

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

日本語版 Vol. 6, No. 1(2018 年 7 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 (www.ncgtnounal.com), 編集委員: Ismail BHAT, India (bhatmi@hotmail.com); John L. CASEY, USA (jcasey@ievpc.org); Giovanni P. GREGORI, Italy (giovanni.gregori@idasc.cnr.it); Louis HISSINK, Australia (louis.hissink@bigpond.com); Yoshihiro KUBOTA, Japan (kubota@env.sc.niigata-u. ac.jp); Leo MASLOV, USA (lev.maslov@cccs.edu); Per MICHAELSEN, Vietnam (per.michaelsen@tdt.edu.vn); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@mail.ru); David PRATT, Netherlands (dp@davidpratt.info); Karsten STORETVEDT, Norway (karsten.storetvedt@uib.no

もくじ

| ■ 編集者から | | |
|---|---|----|
| Plate tectonics, RID プレートテクトニクスよ 安らかにねむれ | [小松宏昭 訳] | 2 |
| ■ 編集者への手紙 | | |
| A conference proposal Peter <i>M. James</i> 会議の提案 | [柴 正博 訳] | 3 |
| ■ 原著論文 | | |
| Deep-seated processes and diamond-bearing rocks YVadim Gordienko 深部過程とダイアモンド含有岩石 The January 2018 M7.5 offshore North Honduras earthquake: its possible energy link to the New Madrid Seismic Zone, N Dong R. Choi, John L. Casey, Bruce Leybourne, and Giovanni P. Gregori | 陽・村山敬真 訳] ······· Mississippi Valley | 4 |
| 2018 年 1 月に発生した M7.5 のホンジュラス北部沖地震:そのエネルギーはミシシッピー河谷のニュ 地震帯と繋がっている Is the placement of Pacific basin oceanic plateaus and rises dependent upon megatrend intersections?. <i>N. Christian</i> | ーマドリード [小泉 潔 訳] 1 Smoot | 18 |
| 太平洋海盆の海台と海膨の配置はメガトレンドの交点に依存している? [杉山 明・ The baffling rise and fall of the Caspian and Aral seas: Products of Farth's internal hydrostatic pulsation <i>Karsten</i> | ・久保田喜裕 訳] M Storetvedt | 30 |
| カスピ海とアラル海の不自然な上昇と下降:地球内部静水圧脈動の帰結 | [矢野孝雄 訳] | 55 |
| ■ 地球気候コーナー | | |
| Sea Level Rise at Wake Island, Marshall Islands, and Midway Atoll, Hawaiian Islands, Albert Parker and Clifford | Ollier | |
| 海水準の上昇, ウェーク島, マーシャル群島, ミッドウェー環礁, ハワイ諸島 〈要旨〉 Central Australia 20th century temperature trends. <i>Albert Parker and Clifford Ollier</i> | [岩本広志 訳] | 64 |
| 20 世紀の中央オーストラリア気温トレンド (要旨) Twelves level rise level charge mission and even and ev | [岩本広志 訳] | 65 |
| 10 wind sea level rise, land change, mismanagement and overpopulation, Albert Parker ツバルの海水準上昇, 土地改変, 管理不良と人口過多 <要旨> | [岩本広志 訳] | 65 |
| ■ 出版物 | | |
| ていていていたいでは、Frace (extremes at 50, $herm Jumes$) 石にはっきりとは記されてはいない. 50歳のプレートテクトニクス | [久保田喜裕訳] | 65 |
| ■ ニュースレターについて | | 70 |

連絡・通信・原稿掲載には、次の方法の中からお選び下さい: NEW CONCEPTS IN GLOBAL TCTONICS 1) Eメール: research@ncgtjournal.org; admin@ ncgtjournal.com, 2) 郵便・速達航空便など: 6 Man Place, Higgins, ACT 2615, Australia (ファイルは MS Word フォーマット, 図面は jpg, bmp, または tif フォーマット), 3) 電話: +61-2-6254 4409. 免責 [DISCLAIMER] このジャーナルに掲載された意見, 観察およびアイデアは投稿者に責任 があり, 編集者と編集委員会に責任はありません. NCGT Journal は季刊国際オンライン査読雑誌で, 3月, 6月, 9月, 12月に発行されます. Mac 機利用 者は, pdf フォーマットの本誌を Acrobat または Acrobat Reader で表示してください. ISSN 番号: ISSN 2202-0039.

 New Concepts in Global Tectonics ジャーナル
 日本語版発行チーム

 連絡先 〒 399-8301 安曇野市穂高有明 126-9 矢野孝雄 Phone 0263-87-2538 EM yano.azumino@g-mail.com

 [翻 訳 メンバー] 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・柴 正博・杉山 明・角田史雄・宮城晴耕・村山敬真・矢野孝雄

 [事務局メンバー] 赤松 陽・足立久男(発送)・金井克明(会計)・川辺孝幸(HP)・佐瀬和義・宮城晴耕・矢野孝雄(代表)

編集者から

FROM THE EDITOR

(小松 宏昭 [訳])

プレートテクトニクスよ 安らかにねむれ

Plate tectonics, RIP

何人かの読者は、2018年2月発行のAAPG Explorer 誌に掲載された Keith James 論文「確立されたとは 言い難いプレートテクトニクスの50年」を知っている ことであろう。その歴史的な重要性に鑑み、AAPG Explorer の許可を得て、この記事をNCGT本号の p.65~70 に転載した。

この論文は画期的なものである。というのは、プレートテクトニクスは産業界の地質学者らにこれまでも長い 間見放されてきた.ところが、(学会で)支配的であったプレートテクトニクスの基本的見解に公然と挑戦した AAPG の刊行物としては、1974 年の Meyerhoff and Meyerhoff 論文以降はなく、この論文は、その後では 最初のものであるからである。世界中の地質研究者の 間で、この論文は多年にわたって反響を呼び起こすで あろう。

James の論文は、効果的かつ包括的にプレートテクトニ クスの基本的教義の正体を暴露し、(分裂した)大陸 の復元、海底の地磁気縞模様、海底下の大陸、パン ゲア大陸と地球の大きさの復元、大陸地殻の起源、さ らに山脈の形成について論じている。氏の次の結論は 貴重で、ここに紹介する.

多くの事実は、明らかに(プレートテクトニクスに)適 合しないが、議論するのは良いことである。しかし、大 陸の広大な地域が沈んでいるということを見過ごしては ならない。未発見のそのような事例も多数あるだろう. ある研究者は、いずれそれらを論述するようになるだろう。そして、発表されたプレートテクトニクスの教義は独 りよがりになるだろう。新たに得られたデータが用いられ て、複数の作業仮説が生まれ、学生たちは考え,選 択することができるようになるだろう.もしそうならなけれ ば、石に遺された記録は最終的に葬り去られるだろう。 (太字は編集者による)

上で強調されたように、大洋底の地質の正しい理解は、 疑いなく「膨大な石油資源」をもたらすことは確実であ ろう。これはまさに、Explorer 誌の編集部が、アメリカ 合衆国政府によって提唱された 2019 ~ 2024 年の大 陸棚以深における石油・天然ガス開発計画を実施す るのと同じ課題を取り上げた結果である.世界は確実 にそれに従うだろう。

Keith James の論文は、過去21年間のNCGT 誌に掲載された論文の確実で膨大なデータによって裏支えされている。何ものにもとらわれず、モデルに依存せず、事実にもとづく研究を進めてきた私たちの努力は、疑いのない着実な成果を生み出した。

われわれの正しい研究は、おびただしい数の新しい発展を地質科学にもたらした。そのうちの一つが、地球 力学過程に関わる優れた理解である。例えば、地球 力学モデルにもとづいたプレートの沈み込みと海嶺の 押しは、今では、外核に駆動された内部電磁エネルギ ーモデルにとってかわられた。それは、電気宇宙モデ ルにも調和している。

2017 年7月のカムチャツカ地震と2015 年9月のチリ のM8.3 地震(http://www.ievpc.org/id74.html)の予知 に成功した2つの事例は、地球内部エネルギーモデル の有効性を実証したである。国際地震火山予知センタ ー(IEVPC, www.ievpc.org)の地震予知成功率に示さ れている多くの予知の成功は、正しい地球力学モデル に依拠しているところが大きい。

そのほかの労作や話題になる論文とともに、本号の p.18~29には、アメリカ合衆国中部で3~5年間後 に大規模地震が発生することを予測した論文が掲載さ れている。その予測は、プレートテクトニクスに頼った 解釈ではなく、カリブ海とミシシッピー河谷の地質、トモ グラフィーに示された深部構造、太陽の活動周期、そ してこの地域における地震履歴といった複数の要素の 分析にもとづいて可能になった。この論文は、プレート テクトニクスが『過去50年間、世界の地質学界をいか に誤った方向に導いてきたか』を示す多くの事例のの うちでも、典型的一例である。

今日、われわれの周りで明らかになってきていること(地 球科学的事実)は、われわれが正しい道を歩んできた こと、そして、地質科学に新しい時代を拓くことに貢献 してきたことを物語っている。

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

会議の提案 A Conference Proposal

Peter James petermjames35@gmail.com

(柴 正博[訳])

親愛なる編集者へ

最近のNCGTジャーナルに感謝します. 私の唯一の 問題は,ほとんどの記事を私がほとんど理解できない ことです. まあ,それは少し誇張ですが:私は彼らが 提出したもののほとんどを理解することはできません. Newsletter/Journalの初期には,論文は観察または分 析に基づいていました. 今ではほとんどがファンタジー に侵されています.

例えば、地震予知をする. Claude Blot の仕事との共同で健全な基礎を進めていましたが、現在の投稿のほとんどは野生的な推測作業に夢中になり、幸運を祈ることを望んでいます.

自然物質の大部分の不具合が破壊するという傾向について早期に警告するのは、十分に確立された事実です.しかし、この事実を利用するためには、地殻・リソスフェアの弱い不連続性に起因する浅い地震、典型的にはせん断破壊に伴う破壊の性質を理解する必要があります.いくつかの研究室プログラムまたは人工的に誘発された地震(例えば、ストレス環境下の地下水圧に及ぼす貯水池の影響)を扱うプログラムは、これをリードする可能性があります.それは動物ではありません.動物は、地震の前にうまく振る舞いますが、私たちには何も教えてくれません.

- ・いつイベントが発生する可能性があるか
- ・どこでそれが起こるか
- ・その深度は
- ・マングニチュードはどれくらい
- そして、犬や蛇がみんなが眠っているときに、すべての反応をするかもしれない

古い音楽ホールの俳優は、演劇の一環として、災害で あることが運命づけられていると伝えるために動物を舞 台に連れて来ることあります.

最近の投稿に残されているように思われるのは、NCGT の出版物の背後にある最初の目的の一つであったプレ ートテクトニクスモデルの批判です.

救済として? 私たちは, ACT や他の首都で, 移動プ レートテクトニクス (mpt) モデルのプロセスの反論のみ を扱う(小)会議を開催するのはどうでしょうか. (これ は会議室が最後に変更されたり, アテネのようにパワー ポイントのイラストが干渉されるのを防ぐべきです.)会 議では,われわれはあなたがたが沈み込みなどをして いないとか,主流の地球科学で受け入れられていない 論文などをすべての証拠を含むでしょう.

いくつかの外部テーマとして、エルニーニョ現象や浅い 地震の加熱効果(Bhatによって記述されている)のよ うなものが適切でしよう.(ちなみに、2010年1月/2 月の熱波/森林火災は、パースの北東に数百キロメー トル離れたビーコンを中心とする、小さくて浅い70の地 震の直後にやって来ました. SA & Victoria などの最 近の熱波の直前に地震群があったのかどうか疑問に思 っていました.)

上記の会議のポイントに戻って、私はmpt モデルの不可能性などについて3回(1時間)の講演を書いたばかりで、今ではいくつかの大学や地質学会で講演し、彼らに耳を傾けてもらおうとしています.彼らは1980年代にそうしましたが、水平移動論者は何十年もの間、さらに悪意あるように見えます.

とにかく、特別な会議のアイデアはどう思いますか? 私は今、その発展にいくらかの努力を払うことができる 立場にあります(そして、あなたにそのすべてを残して はいけません!!!).

原著論文 ARTICLES

深部過程とダイアモンド含有岩石 Deep-seated processes and diamond-bearing rocks

Vadim Gordienko

National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine tectonos@igph.kiev.ua or gordienkovadim39@gmail.com

(宮城晴耕・角田史雄・小坂共栄・赤松 陽・村山敬真 [訳])

要旨:ダイヤモンドとダイヤモンド含有岩石の形成と発達過程については、移流-多形仮説(APH)によって解析されてきた. キンバーライト火成活動(リフトや地向斜における初期火成活動の一部としての)やマグマによるキンバーライト移送について も議論が重ねられてきた.ダイヤモンドは150-200 km の深さで形成されたのち深部からマントルの中間位置まで運ばれたとす る見解がもっともありそうだとされている.しかし、ダイヤモンドの形成は、従来想定されてきたものよりずっと低い圧力のもとで 発生したとする考えも排除すべきでないと考えられる.ダイヤモンドやコーサイト(高圧石英)を包含する地殻のUHP(超高圧) ブロックの形成機構について述べた.

キーワード:ダイヤモンド,キンバーライト,リフトや地向斜における初期火成活動, UHP ブロック

(2018年3月1日受付. 2018年3月10日受理)

はじめに

この論文は以前に著者が発表した深部過程に注目す る移流-多形仮説(APH)を扱った論文(Gordiengo, 2015a)において触れておいたある観点についてさ らに詳しく述べるものである.

最近数十年において,ある一定量の濃度のダイヤモ ンドを含む火成岩類の数は増加している (Lapin et al., 2007; Marakushev et al., 2005; Mitchell et al., 1991; Shirey et al., 2013a and b; その 他). それらの大部分は非常に深いマグマ源をとも なっている: たとえばキンバーライト, キンバー ライト様岩石類, ランプロファイア, ミネット(カ リ長石黒雲母ランプロファイア,等々. それらが形 成された地域における地質学的産状の解析から、そ れらが初生火成活動にともなってできたものである という結論に達することは明らかである. リフトの 場合,この相間関係は全く明らかである.しかし地 向斜の場合になると、初生複合岩体の研究は、厚い 堆積物によって複雑なものとなっている. 今までの ところ、そのような岩石は、普遍的ではないが、す べての大陸リフト系や地向斜帯において得られてい る(Continental…, 1995; Kaminsky et al., 1995; Magmatic…, 1987, Shirey et al., 2013b; その他).

キンバーライト火成活動は、単発的な活動にともな うものなのかどうかについては疑問が生じている. 典型的な後地向斜活動の場合は(地向斜サイクルが おわってから数百万年後)、浅いアセノスフェアか らの残存メルトが含まれる火成活動では、ダイヤモ

ンドを含むキンバーライトは生成されていない.し かし、台地での火成活動の場合は、これが当てはま りそうである.ペルム紀の2憶6000万±2000万年 前頃の火成活動は、ウクライナ楯状地の傾斜地にあ るドニエプル - ドネツ盆地の南西部を区切る断層 から 80km 離れた地点で探査された (Shcherbakov, 2005). 何人かの地質学者はそれを流星痕(隕石の 衝突によって地球の地殻についた傷跡)とみてい る. それらの組成から, その2次的位置が85±10 kmの深さとほぼ等しいことを決定することが可能 である.ダイヤモンドやスティショバイトその他の 外来結晶の存在は最初の形成深度が 200km に及ぶこ とを示している. その活動はヘルシニア期におけ るリフトのマントルの熱と物質移送から1億年隔 たっている. それゆえ, 上部マントル底部において 約 60km の厚さの部分溶融層を形成する時間的な余 裕があったと思われる (Gordienko et al., 2006). Azov Massif (アゾフ地塊) のいくつかのキンバー ライトは、ドネツ盆地や隣接する地域における後 ヘルシニア期の活動にともなっている可能性があ る. アゾフ地域のキンバーライトの多くは、ドネツ 準地向斜における初期火成活動と関連している. そ れらの岩石の仲間からはダイヤモンドはみつかって いない. 先カンブリア時代における初生火成活動の おこる環境と、顕生代におけるそれは本質的に異 なっていたことを指摘する必要がある. さらに特別 なこととして、その当時の時代には大きな深部での ダイヤモンドの形成を不可能にするような、比較的 浅いアセノスフェアが存在していた可能性が考えら れる (Gordienko, 2015c). そのような顕生代に似 た状況になったのは唯一リフェアン紀の時期であっ

た. 大多数の含有ダイヤモンド岩石が形成されたの は後期リフェアンーヴェンディアン紀から始まって いる (Shirey et al., 2013; その他). APH 仮説の 用語において、少量の古いダイヤモンドは二つのカ テゴリーに分けられる.最も古いダイヤモンドは, permobile period (Gordienko, 2015c), すなわち 地殻-マントル交換の交換力がもっとも高く塩基性 の物質の多くがマントルに沈んだ時期である、大き な移動性が保たれた期間と関連したものである. エ クロジャイトに共生するダイヤモンドはその時期の 期間は優勢であったはずである. その後、周期的な ダイヤモンド共生も同様に形成された一時的に不活 発な地域があらわれた.マントル内での熱発生の可 能な変異を考慮すると、上記で述べたような期間と しては 30 億±5 億年前頃と推定される. 最近の鉱 物学的証拠からは、それが32億年前であったとさ れている.

含ダイヤモンド岩石の形成は APH 仮説(Gordienko, 2015a)と十分一致している.しかしながら,この 仮説は,初成火成活動において生成した他の岩石の 違いを説明していない.マグマは地表へ急速に上昇 する。これはダイヤモンドが変化しない理由を説明 している.

ダイヤモンドは生成過程の中において受動的に含ま れており、ダイヤモンドを移送したマグマによって 生じた岩石とはしばしば年代値がはっきり異なって いる.場合によっては、極端に年代が古く、おそ らく特定の状態(以下で見るような)において形 成されたと思われるダイヤモンドも見うけられる. マントル物質はあまりに少ない炭素量、10⁻⁶以下 しか含まない(Altukhova, 2012; Shirey et al., 2013a).地殻の炭素含量は次元が違うほど多く含ま れている.これは、おそらくダイヤモンドの塊が地 殻のエクロジャイト中で最初に生成されやがて岩石 もろともマントルへ沈んだとする理由を説明するも のである.エクロジャイトゼノリスに含まれる炭素 量は10-15%に達しているかもしれない (Shirey et al., 2013a).

ひと目見れば、マグマの急速な上昇と表面への到達 現象を説明することは容易である:キンバーライト は多量の水や二酸化炭素を含んでいる(表1).し かし、それらの成分がダイヤモンド含有岩石に含ま れることと、同時代でしかもマグマだまりも同じよ うな深さをもつ他の初成物質にはそれが含まれない ことは疑問の余地がある.

最近の多くの公表出版物がこれらの問題を扱っている (Kamenetsky, 2011; Kopylova et al., 2007; Marakushev et al., 2005; Russel et al.; その他).

筆者によって進められている深部過程の仮説は、問 題となっている流体の性質についての推定を可能に するのはもちろん、他の関係する問題についても推 定可能である.この論文はそのような問題に適確に 対処している.

深部過程

リフティングがはっきりしている地域で十分に研究 された例の一つの場所における初生火成活動の出来 事を検証することは大変都合がよいことである.東 ヨーロッパ台地(EEP)の上では、リフティングの 痕跡がリフェアンや紀デボン紀堆積物のなかに散在 している(Gordienko, 2016b).その全体の地域に わたって、弓状の割れ目や大部分が初生火成活動に よる火成岩類をともなったドーム状膨張の上昇が存 在した.火成活動の証拠は上昇地域から遠く離れた

表 1. Jericho(カナダ, 1-4) (Kopylova et al., 2007) の初成溶液組成と公表データをもとにえられた他のキンバーライト溶液の組成との比較.

| Oxides | wt, % | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Si0 ₂ | 29.5 | 26.6 | 26.4 | 28.5 | 26.2 | 26.5 | 25 | 27 | 28.1 |
| TiO ₂ | 1.3 | 1.4 | 1.6 | 1.6 | 2.6 | 2.2 | 3.2 | 0.5 | 0.7 |
| Al ₂ O ₃ | 1.8 | 1.7 | 2.3 | 1.6 | 2.8 | 2.2 | 2.3 | 1.3 | 1.6 |
| Cr ₂ 0 ₃ | 0.4 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | | 0.2 | 0.1 | 0.2 |
| FeO(T) | 7.4 | 6.8 | 6.7 | 7.4 | 9.6 | 8.8 | 9.2 | 5.4 | 6.6 |
| MnO | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | | | 0.1 | 0.2 |
| MgO | 28.4 | 26.1 | 25.8 | 28.7 | 25.2 | 26.5 | 26.1 | 22.4 | 23.1 |
| Ca0 | 11.3 | 15.1 | 14.9 | 12.2 | 13.3 | 12 | 15 | 19.4 | 16.7 |
| Na ₂ 0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | | 0.1 | 0.2 | 0.2 |
| K ₂ 0 | 1.5 | 1.4 | 1.8 | 1.2 | 0.8 | 1.5 | 1.9 | 0.4 | 0.5 |
| P ₂ O ₅ | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 0.4 | 2 | | 0.3 | 0.6 | 0.8 |
| CO ₂ | 8.3 | 11.3 | 11.2 | 9.3 | 8.2 | 7 | 8.6 | 14 | 12.1 |
| H ₂ 0 | 9.4 | 8.1 | 7.6 | 8.5 | 7.3 | 12.3 | 4.9 | 7.1 | 6.7 |



図 1 ウクライナにお けるキンバーライトや ランプロアイト火成活 動 の 特 徴 (Geiko rt al., 2006; Geology…, 2001; Kvasnytsya, 2016; Sherbakov, 2005; ほか). 1 - 沖積層の中にダイヤモ ンドがみつかっている場所 (0.1-3.4mm), 2 - キンバー ライトのパイプ, 岩脈, お よびキンバーライトの破 片, 3 - ランプロアイトの パイプや岩脈.

地域でも認められる. そのようなわけで, 東ヨー ロッパ台地, とりわけ著者がよく知っているウクラ イナ地域ではとくにそのような痕跡が豊富にみつか る(図1).

よく知られているように、ドニエプルードネツ盆地 では、7億年前を少し上回る年代のリフェアン紀の 岩石が、また約4億年前のヘルシニア期の岩石など が初生火成活動の過程で形成されている(Gordienko et al., 2006).

ダイヤモンドが見つかる同じような地域には、初生 的にはザクロ石であった副成分鉱物も広く見つかっ ている. ウクライナの堆積岩で発見されたダイヤモ ンド集合塊は、リフェアン紀やデボン紀の堆積物 で典型的な二つのピークを描いて見つかっている (Kalashnik, 2010; Shumlyansky et al., 1992). 南東ベラルシュ (Belarus) においてキンバーライ ト岩片を運んできたデボン紀の玄武岩質火山やダイ アトリーム もヘルシニアン期にさかのぼる. それ らの地域では24のダイアトリームが散在する. そ れらは超塩基性岩(ランプロアイト?)からなる: キンバーライトパイプのうちの五つからは0.1-0.3 mmの粒径をもつダイヤモンドが含まれている.結 局、二つの連続したリフティングサイクルに関係し た岩石の影響によるものである証拠がはっきりした ことになる. ウクライナ南東部の境界地域(図1) における沖積ダイヤモンドの発見は、それらが同時 代のカルパチア地域の上でおこなわれたリフェアン - ヴェンディアン紀の過程にともなっていたもので あることを示している (Gordienko, 2016a). リフェアン紀のリフトの初生火成活動時期を APH 仮

説に基づいて解析してみよう. その時期は約7億 2000 万-7億 3000 万年前に始まった(Gordienko, 2006).加熱状態および部分溶融した物質は,地殻 の下の220-320km の深さから40-100kmの深さへと 移動した.その後短期間に,溶融したマントル物質 は地殻下のマグマだまりから地殻へと急いで移動 し,そこで角閃岩相の岩石からなる部分溶融層(30 kmより浅い深さ)を形成する.薄い塩基性グラニュ ライト溶融層が下部地殻で生じる.地殻の熱上昇は, 溶融過程における角閃岩構造の脱水作用によって促 進された岩石流動化をともなっている.そのような 状態が塩基性地殻岩石のエクロジャイト化作用を促 進する(図 2).

この過程は、運搬されたブロックが周りの岩石類よ り圧力が大きくなったときに終わりをむかえる. エ クロジャイトは地殻や熱せられて溶融状態にある上 部マントルよりもはるかに固い. それらがマントル に沈んだときは、密度は約250 kmの深さのところ で安定化する. この過程が生じている期間のマント ル物質の密度は小さい (Gordienko, 2017)ので、 上記の深さに数百万年のうちに到達するであろう.

地向斜における深部過程の図によると、エクロジャイト化した地殻ブロックのマントルへの沈み込みは最終ステージにも関わらず発生している (Gordienko, 2016a).

リフェアン紀のリフティングが終了するまで、この地域の熱モデルは図3に示されるものであったであろう.

7億~4億年前までの期間の温度の見積もりは,地 表までの冷却や地殻や上部マントルでの放射性元素 による熱発生を考慮しておこなっている.上部マン トルにおける熱発生は台地における通常の熱発生率 (0.05 μ W/m³)よりもいくらか高く推定されている.

上部マントル下部において熱作用レベルは固相線を



図 2 リフティング開始後 1000 万年の期間にわたる下 部地殻のエクロジャイト化作 用に適する状態.

1-等温泉(\mathbb{C}); 2-部分 溶融帯の境界線:上部境界の 角閃岩相の中性および酸性岩 に対しては 600 \mathbb{C} ; ハンレイ 岩に対しては 700 \mathbb{C} ;塩基性 グラニュライトに対しては 1000 \mathbb{C} .部分溶融帯の下部境 界線-それぞれ 30 km および モホ不連続面を示す.3-エ クロジャイト化作用がおこる 部分.





図4.4億年前の頃の推定地下温度(実線)および南アフリカや シベリヤのダイヤモンド産地に対する実験データ(点).

こえており,連続した(ヘルシニアン期の)リフティ ングの始まりを引き起こす.上部マントルの上部に おける温度分布は,キンバーライトマグマによって もたらされたゼノリスに対する P-T パラメータのデー タに基づいて推定されたものと一致している(図4).

実験による温度(T)のばらつきはかなり大きい. これは対象としている地域に対する温度モデルがい くらか異なっていることに由来すると思われる.も し,われわれがある単一パイプもしくはその付近の 散在するパイプからえられたゼノリスのデータを用 いていれば、中央曲線からの偏差は少なくとも平均 100℃程度になるであろう.そのようなわけで、モデ ルは実験データと十分に一致しているようにみえる. 通常のマントル物質については,異なる地域のゼ ノリス鉱物における水の濃度はいろいろの研究者 が求めており、それらは0.01から0.10%である (Beran et al., 2006; Kopylova et al., 2007; Li et al., 2998; その他). 水は主にレルゾライトや ハルツバージャイトの金雲母や角閃石などの小さな インクルージョンに含まれている. 200-250 kmの 深さでは、沈んだエクロジャイトはその置かれてい る状態に著しい変化を引き起こす. それらの形成物 のいくつかは、低温で特徴づけられるものである. Perchuk (2003) や Perchuk et al., (2015) によ ると、それらは11%の含水量(重量%)をもつロー ソナイト (CaAl₂Si₂O₇(OH)₂H₂O) である. エクロジャ イトのオンファサイトの水分含有量(0.1%に達す る)も他の鉱物に比べて著しく高い値を持っている. 全体としてエクロジャイト中のゼノリスは0.2-1.4% の水分を含んでいる (Karinova, 2009; Kopylova et al., 2007; その他). 問題となっている深さの エクロジャイトの固相線温度 (Butvina, 2006 and Litvin et al., 2004) は,同じ深さのカンラン岩 とより100-200℃低い.このことはマントル物質本 体のものより先だってなぜ少量のエクロジャイトの 溶融が起こる理由を説明している.

いろいろな研究者によると、分離した溶液の量は 異なる値(Arndt, 1977; Rocco et al., 2013; Sleep, 1974) を示しており, 0.2-5% にわたってい る. Sleep (1974) は、アルカリ岩組成で飽和流体 状態あるものに対しては 1-2% が妥当な値であると推 定している. 溶融液体分離の過程で、マグマは水分 に富むようになり溶融物に対する水の溶解度はキン バーライトに存在するすべての水を混入するのに十 分となる (Kopylova et al., 2007). 二酸化炭素の 放出量はマグマの限定された量の"許容度"を超え るかもしれない. その場合, 二酸化炭素は溶融物質 の中で同時に不混和物質として形成されているカー ボナタイトの部分に吸収される.体積の増加にとも ない、キンバーライトの溶融物は存在しているすべ ての二酸化炭素を吸収する,そのためカーボナタイ トマグマは残されない. キンバーライトマグマ中の

揮発成分の高い溶解度は、約4kmの深さにおいて圧 力が高まるまで維持されている.地表付近になると、 マグマは泡立ち、ダイアトリームが形成される.H. Cloosが1941年に信じていたように、ダイアトリー ムの充填物はマグマから物質が結晶化したという "マグマ性岩石"の概念とは十分にあっていない.

マグマがマグマだまりから地殻へと移動する速さを 決定しよう. 溶融物の上昇する部分のサイズを見積 もる時、単一のパイプではなく、パイプの群れとし て考えを進めるべきであろう. 野外の産状は、QTA (quantum tectonic action) と共通因子をもってい るようにみえる:APH 仮説の線にそっていうと、約 60km にわたって動き回る (Gordienko, 2015a) こ とが可能な最小体積である(Ukhanov, 1988). 平均 の密度差が 0.8g/cm³ に達し、平均の粘性が 10²⁰Pas (Gordienko, 2017) であるならば、移動の速さは 年 3.5m にひとしくなるであろう.より具体的にい えば、移動は約6,000年かかっていたと考えられ る. その期間にわたって、QTA は断熱冷却し約200 ℃下がったであろう.他の可能性ある温度変化につ いては問題外である.結局、ダイヤモンドは地表へ の移動過程で、マグマによる捕獲のずっと以前に長 く存在していた時の温度より 150 ± 150℃高い温度 を保っていたことになる. 温度増加は高くはない, しかし急速な圧力減少をともなっている. 筆者はダ イヤモンド変化の速さの直接的なみつもりについて はよくわからない.しかし、それの実験結果が存在 し (Korolyuk et al., 2004),結晶の測定によると, 数十ミリメートルのものについては大きな時間が必 要であるとのことである.ダイヤモンドは大きな速 さのマグマ移動, ある出版物では (Kelly et al., 2000; その他), 時速15 km もしくはもっと大きな 値が報告されているが、そのようなことをすること なく、そのままの状態でいられる可能性が高い.い くつかのダイヤモンドは,マグマが地表近くで移動 を止めた場合、二酸化炭素へと変化する. マグマの 上部の位置は冷却が急速に進む,そのためダイアモンドは変化がないが,マグマの下部の位置では冷却がゆっくり進む,したがってその場合はダイヤモンドは失われてしまう.

上記に述べた過程は,下部地殻における純粋にエク ロジャイト質のブロックの形成を減少させる. きっ と, 混合した組成のものが形成され, それらはマン トルに沈むはずである. それらが深さ 200-250km に 達するチャンスは決して高くはない.同じことが QTA の形成についてもあてはまる:溶液の分離過程 において, エクロジャイトの部分ではない元素が混 入するかもしれない. このことはキンバーライト やキンバーライト類似の岩石の組成範囲が広がる 原因なのかもしれない. 図5は主成分の相関関係 を示した図である.このコンパイル作業は世界の データの一般化を提供する資格をもったものではな い. これはウクライナ楯状地中央部のパイプや岩脈 を始め、異なる大陸のおよそ1,100 個のキンバーラ イトの分析結果を集めたものである. このデータ は、この論文の著者がキンバーライトと分類した岩 石類の広範な組成変化を示した図である (Geyko et al., 2006; Perchuk, 2005; Price et al., 2000; Sherbakov, 2005; Shirey et al., 2013;その他). 他の岩石グループ(たとえば玄武岩など)の化学成 分の組成変化はもっと少ない.

シベリア台地の下にあるマントルからもたらされた キンバーライトによって運ばれたゼノリスの研究 は、マントルのエクロジャイトが非常に豊富にある ことと、それらの三分の一は地殻起源であること を示唆している.同じ三分の一のエクロジャイト の起源については依然としてはっきりしていない (Ukhanov et al., 1988).多くの場合、アセノスフェ ア、それは長い間約 200 kmの深さに (Groves et al., 1987;)存在しているものであるが、その上 でキンバーライトが形成されるという繰り返しいわ



図 5. 世界のいろいろの地 域のキンバーライトの酸化物 組成の相関図.

れてきたシナリオは、ダイヤモンドの形成にはつな がらない.アセノスフェアの頂部より上での伝導熱 や流体による熱それらの可能性を排除している.実際、それらは起こり得ない.実際のところ、"石墨 ーダイアモンド"境界面は、もし200kmの深さにお いて固相線の温度分布が超えているならば、交差す るであろう.これはおよそ170-180kmにおいて生じ る.それより深いところでは、ダイヤモンドは酸化 された変質した環境の中では形成されない(Kadik, 1999のデータによると).この設定における状態は、 アセノスフェア上部のQFM(石英-ファヤライト-磁鉄鉱)バッファーに近い.

ダイヤモンドの形成

ダイヤモンドは、キンバーライト岩のマグマ活動の 副産物として移送されてくる.ダイヤモンドが、濃 度組成10⁶のレベルのマントル、または、濃度組 成10⁹レベルのマグマから産み出されるが、そのと きにダイヤモンドがどのような挙動をしているのか は分かっていない(Altukhova, 2012; Shierey et al, 2013a).それにもかかわらず、ダイヤモンドの 形成と移送のようすから、マントル内で起こってい る興味深いできごとの特徴を読み解くことができる.

濃度と圧力を除けば,結晶ダイヤモンドの核の 形成は、岩石中の珪酸の有無が関連している (Bobrov, 2009 ; Butvina, 2006 ; Fedorov et al, 2004 ; Caranin et al., 2009 ; Kuzmin, 2009 ; Litvin et al, 2004 ; Pearson et al., 2005 ; Shuskkanova, 2007; その他). また、ダイヤモン ドが含まれているか否かについては、合成実験で行 う時のように, 珪酸塩 - 炭酸塩 - 炭素中に、核がど れだけ含まれているかで決まる。珪酸塩が濃集して 成長していく度合いは、その濃集の強力さで決定さ れるが、それを促進させるのは黒鉛の結晶化作用で ある.ダイヤモンドの核の結晶化濃度障壁(DN CB)のおおよそは上述のように紹介されている (Litvin et al, 2004).こうした媒介変数(パラメー ター)は、温度-圧力条件をいろいろと変化させた 実験を行って決められる.

結晶ダイヤモンドの縁には大きな含有物が含まれ, 結晶の中央部分には組成の異なった含有物がある. それらがもたらす情報は,結晶核の配列状態の手が かりとなる重要なものである.それらはごく小さな 結晶の場合もあるが,時には、大きな炭酸塩鉱物か らできていることもある.それらは、ペリドタイト (橄欖石)相とかエクロジャイト(緑輝石)相とか 言われるものである.前者の核は、黒鉛-鉄-酸化 鉄-磁鉄鉱-橄欖石-鉄-ニッケルなどの硫化物で ある.一方、後者は鉄-硫化物,おそらく金属鉄-と K-Na-Al-Si 溶融物である.その周囲には酸化還 元緩衝液に近い還元物質がある. ダイヤモンドとその中に含まれる初生的な含有物 が、同生鉱床的な特徴をもっていることから判断す ると、周囲に有る硫化鉱物は、副次的な役割はあっ たにしても、核の成長過程における主導的な役割は 果たしていない (Shushkanova, 2007).

実際,仮説と関連しそうな事象がまだ定式化されて いない段階では、こうした判断がAPHの要求して いる条件にマッチするかどうかも分からなかった. そして、配列がダイヤモンドの形成にかなり有望な パラメーターだ、という見方はまだ考えられなかっ た.当時、筆者らが話題にしていたのは、上部マト ル中の関連する深さで認められる酸素逃散能であっ た.むしろ私たちが議論すべきだったのは、酸化還 元率(Rh=[Eh+0.06hH] 0.03 [30℃の下では系ない では一定] だったのである.酸化は Rh (Simakov, 1998) とともに増加しているのだから.しかしなが ら、鉱物学的な fugometers (訳者注;酸化還元状 態の測定器あるいは測定方法??)を使った方がよ り便利である.

良く知られた考えでは、マントル中の同じ深さにお ける酸化還元状態は、時間をかけて大きく変化す る(Simakov, 2003)といわれるが、"大昔のマント ルは、金属の鉄-ニッケル相に関連をもつ平衡状態 に近かったから、f02の値に対応した高還元状態に あった.こういう時代には、マントルの酸化がどん どん進んでいく(Kadik, 1999 ほか).また、金属 炭素の融解に関連した平衡状態のf02の値は、酸化 還元バッファ(INW:iron-nikkel-wustite)に近い 状態にある.こうしたことによって、大昔のマント ルの中で、ダイヤモンド相の形成の限界値パラメー ターとなるPT条件下で、鉄とニッケルの元素の中 に組み入れられた自由電子となって、不均質なマ グマ溶融体中でダイヤモンドの結晶化が発生する" (Fedorov et al, 2002, 3、頁)とも考えられる.

しかしながらキンバーライトの火山活動は,いろ いろな地質時代に発生している.ダイヤモンド は,先カンブリア紀や早期古生代の砕屑岩のなか から産出する(ブラジルの千枚岩、南アフリカの Witwatersrand・インド・ウラルの下部オルドビス 系などの礫岩).つい先ごろでは,アフリカのキン バーライト中の中生界からも出てきた.シベリア台 地では先ペルム系、三畳紀から前期ジュラ紀、後期 ジュラ紀のキンバーライトからさえも見つかってい る.とくに先カンブリア時代末期の Vendian 紀から 顕生代にかけてのキンバーライトの年代について は,Heaman et al (2003) と Shevyrev et al (2015) によるものを図6に示した.

移流 - 多形仮説(APH)の概念に基づけば,地質学的なほぼすべての期間を通して地殻 - マントル間での熱・物質の移動が活発に進んできた.このような



図6 アフリカ、北アメリカ、シベリア、東ヨーロッパなどにお ける、Vendian 紀から顕生代の台地の堆積物中に含まれるキン バーライトの年代.

考えはいまではすでに確かなことになっている.ところでこの仮説では、地球内部での部分溶融が起こる上面の深さについてはほとんど同じだとされている(Gordienko, 2015a).

"交代変成岩形成末期ステージ"には、マントル内 に部分溶融ポケットが形成され、その内部は酸化し た流体によって満たされる.部分溶融ポケットの下 部では流体の結晶化作用の間、そこにはすでに初期 に形成された交代変成岩が存在していた.また、溶 融ポケットに含まれていた水は脱酸化作用によって 水素と二酸化炭素へ、さらに炭素へと変化していく. このプロセスは、酸素分子が [Si04]⁴ -構造へ関与 することが引き金となって生じたとみられる.前述 したすべての成分が集中する際の温度は高いもので はなく、その下で炭素分子がマグマ溶融ポケットの 近傍へ脱出するのである.酸素フガシティの低下に 伴って、マグマ溶融ポケット内の残液中の水分量は メタンや二酸化炭素に比べ増加していく.

上に述べた考えに照らせば、交代変成作用の初期ある いは末期という概念はあまり妥当ではない.時間概念 的に見れば、この作用で言う末期ステージは、初期 と呼んでいる段階よりももっと早期に現象が連続的 に進んでいくことによく似ているのである.現象の 違いは、実はそれほど重要ではない.交代変成作用は、 熱や物質移動の時期が各々のステージにおいてよく 似ているからである.各ステージで、溶融体が多成分 からなるということは酸化の程度が違いながらもそ の厚さが数10kmで同じ程度となるという効果をもた らす.その結果、深部の溶融体は、連続的な上昇過程 を経てある深さの深度に集積するのである.

実験的なデータは、ダイヤモンドの形成におい て酸素フガシティの効果が極めて大きいことを 示している(Simakov, 1994, 2003; Simakov et al., 1995; Slavinsky, 1994)(図7および図8).し かしこの図には理解しにくいところがある.すな わち、ダイヤモンド含有岩の存在領域はダイヤモ ンドを含まない岩石のそれに一部重なっていて、 さらにその範囲を超えてしまっている.これは ダイヤモンドの形成される集中的な領域(CBND: concentration barrier of diamond nucleation) が不明確であることを示している.

これについて私の考えはこうである. すなわちこれ は、ダイヤモンド含有岩とそうでないダイヤモンド 非含有岩の酸化度境界が Eggler barrier に近いこ と、別の言葉で言えばその境界が QFM バッファより 明らかに小さいということを意味している. ダイ ヤモンド含有岩と非含有岩の 1gf0₂ 値の平均的な差 は、誤差を 1.0 ~ 1.2 と見積もっても 1.7 に達する (Nikitina, 1994; ほか).

未解決のことを除いてみても、マントルが酸化され て溶融しそこでダイヤモンドが形成される場の深さ (上下幅)について、APH 仮説の実証を試みること は重要である.マントル内でのマグマチャンバーの 深さについての典型的なデータを参考にすれば、そ れはおよそ150~170kmと考えられる.それよりも 深部または浅部どちらにおいてもf02は上昇し、ダ イヤモンドの晶出量は低下する.



図7 上部マントル内でのケイ酸塩鉱物の1gf0₂と温度との相 関からみたダイヤモンド含有鉱物の共生関係. A: レルゾライト (lherzolites) B: エクロジャイト (eclogite)、1 ダイヤモンド 含有岩の共生エリア 2 非ダイヤモンド含有岩の共生エリア.



図8 ダイヤモンドポテンシャルとその媒質部の酸化度の関係. 1と2はサンプル (1はダイヤモンドを含まないもの,2はダイ ヤモンドを含むもの); IとII, それぞれダイヤモンド含有岩と そうでないものの概略的な領域;EMOG (enstatite - magnetiteolivine - graphite) はEggler barrier (Eggler, 1983).

^{1.} ダイヤモンドを含むキンバーライト 2. ダイヤモンドを 含まないキンバーライト



図9 深度に応じたダイヤモンド分布のヒストグラム. 1 グ ラファイト-ダイヤモンドの境界深度;2 APH 説によるマグマ だまりの上面深度;3 ダイヤモンドクラスターの分布ヒストグ ラム.

Simakov (2003) によって示された深さ 100 ~ 250km における peridotite と eclogite 共生関係 《 1gf (0_2) - 1g (QMF) 》の値は,明らかに分散傾向にある(図 8). それらの値を深さ 125 ~ 150km, 150 ~ 175km での平 均値で見てみよう. それぞれの深さでの酸素フガシ ティの値は 50 ~ 60 となる. これは境界での値より-2.3 より大きく, - 3.0 より小さい.

この値の差は, 誤差を超えてはいるが我々が予想し たものに近い. Simakov (1995) によると, その差 は1に達しているが 1gf02 の平均値の算定の仕方は それほど厳密ではないと言う.

キンバーライトマグマに補足されたダイヤモン ドの深さについては、ダイヤモンドがゼノリス 中に見つかるのかまたはダイヤモンド中にその 周辺部の鉱物が含まれているかどうかで推測す ることができるであろう.しかしそのような報 告はまだ多くはない.筆者はすでに約 90 個の事 例を得ている. 図 9 は、ダイヤモンドの形成深 度 を示している (Bobrov, 2009; Manakov, 2001; Nikitina, 1994; Simakov, 1994 and 2003; Simakov et al., 1995; Slavinsky, 1994; Manakov, 2001; Spetsius et al., 1990; and others).

この話はまだ完全なものではない.図9に示されて いるようにキンバーライトマグマによって運ばれる ゼノリスの深さ分布が不規則なことと同様に、ダイ ヤモンド形成深度を見積もることも難しい.深度 150~170kmにおけるダイヤモンドの分布限界はこ れまでに言われてきたものとは合致しない原因をそ れに帰することができるのである.

このようなわけで、APH 概念はまだ信頼性という点ではまだ低い段階ではあるが、用いられているデータの的確性によって実証されつつあると言える.

キンバーライトマグマダまりの最大深度

キンバーライトマグマ生成についての上述のシナリ

オは,理論の基本的な要求を満たしている.メルト (溶融体)は、上に重なる岩石を熱することなく急 速に上昇し、途中でとりこまれたダイヤモンドは酸 化を受けることなく地表へ達する.しかしながら, 私たちは、どのような方法であろうとも、同じ結果 に至る別の方法をあり得ないとすべきではない.例 えば、マグマあるいはその一部が、さらに深い場所 にある最初のマグマだまりから出てきて、地表にむ かって突進する前のほんの短い間だけ動きを止める と決めてかかることのように. AHP によれば、リフ ティングの過程のシナリオの1つでは、そのような 移動が推定できるとしている. それらは一律に起こ る必要はない.マントル岩石内での熱の生成と活性 化の間の時間の間隔における差異は、おそらく卓状 地内部の地域に対して著しく異なる熱モデルを生み 出すであろう (Gordienko, 2015b). その差異は, 例 えば、アフリカと南アメリカの台地の間などに存在 している.低い温度では、200-250kmの深さでの部 分溶融のマグマだまりの形成はほとんどないようで ある. 深部に存在するダイヤモンド中の珪酸塩や鉱 石包有物の例は、間接的にこの情報の裏付けとなっ ている (図 10). そのようなダイヤモンドは稀で, ほぼ5%である (Shirey et al., 2013a).

上述したようなダイヤモンドは、ギニアで発見され たパイプや南アフリカで発見された最初のパイプか ら得られた包有物をともなうダイヤモンドの中から 見出された.それらのダイヤモンドは、APHによっ て予測されたように、深い場所のすき間から上部マ ントルの底の上に直接上がってきた部分溶融物質に よって捉えられてきたにちがいない. Haggerty ほ か(1990)によって報告されている南アフリカにつ いてのデータもまた、ゼノリス鉱物の結合がなされ る深さの中で最大の深度を示しており、図 10 に表 示されている.

後にマグマによってソロモン島弧の地表へ運ばれて いくゼノリスが形成されたさらに深い深度(600km 以上)に関する情報(Collerson et al.,2000)は、 その信憑性について多くの疑問を受けており、その ため、その判断は早まったように思われる. 広範に わたる圧力と温度の中で研究を実施している他の著 者はたちは、メジャーライト(majorite) ザクロ石 の同じ組成を異なって解釈している(Harte,2010) ので、なお一層そうである.

大部分のザクロ石が発生し、その包有物がダイアモ ンドの内部で遭遇した深さの実際の範囲は、実験 に基づくデータを基礎に見積もられるはずである (Irifune, 1987; そのほか). そのようなデータは、 Al + Cr/Si を圧力の関数として研究することを可 能にしている (Stachel, 2001; Tayloretal. 2004; and others)。(Stachel, 2001),使用されたサンプルは、 アフリカ、ブラジル、その他の地方のさまざまな地



域から得たものである (Bobrov, 2009). 記録された 深度は 450-500km に達する.

問題のザクロ石は、200km以上の深さで安定である が、それらは キンバーライトマグマなしでさえ、 浸食されたエクロジャイトの内部で地表に達する (Van Roermund et al., 1998). 言い換えれば、浸食 は、ザクロ石を無傷のままで供給するのに十分速い のである.得られたデータは、まさに、活性化に先 立つ、言い換えれば、最初のマグマ活動よりも前の、 リフト地帯あるいは地向斜地帯の下の、上部マント ルの底の深さ(と地震波の伝播速度の急激な増加) を指し示してている.一般的な見解とは対照的に、 それは410kmよりもむしろ(少なくとも20kmの誤 差の許容範囲を伴い)470kmに存在している.それ は、たとえば南アフリカの下のように、パラメー ターの最も良く実証された測定の結果と一致してい る(Zhaoetal., 1999).

APHによれば、ダイアモンドは、ほんのわずかな程度の部分溶融状態の物質の一部分の中にある(およそ1-2%)。それはおよそ200-250kmに最上部がある深度間隔の下から(最初のマグマだまりから)やってきた。そこでは、マグマは分化作用と分離を受け、キンバーライト溶融体の特徴を獲得し、そして地表へと運ばれたのである。上昇過程で、上部マントルの底から上がってきた溶融体からも付け加えながら、それは中間の深さでゼノリスを捕らえたのである. — "構造運動量体"(QTA)(Gordienko, 2015a&b).

全体のプロセスは非常に速く、一般的なマグマ溜ま りの形成の手順とは異なり、変質した岩石がマグマ 溜まりの上に十分厚い層を形成するのに十分な時間 があるような手順であった.

初期のマグマ溜まりは核-マントル境界面にあるという主旨の1つの意見(Perchuk, 2005; そのほか)がある。この不連続面は、上記の手掛かりが吟味され、根拠が薄いことが証明されるかも知れないという懸念なしに、そこにすべての解釈しがたいプロセスの原因を置くための場所として、最近、次第に多くの人に良く知られるようになっている.下部マン

トルから上部マントルへの物質の供給に関する確実 な証拠はない(Ivanov, 2010; その他).

ダイアモンド形成の最低深度

ダイヤモンド出現の可能性がある二つのシナリオ は、多様なダイヤモンド堆積物の存在と適合するも のとは現在のところみなされていない、たとえば採 算可能鉱山に適したダイヤモンドクラスターなどで ある.しかし、それらについて述べる価値はある.

全体的に今まで議論してきたものとは異なる P-T 状 態のもとで形成されたダイヤモンドの発見に関す る証拠が山ほど見つかっている. それらのダイヤ モンドはキンバーライトの中に見つかるのではな く、むしろ、古い堆積岩やそれらを貫入した火成岩 がこうむった変成作用の過程で、温度700℃および 圧力 2-3GPa において形成された通常の地殻岩石の 中から見つかっている (Perchuk, 2005; Shirey et al., 2013a; その他). 最近の実験結果は、ある種 の酸化物の中で炭酸塩の炭素から微小なダイヤモン ドが合成され成長することが確かめられている.炭 酸塩-ケイ酸塩、流体-カーボナタイト、およびア ルカリ成分などの複あ合系の進化に由来するダイヤ モンド形成への可能性は調べられている. その結果 は積極的なものである: すなわちダイヤモンドは 比較的低い圧力や温度で、還元的な媒介物の存在か つ非平衡な環境の下で形成されることがはっきりし た (Kazhavin, 2010; Shirey et al.., 2013a). そ のような進化による生成物がが急速に低温地域にも たらされた場合は、明らかにそれらは変化しないま まもたらされる.ダイヤモンドの跡を残した炭素の 仮像が岩石中に見つかるかもしれない (Perchuk, 2008). さらに、350-500℃および 0.001-0.1GPaの 地表付近の場所で,ダイヤモンドのナノ粒子が出現 し安定化する(おそらく窒素の影響のもとで)可能 性がある (Simakov et al., 2008).

上記の P-T 状態は APH 仮説では十分現実的である. これらは地設内移流の過程において活性化した地殻 の内部で生じたものである.とくに、上部地殻にお ける熱の値については図 11 に示してある.活動の間 は、対応する深さの温度は高かった、しかし、その 形成状態が熱や圧力をともなうものであることが分 かっている岩石類は、現在は地表にあるのであるが.

いろいろな鉱物を含む岩石が,ある一つの異なる過 程で形成されたことはありそうなことである.「... それらは大変高い圧力においてのみ形成された,そ の最大値は120 kmより大きな深さに対応するもの である.小さなダイヤモンドに含まれるそのような 鉱物たちは,しばしばジルコン(Zr₂SiO₄)および Mg-Ca-炭酸塩鉱物,コーサイト(石英の高圧型の 一種),アルミニウム質スフェン(Al₂O₃-CaTiO₃系



図11 先カンブリア時代の楯状地や台地の地殻の,見積もられた温度分布.(1)と実験による温度分布(2),顕生代通常の熱発生のも とでの台地地殻の温度分布(3),角閃岩およグラニュライト相の変成作用をこうむった岩石の固相線を示す温度(4).地域名(円の中の 数字):1-カナダ楯状地,2-バルト楯状地、3-ウクライナ楯状地,4-シベリヤ台地,5-南アメリカ台地,6-アフリカ台地,7-インド楯状地,8-中国-朝鮮楯状地,9-オーストラリア台地,10-南極台地.

の固溶体)そしてルチール(TiO₂),同様にカリウムを含む単斜輝石(Ca(Mg,Fe)Si₂O₆)—KAISi₂O₆の固溶体」などが密集して形成されている.そのような異常な現象は物理的に説明つかない:ということは大量の地殻物質がすくなくとも120kmの深さの上部マントルに沈みこんだ後,ふたたび日の当たる地表面へと戻ってくることを可能にするメカニズムについての知識がないということである」(Perchuk,1977, p.72)」.そのような造構一変成史をもつ岩石ブロックは,最も高い変成圧力がコーサイトの安定な領域に達していた場合は,超高圧変成地帯(UHP地帯)と呼ばれている.

現在約20の, コーサイト (Liou et al., 2004; Shirey et al., 2013) もしくはコーサイトの仮像 を有する石英などを含む変成岩複合岩体が知られて いる. そのうちのいくつかは図13に示されている.

UHP 複合岩体の形成段階で支配的であった状態については中央カザフスタンの Kokchetav ブロックが, 最もよく調査された一例として都合よく解析されている.最近のデータ(Buslov et al., 2015)によると,それらの岩石が沈降した深さは150-200 km であり,よく似たタイプのほかに知られている岩体よりも深い.

中央アジア褶曲帯の一部である Kokchetav ブロッ クの地史を詳述することは、これまでのところ 不可能である.しかし、ダイヤモンドを含む岩 石形成時の地域発達史の再構築を可能にする情報 が、文献には含まれている (Buslov et al.,2015; Khain, 1977; Zhimulev,2007 など).しかし、再構 築された歴史のいくつかの点は、地塊のリフェア ン堆積 - 火成区の多くの部分が浸食によって破壊さ れたため、仮定のレベルにとどまっている.

地向斜発達の2つの連続した段階がこの地域で行わ



図 12 上部マントルの冷たい上部位置における石墨 - ダイアモンドおよび石英 - コーサイト転移と温度分布の関係.

1a・台地の下の温度;1b・ 初生マグマ活動に先立つ温度(図3. を見よ);2・Kokchetavブロックからのエクロジャイト浸食の
P-T状態(2a・Busslov et al., 2015およびZhimulev, 2007に 基づく浸食経路の個々の点における);3と4・エクロジャイト(3) およびカンラン岩(4)の共生するダイアモンド中心部のインク ルージョン(Bodrov, 2009)データから得られた媒体物の温度・ 圧力範囲.

れたことを維持することができる:後期グレンビリ アン(初期ルフィリアン?)と初期カレドニアン(バ イカリアン後期)である.各段階は塩基-超塩基火 成活動から始まり,酸性火成活動と褶曲で終わっ た.これらの過程はそれぞれ8億5000万年前と4 億5000万年前に終了した.地向斜域の重複が存在 したが,その程度を決定することは不可能である.

テクトノスフィアの熱モデルは,地向斜の下の上 部マントルにおける熱生成を伴う地塊の発達の間に 構築された. 2つの事象間の時間間隔は,必要な エネルギーの蓄積に十分であることが示されてい る.およそ5億5000万年前,最初の火成活動がカ レドニア地向斜プロセスを引き起こした可能性があ



図 13. 巨大な初生 ダイアモンド堆積 物:1-・120-150 km の深度からのもの, 2-・250 kmより深い 深度からのもの,3 -・UHP 地帯からのも の.

る. UHP 地形削掘の開始はその時間の間隔に正確に 戻る. その沈み込みの順序に関する情報は入手で きない. 明らかに, それはカレドニア周期の始ま りのずっと前に起こった.

カレドニア層内で UHP 複合体を構成する岩石は, それらがルフィリアン地向斜の堆積 - 火成(上 部)地殻岩層の岩石から形成された明確な痕跡を示 す. 地殻下部の岩石によって補われたそれら地層 群が, カレドニア時代に表面に浮かび上がったブ ロックの形成に関与していると確かに推測できる. 地殻内の位置を変え,そしてマントルに沈むこと ができる地殻ブロックの形成メカニズムを, 著者 (Gordienko, 2014) は分析した. 我々は, 内部的 な移流について話している. 地向斜堆積層の下部 には、その沈み込みや加熱中に、 加熱された固 定地殻上部の岩石の密度よりも密度の高い(0.1~ 0.15g/cm³ 差の) 岩石が形成された. 数キロメート ル下降した後, それらはエクロジャイト化帯に 入った. 得られた混合物の組成 (Zhimulev, 2007; およびその他)により、マントルに浸入後のブ ロックの密度とその成分の変成変質(石英をコー サイトに,角閃石をオンファス輝石になど)を推 定することが可能になる. 密度異常は, ブロック が純粋なエクロジャイトに納まる深さの3分の2 に沈む深さを推定することを可能にする(上記参 照). ブロックが停止した深さはおよそ 170km に達 する. この独立に導出された推定値は, Buslov et al. (2015) と調和する. 菱鉄鉱, 黄鉄鉱, および 黒鉛を含む沈降岩の変成は、それらの中のダイヤ モンド形成を助ける.この意味で, このプロセス は、マグマ溜まりの上の岩石に埋め込まれたダイヤ モンドがキンバライトによって運ばれるプロセスと 本質的に異なる.

媒体に残っている複合体の浮上を, 最初の火成活動の開始とともに, 表面までずっと台地タイプの 温度分布(図12)に関連づけることは,論理的かも しれない.おそらく,その中の岩石は,カレドニア プロセス開始前の状態と比較してわずかに加熱され たに過ぎなかった.刊行物 (Buslov et al.,2015; Zhimulev,2017)は,複合体内の岩石のわずかな部分 溶融の跡を述べている.1,100-1,200℃で深度約150-170kmに達すると,角閃石と金雲母(黒雲母?)の微 小包有物だけが溶融する可能性がある.その結果,g/ cm³の何百分の1かの最小の負の密度異常が現れる.

複合体がマントル内を上昇する速度は、キンバー ライトマグマ(200万~500万年にわたって130km) の50倍遅い.密度異常の違いが、上方への動きを 2分の1のオーダーで減速する可能性がある.追加 のオーダーは、岩体のより小さいサイズのためで ある可能性が最も高い.関連する厚さは大きくない(約1km).研究の著者ら(Buslov et al.,2015; Zhigulev,2007など)は、岩体が複数のシートに分 割され、地殻内で別々に位置を変えたと考えてい る.総合した厚さは決定できなかったが、それは QTA 次元の3分の1であった可能性がある.これ は、マントル内の上向き移動の推定速度を明白にす る.厚さが20kmの場合、深度による温度変化は図 12に示すものに近づくことを計算は示す.

地殻内の岩体上方運動の速度は,1桁小さい. これ は粘性の上昇に応じている.ただし,ブロックの断 片化の原因となった別のメカニズムの影響がよりあ りそうである. 我々は,衝上断層シートの形成を 伴う移流褶曲における地塊の関与を扱うかもしれな い (Gerya, 2010).

プレートテクトニクスの支持者 (Buslov et al., 2015; Malusa et al., 2015; Shirey et al., 2013a and b; その他)によって見られた一貫 性に欠ける UHP 地域の形成過程は, エネルギーの 点から実証に全く欠けており, いくつかのあいま いな理由をもって, それらが 一連のブロック移動 を表しているとしている.

結 論

ダイヤモンドを含む岩石の形成の問題の分析は, 移流多形仮説 (APH) の概念の採用が, テクトノス フィアで起こっている特定のプロセスについてより 多くの光を投げかけていることを示している.

- 1. 異なる組成を有する媒質の様々な深さでのダイ ヤモンドの形成.
- マントルに沈み込み、初期マグマの状態が始ま ると部分溶融が起こった、地殻エクロジャイト からのキンバーライトマグマの形成.
- 3. 上部マントル下部と、下部マントルへの移行帯の 一部を含む「2段階」の熱および物質移動の形成.
- 表面へのゼノクリスタルおよびゼノリスの異常な急速輸送.
- 5. UHP 地殻ブロックのマントルへの浸入と連続的な 活動化の間のそれらの地表への再浮上.

地質学的歴史におけるそのような事象のいくつか は,仮説によって仮定されたある種の深い位置の プロセスを反映している.他のケースでは,熱と 物質移動の一般的なシナリオと比較して重要ではな い現象に対処することができた.それらはダイヤ モンドの形成と輸送に関連しているという理由で, それらに注意しなければならなかった.しかし, そこにさえ,APHの適応は有用な手段であることが 判明した.

謝辞:著者は、この論文をロシアから翻訳した Mrs. Rita Schneider と、Dr. Louis Hissinkの批評に感 謝の意を表する.著者はPとTはダイヤモンドーグ ラファイトの安定性の推定値を説明する唯一の要因 ではないことついて、Hissink博士に同意する.

文 献

- Altukhova, Z.A., 2012. Diamonds within autoliths and kimberlite breccias of the Udachnaya pipe. Abstracts, Conference on diamonds, 2012, Kiev: TsP Komprint, p. 5-8 (in Russian).
- Arndt, N., 1977. The separation of magmas from partiallymolten peridotite. Carnegie Inst., Washington Yearbook, p. 424-428.
- Beran, A. and Libowitzky, E., 2006. Water in natural mantle minerals, II: Olivine, garnet, and accessory minerals. Water in Nominally Anhydrous Minerals, v. 62, p. 169-191.
- Bobrov, A.V., 2009. Inclusions in diamonds and diamondbearing rocks, Proceedings of the ISES Solar World Congress, Moscow: Moscow State University, p. 1-22 (in Russian).
- Buslov, M.M, Dobretsov, N.L, Vovna, G.M., et al., 2015. Structural location, composition, and geodynamic nature of diamondiferous metamorphic rocks in the Kokchetav

subduction-collision zone of the Central Asia folded belt. Geology and Geophysics, nos.1-2, p. 89-109 (in Russian).

- Butvina, V.G. 2006. Experimental studies of phase equilibria and diamond formation in eclogite-carbonate- sulphide systems. Thesis for the Master's degree in geological and mineralogical science. Moscow: Moscow State University. 144p (in Russian).
- Cloos, H., 1941. Bau und Tätigkeit von Tuffschloten. Geologische Rundschau, v. 32, p. 708–800.
- Collerson, K., Hapugoda, S., Kamber, B. et al., 2000. Rocks from the mantle transition zone: Majorite-bearing xenoliths from Malaita, Southwest Pacific. Science, v. 288, no. 5469, p. 1215-1223.
- Continental Rifts: Evolution, Structure, and Tectonics. Olsen, K., ed., Amsterdam: Elsevier, 1995, 492 pages. Eggler, D., 1983. Upper mantle oxidation state: Evidence from olivineorthopyroxene-ilmenite assemblages. Geoph. Res. Lett., v. 10, no. 5, p. 365-368.
- Fedorov, I.I., Chepurov, A.A., and Bagryantsev, D. G., 2002. Redox conditions for stability of Fe-C and Fe-Ni-C melts at high P-T parameters and formation of diamonds. Bulletin of the Department of Earth Sciences, RAS, no. 1, p. 12-23 (in Russian).
- Garanin, V.K., Bovkun, A.V., and Garanin, K.V., 2009. Microcrystalline oxides from Russia's kimberlites. Moscow: GEOS, 498p (in Russian).
- Geology and mineral deposits of Ukraine: 1:5 000 000 Atlas, 2001. Kiev: Bukva, 168p (in Ukrainian).
- Geyko, Yu.V., Gursky, D.S., Lykov, L.I., et al., 2006. Prospects for finding native diamond deposits in Ukraine. Lvov: Tsentr Yevropy, 224p (in Russian).
- Gordienko, V.V., 2014. Deep-seated processes and seismicity. Geophysical. Journal, v. 2, no.1. p. 19-42 (in Russian).
- Gordienko, V.V., 2015a. Essential points of the advectionpolymorphism hypothesis. NCGT Journal, v. 3, no. 2, p. 112-134.
- Gordienko, V., 2015b. Energy balance in the tectonosphere. NCGT Journal, v. 3, no. 3, p. 263-281.
- Gordienko, V., 2015c. Platforms: thermal and geological history. NCGT Journal, v. 3, no. 4, p. 434-460.
- Gordienko, V., 2016a. Deep-seated processes in the tectonosphere of geosynclines. NCGT Journal, v. 4, no.1, p.6-31.
- Gordienko, V., 2016b. Deep-seated processes in the tectonosphere of continental rifts. NCGT Journal, v. 4, no. 3, p. 361-388.
- Gordienko, V., 2017. On the viscosity of the tectonospheric material in continents and oceans. Geology and mineral resources of the World Ocean, no. 1, p. 45-57 (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya O.V. et al., 2005. Ukrainian Shield (geophysics, deep-seated processes). Kiev: Corwin press, 210p (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., et al., 2006. The Dnieper-Donets Basin (geophysics, deep-seated

processes). Kiev: Corwin press, 142p (in Russian).

- Groves, D., Ho, E., Rock, N, et al., 1987. Archean cratons, diamond and platinum: Evidence for coupled long- lived crust-mantle systems. Geology, no. 15, p. 801-805.
- Haggerty, S. and Sautter, V., 1990. Ultradeep (Greater Than 300 Kilometers), Ultramafic Upper Mantle Xenoliths. Science, v. 248, p. 993- 996.
- Harte, B. 2010. Diamond formation in the deep mantle; the record of mineral inclusions and their distribution in relation to mantle dehydration zones. Mineral Mag., v. 74, p. 89-215.
- Heaman, L., Kjarsgaard, B., and Creaser, R., 2003. The timing of kimberlite magmatism in North America: Implications for global kimberlite genesis and diamond exploration. Lithos, v. 71, p. 153–184.
- Irifune, T., 1987. An experimental investigation of the pyroxene-garnet transformation in a pyrolite composition and its bearing on the constitution of the mantle. Phys. Earth and Pl. Inter., v. 45, p. 324-336.
- Ivanov, A.V., 2010. Deep-seated geodynamics: Boundaries of the process proceeding from geochemical and petrological evidence. Geodynamics and Tectonophysics. no.1, p. 87-102 (in Russian).
- Kadik, A.A., 1999. Effect of the planetary material redox state on the formation of carbon-saturated fluids in the Earth's upper mantle. Bulletin of the Department of Earth Sciences of the RAS, v. 4, no. 10, p. 65-85.
- Kalashnik, A.A., 2010. Mineralogical potential of the Ukrainian Shield's EW striking fault zones. Mineral Resources of Ukraine, no. 2, p. 24-35 (in Ukrainian).
- Kamenetsky, D., 2011. Volatites in the kimberlite melt what drives ascent and causes explosive eruption.
- Abstracts ISES-2011. Moscow: Moscow State University (in Russian).
- Kaminsky, A.V., 1984. Diamond potential of non-kimberlite igneous rocks. Moscow: Nedra, 173p (in Russian).
- Kaminsky, A.V., Feldman, A.A., Varlamov, V.A., et al., 1995. Prognostication of primary diamond deposits. Journal of Geochemical Exploration, no. 53, p. 167-182.
- Karimova, A. A., 2009. Water content in nominally anhydrous xenolith minerals of upper-mantle rocks from the Udachnaya kimberlite pipe (Yakutia). Abstracts of ISES-2009, Novosibirsk: Novosibirsk State University (in Russian).
- Karzhavin, V.K., 2010. Diamond formation in carbonatealkaline rocks. Physicochemical and petrological studies in Earth sciences. Moscow: Moscow State University, p. 165-169 (in Russian).
- Khain, V.E., 1977. Non-Alpine Europe and Western Asia. Moscow: Nedra, 359 pages (in Russian).
- Kelley, S. and Wartho, J., 2000. Rapid kimberlite ascent and the significance of Ar–Ar ages in xenolith phlogopites. Science, Vol. 289, no. 5479, p. 609–611.
- Kopylova, M., Matveyev S., and Raudsepp, M., 2007. Searching for parental kimberlite melt. Geochimica et

Cosmochimica Acta, v. 71, p. 3616-3629.

- Korolyuk, V.N., Lepegin, G.G., and Korsakov, A.B., 2004. Reconstruction of the thermal history of metamorphic rocks based on exchange-diffusion zoning in minerals. Geology and Geophysics, no. 4, p. 501-512 (in Russian).
- Kuzmin, V.A., 2009. Native diamond potential in lower Angara Region. – Krasnoyarsk, 102p. - http://www.proza. ru/2010/05/05/647 (in Russian).
- Kvasnytsya, V.M., 2016. On the endemic nature of green microdiamonds in the Bug-Dniester Region Reports NASU. 1, p. 57-62 (in Ukrainian).
- Lapin, A.V. and Tolstov, A.V., 2007. Diamond-bearing magmatic formations in dissimilar geological tectonic environments, Materials from the site "All about Geology" -http://geo.web.ru/, p. 143-146 (in Russian).
- Litvin, Yu. A. and Butvina, V.G., 2004. Environments promoting diamond formation in the eclogite-carbonatitesulphide-carbon system according to experimental data at 6.0-8.5 GPa. Petrology, v. 2, no. 4, p. 426-438 (in Russian).
- Li, Z., Lee, A., Peslier, A., et al., 2008. Water contents in mantle xenoliths from the Colorado Plateau and vicinity: Implications for the mantle rheology and hydration-induced thinning of continental lithosphere, J. Geophys. Res., v. 113, B09210, doi:10.1029/2007JB005540.
- Liou, J., Tsujimori, T., Zhang, R., et al., 2004. Global UHP Metamorphism and continental subduction/collision: The Himalayan Model. Inter. Geology Review, v. 46, p. 1- 27.
- Magmatic Rocks., 1987, Vol. 4., Acidic and intermediate rocks. Ed. V.V. Yarmolyuk and V.I. Kovalenko. Moscow: Nauka. 375p (in Russian).
- Malusà, M., Faccenna, C., Baldwin, S., and Piromallo, C., 2015. Contrasting styles of (U)HP rock exhumation along the Cenozoic Adria-Europe plate boundary (Western Alps, Calabria, Corsica). Geochemistry, Geophysics, Geosystems. DOI: 10.1002/2015GC005767
- Manakov, A.V., 2001. Compositional models of the upper mantle beneath the Yakutian kimberlite province. Voronezh: Bulletin of Voronezh University. Geology, no.11, p. 46-54 (in Russian).
- Marakushev, A.A., and Bobrov, A.V., 2005. Problems of primary magmas and the depths of diamondiferous magmatism. Reports RAS. Earth Sciences, v. 403, no. 6. p. 901-904 (in Russian).
- Mitchell, R., and Bergman S., 1991. Petrology of Lamproites. New York&London: Plenum press, 451p.
- Nikitina, L.P., 1994. Reconstruction of thermal conditions in the mantle proceeding from xenoliths found within kimberlites and assessment of kimberlite diamond prospects. Reports RAS. Earth Sciences, v. 336, no. 2, p. 241-244 (in Russian).
- Pearson, D., Canil, D. and Shirey, S., 2003. Mantle samples included in volcanic rocks: xenoliths and diamonds. Treatise on Geochemistry, v. 2, p. 171-276.

Perchuk, A.L., 2003. Petrology and mineral chronometry of

crustal eclogites. PhD thesis in science. Moscow: Moscow State University, 333 pages (in Russian).

- Perchuk, A.L., 2008. Molten inclusions in garnets from diamondiferous gneisses, Erzgebirge, Germany. Reports RAS. Earth Sciences, v. 431, no. 1. p. 95-97 (in Russian).
- Perchuk, A.L., Plechov, P.Yu., Sazonova, L.V., et al., 2015. Foundations of petrology of magmatic and metamorphic processes. Moscow: Moscow State University, 472p (in Russian).
- Perchuk, L.L., 1997. Geothermobarometry and translocations of crystalline rocks in the Earth's crust and upper mantle. Soros Educational Journal, no. 7, p. 64-72 (in Russian).
- Perchuk, L.L., 2005. What can we learn from xenoliths in kimberlites and trappean rocks? – Moscow: Moscow State University. - http://web.ru/db/msg.html?mid =1153763&uri=page4.htm (in Russian).
- Price, S., Russell, J., and Kopylova, M., 2000. Primitive Magma From the Jericho Pipe, N.W.T., Canada: Constraints on Primary Kimberlite Melt Chemistry. J. Petrol., v. 41, no, 6, p. 789-808.
- Rocco, I., Lustrino, M., Zanetti A., et al., 2013. Petrology of ultramafic xenoliths in Cenozoic alkaline rocks of northern Madagascar. Journal of South American Earth Sciences, v. 41, p. 122-139.
- Russell, J., Giordano, D., Kopylova, M., et al., 2006. Transport properties of kimberlite melt. 8th International Kimberlite Conference, Saskatoon, http://www.venuewest.com/81KC/files/00%20zContents.pdf
- Shcherbakov, I.B., 2005. Petrology of the Ukrainian Shield. Lvov: West Ukraine Consulting Center. 366p (in Russian).
- Shevyrev, L.T., Savko, A.D., and Chereshinsky, A.V., 2015. Historical and minerogenic exploration model depicting formation of primary diamondiferous bodies on the Eastern European Platform (EEP). A theoretical foundation for their exploration. Paper I. History of exploration for primary diamond deposits on the Eastern European Platform and relevant results thereof. Voronezh: Bulletin, Voronezh State University. Geological series, no. 1, p. 5-21 (in Russian).
- Shirey, S., Cartigny, P., Frost, D., et al., 2013a. Diamonds and the Geology of the Mantle Carbon. Reviews in Mineralogy & Geochemistry, v. 75, p. 355-421.
- Shirey, S. and Shigley, J. 2013b. Recent Advances in Understanding the Geology of Diamonds. Gems & Gemology, v. 49, no. 4. https://www.gia.edu/gemsgemology/WN13-advances-diamond-geology-shirey
- Shushkanova, A.V., 2007. Experimental studies of sulphidesilicate-carbonate-carbon systems in the context of tracing diamond origin. Thesis for the Ph.D degree in science. Moscow: Moscow State University, 23p(in Russian).

- Shumlyansky, V.A. and Kvasnytsya, V.P., 1992. Platform magmatism and diamond potential in the southwest of the Eastern European Platform. Izvestiya AN SSSR, Geological series, no. 2, p. 17-26 (in Russian).
- Simakov, S.K., 1994. Garnet-orthopyroxene-olivine fugometer for mantle peridotites. Reports RAS,. v. 336, no. 2, p. 245-247 (in Russian).
- Simakov, S.K., 1998. Redox state of the Earth's upper mantle peridotites beneath ancient cratons and its connection with diamond genesis. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 62, p. 1811-1820.
- Simakov, S.K., 2003. Physicochemical conditions promoting formation of diamondiferous parageneses in eclogites. Thesis for PhD in science. Moscow: Moscow State University. 239 pages (in Russian).
- Simakov, S.K., Dubinchuk, V.T., Novikov, M.P., et al., 2008. Formation of diamonds and diamond-like phases from carbonaceous fluids at P-T parameters similar to those in processes underway within the Earth's crust, Reports RAS, v. 421, no. 1, p. 98-100 (in Russian).
- Simakov, S.K. and Nikitina, L.P., 1995. Association between xenoliths' diamond potential and redox conditions in the upper mantle. Geochemistry, no. 2, p. 161-173 (in Russian).
- Slavinsky, V.V., 1994. Bipyroxene barometry of upper mantle rocks. Reports RAS, v. 335, no. 1, p. 91-94 (in Russian).
- Spetsius, Z.V. and Serenko, V.P., 1990. Composition of the continental upper mantle and lower crust beneath the Siberian Platform. Moscow: Nauka, 272p (in Russian).
- Stachel, T., 2001. Diamonds from the asthenosphere and the transition zone. Eur. J. Min., v. 13, p. 883-892.
- Sleep, N. H., 1974. Segregation of magma from a mostly crystalline mesh. Geol. Sos. Amer. Bull., v. 85, no. 8, p. 1225 --1232.
- Taylor, L.A. and Anand, M., 2004. Diamonds: time capsules from the Siberian Mantle. Chemie der Erde, v. 64, p. 1–74.
- Ukhanov, A.V, Ryabchikov, I.D. and Kharkiv, A.D., 1988. Lithospheric mantle beneath the Yakutian kimberlite province. Moscow: Nauka, 285p (in Russian).
- Van Roermund, H. and Drury, M., 1998. Ultra-high pressure (P > 6 GPa) garnet peridotites in Western Norway: Exhumation of mantle rocks from > 185 km depth. Terra Nova, v. 10, no. 6, p. 295–301.
- Zhao, M., Langston, C., Nyblade, A., et al., 1999. Upper mantle velocity structure beneath southern Africa from modeling regional seismic data. J.G.R., v. 104, B3, p. 4783-4794.
- Zhimulev, F.I., 2007. Tectonics and Early Ordovician geodynamic evolution of the Kokchetav UP-UHP metamorphic belt. Thesis for in science. Novosibirsk: IGiM SB RAS, 180 pages (in Russian).

2018 年1月に発生した M7.5 のホンジュラス北部沖地震: そのエネルギーはミシシッピー河谷のニューマドリード地震帯と繋がっている

The January 2018 M7.5 offshore North Honduras earthquake: its possible energy link to the New Madrid Seismic Zone, Mississippi Valley

Dong R. Choi¹, John L. Casey², Bruce Leybourne³ and Giovanni P. Gregori⁴

¹ International Earthquake and Volcano Prediction Center, Canberra dchoi@ievpc.org

² International Earthquake and Volcano Prediction Center, Orlando jcasey@ievpc.org

³ International Earthquake and Volcano Prediction Center, Orlando, leybourneb@ievpc.org, and Institute for Advanced Studies in Climate Change, Colorado, leybourneb@iascc.org

⁴ INSEAN (CNR), formerly IDASC (CNR), Rome, giovanni.gregori@idasc.cnr.it, International Earthquake and Volcano Prediction Center, and Institute for Advanced Studies in Climate Change

(小泉 潔 [訳])

要旨:ホンジュラス北部沖で2018年1月10日に発生したM7.5の巨大地震は,汎世界的な規模をもつ始生代起源の南北 アメリカ超大背斜(NSAS)と東西方向のケイマン断層の接合部で発生した.この地震のエネルギーは,外核からカリブ海下の マントル深部に発達した巨大断裂系を通してもたらされたと考えられる.

地震トモグラフィー画像はカリブ海下 400 ~ 500km の NSAS の軸部に発達した二つの小さなピークを持つ明白な幅 400km の低速度レンズを示す.このレンズは、エネルギー移送チャネルあるいはサージチャネルとしての役割を持つ電磁気的に帯 電した液体とガスに満たされた多孔質帯と考えられる.異常な低速度レンズはまた、NSAS の軸部でマントル最上部の深度 25 ~ 50km のところのニューマドリード地震帯中にも認められる.深部構造の情報のさらなる支持が必要だが、二つの遠隔地 におけるそれらの速度異常レンズが関連していることはあり得ることである.サージチャネルは原生代以降繰り返し再活動して きた.そこでは陥没した軸構造を形成するように、マントルと地殻の組成を変えた.すなわち現在我々が見ているカリブ海ドー ムとミシシッピー河谷である.

外核からのエネルギー放出は太陽の主要な低活動周期の間に劇的に増加することが明確にされている.これは、太陽活動周期No.22がピークを迎え、より長期間の周期(太陽活動11年周期のNo.23・24,おそらくNo.25・26も含む)が始まった 1990年以降急激に増加した地震活動により確認されている.また、地震エネルギーが中央アメリカ-カリブ海地域において 減退しつつある太陽活動周期の期間に北方へ移動したことが発見された.これらの事実の組合せは、西暦1400年以来4回 連続のそれぞれの太陽低活動期に発生した歴史的な破局的ニューマドリード地震をよく説明している.別な太陽低活動期の 到来、あるいは2007年からのエディー低活動期は、1990年、2018年1月の巨大地震に示されているように、特に2007年 以降のカリブ海における地震活動の増加と調和的である.

地球力学・地震活動・火山活動や気候が太陽活動の影響を受ける物理過程が説明される.加えて、物理的解釈は、カリ ブ海とニューマドリード地震地域の位置とエネルギー移送が予想される.

それらのいくつかの理由により,現在の太陽活動休眠期間にニューマドリード地域で大地震の別な周期を合理的に予知することができる. 深部地質 / 地球物理的構造と前兆信号の監視態勢についてのさらなる研究が,急務である.

キーワード:ニューマドリッド地震帯,エネルギー移送,カリブ海,低速度レンズ,南北アメリカ超大背斜,太陽活動周期と休眠

(2018年2月28日提出, 2018年3月8日受理)

1. はじめに

国際地震火山予知センター (IEVPC) は、2012 年の 設立以来、巨大地震を研究してきた. 我々の研究 は、深部地震と浅部地震とが連携していることを示 してきた. それはエネルギー移送概念,あるいは ET 概念の法則 (Grover, 1998) として、Blot (1976) によってすでに確立されたものである. ET 概念は、 強い深発地震の出現に基づいて、数年前に発生す る M6.5 以上の強い浅発地震を予知できる.多くの IEVPC で成功した予知がET 概念の正しさを立証した.

一方,深部地球構造についての我々の研究が,地球 浅部に外核起源のエネルギーを運ぶパイプとしての 役割を演じる深部断裂系の,特に下部マントルでの, 重要な役割を明らかにしてきた.ほとんどすべての 深発地震(300~700km)は深部構造に,特に下部マ ントル(660~700km以深)に,発達している断裂 系と関係している.上部マントルでは,エネルギー の流れが二つの方法で起こっている.すなわち,一 つは傾いた断裂帯に沿った面(主に環太平洋に発達し た和達 - ベニオフ面;例として Choi(2017b)のカム チャッカがある)と,もう一つは多孔質帯(低速度 レンズまたは Meyerhoff et al.(1996)によるサー ジチャネル)に入り,最終的に深部断裂帯(確認さ れた例は, Choi(2017a)のトンガ-ニュージーランド がある)を通って上昇する横方向への移送である.

我々が行ったもう一つの大発見は、太陽周期と地 震頻度との逆相関関係である(Choi and Maslov, 2010). この事実は、ニューマドリード地震帯(図 1・図2)で典型的に示されてきた. すなわち壊滅 的な大地震は1400年以降、太陽活動の低い時期あ るいは最小活動期に4回続けてその時にのみ発生



図1 記録された強い地震と 太陽活動周期. 図は,温度の 代わりとして炭素14を用い た全地球的な気温の変化をた どって. Choi and Casey (2015) より引用. 詳細はCasey et al. (2016)参照のこと.

図2 1811 ~ 1812 年のニュー マドリード地震地図. 基にした 地図はブリタニカ百科事典から 引用 (http://www.britannica. com/EBchecked/topic/1421133/ New-Madrid-earthquakesof-1811-12). Wabash 渓谷地 震帯を加筆してある. 過去の NMSZ 地震,特に歴史に沿って 1811 ~ 1812 年の一連の地震の 日付で示していることに注意. した. 歴史的記録が,世界中至るところで太陽活動の低い時期に地震と火山活動の増加を示している (Choi, 2013b; Choi and Tsunoda, 2011; Casey and Choi, 2017; Casey et al., 2016 ほか多数).

上記のことを念頭に置いて,ニューマドリード地震帯(図2)と関連がある可能性があるので,2018年1月10に発生したホンジュラス北部沖地震の非常に大きな地震(M7.5)に注目した.

両地域とも、もっとも基本的な地球の地背斜構造の 一つ、すなわち南北アメリカ超大背斜 NSAS(図3) に構造的に繋がっている.筆者らは、いろいろな角 度からこの 2018 年 1 月の浅発地震の意味を研究し た.本論では、カリブ海とニューマドリード地震帯 の間を繋ぐエネルギーに焦点を当てて我々の研究結 果を説明する.

すべての前述した証拠は,観察に基づいた客観的推 論から導かれている.観察は事実である.この場 合,誤差範囲あるいはミスについての警告や懸念は ない.さらに,いくつかの合理的な推測が,一連の 過程やメカニズムの物理的解釈を提供することがで きる.それ故,可能性のあるモデルに関する説明が, 解釈の有効性と現象の進化の予測の信頼性を一層支 持している.

2.2018年1月10日のホンジュラス北部沖地震

2018年1月10日のM7.5ホンジュラス北部沖地震は, 1970年以降では,カリブ海で起きた異常に強い地 震だった(図2).アメリカ地質調査所(USGS)の NEICによると,震源はホンジュラスのグレートス ワン島の44km東,発生は2018年1月10日2時51 分51秒(世界時),深度は10kmである.(https:// earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/) カリブ海地域で1970年以降で二番目に強い地震だった.最大のものは2012年の太平洋沿岸でのM7.6 である.人つのM7.0+の地震の内,六つは2007年 あるいはそれ以降に発生した.2007年のものは,現 在の太陽活動極小期あるいはエディー極小期の年に 始まっている(Casey et al., 2016).後で議論する.

地質的に言うと,関係している地震はケイマン海溝 の南壁を形成している東西方向の深部に位置するケ イマン断層と出会う南北アメリカ超大背斜の軸部で 発生した(Choi, 2010, 2013a; Choi and Kubota, 2015; **図4・図5**). ケイマン海溝はヒスパニオラ島に 続く海洋化した地塁構造である(Choi, 2010).

3. カリブ海の深部構造

ニューマドリード地域の地震を検討すると,前者で 明らかにされた地震エネルギーは本論中に記載され ているように,いろいろな見方が後者に由来してい るので,カリブ海下のマントル構造の正確な理解が 不可欠である.カリブ海のマントル構造は,地震ト モグラフィー画像を解析することで理解することが できる.我々の手元にいくつかの有効なトモグラフ ィー画像がある.それらは,Widiyantoro(1997)・ Romanowicz(2003)・van Benthem et al.(2013)で ある.図6参照.

カリブ海は、世界を取り巻く始生代の地背斜系の軸 部を占めている.海は中生代以降に海洋化された ドーム構造を持っている(Choi, 2010).これは第 ー に James(2016, 2018; James et al., 2009)と Pratsch(2008, 2010)と意見が一致している.彼らは またカリブ海の起源は現地性と考えている.これは van Benthem et al.(2013)によって説明されているよ うに、カオスのような潜り込みメカニズムを導入する より、この地域のほとんどの地質的/地球物理的形態 をよく説明するもっとも単純な解釈である(図6).



図3 対蹠的な始生代起源の
 地背斜または全地球的な超大
 背斜(Choi, 2013a; Choi and
 Kubota, 2015). これらの背斜
 は,原生代と顕生代を通じて繰り返し再活動してきた.カリブ
 海・メキシコ湾とミシシッピー
 河谷は、この背斜の軸部に発達している。

カリブ海北部の断面 (C-D 線, 図 6) に示したように, トモグラフィー断面は, 1)2018 年 1 月の地震は内 部に二つの小さなピークを持つ深さ 410 ~ 450km に 発達した顕著な低速度レンズで発生し, 2) 低速度 レンズは背斜軸が走る位置にあることを示してい る. これらの事実は, 2018 年 1 月の地震・地背斜・



図4 2018年1月10日のホンジュラス北部沖地震. それは南北アメリカ超大背斜の軸部とケイマン海溝との接合部で起きた. 2017年と2018年(2月)のM7.0以上の地震を示してある.

410 ~ 450km の低速度レンズと深部ケイマン断層系 とが密接に関係していることを示している. 古代及 び現在の地向斜帯下に低速度層が存在することは, Meyerhoff et al. (1996) で力説されている. すな わち, それらは"サージチャネル", すなわち内部 エネルギー流チャネル, と呼ばれている.



図5 カリブ海ドームの主な造構方向の輪郭. 2018年1月の地震が重ね てある. C-D 断面は Romanowicz (2003) によるトモグラフィー断面. E-F 断面は van Benthem et al. (2013) によるもの(図6参照). A-B 断面は Widiyantoro (1997) によるもの (Choi, 2010参照) でここに示してない. C-D 断面 (Romanowicz, 2003) と E-F 断面 (van Benthem et al., 2013).



図6 カリブ海(左図)と南太平洋(右図)のトモグラフィー画像.van Benthem et al.の断面を簡略化; Co=ココス諸島; Far= ファ ラロン諸島; nLA= 北小アンティル諸島; nGAC= カリブ海北部の大島弧

低速度マントルの北方への浅化

二つのカリブ海断面(図6, 左図)は共に, 液体/ ガスで満たされた多孔質と考えられている(Choi, 2015).低速度マントルが,主に660~700kmと 300~500kmの二つの層準に発達している.南側 の断面(E-F線)は,低速度マントルが良く発達し ており,北側の断面(C-D線)よりさらに深くまで 到達している.ここでは述べないが,Widiyantoro (1997)によるもう一つのトモグラフィー画像がま た,中央カリブ海の深度300~700km辺りに大きな 低速度レンズの存在を示している.

これら三つのトモグラフィー画像は、メキシコ湾から北方へ低速度マントルが浅くなっていくことを明確に示している(図7).この低速度マントルの北方への浅化は、さらに北方へと続くように見える.この主張を確認するためには、メキシコ湾とより浅いミシシッピー河谷のより深部の地球物理データが必要があるが、25~50kmのマントル上部のニューマドリード地震帯における速度/密度断面中に確認

されている (Ervin and McGinnis, 1975;図7).

他地域とカリブ海深部構造の比較

上述したように、トモグラフィー断面はカリブ海の 興味深いマントル構造を明らかにしている.太平洋 におけるほかの地震多発地域、すなわち南西太平洋 (Choi, 2017a)・カムチャッカ (Choi, 2017b) およ び日本列島周辺 (Choi et al., 2017) で普通に観察 される主要な特徴である. すべての地域で, 同様な 速度分布パターンが認められる. すなわち, 700km 下の下部マントルにおける高角高速度帯,660~ 700kmの下部マントル上部の薄い低速度レンズおよ び上部マントルの地震を伴う傾いた高速度帯であ る. 地震があたかも低速度レンズ (珊瑚海~ケルマ デク諸島断面:図6)から生まれているように見える ことに注目せよ.これはまた、日本海とカムチャッ カで見られる (Choi, 2017b; Choi et al., 2017). 有効な情報が我々に言っていることは、外核からマ ントル上部 (660~700km) で部分溶融レンズを生じ ている下部マントルの深部断裂系(高速度マント



図7 北方に薄くなっていくことを示す カリブ海とミシシッピー渓谷の低速度レ ンズ.ミシシッピー渓谷断面では、渓 谷が古生代以前に陥没した背斜状構造 を形成していることを示している.ミ シシッピー湾下で減少した速度と密度 (7.4/3.17)を持つマントルに注目.それ は、現在のミシシッピー河谷を形成した 造構運動の活発な時代にエネルギー移送 チャネルの役割を果たしたことを示して いる. ル)を経て上昇する地震エネルギーのことである. この低速度レンズは世界中に普遍的に観察される (Choi et al., 2017).ほとんどすべての地震は、下 部マントルにおける深部断裂系(線状の高速度帯と して表される)上のこの低速度帯と関連している.

カリブ海下の低速度マントルにおける枝分かれした断裂系

トモグラフィー画像に見られるもう一つの目立った 特徴は、van Benthem(2013)による E-F 断面線(図 6)に見られる下部マントルにある傾いた高速度帯 である。約1200kmの高速度マントルの同様な枝分 かれが Widiyantoroのカリブ海断面(1997)に描か れている。高速度マントルは、すなわちそれらの多 くが断裂帯を示しているか、あるいは断裂帯と繋が り表面方向に開いているとみられる。それらは、液 体またはガスに満たされて多孔質な低速度マントル (Choi, 2017a)と対照的に、乾いてほとんど多孔質 でないマントルの部分と見られる。

深度 700km で横方向に広がり,東部カリブ海方向へ 深くなり,深度約 1200km で枝分かれしている.高 速度マントルのこの東側の枝に沿うエネルギーの流 れが,東部カリブ海とヒスパニオラの地震 (Choi, 2010) および,カリブ海の東部島列の形成に重要だ と考えられる.

同様な断面が、南西太平洋のニューカレドニア-トンガ断面(図6右上図)でSchellart and Spakman (2012)によって提示された.この地域は、 東はケルマデク海溝、西は弧状の海溝と北フィジー 海盆で限られている.ここで再びプレートテクトニ クスモデルがこの地域に対して的外れであり、深部 地球エネルギーを表面に運び、浅発地震や島弧-海 溝構造を生じる枝分かれした深部断裂系により単純 に解釈される. モルッカ海での同様なケース"二重 サブダクション"(Cardwell et al., 1980; Choi, 2005)は,同様なメカニズムで解釈することができる.

4. 太陽活動周期とカリブ海の地震

太陽活動周期と関連する地震エネルギー運動

上席著者 (DRC) が、中央アメリカの地震と火山のエ ネルギーがカリブ海下の外核からもたらされ、海洋 化した地塁構造 - その内の一つが現在ケイマン海溝 (Choi, 2014)を形成している - を通って太平洋岸 に移送されていることを発見した.エネルギーの移 動方向は外核からカリブ海ドームに供給される熱エ ネルギーのレベルによって規制され、太陽活動周期 と逆相関関係にある.すなわち、太陽活動が減退し ているときは、地震と火山群は北方へ移動するが、 活動が活発になると南方へ移動する(図8).

図8に示された地震エネルギーの移送速度は、単な る近似値である.しかし、周期がエディー極小期入 った後に伝播速度が大きく増加したことは注目に値 する.このエネルギー移送周期パターンは、破壊的 なニューマドリード地震がなぜ主な太陽活動極小期 にかぎって起きたのかを説明している.

1990年, 特にカリブ海で 2017 年以降に増加した地 震エネルギー

IEVPC グループの研究 (Choi et al., 2014; Choi and Casey, 2016) は, 1990 年以降,世界中の地震 と火山活動が劇的に増加していることを発見した. それは,太陽活動 11 年周期 (Schwab 周期) No. 22 の ピーク後の減衰期のより長い周期から始まってい る. このより長い周期は,来たるべき周期No. 25 と



図8 中央アメリカ太平 洋海岸における太陽活動 と地震伝播傾向 (Choi, 2014, 新データを加えて ある). データが有効で ない 2005 ~ 2009 年の時 期を除き,太陽活動周期 の減少期に地震が北方 へ移動するが,太陽活 動周期が上昇するとき に南方へ移動する一般 的傾向に注目. 1990年 からの地震活動の急激 な増加は,11年周期の No. 23 とNo. 24 のピークを 結ぶことで得られたより 長い周期の減少期の始ま りと一致している.地 震-火山活動休眠期は, Choi(2010) と Tsunoda et al. (2013), および Choi and Maslov(2010)の"地 核活動段階"から引用.

No. 26 に加えて,現在の主太陽休眠期をカバーする 11 年周期No. 23 とNo. 24 のピークを結びつけること で得られる.この増加傾向は,2007 年以降に加速し, エディー最小活動期または現在の最小活動期の年に 始まっている (Casey et al., 2016).

上述の世界的な傾向は、カリブ海(図9)では、地 震-太陽活動周期の相関によっえwて検証されてい る.図は、カリブ海ドームにおけるM6より大きい 巨大地震について作られた.他地域と調和的に、地 震活動はこの地域で1990~1992年から劇的に増加 した(**表1**にリストされている).

この増加は、2007年以降加速した.このことは次 のような事実で裏付けられる.すなわち、1970年 以降のカリブ海における 11 回の M7.0 以上の地震 の内 8 回が,2007 年あるいはそれ以降に起きた. 2007 年という年は,現在の太陽活動極小期または エディー極小期(図9)が始まった年である(Casey et al.,2016).2009 ~ 2010 年を除いて,M7.0 以 上の地震が2年ごとに起きていることが注目される.

上述のように,我々は現在検討中である.1)太陽 低活動周期期間に地震エネルギーの北方への移動, 2)1990年,特にカリブ海では2007年からの劇的に 増加した地震活動,3)まさに主背斜の軸部で起き た最新の2018年1月のM7.5のホンジュラス北部沖 地震,4)背斜軸の下の低速度レンズまたはサージ チャネルの存在,そして5)背斜軸の下のサージチ ャネルがニューマドリード地域の方へ浅くなること.



図9 1970年以降の太陽活動周期と強い地震.カリブ海地震(下図)が,カリフォルニアと世界中の地震と比較してある.M6.0以上の地震の劇的な増加を示すカリブ海における全体的な傾向は,他地域のものと調和的である.地球の核は1990年から太陽活動の減衰に従って活動的段階に入った.上図はChoi et al.,(2014)を修正した(新データを加えてある).Choi and Maslov(2010)による地震-火山休眠期.Casey et al.(2016)によるエディー最小期.

| M7.0, 1970 - 2018 (Feb), Caribbean | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|----|----------|-----|-------|--------|----------|------------------------------|
| Year | Month | Da | Time UTC | Mag | Lat | Lon | Depth km | Region |
| | | У | | | | | | |
| 2018 | 1 | 10 | 2:51:31 | 7.5 | 17.47 | -83.52 | 10 | NORTH OF HONDURAS |
| 2016 | 11 | 24 | 18:43:48 | 7 | 11.96 | -88.84 | 10.3 | OFF COAST OF CENTRAL AMERICA |
| 2014 | 10 | 14 | 3:51:37 | 7.3 | 12.59 | -88.07 | 63.9 | OFF COAST OF CENTRAL AMERICA |
| 2012 | 9 | 5 | 14:42:07 | 7.6 | 10.02 | -85.39 | 20.7 | COSTA RICA |
| 2012 | 8 | 27 | 4:37:19 | 7.3 | 12.13 | -88.66 | 16 | OFF COAST OF CENTRAL AMERICA |
| 2010 | 1 | 12 | 21:53:10 | 7 | 18.38 | -72.59 | 15 | HAITI REGION |
| 2009 | 5 | 28 | 8:24:48 | 7.3 | 16.81 | -86.24 | 29 | NORTH OF HONDURAS |
| 2007 | 11 | 29 | 19:00:19 | 7.4 | 14.99 | -61.22 | 147.3 | WINDWARD ISLANDS |
| 2001 | 1 | 13 | 17:33:34 | 7.7 | 13 | -88.73 | 82.9 | OFF COAST OF CENTRAL AMERICA |
| 1992 | 10 | 18 | 15:11:59 | 7.2 | 7.15 | -76.84 | 10 | NORTHERN COLOMBIA |
| 1991 | 4 | 22 | 21:56:51 | 7.3 | 9.7 | -83.07 | 4 | COSTA RICA |

表1 1970~2018年(2月)のカリブ海ドームにおけるM7.0以上の地震

これらの事実は、すでに始まったこのサージチャネ ルを通る活発なエネルギーの流れを示している.

上記の事実に基づく根拠を基に,現在の太陽活動極 小期あるいはエディー極小期の期間,おそらく3~ 5年以内あるいは2021~2023年の間に大地震のも う一つの周期を予想することは合理的である.

5. 物理的解釈:地球深部過程

研究地域のトモグラフィー画像に示されているよう に、もっとも興味ある地質/地球物理的特徴は、カリ ブ海の深部構造である.この章では、我々は、その 形成の電気的性質 - "ウニのトゲ"(Gregori, 2002; 2009)-に焦点を当てて、物理的解釈を簡潔に述べよう. Nevanlinna 法則*グラフに関してより良く表すこと ができる地磁気場のいわゆるエネルギースペクト ル(例えば Gregori, 2002 または 2009 など)によ り,存在するはずの電流を考える.すなわち,核-マントル境界(CMB)に強い電流が流れていることを 我々は知っている.小さな突起が核-マントル境界 (CMB)で生じると,ハミルトン原理**により電流は突 起の先端に集中する.それ故,ジュール熱により,電 流が電気溶接機の先端のように上方に伝播することが できる[これが電気ハンダゴテ(ESI)メカニズムであ る].この過程が,"ウニのトゲ"を生じる(図 10a).

*訳者注 Nevanlinna 法則:次の文献参照のこと. Gregori,
 G. P. (2013) 大陸 / 惑星スケールの地殻激動, グローバルテクトニクスの新概念, 1, 2, 29-47.

** 訳者注 ハミルトン原理:古典力学において質点,また



図10 (a) [左]核-マントル境界(CMB)と完全な球対称性に関する小さな突起. Hamilton 原理により,電流はそのような突起の先端に集中する. そこでは,比較的大量のジュール熱を開放している. 熱伝導率が非常に低いので,このような局地的な加熱は伝播することができない. それ故,局地的に温度が上昇し,また局地的な電気伝導度 σ が上がる. したがって,Hamilton 原理により,付加的かつ益々増加する電流が発生する. この過程が自己増幅である. その結果は,メカニズムがひと塊の氷に押し込まれる"電気ハンダゴテ"(ESI)の場合に非常によく似ているように見えることである. このような伝播は,むしろ厳密には伝導電荷(電子)のみではなく,物質の輸送(マグマでもイオンなどでもない)を厳密に意味しないことを強調すべきである. この過程は,熱力学と言うよりは,むしろ単なる電気力学である. Gregori (1993, 2002)より.

(b) [右]カウリングダイナモだけでなく、プラズマ物理により、ウニのトゲの一方の側に流れる電流を発生する自己視準が起こる.

は質点系の運動を定める法則, すなわち運動法則は質量× 加速度=力というニュートンの第2法則であり, これを質 点の座標に関する2階微分方程式と考えて一定の初期条件 のもとに解くならば質点の軌道が定められる. このように 運動方程式そのものが運動法則をもっとも直接に表すので あるが, 19世紀になって, これを別な形に述べることによ ってより統一的な原理にまとめる試みが次々と現れ, それ を軸としてニュートン力学は解析力学にまとめられるよう になった(世界大百科事典 第2版).

ウニのトゲは,自己集束効果を経験する. 次の二つの 効果によって小さくなる. すなわち,カウリングダイナ モ(図10b;付録参照)によるものと,古典的プラズマ 物理-いわゆる沿磁力線電流***(Scott et al., 2015)-により起きるものと同様に,証明(ここでは示さない)の できる過程によるものとである.

*** 訳者注 沿磁力線電流:磁力線に沿って流れる磁気圏電 流のこと.(http://www.edu.yamaguchi-u.ac.jp/~mis/wwwpage/mis/kaisetu/bgt2004/bgt-08.pdf#search=%27%E6%B2% BF%E7%A3%81%E5%8A%9B%E7%B7%9A%E9%9B%BB%E6%B5%81%27)

異なったトゲが,一つの固有のトゲと合体する傾向 があることを示すことができる.ここでは詳細につ いて述べない.解釈は,カウリングダイナモによる か,あるいはまた沿磁力線電流に伴う前述の類似点 によるものかのどちらかに由来する.

いずれにしても、最終的な結果はレオロジーの観点から数学的な便宜のため、地球は大まかにはタマネギのような同心円状の層で表わされ、電気現象の観点からはむしろ膨大な数のウニのトゲと交叉している.

より多くのトゲと交叉した地域が熱的に広がってい る.それ故,巨大な隆起が地球表面に生じる.深部 地質構造とウニのトゲの位置との比較が,ウニのト ゲがしばしば二つあるいはそれ以上の深部の断層帯 あるいは背斜の接合部に位置していることを示して いる.これらの事実は,カリブ海ドーム構造とニュ ーマドリード地震帯の形成を説明している.

本論の主なテーマについて続けると、内部エネル ギーの物理についてさらなる議論はここでは取り 上げない. 読者は,詳細については Gregori (2002, 2009, 2014, 2015) および Gregori and Dong1996) を参照してもらいたい.

しかし、ニューマドリード地震活動に関する限り、 2、3の結論が強調されている.理論的解釈は、カリ ブ海とニューマドリード地域を関連づけている.理 論的解釈は図4~図7から予想される移送と一致し ている.健全な物理的解釈では、全地球的な地球力 学と火山活動の太陽活動周期による調整が存在して いる(図1・図8・図9).現在、太陽活動周期によ って調整される内部エネルギーの異常な大量放出が 進行中であり、気候変動に明らかな影響を与えてい る.しかしながら、内部エネルギー量は枯渇し-エ ネルギー貯蔵の再充電を待っている間に-、世界中 の温度の比較的急激で大きな下降が起こる可能性が あるはずである.これらの周期的現象が地球の歴史 を通じて何回も起こった.しかしながら、人間の時 間的スケールでは比較的遅いが、地質的スケールで は速い現在の地震の発生時期についての的確な評価 をすることは不可能である.

いくつかの健全な理由がすべての戦術のシナリオを 支持している.それ故,ニューマドリード地震活動 の解釈は、単純なアカデミックな課題ではない.む しろ、事実のいくつかの健全な問題の現実的な考察 によっている.

6. 結論

本論では、カリブ海からその北部のニューマドリー ド地震帯を繋ぐ深部地質構造について科学的背景を 示した.次のような点がここでは示されている.

- 1)2018年1月に発生したホンジュラス北部沖の M7.5の最新の巨大地震が、地球のもっとも基本 的な地背斜構造である南北方向のアメリカ超大背 斜と東西方向のケイマン深部断層の接合部に発生 した。
- 2) 地震は、液体とガスに満たされていると見られる深度400~500kmの主な低速度レンズの上で発生した。それはエネルギー移送チャネルあるいはサージチャネルである。
- 3)低速度レンズは北方のメキシコ湾方向へ浅くなり、典型的な低速度レンズがマントル上部に発達しているニューマドリード地震帯へ延びているように見える。
- 4) 地震活動は1990年,特に2007年以降に劇的に 増加した.前者は一つの系列のより長い太陽活 動の始まった年で,後者は現在の太陽活動極小 期あるいはエディー極小期の始まった年である ので,それらの年は意味がある.
- 5) 中央アメリカ地震と太陽活動周期を比べると, 太陽活動の衰退する期間には北方へ,上昇する 期間には南方への地震エネルギー移送を示して いる.
- 6)上述の事実は、最新4回の太陽活動極小期にだけ 起きた破壊的ニューマドリード地震を説明している.
- 7)現在進行中の太陽活動極小期のニューマドリー ド地震帯に、もう一つの系列の主要な地震を予 想する強い科学的的根拠がある.
- 8) 仮説的な解釈が"ウニのトゲ"モデルによって カリブ海の形成を説明することを目標にした惑 星の造構的シナリオが,提案されている.

謝辞:筆者はレビューと激励について Keith James に 心から感謝する.

文 献

- Blot, C., 1976. Volcanisme et sismicité dans les arcs insulaires. Prévision de ces phénomènes. Géophysique, v. 13, Orstom, Paris, 206p.
- Cardwell, R.K., Isacks, B.I. and Karig, D.E., 1980. The spatial distribution of earthquakes, focal mechanism solutions, and subducted lithosphere in the Philippine and northeastern Indonesian Islands. In, Hayes, D.R., ed. "The tectonic and geological evolution of Southeast Asian Sea and Islands". American Geophysical Union, Geophysical Monograph, v. 23, p. 1-35.
- Casey, J.L., 2008. The existence of 'relational cycles' of solar activity on a multi-decadal to centennial scale, as significant models of climate change on Earth. Space and Science Research Center, Research Report 1-2008 – The RC Theory. p. 1-8.
- Casey, J.L., 2010. Correlation of solar activity minimums and large magnitude geophysical events. Space and Science Research Center, Research Report 1-2010 (Preliminary), p. 1-5.
- Casey, J.L., 2012. Cold Sun. Trafford Publishing, 167p.
- Casey, J.L., 2014. Dark winter: How the Sun is causing a 30-year cold spell. Humanix Books. 164p. www.Amazon.com.
- Casey, J.L., Choi, D.R., Tsunoda, F. and Humlum, O., 2016. Upheaval! Why catastrophic earthquakes will soon strike the United States. Trafford Publishing, USA. ISBN: 978-49077-903-4.
- Choi, D.R., 2005. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones: A new interpretation of the Wadati-Benioff zone. Boll. Soc. Geol. It., Vol. Spec. no. 5, p. 79-118.
- Choi, D.R., 2010. The January 2010 Haiti seismic disaster viewed from the perspective of the energy transmigration concept and block tectonics. NCGT Newsletter, v. 54, p. 36-44.
- Choi, D.R., 2013a. An Archean geanticline stretching from the South Pacific to Siberia. NCGT Journal, v. 1, no. 3, p. 45-55.
- Choi, D.R., 2013b. Earthquake/volcanic activities and solar cycles. The Global Climate Status Report. Edition 3–2013, September, p. 10-19. Space and Science Research Corporation. Orlando.
- Choi, D.R., 2014. Seismo-volcanic energy propagation trends in the Central America and their relationship to solar cycles. NCGT Journal, v. 2, no. 1, p. 19-28.
- Choi, D.R., 2017a. Low velocity lenses at the top of lower mantle and a new earthquake model for the Fiji-Tonga- New Zealand region. NCGT Journal, v. 5, no. 2, p. 244-254.
- Choi, D.R., 2017b. The great 17 July 2017 offshore Kamchatka earthquake, its link to deep energy source, and geological significance. NCGT Journal, v. 5, no. 3, p. 379-390.
- Choi, D.R. and Casey, J.L., 2015. New Madrid Seismic Zone, central USA: The great 1811-12 earthquakes, their relationship to solar cycles, and tectonic settings. The Global Climate

Status Report, 1-2015, p. 16-29.

- Choi, D.R. and Casey, J., 2016. Great deep earthquakes and solar cycles. NCGT Journal, v. 4, no. 4, p. 582-595.
- Choi, D.R., Casey, J., Maslov, L. and Tsunoda, F., 2014. Global increase in seismic and magmatic activities since 1990 and their relation to solar cycles. The Global Climate Status Report (GCSR), Edition 2-2014. Space and Science Research Corporation, p. 7-19.
- Choi, D.R. and Kubota, Y., 2015. North-South American Super Anticline. NCGT Journal, v. 3, no. 3, p. 367-377. Choi, D.R. and Maslov, L., 2010. Earthquakes and solar activity cycles. NCGT Newsletter, no. 54, p. 36-44.
- Choi, D.R. and Tsunoda, F., 2011. Volcanic and seismic activities during the solar hibernation periods. NCGT Newsletter, no.61, p. 78-87.
- Choi, D.R., Tsunoda, F. and Kawabe, T., 2017. Thermal structure of the Earth's mantle: Part 1. Pacific Ocean Sector. NCGT Journal, v. 5, no. 4, p. 512-521.
- Choi, D.R., Tsunoda, F. and Maslov, L., 2014. Seismo-volcanic energy propagation trends in the Aleutian Islands and North America. NCGT Journal, v. 2, no. 2, p. 13-22.
- Ervin, P. and McGinnis, L.D., 1975. Reelfoot rift: reactivated precursor to the Mississippi embayment. Geol. Soc. America Bull., v. 86, no. 9, p. 1287-1295.
- Foulger, G.R., Panza, G.F., Artemieva, I.M., Gaslow, I.D., Cammarano, F., Evan, JR., Hamilton, W.R., Julian, B.R., Lustrino, M., Thybo, H. and Yanovskaya, T.B., 2013. Caveats on tomographic images. Terra Nova, v. 25, no. 4, p. 259-281.
- Gregori, G.P., 2002. Galaxy Sun Earth relations. The origin of the magnetic field and of the endogenous energy of the Earth, with implications for volcanism, geodynamics and climate control, and related items of concern for stars, planets, satellites, and other planetary objects. A discussion in a prologue and two parts. Beiträge zur Geschichte der Geophysik und Kosmischen Physik, Band 3, Heft 3, 471 pp. [http://www.sme-ae.it/ "letteratura" Galaxy Sun Earth relations].
- Gregori, G.P., 2009. The Earth's interior Myth and science. NCGT Newsletter, no. 53, p. 57-75.
- Gregori, G.P., 2014. Climate and the atmospheric electrical circuit: the electromagnetic coupling between solar wind and Earth. NCGT Journal, v. 2, no. 1, p. 99-112.
- Gregori, G.P., 2015. Migration of foreshocks and/or volcanic eruptions. The "Blot's migration Law". NCGT Journal, v. 3, no. 2, p. 233-239.
- Gregori, G.P. and Dong, W.-J., 1996. The correlation between the geomagnetic field reversals, the Hawaiian volcanism and the motion of the Pacific plate. Annali di Geofisica, v. 39, no. 1, p. 49-65.
- Grover, J., 1998. Volcanic eruptions and great earthquakes Advanced warning techniques to master the deadly science. Copy-right Publishing Co., Pty Ltd., Brisbane. 272p.
- James, K., 2016. Middle America: Intra-continental extension

along ancient structures. NCGT Journal, v. 4, no. 3, p. 518-521.

- James, K., 2018. Not written in stone. AAPG Explorer, February 2018, p. 18-19 & 22-23.
- James, K., Lorente, M. and Pindell, J. (eds.), 2009. The origin and evolution of the Caribbean plate. Geol. Soc. London Spec. Pub. 328, ISBN978-1-86239-288-5.
- Jatskevich, B.A. (ed.), 2000. Geological Map of the World. 1:15,000,000 scale. Ministry of Natural Resources of Russian Federation, RAS.
- Johnston, A.C. and Schweig, E.S., 1996. The enigma of the New Madrid Earthquakes of 1811-1812. Anna. Rev. Planet. Sci., v. 24, p. 339-384.
- Judd, A.G. and M. Hovland, 2007. Submarine fluid flow, the impact on geology, biology, and the marine environment. 475p., Cambridge University Press.
- Korhonen, J.V., Fairhead, J.D., Hamoudi, M, Hemant, K., Lesur, V., Mandea, M., Maus, S., Purucker, M., Ravat, D., Sazonova, T. and Thebault, E., 2007. Magnetic anomaly map of the World (and associated DVD), Scale, 1:50,000,000, 1st edition, Commission for the Geological Map of the World, Paris, France.
- Kosygin, Yu.A., Basharin, A.K., Berzin, N.A., Borukayev, Ch.B., Matveyevskaya, A.L., Parfyonov, L.M., Chikov, B.M. and Schmidt, E.K., 1970. Structural and Material Complexes of the World. 1:15,000,000 scale. Compiled by Laboratory of Geotectonics, Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch, Academy of Science of USSR.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-Kaye, Bhat, M.I., Smoot, N.C., Choi, D.R. and Meyerhoff-Hull, D. (ed.), 1996. Surge tectonics: a new hypothesis of global geodynamics. Kluwer Academic Publishers, 323p.
- Nuttli, O.W., 1987. The effects of earthquakes in the central United States. Rep. for Central US Earthq. Consort. Memphis TN: Fed. Emerg. Manage. Agency, 33p.

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

47, p. 4.

- Pratsch, J.C., 2010. Gulf of Mexico Basin a collapsed Late Carboniferous mantle dome? NCGT Newsletter, no. 55, p. 74-76.
- Roger, J.D. and Karadeniz, D., 2010. Overview of the seismic threat in the central United States. Fifth International Conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics. Symposium in Honor of Prof. I.M. Idriss. May 24-29, 2010. San Diego, California, SOAP 9, p. 1-15.
- Romanowicz, B., 2003. Global mantle tomography: progress status in the past 10 years. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., v. 31, p. 303-328. doi:10,1146/annurev. earth.31.091602.113555.
- Schellart, W.R. and Spakman, W., 2012. Mantle constraints on the plate tectonic evolution of the Tonga-Kermadec-Hikurangi subduction zone and the South Fiji Basin Region. Australian Journal of Earth Sciences: An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia, v. 59, no. 6, p. 933-952.
- Scott, D.E., 2015. Birkeland currents: a force-free field-aligned model. Progress Phys., v. 11, no. 2, p. 167-179. Tsunoda, F., Dong R. Choi, Kawabe, T., 2013. Thermal energy transmigration and fluctuation. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 65-80.
- Tukey, J.W., 1977. Exploratory data analysis. 688p., Addison-Wesley Publ. Co., Reading. Massachusetts, etc.
- van Benthem, S., Govers, R., Spakman, W. and Rinus Wortel, R., 2013. Tectonic evolution and mantle structure of the Caribbean. Jour. Geophys. Research, Solid Earth, v. 118, p. 3019-3036. doi: 10.1002/jgrb.50235, 2013.
- van der Hilst, R.D., 1995. Complex morphology of subducted lithosphere in the mantle beneath the Tonga Trench. Nature, v. 374, p. 154-157.
- Widiyantoro, S., 1997. Studies of seismic tomography on regional and global scale. Ph.D. Thesis, Australian National University, Canberra, Australia.

付録ーカウリングダイナモ

2,3の歴史的メモにより手短に示されたカウリング 定理についての古い古典的議論について記憶を刺激 する.

1919 ~ 1920 年 に, Larmor^{****} は太陽の磁場Bの Babcock^{*****} による発見に続いて, それぞれの恒星 の内部にダイナモの存在を予想した. 強烈な内部熱 が強くイオン化された媒質の大規模な動きを示し ている. 現在, これは MHD^{*****} 過程と呼ばれている. すなわち, このような方法で熱エネルギーは運動エ ネルギーを電磁気エネルギーに変換する強力なダイ ナモ過程を提供している.

**** 訳者注 ジョゼフ・ラーモア (Joseph Larmor, 1857年7月11日~1942年5月19日,アイルランド出身の物理学者,数学者)という人物(ウィキペディア)のことか.ウィキペディアによると、ラーモア反磁性とは反磁性のひとつであり、古典的には原子に磁場をかけたときに、電子がレンツの法則に従い原子核のまわりでラーモア運動とよばれるサイクロトロン運動をする(より正確には、元の軌道半径は変わらずに角周波数が増える)ことによって生じる反磁性である.1905年にポール・ランジュバンによって理論的に求められた.このような電子の運動はジョセフ・ラーモアにより研究されたため、ラーモア反



磁性とよばれる.とある.

***** 訳者注 Babcock という人物については不明.

****** 訳 者 注 磁 気 流 体 力 学. 磁 性 流 体 力 学 (magnetohydrodynamics) とも呼ばれる. 電導性の流体を 扱うように拡張された流体力学. 電磁流体力学とも呼ば れ, またしばしば magneto-hydro-dynamics の頭文字をと って MHD と称せられる (ウィキペディア).

1934年に,カウリングはこの有名な定理を示した. 完全な円筒対称性を持っていると,物理系はダイナ モを自立し得ないと主張した.この定理は,すべて の太陽物理学者にとって深刻な困難をもたらし,ま た結局のところ厳しい議論があった.いくつかの証 明が提案されたが,証明が厳密には正確でないと厳 然と主張された.この論争は,本質的に今日までほ とんど解決されていない.

1953年に、プラズマに関する Chandrasekhar-Fermi のビリアル定理 ******* が公表された.内部エネルギ ーの供給源ではないイオン化された媒質,例えば"プ ラズマ"を考え、内部力学によって特徴づけられる と仮定する.この定理は、この物理系が自己充足型 ではあり得ないことを示している.すなわち、"磁 気瓶"はいくらか限定された体積の内側にプラズマ を制約するはずで自然発生し得ない.むしろ、シス テムはできる限り拡張するはずである.すなわち、 ダイナモは自己充足型のプラズマに適した"磁気瓶" を生じる可能性はない.

******* 訳者注 ビリアル定理. 自己重力系のビリアル定理 とは、重力相互作用する多粒子系の長時間平均した運動 エネルギーが、長時間平均した重力ポテンシャルエネ ルギーの(絶対値の)半分に等しい、というものであ る. (http://tpweb2.phys.konan-u.ac.jp/~keisan_butsuri/keisan_ butsuri/pdf/viria.)

2002年にほとんど意識せず,論争の解答が,"一般化されたカウリング定理"について発見された (Gregori, 2002). それは次のように簡潔に説明される(ここでは示さないが,公式な証明は,すべて の可能性のある事例史の非常に長い解析しかない). 次のように説明することができる.ある体積内のプ 図11 (a) 単なる極方向 B と単なるドーナツ状の流れ jの模式図.(b) 同様に単なるドーナツ状の B と単な る極方向 j. 一般化されたカウリング定理は,安定し た形状(b) とは異なり,形状(a) は不安定な平衡状態 であることが分かる.しかしながら,完全な円筒状対 称の場合,形状(b) により生じた B はゼロエネルギー である. Gregori (2002) による.

ラズマと最終的に内部エネルギーの供給源を持って いると考える.通例,このシステムは確実に電磁場 を生じる.すなわち,いずれの場合でも,図11に 示す2つの可能なトポロジー的な配置のいずれか一 つを提示することができるのはダイナモである.

ドーナツ型のEと極方向のBの場合(図11a)は, 不安定であろうとも平衡状態を示すことを近似なし で十分厳密に示すことがでる.一方,ドーナツ型の Bと極方向のEの場合(図11b)は,安定な平衡状 態を表している.したがって,観測されるすべての ダイナモはドーナツ型のBと極方向のEを生成する はずである.

しかしながら、系が完全に円筒対称を有する場合、 生成された場は、ゼロエネルギーを持っていること を示している.すなわち、もともとのカウリング定 理に、それ故正当性を与えているダイナモは作動す ることができない.

ドーナツ型の E と極方向の B を生じるダイナモは, "カウリングダイナモ"と手短に呼ばれている.

カウリングダイナモは、宇宙的で至るところに存在 する. どこでもいくつもの異なった空間的スケール に適用できる. 顕微鏡的スケールでは、水分凝縮と 降水が正当であることを示すことができる. 中間的 スケールでは、火花放電または雷放電のいずれか のミクロの物理を説明する. より大きなスケール では、雲内部の対流が電離圏の静電気的帯電を決 めることを示し、猛烈な対流の場合は TGFs(地球 のッ線フラッシュ)を生じる "暴走崩壊(runaway breakdown*******)"(RB) 過程を引き起こすのに必要 ないわゆる "シード E"を与える. また太陽風内部 で自己視準と銀河系内部あるいは超銀河集団内部の 恒星のフィラメント状構造を説明している. 詳細は ここでは述べない.

********* 訳者注 暴走崩壞(runaway breakdown) 1992年 にアレックス=グレビッチによって提案された雷 の 理 論(Runaway breakdown is a theory of lightening initiation proposed by Alex Gurevich in 1992: Wikipedia).

太平洋海盆の海台と海膨の配置はメガトレンドの交点に依存している? Is the placement of Pacific basin oceanic plateaus and rises dependent upon megatrend intersections?

N. Christian Smoot 6460 Falling Water Lane, Hoschton, Georgia 30548 USA christiansmoot532@gmail.com

(杉山 明・久保田喜裕[訳])

要旨:北部海洋盆の詳細な水深測量は N-S 方向の断裂帯の存在を明らかにした.衛星高度データとの比較から,これらの トレンドが南半球のような海底地形図の乏しい地域にも続いていることが認められた.海盆規模のリニアメントの綿密な調査に より,多くの海台と海膨は,太平洋海盆内の N-S 方向のリニアメントと E-W 方向のリニアメントが直交する地点に位置するよう に見える.断裂帯と海山列の組合せであるこれらのリニアメントはメガトレンドと名付けられている.海台の多くは大陸起源でも あり,その後の火山活動の重複を含む漏出性断裂の活動により変質を受けている.その基盤は採取されていない. キーワード:断裂帯,海山列,メガトレンド,直交,海台,海膨

(2018年1月9日投稿, 2018年3月23日受理)

発見までの個人的前置き

私は合衆国海軍海洋研究所(NAVOCEANO)で,海洋 測量計画(OSP)の水深測量部門に勤めていた.私 が1970年代の後半にOSP長官のJohn McDonnelか ら与えられた最初の仕事は,機密扱いのマルチビー ム音響測深機*で測量されたギヨーの海底地形図を 公表することであった.私が海にいない間,この進 行中のプロジェクトはその地形に関してずっと続 き,膨大な情報の山をもたらした.当時,それは世 界で唯一のマルチビーム海底地形図であったから, 仲間内では難なく受け入れられた.

*マルチビーム音響測深機 (multi-beam echo sounder):多 くの送波器からビーム幅の狭い音波を発振・走査するこ とにより、一定幅の海底を同時に測深できるようにしたシ ステム、スワス・マッピング・システム (swath mapping system) ともいう.

北西太平洋のマイケルソン(Michelson)海嶺を調 査している間に,私は,やや大きなNNW-SSE方向の 断層に気づいた.私は,これを,近い将来の自分の 共同研究者にちなんでハフナー(Haffner)断層と 名付けることにした.HIGのPatty Fryerが海軍研 究所(ONR)との契約で地下室にいた.私はこの地 形を彼女に見せ,彼女はその方向に伸びる断層を見 て驚いたようだった.

私が次に見せたのは1982年と1983年の間であった. 私は北東太平洋のいくつかの断裂帯の OSP 測量で上 級科学者だった.我々は断裂帯の軸に沿って並ぶ大 小多数の海山を発見した.実際,我々はその火口に T-5 XBT*を下した.別な調査では,我々はマレー (Murray),サーベイヤー (Surveyor),メンドシノ (Mendocino)などの断裂帯の西方延長上で全体をカ バーするデータを収集した.それらは中部太平洋海 山群に向かい,そこを通り抜け,マーカス (Marcus)・ ウェーク (Wake) 海山群に向かっていた.

* T-5 XBT:投下式水温水深計(XBT)のうちで観測深度が 最も深い機種.

会議の1つで,エンペラー(Emperor)トラフは NAVOの海底地形図について若干の関心を引いた. その地形はしっくりしなかったので,私はAllen Lowrieにちょっと助けを求めた.我々は共著で NNW-SSE方向の断裂に関する論文(1985)を書き, その中でそれが N-S方向の断裂であるハフナー断層 につながるとした.

Rodey Batiza が ONR と契約してやってきた.彼は それらの断裂がこれまでに漏出したか,それとも静 穏だったかと尋ねた.数年前に言及した測量データ は,漏出が事実であることを示した.結果として, 我々はLowrie と共著で,漏出性断裂*に関する論 文を公表した.明らかに,これはこの集団における やや古い論争を解決した.

* 漏出性断裂(leaky fracture):マグマやガスの噴出を伴 う断裂という意味で使っているようである.

ギョー / 海山データベースは増加し続けていたの で、公表するにつれて断裂帯が邪魔になり続けた. 1989 年までに HIG/NSF の Dave Epp が、北大西洋の 海山の数と規模を調査するために、別の ONR との契 約でやってきた.私はその地域のマルチビームにも とづくすべての海図を縮小し、いわゆる"スーパー チャート"に編集した.その作業で約 900 の海山が 見出され、その多くは断裂帯の直接の延長上に位置 づけられた.この結果は Nature に発表された.こ の時までは、その海底地形図の妥当性に関しては疑 間がもたれていた.それは OSP と契約していた多く の研究者には理解されていたので、このような躊躇 の理由は何もなかった.

それにもかかわらず,おそらく海洋底に関する従来 の考えに一致しない新しい情報であるという理由 で、多くの学究的な研究者は海軍のデータに懐疑 的になっていた. ウッズホール (Woods Hole) の Brian Tucholke がケーン(Kane) 断裂帯を調査す るために ONR との契約に参加した. 彼は KFZ があ る種のサルウェグ*1であると判断した. スーパー チャートはそれとはやや異なるように見えた.興 味深いことに、断裂は蛇行し、行き止まり、始ま り, 絡み合い, 様々な形態をとっていた. ケーン断 裂帯と同様,オセアノグラファー (Oceanographe) 断裂帯^{*2}とロマンシェ (Romanche) 断裂帯もサル ウェグの集合体のように見えた. 大部分はトランス フォーム断層の末端に接していたが、それらは肉眼 形態としては古典的な定義と一致しなかった. それ らは最も抵抗の少ない経路に従っているように見え た. それらは、また、ブラード適合*3にも反して いた. 事実、ニューイングランド海山群*4は、そ れ自体が興味深い両端が陸上に向かうオセアノグラ ファー断裂帯の西方延長のように見える. Geology が、同じスーパーチャートからの断裂谷に関する追 加論文を公表した.

- *1 サルウェグ (thalweg): 凹線, 谷線
- *² オセアノグラファー断裂帯 (Oceanographer FZ.):大西 洋中央海嶺を N35°付近で横断する断裂帯 (図4参照).
- *³ ブラード適合 (Bullard fit):イギリスの地球物理学者の
 E. Bullard らが 1965 年にコンピュータを使って水深 900m
 で大西洋両岸の大陸を接合させたことを指すと思われる.
- *⁴ ニューイングランド海山群 (New England Seamounts): 北大西洋のN35°-40°, W55°-65°付近にNW-SE方向で連な る海山群 (または海山列).

当時は, 誰もがプレートテクトニクスの考えに従っ ているように思われたので, 断裂帯は海洋底が拡大 する方向を示すという定義が最も一般的であるよう に見えた.

断裂帯:それを境に<u>リソスフェア</u>が年代と水深をともに突然変える 海底の線状の地形.大部分の断裂帯は海嶺を横断し,海嶺で分岐す る2枚のリソスフェア<u>プレート</u>の回転の極</u>からの距離に応じた曲率 半径の円である.多くの断裂帯は深海盆をも封じ込めている(2017 年版*A Dictionary of Earth Science*).プレートテクトニクスの文脈では, 大洋中央海嶺に直交し,それを隔離する顕著な割れ目や断層.

私に太平洋の断裂群の扇状パターンを示した(図1; Meyerhoff and Mayerhoff, 1972) Auther Meyerhoff との1994年の思いがけない出会いで,彼はゲームに 戻るよう私を説得した.私は太平洋プレート上の主 要なトレンドのサンプルをAGUの西太平洋会議に提 示した.その図は,主として1970年代のWBG(世界 測深グループ)による作業にもとづいたものであっ た(図2)会議の最終日の最後のプレゼンテーショ ンの1つだったので,それは誰からも反応がなかっ た.しかし,それは,私がプレートテクトニクスの 枠外で考え始めた自分のすべての研究の最も予言的 なものであることを証明するものであった.

OSP の重力部門は GEOSAT トレンドのハイパスフィ ルター化されたデータベースを提供した. このデー タベースにより, 我々は 72[℃] と 72[℃] の間の海洋構 造トレンドに対し, まだ試みられたことのないアク セスをすることになった.

1995年に、北太平洋を横断するチヌークトラフ (Chinook Trough) がメガトレンドというアイデア に信頼性を与えた.それは、北大西洋で、SASS に もとづいたスーパーチャートのトレンドと GEOSAT のトレンドを比較することを促した.Meyerhoff は、 すでに Bill Haxby (1987)の SEASAT データを WBG のトレンドと比較していたので、我々はそれをさら に新しいデータで更新した.その結果は、大規模な 地形に関連したどのような肉眼形態研究にとって も、我々が手中にしていた海盆の構造トレンドが非 常に正確であることを明らかにした.

1997年までに、私は、ギヨーからサージテクトニ クスの枠組みにあるメガトレンドへと研究の焦点を 完全に移した.太平洋を横断するメンドシノ断裂 帯に関する論文(1997年のKingとの共著)、世界 を取り巻く渦巻構造^{*1}地帯に関する論文(1997年



図1. すべての断裂帯がどのように西太平洋へ収束しているか を示す WBG 図にもとづいた東太平洋海盆の図 (Meyerhoff and Meyerhoff, 1972). これは、プレートテクトニク仮説の拘束が物 理的に不可能であることを思わせ、その仮説が提唱された直後に 注目された.



図2. 部分的にマルチビーム測深データと WBG 図にもとづいたプレート全体にわたるメ ガトレンドを示す最初の試みのランベルト等 積投影図.これはそれ自身,意外な事実であっ た. この投影は方向性を持ったデータを示す ために用いられた.

の Leybourne との共著),そして粉ひき臼に挽かれ ようとしている直角交差*²に関する論文などであ る.我々は海軍技術協会の Stennis Space Center で会議をまとめた.Leybourne と私が SASS^{*3}の海 底地形図を重ねた GEOSAT のトレンドの大きな模型 を示したところ,技術者たちはそれを見て興奮し た.その会議の議事録中の小論文は,最終的には NAVOCEANO GEOSAT のトレンドのすべてを公表した.

- *1 渦巻構造 (voltex structure):特徴的な構造で囲まれた 直径 200 ~ 1,000kmの円形ないし楕円形の凹地.パノニ ア盆地,エーゲ海,ルート砂漠凹地などが典型 (Meyerhoff et al., 1992).
- *² 粉ひき臼に挽かれようとしている直角交差: "orthogonal intersection fed to grist mill"の訳であるが,具体 的にどのような構造を指すのか不明.
- *³ SASS: 合衆国海軍海洋研究所 (NAVOCEANO) が保有するマ ルチビーム測深機を中心とした音波探査アレイシステム (Sonar Array Survey System)の略称.

私は自分の論文のためにマーカス・ウェークギョー の地形学的研究を行ってきたので、その地域にはい くらかの興味と親しみを持っていた. NAVOCEANO は その結果の技術レポート(1991)を公表した.海山 の大部分は白亜紀の大規模な溢流火山活動の間に形 成されたということで、それらは本質的に同時代で あった.種々の論文がダーウィン海膨と呼ばれる地 形に関して公表されてきたが、それは偶然にも同じ 地域に存在した.ギョーの高さを測定し、プロット することにより、私は等深線を描くことができた. この作業は、この地域ですでに実施されていた上 述の断裂に関する1983年の調査でのマルチビーム 測深 - これは等深線を描く手助けをする - により助 けられた.年代と海面上での浸食がすべてのギョー に関して等しく作用するので、海膨の中心にあるギ ョーは縁辺上のギョーよりも必然的に背丈が低くな る.これは本当ではなかった.

この仕事はメンドシノ / サーベイヤー断裂が北太平 洋海盆全体を貫通していることを示し、ダーウィン 海膨というアイデアを葬った.その仕事は、また、 私に、本からではなく実際のデータから断裂に関し て多くのことを学ばせた.*Geomorphology*に投稿さ れた論文のいくつかは却下された.デンバーにおけ る GSA*大会でのポスター発表が、編集主幹と私自 身を引き会わせた.George Sharman がひょっこり 立ち寄り、その地形を勉強していたのである.会話 をするうちに、彼は、異なる線状の地形の組み合わ せを"メガトレンド"と呼ぶことを提案した.その 論文は即座に受け入れられ、ダーウィン海膨に関す る将来のどのような議論も本当のデータに注目しな ければならなくなった.しかしながら、再度、我々 が取り上げたいくつかの例は典型的な状況を把握し たとはいえなかった.

*GSA:Geological Society of America(米国地質学会)の略.

そこから異なるメガトレンドと直角交差に関する さらに多くの論文が書かれた. 鹿島(Kashima/ Hefner),マムア(Mamua),クルゼンシュテルン (Krusenstern),エンペラー(Emperor)およびステ イルメイト(Stalemate)のような北太平洋のNNW-SSE 方向の断裂に関して正確な海底地形図が存在し たという事実は,直角交差のアイデアに信頼性を与 えた.提案された東太平洋マイクロプレートは,東 太平洋海膨と種々のメガトレンドの交点における渦 巻構造であることが示された. 海台のような大規模 な火成岩の噴出が,すべて直交する断裂帯/メガト レンドの交点に位置するということもまた明らかに なり,それに対して我々は注目することにした.

商売道具

波の下にあるものを見るために,長年の間にいく つかの技術要素が進歩してきた (Smoot, 2001a, 2015). それらの最初のものはビーム幅が 1° のマル チビーム音響測深機であり,これは歴史的な錘測線* とビーム幅が 9° から 64° までのシングルビーム測 深機の大幅な改良であった.

* 錘測線 (lead line):水深を測定するための鉛の錘を付けた糸、測鉛線ともいう.

海底面測深機:音速は、どのような海底地図を議論 し利用する場合でも、おそらく最も重要な項目であ る. SASS で用いられたビーム幅は、世界のどんな 他の音響測深システムよりもはるかに進歩したもの であり、それは他の何者によっても実質的に二度と できない海底地形図を作り出した. その理由は、そ れが"海底面測深機"であるからである.シングル ビームの測深機の大部分は、海中での音速が4800 ft/sec または 1500 m/sec のどちらかを用いるが. SASS のシステムはそれとは異なった. そうではな く, それは少なくとも1日4回プログラムに挿入す る音速を更新した.現場で測量をしない者は、測深 が本来の目的ではなかったし、消耗品である自記水 深温度計*1 (XBTs*2) は高価だったので, 誰もこ れをしなかった.一例を示す:通常'秒'で測定さ れる音速が往復で5秒とする.4800 ft/secの場合, (往復5秒で)水深12,000フィート(2000フェザム) となる. 1500m/sec の場合は(往復5秒で)水深 3750mとなる. どちらも 1.87 m/fm を基本とすると, 海底の同一地点に対する深度が 3740-m と 3750-m になる.これが異なったタイプの測深機を用いた場 合に海の深度の比較ができない理由である.肉眼的 形態は常に同じであるが,深度はそうではない. そ して,最初の反射波を記録するビーム幅は広いので, 肉眼的形態は平滑化される.

*¹ 自記水深温度計 (bathythermographs/BT):温度センサー

と圧力センサーを組み込み,水深と水温を同時に長時間 記録できる計測器.

*² XBT (Expendable BT): 砲弾型のBTで, ランチャーで水 中に投入する. 投棄型BTとも.

小笠原海台,オブリチェフ (Obruchev) 海膨,エラ トステネス (Eratosthenes) 海山では,含まれる地 形の多くがマルチビーム測深機により全体をカバー された.ヘス海膨,シャツキー海膨,ロッコール海 台などの等深線描画は、2つのタイプの測深機を組 み合わせることにより迫真的になった.

1990年代の初期に測量システムに加えられたもう 1つの手段である GEOSAT^{*1}は 5-cm 以内の精度で 海面高度を測定できるように設計された米国海軍 の衛星であった.それは 1978年に打ち上げられ た SEASAT^{*2}に代わるものであった.そのデータの 有用性が期待された以上のものであることが証明 されると,SEASAT は海軍により故意に運用を停止 された.しかしながら,GEOSAT は,海洋底の極め て満足できる表現を作りだした(色でも;Haxby, 1987;Smith and Sandwell, 1997)にもかかわら ず,種々の海洋測量上の問題で援助が必要なことが 分かった.

- *¹ GEOSAT (GEOdetic SATellite): 1985 年に米国(海軍)が 打ち上げた測地衛星.
- *² SEASAT (SEA SATellite):1978年に米国 (NASA) が打ち 上げた海洋観測衛星.

GEOSAT は 1985 年の 3 月から 1986 年の 10 月まで, 地球を 100 分ごとに周回して,等級づけしたレー ダー高度データを収集した(Leybourne and Smoot, 1997). 軌道間のスペースは赤道からの距離に応じ て変化した. NAVOCEANO は,そのほぼ 8000 回の運 行結果を用いて,等級づけした 5 分グリッドのデー タベースを作りだした. このデータは明らかなスパ イク,ノイズ,調整を誤った軌道および極の氷にか かる区間を除去するために補正され,重力ジオイド はそうした操作の結果であった.カバーする範囲は 緯度 72°N と 72°S の間であった.

アルゴリズムは、ハイパスフィルターを通過した等 深線間隔が5cmのデータセットを作り出す重力ジオ イドを描くように適用された.フィルターの両端は、 波長が125-nmi(海里)以上と70-nmi以下をカッ トするようにセットされた.

ハイパスフィルターを通したトレンドを,北大西洋 で実際にマルチビームにより測深された範囲と比較 したとき(図3,4; Smoot and Meyerhoff, 1995), それらは完全に一致することが分かった.このこと は、GEOSATのリニエーションが海洋盆の構造性ト レンド(断裂帯)と同等であることが認められたこ とを意味する.そして,この要素は,編集者に調査



図3. メルカトル投影図で示した大西洋海盆の GEOSAT 構造トレンド. これは,図4と比較してこの形で使うために提案された. 堆積トラップを通る多くのリニアメントの軌跡が,海底地形図を 用いるよりも分かりやすくなっている.

船オポチュニティー号のデータを再評価させること になった.これは、まさに、1997年に私がインド 洋の海底地形図に対して行ったことである.

現代的な地図作成への最初の更新は、公開された SASS に基礎をおく情報を組み入れて提示された. それが一般の人々でも入手可能となったとき、衛星 高度データは、NOAA、NASA、NGDC を含む様々な地 図作成者によって不断に更新されることとなった. これらのデータのすべてが,いわばホッパーに投じ られたとき、GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) のワーキンググループは一連の海 洋底の更新された地図を作りあげた. NAVOCEANO の Frank Marchant はその委員会に属していた. これ らの地図は基本的に GEOSAT-ERS にもとづいている. 色が後押ししたことに加えて、衛星は海底地形図の 見栄えを改善するために最善をつくした. しかしな がら,読者は、衛星高度データから海底地形図に変 換すること自体は不可能であるということを心に留 めなければならない. また, 大洋中央海嶺のような 熱せられた地形は、ハイパスフィルターで処理され たデータには現れなかった.しかしながら、それら はジオイドデータでは高重力地域として現れた.例 えば、WBG マップのように、衛星データを以前の海 底地形図に重ねて,等深線を描くことを支援するた
 めの衛星構造トレンドを用いた極めて正確な海底地 形図を作り出すことが可能になった.

グリッド化されたデータは日付順であり,海底地形 図も同じ扱いを受けた (Smoot, 2001a). 一様な間 隔のグリッドは、マルチステージの二次元補完アル ゴリズム (CHRTR) を用いて得られる. 回路はデー



図4. メルカトル投影図上での SASS にもとづ く "スーパーチャート"から得られた北大西洋 の構造トレンド. これは方向が一定した線を示 すには有効であるが,極地域に対しては役に 立たない. 断裂谷の外広がり / 網状のパター ン,ピコ (Pico)断裂帯とチャーリー・ギブス (Charlie-Gibbs)断裂帯の間にはいかなる組織 化されたパターンもないことに注目. バチメト リスト (Bathymetrists)海山群*¹やニューイ ングランド (New England)海山群*²のように, 海山群の多くは断裂の末端に関連しているよう に見える.地形の多くは,赤道からの距離が増 すほど,実際以上に大きく見える.

- *¹ バチメトリスト (Bathymetrists) 海山群: 7°45'N, 21°5'W に位置する海山群.
- *² ニューイングランド (New England) 海山群: 37° 24 'N, 60° 00 'W に位置する海山群.

タ密度の高い地域に投入されるデータの忠実な再 生を可能にし、データが限定された地域の局所的 フィールドへ滑らかに移行するよう特別に設計され た. それはアンチエリアシングフィルター (antialiasing filter),地域的グリッドを生み出すため の最小曲率スプライン*アルゴリズム、および、最 終的な出力グリッドを作り出すための入力的で地域 データを混合するためのマージアルゴリズム(merge algorithm)を組み入れたものである.

* スプライン (spline): 与えられた数点を滑らかに結ぶ曲 線, またはそれを表す関数.

SASS にもとづくビーム幅が 1°の海底地形図グリッドが,小笠原海台,オブリチェフ海膨,およびエラトステネスギョーのようなここに含まれる海底地形の3次元イメージをコンパイルする際に用いられた.測量データが "網目"イメージ (Smoot and Richardson, 1988) を作り出すほどの品質であったのに対し,コンピュータは写真に似たイメージを作り出すほどの容量を持っていなかった.ハードウェアを最新のものにすることでその可能性が生まれた.

岩石のタイプと年代はこの研究に重要と考えられた. 多くの地形が、その下位に、大陸の断片である大陸性地殻を有することが過去数年の間に見出されてきた. その中には、フレミッシュキャップ^{*1} (Hopper et al., 2003; Gerlings et al., 2011), ロッコール海台^{*2} ((Funck et al., 2003), リオグランデ海膨^{*3} (Mohriak et al., 2010), マスカレン海台^{*4} (Torsvik et al., 2013), および親潮古陸とオホーツク - カムチャツカ古陸 (Choi et al., 1992) が含まれる.

- *1 フレミッシュキャップ (Flemish Cap):北大西洋,北米 ニューファンドランド沖の海台.
- *² ロッコール海台 (Rockall Plateau):北大西洋, スコッ トランド西方沖の海台.
- *³ リオグランデ海膨 (Rio Grande Rise):南大西洋, ブラ ジル沖の海膨
- *⁴ マスカレン海台 (Mascarene Plateau):インド洋, マダ ガスカル東方沖の海台

加えて、Dickins et al. (1992) は、オントンジャ ワ海台、マゼラン海山群、中部太平洋海山群、北西 太平洋海盆、チャタム海膨とキャンベル海台を含む 南西太平洋海盆 (Beggs et., 1990)、南タスマン海 膨、東タスマン海膨とロードハウ海膨を含む地域 (Geoscience Australia)、および北東インド洋のよ うな大陸地殻が伏在する地形を示すための信頼性の ある岩石サンプルを用いた.

太平洋海底の大部分の下には大陸性地殻が伏在して いる.しかし,深海掘削計画(DSDP; 1966-1985) と大洋掘削プログラム(ODP; 1985-2003)は"決して" 基盤岩類に達したことのない広範囲にわたるデータ ベースを作りあげた.明らかに,被覆堆積物は,掘 削機のビットが貫通するには硬すぎるチャート層を 作り出した.

プレートテクトニクスの基本的な原動力であり旗振 り役の1つである古地磁気の新しい研究が,かつて は地球物理学者によって気づかれなかった見識を明 らかにした.新しい岩石が形成されると,それらは 理論的に当時の磁化を獲得し,それを永久に保持し た.それは基本的に大陸移動を説明するものである (Pratt, 2000).あいにく,いくつかの項目は,アラ スカ湾における海山の研究 (Smoot, 2012b)のよう に,よく吟味すると保持されない.岩石は,後生的 な磁化,水平的および垂直的な断層運動と断裂作用, 風化作用と変成作用,そして水を伴う化学反応を被っ ている.極移動経路はパンゲアのような大陸の入れ 替えを示すために作図されてきた.このあてになら ない地球物理的作業は,Prattによると,日本とアゼ ルバイジャンを白亜紀中期の間,同じ場所に置いた.

磁気年代は一般的に掘削結果によって支持されない ので、上述の知見は磁気リニエーション異常が示す ものは何であっても否定するに十分な理由となる. 異常に対して割り当てられる年代が何であれ、それ は大洋中央海嶺の両側に関して同じ相対年代とな る.したがって、我々は、仮定された年代は被覆堆 積物に関してのみ正しいということを忘れずに、そ の考えを進める.

最後に、'オッカムのかみそり'*を推進力とする ことで仮説は行ったり来たりする. Don Anderson (1994, 2012, 2013) は、マントルプルームという アイデアを研究することに彼の名高い経歴の多くを 費やした.彼は、地球化学と岩石学に熱力学と地震 学の混じりあったものを付け加えた結果を用いて、 奇抜なホットスポット/マグマプルームのアイデア を論破することで多くの賞を獲得した.彼は、火山 活動のマグマの源は地球深部からというよりは、上 部マントルに由来すると信じた.彼は、島々は断裂 帯、リフト、Morgan (1971, 1972) により支持され たアイデアに対立する彼のいうホットスポットなど の動きを通してマグマが漏出した結果であると主張 した.メガトレンドは彼の仮説を証明した.

* オッカムのかみそり (Occam's Razor):ある事柄を説明 するためには、必要以上に多くを仮定してはならないと する指針。

また,このプロジェクトを支援しながら,Koppers and others(2003)は、主としてMeyerhoff 父子の ような研究者の独創的な業績にもとづいて、1)活 動が連続的ではない、2)活動の寿命が短い、3) ホットスポットの動きそのものの証拠が少しであ る、4)提案されたホットスポット軌跡の大部分は ほとんど累進的な年代をもっていないなどの理由か ら、太平洋海盆内の古典的なホットスポットは機能 しないと結論づけた.それらは、一部は断裂のよう に上から働く力と、スーパープルームからはずれた 小規模プルームのように下から働く力を示唆してい る.どちらのアイデアもメガトレンドのアイデアで よく使われる.

海台と海膨

- 海台:かなりの広がりがある比較的平坦な頂部を有し,一方 またはそれ以上の側面が切れ落ちた地形
- 海膨:海洋底から緩やかに、かつ一般には滑らかに隆起する 幅広い高まり

両者の違いはボートと船を比較するようなものであ る.海台は海膨の上に座ることができ、それは海膨 が面積的にずっと広いことを意味する.それらは周 囲の海洋底から水深が浅くなった領域として識別さ れ、"スウェル"と呼ばれることもある.海膨は起 源が熱的であるように見える.

一般的には大規模火成活動区(LIPs; Coffin and Eldholm, 1994)のカテゴリーにまとめられるこれ らの広大な地形は,(1)切断された大陸片かマイク ロコンチネント,(2)漏出性の断層/断裂帯から噴 出した玄武岩の集積,(3)消滅した島弧,あるいは (4)古い拡大中心など,様々な形成機構が考えられ ている.LIP'sは磁化が弱いかまったく観測されず, それらが海洋地殻として形成されたものではないこ とを示唆している.リストにあげられた184の海台 で海底の約5%をカバーする.最大の3つは中部太 平洋海山群,カリブ海台,オントンジャワ海台で, それらは熱的なスウェルの上に位置している.

あいまいな定義により線状の海山列を形成する多く の提案された"ホットスポット"もまたこの議論の 対象となる.私はこれらが,漏出性の断層/断裂の 上に形成された限定的な領域を起源とするものとは 考えない.大規模な火成岩の噴出であるというよりむ しろ,それらは肉眼的形態としては線状に近く,規 模では,例えばコロンビア川玄武岩区,デカントラッ プ,もしくはリオグランデ海膨にはとても及ばない. 細かいことをいうと,天皇海山列の仁徳,光孝のよう なより大きなギョーは,その規模がマゼランのような より小さな海膨に近づく.しかし,我々は米国の地 理的名称に関する委員会 (USBGN) および GEBCO によっ て定義されたものに委ねることにしよう.

交差する断裂帯の接合部

マントルプルームとホットスポットに対する今はや りの考え方では、断裂の直角交差の存在は二の次に されてきたように見える.大部分の海域では海盆規 模の海底地形図が欠けていることをカバーして、地



図5. メルカトル投影図による太平洋海盆の GEOSAT 構造トレンド.リニアメントが見掛け上ゴチャゴチャしている大部分の箇所については合理的な説明が存在する.この中に多くが位置づけられている.

域的な解釈はリモートセンシングと衛星高度計の科 学に委ねられてきた.それらの結果と全体をカバー した海底地形図との比較は、十二分に満足な結果を 生み出してきた.

結果として、新しい術語がテクトニクスの分野に導入された.それは、断裂群(fracture swarms)と メガトレンド(megatrends)である.メンドシノ断 裂帯は断裂群の好例である.それはサーベイヤー断 裂帯と合流したり分岐したりして太平洋海盆全体を 横断している.それは、また、通り道に沿ったいく つかの海山列/海山区を包含している.このことは、 それを、ほぼ線状の通り道に海底上のあらゆるもの を含む地形であるメガトレンドにしている(図5).

この部分*は、したがって、これらの交点に位置す る海台と海膨で構成された複合体であり、そこでは その種の地形の地図 / 海図を見つけることができ る.太平洋海盆は交差断裂帯を探すには格好の場で ある.南米沖の東太平洋海膨に限ると、そうした場 所をみつけるには良い海図に目を凝らすしかない. オントンジャワ海台、マニヒキ、マゼラン、シャツ キー、ヘスなどの海膨はすべてこのタイプの構成体 であり、したがって、そこから始めよう.

*図5の網目を施した部分

A. ヘス海膨

ヘス海膨(図6)は、西の天皇海山列と東のエンペ ラー断裂帯/メガトレンド、南のメンドシノ断裂 帯/メガトレンドの間に位置する(32°N ~ 43°N; 172°E ~ 177°W).海膨区域は南部の火山区、中央の



図 6. メルカトル投影図での等深 線間隔が 200-fm のヘス海膨地域 (ここで描画された等深線はすべ てメルカトル投影されている). この編集された図は、マルチビー ムと NGDC のオポチュニティー号 が収集したデータによるものであ る(違いは、訓練された目によっ てすぐに見つけられなければなら ない).海膨の基本的配列はエン ペラー断裂帯のそれと平行してい る. 北部の4本の海山列はそれ自 体を除いて、いかなるものとも平 行していない.

高地,ほぼ平行な4本の海嶺が載っている北部の3 区域からなる.ヘス海膨は正断層により分割され, 地塁,地溝,断層崖になっている.これらの構造運 動は,リフト化の局所的速度がマグマの生産とペー スを合わせることができないことから同時に生じつ つあった.

この地形を示す海底地形図はシングルビームとマル チビームで測量したデータを併用したものである. それは高重力地域にあるが、ハイパスフィルターを 通したデータには表れていない.大洋中央海嶺のよ うな"熱い"と思われる地形は活動的とされ、そう したデータには表れない.

ヘス海膨は DSDP でサンプルが採取され、大部分は役 に立たなかった. 北部の Site 464 は年代が 98-108 Ma であった. 南部の Site 465 は 103+Ma であった.

"ヘス海膨の形成モデルとしては、ホットスポットの 軌跡とするものと、拡大速度が異常な海嶺での火山活 動とするものがあった.後者のモデルは本論文に都 合がよく、海嶺軸上でのヘス海膨の形成は、スーパー クロンの間の海嶺のジャンプの結果、置き去りにさ れた可能性がある"(Norton, 2007).この説明はシャ ツキー海膨の形成に対しても同じである(下記).

我々は"置き去りにされた可能性のあるセンター" を削除することができる.逆"Tの字"の肉眼的形 態は、WSW-ENE 方向のチヌークおよびメンドシノ断 裂群に交差する NNW-SSE 方向のクルゼンシュテルン 断裂帯の結果である.東翼と西翼のほぼ完全な渦巻 構造は、この地形を通過する他の断裂の結果であろ



図7. ヘス海膨の南東部と,エンペラー断裂帯 とそこに入り込むサーベイヤーおよびメンドシ ノ断裂帯との交差.この三次元図は交差断裂帯 の議論にとってとくに重要である.そこでは, リリオカラニ海嶺に対してエンペラートレンド が小さな左横ずれオフセットを示している.こ のことは,サーベイヤー/メンドシノ断裂群が 到達することによりそれをオフセットされる前 に,エンペラートレンドが刻み込まれていたこ とを意味している.

図8. 200-fm の等深線間隔で描いたシャツキー 海膨. 主要なリニアメントは WSW-ENE で, おそ らく, 既存の断裂にマグマが漏出することに よって形成されたのであろう. 小さな海山群の ほとんどすべてのトレンドはそれに対して直交 している. これは NNW-SSE の方向を有するマム アメガトレンドとの交差で生じたものである.

う. クルゼンシュテルン断裂帯はエンペラーメガト レンドに平行し, ハワイ海嶺を通り, それと中部太 平洋海山群(MPM)の始まりの間の小さな海山列と して SSE 方向に連続している. エンペラーメガトレ ンドは, その南で, リリオカラニ (Liliuokalani) 海嶺(図2,7), ライン諸島, トウアモトウ断裂帯, イースター断裂帯として連続する.

北部区の4本の海嶺に関しては、それらが35年以

上前に紹介されて以来,これまで何の説明もされていない(Smoot, 1982). それらは SASS 音波探査システムで測量され,海底地形図として 100%カバーされている.全体の長さは約 200-km で,それらが測深方法のしわざであるか実際のものかに関しては疑問の余地がない.

B. シャツキー海膨

新しい海底地形図は、シャツキー海膨(図8; Kim et al., 1995)が日本とハワイの間、天皇海山列のちょうど西に1665-kmにわたって延びた地形であることを示している.これは海洋底では第3位の大きさを有する海台で、480,000-km²の面積を有する. 北東方向に伸びた海膨は、北西方向からの構造運動によって2つの明瞭なセグメントに区分されたように見える.これは南西部から約930-kmのところで生じている.

南西部は 3000-ft (5580-m) の基底から立ち上がっ た 3 つの高まりを有する. それらは,約 1200, 1800,2200-fm である. 南東方向に伸びる海山区は, この海膨の約 430km の区間に分布する多数の海山と 海丘からなる. これらの海山 / 海丘はすべて 2800fm の基底から立ち上がり,シャツキー海膨南部と 同じような高さを有している. このようになってい る理由は,南東方向のマムア (Mamua) メガトレン ド地域を通過していることにある.

2014 年にこの海膨の中央部がそれ自身の名称を得た. 米国地理名称委員会(USBGN)によると,タム(TAMU)地塊がこの海膨のちょうど中央部の34°32'01.3'N*,158°25'.00"Eに位置している.それは120,000平方マイル(私はこれが海里であるか通常のマイルであるか知らない)の世界一の火山と言われている.功績は,この地形の測量と報告に自分の経歴の大部分を費やしたWill Sager にある.

*世界最大の火山といわれるタム(TAMU) 地塊はシャツキー 海膨南部の地塊に対して付けられた名称.したがって、"中 央部の34°32'01.3"N"は間違いで、"南部の32°32'01.3"N?" ではないかと思われる.

大きな構造体に隣接する地震波プロファイルは低い高まりの多くが堆積性のエプロンであることを示唆している(Sager et al., 1999).南部の火山 性の高まりは144Ma (ODP Leg 198) と測定された. Site 1213 は、年代が144.6+Ma または-0.8Ma で あった.しかし、これは、堆積性の上位層の基底で の厚さが全体で45m ある玄武岩質のシルの年代であ る.そのシルは、この海膨の南部高地上での山体構 築の最も新しい段階に伴う広範な深成イベントと説 明されてきた.

Sager (2005) によると、"露頭は風化しつつあり,酸化マンガンの皮殻で覆われている.したがって,ドレッジは正確な年代測定と地球化学的分析に必要なサンプルを採取するには役に立たなかった.海台の発達に対するプルームヘッドモデルを支持する付随的な証拠はあるものの、いくつかの断片的証拠は同様に適合しない.深部マントル起源を伴うマグマの源に関する地球化学的証拠ははっきりしない・・・・"したがって、この位置での母岩は年代不詳のままである.

この海膨の形成に関するプレートテクトニクスの説 明は 2000-km におよぶ海嶺のジャンプ,三重点、少 なくとも4枚の異なるプレート(そのうちの太平洋 はまだ存在している)という架空のテクトニックの 世界 (Sager et al., 1999; Norton, 2007) へと誘 う. クラ, ファラロン, イザナギはすべて消滅し, クラとイザナギは人によっては同じプレートと考え られている (Norton, 2007; Stepashko, 2008). 磁 気縞模様は多数あり、特に基盤のタイプあるいは年 代は誰も知らないということからして、この世界は 大きな混乱にある、それにもかかわらず、(Norton、 2007) は我々に、"シャツキー海膨は、ジュラ紀後 期 - 白亜紀前期の間に、移動する太平洋 - ファラロ ン - イザナギの三重会合点の上に形成されたことが 知られており、必ずしもプルームに由来するホット スポットを含むものではない"と宣う.

はるかに簡単な説明は,線状の肉眼的形態にもとづ くもので,この海膨が漏出性の断裂もしくは断裂群 の上に形成されたというものである.その断裂は チヌークメガトレンドの形ですでに存在していた (Smoot, 1995).ある論考(Stepashko, 2008)は, 白亜紀中期のスーパープルームの貫入を示唆するも のは何もないことを認め,代わりに,"プレート内 火山活動の脈動が海洋リソスフェアの変形の規則性 に最も関係している可能性が高く,最近の180 My 間の太平洋プレートの圧縮・引張レジームの周期的 な変化を反映している"と述べている.海山区を横 断するより小さな中間地形は,マムアメガトレンド の直交交差で形成された.

B1. 推古ギヨー

推古ギヨー(図9)は、天皇海山列の中の長さが 230-kmの地形で、ヘス海膨とシャツキー海膨の間 の移行部にあるように見える.一見、それはクルゼ ンシュテルン断裂帯(KFZ)が推古を直接通過して いるように見える.というのは、KFZがヘス海膨の 南限とメンドシノメガトレンドとの接合部の間の海 山列として再び出現するので、そのどちらも同じ方 位上に並んでいて、KFZを海膨に実際に重ね合わせ ることができるからである.この線はハワイ海嶺を 通り、オフセットなしに中部太平洋海山群(MPM) でマレー断裂帯に達する(図10).事実、もっと広 く概観すると、これらの小さな海山はさらにESE 方 向へと続き、中部太平洋海盆に達する.オフセット がなく、規模が小さいことから、人は、これが比較 的若いトレンドであると考えるに違いない.

その議論の中核は,推古そのものに,前後で35-kmのオフセットがあることである.これは,おそらく, チヌークメガトレンドの北方分枝に関連した小規模なENE-WSW方向の断裂の通過により,80-kmの長さで2等分されたことによる.



図 9. SASS の測量で全体をカバーしている等深線間隔が 200-fm で描いた推古ギヨー. それ自体は海台ではなく, ヘス海膨とシャ ツキー海膨の接合部に位置している. 興味深い肉眼形態は 2 つの 断裂帯の交差によって生じ, その1つはクルゼンシュテルンであ る. それはカムチャツカから推古とヘス海膨を通過している.

C. 中部太平洋海山群

中部太平洋海山群 (MPM) は、ハワイ海嶺の南の 経度 165°W ~ 170°E,緯度 17°N ~ 23°N に位置する (図11).現代の海底地形図は、基本的に NGDC^{*1}の データによっていくらか洗練された SASS のデータ (Smoot, 1999)にもとづいている.西部の肉眼的形 態は渦巻構造である.この地形は北東大西洋海盆中 のホースシュー (Horseshoe)海山群^{*2}のそれと類 似している.更新された GEBC0 の地図では、この地 形は西に顔を向けて火を吐く竜に見える.

- *1 NGDC:National Geophysical Data Centerの略. NOAAの 一機関.
- ^{*2} ホースシュー海山群 (Horseshoe seamounts):大西洋のイ ベリア半島沖にある海山群.

DSDP で集められた年代値は、この地域がジュラ紀 後期の間に現在の位置より南の同じ三重会合点で形 成され、赤道の南から移動してきたと暗示している. しかし、再度言うが、"MPM の初期の歴史、および、 とくに MPM の2つのプラットフォームを構築するに 至ったマグマイベント(の時期)は、(DSDP の掘削が) 基盤に到達することができなかったために不明のま まである・・・". 敢えていうなら、MPM は WSW-ENE の 方位上で132~117Maの火山活動により形成された. 実際、MPM 西部の ODP Site 865 と 866 と、東部の DSDP Site 171 は、90~128Ma の間、まったく水平 的な移動がないことを示している.



図10. マレー断裂帯(上図)とモロ カイ断裂帯(下図)はハワイ海嶺を通 過して中部太平洋海山群に達してい る. マレー断裂帯はNNW-SSE 方向のマ ムア断裂帯に切られている. モロカイ 断裂帯はNNW-SSE 方向のクルゼンシュ テルン断裂帯に切られている. 等深線 間隔が 200-fmの地図上でさえ,多く の断裂海嶺を容易に追跡することがで きる.





図 11. 構造図(下図) 付きの等深線間隔が 500-fmで描画された中 部太平洋海山群の編集図 (上図).海山の線状配列 にもとづいて形成される 初期の渦巻構造を示して いる.

MPM は様々な方法で形成されたと想定されてきた. MPM の形成に関する2つの最もはやりの考えはホッ トスポットと断裂規制である.より分かりやすい解 は、マヌア、MPM、マゼラン、マニヒキ、トウブア イを通るSSE 方向のメガトレンドとWSW 方向のマ レー・パイオニア断裂群/メガトレンドの直角交差 にある.東部は、編まれてぴったりくっついた ENE-WSW 方向のモロカイメガトレンドが、170°と171°W の間でネッカー海嶺とホライゾンギヨーの形でこの 地域へ侵入することで支配されており、それらはエ ンペラー・イースターメガトレンドの一部である NNW-SSE 方向のライン諸島によって遮断されている.

そのトレンドは MPM 本体の 178°W へと続く.その中 の海山の配列(図11)は、渦巻構造を形成しつつ あるように見える.これは、マムア・トウブアイメ ガトレンドとマレー・パイオニアメガトレンドの交 差により引き起こされている.断裂の下にあるホッ トラインの脱出経路は、海山の形で最も容易に上方 の海洋底に漏出することである.上部地域への圧縮 は、MPM 地域全体の反時計回りの回転による大規模 な渦巻構造を形成するのに十分である.

そこで, MPM は海台か否かという疑問が残る. 答え は '否'である. 渦巻構造の内側の 5500-m の地域 的基底は周辺の太平洋海盆におけるそれを同じであ る. 海山群は漏出性断裂の産物である.

D. オントンジャワ海台

オントンジャワ海台(0JP; 図12)は中部太平洋海 盆の西にあり、赤道をまたいでいる.長く延びた地 塊は海洋盆内では最大の LIP である. それは南を、 マヌス (Manus)、キリナイラウ (Kilinailau)、北 ソロモン (North Solomon)、ウラワン (Ulawan)、ケー プジョンソン (Cape Jhonson)の諸海溝の形をとっ て 2500-km にわたって延びるビチャーズ (Vityaz) 海溝システムに接している. 島々を含めて、全体 の高さは海面から水深約 4000-m に達する (Smoot, 2007a).

面積が1,500,000-km²,地殻の最大厚さが30-km以 上という OJP は、ジュラ紀末期と白亜紀後期の間に 太平洋海盆内で,赤道直下から南にかけて出現した いくつかの大規模な海台の中で最大のものである. 図12に示された地図は、2000年代の初期に、著 者により、NGDC ファイルから入手可能なオポチュ ニティー号のデータをすべて利用して編集された. この等深線間隔が200-mの図は、以下のような記 述が十分可能なこのLIPの肉眼的形態を示してい る. 0.IP は表面から約 4400-m の深さにまで広がっ ている.後の航海は、マルチビーム探査により、 オントンジャワ環礁から北東に向かうクロエンケ (Kroenke) 海底谷を明らかにした (Coffin et al., 2015). 長さは 500-km で, その谷は陸源性堆積物の 供給源を有していない.しかし、それは環礁のすぐ 近くからナウル海盆全体を通過している.

Mike Coffin はこの地域の偉大な研究者で, 誰もが 引用する独創的な LIP 論文に関する共著者の1人で ある.彼は現在, OJP だけでなく, ナウル海盆, 東 マリアナ,そしておそらくピガフェッタ(Pigafetta) の溢流玄武岩をも生み出したこの地域での火球イン パクトの可能性で注目を浴びている.



図 12. 著者により NGDC のオポチュニティー号のデータから編集された中部太平洋海盆西部のオントンジャワ海台. それは, NNW-SSE 方向のウジンツェフ断裂帯に沿っていて, 東から伸びるクラリオンおよびクリッパートンメガトレンドによって切られている*. 位置表示 は衛星高度計データによる.

*オントンジャワ海台とウジンツェフ、クラリオン、クリッパートン各断裂帯との関係は図2参照.

カピンガマランギ海膨とも呼ばれる OIP は DSDP と ODP の両方で広範にサンプルが採取された.これら のサンプルはいずれも基盤には達しておらず、シル と後から噴出したその他のものに過ぎない. これら のうち、最も古い年代は約 120Ma である(Taylor, 2006). しかしながら、観察結果と大部分の提示さ れたモデルの間には,いくつかの重大な矛盾があ る. もしホットスポットが関与しているなら, 0JP にはまったく海山列が伴っていない. 海台近傍のど こにもホットスポットを欠いている. そして, 石灰 岩が全く回収されていないことから、溶岩の大部分 が噴出した地点の水深は、炭酸カルシウムの補償深 度(CCD)より浅い. "現在のところ, 0JPの起源に 関するどんな単一モデルも地球化学的、地球物理学 的,地球力学的観測のすべてを説明できていないよ うに見える.この明らかな不首尾は,ODPに関する 近い将来の科学的調査を最も挑戦的で実りあるもの の1つにしている."

OIP は意のままに動かされるよりは、むしろ常に現 在ある場所に存在してきた. それは漏出性断裂の上 に構築されてきた. この地域の海溝はその南に位 置している. それらの海溝での沈みこみが言われて きた.もし我々がプレートテクトニク仮説の範囲 と, NUVEL -1a*, MORVEL*, その他によって示唆さ れた太平洋プレートの動きの範囲にとどまれば、こ れは物理的に不可能なことである. プレートは WNW 方向へ動いていると想定されている.構造図は、東 南アジアから出てイリアンジャヤ / ニューギニアを 通り, 直接オントンジャワ海台へ向かう主要なトレ ンドが南東方向に通り抜けていることを示してい る (Meyerhoff et al., 1996a). これは中部太平洋 メガトレンドの一部である (Smoot and Leybourne, 2001). ウジンツエフ (Udintsev) メガトレンドと 鹿島メガトレンドは北西からこの地域を通過してい る. 0JPは、どちらも ENE から通り抜けるモロカイ メガトレンドとクラリオンメガトレンドの腕木で支

えられている.大規模な白亜紀の噴出が玄武岩質の 甲殻を作った. 簡潔(な解である).

*NUVEL-1a, MORVEL:いずれもプレートの速度モデル.

E. 小笠原海台

直径 140-kmの小笠原海台 (OP; 25°N ~ 27°N; 143°E ~ 144.5°E) はボニン諸島の海側にあり,北 西太平洋海盆の伊豆海溝とボニン海溝を隔ててい る. OP は南に大きな地塁があり,北にはブローク ントップギヨー (BTG) がある.この海台はマイケ ルソン海嶺の先端である (Smoot and Richardson, 1988; Smoot, 2010).周囲の海洋底は水深約 5500-mであり,したがって OP は少なくとも 4-km の高さがある.

BTG は台地の上に約 1800-m の高さでそびえる 45-km の円形の構造物である. それは OP の土台に作用す る同じ力によって分割されている. OP の南側の縁 の傾斜したスラブは長さが 70-km,幅が 40-km ある. うしろ側は台から 900-m 高くなっていて,西の端は 傾斜して海溝システムに落ち込んでいる. それはま た,地域的な方位をとる. OP の西側で海溝システ ムと交差するところには別なスラブが存在し,これ はそれ自体,この地域における造構イベントに関す るさらに活発な議論を呼ぶ.しかし,まず・・・・

DSDP (Site 51-52 および 194, 197) のいずれもが基 盤に達していないので実証されてはいないが, この 地形は古生代の地殻の上に載っている (Dickins et al., 1992). マルチチャンネル音波探査は明瞭な第 3 層を記録し, それは大陸タイプの花崗岩とペリドタイ トであると判定されている. それゆえ, 我々はここの 基盤は親潮大古陸の断片ではないかと考えている.

1本の断裂が台地と海嶺を隔てている. 傾斜した土 台が見いだされる. そこに見られる景観は二次的な 造地形力の効果を示している. BTGを分断する断裂 は海嶺の下でSSE 方向へと抜けている. BTGと地塁 の間の浸食チャンネルはアウトウォッシュプレーン* に向かって140-km以上追跡することができる. こ れらのチャンネルは, 先行する陸上浸食によって生 産された堆積物の大部分を運搬する主体であり, 今 も活動的であるように見える. 最初の造構力が OP を作りあげた. マスウェースティングや浸食のよう な二次的造構力が元の構築物を壊しつつある. チャ ンネルロードのような第三紀の造構活動が, これら を平原へと運んできたし, 今も運びつつある (Smoot, 2007a).

* アウトウォッシュプレーン (outwash plane):地学事典 では「氷河から流出する河流によって運ばれた融氷流水 堆積物がつくる氷河前面の二次堆積平時」と定義されて いるが,ここでは氷河とは無関係に「流出土砂が形成し た平原」と解してよいだろう. OP上の西側スラブが沈み込み,西端は海溝の下に 消えたと考えられている.あるいは,前弧上のそ の部分が,オブダクションまたは剥ぎ取りという 方法で瓦礫に変わったと考えられている(Smoot, 1993).いずれも真実ではない;スラブは今もその 最初の水深にある.このことは,結局,海溝システ ムが作られる前にスラブがその場で作られたという 第3のシナリオを信じさせる.

海溝は相互に閉鎖的である.北の伊豆海溝は平均水 深が8780-mである.南のボニン海溝は平均水深が 6950-mである.これは太平洋地殻の弱帯である.そ れは地球の内部が暖かい間に古生代に形成された. 冷却する地球は地殻が収縮し,海溝はその冷却の結 果である.別な海溝は後で地溝となり,西のスラブ はそれらの造構活動に関わりがなかったにすぎない.

地域的造構活動をさらに少し継続しながら, 0Pは 直角に交差する断裂の上に存在している. 3D図(図 14)でこのことが容易に分かり,これは,ウジンツェ フメガトレンドの北部セグメントで南東方向に伸び るウジンツェフ断裂帯である.それはオントンジャ ワ海台が誕生する環境を作る手助けをしている.他 方,0Pは北太平洋メガトレンドの先端である(Smoot and Choi, 2003).これらの断裂群の年代はまだ決 定されていない.おそらく,海溝が形成されている 間にその断裂帯も形成されたのであろう.断裂谷の 多くは,深度が海溝のそれに等しい.



図13. 等深線間隔が 100-fm で描画された小笠原海台は,断裂に よって規制された効果を示している.1)海台上の砕かれたブロー クントップギヨー.2)海溝の形成により中心部が落ち込んだよ うに見える地塁.3)海溝の影響で傾斜した海台の一部.



図14. NW(前弧)か ら見た小笠原海台地域 の三次元表現.これは, この図の右手に消えて いるウジンツェフ断裂 帯の始まりのような, 等深線に表れないどん な小さな地形でも見え るように手助けする.

F. マニヒキ海台

770,000-km²のマニヒキ海台(図15)は、中央太平 洋海盆南部にあるソロモン海盆北東の3°Sと16°S、 159°Wと169°Wの間のトウブアイ・マムアメガトレ ンド上にある.

この異常な地形は、太平洋 - フェニックス拡大中 心軸付近でオントンジャワ海台とヒクランギ海台 がリフト化された部分であったと提案されてきた (Taylor, 2006; Timm et al., 2011). それは北部, 西部,高地と呼ばれる3つの海台からなる.海底地 形略図では高地海台上で水深は約2500-mである. 北部海台は2500-mの峰を有する.西部海台は20の 海山群からなる.

ホットスポットにより引き起こされた火山活動の大 部分は、三重会合点付近で白亜紀前期に生じたと提 案されている.これは、その地形が陸上から浅海の 環境にあったときである.

高地海台は CCD より浅いところにあったが,正断層 運動と沈降が始まる前に,本格的な堆積作用を経験 した.始新世の間にすべての造構活動が終わった.

Stepashko (2008) は、白亜紀と新生代にファラロ ン - 太平洋 - イザナギ (クラ)の三重会合点での拡 大速度には何度かの周期的な変化があったと提案し た.ほぼ 130Ma、87Maと、拡大速度が最大となっ た時期の末期である 42Maに、海洋の造構発展にお ける主要な再編成が生じた.拡大速度は、約140, 120,65,15Maのときに最小であった.

(拡大速度が)最小の時期には、太平洋の西部、東部、 北東部で玄武岩質マグマ活動が活発化した.プレー ト内部の火山活動は、最後の180Maの間の圧縮引張 レジームの間の太平洋プレートの応力場における周 期的な変化に関連があると思われている. 面白いことに、120~118Ma(12°S, 162°W) にマニ ヒキ海台をつくりだしたとされる三重会合点は、同 じ時期に中部太平洋海山群とシャツキー海膨(37°N, 165°E) をつくりだしたとされる三重会合点でもあ る. 議論をふっかけるわけではないが、このアイデ アは24Ma で約5800-kmの距離、つまり24cm/年の 速度で南へ移動する三重会合を想定することになる のである. これこそ本当に海嶺のジャンプである! というわけで、動きまわる三重会合点は、約74~ 65Ma までに、メキシコ / グアテマラの西でアラス カの南に位置する北東部に戻った.

少し脇道にそれるが、このメガトレンドはいくつか のLIPsの母体である.それは、マニヒキ海台が位 置する11°S、164°Wでガラパゴス断裂帯と交差して いる.次の交差は北方の7°20'N、170°Eである.こ れはマゼラン海膨である.さらにたどると、それは マレー断裂帯と交差し、そこでは中部太平洋海山群 が重なる.最後はチヌークメガトレンドとの交差 で、これはシャツキー海膨の項で議論された.ク リッパートンメガトレンドとノバ-カントントラフ の区間はこの海台の北部を通っている.海底地形図 は NAVOCEANO のグリッド化されたデータベースの1 つからのもので、オポチュニティー号の測深機の記 録から編集されたものでもある(図15).

オッカムを思い起こすと、ずっと簡単な解釈では、 白亜紀の大噴出の間に、交差する断裂帯メガトレン ドの上で LIPs が形成されたように見える. ENE 方 向のガラパゴスメガトレンドは、まさにこの位置で マヌア・トウブアイメガトレンンドと交差する.

加えて、トンガ・ケルマデック海溝システムは東へ 動いている.形成は現在の位置の西で始まり、それ はまだ三重会合点を呑み込むほど十分には閉じてい ない.推測では、三重会合点のクラとファラロン部 分は米国西部の下に呑み込まれたとしている.そこ には沈み込み帯がないが、どこですべてが終わるの だろう?



図15. マニヒキ海台の位置と海底地形図

G. ガードナーピナクル / フレンチフリゲートショール海台

この地形は、ハワイのリーワード海山列*上にあ る主に WNW-ESE 方向に配列する一連の堆に属する 長さ425-kmの無名の海台である(図16). この海 台は、それ自身、水深 2600-fm の地域的な基盤か ら約1000-fm盛り上がっている. それは、ガード ナーピナクル (Gardner Pinnacles; 25°N, 168°W), セントロガチェン西堆 (St. Rogatien West Bank; 24.6°N, 167.3°W), ブルックス堆 (Brooks Bank; 24.2°N、167°W)、フレンチフリゲートショール (French Frigate Sholes; 23.7°N, 166°W) その他 を含み、両端の間は175-kmである. これらの堆は 頂部の平均水深が 35-m である. 上部斜面の平均傾 斜は16%である. 十分な浸食とマスウェースティ ングの結果、下部斜面の傾斜は4%から1%まで低 下している.海面から突き出ているのは,主として 鳥のコロニーとなっているいくつかの小島である. それらは海の聖地である.

*リーワード海山列 (Leeward Island chain of seamounts): ハワイ海嶺の北西部分を指す.カリブ海にも同じ名称の 島列があるが,それとは別.

この海台は WNW-ESE 方向の北太平洋メガトレンド

(Smoot and Choi, 2003) と NNW-SSE 方向のエンペ ラー・イースターメガトレンド (Smoot, 1994)の 交点に築かれた.ガードナーピナクルの沖で NNW 方 向に伸びている小さな海山の連なりは,頂部の平均 水深が 1200-fm で,そのピナクルの北翼上のマス ウェースティングの結果としては直線的過ぎる.小 さな海山の連なりはリリオカラニ海嶺の南方延長で あろう.ガードナーの西斜面上の大量の岩屑はオア フやマウイといったハワイ諸島のそれと類似したマ スウェースティングの結果のように見える.そして, N-S 方向の断裂帯が,この地域を,ガードナーとセ ントロガチェンの急斜面に分けているという可能性 が残っているが,その方向の断裂は知られていない.

年代データはなく,海底地形図が造構的推定に役立 つ入手可能な唯一のパラメータである.海台の境界 のトレンドは,その観点で期待できる余地を確かに 残している.

H. ダーウィン"海膨"

ダーウィン海膨はかなり初期の頃にデータバンク に登録されたが、それは恐らく、その地域-北西 太平洋(図17)の緯度5°N~30°Nと経度140°E~



図16. 全体をマルチ ビーム測量でカバーし, 等深線間隔が100-fmで 描画したガードナーピ ナクル/フレンチフリ ゲートショールプラット フォーム. 初期のリニ エーションはハワイ海嶺 のそれである. 二次的な リニエーションは,いく つかのN-S方向の地質現 象の結果である. 2つの リニエーションは,後で 結合されたか分割され た?

図 17. 海膨上に配列す る様々な海山群を含む ダーウィン海膨地域の WBG マップによる位置 図. 図21は マーシャル・ ギルバート海山列区域を 抜き出したもの. 深海域 のひとつであり,地域全 体の基底深度は 3000fm (5500-m) に置いてい る. ただし,この図は数 100m 変動する (Smoot, 1991).

170°Eの間-が相当数の海山 / ギョーに富んでいる ためであろう.初期の海膨はマーカス・ウェーク海 山群とマーシャル・ギルバート海山列を含んでいた. それは、消滅した中央海嶺で形成されたもので、ト ウアモトウ諸島、中部太平洋海山群の北のマーシャ ル諸島、日本平頂海山群*、マゼラン海山群の西部 を含んでいると考えられてきた.白亜紀の大規模な 溢流火山活動により形成されたので、数百もの海山 がダーウィン海膨の上に位置することになった、と. 果たして、そうだろうか?

* 日本平頂海山群 (Japanese Guyots):原文では '芸者ギヨー

群 (Geisha Guyots)' となっているが, この名称は現在 使われていない. 同じものは, GEBCOにより Japanese Guyots と命名されている.

理論的には、大規模なバルジ(膨らみ)は最初マ ントル内で形成されるため、縦走する海嶺やトラ フが形成される.西-中央太平洋海盆内の熱的膨 隆(thermal swell)は、まさに大規模な熱膨張で あった.初期の海膨は本来、マリアナ海溝からト ウアモトウ諸島まで10,000-km 以上にわたり、幅 約2500-kmで拡がっていた.海底の深さが増大した



図18. ハワイ・天皇海山列の 屈曲部である171°-175°Eを通 過した後のメンドシノ・サーベ イヤーメガトレンドの西方延長 の開始点を示すSASSの海底地 形図. この地域は、その断裂帯 が海盆横断性であることが判明 する以前に測量された.

ため、海膨の中央の新たな浅い凹みの水深は海面下 約 2000-m 以内になった. その後, 白亜紀の厖大な 溢流火山活動が始まったため,多くの島々 / 海山群 がこの熱的膨隆の上部に形成された.火山噴出物が 側斜面に累重すると、約110Maには古海洋島が形 成された (Menard, 1964). 自然の作用で, 海洋島 は侵食され体積を減じ、頂部が平坦化された. つぎ に、これらすべての島 / 海山の総量はアイソスタ シー補償を開始するのに充分であったため、熱膨 隆は膨張をはじめる前の地域的基底深度に戻った. 1990年代までに、古ダーウィン海膨は、その大き さを 40Ma の地殻上に形成されたギョーといわれる 赤道の北の一般的な巨大膨隆にまで減少していった (McNutt, 1998). 一連のホットスポットが図に加わ り, タラッソクラトン (thallasocraton, 海のクラ トン)が提案されたが、ダーウィン海膨のアイデア は多くの研究者たちに受け入れられる解釈であり続 けた.

1990 年代までに、NAVOCEANO はより決定的な研究 にするため、この地域の充分な調査を行ってきた (図 8, 19, 20). 海盆を横断するメンドシノ / サー ベイヤー断裂群という考えは萌芽期にあったが、そ の研究は閉じた地形群の測量によって促進された. 例えば、太平洋のこの地域において、西方へ延びて いる断裂帯は何なのか? さらに、多くのギョーの 側面にあるリフト帯は WSW ないし ENE 方向を示して いる、断裂帯の海嶺は マーカス・ウェーク海山群 中の断裂帯で想定された末端部の西方を横断してい る. (前置き) で言及したように、ギヨーの高度に 関する研究では、その断裂は マーカス・ウェーク 海山群中からボニン海溝に至るまで連続している. その研究は60のギョーの高度にもとづいている. こういった高度を用いたために、同心円状の等深線 が事実とされてきたのであろう.それは違っていた. 地域全体の水深はどこも約 5500-m と同じであった (Smoot, 2014).

多くのギヨーの地形計測学的研究では、地域的基底 深度は、ウィルド (Wilde)、ビーティー (Beatty)、 マクドネル (McDonnell)、サムソン (Samson)、デ リラ (Delilah) などのギヨーの東部で 2800-fm; ジェイビー (Jaybee)、ジェニング (Jennings)、バ ティーザ (Batiza)、マロニー (Maloney)、アーノ ルド (Arnold)、ラモント (Lamont)、スクリップス (Scripps)、ハンク (Hunk)、ポット (Pot) などの ギヨーの中央部で 3100-fm、ミッシー (Missy) ギ ヨーの遥か西方で 3100-fm を示している (Smoot, 1991). その東部は マーシャル・ギルバート海山列 の先端に位置することから、その地域は交差部で、 おそらくその下にホットラインが横たわっているの だろう.

SIO, レゾリューション (Resolution), アリソン (Allison) などのギヨー周辺の中部太平洋海山群の 地域的基底深度もまた 5800-m である. ダットン・ マイケルソン (Dutton and Michelson) 海嶺は, 地 域的基底深度 5800-m に取り囲まれている. ウォ ディジェバト (Wode jebato) ギヨーは 5500-m の海 洋底に位置している.

1998年, Marcia McNutt がその海膨の拡がりを狭め たにも関わらず,その一部が現実にマーシャル・ギ ルバート海山列の一部であるという理由でその海膨 が南東方へ連続するという古い考えは、今や破棄さ れるべきだろう.それら2つの海山列は、それぞれ の島々が線状に配列することから、ラリク(Ralik、 西部)とラタク(Ratak、東部)と呼ばれている. 図 17・21 は緯度 34°N ~ 5°N,経度 148°E ~ 175°E の地域に及んでいる.その範囲全体の地域的基底深 度は 5000-m ~ 5500-m である.このことは、海膨が 太平洋のこの場所に存在している、という提案自体 が誤りであることを示している.

つぎに、上述したすべての情報からすると、'前置

き'で述べたように,ある人が期待する同心円状の 輪(等深線)のなか,すなわち現存の海膨と同時に 形成されたこの地域のなかに,ギヨーがあるという よりもむしろ,その地域をWSW方向に走る海嶺/ト ラフの出現 (Smoot and King, 1997)に気づくであ ろう.これはまさに,メンドシノメガトレンドの走 向方向の形態が現れたもので,海溝まで完全に連続 しているのである.



図19. 図18の地域の立体図.

マーカス・ウェーク海山群の東部では基底深度が上 方へ徐々に浅くなっているが、そのような場所はメ ンドシノメガトレンドと鹿島/エレターニンメガト レンドの交差部でもあり、地域的な基底深度は約 2800-fmである.このことはマーシャル・ギルバー ト海山列を抜けても同様で、その特殊な地域で海溝 が東方向へ移動しているため、このメガトレンドは ルイビル(Luisville)海嶺部へ接続してはいない.

次の疑問が残る:ダーウィン海膨はこの地域に存在し ているか,あるいはしていたか? その答えは依然と して'否'である.マーシャル・ギルバート海山列 の構築は,火山灰の堆積によるギヨーの形成で始まっ た.陸上侵食と陸源性および半遠洋性物質の堆積が下 部斜面の平坦化に加わり,環礁間およびギヨー地域を 埋積した.したがって,これが"海膨"であるように みえた初期の見方は,単に直交断裂交差部に通常の堆 積作用が加わった結果であるということになる.

I. 明治海山(オブリチェフ海膨)

GEBC0 により公式に明治海山と命名され、一般的に は オブリチェフ海膨(図22) と呼ばれるものは、 カムチャツカ半島沖の アリューシャン・千島海溝 の会合部にある天皇海山列の北端に位置している. それは、ほぼ53°N,164°45′E(図23) でステイルメ イトとクルゼンシュテルンの両断裂帯/メガトレン ドの間の地域を占めている.320-kmの長さの地形 は、千島海溝に130-kmにわたって面し、周囲の海 底から2560-m高まっている.また、その地形は、 南部の デトロイト (Detroit) ギョーや他の天皇海 山列の方位とは異なる;それは、エンペラートラフ/



図 20. 161°-165°E か らマーカス・ウェーク 海山群中に突っ込むメ ンドシノメガトレン ド. 3D 画像の部分は, 全体が,ある程度垂直 方向を誇張した SASS マルチビーム海底地形 図でカバーされてい る.



図21. 図17に示したダー ウィン巨大膨隆の南部を抜き 出した図. 地域全体の基底 深度は、北部と同様、実線で 示した 5000-m 等深線付近の 2600—2800-fm(5200-m) 程度 に留まっている. この図には マーシャル・ギルバート海山 群を含むラリク海山列とラタ ク海山列が示されている.

Gnibidenko and Svarchevskaya (1984) から改作した. 断裂帯 / メガトレンドから左水平ずれによって、西 (Dickins et al., 1992) であると考えられた. DSDP

明治 / オブリチェフの年代と基盤に関してはいくつ かの可能性がある.この地形は氷が運んだ多くの氷 河性迷子石で覆われているはずで、このことはサン プリングしたものの中に大陸起源のものがあるこ とを予想させる. それは ベーリング陸橋の南部の はずである.オブリチェフ海膨は元々、褶曲した 白亜紀の地向斜 (Vasiliev, 1982) で,大陸地殻

方に曲げられているように見える.

成果 (Site 192) によれば, 明治海山は, ハワイの ホットスポットが形成された約82Maより以前のカ ンパニアン期を通じて形成され、海溝へもぐり込ん でいる. ソレアイト質枕状溶岩が DSDP のサイトで 産出したという事実は、それを基盤岩として扱うに は無理がある. 定義によれば、大陸地殻は沈み込ま ないので、その地形はカムチャツカ前弧の上に張り 付いたように現れる.しかし、その地形から採取さ れたサンプルに対比されるカムチャツカとその前弧 で採取されたサンプルは、海溝を横断するものと何 ら類縁性を示さないので、それないしは他の天皇 海山がかつてカムチャツカと合体していたという 提案は誤りであるように思える(Shapiro et al.,



図 23. 明治海山 / オブリチェフ海膨地域の構造図. この図は, 太平洋北端部が NNW-SSE 方向の断裂帯の影響を受けていることを 示している.



図 24. GEOSAT による WBG マップに基づいた北部インド洋の海底. マスカレン海台と チャゴス・ラカディヴ海嶺は,互いにインド 洋中央海嶺を横切る同じトランスフォーム断層の反対側にある. しかし,マスカレンは大陸起源である.海嶺はデカントラップへ 延びている.この場合,レユニオン"ホットスポット"はどちら の形成にも関係していない.

2006). Shapiro グループによれば、このことは、 明治海山が海洋地殻の上にあらたに活発化したホッ トスポットによって形成された最初の地形であるこ との証拠である.

現時点では,オブリチェフ海膨の基盤地殻は知られていないようである.もし,それが大陸性基盤を持っているなら,この海膨は EFZ の上には形成されたものではない.

J. マスカレン海台 / チャゴス・ラカディヴ海膨

おそらく、プレートテクトニクス仮説の出現後、重要な意義のある海底地形図の出現前には、海洋底上の すべてのものと同様、マスカレン(Mascarene)海台 とチャゴス・ラカディヴ(Chagos-Laccadive)海嶺 (図24)は、インド洋拡大海嶺の形成によって分断さ れる前の65Ma頃、レユニオン(Reunion)ホットスポッ ト上で形成されてきたと考えられていたようである.

上述のようなことは事実ではないことが明らか になってきている (Meyerhoff et al., 1996b; Sheth, 1999). モーリシャス (Mauritius) と共に, 両者は大陸性地殻であり,両者ともジルコンを産し, 両者とも海嶺軸から等距離にある. 両者の年代は今 のところ,約1971Ma と考えられている (Torsvik et al., 2013).マスカレン海台は,北方の セイシェ ルから南方のレユニオンまで,ほぼ2000-kmにわ たっている. その海台は,水深8~150-mの浅海を 15,000-km²にわたってカバーし,縁辺では4000-m の深海平原へ突っ込んでいる. それはインド洋では 最大の海底台地である.

マスカレン海台の北部は花崗岩で形成されている. その花崗岩の頂部には、石灰岩と玄武岩が堆積している. セイシェルの玄武岩層は、インド亜大陸の中 央部で白亜紀末の65Maに発生したデカントラップ の噴出によるものである.

その海台は、サヤデマラ (Saya de Malha) 堆とナ ザレ (Nazareth) 堆の間の 12°S 前後で、西方へ 45° と急激に向きを変えている.マスカレン海台の南部 は、南マスカレン海台 (SMP) としても知られてい るが、チャゴス・ラカディヴ海嶺と共に、レユニオ ン火山性ホットスポットによって形成された.

チャゴス・ラカディヴ海嶺 (CLR) は、チャゴス諸 島の南端、9°S からアダス (Adas) 堆周辺の 14°N まで、北方へほぼ 2350-km にわたって拡がっている. チャゴス、モルディブ (Maldives)、ラクシャドウィー プ (Lakshadweep) の各諸島は、CLR が海面上に現 れた部分である.

火山活動によって形成されたその海嶺のある部分

は、インド洋中央海嶺の活動による'漏出性'トラ ンスフォーム断層か、'ホットスポット'地域を超 えて漂移するときの火山活動かのいずれかによって 形成された.一方、他の、とくにモルディブ諸島 のセグメントは、インドから開裂したマイクロコ ンチネントであるかもしれない (ben Avraham and Bunce, 1977).マイクロコンチネントというものが 提起されて以来、それは正しいものとされてきた (Mac Niocaill, 2013; Torsvik et al., 2013).

最新の断裂帯の等深線に沿ってこれら2つ(チャッ ゴス海嶺とマスカレン海台)を再接合させる単純な 試みは、チャゴス海嶺の一部をマスカレン海台の北 部に位置づけるが、SMPはすべて南部 CLR の一部に なるように見える.分離は領域内に基幹チャネルが できはじめると同時に起こり、大規模な N-S 方向の 断裂 (Sheth, 1999)によって、インドのデカントラッ プから分離する (Coffin and Eldholm, 1992).

これら2つの地形は、同じ断裂の両端にあり、その仮 説を信頼させるものである.その大陸性基盤岩、ジル コン、玄武岩の年代はすべて、この復元に一致している.

結 論

すべての仮説におけるように,決して既存の様式に は当てはまらない地形がある.これまで見てきたす べての海台 / 海膨は,DSDP,ODP,その他によって 発見された後からの火山活動で立証された何らかの タイプの高温体の上に横たわっている.他の LIPs は大陸起源であることが証明されてきた.しかし, それらもまた,大陸地殻の上に火山性の甲殻を持っ ている.あるものはマイクロコンチネントと呼ばれ ている.分離された大陸の断片のリストには,ケル ゲレン (Kerguelan),セイシェル (Seychelles), フォークランド (Falkland),北極海嶺 (Arctic Ridges)が含まれる.

北グリーンランド沖のモールス・ジェサップ (Morris-Jessup) 海膨のほか,フレミッシュキャッ プ,スピッツベルゲン沖のイェルマック (Yermak) 海台,北西オーストラリアの エクスマス(Exmouth) 海台,チャタム (Chatham)海膨南方沖のキャンベ ル (Campbell) 海台,チャレンジャー (Challenger) 海台,ロードハウ (Lord Howe)海膨,ニュージー ランドのようなその他のものは大陸棚上にあり,大 陸起源である.

地殻が確定されていない海膨/海台はどれも、もと もとは海山群である.それらのほとんどは、上位の 地殻中の脆弱な地帯を通って漏出したマグマによっ て断裂内に形成されてきたと結論されている.たと えば、北西太平洋海盆内のネルソン (Nelson) ギョー (Smoot and Heffner, 1986) は、鹿島とチヌークの

メガトレンドの交差部上に位置している. チヌーク は西方に連続するので, それは小笠原海台上で南東 に伸びるウジンツェフメガトレンドと交差する. ウ ジンツェフメガトレンドは南方へ連続するので、そ れはダットン (Dutton) 海嶺におけるメンドシノメ ガトレンドの北部サーベイヤー部分と交差し、そこ では肉眼的形態がそのような交差を反映している. メガトレンドに基づいた別の軽率な提案をする者が いるようだ:どの交差部もそれぞれの末端まで連続 するような場合には、オフセットはほとんどできな い. さらに、それらは非常に深く刻印された断裂上 で互いに交差している. 断裂帯の多くは、海溝のそ れに匹敵する海底地形の凹地を有している.もしそ の断裂が地殻から上部マントルまで独自に裂けるよ うなことが普通に起こるのであれば、その原因は何 だろう、と疑問に思う人がいるに違いない、マリア ナ,フィリピン,トンガ,ケルマデックなどの海 溝は10,000-m以上の深度を有し、別のカテゴリー に分類される.他の海溝の深度は、たとえば日本 海溝 (7400-m), ジャワ海溝 (7725-m), 伊豆海溝 (8780-m), 琉球海溝 (7460-m), ペルー・チリ海溝 (8065-m), ロマンシェ海溝 (7761-m), プエルトリ コ海溝 (8648-m) であり,メンドシノ断裂帯 (6950m), サーベイヤー断裂帯 (5856-m), エンペラー裂 帯 (6950-m), クルゼンシュテルン断裂帯 (6200-m; Smoot, 2015) などに比較され得る.

作業仮説から逸脱する例はたくさんある.アフリ カプレートは、エラトステネス^{*1}を伴って、海溝 の下をヨーロッパにもぐり込んでいるとされてい る.国際地震情報センター (National Earthquake Information Center: NEIC)のデータベースにアク セスすれば、キプロスの上と南に散在する少数の震 央とともに、ほとんどすべての震央がギリシャの 島々を取りまいて環状に分布していることに気づく だろう^{*2}.イタリアにも多くの震央が分布するが、 地中海の海底は地震活動によって明確にされる沈み 込み帯をほとんど欠いている.このことは、地震が 沈み込むスラブの輪郭にどのように描かれるか、を 明確にするときにとくに当てはまる.

- *¹ エラトステネス (Erathosthenes): 地中海のキプロス 南方沖にある海山. 頂部水深は 690m, 基底からの高さは 2000-m. 大陸地殻の断片と考えられている.
- *2 ギリシャの島々を中心とした震央分布はエーゲ渦巻構造 として知られている(A.A.メイヤーホフほか著,西村敬 ーほか訳,サージテクトニクス,共立出版, p. 97-99 参照)

中央太平洋の北部 (30-55°N; 155°E-175°W) の地形 構造図 (図 25; Smoot, 2012a) は, 異形の形を示 して拡がっている. 千島海溝 (KT) とアリューシャ ン海溝 (AT) で始まり, オブリチェフ 海膨 (OR) が全体的に NW-SE 方向で横たわる. それは, 天皇海 山列により重ねあわされた後, エンペラーメガトレ ンド (ET) につながる. マヌア (MaFZ), クルゼンシュ



図 25. 北部~中部太平洋海盆における主要リニアメント.S:推 古ギヨー,N:仁徳ギヨー. これらのリニアメントはすべて公表 された海底地形図や本論に含まれるものから採っている.

テルン (KFZ), ステイルメイト (SFZ) などのよう なほぼ平行なメガトレンドが ET の側方にある. こ の原図は 1990 年代初期のものであるが,後に示す GEBC0 の図とよく比較される.

同じ地域を通り過ぎると,チヌークトラフ (CT) は, 実際にその名前でメガトレンドの一部となっている が,ヘス海膨 (HR) の下を通り,シャツキー海膨 (SR) の構築 に一役買った可能性がある. それはさらに ENE-WSW 方向でマリアナ海溝へ続いている. HR の南 の境界 (図7) は,メンドシノメガトレンド (MFZ) のすぐ北に当たる.

HR 北部の4本の小さな海嶺(図6)のような小規模 の方向性は、天皇海山列とSR の方向性に影響を及 ぼしている.緯度45°N線の上の破線はGEOSAT の 図によるもので、トラフを示す.最後に、SR の中 央の海山群の短い列は、別の方位を示す.43Ma ~ 73Maに形成された天皇海山列、約 140Ma に三重会 合点で形成されたシャツキー海膨、そして何らかの 方法で約 120Ma に形成されたヘス海膨の3つに適合 するような年代論と造構シナリオはおそらく見当た らない.最も実際的な解は、この地域が加熱された チャネルの上にあり、交差するメガトレンドが発達 しているということである.

この地域が三重会合点であったと想定されてきたこ とを認めると,三重会合点はほぼ同時期に他の3ヶ



図 26. 北部~中部太平洋海盆を広く示した GEBCO の地図. そこ にはリニアメントがすべて現れている. ヘス海膨の底部とハワイ 海嶺との間,およびハワイ海嶺と中部太平洋海山群の間に線を引 くことができるが,その必要はないと思う. 繰り返すが,衛星デー タはマルチビームデータと対応しており,メガトレンドが一層細 部まで現れている.

所にも存在することが提案されていることも認めな ければならない.したがって、実践的な構造地質家 は、地域発達史の確たる説明をする際に、すべての 可能性を考慮しなければならない.

図26は、実践的な構造地質家への啓発とお楽しみ のために付け加えられた. 最新の GEBCO 情報によれ ば,この図は良く知られている北部~中央太平洋海 盆をカバーしている.地球のテクトニクスとジオダ イナミクスという難解な問題に首を突っ込むなら, 考え得る'すべて'の要素を考慮しなければならな い. クルゼンシュテルンやエンペラーのような種々 の NNW-SSE 方向の断裂帯の南方延長が、ひとつの例 として, ハワイ海嶺を難なく越えて拡がっているよ うにみえる.その断裂帯の正確な年代を得ることは、 その啓発活動を手助けするための長い道のりになる だろう.現状では、より説得力のある構造論的説明 はまず不可能である.このことは実際,正確な地形 はもちろん,正確な海洋底とその年代が欠けている ことに幇助されている. 我々は見える範囲の外側に までさらに力を注がなければならない.

謝辞:本論の改善を促すよう査読していただいた Karsten Storetvedt 氏に感謝する. 原稿を改善す べき箇所では,彼の意図を汲んできた. Dong Choi 氏は,本論の編集作業を忍耐強く行ってくれた.本 稿が印刷されたのはすべて彼のおかげです. ありが とう, Dong. 文 献

- Anderson, D.L., 1994. Superplumes or super continents. Geology, v. 22, p. 39-42.
- Anderson, D.L., 2012. Questioning mantle plumes. Physics Today, v. 65, p. 10-12.
- Anderson, D.L., 2013. The persistent mantle plume myth: Do plumes exist?, Australian Journal of Earth Sciences, doi:10.1080/08120099.835283.
- Ashalatha, B., Subrahmanyam, C. and Singh, R.N., 1991. Origin and compensation of Chagos-Laccadive ridge, Indian Ocean, from admittance analysis of gravity and bathymetry data. Earth and Planetary Science Letters, v. 105, p. 47-54.
- Beggs, J.M., Challis, G.A. and Cook, R.A., 1990. Basement geology of the Campbell Plateau: Implications for correlation of the Campbell Magnetic Anomaly System. New Zealand Journal of Geology and Geophysics, v. 33, no. 1, p. 401-404.
- Choi, D.R., Vasil'yev, B.I. and Bhat, M.I., 1992. Paleoland, crustal structure, and composition under the northwestern Pacific Ocean, in: Chatterjee, S. and N. Hotton, III, eds. New Concepts in Global Tectonics (Texas Tech University Press, Lubbock), p. 179-191.
- Coffin, M.F. and Eldholm, O., 1992. Volcanism and continental break-up: a global compilation of large igneous provinces. In: Storey, B.C., Alabaster, T., Pankhurst, R.J. (Eds.), Magmatism and the Causes of Continental Break-up. Geol. Soc. London Spec. Publ. 68, p. 17–30.
- Coffin, M.F. and Eldholm, O., 1994. Large Igneous provinces: Crustal structure, dimensions, and external consequences, Reviews of Geophysics 32/1, 1-36.
- Coffin, M.F. et al., 2015. Deciphering Ontong Java Atoll, Nukumanu Atoll, and Kroenke Canyon, Western Equatorial Pacific. FK141015 OJP-Final Project Report, 17p.
- Dickins, J.M., Choi, D.R. and Yeates, A.N., 1992. Past distribution of oceans and continents, in: Chatterjee, S. and N. Hotton, III, eds., New Concepts in Global Tectonics (Texas Tech University Press, Lubbock), p. 193-199.
- Epp, D. and Smoot, N.C., 1989. Distribution of seamounts in the North Atlantic. Nature, v. 337, p. 254-257.
- Funck, T., Hopper, J.R., Larsen, H.C., Louden, K.E., Tucholke, B.E. and Holbrook, S., 2003. Crustal structure of the ocean-continent transition at Flemish Cap: Seismic refraction results. Journal of Geophysical Research: Solid Earth 108:B11.
- Gerlings, J., Louden, K.E. and Jackson, H.R., 2011. Crustal structure of the Flemish Cap Continental Margin (eastern Canada): an analysis of a seismic refraction profile. Geophysical Journal International, v.

185, no. 1, p. 30-48.

- Gnibidenko, H.S. and Svarchevskaya, L.V., 1983/84. The submarine canyons of Kamchatka, Marine Geology, v. 54, p. 277-307.
- Haxby, W.F., 1987. Gravity Field of the World's Oceans: A portrayal of gridded geophysical data derived from SEASAT radar altimetry measurements of the shape of the ocean surface. Marine Geology and Geophysics Report MGG-3 (National Geophysical Data Center, Boulder)
- Hopper, J.R., Funck, T., Tucholke, B.E., Larsen, H.C., Holbrook, W.S., Louden, K.E., Shillington, D. and Lau, H., 2003. Continental breakup and the onset of ultraslow seafloor spreading off Flemish Cap on the Newfoundland rifted margin. Geology, v. 32, no. 1, p. 93-96.
- Huirong, A. A., Stock, J.M., Clayton, R. and Luyendyk, B., 2008. Vertical tectonics of the High Plateau region, Manihiki Plateau, Western Pacific, from seismic tomography. Marine Geophysical Researches doi:10.1007/s11001-008-9042-
- Ingle, S. and Coffin, M.F., 2004. Impact origin for the greater Ontong-Java Plateau? Earth and Planetary Science Letters, v. 2, no. 18, p. 1-2 & 123-134.
- Kim, J., Sager, W.W., Klaus, A., Smoot, N.C., Nakanishi, M., Khankishieva, L. and Brown, G.R., 1995. New bathymetry chart of Shatsky Rise, NW Pacific Ocean. Eos, Transactions, American Geophysical Union 76, p. F329.
- Koppers, A.A.P., Staudigel, H., Pringle, M.S. and Wijbrans, J.R., 2003. Short-lived and discontinuous intraplate volcanism in the South Pacific: Hot spots or extensional volcanism? G3 4/10, doi:10.1029/2003GC000533.
- Leybourne, B.A. and Smoot, N.C., 1997. Ocean basin structural trends based on GEOSAT altimetry data, in: Ocean Technology at Stennis Space Center: Proceedings of the Gulf Coast Chapter Marine Technology Society, p. 135- 140.
- Lowrie, A., Smoot, N.C. and Batiza, R., 1986. Are oceanic fracture zones locked and strong or weak?: New evidence for volcanic activity and weakness. Geology, v. 14, p. 242-245.
- Mac Niocaill, C., 2013. Plate tectonics: Calling card of a ghost continent. Nature Geoscience, v. 6, p. 165-166.
- Malaimani, E.C., Kumar, N.R., Akilan, A. and Abhilash, K., 2009. Episodic GPS Campaigns at Lakshadweep Islands along the Chagos-Laccadive ridge to investigate the inferred continental flexure in the west of India and the nonrigidity of the oceanic part of the Indian Plate. Journal of the Indian Geophysical Union, v. 13, no. 1, p. 1-7.
- Mammerickx, J., 1984. Bathymetry of the northcentral Pacific. Map and Chart Series MC-52 (Geological Society of America).
- McNutt, M.K., 1998. "Superswells". Reviews of Geophysics, v. 36, no. 2, p. 211–244.

- Menard, H.W., 1964. Marine Geology of the Pacific. New York: McGraw-Hill.Meyerhoff, A.A. and Meyerhoff, H.A, 1972. The new global tectonics: major inconsistencies: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 56, no. 2, p. 269–336.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-Kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C. and Choi, D.R.; (ed.) D.M. Hull, 1996a. Surge Tectonics: A New Hypothesis of Global Dynamics (Kluwer Academic Publishing, Dordrecht), 323p.
- Meyerhoff, A.A., Boucot, A.J., Meyerhoff-Hull, D. and Dickins, J.M., 1996b. Phanerozoic faunal and floral realms of the Earth: the intercalary relations of the Malvinokaffric and Gondwana faunal realms. Boulder, CO: Geological Society of America, Memoir 189.
- Morton, A.C., Hitchen, K., Fanning, C.M., Yaxlet, G., Johnson, H. and Ritchie, J.D., 2010. Detrital zircon age constraints on the provenance of sandstones on Hatton Bank and Edoras Bank, NE Atlantic. Journal of the Geological Society, v. 166, no. 1, p. 137-146.
- Norton, I.O., 1995. Plate motions in the North Pacific: The 43 Ma non-event. Tectonics, v. 14, no. 5, p. 1080-1094.
- Norton, I.O., 2007. Speculations on Cretaceous tectonic history of the northwest Pacific and a tectonic origin for the Hawaii hotspot. Geological Society of America Special Papers 430, p. 451-470,
- Pratt, D., 2000. Plate tectonics: a paradigm under threat. Journal of Scientific Exploration, v. 14, no. 3, p. 307-352.
- Sager, W.W., 2005. What built the Shatskiy Rise, a mantle plume or ridge tectonics? GSA Spec. Pap. 388, p. 727-733.
- Sager, W.W., Kim, J., Klaus, A., Nakanishi, A.M. and Khankishieva, L.M., 1999. Bathymetry of Shatsky Rise, northwest Pacific Ocean: Implications for ocean plateau development at a triple junction. Journal of Geophysical Research, v. 104, p. 7557-7576.
- Shapiro, M.N., Soloviev, A.V. and Ledneva, G.V., 2006. Is there any relation between the Hawaiian-Emperor seamount chain bend at 43 Ma and the evolution of the Kamchatka continental margin? www.MantlePlumes.org.
- Sheth, H.C., 1999. Flood basalts and large igneous provinces from deep mantle plumes: fact, fiction, and fallacy, Tectonophysics 311/1, 1-29.
- Smith, W.H.F. and Sandwell, D.T., 1997, Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings, Science, v. 277, p. 1956–1962.
- Smoot, N.C., 1982. Northern Hess Rise extended by multi-beam sonar. Tectonophysics, v. 89, p. T27-T32.
- Smoot, N.C., 1991. North Pacific Guyots, (Naval Oceanographic Office Technical Note TN 01-91), 101p.
- Smoot, N.C., 1993. Geomorphic effects of seamounts in NW Pacific subduction zones. Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 25, p. A-379, Boston, 28 October.

- Smoot, N.C., 1994. Plate-wide Pacific trends--orthogonal fracture intersections. Eos, Transactions, American Geophysical Union, v. 75, no. 25, p. 69.
- Smoot, N.C., 1995. The Chinook Trough: a trans-Pacific fracture zone, in: Proceedings of the Third Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, vol. II, p. 539-550.
- Smoot, N.C., 1999. Orthogonal intersections of megatrends in the Mesozoic Pacific Ocean basin: a case study of the Mid-Pacific Mountains. Geomorphology, v. 30, p. 323-356.
- Smoot, N.C., 2001. Ocean Survey Program (OSP) bathymetry history: Jousting with tectonic windmills.
 In: J.M. Dickins, A.K. Dubey, D.R. Choi, and Y. Fujita (eds.) Special Volume on New Concepts in Global Tectonics. Himalayan Geology, v. 22, no. 1, p. 65-80.
- Smoot, N.C., 2010. The Chicken or the Egg: The Ogasawara Plateau or the Izu-Bonin Trench. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 54, p. 75-81.
- Smoot, N.C., 2012a. North-central Pacific basin lineaments and mobilism: Really? New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 62, p. 5-21.
- Smoot, N.C., 2012b. Northeastern Pacific and Cascadia margin: Snake-oil tectonics. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 63, p. 37-48.
- Smoot, N.C., 2015. Marine Geomorphology 3rd Edition (MindStir, Portsmouth), 265p.
- Smoot, N.C. and Lowrie, A., 1985. Emperor Fracture Zone morphology by multi- beam sonar. Journal of Geology, v. 93, p. 196-204.
- Smoot, N.C. and Heffner, K.J., 1986. Bathymetry and possible tectonic interaction of the Uyeda Ridge with its environment. Tectonophysics, v. 124, p. 23-36.
- Smoot, N.C. and Richardson, D.B., 1988. Multi-beam based 3D geomorphology of the Ogasawara Plateau region. Marine Geology, v. 79, p. 141-147.
- Smoot, N.C. and Meyerhoff, A.A., 1995. Tectonic fabric of the North Atlantic Ocean floor: speculation vs. reality. Journal of Petroleum Geology, v. 18, no. 2, p. 207-222.
- Smoot, N.C. and Leybourne, B.A., 1997. Vortex structures on the world-encircling vortex street: Case study of the South Adriatic basin. Marine Technology Society Journal, v. 31, no. 2, p. 21-35.
- Smoot, N.C. and King, R.E., 1997. The Darwin Rise demise: The western Pacific guyot heights trace the trans-Pacific Mendocino Fracture Zone. Geomorphology, v. 18, nos. 3-4, p. 223-236.
- Smoot, N.C. and Leybourne, B.A., 2001. The Central Pacific Megatrend. International Geology Review, v. 43, no. 4, p. 341-365.
- Smoot, N.C. and Choi, D.R., 2003. The North Pacific Megatrend. International Geology Review, v. 45, no. 4, p. 346- 370.

- Stepashko, A.A., 2008. Spreading cycles in the Pacific Ocean. Oceanology, v. 48, no. 3, p. 401-408.
- Stokera, M.S., Kimbellb, G.S., McInroya, D.B. and Morton, A.C., 2012. Eocene post-rift tectonostratigraphy of the Rockall Plateau, Atlantic margin of NW Britain: Linking early spreading tectonics and passive margin response. Marine and Petroleum Geology, v. 30, no. 1, p. 98-125.
- Taylor, B., 2006. The single largest oceanic plateau: Ontong Java-Manihiki-Hikurangi. Earth and Planetary Science Letters, v. 241, no. 3-4, p. 372-380.
- Tejada, M.L.G., Mahoney, J.J., Neal, C.R., Duncan, R.A. and Petterson, M.G., 2002. Basement geochemistry and geochronology of Central Malaita, Solomon Islands, with implications for the origin and evolution of the Ontong Java Plateau. Journal of Petrology, v.

43, no. 3, p. 1-36.

- Timm, C., Hoernle, K., Werner, R., Hauff, F., van den Bogaard, P., Michael, P., Coffin, M.F. and Koppers, A., 2011. Age and geochemistry of the oceanic Manihiki Plateau, SW Pacific: New evidence for a plume origin. Earth and Planetary Science Letters, v. 304, no. 1-2, p. 135-146.
- Torsvik, T.H., Amundsen, H., Hartz, E.H., Corfu, F., Kusnir, N., Gaina, C., Doubrovine, P.V., Steinberger, B., Aswal,L.D. and Jamtveit, B., 2009. A Precambrian microcontinent in the Indian Ocean. Nature Geoscience, v. 6, p. 223–227.
- Vasiliev, B.I., 1982. Preliminary data on the dredged results of the Obruchev submarine rise (the Pacific Ocean). Tikhookenskaya Geologiya, no. 5, p. 96-99 (in Russian).

カスピ海とアラル海の不自然な上昇と下降:地球内部静水圧脈動の帰結 The baffling rise and fall of the Caspian and Aral seas: Products of Earth's internal hydrostatic pulsation

Karsten M. Storetvedt

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

(矢野 孝雄[訳])

最近の地史をみると、内陸塩水盆であるカスピ海とアラル海はそれぞれ、不可解で顕著な海面変動を引き起こしてい 摘要 る. たとえば、大きいほうのカスピ海では 1980 年以降に水位が約 4m 上昇し、そのため、それ以前の 50 年間(1930-1980 年)に失われたのと同量の水が増えた.この海面変動パターンは、伝統的な表層水文学的メカニズム(河川の流入量と流 出量の差を蒸散量によって説明する)を適用することでは説明されえない. 伝統的考え方にとってさらに困るのは、近くの浅 いアラル海(水域面積ははるかに小さい)が急速に縮小していることである.本論文は、永続的脱ガス地球環境の観点から、 海面の不思議な長期変動をとりあげる. 地球内部に由来する含水溶液がカスピ海とアラル盆地に(エピソード的に)初生水 を供給しているという結論を退けるのは困難である。というのは、地球の微妙な自転変化のために、潮汐あるいは慣性作用に よって、内部静水圧が一種の油圧装置として機能し、深部開口裂罅系の内部含水流体に急激な影響をもたらす、その結果、 内部与圧系の地表へ影響は、さまざまな規模の海進 - 海退周期をもたらす. この説明は古典的地球物理学メカニズムに関連 し、大陸深層ボーリングの観測データによって支持される.地表水(より深部の水は超臨界水状態にある)の地史的周期性は、 基本的に、他のすべての顕著な広域現象に密接に関連しているだろう:たとえば、1)地球深部からの石油・天然ガスの放 出に由来するカスピ海の炭化水素鉱床域(高収益),および、2)それに関連する世界で最も高密度の泥火山分布.実際、 下部地殻~マントルにおける高反応性の超臨界流体は、地殻の地震波速度低下をもたらす最も重要な物質の1つであろう. 例えば、白亜紀後期~古第三紀の世界的造構変動によってときどき発生した地殻削剥作用は、かつて浅かったカスピ海南部 を現在の大水深に変え,世界でもっとも厚い埋積層をもつ堆積盆が生まれた. このように,カスピ海南部は,約 500 万年前 の新第三紀後期のはじめに、周辺山脈の隆起とともに、最新期の沈没と堆積を始めた. この造構事象は、アラル海の沈降の 始まりと同時と考えられている.

キーワード: sea-level histories, Earth degassing, brines and hydrocarbons, dynamo-tectonic pulsation, mud volcanoes (2017年10月26日受付, 2017年11月22日受理)

背 景

地球進化の鼓動, すなわち地球脈動 (Umbgrove, 1947 参照) は, さまざまな方法でかなりの程度まで

実証された.たとえば、低地への海進-海退史、堆 積物集積の振動周期、および、とくに地質時代境界 をもたらした多様な造構-火成活動などを通じて実 証された.地質時代の大半にわたって現在の陸塊は

低平で、浅い大陸縁辺海が大部分の陸地表面を覆っ ていた. 例えば、かつての造構帯における 500 万年 前の世界的地形隆起以前には(総説と参考文献は, Ollier, 1992, 2006; Ollier and Pain, 2000; Hay et al., 2002; Storetvedt, 2015), 現在のアルプ ス-ヒマラヤ山系は、古生代前期に形成された広大 な大陸縁辺海の中軸帯であった(参考文献と考察は, Sonnenfeld, 1981; Storetvedt, 2016参照). この海は, もともと Neumayr (1885) によって提案された概念で あり,後にSüss (1893, 1901) によって構造論が詳 述された.この初期の概念では、この大陸縁辺海の 北岸は浅い海嶺によって区切られた Paratethys と呼 ばれた.この海嶺の南側の別の大陸縁辺海,すなわ ち Tethys が、ヨーロッパとアジア中・北部の広大な 地帯にひろがっていた (Sonnenfeld, 1981, 多数の 参考文献参照). Tethys は固有の動植物種に特徴づけ られる孤立した古地形単元を頻繁にかたちづくって いたことが古くから認識され,北側の Paratethys と はまったく異なることが指摘された.

地球脱ガス / レンチテクトニクス系では、地球内部 ガスの放出とそれに関連する物質の化学的再編成 (化学平衡に向けて)が未完であると論じられる. この進行中のプロセスは,惑星の慣性モーメント(お よびそれに由来する自転特性)に周期的変化をもた らした.このプロセスは、海洋および大陸の堆積 盆は内部物質の再編成の様々な発達段階-アイソス タシー地殻沈下および堆積盆を発生させる地殻薄化 (持続的エクロジャイト化とそれに伴うマントル中 への地殻消失)-を表している.この意味で,Leech (2001)は、地殻下部のエクロジャイト化とその結 果として生じるデラミネーション(地殻剥離)は, 加水による密度変化として実際に生じる一種の変成 作用であると結論づけた. そして Austrheim (1998) は、下部地殻グラニュライトからエクロジャイト転 移が進むためには、温度や圧力条件のいずれよりも 水溶液の存在が重要であると主張した. 大陸深層掘 削(Kolaとドイツ南東部の KTB)は、地殻深部にお ける水の存在を解明し, 地球内部から揮発性物質が 外向きに流動していることを実証した.水蒸気,二 酸化炭素、様々な気体炭化水素、塩素などが豊富に 含まれる塩水は、地球深部の脱ガスが未完であると 考える十分な証拠である (Storetvedt, 2003 およ びその参考文献参照).

Kola と KTB の両井において,含水流体で満たさ れた開放裂罅が多数存在し (Smithson et al., 2000; Möller et al., 1997),地球内部の状態は比 較的浅部でさえも従来の考えとはいちじるしく異な っていることは明白である.大陸における2つの深 層掘削孔において観察された深度による裂罅密度の 指数関数的増加は,浮力をもつ高圧流体が少なくと も周囲の地殻の内部応力と同程度の大きさをもつ外 向きの静水圧をもっていることを示す.静水圧の漸 進的蓄積は、地震や火山をともなわない地域で地表 裂罅などの現象を引き起こすガス噴出と同様に、ス ポット状の火山噴火を引き起こした可能性がある. 地殻およびマントル内では、気液臨界点(374℃お よび221 MPa)よりも高温・高圧環境では、水は基 本的に超臨界状態で存在する(例えば、Galli and Pan, 2013; Pan et al., 2013). 含超臨界水流体は 固体岩石をとりこみ、機械的に破壊しうるために、 地表に泥火山が発生するのだろう. それは、破砕さ れ強く軟弱化した地殻ではとくに顕著である.

世界の主要海洋の沈降は、もともとの大陸地殻の下 からの漸進的な薄化を通じて、基本的に白亜紀~古 第三紀に起きた.地殻海洋化の主要段階では、大陸 縁辺浅海は陸から徐々に後退した.図1は、ヨーロ ッパ~中東の主要地域における漸新世と中期中新世 の陸上~浅海環境をそれぞれ示している.これらの 図面では、アルプス造構革命(後期白亜紀~古第三 紀)の後でさえ、大陸は全体的に低平であったこと が注目される.アルプス-ヒマラヤ地帯が隆起して、 最終的に現在見られる山系を形成し、ユーラシア大 陸が乾燥化したのは、メシニア期(約 500 万年前) 以前ではなかった(参照:Storetvedt, 2015 および、 その文献).

古生代前半以降,ユーラシア大陸では、ゆっくりと した地殻剥離(delamination),アイソスタシー沈降, ならびに浅海堆積作用が連続的に進行した.たとえ ば、古生代の北部カスピ海盆では厚さ数 km の浅水 堆積物が沈積した(以下を参照).ユーラシア大陸 の大部分は大陸縁辺海に覆われていた.他方,現在 の地中海のような、中程度の厚さの大陸地殻をもつ 深い盆地の起源ははるかに若い.鮮新世〜第四紀に、 この海洋は、下部地殻のさまざまな重力性薄化作用 と残存する地殻のアイソスタシー沈降を被った.こ れらの作用が、地中海地帯における円形〜楕円形 凹地を形成した(cf. Wezel, 1985; Storetvedt, 2003).地中海地殻の崩壊と調和的に、隣接する山 岳地帯(アルプス,アトラスなど)が浮上した(総 説と文献は、Storetvedt, 2015を参照).

中新世~鮮新世に地球を襲った力学-地殻変動波 は、顕著な海面変動(Haq et al., 1987 参照)を もたらし、水圧ポンプ装置として地球を作動させた. その結果、地球内部からは水、塩水、二酸化炭素、 石油、炭化水素ガスなどの混合流体が、リソスフェ アを切断する断層 / 移動経路を介して上方へ移動・ 急増した.これを考慮すれば、レバント内陸盆地に は最大層厚 2kmのメッシニア岩塩が形成され、今で は巨大石油・ガス田が胚胎している可能性があるこ と (Peck, 2008)は、驚くには値しない.自転する 地球では、月と太陽から主に赤道バルジへはたら く引力による歳差運動と章動の影響を受けるため、 日々の潮汐変形や慣性効果に加えて、継続的脱ガス



図1 上図は漸新世の,下図は中期中新世の ヨーロッパにおける陸-浅海分布 (Pomerol, 1982 を簡略化). ウラル地帯(上図)は, ペルム紀の主要な変形時相から2億5,000万 年後でさえも,浅海であったことに注意. 中期中新世(下図)になっても,中部〜南部 ヨーロッパや中東などの大部分は浅海環境に あった.当時のアルプス山脈は,その最初の 地形隆起が起きるまでには1000万年の歴史 が必要であった(Storetvedt, 2015参照).

図2 最近のカスピ海~アラル海域の衛星画 像を示す.1960年代以前の海の範囲が白色~ 灰白色に表示されている.浅いアラル海(右 上)は,基本的に(おそらく断層制御された) 3つの細長いセグメントに分かれて縮小した ことに注意.

や自転軸の空間変化が地球内部のガス - 液体に集中 して、その影響が急拡大することは避けられない. この論文では、塩水を湛えたカスピ海とアラル海(位 置は図 2)における急速な海面振動は、他の未解決 の多重的広域地質学的諸側面とともに、地球脱ガス の当然の結果あるいは産物とみなされる.現在広く 流布しているプレートテクトニクスのメカニズムと 結論は非現実的推測であり、妥当性を欠くので、広 域地質学的および地球物理学的観測にかかわる本稿 の考察では無視される.

完新世における急激な海水準変化

カスピ海(現海水準は世界的海面よりも約28m下方 にある)は、地球最大の内陸水塊である.ところが、 この水塊は、1)河川・地下水流入量・域内降水量と2) 海面蒸発による水分損失とのバランスによって決定 される水文学の最も基本的な原則に従わない.現在、 浅いアラル海が干上がっているが、カスピ海の深く て巨大な海域では、不思議なことに、海面は現在上 昇している.歴史的および地質学的記録によれば、 これらの2つの内陸水塊は,過去にも段階的ではな い急激な海面振動をしばしば経験してきた (Micklin, 1988, 2007; Breckle and Geldyeva, 2012; Naderi Beni et al., 2013).自然の多様な表面現象は,地 球内部プロセスの個別的な発現様式である.本稿の 最終目的は,海面と他の顕著な地質学的特徴や作用 との自然界での連関を探求することである.特に, 南部カスピ海は,詳細にみると,地質学的および進 化的詳細において,カスピ海の残余の領域とは著し く異なっている.それは,なぜだろうか?

1850~1930年に、カスピ海の海水準は中程度に昇 降したが、その後50年間でカスピ海の海岸線は、 水文学の基本原則に従ったようにみえる:つまり, 灌漑プロジェクトの増加と流入河川(北部の主要河 川はボルガ河とウラル河)での水力発電ダムの建 設によって、海水準が約4m低下した.ところが、 1980年頃のカスピ海は、沿岸での水の消費量が増 えたにもかかわらず、予期せぬほどの急上昇を始め た. この最新のカスピ海の海水量の増加は、実際に は1930~1980年における水資源の損失の全量を回 復した(図3). 数多くの研究は、最近の何千年も の間に、海面高度の昇降が起きたことを実証して いる. 海面は約8000, 7000, 6000, 3000, および 200年 BP, そして 19 世紀前半(証拠, 要約および 参考文献はKakroodi et al., 2012, 2015; Naderi Beni et al., 2013) に上昇した. 日射による基本 的気候変動は,河川流入量と蒸発量との間の水文学 的バランスに影響し,基本的には内陸水域の海水準 を制御している、という.しかし、カスピ海の海水 準変動の原因は常に推測であり,最近の貯水量の大 幅な増加は、特定の気候要因や産業活動に起因する ものではない.

したがって、地球内部がカスピ海盆の貯水量変動に 重要な役割を果たしているとの結論を避けることは 困難だろう.それは、上部マントル~下部地殻の含 水流体に一種の水圧装置として作用し、主要な海退- 海進事件と過渡的な湖面事件の両方をもたらす.い ずれにしても、カスピ海におけるもっとも劇的な海 面変動と気候変動が人為的原因によるとの考え方 は、推測にすぎず、受け入れがたい.これに関して、 Clauer et al. (2000)は、カスピ海の主要海域に 連絡しているカラボガーズ湾(中~東部カスピ海の 海の入り口、図2参照)の化学的特性を議論し、最 近の海面上昇は「流出、降水および蒸発のみによっ て支配された水文学的バランスの変化」の結果であ るとした.これらの著者によれば、大量の地下水の 流入が関与しているのも必然である.

Breckle and Geldyeva (2012) は、「中東諸国の多 くの巨大な灌漑プロジェクトが,ここ数十年の間に アラル海の壊滅的乾燥をひきおこした」ことを認め ている.しかし、第2著者は、大規模な人類活動が はじまる「約5,000年より前,おそらく8,000~ 15,000年前に、カスピ海とアラル盆地の両方で海 水準が著しく上昇した」と指摘する. これは北シベ リア氷冠の後退・融解によるものであった.しかし、 海進と海進の間に、カスピ海とアラル海の両方の 海水準が大幅に低下した. ロシア人の Breckle and Geldveva の研究を参照すると、3,600 年前の深刻な 海退後に3000年前に海進が起きたとされる.また、 現在の低海水準とは別に、紀元200年頃ならびに約 400~600年前に大きな海退が起きた.シベリア北 部の氷床の後退・融解は、後氷期初期に2つの海に 大量の水を供給した可能性が高いと思われるが、よ り新期の海面上昇は他に起因する可能性がきわめて 高い.カスピ海とアラル海の間の水収支の歴史的変 化は連動せず, 逆行することもしばしばであった (Breckle and Geldyeva, 2012). 伝統的な水文学的 考察は2つの海盆の海水準変動史に適切な解を与え ることができない.

2つの内陸海におけるこれまでの海面振動は、しば しば不可解なほど大きくなった(例えば、Glazirin and Trofimov, 1999;;Kroonenberg et al.,



図 3. 1850 年以来の カスピ海の海面変動 を示す.数値は,世 界海面から測定され た深度 (m) を示す. 1930~1980年に失 われた水量は、その 後の数十年間で完全 に回復した.これは, 従来の水文学研究で は解がえられない海 水準変動である. 出典:A. Jafari 編 集のイラン石油資 料. 図 は Kakroodi et al.(2015)による.

2007; ; Breckle and Geldyeva, 2012). 2つの海 の大規模な海面上昇と降下は依然としてよくわから ない状態で、最近のカスピ海の氾濫については、気 候モデル研究者たちも賢明な解をみいだせない厄介 な事実である.アラル海での海進-海退史には、そ れほど大きな変化は認められない.いくつかのロシ アの研究を引用している Micklin (1988) は, 鮮新 世以降,アラル海盆がくりかえし氾濫/乾燥を繰り 返していると述べた. 1960年以前は世界で4番目 に大きい湖であったが、その後、海水準が 20m 以上 低下した. したがって、Krivonogov et al. (2010) は,放射性炭素年代,考古遺跡,および坑井で掘削 された堆積物に関する新たなデータにもとづいて, アラル海は海水準が自然に変化する水域であり、過 去 2000 年の間に 30m に達する海面振動があったこ とを解明した. Breckle and Geldyeva (2012) は, この内陸水域の発達史の概要を描いた. Svitoch (2009)を参照すると、彼らは「かつてのアラル海 の水収支はかなり急激に振動しながら、大きく変化 した」と主張する. このように、カスピ海とアラル 海の水収支の歴史的変化は連動せず、しばしば逆の 挙動を示した (Breckle and Geldyeva, 2012). こ れは、伝統的な水文学的考察が、2つの内海の水収 支の大きな変動に適切な解をもたらしえないことを 示唆している. この状況はきわめて明確であるにも かかわらず、今日、アラル海とカスピ盆地の水文的 変動のすべてを人為的気候変動に帰そうとする強い 政策的意図が働いている.

より広汎な力学テクトニクスからみたカスピ海とアラル海

カスピ海とアラル海で支配的な"N-S性"セグメント は、ウラル地帯、北海リフト、オスロ - レイングレ イン構造の地理的方向に密接に対応する. リフト帯 はヘルシニア基盤構造を高角度で切って形成されて いて、北欧-カスピ海地方を通って、さらにイギリ ス北部,中部ヨーロッパ南端を通過する (Storetvedt, 1997, 2003 参照). カスピ海地域におけるヘルシニ アねじれ変形をもたらした剪断帯がカレドニアの 古海洋 - 赤道地域から急激に崩壊し、バレンツ海 を通過する全体的に斜め引張的再活性化を引き起 こし、現在ではウラル地帯の北端を横切っている (Storetvedt, 1997, p. 293-295 参照). 古生代後期 (ペ ルム系)の地球の顕著な空間的再配置(真の極移動 事件)の後,対応する古赤道帯が北カスピ海地域の 主要なレンチの再活性化させ、さらにウラル(現在 のカスピ海に沿った) 剪断ベルトを通って大量の岩 塩を放出するのに利用された(図4).いいかえれば, ウラル構造帯は、北部の古生代前期の古気候と南部 の古生代後期の古海洋 - 赤道帯との間に位置する二 段の剪断帯として形成された. そこでは後期段階の 変形が,主要なものであった.ウラル南部の音探断 面では、主ウラル断層帯が少なくとも深度15kmに達 することを示した (Juhlin et al., 1995).

北部・南部カスピ海(以下参照)と地殻の厚さの間 には、海盆沈降と堆積史に大きな相違がある.北 部では,古生代に非常に厚い浅海堆積物が集積し, その後、中生代~第三紀に堆積速度が著しく低下 した. 古生代堆積層の長大な歴史は, 地殻の深度 10km 異常層の広域的薄化に関わっている (Brunet et al., 1999参照). これは、上部マントル高速度 異常という「クッション」の上にある堆積シーケ ンスである.この地殻下の高速ユニットは、北部 カスピ海の重力異常をもたらしている可能性が高 い (Segalovich et al., 2007 およびその中の参考 文献参照). さらに, 流体力学にしたがって上昇す るエクロジャイト化 (eclogitization) および関連 地殻変動 (Storetvedt, 2003 およびその中の参考 文献参照)が起きたことが予測される.実際の古地 理的赤道に関連する後期古生代のレンチ変形は、NS 方向のウラル帯(南へ向かって伸びていく傾向があ り、それに伴って、北部~中部のカスピ海では、北 カスピ海で探査が進んでいる二畳紀の岩塩盆地が形 成された.いっぽう、アルプス変動帯の第三紀構造 運動は、カスピ海南端を横切っていた. したがって、 南カスピ海盆とその周辺は、カスピ海の他の領域と 基本的相違はなく,地下堆積物と物理探査結果にの み著しい違いがみられる.

顕著な北カスピ海の重力異常は最大 70mGal に達し, もともとはウラル帯の延長と考えられていた.この 領域は「1000km の長さと 250-300km の幅」をもち, それはこの地域を通過する二畳紀剪断帯に密接に関 連するだろう(図4).したがって,2つの主要破 砕帯,すなわちウラル南方延伸帯とペルム紀古海洋 赤道における剪断帯が北部カスピ海で会合し,そこ では地球内部の脱ガスが促進され,以下の地質プロ セスの主要な駆動要因となった.

1) 重力に駆動された地殻剥離による地殻変動の増大(このプロセスは北部カスピ海の重力異常に反映される),

2) 二畳紀岩塩(深部から排出された塩水由来の)



図4 ヨーロッパのペルム紀古海洋 - 赤道を示し,同時期の岩塩 堆積盆が加筆されている(Sonnenfeld, 1984). 岩塩堆積盆は次 のとおり: I,北海; Ⅱ,中央ヨーロッパ鉱石海(Zechstein) ;Ⅲ,ドニエプル-ドネツ; IV,北部カスピ海; V,ウラル.

堆積物,そしておそらくは
 3) 現世の生物炭化水素は北部カスピ海盆の厚い石
 灰質堆積層によって移動を妨げられたのであろう
 (参照:Storetvedt, 2014).
 大多数の科学者にとって,南部カスピ海盆(SCB)

は、北部と中部に比べてより大きな課題となっている.世界で最も深い堆積盆(Brunet et al., 2003 参照)の一つとされ、大規模な石油・ガス資源は無 尽蔵と思われる(この地域では、世界初の商業油田 が1846年にバクー近郊で掘削された).さらに、バ



図5 カスピ海地質断面線位置(上図)と沈降/埋積史(下図). Absheron 海嶺(下図の中央)を境にした堆積盆地進化における鮮明な対照性に注意. この図は, Green et al. (2009)による. 南カスピ海盆の後期白亜系以降の堆積物の厚いため,より早期の沈降史は不明である.



図6 南カスピ海盆 (SCB) を取り囲む山脈を含むアルプス- ヒ マラヤ構造帯(現在は茶色系に塗色された隆起地域を形成)の 中東セグメント. 西から東へ,コーカサス,Talysh,エルブル ス,Kopetdag,バルカン,そして最終的にはSCB 地形凹地(図 示されていないが Absheron 海嶺が存在)で構成される.図は Feyzullayev (2012) による.

クー地域から SCS を横切って延びる炭化水素に富む 地帯は、世界最大の石油 / ガス性泥火山と関連して いる (Guliyev et al., 2011 参照). 北部~中部カ スピ海の水深は、北端部の数mから海盆の190mま で変化し、連続的に増加する.しかし、深く破砕さ れたアブシェロン・バルカン海棚を越えると、中部 と南部カスピ海の間には明確な初生的境界があり, この浅部隆起帯の南側での水深は最大 1,023m まで 急増する.北部~中部カスピ海の地殻は一般的に 大陸的(厚さ45-50km)であるが、アブセロン海嶺 の地殻は著しく薄い. SCBの大規模地震探査によ ると、結晶質地殻の厚さはもっとも薄いところで は8kmで、盆地周縁に向って徐々に増加する.深い 盆地の形状は、南部カスピ海では大陸地殻が著しく 薄くなるとの見解を裏付ける(下記参照).図5は, Absheron 海嶺を横切る南北断面である.

図5に示されているように、断層に囲まれたアブシ ェロンリッジの北側では、白亜紀後期の堆積物と若 い堆積物との間にリッジに平行する明確な埋積谷が ある.いっぽう、このリッジの南側で沈降が最も顕 著に増大している.南カスピ海盆地中央部では、厚 さ8km以上の堆積層の大部分が鮮新世~第四紀であ ることが注目される.言いかえれば、最近500万 年の著しい沈降速度は、その構造史(Storetvedt, 2015)はさておいても、世界中の山岳地帯が隆起し た時代(011ier,1992;011ier and Pain,2000参照) に相当する.鮮新世~第四紀の世界的な造陸隆起以 前になんらかの際立った山脈は存在せず、実際には 低平な平原がひろがっていた.その後に、現在見ら れる多くの山岳地帯の険しい地形が削剥作用によっ て形成された.ちなみに,SCBに接する山系(図6) は、海域の新第三紀沈降運動に密接に関連して形成 された可能性が高い.ヨーロッパアルプス西部と西 地中海海盆は、密接に関連したもう一つの山岳/深 海盆のペアかもしれない(Storetvedt, 2015).

後期中生代に始まり、新第三紀に加速した南カスピ 海盆の急速な沈降と埋積は約25kmに達し、世界で 最も深い堆積盆地の一つである (Brunet et al., 2003;および、それらの引用文献). 前期白亜紀堆 積物の年代は不明であるが、 カスピ海の北部および 中央部のように,一部は古生代から連続的に堆積し ていて,後期白亜紀~新第三紀に大きく構造変形し た可能性が高い. 南部の大規模なアルプス・ヒマラ ヤ堆積盆は,構造変形したイラン湾に境されている. 剪断帯北縁は、大コーカサス、アブシェロンリッジ、 およびトゥーラン卓状地東部のアシガバット断層付 近を通過する.カスピ海,特に南カスピ海盆の地質 断面は、地下深部に達する多数の深部断裂帯の存在 を示唆する (例えば, Gulivev, 2011). 同様に, ア ブシェロンリッジの地形的高度は,顕著な地殻薄化 を受けていない東西方向の断層に囲まれた大陸ブロ ックを代表する.古地磁気および衛星測地データは, 主要な造構運動の境界年代が慣性力に主導された全 地球的リソスフェアねじれテクトニクスの時間間隔 を表すという証拠になっている.このように、アル プス時相には、アフリカや中東を含む南部古生物-リソスフェア単元は、適度な反時計回りのねじれ変 形を被った.この造構では、北部のリソスフェアキ ャップは時計回りに回転し,南北半球間の構造的ね じれ境界は、大コーカサス山脈とアブシェロンリッ ジの線に沿っていただろう.図7の広域 GPS 速度べ クトルからわかるように、中東の反時計回りねじれ は現在も進行中である.

SCBの鮮新世-第四紀の急速な沈降-埋積速度(平 均約2km/Ma)は、特に堆積物の80%が粘土質物質 で構成されているため(Feyzullayev, 2013)、確実 な事実であると判断される. SCBは、これまでの 考え方にしたがって周囲の高地から堆積物の大部分 が供給されたと考えば、シルトと粘土の給源が重要 な課題になる.しかし、SCBの堆積相断面における シルトと粘土の豊富さは、おそらく世界の火山-炭 化水素構造の例外的高密度の泥火山分布(図8)に 起因しているだろう(Feyzullayev, 2013).カス ピ海堆積物の連続性を切断する深部断裂帯の多く は、基盤岩類の中まで連続することは明白である (Guliyev et al., 2011参照).したがって、これ らの破砕帯は、マントル炭化水素および他の揮発性 物質の移動通路になっている可能性が高い.

南カスピ海海盆のより深部の先中生界に達する地震 探査断面にみられる堆積層全体にわたる地塊断裂構 造は、炭化水素がマントル由来である可能性を支持



図7 ユーラシアに対する中東の推定された GPS 移動速度を示 す. 一貫した反時計回り運動システムは、コーカサス/アブセロ ン海嶺構造境界で消失することに留意. 南カスピ海盆地はアルプ ス-ヒマラヤ構造帯の中に位置しているので、南部カスピ海が それ以外のカスピカスピ海域とは異なっている. 図は Reilinger et al. (2006) による.



図 8 南カスピ海地域に高密度分布する活動的 / 非活動的泥火 山 (赤点). Guliyev et al. (2011) による.

する事実である(図9). これらの鉛直方向の不連 続は、炭化水素、二酸化炭素、水、塩水などの様々 なマントル由来の流体やガスが岩石泥(結晶質基盤 の破砕物)内を通過する経路を示すものだろう.深 部地殻およびマントル中での超臨界水の構造特性と 地質学的意義に関する知識の増大は、多くの地球化 学的、造構学的、地質学的な諸作用を理解する上 で非常に重要である(Hirschmann and Kohlstedt, 2012; Pan et al., 2013; Sahle et al. 2013). 実際、塩素に富む塩水は、高圧/高温の変成および 火成システムおよび岩石分解において重要な役割 を果たすことが認められている(例えば、Yardley



図 9 南部カスピ海盆の地震探査断面の一部. 地震探査断面は, 結晶質基盤の微小裂罅への超臨界水の注入によって生じた泥とと もに,塩水・炭化水素ガス・流体の上昇による明瞭な煙突構造を 示す(ほぼ鉛直方向の擾乱に注意).流動化した粘土塊は,最終 的には,石油およびガス貯留槽と関連する泥火山を地表に発生さ せる.図はGuliyev et al. (2011)による.

and Graham, 2003; Newton and Manning, 2010).

コラ半島およびドイツ南東部(KTB)の大陸超深度 掘削における予期せぬ発見は,含水流体に満たされ, 幅が深度方向に指数関数的に増大する開放裂罅系 の存在であり (Smithson et al., 2000; Mölleret al., 1997), 流体には塩類および気体炭化水素が含 まれていた. KTB 坑井では, 層間水の塩分濃度は海 水の約2倍であった (Mölleret al., 2005). 深部 裂罅は非常に高い静水圧で維持されるが、少なくと もいくつかの脆い層状岩は、上載荷重よりも大きな 圧力をもつ流体には耐えられないことは明らかであ る. その結果, 流体が静的に, もしくは激しく, 地 表へ逸出する. 超臨界流体の低密度と強力な化学力 学活性を考慮すると、その地表生成物は南部カスピ 海域に豊富に存在する炭化水素に富む泥火山だろ う. そのため、カスピ海の泥火山は、アルカン炭化 水素,硫化水素,水素を含む可燃性火山であること が多い (例えば Hovland et al., 1997).

Wrench Tectonics (Storetvedt, 1997, 2003)によ ると、断続的に脱ガスする地球の動的変化は、自転 速度の変化、真の極移動、リソスフェアの慣性効果 の組み合わせに由来する油圧ポンプ装置のように機 能する. このような力学挙動を通じて、永続的な 世界海面の海進 - 海退サイクルをはじめ、地球内部 からの少量の水、塩水、炭化水素および他の成分 の増加が地表でみられるだろう. 説明できない海 面振動を伴うカスピ海域では、特異的な多数の泥 火山とともに、下方からくり返し補給されている と思われる炭化水素が含まれる数多くの大貯留層 が、地表生成物や断続的脱ガスを地表にもたらす (Storetvedt 2014 も参照).

結論的考察

上部マントルおよび下部地殻における水は超臨界条 件を, すなわち気液臨界点 (647°K/220MPa) を上回 ろ(Hirschmann and Kohlstedt, 2012; Gallia and Pan, 2013). 超臨界水を含む流体の反応性は高い. それらは、十分なガス / 流体圧があると、泥を生成 する固体物質を伴う場合には, 泥火山として地表に 噴出するだろう.一般に,塩類は表層での蒸散によ って析出すると考えられているが、塩素に富む塩水 は、高圧 / 高温岩石の変質および深部での物質移動 メカニズムに重要な役割を果たすことが知られてい る (Newton and Manning, 2010 参照). 南ドイツの KTB 坑井は、伝統的に全く無水と考えられていた地 殻深部で熱い塩水に富む貯水層に逢着し, Kola 超深 度掘削の重要な発見と同様に,破砕容積が深さとと もに指数関数的に増加することがわかった. このよ うな観測にもとづくと,地球自転の変化や潮汐作用 など様々な力学的メカニズムによって引き起こされ る圧力変動が、地殻内部から表層への流体 / ガスの 流動に必要な前提条件をもたらしていると判断され る. さらに,査読者であるBruce Leybourneによると, 地球内部を通過する太陽のプラズマと荷電粒子の流 れがガス放出の誘因として加わっているという.

初生水を上昇させる力学サージが、おそらく、地殻 の地形-地質的発展にもっとも重要な役割をはたし ただろう.シラン、炭化水素および炭化ケイ素(そ れらの表面近傍の熱的反応を含む)の上昇流は、上 部マントルに、そして地殻へはより低い、流体 / ガ ス圧の増加をもたらし、より密度が小さい珪酸と水 を生成する (Storetvedt, 2003). 揮発性物質は高 い水蒸気圧をもっているので、それらが表層へ輸送 中に固体または液体物質に組み込まれると、ホスト 化合物から逃げ出し、周囲のガス圧を上昇させる傾 向がある. そのため, Gold (1999) は, スウェーデ ンの花崗岩地殻中の深度 5.7~6.6km の孔内メタン が高濃度に維持されていると述べた.このように, 坑井でガス駆動と考えられる元素輸送には, 玄武岩 質マグマも含まれる可能性がある.大陸の環境では, 超臨界水の作用による固体岩石の融解に関連して, 内部からの含水流体の放出により,地殻下部に層間 剥離が生じ,それにともなって静水圧沈降が生じる. この地域の地形特性は、断層規制をうけた浅いアラ ル海盆と南カスピ海の破砕された比較的薄い地殻を もつ大陸陥没を2つの端成分として、それらの間で 漸移変化する.

地殻にみられる最も基本的な構造特性は, 先カンブ リア紀初期に形成された逼在的直交断裂系である (Storetvedt, 2003の参考文献と考察を参照). 脱 ガス地球では, これらの脆弱な表層断裂が, (盆地 沈降または地表侵食によって形成される) 地形構造 を区画する傾向を示す. カスピ海とアラル海を特徴 づける支配的線構造は 'N-S' 性で, この方向の古 期断裂系は, N-S 走向のウラル地帯において最も顕 著に現れている.その造構史は古生代前期に始まり, ペルム紀の主な褶曲(再活性化)期にはカスピ海に 沿って南に伸延した.ゆっくりとした断層性地殻沈 降の期間に,北カスピ海盆に層厚約5kmのペルム系 岩塩堆積物(Brunet et al., 1999)を含む15km以 上の浅海性古生界が堆積した.

長い堆積史をもつカスピ海は、基本的には顕著な 「N-S」線構造に沿って発達した.「E-W」方向の古期 直交断裂系は Absheron Ridge に代表される. この 大陸性隆起帯はアルプス期の構造的剪断作用によっ て強く規制されているが、そのような後生の構造的 剪断作用は新しく断裂を形成するのではなく、古い 断裂系を容易に再活性化するのであろう.いずれに しても、この地域がテチス海-南部ユーラシアの大 部分を覆っていた広大な大陸縁辺海(Süss, 1893; Umbgrove, 1942; Boucot and Johnson, 1973; Sonnenfeld, 1981; Pomerol, 1982) - の一部であ った期間に、カスピ海の古生代陥没が起こった. 南 カスピ海盆 (SCB) の中生代~第三紀堆積層の厚さ は 25 ~ 30km もあるため (Feyzullayev, 2012), 先 中生代堆積史は未解明である.南カスピ海盆は、中 東の反時計回りのねじれ(図7参照)に支配され たアルプス期のねじれ変形に関与したカスピ海域 唯一の領域であり, その後は新生代の沈降と埋積, 新第三紀にはアラル海の断層陥没の起源になった (Micklin, 1988; Breckle and Geldyeva, 2012). アラル海では、2つの主要な分岐断層が 'N-S' 方 向を規制し、小さい北湖は全体に直交断裂系('E-W') に規制されている.

謝辞 有益なコメントをいただいた Bruce Leybourne 氏と挿絵を描いてくれた Frank Cleveland 氏にお礼申し上げる.

文 献

- Boucot, A.J. and Johnson, J.G., 1973. Silurian Brachiopods. In: Atlas of Palaeogeography. Amsterdam, Elsevier, 426p.
- Breckle, S.-W. and Geldyeva, G.V., 2012. Dynamics of the Aral Sea in Geological and Historical Times. In: Aralkum– a Man-Made Desert: The Desiccated Floor of the Aral Sea. Springer, Heidelberg, v. 218, p. 13-35.
- Brunet, M.-F. et al., 1999. The geodynamic evolution of the Precaspian Basin (Kazakhstan) along a north-south section. Tectonophysics, v. 313, p. 85-106.
- Brunet, M.-F. et al., 2003. The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modelling. Sedimentary Geology, v. 156, p. 119-148.
- Clauer, N. et al., 2000. Fluctuations of Caspian Sea level: Beyond climatic variations? Geology, v. 28, p. 1015-

1018. Feyzullayev, A.A., 2012. Mud volcanoes in the South Caspian basin: Nature and estimated depth of its products. Natural Science, v. 4, No. 7, p.445-453.

- Gallia, G. and Pan, D., 2013. A closer look at supercritical water. PNAS, v. 110, 6250-6251.
- Glazirin, G.E. and Trofimov, G.N., 1999. Changes in Aral Sea Level and the Run-off of Main Rivers in Central Asia for the Last 20,000 Years. Science Reports of Tohoku University, 7th Series, v. 49, p. 135-142.
- Guliyev, I. et al., 2011. Hydrocarbon Potential of Ultra Deep Deposits in the South Caspian Basin. Oral presentation at AAPG European Region Annual Conference, Kiev, Ukraine, Oct. 17-19, 2011.
- Hirschmann, M. and Kohlstedt, D., 2012. Water in the Earth's mantle. Phys. Today, v. 65, p. 40-45.
- Hovland, M. et al., 1997. The structure and geomorphology of the Dashgil mud volcano, Azerbaijan. Geomorphology, v. 21, p. 1-15.
- Kakroodi, A.A. et al., 2012. Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian Caspian coast. Quaternary International, v. 263, p. 93-103.
- Kakroodi, A.A. et al., 2015. Late Pleistocene sea-level change and coastal palaeoenvironmental evolution along the Iranian Caspian shore. Marine Geology, v. 361, p. 111-125.
- Krivonogov, S.K. et al., 2010. Radiocarbons, v. 52, p. 555-566.
- Kroonenberg, S.B. et al., 2007. Solar-enforced 2006 BP and Little Ice Age high stands of the Caspian Sea. Quaternary International, v. 173-174, p. 137-143.
- Micklin, P.P., 1988. Desiccation of the Aral Sea: A water management disaster in the Soviet Union. Science, v. 241, p. 1170-1176.
- Micklin, P.P., 2007. The Aral Sea Disaster. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 35, p. 47-72.
- Micklin, P.P., 2014. The Aral Sea Loses Its Eastern Lake. NASA Earth, September 26, 2014.
- Naderi Beni, A. et al., 2013. Caspian sea-level changes during the last millennium: historical and geological evidence from the south Caspian Sea. Climate of the

Past, v. 9, p. 1645-1665.

- Newton, R.C. and Manning, C.E., 2010. Role of saline fluids in deep-crustal and upper-mantle metasomatism: insights from experimental studies. Geofluids, v. 10, p. 58-72.
- Pan, D. et al., 2013. Dielectric properties of water under extreme conditions and transport of carbonates in the Deep earth. Proc. Natl. Acad. Sci.USA, 10.1073/pnas. 1221581110.
- Pomerol, C., 1982. The Cenozoic Era. Chichester, Ellis Horwood Ltd., 272p.
- Reilinger, R. et al., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. J. Geophys. Res., v. 111, doi: 10.1029/2005/JB004051.
- Sahle, C.J. et al., 2013. Microscopic structure of water at elevated pressures and temperatures. PNAS, v. 110, p. 6301-6306.
- Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet. Bergen, Alma Mater (Fagbokforlaget), 456p.
- Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics. Bergen, Fagbokforlaget, 397p.
- Storetvedt, K.M., 2014. Non-biological hydrocarbons. NCGT Journal, v. 2, p. 7-9.
- Storetvedt, K.M., 2016. A history of the Earth's Seawater: Transgressions and Regressions. NCGT Journal, v. 4, p.664-685.
- Sonnenfeld, P., 1981. The Phanerozoic Tethys Sea. In: Tethys. Stroudsburg (PA), Hutchinson Ross Publ. Comp., p. 18-53.
- Sonnenfeld, P., 1984. Brines and Evaporites. New York, Academic Press,613p. Süss, E., 1893. Are great ocean depths permanent? Natural Sci., v. 1, 180-187.
- Svitoch, A.A., 2009. History of the last Aral Sea. Aridnie ekosistemi, v. 15, p. 5-17 (in Russian). Umbgrove, J.H.F., 1942. The Pulse of the Earth. The Hague, Martinus Nijhoff.
- Yardley, B.W.D. and Graham, J.T., 2002. The origin of salinity in metamorphic fluids. Geofluids, v. 2, p. 249-256.

地球気候コーナー GLOBAL CLIMATE CORNER

海水準の上昇,ウェーク島,マーシャル群島,ミッドウェー環礁,ハワイ諸島 Sea Level Rise at Wake Island, Marshall Islands, and Midway Atoll, Hawaiian Islands

Albert Parker¹ and and Clifford Ollier²

¹ Independent Scientist, Bundoora, VIC Australia. albert.parker.2014@gmail.com

² School of Earth and Environment, the University of Western Australia, Crawley, WA, Australia. cliff.ollier@uwa.edu.au

(岩本 広志[訳])

要旨:太平洋の環礁と島々の相対的海水準上昇は長期間のテクトニックな沈降の影響を受け、全地球的な見地に比べて局所的にならざるを得ない.ウェーク島の上昇速度は明確な加速成分を全て除くと、年 2mm 程である.ミッドウェー環礁の海水準情報はいかなる正当なトレンドの推定でも適切ではない.ミッドウェー環礁の上昇速度は年1.3~3.85mmと思われる.ホノルルでは、ハワイ諸島で最良の潮位計があり、その量は年1.44mm、負の加速度で-0.0098mm/year².地域的な氷河性海水準は安定的に表れる.異なった海水準トレンドはほとんど異なった沈降が起源となっている.全地球的には潮位計による計測は120年以上前から行われており、2100年では相対的海水準の上昇は100-200mmと推定され、ウェーク島やミッドウェー環礁では調整なしでは2100年には2000mmと推定され、波浪効果との合成によって人口の少ない環礁群で総脱出のシナリオが描かれる.そのような恐ろしいシナリオは局所的にも全地球的にも示される観測結果から支持されない.

キーワード:潮位記録,海水準上昇,海水準加速度,地盤沈下,ハワイ諸島

(2017年12月20日受付, 2018年2月6日受理)

20 世紀の中央オーストラリア気温トレンド Central Australia 20th century temperature trends

Albert Parker¹ and and Clifford Ollier²

¹ Independent Scientist, Bundoora, VIC Australia. albert.parker.2014@gmail.com ² School of Earth and Environment, the University of Western Australia, Crawley, WA, Australia. cliff.ollier@uwa.edu.au

(岩本 広志[訳])

要旨:中央オーストラリア,アリススプリングから半径1000kmの信用できる温暖化傾向の数値計算の提供.1880 年から2011年の間,オーストラリア中央部での平均温暖化は+0.166°C/世紀で,アリススプリングの+0.176°C/世紀よりやや小さく,やや短い期間である1910年から2011年で中央オーストラリアが+0.794°C/世紀で,アリススプリングの+0.719°C/世紀よりやや温暖である.

キーワード:気温記録,均質化,パターンの再構築,中央オーストラリア

(2017年9月30日受付, 2017年11月28日受理)

ツバルの海水準上昇、土地改変、管理不良と人口過多

Tuvalu sea level rise, land change, mismanagement and overpopulation

Albert Parker

School of Engineering and Physical Science, James Cook University, Townsville QLD 4811, Australia. albert.parker.2014@gmail.com

(岩本 広志[訳])

要旨:ここ数十年を超えてツバルの総面積は増加している.現在の貢献は海水準の上昇量に関係したこの成長の研究で,海面の温暖化割合と石炭使用量の成長がこの島における来たるべき変化として議論されている.最近の数十年に期待されるのは現在の安定的な傾向であるとまとめられる.人口過多と管理不良が問題であり,海水準の上昇,気候変動ではない.

キーワード:海水準測定,海水準の上昇量,石炭(使用)の成長量,地盤沈下,太平洋環礁

(2018年3月11日受付, 2018年3月22日受理)

出版物 **PUBLICATIONS**

石にはっきりとは記されてはいない. 50歳のプレートテクトニクス Not Written in Stone. Plate tectonics at 50

"PT(訳者注: プレートテクトニクス)を教えることは自己満足的である。それ(訳者注: プレートテクトニクス)には、次々と明らかにされる事実や、多くの基本的な仮説を取り入れるべきで、さらに学生が自ら考え取捨選択できるように改良すべきである" "Published PT teaching is complacent. It should adapt to emerging data, include multiple working hypotheses and enable students to think and choose"

著者: Keith James

Consultant geologist/Institute of Geography and Earth Science of Aberyswyth University in Wales, UK khj@aber.ac.jp

(久保田 喜裕 [訳])

編集者注釈:本論文は AAPG Explorer (米国石油地質協会 探査技術誌,訳者注 AAPG: American Association of Petroleum Geologists)の 2018 年 8 月号 18-23 頁に掲載された.本論の転載は AAPG Explorer 編集者より 2018 年 3 月 15 日に許可を得た.

プレートテクトニクスパラダイム-"地質学の統合 理論"- はちょうど 50 歳になった.

2017年、この歴史的な機会に、ロンドン地質協会 のウイリアム・スミス会議が催されたが、それはお そらく自己満足気味で、それに代わる考えへの議論 もなかったであろう.

プレートテクトニクス (PT) は難解な仮説で莫大な トピックからなる.本論は、いくつかの問題点や古 い考え、あらたなデータ、いくつかの異なる可能性 に焦点をあてる.

超大陸パンゲアは、三畳紀に分裂しはじめた. PTでは、ジュラ紀以降、中央海嶺(mid-ocean ridges: MORs)が大陸を分裂させ、あらたな海洋底 を生成し続けている.それで、地磁気の縞模様には、 地球の磁場の反転と拡大過程が記録されている.

この地殻は沈み込みによって消費されるが,その際, 青色片岩やあらたな大陸地殻が生み出される. 衝突 は山脈を隆起させる.

PTの最初の概念である大陸移動は、南米とアフリカの初期の接合に対する基本的な論拠として、南大西洋の海岸線と化石分布の一致を利用した(図1参照).マントル対流が大陸を放散させた.

大陸の再生

地磁気データ(図2,3)は、パンゲアの再生にとって、大陸/水深等深線の興味深い代替案を示唆して

いる.南アフリカに近接した南大西洋底には,地磁 気縞模様のない広大な地域が,地磁気反転が4000 万年間休止した白亜紀静穏期として記録されてい る.

あるいは、同様の特徴は、それらが隣接した大陸の 沈水部分であることを示唆している。それらは充分 復元されている(図3参照).同様の特徴は北米東 方沖に見られる。そこでは、海洋底の断裂が古陸起 源であることを示しており、古生界ないしはそれ以 前からなるアパラチア山脈の陸方向の分岐へ連続し ている。



今日,古生物学は後ろへ追いやられている. ロン

図1 Snider-Pellegriniとウェゲナー(Wegener)が指摘したように、もし大陸が再接合すれば、現在の大陸に広く拡がっているある動植物化石の位置は、明瞭なパターン(着色帯で示した)をつくるだろう.



図2 編模様のない地殻は、海洋底や、化石分布、探査の可能性 について、大陸性物質の生産に重要な意義をもたらすとともに、 より大きなパンゲアのアフリカと南米の再生を意味している.



図3 南米北部のこの重力図は,変成岩を露出させるほ どの反転し度重なる隆起運動による,ダイナミックな東 方移動や深い(青色片岩相)前孤海盆を示唆している.

ドン地質協会から出版された新しい書籍,"インド と南極大陸の地殻発達:超大陸接合"(N.C. Pant・ S. Dasgupta 編集) では、インドと南極を地質年 代データ/岩石学を用いて関係づけている. 化石 データでは、インドと隣接するユーラシアとを関係 づけている.恐竜や淡水性カタツムリ、シクリッド 魚 (cichlid fish), 被子植物 (angiosperms), 飛 べない鳥 (flightless birds), 海牛 (マナティー, manatees)は、おそらく遠く隔てられている地域間 を結びつけている事実である. 猿やネズミなど齧歯 (げっし) 類の動物 (rodents) は、漸新世にはア フリカから南米(白亜紀前期に分裂)まで2,600km を移動した. 哺乳動物は, 始新世~中新世と同じよ うに現在も、アフリカとマダガスカル(ジュラ紀に 分離)の間を移動した、その説明として、泳ぎや漂 移、あるいは跳ね飛びが提案された.沈水した大陸 地域は、興味ある選択肢のひとつである.

対流と海底地磁気縞模様

今日の PT は、もぐり込むスラブの引き込みが拡大 の主要な駆動力であるとしている.このことは、始 まりもなければ、拡大もなく、引き込みもなく、ま たその逆もないようにみえる.中央海嶺(MORs)か ら上昇するマントル対流セルの 2-D モデルでは、サ ブダクションゾーンでもぐり込み、大陸を引き離す としている.このモデルはいまだ活きているが、そ れらは三次元的に分かれることができるのだろう か.MOR は、断裂帯に沿って数 100km にまでずれる とされるが、実際のところは不可能だろう.

PT の主要な柱は、海底の地磁気縞模様であるが、 それは時として拡大時に記録される磁場の逆転や、 ほかには磁気の強弱に起因するとされている. それ らは大陸のリフトでも見られる.

さらに遠く沖合へ行けば、地震波調査から、弱く引 き延ばされた大陸地殻は 30km ~ 10km 未満に薄く なっていることが示される.したがって、強く伸長 した地殻は、大陸-海洋境界部や"海洋地殻"と考 えられる.地殻は引き延ばされている.そのことが、 拡大の駆動力として海嶺を押し広げるようにはとて も思えない.

伸長した地殻が,幅 60 ~ 200km,深さ 25km までの さまざまな盆地を運んでくる.そこには、いくつか の堆積構造(トランケーション、オンラップ)や 傾斜ズリ断層(dip toward bounding faults,訳者 注:層面断層と同義か)(海側傾斜反射波,SDRs: seaward-dipping reflections)の反射波が見られ る.ここでは、マグマは貫入シルや噴出玄武岩とし て上昇する.

(地殻の: 訳者注) 伸長は露出したペリドタイトの

蛇紋岩化作用(磁鉄鉱を伴う)も生じるので,磁気 異常の生成は MOR の拡大とは何の関係もない.

それらは海底の磁気縞模様を説明できるだろうか. MORs から来た海洋地殻の年代を測定することを目 的とした深海掘削では、"基盤岩"と思われる玄武 岩が現れた.しかし、そのいくつかには堆積性砕屑 物が含まれ、また、ある玄武岩には堆積物が挟まれ ていた.おそらく、"海洋"地殻は沖合に遠く拡がっ た大陸性盆地を含んでいる.このことは、どんな事 実を現しているのだろう.

海洋下の大陸

PT は海洋底からドレッジされた大陸性物質の厖大 なサンプル(あるものには三葉虫や筆石を伴う) を見落としている(たとえば,原生代花崗岩が 80km 四方に拡がる Bald 山地,北部大西洋の King トラフ).

大西洋中央海嶺 Peter・Paul 列島の 20 億年相当の 岩石.原生代~古生代ジルコンが,大西洋中央海嶺 上のガブロ中に見られる.

大陸性の同位体元素はインド洋玄武岩に拡がっている.モーリシャスの溶岩中の原生代ジルコンは古期 基盤を示しており, Mascarene 台地や隣接した島の 直下のもので,2013年に "Mauritia" とあらたに 命名された.地磁気データは,大規模な沈水大陸域 が東方にあることを示している.

南大西洋で 2013 年, 花崗岩が Rio Grande 海嶺の北 西~南東上(南米外縁の磁気拡大部)で発見された.

それと"対になっている (conjugate)"Walvis 海 嶺上の玄武岩は,大陸の徴候を示している.両者に はいずれも Tristan da Cunha ホットスポット上を 移動した痕跡があるが,それらは海底の断裂(流 線:flowlines)と斜交している.

両海嶺は隣接する大陸の大規模な拡大に関連して おり, SDRs(訳者注:海側傾斜反射面群, seawarddipping reflections) がある.

先カンブリア紀 - デボン紀のジルコンが,まさにガ ラパゴス諸島の溶岩から報告されている.それは2 億年前を示し,南米の西方1,000kmのホットスポッ トとされている.アイスランドの中生代ジルコンは, 1.3-1.5億年前を示し,大西洋中央海嶺にある.

2017 年, ジーランディア (Zealandia) があらたに 認識された大陸として登録された. この分裂し大規 模に沈水した地域は, オーストラリアとニュージー ランドの間にあり, インドの大きさをもつ. それは 南太平洋の植物と動物の分布を説明づけている.しかし,もっと多くのことがある.磁気データは,その北部と東部がかなり大規模に拡大したことを示している.ニュージーランド東部の Torlesse テレーンでは,そこに由来する二畳系~下部白亜系の砂岩が,長さ3,500km,幅300km,厚さ30kmにある.

パンゲアの復元と地球の大きさ

パンゲアの分裂モデルは、その分裂と拡散は複雑さ をましており、これまでよりさらに小さいテレーン とそれらの移動と考えられるようになったが、肝心 のデータを見落としている.

源岩の存在を古気候から導き出すためには、海流の 知識を必要とする.ジュラ紀中期/中新世の浅海堆 積物と陸上の風化岩は、大西洋やインド洋、太平 洋における深海掘削プロジェクト (DSDP: Deep Sea Drilling Project)のサイトでは現在深さ 1~7km にあるが、これら(訳者注:海流)に影響されてき たにちがいない.しかし、(訳者注:パンゲアの) 復元は、それら(訳者注:堆積物のことか)には 示されていない.それらの大規模に沈水した大陸塊 もまた考慮されなければならない.

復元によると、日本とニュージーランドの東方およ び南米の西方には海洋地殻が存在する.

しかし、日本の堆積物は東方の古生界-古第三系からもたらされたもので、ボリビアとアルゼンチンの100万km³のデボン系雲母質堆積物は、西方からもたらされたものである.地質学的・地球物理学的データやドレッジデータから、先カンブリア紀の新期大陸地殻が北西太平洋の深海平原の下にあることは明らかである.それはジュラ紀末に深海下へ沈んだが、磁気図上で今でもそれを見ることができる.

復元では地球の大きさは一定の大きさは不変とされ る. "拡大する"海嶺は 75,000km であるが,海溝は 30,500km しかなく,衝突帯は 9,000km ある. 消費 より多い地殻の生産は,地球膨張を暗示している.

衛星測地データ (Space-geodetic data) は, 固体 地球は最近 10 年で約 0.24mm 膨張していることを示 している.

化石サンゴや腕足動物(brachiopods)の成長線数 は、年間日数がカンブリア紀中期の424日から今日 の365日に減少したことを示している一腕を拡げて 回転するバレリーナのように、地球は成長し自転が 遅くなっている.

どのようにして?

マントル浅部のペリドタイトの蛇紋岩化作用は, 40% まで体積が増加し,放熱.このことは,ブラッ クスモーカーを伴う MORs の高度に原因があるとい うことか.半径の増加は大陸の分裂,伸長,沈降の 一因となるだろうか?

大陸地殻の起源

海洋内火山孤は,高シリカ安山岩(南米のアンデ ス山脈から命名)で特徴づけられる.

このことは、低シリカ玄武岩のもぐり込むスラブに 原因を求めることはできないので、"安山岩問題" とされている. PT にとって、その岩石は"もぐり 込み工場 (subduction factories)"において、部 分溶融した堆積物の複合岩体やスラブ、マントルな いしはマントルウェッジ(あるいはそれらの複合) などで形成される"あらたな"大陸地殻を反映して いる.そこは大陸地殻を形成する場所である.

近年,先カンブリア紀と古生代のジルコンが,伊豆 ーボニンやルソン,バヌアツ,ソロモン諸島,東 ジャワ,小アンチル諸島の火山やそれらの直下の大 陸性地震波速度部から発見されことは,もとは大陸 であったことを指示している.そこでは安山岩問題 ももぐり込み工場も必要ない.

青色片岩(高圧低温変成岩)は、化石もぐり込み帯 の古典的指標と見なされており、数100万年以上に わたって、物質を深度40-80kmへ押し込み、変成岩 やさらに原因不明の再生に関与している.しかしな がら、いくつかの放射性データは、古い岩石よりや や若い変成作用を示唆している.中米ないしは小ア ンチル諸島のもぐり込み弧には、青色片岩はない. カリブ海の北部と南部の縁辺部に沿って、変成作用 が強くなり、高圧低温岩石は走向移動断層に近接し て生じている.あるものは、堆積物と同様のものさ えある.

山脈はどのようにしてつくられるのか?

正断層はおそらく数 10km の変位をもち,数 100m 衝上するが,横ずれ断層の変位はせいぜい数 100m を超えるだけのことがある.これらの後者,始源 断層 (primordial faults) は,全球的に NW・NE の 共役形態をつくる (a conjugate northwest and northeast global pattern). その内部の横ずれ引 張 (Transtention)/横ずれ圧縮 (transpression) は,北方伸長と東方圧縮を生ずる.これらの境界が 定められた多角形ブロックは,この全球的基本構造 の内部で,繰り返しかき乱される (shuffled).

アフリカはおそらく,ヨーロッパとともに 2,000km 収束し,アルプスを押している.しかし,大西洋の



図4. アフリカと南米に隣 接する海洋地殻に縞模様が ないこの特徴は、大陸が拡 大した沈降を示唆してい る. 画像は世界磁気異常図 (世界地質図委員会、パリ の J.V. Korhonen) から 取った.

西部と同様の境界に沿って,隆起はない.アルプス・ カルパチア山脈は、ヨーロッパの腕足動物を運んで くる.それらは現在のアフリカにはない.インドは、 インド洋を越え、7,500km移動してきて、ヒマラヤ 山脈を押していると考えられている.しかし、化石 にはインドとユーラシアとの関係はみられない.は るか彼方を移動してきた大陸の直接的な衝突は、示 されていない.おそらく、横ずれ断層が役割を担っ ているのだろう.

南米北部に沿って,興味深くダイナミックな自然界 の横ずれ断層実験室がある(図4参照).右横ずれ 断層のオフセットは,押し被せるように隆起する 反転を伴い,東方へ若くなる前孤海盆を生みだして いる. Maturín 海盆東部を越える200ミリガルにお よぶ負の重力異常は,海域では世界で最も大規模だ が,山地を伴わない根を示唆している.大規模炭化 水素の貯留層はここに生じている.組織的データ (Industry data)(堆積物の層厚,過剰水圧,低熱 流量)は,深部における青色片岩の条件を示してい る.

200 ミリガルの正異常が,海岸山脈では世界で最も 高い,サンタマルタからシエラネバダにおよぶコロ ンビアの5,800m を超える地域に見られるが,この ことはカリブ海へ押し被せる根無しの山地を示唆し ている.

メリダ・アンデス山脈 (The Mérida Andes) は横ず れ断層に関連しているが,そこには Maracaibo 盆 地南部の150ミリガルを超える負重力異常が地域の 半ばまで分布している-その山脈はその根にまで達 している. その山脈はすでに Guarumen 盆地を覆っ ており,北部沖合の反転は海岸山脈に青色片岩を露 出させている.石墨岩 (Graphitic rocks) には、か つての炭化水素システムが記録された.

大西洋とは異なり、太平洋は明らかに非対称的である - 東太平洋海嶺(EPR)は南米へ近接し、北米では収 束してしまう.地磁気データは、大きく拡大し沈降 した大陸、海嶺の西方にはあるが東方にはない、を 示唆している.さらに、アンデス山脈の厖大な礫岩/ 砂岩は太平洋からきた.そこで70kmにまで達する地 殻の厚さは、それらが合計された証拠である.

EPR が海溝にぶつかると,太平洋 / 北米走向ずれ運動がサンアンドレアス断層に沿って生じた.アラス カからメキシコまで,北米コルディレラ山脈は,末端部 (distal) / 海洋スラストシートを(数 100km に わたって)移動した結果,もぐり込んだ太平洋地殻 から先カンブリア紀-中生代の陸棚シーケンス以上 を切り離した.

伸長し / 薄くなった大陸地殻は、おそらく容易に大陸縁へ衝上したであろう.ペルーの中・古生界は、 西部の急な境界と東部の緩斜面を伴うが、10-12km の浅~深部淡水堆積物の厚いプリズムを含有して いる(上方へ凸状の SDR 反射面は、おそらく盆地 側への速度の減少を示唆しているのだろう).成長 断層を拘束するものは、火山性の導管(volcanic conduits)としての役割を果たした.それらは深海 の地震波に見られる非対称な盆地に共鳴している (resonate).

これらの"消失した大陸"は、かつて北米、東南ア ジア、オーストラリアや南米に接合していた.それ らは植物・動物化石の分布を説明している. それは良い,議論することは良いことだ.しかし, 考察されるべき沈んだ大陸が広い地域に残されてい ることを見逃してはならない.それらは厖大な炭化 水素貯留槽 (reserves)をもたらすであろう.最終 的には,誰かが彼らに主張する.一方で,公表され ている PT の教義は独善的である.それは新たに出 現するデータに対応し、複数の作業仮説を含み、学 生が思慮して選択できるようにすべきである.もし それができないなら、結局、石に書いてあることは、 "RIP"(ラテン語、Requiesca(n)t In Pace、安ら かに眠れ)と読めるだろう.

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"後の討論 にもとづいて生まれた.その名称は、1989年にワシン トンで開催された第28回万国地質学会に連携してワシ ントンのスミソニアン研究所でひらかれた先行するシン ポジウムにちなむ.NCGTニュースレターは、2013年に NCGTジャーナルに改称された.2017年3月には、NCGT ジャーナルの発行が商業化された.

目的は次のとおりである: 1. 地質学, 地球物理学, 太陽・惑星物理学, 電子宇宙学, 天文学,気象学,海洋学,ならびに,コアから大気圏 外縁までの地球にかかわる物理的諸作用に密接に関係 しているその他の研究分野における新しい考え方と研 究を自由に交流する国際的な討論の場を提供する.

- 2. 組織的照準を、プレートテクトニクスの観点に即座 には適合しない独創的な考え方にあわせる.
- 3. そのような研究成果を掲載・出版するための学術基 盤を設ける.とくに検閲と排除が行われている領域に おいて.
- 4. 破局的地震の予知に予知に貢献する優れた方法と概 念の交流を進めるための出版の場を創造する. 既存の 通信網では疎外されてきたそのような考え方と研究成 果を討論するためのフォーラム.