@aol.com, Albuquerque, NM, USA  
NCGT Newsletter で刊行された論文リスト .

- 1997. Importance of critically testing the megathrust, Aleutians. No. 4, p. 7-10.
- 1998. Production of great arcuate troughs and their subsequent deformation: a case study, the Aleutian Island Arc, Part 1. No. 9, p. 23-28.
- 1999. Deformation of the giant trough of the forearc: the Kodiak Islands region of the eastern Aleutians, Alaska, Part II., No. 10, p. 6-14.
- 1999. Oceanward propagation of the blind decollement beneath the Kodiak shelf, offshore of Kodiak Island, Alaska, Part III. No. 11, p. 9-19.
- 1999. Unrecognized failure of a critical test of strict plate tectonics, the trench region offshore of Guatemala, and a comparison with the Aleutians: Part IV. No. 12, p. 2-9.
- 2002. Overview of two websites that present interpretations different from strict plate tectonics. No. 24, p. 20-21.
- 2003. Overview of differences of interpretations of thrust faulting at the Guatemala convergent margin. No. 28, p. 6-7.

編集者注 : James Murdock は NCGT へ U\$3,136 を遺贈した。それによって、私たちの資金繰りが大きく改

---

## 訂正 CORRIGENDUM

---

NCGT Journal 最新号 v. 3, n. 1, p. 34-42 の角田ほかの論文

謝辞 (p. 42) 2行目の「これらのデータ」は「図2, 3, 4, 5および6」を意味する。

## 財政的支援について **FINANCIAL SUPPORT**

NCGT Newsletter は、すべての個人と組織が自由に入手できる公開オンライン雑誌である。これは、この雑誌の増えつづける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ざるをえないことを意味している。私たちは読者の寛大な財政支援を歓迎する。

ご希望に応じてごく少数の印刷版が作成されている。オーストラリアでは印刷費が高額であるため、個人用の印刷には電子版をダウンロードされることをお勧めする。2014 年の印刷版購読費は、オーストラリアの購読者で A\$180, 他国の購読者で US\$200 (含: 航空便郵送費) である。

自由構成の広告: 裏表紙全面広告で US\$400/号, US\$1500/年 (4号分)。他の場所では, US\$300/号, US\$1100/年 (4号分)。半ページ広告は, 全ページ費用の 80%。詳細は editor@ncgt.org. へ。

注: 私たちは、次の方々からありがたいご芳志をいただいた。星野通平教授 [日本]: A\$ 2, 107 (2014年10月), Cliff Ollier [オーストラリア]: \$ 525。私たちは両氏に心より感謝申し上げます。また、自由意思講読料をお支払い下さった方々にも御礼申し上げます。追悼にも記述した故 James Murdock 氏の遺贈とともに、私たちは私たちの使命を遂行するために大きな激励をいただいた

### ■ 送金方法

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

<http://paypal.com/cgi-bin/>

口座名: New Concepts in Global Tectonics

E-mail: ncgt@ozemail.com.au

(editor@ncgt.org ではない)

### ■ 銀行振替あるいは小切手でお支払いの場合は

宛 名: New Concepts in Global Tectonics

郵送先: 6 Mann Place, Higinns, ACT2615, Australia

### ■ 現金で銀行送金する際の銀行口座の詳細

銀行名: Commonwealth Bank (Swift Code:

CTBAAU25), Belconnen Mall ACT Branch (BSB 06 2913)

口座番号: 06 2913 10524718

口座名義: New Concepts in Global Tectonics

## 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や研究成果に関する討論のためのフォーラム。それは、地球の自転や惑星・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・生物学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。