NCGT 国際オンラインジャーナル グローバルテクトニクスの新概念

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

日本語版 Vol. 3, No. 3 (2016 年 1 月) ■ Print edition ISSN 2186-9693

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



編集長: Dong CHOI, 編集委員会: Ismail BHAT, India (bhatmi@hotmail.com); Giovanni P. GREGORI, Italy (giovanni.gregori@alice.it); Louis HISSINK, Australia (Ihissink1947@icloud.com), Leo MASLOV, USA (lev.maslov@unco.edu); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dp@ daividpratt.info); N. Christian SMOOT, USA (christiansmoot532@gmail.com); Karsten STORETVEDT, Norway (Karsten@gfi.uib.no); Boris I. VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru); Takao YANO, Japan (yano@rstu.jp)

| ■ 編集者から Howard Dekalb と岩石の二重格子破砕パターン [小松宏昭 訳] … | 2 |
|--|----|
| | |
| ■ 編集者への手紙 親愛なるエディターへ Karsten STORETVEDT, and Shoichi OHMORI [矢野孝雄 訳] … | |
| ■ 原著論文 | |
| Energy balance in the tectonosphere Vadim GORDIENKO 構造圏におけるエネルギーバランス < 要旨 > [小松宏昭 訳] … | |
| Advective heat and mass transfer in the Earth's tectonosphere Vadim GORDIENKO | |
| 地球のテクトノスフェアーにおける活動的な熱と物質移動〈要旨〉 [岩本広志 訳]… | |
| Relationship between M8+ earthquake occurrences and the solar polar magnetic fields Ben DAVIDSON, Kongpop | |
| U-YEN and Christopher HOLLOMAN マグニチュード 8+ 地震の発生と太陽極磁気場の関係〈要旨〉 [岩本広志 訳] … | |
| Dow Jones industrial average peaks, seasonality and lunar phase David McMINN ダウジョーンズ工業平均〈要旨〉 [矢野孝雄 訳] … | 7 |
| Mountain ranges – A new comer in Earth history Karsten M. STORETVEDT 山脈 – 地球史の新参者 [杉山 明訳] … | 7 |
| On discovery of a new planetological phenomenon: tectonic coupling of planets and their satellites Gennady G. KOCHEMASOV | |
| 新しい惑星学的現象の発見: 惑星とそれらの衛星の造構的連結 [矢野孝雄 訳] … | |
| North-South American Super Anticline Dong R. CHOI and Yoshihiro KUBOTA 南北アメリカ超大背斜 [久保田喜裕 訳]… | |
| Protecting stilt buildings from damage due to Rayleigh waves during large magnitude earthquakes located at distance from epicenter - case from India | |
| Arun BAPAT 大規模地震時に震央から離れた場所で発生するレイリー波被害から支柱建物を守る―インドの事例 [矢野孝雄 訳]… | 40 |
| ■ 特集 The 16 September 2015 M8.3 Chile Earthquake 2015 年 9 月 16 日のチリ地震 | 43 |
| Analysis of psychrometric parameters associated with seismic precursors in Central Chile Ariel R. CÉSPED | |
| チリ中央部における地震の前兆に関連した湿度パラメーターの解析 [小泉 潔 訳]… | 44 |
| Blot's energy transmigration law and the September 2015 M8.3 Coquimbo Earthquake, Chile. Dong R. CHOI and John CASEY | |
| BLOT のエネルギー移転法則と 2015 年 9 月の M8.3 チリ地震 [柴 正博 訳]… | |
| A surge and short-term peak in northern solar polar field magnetism prior to the M8.3 earthquake near Chile on September 16, 2015 Ben DAVIDSON | |
| 2015年9月16日のチリ近傍のM8.3地震に先立つ太陽北極磁気活動の急上昇と短時間ピーク〈要旨〉 [小泉 潔 訳] … | 50 |
| Solar wind ionic and geomagnetic variations preceding the M8.3 Chile Earthquake Valentino STRASER, Gabriele CATALDI and Daniele CATALDI | |
| 8.3 チリ地震に先立つ太陽風のイオンおよび地磁気変化〈要旨〉 [久保田喜裕 訳]… | 50 |
| Outgoing longwave radiation anomaly prior to big earthquakes: A study on the September 2015 Chile Earthquake N. VENKATANATHAN, P. PHILIPOFF and | |
| S.MADHUMITHA 大地震に先行して放出された長波放射異常:2015 年 9 月のチリ地震に関する研究 [赤松 陽 訳]… | 50 |
| Space weather conditions prior to the M8.3 Chile Earthquake Kongpop U-YEN | |
| M8.3 チリ地震に先立つ宇宙気象条件〈要旨〉 | 53 |
| ■ 出版物 Planetary influence on the Sun and the Earth, and a modern Book-Burning Nils-Axel MÖRNER | |
| 太陽と地球への惑星の影響,および現代の焚書〈要旨〉 [矢野孝雄 訳]… | 53 |
| ■ 追悼 Howard F. Dekalb Dana DeKALB [矢野孝雄 訳] … | |
| ■ 財政的支援について / ニュースレターについて | 55 |
| ■ NCGTJ 日本語版 おわびと訂正 | |
| Vol.3, No.2 (2015 年 10 月発行)の翻訳者を誤入力 [矢野孝雄]… | |

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

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

編集者から FROM THE EDITOR

(小松 宏昭 [訳])

Howard Dekalb と岩石の二重格子破砕パターン Howard DeKalb and the double matrix fracture pattern

私たちは,最も優れた仲間の一人である Haward DeKalb をこの7月に失った.追悼記事は,本号 p.54 に掲載されている.氏は「基盤の二重格子断裂パ ターン」概念の確立によって地質学史に優れた足跡 を残した.この概念は今も,研究に邁進している活 動的地質研究者に役だっている.彼は,この概念を イランとサウジアラビアの油田地帯でそれぞれ見出 し,退職後にハワイで完成させた.彼の考え方は, 1990 年刊行の著書「The Twisted Earth :reflections on patterns people and places」(Lytel Eorthe Press, Hilo, Hawaii, ISBN: 0-9623271-0-7)に詳述されている. 彼の履歴には,NCGT Newsletter に投稿されたいく つかの論文も含まれる.彼の断裂パターンの要約は, 本ページ末尾に示されている.

基盤の二重格子断裂パターンまたは DeKalb の断裂 パターンは,海洋底を含む全地球的規模でひろく見 いだされる.それは,階層的で相似的であり,あら ゆる段階に観察される.それは他の惑星にもみられ る.これらの事実は,DeKalbパターンが,地球表 面が冷え始めた初期の段階で形成されたこと,そし て一様な地殻が地球表面を覆っていたことを意味す る.そのことはまた,このパターンがマントル深部 にルーツを持つことを示している.これらの特性は, 断裂は原生代や顕生代を通じて地球の発達に大きな 影響を与えてきたであろう.

多くの事例の1つは、過去300万年間活発であった ウクライナの断裂機構(Verkhovtsev 2006)であ る.それは、下図のように、NCGT本号のGordienko 論文に引用されている.読者は、ウクライナの断裂 パターンとDeKalbの断裂パターンとの完全な一致 に気づくだろう.ここで、Verkhovtsevの地図は、 DeKalbの研究の存在を知らないで作成された(2015 年9月20日付のGordienkoの私信)ことに注目す



べきである. DaKalb パターンを確証する多くの地 質学的な記録や地図が存在する. 私自らも, それを あらゆる場所で見いだしてきた.

興味深いことに、DaKalbパターンはサージテクト ニクスの重要な要素に発展した.というのは、深部 断裂はエネルギー移送通路としての役割をはたす からである.本号のChoi and Kubota 論文 (p. 32-40)では、南北アメリカ超大背斜 (NSASA)に沿う構 造的極隆 [culminations] について考察している. DaKalbの断裂パターンは、NSASAと極隆の形成をう まく説明する.それは、巨大鉱床の予測と大地震-マグマ活動に大きな意義を持つものである.氏は生 来控えめな性格で、自らの発見を強く主張すること はなかったが、氏の発見は、地質学の歴史において 極めて大きな価値をもつ.

ところが世界の地質学界の主流派は、Blotの「熱 エネルギーの移動法則」の場合と同様に、DaKalb の断裂パターンを無視してきた.というのは、彼の 説は、プレートの水平移動をきっぱり拒むからであ る.主流派の人々は世界中の海洋底に見つかる非常 に多くの古期大陸性岩石や、(大陸の)先カンブリ ア紀構造の海洋底への延長を、ごまかすことのでき ない真実であるにも拘らず、無視してきたのである.

この50年間, プレートテクトニクス信奉者は, 確 たる証拠にもとづく他の学説を抑圧してきた. 彼ら の行為は, ある意味で陰謀ともいうべきものであ る. 彼らには早期に政治的・財政的優位性が訪れた が, 彼らに変わりゆく潮流をおしとどめることはで きない. やがて, 彼ら自身が明白な真実と常識を語 る時代が到来するであろう. われわれは, 最近の明 白な事実として潮流の変化を感じる. NCGT ウエブ サイトへのアクセスは, 今年7月に141,004 件を記

> 録した. これは平均18秒に1件の 割合である. われわれは孤立してい ないし,もう少数派ではない. 最近 の数ヶ月間に,合衆国の出版物と公 的メディアにプレートテクトニクス に反対の立場を取るものが現れた. われわれの努力は無駄ではなかった のである.

ウクライナの断層パターン(左)と DeKalbの断裂パターン(右)の比較

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

(矢野 孝雄 [訳])

親愛なるエディターへ

リソスフェアに働く慣性力

Peter James は本誌の最近号 (NCGT, v. 3, p. 104-105, 2015) において, 全地球テクトニクス の駆動力について論じ、その中で、とくに私の論 文 The Australia-Antarctica dynamo-tectonic relationship (オーストラリア - 南極の力学 - 造 構関係, NCGT, v. 3, p. 43-62, 2015) についてコ メントした. 彼は、オーストラリアの回転のような リソスフェアの大規模回転をもたらす力 / 機構に何 らかの手がかりを著者が提示できれるようであれば ありがたい、と述べている. 私は、レンチテクトニ クスの駆動力と考えられる慣性メカニズムの要点を 述べる機会として、それを歓迎する.およそ25年 前に、世界中の古地磁気方位を統合的システムにま とめた後には、地球自転に由来するさまざまな力-おもには潮汐,離極移動 (pole-fleeing, Eötvös) お よびコリオリ効果-が全地球テクトニクスを駆動し ている、と理解してきた.要するに、これらの弱い 力はリソスフェアを赤道および西方へひきずる結果 をもたらしている、と考えられるのである. ところ が、この全地球的応力パターンと極移動に関する古 地磁気・古気候データとを総合した結果, 私は古生 代の造構帯配置が地球自転の変化そのものに起因 している,と推論するようになった (Storetvedt, 1990, 1997, 2003). これらの地球物理学的考察か らは、古地磁気データは側方漂移とそれに関連する プレートテクトニクスの教義を支持しない、という きわめて重要な1つの結論が導かれる.

自転と地殻-リソスフェア変形との相互連関,とく に、潮汐性ねじれとその振動歪の影響については、 すくなくとも Immanuel Kant の時代からとりあげら れてきた.海洋潮汐の干満にはっきりと示されるよ うに、大きな体積潮汐は不可逆的で、振幅数十 cm の実体波として、妨げられることなく地球を周回し ている.この過程で、「自転力と復元応力は、恒久 的に不適合配置(普遍的な非可逆変形と累積ねじれ を含む)をもたらす」(Bostrom, 2000).Wegener (1912)は、彼の漂移仮説のメカニズムについての 初めて考察した際に、考えられる原因として地球の 実体的潮汐を挙げたが、後に修正して、おそらくコ リオリ効果および地球の歳差[precession]効果 による潮汐力と離極(pole-fleeing)力との複合要 因を重視するようになった(Wegener, 1922).彼 はこれら力の実在性の問題とは別に、最終的に、大陸漂移と造山運動の両作用をもたらす造構力の問題 にはいずれにしても不明なところが残されるとした (Wegerner, 1929).

地球自転をともなう大陸テクトニクスにかかわる最 初の本格的な研究は, Damian Kreichgaur (1902) の著書 Die Äquatorfrage in der Geologie にはじまる. Kreichgauer (1900) が発見した離極力 (pole-fleeing force, Polflucht) は、後に Wegener の主張にとり いれられた. この力は、地球の遠心力加速度の水平 成分にに由来する応力にかかわっている. 言いかえ ると, 想定される低粘性上部マントル中に浮いてい る1つの孤立した陸塊は、赤道へ向かう実質的な力 を被るだろう. Kreichgauer は、この赤道向きの地 殻運動力は, それに直交方向に長く延びた大陸褶曲 帯を形成するだろう、と提案した. そのため、もっ とも主要な造構帯はその時代の赤道に沿って配列 し、そして、第2の造構帯は子午線方向に配置され る. この第2の褶曲帯の形成は, 西向きの"地殻" トルクに由来するリフティング / ねじり作用に起因 する. さらに、古気候を示す岩石的証拠にもとづく 大陸褶曲帯の配置について, Kreichgauer は真の極 移動-すなわち, 天体としての地球の自転軸方位を 基準にした地球自体の慣性回転モーメント-の科学 的基礎を初めて築いた.

離極 (pole-fleeing) 力という造構力は,自転によっ て常に発生するコリオリカ (Coriolis, 1835)の偏 向成分と密接にかかわっている.この偏向力は,自 転体の速度に直交する方向に働き,その大きさは速 度に比例する.固体地球にとって,もっとも重要な コリオリ偏向は,東向きの惑星自転に由来する南向 きの力と,脆性的表層部の鉛直上向き速度変化に由 来する西向きの力をもたらす.そのため,赤道向き と西向きの造構応力が存在することが推論される. 赤道域にもっとも強い影響が生じ,北半球のリソス フェア地塊は時計回りの,南半球のリソスフェアは 反時計回りの,ねじり作用を被るだろう.これが, 実際のところ,全地球的古地磁気データの再検討か ら生まれた私のレンチテクトニクスの移動原理に なっている.

フーコーの振り子の鉛直面がゆっくりと時計回りに 回転することは、コリオリ効果の偏向成分のもう1 つの現れである.惑星自転の加速期(赤道沿いの膨 らみがわずかに増し、西向きのリソスフェア圧をも たらす)は、地球の歴史にはふつうにみられる慣性 モーメント要素である.たとえば、サンゴや化石殻 の成長から推定される古生物、時計、データを編集 すると、惑星自転に特徴的な痙攣的変化パターンが みられる(Creer、1975と比較せよ).赤道沿いの 膨らみにみられる同様の振動-その結果、西向きの リソスフェアパルスが生じる-も、ゆっくりと脱ガ スする地球にかかわっていて、レンチテクトニクス (Storetvedt、1997、2003)の内部起動メカニズム を示すものだろう.

接線方向の慣性力の意味については、くりかえし議 論されてきた(たとえば, Epstein, 1920; Ertel, 1931; Prey, 1936; Bostrom, 1971; Caputo, 1986). しかし、上部マントルの粘性は大きく、こ の弱い力が顕著な造構的影響をもたらすことはない だろう, とくりかえし述べられてきた. しかし, マ ントル地震トモグラフィにもとづいて推論される複 雑な内部構造のみならず、マントル対流が直面する 問題が増えてくるにつれて、(対流に代わって)全 地球的自転力の影響がすこしずつ注目されるように なった. こうして, Gasperini (1993) は地球の西 向き潮汐力は、これまで予測されていた値よりも8 桁大きいことを示唆し, Goedecke and Ni (1991) も離極速度値がこれまで見積もりの4倍であること を示した. 最近, Scalera (2014a, b) は, この議論 にとって決定的な指摘を行った. すなわち, もし私 たちの地球進化論の枠組みが、冷却しながら化学的 に分化しつづける定半径地球という枠組みとは別の ものに替わると-彼の場合は,惑星膨張モデルへの 転換を意味する-, コリオリ効果は古典的見積もり よりも桁違いに大きくなる.これと同じ予測は、慣 性エネルギーが脈動的に解放される地球脱ガスモデ ルにも適用され、地球史を通して現れる痙攣パター ンを説明することができる.

十分に分化した地球を想定するこれまでの地質学説 では、上載荷重が大きいために圧縮されて、もっと も抵抗力のある岩石においてでさえもすべての裂罅 が閉塞しているだろう、と考えられてきた.しか し、地球が冷たい物体からゆっくりと加熱される方 向に進化するすれば、この想定は著しく困難になる (Hoyle, 1955). こうして, 各深度レベルにおいて 岩石と流体は共通の圧力を被り、ある種の圧力槽の ような状況が生じ、裂罅の空隙はまさに地殻地表部 の(低圧)状況と同じように開いたままになってい る. この原理はコラ半島の超深層基盤掘削(到達深 度 12km) とドイツ南部の KTB (同 9km) で実証され, 両事例では裂罅空隙が深度とともに指数関数的に増 大することが観測された. コラ半島および KTB の掘 削でもっとも予想外であったのは,水溶液に満たさ れた開口裂罅が掘削断面の全体層準にわたってみ いだされたことであった (たとえば, Smithson et al., 2000; Müller et al., 1997). Smithson et

al. (2000) は,深層基盤流体は初生的(地球内部 起源)であると結論している.岩石中の断裂は著し い高圧下でも保持されうることは明らかで,下方か らの静水圧によって開口状態になっている.

結晶質基盤深部における水溶液量ならびに最上部マ ントル (アセノスフェア) におけるおそらくより高 い含水率が増大すればするほど、当然のことなが ら,粘性率が減少し,とりもなおさず地震波低速 度層が形成される. さらに、それらが深度にした がって指数関数的に増加することは、比較的浅部 においてさえも地殻物質が顕著な'粘-弾性'的に 挙動しがちであることを確証する.示唆された力学 的降伏と脆性変形の可能性は,薄い海洋リソスフェ アにより卓越することは明らかである.古地磁気学 と衛星測地学の技術は、これらの予測に整合する (Storetvedt, 2003; Storetvedt and Longhinos, 2012 と比較せよ). こうして、今日の全地球リソス フェアはさまざまなブロックに細分されていて、原 位置における慣性由来の相対運動(ねじれ運動), その後の地球自転の変化、つまり、惑星の慣性モー メント場で脱ガスによる変化によって、後期中生代 には地殻の大規模な海洋化と深海盆の形成が進行し た (Storetvedt, 1997, 2009).

発達しつつあるリソスフェア慣性駆動応力システム において、オーストラリア、南極、イベリアおよび インドのような、より小さな不安定大陸ブロックに 比べ、大きな大陸塊ほどねじれ/回転は小さい.た とえば、現在の赤道のすぐ南側に位置し、慣性力の 影響がもっとも大きいオーストラリア域は、反時計 回りの回転を比較的強く受けてきたであろう.この 予測のとおり、オーストラリア - バンダ海 - セレベ ス海における現在の GPS 速度データは反時計回り (北西)に異常な高速度(約 10 cm/y) で移動してい ることを示す.しかも、全地球造構作用を特徴づけ る脈動的挙動のために、第四紀~第三紀には回転速 度がより大きかった可能性も否定できない.

完全な誤りとみられるこれまでの古い考え方にもと づく評価ではなく,地球自転由来の造構力/応力を 評価することによって,地表でえられる実際の証拠 に私たちは最大の信頼をおくべきである.今日的証 拠にもとづくと,リソスフェア-アセノスフェアシ ステムの粘性は,これまでの想定にくらべてはる かに小さいことは明らかである.イタリア人作家 Italo Calvino は自らの著書 Mr. Palomar(1985)で, 私たちの科学研究へ次の適切な助言を与えている. 「あなたが事物の下に隠されているものを探るのは, あなたがその事物の表面を理解したのちに初めて可 能になる.……その表面でさえも厖大で,豊かで, 多様であるために,それは知識や思考を備えた心を 十分に満足させるものよりも過大である」と.

文 献

- Bostrom, R.C., 1971. Westward displacement of the lithosphere. Nature, v. 234, p. 356-358.
- Bostrom, R.C., 2000. Tectonic Consequences of the Earth's Rotation. Oxford, Oxford University Press, 266 p.
- Goedeche, G.H. & Ni, J.F., 1991. Eötvös force on the lithosphere. Tectonophysics, v. 187, p. 251-257.
- Caputo, M., 1986. The Polfluchtkraft revisited. Boll. Geofis. Teor. Applic., v. 111/112, p. 199-214.
- Coriolis, G., 1835. Sur les équations du movement relative des systems de corps. J. Éc. Polytech. Paris. Cahier XXIV, Tome XV, 142.
- Creer, K.M., 1975. On a tentative correlation between changes in the geomagnetic polarity bias and reversal frequency and the
- Earth's rotation through Phanerozoic time. In: Growth Rhythms and The History of the Earth's Rotation. London, Wiley, 559 p.
- Epstein, P.S., 1920. Über die Polflucht der Kontinente. Naturwissenschaften, v. 9, p. 499-502.
- Ertel, H., 1931. Zur Analyse der Polfluchtkraft. Gerlands Beiträge Geophys., v. 32, p. 38-46.
- Gasperini, M., 1993. Global forces on the lithosphere. J. Geodynamics, v. 17, p. 121-132.
- Hoyle, F., 1955. Frontiers in Astronomy. Melbourne, Heinemann, 360 p.
- Kreichgauer, D., 1900. Water and Earth. Natur und Offenbarung, v. 46, p. 30-31.
- Kreichgauer, D., 1902. Die Equatorfrage in der Geologie. Steyl, Missionsdruckerei, 394 p.
- Möller, P. et al., 1997. Paleofluids and Recent fluids in the upper continental crust: Results from German Continental Deep Drilling Program (KTB). Nature, v. 325, p. 678-683.
- Prey, A., 1936. Über die Polfluchtkraft. Gerlands Beiträge

Geophys., v. 48, p. 349-388.

- Scalera, G., 2014a. Changing theory, changing role of Coriolis effect – The East-West asymmetry of the Wadati-Benioff seismic zones. Geophysical Research Abstracts, v. 16, p. 2481. 2014b (in an open file). Coriolis effect as cause of East-West Earth's asymmetry
- Smithson, S.B. et al., 2000. Seismic results at Kola and KTB deep scientific boreholes: velocities, reflections, fluids, and crustal composition. Tectonophysics, v. 329, p. 301-317.
- Storetvedt, K.M., 1990. The Tethys Sea and the Alpine-Himalayan orogenic belt; mega-elements in a new global tectonic system. Phys. Earth Planet. Inter., v. 62, p. 141-184.
- Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet. Bergen, Alma Mater, 457 p. Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics. Bergen, Fagbokforlaget, 397 p.
- Storetvedt, K.M. & Longhinos, B., 2012. The Atlantic and its Bordering Continents – A Wrench Tectonic Analysis: Lithospheric Deformation, Basin Histories and Major Hydrocarbon Provinces. NCGT Newsletter, no. 64, p. 30-68.
- Storetvedt, K.M. & Bouzari, S., 2012. The Tethys Configuration and Principal Tectonic Features of the Middle East: A Wrench Tectonic Survey. NCGT Newsletter, no. 65, p. 103-142.
- Wegener, A., 1912. Die Entstehung der Kontinente. Geologische Rundschau, v. 3, p. 276-292.
- Wegener, A., 1922. Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig, Vieweg, 94 p.
- Wegener, A., 1929. The Origin of Continents and Oceans (1966 trans.). London, Methuen & Co., 248 p.

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

親愛なる編集者へ

私は、日本の熱心な NCGT Journal の読者です. 私 は、コアからのエネルギー供給、太平洋問題、そし て、太陽周期・地球自転・銀河効果・自然災害の相 互関係といった幅広い話題と新鮮な考え方に強く印 象づけられています. そして、それらの多くがすぐ れた記載データにもとづいています. もう1つ印象 的なのは、人為的地球温暖化ではない、地球の気候 変動の真因です.

最近,私は深く埋没した地向斜堆積物と上部マント ルとの相互作用を研究しています.この研究は,生 命の起源と地球進化にもかかわっています. 敬具

> Shoichi Ohmori コンサルタント地質家, 札幌, 日本



ARTICLES

構造圏におけるエネルギーバランス ENERGY BALANCE IN THE TECTONOSPHERE

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

(小松 宏昭 [訳])

要旨:台地や地向斜そして,海洋地域の地殻や上部マントルの岩石中のカリウムやウランそしてトリウムの濃度が分 析されてきた. 各地域の上部マントルにおけるこれらの放射性元素の壊変熱は, 0.04, 0.06 そして 0.08µW/m³である. 台地に関する限り,熱の発生は地質史,熱流量,および深部の高温部に関連している.地質作用にエネルギー保存則 が適用されることが証明された.

キーワード:上部マントル,放射性壊変熱,深部過程

地球のテクトノスフェアーにおける活動的な熱と物質移動 ADVECTIVE HEAT AND MASS TRANSFER IN THE EARTH'S TECTONOSPHERE

Vadim GORDIENKO

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

(岩本 広志 [訳])

要旨:地球の初期(前地質的)熱履歴は既に報告されていて,引き続く期間(現在から42年前)テクトノスフェアー の熱進化の原理的な条件は定式化されている.物質の周期的移動は量的に180,000~60,000km³のn重の量が必然 的であることが計測されている.マントルの移流のパラメーターはそれらからマグマチャンバーの深度と温度を予 測することを可能にし、しばしば実験データから確証することができる.

キーワード:地球初期の歴史,マントル岩石溶解,全地球的アセノスフェアー,飛躍的なテクトニック活動,マグマチャ ンバー

マグニチュード 8+ 地震の発生と太陽極磁気場の関係 **RELATIONSHIP BETWEEN M8+ EARTHQUAKE OCCURRENCES AND** THE SOLAR POLAR MAGNETIC FIELDS

Ben DAVIDSON^{1,2,*}, Kongpop U-YEN and Christopher HOLLOMAN³

¹ The Mobile Observatory Project, ² Space Weather News LLC ³ Ohio State University Statistical Consulting Service

* Corresponding Author: Space Weather News LLC - ben@observatoryproject.com

(岩本 広志 [訳])

要旨:太陽の極磁気場の変調は宇宙の天候やローカルな宇宙の環境に多くの見地を与える.太陽磁場 (SPF)の磁力 は、ウィルコックス太陽観測所(WSO)による計測結果として、米国地質調査所から大きなマグニチュードの地震記 録との比較でこれまでも研究されてきた. これは 38 年(13,600 日以上)の期間をカバーするもので,2014 年1月 まで WSO は SPF データを収集してきた. この研究はマグニチュード 8+の地震が SPF の動揺(振動)に依存してい ることを明らかにしていて、極領域での極端な磁場とそれらの極性の反転が地球上の巨大地震を調節している可能 性がある.

キーワード:宇宙の天候,太陽の極磁場,圧電性,全地球的電気回路,磁場,マグニチュード8+,巨大地震

ダウジョーンズ工業平均のピーク,季節性と月相 DOW JONES INDUSTRIAL AVERAGE PEAKS, SEASONALITY AND LUNAR PHASE

David MCMINN Independent Scholar mcminn56@uyahoo.com

(矢野 孝雄 [訳])

要旨:9/56年の月-太陽周期が,まずもって金融危機において確立され,つづいて地震の発生に敷衍された.市 場周期の研究がいっそう進展すれば,大規模地震の発生時期の問題にかんするより多くの手がかりがもたらされる だろう.この論文は月相とダウジョーンズ工業平均のピークの季節的発生時期との関係性を検証する.ある弱含み 市況のはじまりのピークが1年の同じような時に発生する場合,それら時期の月相も同じであることがふつうであ る.これは1890年以降では季節的に一貫していて,この論文で多数の事例が提示される.唯一のめだった例外は, 9月26日~10月10日の期間にはじまる8件の弱含み市況である.月相と季節性のはたす役割を考えると,その 解には月・太陽・春分点の間の角度変化が含まれる.2015年の合衆国恐慌の予測も考察される.微弱な月-太陽 潮汐力が危機的事態をどのようにして活性化させるかは,未解明の重要問題である.この謎を解くには,さらに多 くの研究が必要である.

キーワード:ダウジョーンズ工業平均,弱含み市況,最高値,季節性,月相,地震

山脈 – 地球史の新参者 MOUNTAIN RANGES – A NEWCOMER IN EARTH HISTORY

Karsten M. STORETVEDT

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

(杉山 明[訳])

要旨:世界中の山脈の高度が新第三紀後期に達成されたという様々な地質学的証拠に対する理由づけはまだ説明さ れないままである.説明は、アイソスタティックな浮力による隆起を伴う褶曲作用が地殻を厚くしたとする古い概 念から気候が引き金となった要因まで変化してきた.しかし、データが蓄積されても適切な解は全く見出されてい ない.1960年代以来の支配的な造構理論であるプレートテクトニクスは、山脈がその土台の地史とは無関係に世 界中に分布していることに対して何ら適切な説明をしていない.Cliff Ollier (2006)は、"山脈はかつての平野 が隆起して高原になり、それが種々の程度に開析された結果であり、褶曲山脈というものは存在しない"と主張し た.本研究はこの結論を支持する.山脈の 'パラドックス'が脱ガス地球と関連するグローバルレンチテクトニク スの枠組みで考察される.山脈の隆起は上部マントルから排出される強い浮力をもった超臨界的な流体に浸透され た地殻深部までを切る断層帯に決定的に依存しているということが結論である.従って、造構的に厚くなった地殻 という伝統的な仮説は正しくなく、地質学的に過去の褶曲帯は大規模な表層の隆起とは関連がない.顕著な造陸運 動と山脈の形成(後者は顕著な浸食作用により発達した)は地球の長期にわたる脱ガス史の自然な現象論的 '最終 産物'である.

キーワード:山脈,隆起のメカニズム,超臨界水,リソスフェアの前提条件

訳者注(1)日本語のイタリックは読みにくいので,英文版でイタリックになっている箇所はアンダーラインを 施した.(2)英文版の p.342 の第2パラグラフにある 'Death Valley'は 'Great Valley'の誤りと思われるので, 訳文ではグレイト・バレーとした.

伝統的な見方とその問題点

1世紀以上にわたって,現在の大陸山脈の高度は地 質学的に最近の現象であり,隆起の大半は最後の 500 万年間に生じたことを示す強固な証拠が蓄積さ れてきた(レビューと参考文献は Ollier 1992 and 2006; Ollier and Pain 2000; Hay et al., 2002 を参照). 一般的に新第三紀の山脈は, 基本的に先 カンブリア時代後の褶曲 / リフト帯とリソスフェア の深部断層帯の軸に沿って、いくつかは現代の大陸 縁辺に沿って生じている.伝統的に、大規模な圧縮 性ないし横ずれ圧縮性の過程が細長い地殻を厚くし た、言い換えると、褶曲した地殻セグメントに沿う 山脈が浮力により隆起したと推測されてきた.しか し、この説明は、アフリカ南部を取り巻く山脈のよ うないくつかの受動的な大陸縁辺に沿う山脈や、中 央サハラのオガル山地(Hoggar Massif)のような 大陸内部の孤立した山脈を説明できない.したがっ て、最も喫緊の課題は、幅広い時代の様々な造構環 境において、世界中で山脈が最後の400~500万年 間に隆起したという事実を我々はどのように説明で きるのかということである.

ノルウェー(他の国でも同様)では、プレートテク トニクス時代以前の地質の授業は、この国の西海岸 に沿う山脈はカレドニア褶曲時相の産物,すなわち, オルドビス紀~シルル紀の一連の変動(タコニック 変動)による地殻の変形であり、その後ではデボン 紀の地殻変動(アパラチア時相)が唯一の副次的重 要性をもつとしていた. 北西ヨーロッパでは古典的 なカレドニア帯がイギリス諸島(ウェールズ、アイ ルランド、スコットランド)を横断し、西スカンジ ナビアを通り北東方向に伸びており、それは厚い砂 質及び炭酸塩質の堆積物が蓄積した地向斜の軸に 沿って走っている. 大規模な深い向斜性のトラフ (Hall, 1882 の概念)は、オルドビス紀初期に始まっ た圧縮性ないし横ずれ圧縮性の造構力を受けた. こ の過程で、下位にある結晶質の基盤もまた影響を受 け、既存の細長いトラフ内の随所で顕著な表層火山 活動と交代作用を伴った.

褶曲・変成した岩石が地域全体の基盤に広く認めら れるので、カレドニア褶曲時相が実際の地殻帯を厚 くしたと考えられた. その後の造構力の解放により 厚くなった地殻がアイソスタティックなリバウンド を被ったのは当然と考えられ、それ故に新たな重力 均衡を回復しようと高い山脈が形成されたと主張さ れた.支配的な見方は、地球は熱収縮による調整を 周期的に被り,その間に外側の脆い層の領域は狭く なり,基本的には大円に沿った圧縮変形により褶曲 帯を形成したというものであった.しかしながら, 地殻がとても一様とは言えない造構的変形を被った ことは明らかであり、ある部分は機械的な捻じれを 受けたが,別な部分はそれ以前の構造を完全に維持 している. そのような不均一性を説明するために, Eduard Süss (1875) は地殻が剛性領域と塑性領域に 分けられたと考えたが、これは極めて場当たり的な 感じのする主張である.しかし、1960年代後半ま では地質の授業にそのような問題意識はなかった.

西スカンジナビアでは圧縮された地向斜は南東方向 へ顕著にオーバースラストしたのに対し,スコット

ランドでは反対の地向斜翼部で北西方向にオーバー スラストした (図1). スコットランドでは, カレ ドニア変形の西縁はモイン衝上 (Moine Thrust) に 沿って露出し、ヘブリディーズ諸島外帯 (Outer Hebrides)の先カンブリア基盤を分裂させているの に対し,アイルランドではカレドニア変形帯の西縁 は北西のドニゴール県 (County Donegal) の海岸の すぐ沖にあると考えられている. スカンジナビアで はカレドニア衝上帯の東部はイギリスにおけるよう に明確に定義でき,大規模な走向移動断層帯によっ て特徴づけられる褶曲帯(例えば, Andersen et al., 1991; Fossen et al., 2014) が, かつて(古 生代前~中期)の地向斜に沿って走っている.しか し、スカンジナビア沖のカレドニア変形の西縁は、 ペルム紀後期から第三紀にわたる地殻の大洋化とそ れに伴う盆地の発達という長い歴史の産物によって 隠されている.

伝統的には、山脈は厚くなった地殻の比較的細長 い'帯'に関係していると考えられており、北米東 部に沿うアパラチア帯は、北西ヨーロッパの圧縮さ れた古生代前期~中期の地向斜の大洋を挟んだ反対 側の延長と見なされてきた.しかし、グリーンラン ドの東海岸に沿う古生代褶曲帯は圧縮された地向斜 という単純な図式では理解しにくいものである.し かしながら、大西洋をまたぐ構造的なつながりとい う提案は、Élie de Beaumont (1852) や Eduard Süss (1893)のような著名な研究者によって提案された 北大西洋がかつては大陸であったという初期の考え に調和的である.彼らは、地球全体の熱収縮により



図1 図はDunbar (1960)にもとづくブリテン島から西スカンジ ナビアまでの北西ヨーロッパのカレドニア褶曲帯の古典的な略図 を示している.矢印(赤)は先カンブリア基盤へのデコルマン運 動の方向を示している.プレートテクトニクスでは、グローバル な収縮が既存の地殻帯の下方撓曲を招き、徐々に狭い堆積トラフ が広範囲に形成されたというシナリオが受け入れられた.その後 の収縮を基礎とした地殻の絞り出しが堆積体の褶曲と水平変位を 招いた.地向斜基盤は(とくにその中心部で)しばしば広範な花 崗岩化作用・ミグマタイト化作用・鉱化作用を被ってきた‐これ は、ときには岩石の'初生的'組織と地殻の化学組成を全く変えた. 圧縮力が地殻を厚化させたということが広く信じられている.ブ リテン島南部では、本来のカレドニア帯が、中央ヨーロッパを横 断して東へ伸びるアカディア(デボン紀)とバリスカン(石炭紀 後期~ペルム紀)の褶曲帯によって擾乱あるいは横断されている.

大西洋の地殻が分裂し沈下したと主張し,信じた.

古典的なアイソスタシーによる反転仮説に対して, ノルウェー西部の初期の地殻構造の地震学的研究 は,スカンジナビア南西山脈の下には極めて平坦な モホ面が存在し,伝統的な造山仮説が求める軽い花 崗岩質地殻の根ではないことを示した.古典的モデ ルを理解しにくくしている要因は,ノルウェーの山 脈の隆起のかなりの部分が第三紀最末期,すなわち 下位にある400m.y.までのカレドニアの造構的骨組 より後の時代に生じたということを示唆する確たる 地表の証拠が存在することである.第三紀後の隆起 は,結局は下位の基盤の変形には直接関係していな いと思われる.シルル紀にピークをもつカレドニア '造山運動'は実際に何らかの重要な地殻の隆起を 引き起こしたのであろうか? 1960年頃,この問 題はベルゲン地質研究所で熱い議論になった.

堂々とした山脈の代わりに浅い海というパラドックス

カンブリア・オルドビス・シルル紀の大部分の間, すなわち全体で200m.y.にわたって,ノルウェーの 大部分とフェノスカンジアの残りの部分が化石に 富む一連の厚い堆積物をため込んだ縁海に覆われ ていたということはすでに19世紀後半に立証され た.この観察事項はどのようにして古典的な山脈成 立仮説と調和する結論をもたらすことができるので あろうか? 私が記憶する限り,この重要な問題は 私が学生だった間には取り上げられなかったし,今 日でも重要と考えられているとは思えない.古生 代前~中期の間,広がった縁海はとくに北半球で 特徴的であった(例えば,Schuchert and Dunbar, 1941; Termier and Termier, 1952 を参照).例え ば Hallam (1977) は、かつてのソ連邦に関して、 オルドビス紀中期には少なくともその陸地表面の 60%が浅い海に覆われていたと推定した.また、 Dott and Batten (1976)の古地理図によると北米 クラトンの70~80%までが当時水面下にあった. 大陸上に海成層が分布する面積を立証する際には多 くの不確実性があるにもかかわらず、いろいろな著 者によって立証された'一次オーダーの'傾向には 明らかな一貫性が認められる.例えば、シルル紀に は頁岩や炭酸塩岩を堆積し、陸棚性の動物相が普遍 的な性格を有する浅い海が現在の大陸のかなりの地 域を占めていた.先カンブリアの結晶質基盤はいく つかの不規則に分布する大陸性の島々に限って露出 しているように見える.

オルドビス紀後期~シルル紀の褶曲時相(タコニック変動)は西スカンジナビアと北米東部の地向斜を 変形・変成させたが、その結果として山脈の隆起が 生じたとする事実にもとづく証拠は何もない.緑海 性外海がとくに北半球で現在の大陸を覆った.図2 はシルル紀の'一次オーダーの'海陸の分布を示し ている(Boucot and Johnson, 1973).入手可能な 証拠から、我々はシルル紀の大陸表面が地形的には むしろ平坦で特徴がなく、広範な浅海地形が不規則 で相対的に狭い乾陸地域と混在していたという印象 を受ける.図2の最大の乾陸地域はアフリカにあり、 そこでは隆起のほとんど全部が第三紀後期の造陸運 動の産物で、それは大陸の大部分が広く浸食された 後で生じたように見える(Bond, 1978).

Jackson(1980)は造構帯形成における古典的な空間 問題を議論する中で,地向斜の地殻変動による変形 と短縮は下位の大陸地殻が顕著に厚くなることなし



図2 本図は現在の大陸を 覆う浅海が広く分布して いるシルル紀の古地理を 示している - Boucot and Johnson (1973) を簡略化. 北西スカンジナビアのカレ ドニア帯と北米のアパラチ ア帯に沿って明瞭な乾陸条 件があったことを支持する 岩石の証拠はないので、既 存の地向斜の造構的な絞り 出しが地殻を厚化(とそれ に伴う隆起) させることは 全くなかったと考えるのが 合理的であろう.したがっ て,問題となっている現在 の山脈は,これらの地域の 古生代前期の褶曲作用とは 関係がないと思われる.

に十分生じ得ると主張した.Jackson は,造構帯に 沿う大規模な走向移動断層に共通して観察される事 実にもとづいて,地向斜の一生の間,基盤断層は再 活動してリストリック型の断層に変化し,この過程 で深い堆積性トラフの造構的な短縮が下位の基盤の 一部を含めて褶曲運動と衝上運動を生じやすくさせ た可能性が高いと主張した.Jacksonの考え方に従う と,それほど大きな地殻の仮想的厚化に頼らなくて も褶曲帯の主な構造的特徴を説明することができる.

(白亜紀後期から始新世末まで続いた) アルプス造 構変動のずっと以前に,中央及び南ヨーロッパ地域 は東西方向に伸びる内陸水路、すなわちテチス海に なっていて, それは南でアフリカ・インド・アラビ ア台地に接し、現在のアルプスとヒマラヤ - チベッ ト地域をカバーしていた. テチス海は北側を, それ と別の広い水域、すなわちパラテチス海(膨大な参 考文献は Sonnenfeld, 1981 参照) とを隔てる幅の 狭いリッジもしくは地背斜で限られていた. テチス の動物相の地域的な性格は、世界中の大洋に対して より本質的な関係を持っているように見えるパラテ チスのそれとは明らかに異なると説明されてきた. しかしながら、テチス海とパラテチス海が広く分布 したことにより、ヨーロッパとアジアの大部分は新 第三紀になっても地球規模のイベントである地殻の 造陸運動とそれに続く山脈形成の前まで浅い縁海に 覆われていた(以下参照). テチス海 / パラテチス 海領域の西部セクターに関して、De Sitter (1952) はアトラス及びピレネー地域に沿った高まりは鮮新 世~第四紀に生まれたと断言した. また、Trümpy (1960) は、彼によれば鮮新世には低い丘陵地域に すぎなかったアルプスが更新世とその後に急速な隆 起を経験したと推測した.

隆起した地域の多くは沈降・発展する堆積盆地と隣 り合わせている.例えば,Peizhen et al. (2001) は、"<u>ミシシッピーデルタとその周辺,北海,東南</u> アジアのいくつかの沖合盆地,ノバスコシア及びノ ルウェーのヴェーリング台地 (Vering plateau)の ようないくつかの大陸縁辺にため込まれた堆積物 は、その堆積速度が 2-4 Myr.前に突然数倍になる" と述べた.Peizhen et al. はさらに、"堆積作用, とくに粗粒物質のそれは海水準による影響を受けな い高地アジアとその隣接地域で新生代後期に突如増 加し、・・・チベット北縁での一連の細粒堆積物を 覆う鮮新世~第四紀の礫岩の急速な堆積は高原が第 四紀に突然隆起したことを推測させる・・・淘汰の 悪い大礫や巨礫の無層理の層が山脈付近の第四紀礫 岩を特徴づけている"と述べている.

第三紀の間,広大な縁海はユーラシアから徐々に後 退したが,中新世後期においてさえヨーロッパの 大部分では現在の北海のそれに似た状態を維持し た.図3の上図は漸新世,下図は中新世中期のヨー

ロッパの古地理をそれぞれ示している.450 m.v. と 300m.y. 前頃という古生代の2時期に造構的な変形 を被ったウラル帯は、漸新世(上図)には浅海環境 にあり、中新世前期には潟やデルタが目立つ明らか に起伏の乏しい地形で特徴づけられていた(Pomerol 1982 とその中の参考資料を参照). したがって、ウ ラル帯は(オルドビス紀及び石炭紀に)地域的な 褶曲イベントが完了した後,ほぼ 300m.y. にわたっ て浅海環境であり続けた.再度、伝統的に山脈隆起 の原動力と考えられてきた浮力のある地殻の根の存 在という問題が議論の余地ある問題になってきた. それだけでなく、中央~南ヨーロッパの大部分の 地域が,アルプス造構変動の最盛期が終わった後, 35m.y. にわたって浅海であり続けたということを 忘れるべきではない(図3の下図). イタリアの大 部分は中新世中期に浅海環境にあり、アペニン地 域では鮮新世初期まで海が存在し続けた (Pomerol, 1982).

入手可能な化石と岩石の証拠から、アルプス・ピレ ネー・アペニン・その他の現在の地形を作り出した 南~中央ヨーロッパの顕著な地殻隆起が5m.y.よ り若い時代に生じたと信じるに値するしっかりし た理由がある.長期にわたるテチスの内陸海と堆 積盆地で特徴づけられた時代は第三紀に終わった が、現在の深い地中海盆は第三紀前~中期には今日 のそれとは著しく異なる地形であった. Pannekoek (1969 とその中の参考文献) によると,西地中海を 取り巻く陸上での多数の地質学的観察結果は、現 在深い海が占めている地域からの堆積物の供給と ナッペの移送を示唆している(図3参照). さらに, Nesteroff (1973) は,現在のフランス・リビエラ の海岸に平行な中新世の河道を観察したが、これ は明らかに現在のアルボラ海 (Alboran sea) とリ グリア海 (Liguria sea) にある南へ向かう急斜面 が存在しなかったときに形成された.新第三紀後 期の地殻の大洋化イベントという考えに調和して, JOIDESのsite134 (Ryan et al., 1973) は、アレ ジェリア~プロバンス盆地 (Algerian-Provençal Basin) (サルデーニャの南西) の深さ約3 kmの深 海で古い時代に浸食されたサルデーニャの基盤を掘 り当てた. 厚さが 11 km かそれ以下と見積もられる 深い中央平原の下を除いて, 地中海全域の下には厚 さ15-20 kmの中間型地殻が横たわっている(例え ば, Morelli, 1985; Egger et al. 1988).明らかに, 準大陸性基盤は徐々に薄くなって,最も深い地中海 盆の下で最も薄い地殻に移行している.

コルシカ島とサルデーニャ島の東に位置するコルシ カ水道 (Channel of Corsica) における地震探査は, この水道が中新世 / 鮮新世境界頃の時期に形成さ れた基盤構造が沈水したものであることを示してい る. すぐ南のチレニア海中央部で,例えば JOIDES site 132 (Ryan et al., 1973)の海面下約3 kmの



図3 上図はヨーロッパにおける 漸新世の陸と浅海の分布,下図は 中新世中期のそれを示している -Pomerol (1973)を簡略化. ウラ ル造構帯が,古生代後期の主要で 最後の褶曲時階の後,300 m.y. に わたって浅海であったことに特に 注目.

深度で示されたような中新世 / 鮮新世(メッシニア ン)の突然の海進は、西でのリグリア海とアルボラ 海と同様、コルシカ水道におけるような基盤の沈 水過程を反映しているとするのは妥当と思われる. チレニア海盆のテクトニクスを研究していた Wezel (1985) は、その地域が初めは厚い大陸性地殻で構成 されていたが、中新世に顕著なドーム状隆起とリフ ティング, さらにその後, 鮮新世~第四紀に地殻の崩 壊と沈水を被ったと結論づけた. 南ヨーロッパの山 脈地域の地殻の隆起と地中海における地殻の薄化お よび深海盆の形成の間には密接な関係があるように 見える. 中央及び西アルプスの南ではポー (Po) 盆地, 北ではモラッセ盆地となった中程度に薄化した地殻 のように、高い山地に隣接する盆地は必ずしも深海盆 に発展しない (Waldhauser et al., 1998; Lippitsch et al., 2003 を参照). それにもかかわらず, 一方に おける新第三紀の隆起と山脈の形成、他方での隣接地 域における加速度的な沈降と盆地の形成の間の密接 な関係は統一された解を求める. 例えば、北大西洋周 辺での新第三紀の山脈の隆起を研究していた Japsen et al. (2006) は、山脈形成の何らかの現実的な説明 は、隣接する新第三紀盆地の加速度的な沈降だけでな く陸域における表面隆起も説明できなければならな いということを本質的な点とした.

地殻の根に代わる地殻の薄化

これらの地域に沿った現在の山脈の隆起の原因と考 えられている古生代褶曲帯の下の地殻の根という深 くしみ込んだ想定とは対照的に、南極横断山脈だけ でなく、アパラチア・ヨーロッパのカレドニアとバ リスカン・アメリカのコルディレラ北部~西部のよ うな重要な例があることが分かってきた. 山地はそ の下に,実際には厚くはなく,薄くなった地殻を 有する (例えば, Bois 1991; Cook et al., 1992; Potter et al., 1986; Pyle et al., 2010; Chaput et al., 2014). 例えば、南極西部の先カンブリア 後期~古生代初期のクラトン / 変動帯の地殻の厚さ を最近研究した Chaput et al. (2014) は, 彼らの 解析が"MBL [Mary Bird Land] と横断山脈の下で 地殻が20km も '失われ', これらの地域には低密 度でおそらく曲隆したマントルが存在することを示 している"と結論した.

アパラチア北部ではニューファンドランドとその周 辺に関してはかなりの量の反射法及び屈折法の地震 データが入手可能であるが (例えば, Hall et al., 1998; Jackson et al., 1998; Quinlan et al., 1992; Marillier et al., 1994; Jackson, 2002), 褶曲帯中核部の下の地殻は比較的薄い.この地域を 横断する速度 - 深度情報は、地殻が隣接する先カ ンブリアの台地(南東のアバロン帯と北西のグレン ビル区)の下よりも変動帯の下でとくに薄く、その 厚さは30~37kmであることを示している.アパラ チア北部の地殻断面を図4に示す.明らかに、圧縮 性~横ずれ圧縮性の変形が褶曲帯に生じ、モホ境界 面にわずかな乱れを作り出している(Hall et al., 1998 参照).最近の結果は、1960年代の屈折法のプ ロファイルにもとづいてニューファンドランド中部 の下にかつて想定されていた著しい厚さ(約45km) とは対照的である(Keen et al., 1990).

ニューファンドランドの下部地殻は大部分, 速度 が7.0 km/s 以下の典型的な大陸性に近い性格を有 する. この地域は広くアイソスタティックな平衡状 態にあり,薄くなった正常な密度の地殻と盛り上 がった正常な密度の上部マントルから予測されて きたアパラチア褶曲帯全体にわたる大規模な正の ブーゲ異常は存在しない. 手元にある地球物理学的 データにもとづけば、中央の可動帯の下で上部マン トル密度が正常値よりも低いとすると最も容易に説 明がつくように思われる. レンチテクトニクス理論 によれば、北米東部のNE-SW 方向の断裂系は古生 代の地球規模の造構イベントの間に強く再活動し た (Storetvedt, 1997 and 2003; Storetvedt and Longhinos, 2012). つまり, ニューファンドランド 地域のアパラチアの顕著な北東方向の帯状構造は, 主として古生代の間の広範な走向移動の動きにその 起源がある. 数 km に及ぶモホ面のオフセット(Hall et al., 1998) は, アバロン (Avalon) の先カンブ リア(ニューファンドランド南東部)とガンダー (Gander;アパラチア帯の一部)の間の北部境界を なすドーバー・ハーミテジ (Dover-Hermitage) 断 層の北東延長部をまたいでいるように見える. ドー バー・ハーミテジ断層は、スコットランドのグレー トグレン (Great Glen) 断層のように地殻全体を切 る走向移動断裂とみなしてよいだろう.事実,顕著 な断層帯で仕切られた多くの地質帯によるニュー ファンドランド・アパラチア帯の区分はアイルラン ド~ブリテンのカレドニアの走向移動断層に沿った 区分とよく似ている.

アパラチア南部に関しては北部より地球物理学的研 究が少なく, 詳細でもない. Keller and Hatcher Jr. (1999) は、この地域全体の地殻構造を要約し、 "地殻は海岸付近で 30-35km の厚さがあり、海岸平 野とピーモント段丘 (Piedmont terrace) を横断 して厚くなり、ブルーリッジ (Blue Ridge) - バ レー&リッジ (Valley and Ridge) - クンバーラン ド高原 (Cumberland Plateau) 地域の下で 45-50km になる"と述べた.著者らは東方への薄化は海岸 平野における中生代の伸長の結果であると示唆し たが、彼らの図11に示された速度モデルは上述の ニューファンドランドに関して報告されたモホ面の 変化によく似ていることを示している. こうして 彼らは、北は先カンブリアのクラトン (Ouachita Mountains) から南はメキシコ湾までの N-S 方向の 断面に約200kmに及ぶ緩やかなモホ面の曲隆を描い ている.アパラチア南部では異地性地塊が西方へ 数 100km も移送され (Ando et al., 1983), 他方, Keen et al. (1986) の地震探査プロファイルは西 へ約100kmの移送を示している.

アパラチア褶曲帯に関して言うと、対応する北西 ヨーロッパのカレドニア山地の下には厚くなった地 殻は存在しない.このように、アイルランドとブリ テンのカレドニア山地はどちらも深度 25-30km で比 較的平坦なモホ面を示す(例えば; Di Leo et al., 2009; Klemperer et al., 1991).すなわち、これ らの研究は褶曲帯の下には地殻の根がないことを示 している.しかしながら、ニューファンドランド



図4 本図はニューファンドラン ドにおける北部アパラチアの地殻 断面と様々な深度における地震波 速度を示している.褶曲帯の下の 地殻が隣接する先カンブリア台地 - アバロン (Avalon) 及びグレン ビル (Grenville) の両区 - の下よ りもかなり薄いことに注目.図は Jackson et al. (1998) を簡略化.

のアパラチアと同様、ブリテンのカレドニア山地 は、顕著な NNE-SSW 方向を示す多くの走向移動断層 によって切られている. その中のスコットランド北 部のグレートグレン断層(GGF)は、地殻全体を切 る垂直断層として現れている(McGeary, 1989) 最 も顕著なものである. GGF に接する古生代の岩石か ら得られた古地磁気学的・地質学的証拠は、 カレド ニア後期とヘルシニアの時代に2回のメガスケール の運動があったことを明らかにした (Storetvedt, 1987; Storetvedt and Otterå, 1988). モホ面は緩 やかに起伏しているので、そのように大規模な走向 移動の動きはその断層跡に沿ってモホ面を不連続な ものにしたであろう. 例えば, GGF はシェトランド 北部のモホ面をずらし (McGeary, 1989), 北アイル ランド沖ではモホ面以下の反射面もずらしていると 解釈されている(Snyder and Flack, 1990). スコッ トランドのカレドニア山地と北西スコットランド のルイス片麻岩 (Lewisian gneisses) の境界を特 徴づけているモイン衝上を挟んで地殻の厚さが突然 約4.5 km 増加することもまた報告されている (Di Leo et al., 2009). 地殻の顕著な深部変位はグロー バルレンチテクトニクスの不可避的な産物である (Storetvedt 1997 nd 2003). 褶曲帯が捻じれる過 程で大きな地殻物質のウェッジが地殻を著しく厚く することなく中央帯から容易に移動する. 大陸地殻 が厚くなることなしに地殻変形とデコルマンが発達 する可能性は、ザグロス帯 (Zagros zone) の研究 をした Jackson (1980) により初めて提案された.

レンチテクトニクスの理論 (Storetvedt, 1997 and 2003)によれば、主要な造構マグマ帯は2つの古地 理的環境の中に見出される. 当時の古赤道に沿って 走る変形した地向斜(アパラチア山脈、カレドニア 山地, ヨーロッパアルプス, その他)か, それぞれ の古赤道から高角で分離したリフト帯(グレンビル 帯、南極横断山脈、ウラル帯などがその代表例)の どちらかである.これらの構造帯形成の主要な原動 力は,回転による遠心力,コリオリ効果,月と太 陽の潮汐力の組み合わせと見ることができる. した がって,回転速度が加速される時(慣性モーメント 効果),古北半球のリソスフェアは時計回りの捻じ れを被り、古南半球のリソスフェアは同じだけの反 時計回りの捻じれの影響を受けたであろう. 慣性効 果は低緯度で最大の影響を及ぼすので、2つのリソ スフェア'キャップ'は古赤道帯に沿って全体とし て西向きの引っ張りだけでなく西向きの回転をも 被ったであろう.

結果としての古赤道地向斜の全体的な横ずれ圧縮 は,発達しつつある造構帯の全体的な造構組織に 沿った大規模な走向移動断層の分裂(もしくは再活 動)を含む褶曲・衝上・断層などの運動を引き起こ した.したがって,アパラチア山脈とアイルラン ド・スコットランドのカレドニア山地に沿って走る 大規模な断裂帯はレンチテクトニクスが作動すると きに自然に生み出されたものである. 古生代の変動 帯を作り出したメカニズムは、地殻のアイソスタシー で山脈の隆起を説明することを不可能にし,(発達し つつある地向斜に生じた)地殻の薄化という考えへ と導いた.したがって、我々は上部マントルに関心 を向け、地質学的に最近の地殻の造陸運動とそれに 続く山脈の形成だけでなく、地殻下の薄化の原因を 見つけださなければならないと思われる(以下を参 照). 造構地域における地殻 - マントル構造の議論で は、多くの褶曲帯での広範な走向移動断層運動によっ て厚さの異なる地殻断面が並列し、それによって大 規模なモホ面の不整合が生じるということを理解す ることが重要である.そのような場合,反射法のイ メージは仮定的な沈み込み(もしくは縫合)という 言葉で簡単に誤った解釈をされる可能性がある;そ のような誤った考えはとくにアルプス時代の褶曲帯 に関して完全に共通しているようである(以下参照).

早くも19世紀後半にRussell (1884) は、合衆国 南西部のベーズン&レンジ山地は第三紀後期に地 殻の引張に関係して生じたものであると示唆した (Le Conte, 1889). 図5はこの地域の模式的な東 西断面を示している.示唆された新第三紀の曲隆と それに伴う地殻の引張の後には、火山活動と最後に は地殻下のデラミネーションによる構造的な崩壊が 生じた. Scholtz et al. (1971) によると、地表の 隆起 / 引張とそれに続く崩壊が 15 m.y. 以上にわ たって続き, 高角の断層で限られた隆起ブロック が N-S 方向のより小さい盆地を区切っているという 典型的な盆地と山脈からなる地形が作り出された. Gough (1986) によると、合衆国西部のコルディレ ラ山間帯の隆起とマグマ活動と引張歪は、浮力のあ る低密度の上部マントルによって引き起こされて いる. Molnar (1988) は、ベーズン&レンジ地域 (BRP) と北~中央チベットには著しい類似点がある と主張した.後者の地域はBRPと同様,高い熱流 量, 地震波速度の遅い上部マントル帯, 相対的に薄 いリソスフェアで特徴づけられている. しかしなが ら, BPRの相対的に薄い地殻(以下を参照)は、お



図5 (a) 初生的な地殻のアーチング (Le Conte, 1889) と, (b) 地殻と上部マントルの構造に関する現代の地震探査データを示す ネバダ中央部のベーズン&レンジ区の模式的東西断面 - Scholtz et al. (1971)をわずかに改変

そらく地殻の永続的な薄化過程の第1フェーズ(隆起)に達しただけの北チベットの下よりもさらに地 殻の薄化が進んだ状態であることを示唆している (Storetvedt, 1997 and 2003).

ベーズン&レンジ地域は約25-30 kmという比較的 浅いモホ面を有し(例えば, Smith 1978; Benz et al., 1990; Gilbert and Sheehan, 2004), その下 には異常な上部マントルがある.この地域を横断す る地殻の曲隆と比較的高い熱流量の組み合わせは, 上部マントルの高い電気伝導度(Gough, 1983)と 合わせて、化学反応と熱発生の原因となる含水流体 の湧昇という考えに一致する (Storetvedt, 2003 とその中の参考文献を参照). ベーズン&レンジ地 域の東には、既存の造構組織に平行なリオグラン デリフト (Rio Grande Rift) があり、これは NNE-SSW 方向で 1000 km 以上にわたって伸びる輪郭の はっきりした非対称的な一連のリフトである(Olsen et al., 1987). モホ面の深度は翼部地域の下の 45-50 km に較べて 33 km 前後であり、モホ面下の P波速度は隣接する大平原 (Great Plain) の下よ りも著しく低いことが分かった. さらに, 高い熱流 量 (Clarkson and Reiter, 1984, Decker et al., 1984) と電気伝導度 (Gough, 1974; Shankland and Ander, 1983) が測定されたということは、流体物 質を湧昇させ、地殻のデラミネーションを伴うマン トルのある種の曲隆という考えを支持する.

ロッキー山脈の地殻構造をレビューする中で, Keller et al. (1998) は地形と地殻の厚さの間に は明瞭な関係がないことを見出した. 厚くなった地 殻による浮力という古典的な想定の代わりに,彼ら は"マントルがこの地域のアイソスタティックなバ ランスを達成するうえで主要な役割を演じている" と推測した. もっと議論された別な例は, 西のグレ イト・バレー凹地と東のベーズン&レンジ地域の間 に位置するカリフォルニアのシェラネバダ(Sierra Nevada) である. 多くの地球物理学的研究は, 50-70 km というエアリー型の地殻の根の代わりに高 地シェラ (High Sierra) の地殻は異常に薄いとい う結論に達した (例えば, Carder et al., 1970; Carder, 1973; Jones et al., 1994; Wernicke et al., 1996; Keller et al., 1998; Gilbert and Sheehan, 2004). このことは山脈の下の地殻が隣接 するグレイト・バレーとベーズン&レンジ地域のそ れに類似した 30-35 km 程度の厚さしかないという ことを示唆している.

重力・地殻構造・地形にもとづいて, Wernicke et al. (1996) は、少なくともシェラネバダ南部は主 として上部マントルの水平方向の密度変化により支 えられた大陸性山脈の例であると結論づけた. この 著者らは、"高い地形・薄い地殻・低い Pn 速度・上 部マントルの高い(電気)伝導率・浅くて熱いメル トを含む上部マントルゼノリスは、アセノスフェア 的な上部マントルが高地シェラの下のモホ面深度付 近に伏在し、他方、西の上部マントルは厚くて比較 的冷たいエロクジャイトの根を有することを示唆し ている"と結論づけた.

アルプス褶曲帯での例

Pomerol (1982) によりまとめられた古気候の証拠 と古地磁気データ (Storetvedt, 1990 and 1997) から判断して, 第三紀前期の古赤道は地中海の南 縁を通っていたが,同時期の古南半球と古北半球 の'キャップ'の造構境界は僅かに北方へ移った. そこでは、地殻が引き伸ばされ、断層で規制された テチス海 / 盆地によって弱体化されていた. 古地磁 気を比較すると、アルプス変動帯の'一次オーダー の'北の造構境界は、ピレネー・アルプス・カルパ チア・コーカサスという軸を通っていた.図6は, 古赤道に配列したアルプス変形帯とともに、アフリ カとユーラシアの捻じれ造構関係の運動学的な略図 を示している. アフリカとユーラシアが相対的に回 転する間、両者は全体としてよく似た縁辺速度を経 験したであろうが、両者の瞬間的な回転速度の違い により右向きと左向きの変位がともにそれぞれの主 要断層帯上に生じた.全体的に横ずれ圧縮を受けて いる褶曲帯の内部では、当然ながら小さなブロック が複雑な回転をした. (この点に関しては)多くの



図6 アルプス変動最盛期の間,アフリカとユーラシアの比較的 穏やかな捻じれ - それぞれ約25° - が,それらの間に当時の赤道 に沿った可動帯を作り出した.これらの慣性を原動力とした大陸 の捻じれにより古リソスフェア全体は西向きに捻じれたセグメン トとなる.それに対して実際の赤道地域 - 二つの古リソスフェア キャップの共通の境界 - は,地中海地域と中東を通るアルプス褶 曲帯になった.アルプス変動時代の捻じれで生じたアフリカと ユーラシアの間の現在の古地磁気偏角の不一致が赤い矢印で示さ れている.

古地磁気学的研究が複雑な造構状態を立証してきた (要約と参考文献については Storetvedt, 1990 を参 照). 西地中海地域の造構的な捻れの複雑性は、明 らかに地殻全体を切る断裂を密接に伴っている現代 の山脈のパターンに巧みに表現されている(以下参 照). 例えば、中央及び西アルプスと北西アフリカ のアトラス山系(後者はアルプス褶曲帯の南縁境界 の断片である)の間の造構関係はアペニン山脈・カ ラブリア弧・シチリア島に沿ったS字形をしている. アルプス時代の高度変成作用(白亜紀後期~第三紀 前期)とナップ移動の南限であるヨーロッパアル プス南縁のインスブルック線 (Insubric Line) は 大規模な走向移動境界とみなされている(例えば, Schmid et al., 1987). 西及び中央アルプスに沿っ た構造的屈曲と走向移動の様相は地震解析によって 証明されている (例えばDelacou et al., 2004).

型にはまった見方では、アルプス褶曲帯に属する山脈は深い地殻の根を伴っている.大部分の場合、この仮定は地殻の研究によって生まれたものではない.ところで、アルプス変動帯の南縁に位置するイランのザグロス山脈(Zagros Mountains)の下では、結晶質地殻の厚さは隣接するアラビア台地とザグロス山脈を通してほとんど一定である.Hatzfeld et al. (2003)は"<u>ザグロス山脈の表層での褶曲帯に観察される短縮に見合った結晶質地殻の顕著な短縮と厚化は存在しない</u>"と報告した.このことは、"一連の堆積物の下の薄くなった基盤は衝上断層として再活動し、(そして)沈み込みや大陸地殻が極端に厚くなることなしにかなりの短縮が生じる.この再活動仮説はザグロス衝突帯の現在の地震活動と堆積 盆地の構造によって支持される"と結論づけた J.A. Jackson (1980) の再活動仮説を思い起こさせる.

南及び東アルプスからボヘミア盆地までの最近の地 震探査プロファイル (Grad et al., 2009) では, 山脈地域の高い地形は地殻の根を伴っていない.プ ロファイルに沿ったモホ面深度は波状に変化するも のの平滑である (図7). 明らかに東アルプスは単 純な (エアリー) モデルのアイソスタティックな平 衡にはない(Zanolla et al., 2006). 再度,我々は, 山脈隆起の原因を上部マントルの揮発性成分とその 地殻への活発な効果に見出すべきではなかろうかと 思う. 例えば、当のプロファイルの南西部分では地 震波速度は北東部分(ボヘミア山塊の下)における よりも遅い傾向がある. データは低密度のマントル 物質 - おそらく含水流体に富むか、その影響をうけ ているであろう - がかなり浅く南西に傾斜した1つ か2つのスラスト面に沿って上方へ移動しているこ とを示唆している. 地殻と上部マントルの推定され る温度・圧力条件では、含水流体は、密度が低いこ とで強力な揚力をもつ(詳細は以下を参照)超臨界 状態にあるだろう.この説明では、山脈は衝上面と モホ面の交差 - しばしば明瞭なモホ面ギャップとし て目立つ - に対して水平的なオフセットである可能 性がある.

山脈の水平的なオフセットは、それに伴うモホ面 ギャップに関連し、アルプス変動帯の南の剪断境界 である北西アフリカのアトラス山脈によく表れてい る.図8はモロッコのクラトン内の主要な山脈を 横断する SE-NW 方向の地殻断面を示している.ア トラス山系は、西はモロッコの大西洋岸から東は チュニジアの地中海岸まで約2000 kmにわたって伸



図7 南アルプスからボヘミア山地 までの SW-NE 断面のプロファイルに 沿った地震波速度の分布とモホ面の 変化を示すプロファイル.高い山脈 の下に地殻の根がないことと,SW 方向に緩く傾斜する地震波速度の傾 向に注目.図はGrad et al. (2009) から.太い黒線はデータにより拘束 されているが,破線は付近のデータ 値から内挿して得られた.



図8 本図はEl Harfi et al. (2006) により編集されたモロッコのアトラス山系を通る地殻断面を示している. ここで示されている説 明では、NW に傾斜した顕著な造構的不連続に伴う中央のモホ面ギャップは、アルプス褶曲帯を形成した白亜紀後期~第三紀前期の横 ずれ圧縮変形によって作り出された衝上面を表している(図6参照). 我々は地殻を斜めに切る衝上面に沿って上昇する超臨界含水流 体がアトラス山系を作り出した浮力をもたらしたと推測している.

びている.他の山系に関しては,それらの主要な 隆起のフェーズは鮮新世~第四紀と推定されてい る(Jacobshagen, 1992).古典的な'地殻の根'と いう前提は証拠がない.ハイ・アトラス及びミド ル・アトラスにおける発震機構の研究は,走向移 動及び/またはスラスト造構過程が現在進行して いることを示唆している(Medina and Cherkaoui, 1991).テレセイスミックなP波の残差にもとづい て,Seber et al. (1996)はアトラス山地の下のリ ソスフェアが比較的薄く,低速度の上部マントル物 質で特徴づけられていると結論づけた.彼らはこの 低速度層はおそらくアセノスフェア物質の湧昇を表 していると主張した.

レンチテクトニク理論によると、湧昇する揮発性物 質は地殻の地形学的・地質学的発展の主要な要因で あった. この揮発性物質はおそらく地球の深部にお ける炭化物と水素化物の反応の産物で、上部マント ルが変化してできたものであろう. 湧昇するシラン (水素化ケイ素)・炭化水素・ケイ素炭化物は(熱を 含めたそれらの地表付近での反応生成物とともに), 当然上部マントル及び下部地殻の流体 / ガス圧を増 大させ、低密度のシリカと水を生成した (Hunt et al., 1992を参照). 実際の温度・圧力条件で含水 成分は強力な浮力を得,反応性の高い超臨界状態に なったであろう (Hovland et al., 2014 を参照). 上部マントル / 下部地殻地域に流体とガスが徐々に 蓄積されると、そのレベルでの静水圧はかなり増大 したに違いない. こうして、地球の不安定な回転に よって引き起こされたダイナミックな圧力の増大に 伴い、含水流体は傾斜した衝上面に沿って上方ヘフ ラッシュしやすくなり,地殻を切る傾斜した衝上面 の地表付近のレベルで地殻を隆起させるであろう. ハイ・アトラスのモホ面オフセットの上の傾斜した 造構面に沿って上昇した流体は地震波速度を低下さ せていることが最近 Avarza et al. (2014) により 報告された. 上昇する超臨界流体の斜めの移動ルー トが、山脈間の水平的オフセットとそれに関連した 深部地殻 / モホ面テクトニクスを生み出す理由であ ると思われる.なぜ地表の隆起が新旧の褶曲帯と顕 著な断層帯に沿って最近数100万年の間に地球規模 で生じたのかを以下に論ずる.

"中央アルプスは世界のどの造山帯よりも長く研究 されてきたが、アルプスのリソスフェアと最上部ア セノスフェアの地球力学的発展を説明する統一的モ デルはまだない".この正直な陳述はアルプスのリ ソスフェアの地震学的異方性に関する最近の研究 における冒頭の文である (Fry et al., 2010). し かしながら、プレートテクトニクスが君臨する間、 アルプス - 地中海地域は、東に広がったテチス海 が短縮する間に(時間的にも空間的にも)連続的 に再配置を被ったということが広く信じられてき た. 様々な微小規模の大陸ユニットの沈み込みを含 む大洋での付加作用・大陸の衝突・スラブのロール バック・背弧海盆の形成という提案された一連の 段階が不明瞭な地域像を作り上げてきた(例えば、 McKenzie, 1972; Channel et al., 1979; Doglioni and Carminati, 2002; Spakman and Wortel, 2004; Faccenna et al., 2004). しかしながら, 謎の多い 地中海シナリオの本質は懸案であったが、前提とな るプレートテクトニクスの基礎についてはごく僅か な疑問しか表明されてこなかった.

中央アルプスは地殻の最大厚さが55 km以上あるだ けでなく、山脈の最高峰群から成る(例えば、Ye et al., 1995; Lombardi et al. 2008 とそれらの 中の参考文献)地殻研究の結果は、ヨーロッパのモ ホ面が深度 25-30 km で緩やかに傾斜してアルプス 北部の下に突っ込み、インスブルック線の地下では モホ面の垂直オフセットが最大55 kmに達してい ることを示している(図9).図6に示したグロー バルテクトニク・シナリオでは、アルプス変動帯 は(当時の一定の惑星加速により生み出された)2 つの半球の古リソスフェアが接触して横ずれ圧縮が 生じる場所である.この過程で大規模なリソスフェ アを切る剪断帯が褶曲帯に沿って発達し、局地的な モホ面のオフセットを作り出した.これにより、上 部マントルからの強力な浮力(低密度)と高い活性 を有する超臨界流体の上方への流れが容易になった



図9 上図は、アルプスを横断する N-S 方向の地球物理プロファイル-Kissling et al. (2006)を改変したヨーロッパトラバース (EGT) に沿う - の模式図を示している. ヘルベチア及びペンニンナップは空色で示されている. インスブルック線を含む主 衝上帯は黒で示されている;これらの不連続は地殻全体を切っているであろう. レンチテクトニク (WT) のシナリオ (図6参照) では、アルプス褶曲帯は、褶曲帯に沿った走向移動断層帯の存在と一致する全体的な横ずれ圧縮レジームを構成している. WT の解釈では、黄色の矢印は南半球の古リソスフェアの適度な反時計回りの動きを示し、時計回りの北半球の古リソスフェアと接 して横ずれ圧縮変形を引き起こす. インスブルック線の下のモホ面ギャップはこの相対的なリソスフェアの動きの産物と見なされる. 下図は地球物理トランゼクトの結果を示し、P 波速度 (Ye et al., 1995) が赤で示されている. 緑の破曲線は上部マントルの超臨界流体 (ScrW)の上方への流れを占示し、それはモホ不連続面を通り、地殻を貫通して、ついには山脈を隆起させる力 になる. 緑の曲線は示唆された上部マントルから上方へ向かう軽い流体の流れを示している. 中間的青色は上部マントルと下部 地殻のエクロジャイト化した物質を表している. さらに詳細な説明と討論は本文を見よ. (赤の) 数字は Ye et al. (1995) による P 波速度を示している.

(Tester et al., 1993; Bellissent-Funel, 2001; Hirschman and Kohlstedt 2012; Weingärtner and Franck 2005; Pan et al., 2013; Hovland et al., 2014).

図9に示されている地震波速度は、一般に受け入れ られている下部地殻/マントル漸移部の値といくら か異なっている.モホ面は、おそらく地史の極めて 長い期間にわたる惑星の脱ガス作用を通して形成さ れた二次的な起源のものであろうが(Storetvedt 2003における考察を参照)、通常は地殻の珪長質 -苦鉄質岩石と上部マントルの超苦鉄質橄欖岩の組 成的境界と説明されている(例えば、Christensen and Mooney、1995).しかしながら、ハイ・アルプ スのモホ面の下のP波速度(図9の下図)は最上部 マントルに関して通常得られている値に比較してや や大きい(8.0 ~ 8.2 km/s).したがって、最上部 マントルの僅かに大きなP波速度は、ここでは、地 殻-マントル漸移相辺りでのエクロジャイト化を示 していると思われる.上部マントルの橄欖岩に比 較してエクロジャイトは密度が高い(約0.2 g/cm⁻³ まで)ので,エクロジャイト化した物質は地殻をあ る程度下方に引っ張り,これらの岩石塊を上部マン トルのあるレベルまで徐々にデラミネートするであ ろう.エクロジャイト化交代作用が上方へ移動する につれて地殻はやせ細る.これがおそらく多くの褶 曲帯の下で地殻が薄くなっている理由であろう.

レンチテクトニク理論の前提である脱ガス地球とい うシナリオでは、とくに上部マントルと下部地殻が、 (深部地球過程からの)浮力を持った揮発性物質に より引き起こされた静水圧の増大 - これはエクロ ジャイト化を促進するために必要な圧力に関してよ り重要な要素である-を経験するであろう. グラニュ ライトからエクロジャイトへの移行の天然の産状は、 この過程が含水流体の存在で強力さを増すというこ とを示している(例えば、Ahrens and Schubert、 1975; Austrheim、1987 and 1990; Walther、1994; Leech、2001).例えば、Austrheim (1998)は、これ らの変成反応を進めるために H₂0 に富む流体が温度 や圧力よりもはるかに重要であると主張している. 他方, Leech (2001) は地殻のデラミネーションは, 変成作用が規制する実際の密度変化に伴う変形に利 用できる水の量に左右されると結論づけた.

アルプス地域のテレセイスミックなトモグラフィー 調査を実施した Lippitsch et al. (2003) は, エ クロジャイト化 / デラミネーションモデルと調和 する 300 km 前後の深さにまで広がるアルプス弧に 沿った比較的高速度の帯を発見した。エクロジャイ トの生産における含水流体の卓越した重要性が示唆 されたことにより (Leech, 2001), ハイ・アルプス の地下のモホ面のオフセットはマントルから上方へ 向かう水の流れの重要なルートとして貢献したと考 えられる.この前提にもとづくと,モホ面のオフセッ ト周辺の地殻-マントル領域は、下部地殻と上部 マントル物質のデラミネーションを伴うエクロジャ イトの生産という重要な時相を経験したであろう. この予言は最近の地震学的調査で支持を得ている (Singer et al., 2014). 図 10 に示されているよう に,中央アルプスの走向に直交する断面を描くと, 深度 200 km に達するモホ面ギャップの下のやや大 きな%P波速度を示す領域は、北西方のヨーロッパ リソスフェアの下 - そこでは分離した高速度のレン ズが最上部マントルの浅いレベルにある - よりもは るかに大きい.

図9(の下図)から読み取れるように、モホ面が深 度約55 kmにあるアルプスの地殻は、北方のモラッ セ盆地と中央ヨーロッパに向かって 20 km 前後まで 薄くなり (例えば, Waldhauser edit al., 1998), 同じ程度に南方のポー川平野 / 堆積盆地と北アペ ニンに向かっても薄くなっている(例えば, Di Stefano et al., 1999 and 2006). 同様に, アペニ ン山脈の大きな領域はモホ面が 40-50 km の深度に あり,リグリア(Ligurian)・チレニア(Tyrerhenian)・ アドリア(Adriatic)の海岸下の 20 km 前後まで徐々 に浅くなっている (Cassinis et al., 2003; Mele and Sandvol, 2003). 図8で分かるように、北西ア フリカの一般的な大陸地殻は、アトラス山脈の下 の10 kmにおよぶモホ面の垂直オフセットを別にす ると特に厚くなることはなく、45 km 前後の厚さを 有している. モホ面が平坦ではなく起伏のある組成 境界であるという事実により,アトラス山系下のモ ホ面の不連続はリソスフェアの捻れ運動の結果であ り、それ故に種々の厚さの地殻セグメントが並列し、 モホ面ギャップが生じたのであろう.同じ説明は, そこでのモホ面のオフセットを引き起こしたアルプ ス弧の下に対しても有効であるように思われる(図 **9**). 45 km 強という先後期白亜紀の正常な地殻と、 下部地殻及び最上部マントルにおけるエクロジャイ トの形成によって引きおこされた地殻の一定の下方 撓曲を想定すれば、中央アルプスの下でモホ面深度 が増大している(55 km まで)ことの説明がつく. したがって,アルプス弧に沿った深い地殻を説明す るために褶曲が作り出した地殻の厚化という考えを 持ち出す必要はない.

マントルからモホ不連続面を経て上方へ向かう含水 流体の移動は,後期白亜紀以前の最上部マントル及 び下部地殻岩石のエクロジャイトへの転換において 重要な原動力であったうえに、アルプス弧の下の地 殻に目立った地質学的・地球物理学的効果を及ぼし てきた可能性がある.水は地球のマントルにおけ る主要な流体であり(例えば, Liebscher, 2010; Zhang and Duan, 2009 を参照), 地殻内の数 kmの 深度でさえ温度・圧力条件は水を超臨界状態(ScrW) に変える.純水が ScrW に変わる臨界の T/P は 374 ℃と 221 bars 以上である:水は低密度(約 0.3 g/ c.c.)になり、その高い拡散性はナノスケールの空 隙と割れ目に浸透することを可能にする(Tester et al., 1993; Bellissent-Funel, 2001).したがっ て, ScrWの物理化学的性質は熱水系とその岩石変 質にとって極めて重要である.

アルプス山脈に想定される著しい捻れ変形 - おそら く地殻全体に影響を及ぼして衝上帯を作り出す - に より,高い拡散性をもった ScrW は流体を下部地殻 に浸透させることができるであろう.水が促進した



図10 図は中央アルプスの下の%P波速度変化の垂直断面を示 している;プロファイルは推定モホ面が最大深度(55 km まで) を有する山脈の走向に垂直である - Singer et al. (2014)を改 変. 200 kmの深度にまで達していると推測される剥離したエク ロジャイト化されたリソスフェア(%P速度が高い)の主要な地 域は局地的なモホ面ギャップとインスブルック線の下に位置して いることに注目. インスブルック線とモホ面のオフセットは,リ ソスフェアを切る衝上面の'一次オーダー'のサインとみなすこ とができる.

エクロジャイト化の過程は物質を脆弱化させ,エク ロジャイトをその原岩よりさらに容易に変形させる (Austrheim et al., 1997). 歪が大きい場合,エク ロジャイトにはフォリエーションが発達し,塑性変 形が進む.変形の程度は水の存在によりさらに強め られる.加えて,低密度のScrWが結晶質物質を同 化する強い能力は,スイスアルプスの下のモホ不連 続面より上の密度と地震波速度に一定の影響を及ぼ したであろう.この地域の最下部地殻の比較的低い 地震波速度(6.2 ~ 6.5 km/s)は,おそらく超臨 界流体の浸透によるものである.

エクロジャイト化の特徴的な様相はその産物が断裂 帯に沿って伝搬することである - 交代作用のフロン トはしばしば母岩へ突然移り変わっている. 十分な 含水流体があり圧力条件が満足されていれば、エク ロジャイトを形成する反応は岩石の容積を10-15% まで減じつつ、急速に進行することが期待される. この容積の減少は必然的に断裂空間を増大させ、地 域的な地殻を浮力により隆起させるだけでなく,加 圧された揮発成分の浸透と関連する変成反応を促 進する (Austrheim et al., 1996). 例えば, 露出 した部分が超塩基性岩と高度変成岩からなる上部地 殻のイブレア岩体 (Ivrea body) は、インスブルッ ク線の近傍もしくは内部に位置し、大きな重力異常 と地震波速度の逆転を特徴としている. この上部地 殻の岩体は,エクロジャイト化と超臨界水を伴った 地表への露出過程の産物である可能性が高い. イブ レア岩体が高いレベルに定置したのは新第三紀であ ると考えられている (Pin, 1990). さらに、インス ブルック線に沿った大規模な剪断作用は、ベルゲル 岩体 (Bergell massif) が漸新世にインスブルック 線に沿って定置した後で厚い緑色片岩マイロナイト 帯を作り出した (Schmid et al., 1987). そして, Mahéo et al. (2013) は、ベルゲル深成岩体の地表へ の露出は、最近 500 万年間の明瞭な垂直隆起と歩調 を合わせて生じたと示唆した.

なぜ高い台地と山脈は 地質学的に最近の現象なのであろう

011ier and Pain (2000) は山脈問題つまり '山脈 の起源' について包括的な評価をする中で,古い冷 却/収縮仮説にもとづくか,現代のプレートテクト ニクスにもとづいて,山脈は褶曲運動とそれに関連 した地殻厚化のメカニズムにより生まれたとしてき た長年の観念を却下した.011ier and Pain は,彼 ら自身の世界を俯瞰した研究に立脚し,また,山脈 の地形に関する事実を記載した広範な文献に依拠し て,現在の山脈が極めて最近の地質学的時代の現象 であり,浸食の末に現在の山脈へと発展した高原の 形成という惑星表面の段階的な垂直隆起の結果であ ると結論づけた.彼らの見方では,隆起の主要な フェーズ - 細長いメガスケールの降起である造陸的 隆起として始まった - は地球上の広範な場所におけ る同時的なイベントとして生じ,主として鮮新世~ 第四紀の間,すなわち地球史の最近 500 万年の間に 成立した.

これらの結論は、山脈が地球体の一方向への漸進的 進化における一時的・現象論的'終着点'であると 見るレンチテクトニクス理論と一致する.011ier and Pain は、山脈は地形的に高くなる前に浸食さ れて準平原になったということを示唆することによ り、山脈が地質学的な過去に存在した可能性を残し ているように思われる.しかしながら、図2・図3 から分かるように、低平な平野が鮮新世~第四紀の 地球規模の造陸的隆起をする以前の地質学的過去に 何らかの顕著な山脈が存在していたということはあ りそうにない.そこで、なぜ山脈は地球史のそれほ ど後になって形成されたのか、また、なぜこの隆起 が地球の動力造構史における他のすべてと同様に脈 動的な性格を有しているのかという疑問が生じる.

グローバルレンチテクトニクスの枠組みに従うと, 上部マントルの揮発性成分の圧力が徐々に高まる と, 関連する間欠的で地球規模の一連の動力造構過 程が始まる. 膨大な量の脱ガスした揮発性成分に支 配された(大陸ブロックになる)上部マントルの部 分は長期的に隆起し,一方,(大洋になる)その他 の地表地域は短期的な海水面変化に加えてスーパー サイクルの海進の影響を受けた. 呼応して, 地殻下 部のエクロジャイト化とデラミネーションが広い地 域を全体的に沈降させ,他方,対応する海退イベン トの影響で(地形的に高い)地殻ブロックはあまり やせ細らなかった. さらに, 重いエクロジャイト化 した地殻の塊が上部マントルに間欠的に失われるこ とにより周期的な惑星回転速度が加速され、外皮の リソスフェアの慣性に駆動された捻れイベントが生 じた.このようにして、地球のいわば鼓動ともいう べきグローバルテクトニクスの特徴的・断続的なス タイルの説明がつく.ユースタティックな海水準変 動は図11に示される.主要な地質時代境界が顕著な 海退イベントに一致していることに注目されたい.

カンブリア初期のカドミア(Cadomian)造構イベン トとそれに伴う内部ガスの'枯渇'の後には、上部 マントルの揮発性成分の長期にわたる新たな増強が 続いた(Storetvedt, 2003 参照).原始的状態にあっ たがゆっくりと大洋凹地に発展しつつあった地殻部 分(白亜紀後期にピークに達する地殻下部のやせ細 り/デラミネーションの過程)は隆起し、現在の陸 域の広大な部分が浅い海に覆われるようになった. この(比較的平坦な大陸表面への)海の進入はおそ らくオルドビス紀後期~シルル紀に最大に達した (図2).長期にわたる古生代の海進には、(レンチ テクトニクスによると)エクロジャイト化した地殻 下部物質が失われ上部マントルのレベルまで沈降す



図11 左図は顕生代 の概略的な海水準変 動曲線を示している; 黒丸印は海水体が消 失した6回の主要な イベントを示してい る-Hallam (1992)に よる.右図はエクソン (Exxon)モデルによる 新第三紀の海水準変動 を示している-Haq et al. (1987)を簡略化.

る時期に相当する顕著な海退イベントが重なった. 顕著な海退イベントと関連するリソスフェア物質 の垂直沈降は地球の回転速度を加速し、リソスフェ アの捻じれと造構帯の形成を促したであろう.した がって、古生代の間の重要なグローバルテクトニク の時相がユースタティックな海水面曲線の顕著な屈 折部で特徴づけられる時期に生じているのは驚くこ とではない.

古生代の縁海の全体的・累進的後退はペルム紀 / 三 畳紀境界辺りで最も低いレベルに達したが、中央及 び南ヨーロッパの主要な地域はまだ浅い海に覆われ ていた(例えば, Sonnenfeld 1981とその中の参考 文献を参照). 例えば、ウラル地域のペルム紀の動 物相はシシリーに産出する (Pomerol and Babin, 1977). この状況に基づいて Sonnenfeld (1981, p. 24-25)は、:"オーストリア南部のペルム紀前期の 沿岸堆積物はアルプスからオマーン・イラン・アフ ガニスタン・ネパールに広がっていたペルム紀中~ 後期の炭酸塩岩により南から覆われた. アルプス・ ディナル (アルプス)・バルカンの地域的な湾入部 は、背後に外洋性の炭酸塩岩が堆積するペルム紀後 期の蒸発岩と瀝青質苦灰岩の堆積場所となった.大 陸性環境はブルガリア・ギリシャ北部・トルコ南部・ <u>コーカサス北部にの</u>み広がっていた."と述べた. このように、入手可能な証拠から、古生代の間、ユー ラシアは広く浅い海に覆われ、中央ヨーロッパを横 断するバリスカン帯を含む古生代褶曲帯が何らかの 重要な地形的高まりを作り出したと考える理由は何 もない、ウラル帯はおそらく地形的な隆起が褶曲過 程の直接的な結果ではないという最も良い実例であ る. ウラルの褶曲運動はオルドビス紀に始まり, 古 生代後期に主要な時相があったが、その地域は明ら かに新第三紀まで浅海であり続けた(図3参照).

中生代前期に始まった長期にわたる海進はもう一度 低地に侵入し、セノマニアン海進(1億年前あたり) でピークに達し、その後、その時代の末期に顕著な 低海水準に達した. その頃, 現代の薄い大洋地殻は 大部分元の位置にあった.大洋盆の沈降は加速さ れ、リストリックな断層運動とブロックの回転が大 陸縁辺沿いの特徴的な地形になった. 化石のサンゴ と貝の成長増大にもとづく化石時計の証拠 (Creer, 1975のまとめを参照)は、セノマニアンの海進に 続いて地球が K-T 境界に向かって加速されたことを 示唆している.これは地殻の上部マントルへの消失 というダイナミックな結果である. その頃, 現代の 大洋 - 大陸の輪郭はほぼ確立された - すなわち,長 期にわたる間欠的な地殻下部の大洋化がかつての厚 くて汎地球的な大陸地殻を現在の大洋と大陸から成 るモザイク状のパターンに変換した.漸進的なリソ スフェアとアセノスフェアの発展により、地球は今 では以前よりはるかに不安定な状態になった. こう して、惑星の加速により地球のリソスフェアは緯度 に依存した捻じれを被った. 地球の歴史上初めて大 陸ブロックは慣性が引き金になった緯度依存の捻じ れ運動を個別に被ったのである(図6参照).全地 球的リソスフェアの捻れの主要時相は始新世 / 漸新 世境界あたりまで続き,アルプス造構変動が生じた. この過程で古い褶曲・断裂システムが再活動し、地 殻は以前よりはるかに断裂化した状態になった.

アルプス変動最盛期の最後の発作は始新世 / 漸新世 境界(35 m.y. 以降)付近で生じ,そのとき地球は 大規模な真の極イベント - 赤道の膨らみがほぼ 35° 変位する - を経験した(Storetvedt, 1990, 1997 and 2003 参照).その頃の著しく断裂化した地球の 地殻状態は,赤道の膨らみのリセットによりもた らされたアセノスフェア内の静水圧の増大とあい まって、明らかに当時の広範な造構マグマ活動の原 因になった.大陸では、この時代にエチオピアの一 連の洪水玄武岩の噴出、カナダのミスタスティンと ワナピティ湖沼クレーター (Mistastin Wanapistei Lake crater)、合衆国東部海岸沖の大規模なチュサ ピーク湾クレーター (Chesapeake Bay crater)、ロ シアのポピガイクレーター (Popigai crater)のよ うな火口の連なり (内部ガスの噴出)を見る.

振動的ではあるが海退的なユースタティック海水準 変動は漸新世になっても続いた.レンチテクトニク スのスキームでは,高海水準は大洋地殻を隆起させ る上部マントルの流体/ガスの圧力増大によって引 き起こされ,他方,(流体/ガス圧が引き起こす) その後の地殻下部のデラミネーションは漸進的な大 洋盆の形成を伴って海水面を低下させる.地球の脆 い外殻のこのようなパルス状の再構成は漸新世の間 もある程度活発であった.したがって,Keller et al.(1987)は,海底記録におけるハイエイタスをグ ローバルに総合することで,始新世/漸新世境界, 漸新世初期,漸新世/中新世境界での浸食イベント を発見した.漸新世最末期の初め,海岸線は陸上で もう一度浸食され,中新世前期の広範な高海水面と 新たな地球規模の造構的不安定に達する.

図11は中新世初期~中期に生じた重要な海退イベ ント - 地殻の上部マントルへの消失とそれに関連し た慣性モーメントの変化を伴い、惑星の短期的な加 速を誘発したと思われる.北大西洋地域では,脈動 する中新世中期の海水準がコロンビア川玄武岩の起 源やドイツのリース (Ries) 及びスタインハイム (Steinheim)の爆裂クレーター(すべて約15 m.y. と いう年代)に関連する.中新世中期の2回の急速 でしっかりした海退時相に続いて、海水準の全体 的な低下が始まり,8 m.y. 前頃,漸新世中期の低 レベルよりさらに低いレベルで顕著な低下は終わっ た. さらに何回もの海水準変動が繰り返され,約5 m.y. 前のメッシニアンの終りにしっかりした最低 レベルに達した. 鮮新世初期には大規模な海水準の 急速な上昇が生じ、その後は脈動的な海退パターン が繰り返した.

鮮新世初期まで地球の地殻は脆性断裂が再活動する 長い歴史を経てきた.とくに,アルプス時代の流動 的な変動は新旧の断裂系を強化した.地殻を切る衝 上面がアルプス褶曲帯の特徴となり,海側に傾斜し たリストリック断層帯が現代の受動的大陸縁辺を特 徴づけた.縁辺断層帯がプランジすることにより地 殻の大洋化は海側にその基礎をおくようになり,他 方,大陸縁辺帯は隆起した.011ier and Pain (2000) は顕著な非対称性を示す海岸山脈の多くの例を挙げ ている-とくに,彼らの図 10・17 を参照.アルプス 変動最盛期の強烈な変形の頂点で,地球は全体的で はあるが少し弱い新第三紀の造構イベントの影響を 受けた.こうして,鮮新世に新旧の褶曲帯はアセノス フェアの揮発性成分が比較的容易に逸出するルート を獲得した.最上部マントルの一般的な圧力・温度条 件で,蓄積された揮発性成分は超臨界性で強い浮力を もった状態にあったに違いない.これは,リソスフェ アの深部断裂帯で特徴づけられた大陸地域の強い造 陸性隆起とそれに続く山脈成長の原動力となった.

結 論

本稿で私は、地表浸食による山脈の形成を伴う造陸 的な隆起が生じた広範な地域が地球史の最近の現象 であると主張した.最上部マントルのレベルで、強 い浮力と活性的な超臨界状態にある含水流体が長期 にわたって蓄積されたことが、5 m.y.頃に始まっ た現在の造構地形過程の主要な原動力である.大陸 の山脈は基本的にはリソスフェアの顕著な断層帯 -それに沿って、水が促進するエクロジャイト化の過 程が比較的早く進行する - の存在と関連がある;エ クロジャイトへの転換は岩石の容積を10-15%減少 させ(Austrheim et al., 1996)、その結果、断裂 空隙は強い浮力のある超臨界流体が地殻の浅いレベ ルにまで浸透することを可能にする.

中生代中期以前は地球の表面は明らかにかなり特色 のない状態で,現在の大陸地域は浅海が支配的であっ た.その頃,先カンブリア時代の初期から進行して いたと考えられる緩慢な内部脱ガス作用が,地球の 脆い殻を再構成し始めるに十分な高い圧力により, ガス / 流体の強く浸透した甲殻(アセノスフェア) を作り始めた.この過程で,モホ面と,地殻の薄い 深海盆を含む著しく不規則なリソスフェアが最終的 に出現した(Storetvedt 2003 and 2011).緩慢な脱 ガス史とそれに付随する物理化学的内部非平衡とい う考えに調和して,長年の地震トモグラフィーはコ アとマントルが共にさまざまな規模の異方性と不均 一性で特徴づけられていることを明らかにしてきた. したがって,累進的な脱ガス作用は発展するマント ルの外側に流体とガスを徐々に蓄積していった.

脱ガスに伴う内部体の再構成は地球の慣性モーメン トを周期的に変え、それはさらに惑星の回転速度と 断続的な極移動イベントを引き起こしたに違いな い.これらのダイナミックな変化は地球の断続的な 造構史の引き金と見ることができ、その地質学的・ 古気候学的・生物学的大変動、海進 - 海退の周期性 その他とともに、地質時代境界が存在する理由を説 明する.推論ではあるが、それぞれの動力・造構パ ルスの後に地殻断裂系は漸進的に拡大・強化・再活 性化されてきた.したがって、最上部マントルの静 水圧が増大したことが地球の初期外殻の変化を促進 したに違いない.というわけで、中生代後期と第三 紀前期のグローバルな造構的隆起が、流体を原動力 とする地殻構造とグローバルな地形の著しい変化に つながった. それ故, 第三紀前期までに深海凹地と 現在の乾陸表面は大部分'原位置'にあったが, 大 陸の山脈はまだ数千万年先であった (Storetvedt, 2003 and 2011).

5 m.y. 前に始まる鮮新世までに, 地球の地殻 / リ ソスフェアの長期にわたる進化が断層で規制された 顕著な大陸の造陸運動 - しばしば隣接する盆地の形 成を伴う現在の山地地形の発達につながる - への道 を開いた. このつながりは地殻の造構的分裂システ ムにおける差異に関係していると考えられている. 例えば,アルプス山脈は西地中海の深海盆,大陸の ポー平野,モラッセ堆積盆に取り囲まれている.大 陸の褶曲帯の地殻を切るスラスト / 断層帯の場合 は,明らかに超臨界含水流体を原動力とした浮力に よる隆起が支配的な要素であり、他方、盆地の形成 は、下部地殻がさらに一様に断裂し、地殻下部の 効果的なエクロジャイト化とそれに続くデラミネー ションを可能にするところで広く認められる. さら に,盆地の形成は不可避的に周辺の最上部マントル の静水圧を増大させ、それによって隣接し隆起する 大陸地域の下の揮発性成分に圧力をかけるための特 別な刺激を与える.

Cambray and Cadet (1994) は太平洋の島弧火山活動 のグローバルな同時性についての彼らの研究の中で, 火山活動の主要なパルスが鮮新世〜第四紀だけでな く中新世中期にも生じたことを発見した.これらの発 見は上述の進化パターンに一致する. 湧昇するマン トル流体を原動力とした動力・造構パルスは,太平洋 を取りまくベニオフ帯のような深部断層帯に沿った 当時の火山活動に関連があるだけでなく,当然,ユー スタティックな海水準変化に同調するであろう.

謝辞:ロンドンのCrist Argent 氏には,私の最初 の原稿を批判的に読んでいただき,多くの言葉と構 文を変え,その他の改善をして下さったことに深く 感謝する.Frank Cleveland 氏と息子のRune André にもイラストで助けて下さったことを感謝する.

文 献

- Ahrens, T.J. & Schubert, G., 1975. Gabbro-eclogite reaction rates and its geophysical significance. Rev. Geophys.Space Phys., v. 13, p. 383-390.
- Andersen, T.B. et al., 1991. Subduction and eduction of continental crust: major mechanisms during continentcontinent collision and orogenic extensional collapse, a model based on the south Norwegian Caledonides. Terra Research, v. 3, p. 303-310.
- Ando, C.J. et al., 1983. Crustal geometry of the Appalachian orogen from seismic reflection studies. Geol. Soc. Am. Memoir, v. 158, p. 83-101.

Austrheim, H., 1987. Eclogitization of lower crustal

granulites by fluid migration through shear zones. Earth Planet. Sci. Lett., v. 81, p. 221-232.

- Austrheim, H., 1990. The granulite-eclogite facies transition: A comparison of experimental work and a natural occurrence in the Bergen Arcs, western Norway. Lithos, v. 25, p. 163-169.
- Austrheim, H., Erambert, M. & Boundy, T.M., 1996. Garnets recording deep crustal earthquakes. Earth Planet. Sci. Lett., v. 139, p. 223-238.
- Austrheim, H., 1998. Influence of fluid and deformation on metamorphism of the deep crust and consequences for the geodynamics of collision zones. In: When Continents Collide: Geodynamics and Geochemistry of Ultra- Pressure Rocks. Dordrecht, Kluwer Academic, p. 297-323.
- Ayarza, P. et al., 2014. Crustal thickness and velocity structure across the Moroccan Atlas from long offset wide-angle reflection seismic data: The SIMA experiment. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, v. 15, p. 1698-1717.
- Bellissent-Funel, M.-C., 2001. Structure of Supercritical Water. J. Molecular Liquids, v. 90, p. 313-322.
- Benz, H.M., Smith, R.B. & Mooney, W.D., 1990. Crustal structure of the Northwestern Basin and Range Province from the 1986 Program for Array Seismic Studies of the Continental Lithosphere Seismic Experiment. J. Geophys. Res., v. 95, p. 21823-21842.
- Bois, C., 1991. Geological significance of seismic reflections in collision belts. Geophys. J. Int., v. 105, p. 55-69.
- Bond, G., 1978. Evidence for late Tertiary uplift of Africa relative to North America, South America, Australia and Europe. J. Geol., v. 86, p. 47-65.
- Boucot, A.J. & Johnson, J.G., 1973. Silurian Brachiopods. In: Atlas of Palaeogeography. Amsterdam, Elsevier, 426 p.
- Cambray, H. & Cadet, J.P., 1994. Testing global synchronism in peri-Pacific arc volcanism. J. Volc. Geotherm. Res., v. 63, p. 145-164.
- Carder, D.C., 1973. Trans-California Seismic Profile, Death Valley to Monterey Bay. Bull. Seis. Soc. Am., v. 63, p. 571-586.
- Carder, D.C., Qamar, A. and McEvilly, 1970. Trans-California seismic profile: Pahute Mesa to San Francisco Bay.Bull. Seis. Soc. Am., v. 60, p. 1829-1846.
- Channel, J.E.T., D'Argenio, B.D. & Horvath, F., 1979. Adria, the Africal promontory in Mesozoic Mediterranean paleogeography. Earth Sci. Rev., v. 15, p. 213-292.
- Chaput, J. et al., 2014. The crustal thickness of West Antarctica. J. Geophys. Res., v. 119, p. 378-395.
- Christensen, N.I. & Mooney, W.D., 1995. Seismic velocity structure and composition of the continental

crust: a global review. J. Geophys. Res., v. 100, p. 9761-9788.

- Cook, F.A. et al., 1992. Lithoprobe crustal reflection cross section of the southern Canadian Cordillera I: Foreland thrust and fold belt to Fraser River Fault. Tectonics, v. 11, p. 12-35.
- Creer, K.M., 1975. In: Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation. London, John Wiley, p. 293-318.
- Delacou, B. et al., 2004. Present-day geodynamics in the bend of the western and central Alps as constrained by earthquake analysis. Geophys. J. Int., v. 158, p. 753-774.
- De Sitter, U.L., 1952. Pliocene uplift of Tertiary mountain chains. Am. J. Sci., v. 250, p. 297-307.
- Di Leo, J., Bastow, I.D. & Helffrich, G., 2009. Nature of the Moho beneath the Scottish Highlands from a receiver function perspective. Tectonophysics, v. 479, p. 214-222.
- Di Stefano, R. et al., 1999. Crustal and uppermost mantle structure in Italy from the inversion of P-wave arrival times: Geodynamic implications. Geophys. J. Int., v. 139, p. 483-498.
- Di Stefano, R. et al., 2006. Automatic seismic phase picking and consistent observation error assessment: Application to the Italian seismicity. Geophys. J. Int., v. 165, p. 121-134.
- Doglioni, C. & Carminati, E., 2002, 2002. The effects of four subductions in the NE Italy. Mem. Soc. Geol. Ital., v. 54, p. 1-4.
- Dott, R.H. & Batten, R.L., 1976. Evolution of the Earth. New York, McGraw-Hill, 504p.
- Dunbar, C.O., 1969. Historical Geology. New York, John Wiley, 500 p.
- Egger, A. et al., 1988. The gross structure of the crust under Corsica and Sardinia. Tectonophysics, v. 150, p. 363-389.
- El Harfi, A., Guiraud, M. & Lang, J., 2006. Deep-rooted «thick skinned» model for the High Atlas Mountains (Morocco). Implications for the structural inheritance of the southern Tethys passive margin. J. Struct. Geol., doi:10.1016/j.jsg.2006.08.011, p. 1958-1976.
- Élie de Beaumont, L., 1852. Notice sur les systems des montagnes. 3 vols., Paris, P. Bertrand.
- Facenna, C. et al., 2004. Lateral slab deformation and the origin of the western Mediterranean arcs. Tectonics, v. 23, TC1012, doi: 101029/2002TC001488.
- Fossen, H. et al., 2014. Crustal stretching in the Scandinavian Caledonides as revealed by deep seismic data. Geology, doi: 10.1130/G35842.1.
- Fry, B. et al., 2010. Layered azimuthal anisotropy of Rayleigh wave phase velocities in the European lithosphere inferred from ambient noise. Earth Planet. Sci. Lett., v. 297, p. 96-102.

- Gabin, R., 1972. Resultats d'une etude de sismique reflexion dans le Canal de Corse, et de sondeur de vase dans le Bassin Toscan. Marine Geol., v. 13, p. 267-286.
- Gilbert, H.J. & Sheehan, A.F., 2004. Images of crustal variations in the intermountain west. J. Geophys. Res., v. 109, B03306, doi: 10.1029/2003JB002730.
- Gough, D.I., 1986. Mantle upflow tectonics in the Canadian Cordillera. J. Geophys. Res., v. 91, p. 1909-1919.
- Grad, M. et al., 2009. Crustal structure of the Eastern Alps and their foreland: seismic model beneath the CEL10/Alp04 profile and tectonic implications. Geophys. J. Int., v. 177, p. 279-295.
- Hall, J., 1882. Contributions to the geological history of the North American continent. Proc. Am. Ass. Adv. Sci., v. 31, p. 29-71.
- Hall, J., Marillier, F. & Dehler, S., 1989. Geophysical studies of the structure of the Appalachian orogen in the Atlantic borderlands of Canada. Can. J. Earth Sci., v. 35, p. 1205-1221.
- Hallam, A., 1977. Secular changes in marine inundation of USSR and North America through the Phanerozoic. Nature, v. 269, p. 769-772.
- Hallam, A., 1992. Phanerozoic Sea-Level Changes. New York, Columbia Univ. Press, 266 p.
- Haq, B.U, Hardenbol, J. & Vail, P.R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. Science, v. 235, p. 1156-1167.
- Hatzfeld, D. et al., 2003. Seismological constraints on the crustal structure beneath the Zagros Mountain belt (Iran). Geophys. J. Int., v. 155, p. 403-410.
- Hay, W.W. et al., 2002. The Late Cenozoic uplift climatic change paradox. Int. J. Earth Sci., v. 91, p. 747-774.
- Hinz, K., 1973. Crustal structure of the Balearic Sea. Tectonophysics, v. 20, p. 295-302.
- Hirn, A., Steinmetz, M. & Sapin, M., 1977. A long range seismic profile in the Western Mediterranean Basin:structure of the upper mantle. Ann. Geophys., v. 33, p. 373-384.
- Hirschmann, M. & Kohlstedt, D., 2012. Water in Earth's mantle. Physics Today, v. 65(3), p. 40-45.
- Hovland, M., Rueslatten, H.G. & Johnsen, H.K., 2014. Buried Hydrothermal Systems: The Potential Role of Supercritical Water, «ScriW», in Various Geological Processes and Occurrences in the Sub-Surface. Am. J. Analyt. Chem., doi: 10.4236/ajac, p. 128-139.
- Hunt C.W., Collins, L.G. & Skobelin, E.A., 1992. Expanding Geospheres. Energy and Mass Transfers from Earth's Interior. Calgary, Polar Publishing, 421 p.
- Jackson, J.A., 1980. Reactivation of basement faults and crustal shortening in orogenic belts. Nature, v. 283, p. 343-346.

- Jackson, H.R., 2002. Seismic refraction profiles in the Gulf of Saint Lawrence and implications for extent of continuous Grenville lower crust. Can. J. Earth Sci., v. 39, p. 1-17.
- Jackson, H.R., Marillier, F. & Hall, J., 1989. Seismic refraction data in the Gulf of Saint Lawrence: implications for the lower-crustal blocks. Can. J. Earth Sci., v. 35, p. 1222-1237.
- Jacobshagen, V., 1992. Major fracture zones of Morocco: The south Atlas and the Transalboran fault systems. Geol. Rundsch., v. 81, p. 185-197.
- Japsen, P. & Chalmers, J.A., 2000. Neogene uplift and tectonics around the North Atlantic: overview. Global and Planetary Change, v. 24, p. 165-173.
- Japsen, P. et al., 2006. Elevated passive continental margins: long-term highs or Neogene uplifts? New evidence from West Greenland. Earth Planet. Sci. Lett., v. 248, p. 330-339.
- Jones, C.H., Kanamori, H. and Roecker, 1994. Missing roots and mantle 'drips': Regional Pn and teleseismic arrival times in the southern Sierra Nevada and vicinity, California. J. Geophys. Res., v. 99, p. 4567-4601.
- Keller, G. et al., 1987. Global distribution of late Paleogene hiatuses. Geology, v. 6, p. 124-129.
- Keller, G.R. et al., 1998. Geophysical studies of crustal structure in the Rocky Mountain region: A review. Rocky Mountain Geology, v. 33, p. 217-228.
- Keen, C.E. et al., 1986. Deep seismic reflection profile across the northern Appalachians. Geology, v. 14, p. 141-145.
- Keen, C.E. et al., 1990. Geology of the Continental Margin of Eastern Canada. Geol. Surv. Can., Geology of Canada, v. 2, p. 31-85.
- Kissling, E. et al., 2006. Lithosphere structure and tectonic evolution of the Alpine Arc: new evidence from high- resolution teleseismic tomography. Mem. Geol. Soc. London, v. 32, p. 129-145.
- Klemperer, S.L., Ryan, P.D. & Snyder, D.B., 1991. A deep seismic reflection transect across the Irish Caledonides. J. Geol. Soc. London, v. 148, p. 149-164.
- Le Conte, J., 1889. On the origin of normal faults and of the structure of the Basin region. Am. J. Sci.., v. 38, p. 257-263.
- Leech, M.L., 2001. Arrested orogenic development: eclogitization, delamination, and tectonic collapse. Earth Planet. Sci. Lett., v. 185, p. 149-159.
- Liebscher, A., 2010. Aqueous fluids at elevated pressure and temperature. Geofluids, v. 10, p. 3-19.
- Lippitsch, R., Kissling, E. & Ansorge, J., 2003. Upper mantle structure beneath the Alpine orogen from highresolution teleseismic tomography. J. Geophys. Res., v. 108, B8, 2376, doi: 10.1029/2002JB002016.

Lombardi, D. et al., 2008. Moho depth and Poisson's

ratio in the Western-Central Alps from receiver functions. Geophys. J. Int., v. 173, p. 249-264.

- Marillier, F. et al., 1994. Lithoprobe East onshoreoffshore seismic refraction survey – constraints on interpretation of reflection data in the Newfoundland Appalachians. Tectonophysics, v. 232, p. 43-58.
- Matéo, G. et al., 2013. Neogene exhumation history of the Bergell massif (southeast Central Alps). Terra Nova, v. 25, p. 110-118.
- McGeary, 1989. Reflection seismic evidence for a Moho offset beneath the Walls Boundary strike-slip fault. J. Geol. Soc. London, v. 146, p. 261-269.
- McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophys. J. Roy. Astron. Soc., v. 30, p. 109-185.
- Medina, F. & Cherkaoui, T.E., 1992. Mécanismes au foyer des séismes du Maroc et des régions voisines (1901-1986). Conséquences tectoniques. Eclogae Geol. Helv., v. 85, p. 433-457.
- Molnar, P., 1988. A review of geophysical constraints on the deep structure of the Tibetan Plateau, the Himalaya and Karakoram, and their tectonic implications. Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., v. A326, p. 33-88.
- Mooney, W.D. & Weaver, C.S., 1989. Regional crustal structure and tectonics of the Pacific Coastal States: California, Oregon, and Washington. Mem. Geol. Soc. Am., v. 172, p. 129-161.
- Morelli, C., 1985. Geophysical Contribution to Knowledge of the Mediterranean Crust. In: Geological Evolution of the Mediterranean Basin. New York, Springer, p. 65-82.
- Nesteroff, W.D., 1973. Un modèle pour les évaporites messiniennes en Méditerranée des bassins peu profonde avec dépôd'évaporites lagunaires. In: Messinian Events in the Mediterranean. Amsterdam, North-Holland, 272 p.
- Ollier, C., 1992. Global change and long-term geomorphology. Terra Nova, v. 4, p. 312-319.
- Ollier, C., 2006. Mountain uplift and the Neo-tectonic Period. Annals of Geophysics, Suppl. to vol. 49, p. 437-450.
- Ollier, C. & Pain, C., 2000. The Origin of Mountains. London, Routledge, 345 p.
- Pakiser, L.C. & Brune, J.N., 1980. Seismic models of the Root of the Sierra Nevada. Science, v. 210, p. 1088-1094.
- Pan, D. et al., 2013. Dielectric properties of water under extreme conditions and transport of carbonates in the deep Earth. PNAS, v. 110, no. 17, p. 6646-6650.
- Pannekoek, A.J., 1969. Uplift and subsidence in and around the western Mediterranean since the Oligocene. Verhandl. Kon. Ned. Geol. Mijnbouwk., v. 26, p. 53-77.
- Peizhen, Z., Molnar, P. & Downs, W.R., 2001. Increased

sedimentation rates and grain sizes 2-4 Myr ago due to the influence of climate change on erosion rates. Nature, v. 410, p. 891-897.

- Pin, C., 1990. Evolution of the lower crust in the Ivrea Zone. A model Based on Isotopic and Geochemical Data. In: NATO ISA Series, v. 311, p. 87-110.
- Pomerol, C., 1982. The Cenozoic Era. Chichester, Ellis Horwood Ltd., 272 p.
- Pomerol, C. & Babin, C., 1977. Précambrien et Paléozoique. Paris, Doin, 430 p.
- Potter, C, et al., 1986. COCORP deep seismic reflection traverse of the interior of the North American Cordillera, Washington and Idaho: Implications for orogenic evolution. Tectonics, v. 5, p. 1007-1026.
- Pyle, M.L. et al., 2010. Crustal structure of the Transantarctic Mountains near the Ross Sea from ambient seismic noise tomography. J. Geophys. Res., v. 115, doi: 10, 1029/2009JB007081.
- Quinlan, G.M. et al., 1992. Lithoprobe onshore seismic reflection transects across the Newfoundland Appalachians. Can. J. Earth Sci., v. 29, p. 1865-1877.
- Russell, I.C., 1884. A geological reconnaissance in southern Oregon. U.S. Geol. Surv. Fourt Annual Report, p. 435-464.
- Ryan, W.B.F. et al., 1973. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 13. Washington DC, US Govt. Print. Office.
- Schmid, S.M., Zingg, A. & Handy, M., 1987. The kinematics of movements along the Insubric Line and the emplacement of the Ivrea Zone. Tectonophysics, v. 135, p. 47-66.
- Scholtz, C.M., Barazangi, M. & Sbar, M.L., 1971. Late Cenozoic evolution of the Great Basin, Western United States, as an ensialic interarc basin. Bull. Geol. Soc. Am., v. 82, p. 2979-2990.
- Schuchert, C. & C. Dunbar, 1941. Textbook of Geology, Part II – Historical Geology. New York, John Wiley & Sons, 544 p.
- Seber, D. et al., 1996. Three-dimensional upper mantle structure beneath the intraplate Atlas and interpolate Rif mountains of Morocco. J. Geophys. Res., v. 101, No. B2, p. 3125-3138.
- Singer, J. et al., 2014. Alpine lithosphere slab rollback causing lower crustal seismicity in northern foreland. Earth Planet. Sci. Lett., v. 197, p. 42-56.
- Smith, R.B., 1978. Seismicity, crustal structure, and intraplate tectonics of the interior of the Western Cordillera. Mem. Geol. Soc. Am., v. 152, p. 111-141.
- Snyder, D.B. & Flack, C.A., 1990. A Caledonian age for reflectors within the mantle lithosphere north and west of Scotland. Tectonics, v. 9, p. 903-922.
- Sonnenfeld, P., (1981), ed. The Tethys. The Ancestral Mediterranean. Stroudsburg (Pa), Hutchinson Ross Publ. Comp., 331 p.

- Spakman, W. & Wortel, R., 2004. A tomographic view on the western Mediterranean geodynamics. In: The Mediterranean Region from Crust to Mantle. New York, Springer, p. 31-52.
- Storetvedt, K.M., 1987. Major late Caledonian and Hercynian shear movements on the Great Glen Fault. Tectonophysics, v. 143, p. 253-267.
- Storetvedt, K.M., 1990. The Tethys Sea and the Alpine-Himalayan orogenic belt; mega-elements in a new global tectonic system. Phys. Earth Planet. Inter., v. 62, p. 141-184.
- Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet. Bergen, Alma Mater (Fagbokforlaget), 456 p. Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics. Bergen, Fagbokforlaget, 397 p.
- Storetvedt, K.M., 2011. Aspects of planetary formation and the Precambrian Earth. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 59, p. 60-83.
- Storetvedt, K.M. & Otterå, L.E., 1988. Palaeozoic reconfiguration of N. Scotland based on palaeomagnetic results from Orkney dykes. Phys. Earth Planet. Inter., v. 52, p. 243-255.
- Storetvedt, K.M. & Longhinos, B., 2012. The Atlantic and its bordering continents – A wrench tectonic analysis: lithospheric deformation, basin histories and major hydrocarbon provinces. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 64, p. 30-68.
- Süss, E., 1875. Die Entstehung der Alpen. Vienna, W. Braumüller, 168p.
- Süss, E., 1893. Are great ocean depths permanent? Natural Sci., v. 1, 180-187.
- Termier, H. & Termier, G., 1952. Histoire géologique de la Biosphère. Paris, Masson, 721 p.
- Tester, J. et al., 1993. Supercritical Water Oxidation Technology. In: Emerging Technologies in Hazardous Waste Management III, Washington DC, Am. Chem. Soc., p. 35-76.
- Trümpy, R., 1960. Paleotectonic evolution of the central and western Alps. Geol. Soc. Am. Bull., v. 71, p. 843-907.
- Vigny, C. et al., 2002. GPS network monitors the Western Alps over a five year period: 1993-1998. J. Geodesy, v. 76, p. 63-76.
- Waldhauser, F. et al., 1998. Three-dimensional interface modelling with two-dimensional seismic data: The Alpine crust-mantle boundary. Geophys. J. Int., v. 135, p. 264-278.
- Walther, J.V., 1994. Fluid-rock reactions during metamorphism at mid-crustal conditions. Jour. Geol., v. 102, p. 559-570.
- Weingärtner, H. & Franck, E. 2005. Supercritical water as a solvent. Angew. Chem. Int. Ed. Engl., v. 44, p. 2672-2692.
- Werniche, B. and 18 co-authors. Origin of High

Mountains in the Continents: The Southern Sierra Nevada. Science, v. 271, p. 190-193.

- Wezel, F.-C., 1985. Structural Features and Basin Tectonics of the Tyrrhenian Sea. In: Geological Evolution of the Mediterranean Basin. New York, Springer, p. 153-194.
- Ye, S. et al., 1995. Crustal structure beneath the eastern Swiss Alps derived from seismic refraction data.

Tectonophysics, v. 242, p. 199-221.

- Zanolla, C. et al., 2006. New gravity maps of the Eastern Alps and significance for the crustal structures. Tectonophysics, v. 414, p. 127-143.
- Zhang, C. & Duan, Z.H., 2009. A model for C-O-H fluid in the Earth's mantle. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 73, p. 2089-2102.

新しい惑星学的現象の発見:惑星とそれらの衛星の造構的連結 ON DISCOVERY OF A NEW PLANETOLOGICAL PHENOMENON: TECTONIC COUPLING OF PLANETS AND THEIR SATELLITES

Gennady G. KOCHEMASOV

kochem.36@mail.ru

(矢野 孝雄 [訳])

要旨:これまでに考察された固体惑星とそれらの衛星(地球 - 月,火星 - フォボス,冥王星 - シャロンの 平行的造構作用に,私は巨大ガス惑星 - 土星にみられる印象的な六角形構造を追加する.土星のガス球殻 にみられるこれらの形状構造の相対的大きさと衛星の氷球殻とが比較される.そして,惑星とその衛星の 間に観測される相似的波動の起源が示唆される.

キーワード:地球-月,火星-フォボス,冥王星-シャロン (Sharon:発音はカロンとも),土星-衛星,波動天文学

まえがき

比較惑星学 (Kochamasov, 1998, 2012, 2014) によ ると、「軌道が構造を形成する」とされる.そして、 同一の周太陽軌道上にある天体はそれらのサイズに 応じた、あるいは類似の造構構造をもつだろう、と いう.太陽系にはこのような固体惑星 - 衛星の組み 合わせが存在するので、以上の論述を検証すること ができる. それは、地球-月および火星-フォボス の組み合わせについては確証済みであり、最近研究 された冥王星 - シャロン (Sharon) の組み合わせに も予測される.新しい宇宙探査衛星 New Horizons (NASA) は 2015 年 7 月 14 日に冥王星系に接近・通 過し, 冥王星の造構的二分性(明-暗領域の対立) と明色半球の区画構造を示すかなり明確なデータを もたらした.この天体の凹凸地形は総じて確実性が 高い.以上の固体天体の3つの組み合わせに加えて, 巨大ガス惑星の土星とその小さな氷衛星 [複数]の間 に著しい構造的相似性があることが、それらの表面 にとくにめだった幾何学形状として観察される. 土 星にみられる著名な"六角形"は、小さな氷衛星[複数] の表面にも安定して出現する. さまざまなサイズと 組成の天体にみられる造構的類似性をもたらす原因 として、もっとも信頼できるのは波動である.

素材と方法

地球と月、火星とフォボスの地形図とともに、土星 とその衛星の多数の画像(NASA-ESAのCassini計 画)、および冥王星への接近画像と近接画像(NASA のNew Horizons計画)が、構造計測と構造比較に 用いられた.この論文に使用された多くの冥王星系 の画像はNASA/JHUAPL/SwRIから借用された.

結果と考察

よく研究された天体のいくつかの事例は、それらに 特有な造構特性を示す.大きな固体惑星である地球 と火星、ならびに、小さな氷準惑星である冥王星は (巨大なガス惑星である土星と同様に)ある造構-地形特性を示し、それらに随伴する小さな衛星上に 再現される.より小さなサイズの後者は、全体的組 成が異なっていて、内部エネルギーもはるかに小さ い.それは、これらの惑星の組み合わせには何らか の外力が働いていることを意味する.私たちの知識 によると、それらは天体に働く慣性-重力力であり、 加速度が周期的に変化する非円形ケプラー軌道上を 運動することによって生じる.それらは、定常的調 和波長をもつ通過波動および干渉波動によって天体 をひずませる.基本波(波長=2 π R)がプラトン 第1多角体(四面体)を形成する.第1倍音波(2 long π R)は八面体をつくる.3方向の構造的交差 線構造は、四面体小面の方向を示す.それらは交差 し、しばしば六角形の外形をかたちづくる(図1~ 図 6). 図 7 と図 8 は小惑星 Ceres の一部で,多角 体の小面をもち,"六角形"の交差した小波動を示す. 典型的小面をもつ四面体結晶が図 9 に示される. 2 つの惑星 - 衛星ペア(地球 - 月,火星 - フォボス) の比較惑星テクトニクスは,図 10 ~ 図 13 に示され る(Kochemasov, 2015).図 14・図 15 は第 3 の惑星 -衛星ペアを示し,それらには平行テクトニクスが予 想される. New Horizons 探査衛星は 2015 年 7 月 14



図1:土星, PIA18280, R=60000 km. 図2: Mimas, PIA09811, R=197 km. 図3: Tethys, PIA10438, R=524km. 図4: Dione PIA08938, R=559 km. 図5: Rhea, PIA08909, R=765 km. 図6: Iapetus, PIA08273, R=718 km.



図 7 Ceres. PIA19542_hires_modified の一部. 細かい波紋の交差と"六角形" の形成.



図8 5100 kmからみた Ceres. 2015年5 月23日. 緯経度:13-51°N, 182-228°E. pia19065-1041. NASA/JPL-Caltech/UCLA/ MPS/DLR/IDA から貸借.



図9 四面体結晶



10 2 1 05 0 05 1 2 10





Phobos Dynamic Topography Model









図 14 2015 年 6 月 6 日に New Horizons が 4600 万 km の距離から撮影した冥王星 とシャロン.

図15 図14から拡大した冥王星の画像. R=1184 km.

日に冥王星に最接近した.しかし,8000~4000万 kmの距離から撮影したいくつかの冥王星画像には, すでに予測された造構的二分性ならびに凹凸形状に かかわるヒントが認められる(図15).冥王星の明 半球には造構的領域が認められ,反対側に位置する 2つの明色領域は,2つの暗色領域によって隔てら れている(図15).

冥王星は現在,長い冬のために暗くなっているが, 2015年9月には冥王星の南半球の多数の画像がえられるだろう.というのは、シャロンのたいへん微弱な反射光が、冥王星の南極域の適切な画像をうるのに利用できるようになるからだ.この短い論文を準備している時に入手できたのは、赤道域と南半球の一部を含む北極域の(太陽光で)照らし出された画像だけである.シャロンの数枚の画像も得られている.それらはすでに、この惑星の2面性とそのシャロンへの反映(より明るい冥王星の北半球とより暗いシャロンの南半球)を示す(図16~図21). たいへん特徴的なことは、冥王星の区画構造(πR 構造)である.それは、LORRIカメラの黒白画像(図 17)に明瞭にみられ、低解像度カラー画像(図 19・ 図 21)ではより鮮明にとらえられている.あまり 顕著ではないものの、シャロンの構造的区画もきち んと認識できる(図 21).交差線の中心部にみられ る区画線の交点に、微弱な六角形の形状がみられる (図 22).六角形形状は、冥王星表面のいくつかの 場所にも識別される(図 23).両天体の南半球には 大きな"環状"構造が見いだされる(図 18).

冥王星にみられる径約 20km(平均 16.3km)の大き な粒子構造は、赤道上と他の領域にある区画構造 の中心部を占める多角形域と呼ばれる最も明るい Sputonik 領域に発達する(図 24・図 25).氷(CO, N_2)でできたこの多角形領域には、1 km以下の短 線と格子に囲まれたもっとも細粒な粒子がふりかけ られている.計算結果によると、これら両サイズが 造構的粒子構造の波動特性に由来している.より大 きな粒子(16.3km)は軌道周期に依存した粒子サ



16

図 16 2015 年7月14日の最接近の1ヶ 月前にみられた冥王星(左)とシャロン(右) の二分性. New Horizons 計画. LORRI 画像.



図17 冥王星とシャロン. New Horizons (NH)計画. 20150720_pluto_family_portait _20140714_f840.



図 18 冥王 星 と シ ャ ロ ン . NH 計 画. 150712-pluto- シャロン . 両天体の造構的二 分性. 両天体の南東部に 2 つの大きな丸い斑 紋.

図 19 偽色表示された冥王星とシャロン. NH project_84276173_untitled or 150713-false color. 造構的二分性がより顕著である.

イズの直線上にのる(冥王星の半径は1185 km, 軌 道周期は6.39日)(Kochemasov, 1998). この直線 は, $\pi R/16$ の粒子構造をもつ水星, $\pi R/6$ の金星, $\pi R/4$ の地球, $\pi R/2$ の火星, $\pi R/1$ の小惑星から なる. さらに, $\pi R/228$ の冥王星がこの直線上にの る. 冥王星は2つの軌道周期(1/248 年 = 1/90465 日と1/6.39日)をもっている.この直線に、私たちは第2の合理的周期を適用する.というのは、最小値はあまりにも大きくて観察できない粒子構造を示すからである.しかし、1/6.39日の軌道周期(自転周期でもある)で調整すると、粒子サイズ 0.263kmに対応する 1/14157 という周期が得られる.こ



図 20 冥王星の2面. 凸状の北半球. PIA19706.

図 21 冥 王 星 の 区 画 構 造 (1340903185541595237),21aおよびシャロン, 21b (nh-Charon 1/150714-Charon). 地球と 同様,火星の波動起源の区画構造は差動的に 隆起した対角区画と差動的に沈降した対角区 画 (4方向の定常波の干渉の結果)を示す.



図 22(左) シャロン.図 21の区画構造を形成する交差線構造の中心部にみられる微弱な 六角形地形 (lor_0299175604_0x632_sci-3).

図 23 冥王星. 六角形粒状組織を形成する 構造的線構造 (Pluto-farside-best-7-11-2015-300x300).



図 24 冥 王 星. Sputnik Planum. 150718174248-pluto-heart-0718exlarge-169 (04-moore-02c). 粒状サイズの 分岐:大きな多角形ブロック(流動氷によっ て歪んでいる)と,それらの上と間にみられ るより小さな"ちり"(孔のあいた表面).

図 25 冥王星. 惑星の明暗両側面の境界線 を New Horizons が横切る前の最終画像の 1つ.明暗区画で構成される典型的な区画 構造.明区画-Tombaugh Regio,右の最暗 区画-Cthulhu Regio ("クジラの頭 Whale head")の東縁,対角にある暗区画-Krun Macula.明度差が最大の明暗区画(明色背 景の上にある暗色斑紋)の間に山脈がある. Lor_0299148167/0x632_sci_3.

図 26 冥王星. 図 25 の部分拡大で,明瞭な 交差線構造をもつ"クジラの頭"暗部. およ そ数 km の径をもつ密に接する造構性粒子の 格子構造を形成している.







図 27 火星.造構性区画構造を示す.

図 28 冥王星の大気. 2015年7月16日. Lor_0299323899_0x630_sci_2.

れらのもっとも細粒な粒子は冥王星表面にばらまか れていて、多くの場所で観察される(図 24).

冥王星の希薄な窒素大気(その起源と存在の永続 性は科学者を当惑させている: Singer and Stern, 2015) は、波動(間欠的な上昇"ups"と下降" downs")によって分割された小氷塊の摩擦によって ガスが放出されている可能性がもっとも大きい. そ のような振動" shaking"は、"Sputnik"領域-New Horizons 計画の重要な発見の1つ-で発見された窒 素氷を移動させるかもしれない. もう1つの驚きは, 水氷でできた高度 3.5km に達する山脈である. それ らは"黒"および"白"区画の境界に連なっていて," 白"区画の側に位置している(図 25・図 26). それ は地球上のインド半島 Ghates 山脈に類似し、この 山脈も海洋区画から大陸区画への遷移帯に位置す る. 完全凍結した小さな氷天体上に形成されたこの 山脈の高度は驚きに値する.なぜなら、それが、無 視できるほど小さい内部エネルギーではなく、外部 の軌道エネルギーに由来するからである.冷たく凍 結した氷惑星である冥王星の大起伏地形と造構運動 の起源は、大きな加速度変化と軌道慣性力をもたら している著しい楕円軌道に求められる.この意味で, 冥王星は火星-より大きく,おもに岩石でできてい るが-に類似していて、火星でも造構運動がかなり 強く,軌道の楕円性が大きい(図27).

New Horizons が最接近通過後に冥王星の暗半球(南 半球)側から撮影した最新の公開画像(図28)に よると、希薄ながらも、鉛直方向へ拡散した窒素 大気がみられる.大気殻は均一ではなく、厚度と 輝度の点で二分性を示すようである.これは、New Horizonsの接近通過以前に予測されていた冥王星 の2面的造構作用の兆候とみられる(Kochemasov, 2015a;2015年3月にコロラド州 Boulderで開催さ れた New Horizons 主導計画 SWRI).

結 論

固体およびガス惑星とそれらの衛星(地球 - 月,火 星 - フォボス, 冥王星 - シャロン, 土星 - 氷衛星) の表面の重要な造構 - 地形特性を特徴づける平行性 の観察は,外部原因がこれらの現象の構造形成力 [複数]をもたらしていることを示す.それらは, ケプラー軌道上での惑星運動に軌道力であろう.この観察は惑星-地質テクトニクスのいくつかの仮 説-プレートテクトニクス,初期地球における巨大 衝突,など-に疑問をなげかける.

文 献

- Kochemasov, G.G., 1998. Tectonic dichotomy, sectoring and granulation of Earth and other celestial bodies. Proceedings of the International Symposium on New Concepts in Global Tectonics, "NCGT-98 TSUKUBA", Geological Survey of Japan, Tsukuba, Nov 20-23, 1998, p. 144-147.
- Kochemasov, G.G., 2012. Outstanding large depressions and geoid minima on some celestial bodies as regular wave woven features (Earth, Moon, Mars, Phobos, Phoebe, Miranda, Lutetia): cosmic sense of the Indian geoid minimum tectonic phenomenon. NCGT Newsletter, no. 63, p. 76-79.
- Kochemasov, G.G., 2014. Earth and Moon: similar structures – common origin. NCGT Journal, v. 2, no. 2, p. 28-38.
- Kochemasov, G.G., 2015a. A lunar "mould" of the Earth's tectonics: four terrestrial oceans and four lunar basins are derivative of one wave tectonic process. NCGT Journal, v. 3, no. 1, p. 29-33.
- Kochemasov, G.G., 2015b Ceres' two-face nature: expressive success of the wave planetology. NCGT Journal, v. 3, no. 1, p. 63-64.
- Kochemasov, G.G., 2015c. Structural bifurcation of debris and grids on surfaces of the Churyumov-Gerasimenko comet and dwarf planet Ceres. 78th annual Meeting of the Meteoritical Society, USA, Berkeley, July 27-31, 2015, # 5050pdf.
- Oberst, J., Shi, X., Elgner, S. and Willner, K., 2014. Dynamic shape and down-slope directions on Phobos. The fifth Moscow Solar system symposium. Space Research Institute (IKI) RAS, 13-18 October 2014, Abstract 5MS3-MS-11.
- Singer K.N. and Stern S.A., 2015. On the provenance of Pluto's nitrogen (N2). The Astrophysical Journal Letters, v. 808, no. 2. doi: 10.1088/2041-8205/808/2/ L50.

南北アメリカ超大背斜 NORTH-SOUTH AMERICAN SUPER ANTICLINE

Dong R. CHOI¹ and Yoshihiro KUBOTA²

¹ Raax Australia Pty Ltd., raax@ozemail.com.au;

- International Earthquake and Volcano Prediction Center, dchoi@ievpc.org
- ² Dept. of Environmental Sci., Fac. Sci., Niigata University, Japan. kubota@env.sc.niigata-u.ac.jp

(久保田 喜裕 [訳])

要旨:南北アメリカの超大背斜 (NSASA : North-South American Super Anticline) は、地表に発達した始生代 起源の地背斜構造である. それは対蹠的な地背斜-南太平洋-シベリア超大背斜 (SPSSA: South Pacific-Siberian Super Anticline) に並走するように形成された. 前者 (NSASA) は、南大西洋に端を発し、南米 (ブラジル・ギ ヤナ楯状地)、カリブ海、メキシコ湾、ミシシッピ河谷中・下流を通り、グレートレイク、ハドソン湾、カナダ楯 状地に達する. 最後に北極海に入り、シベリアで SPSSA に連続する.

NSASA には、それぞれ固有の造構 - 火成活動史や特性を備えた3つのセグメント ―南部 (南米)、中部 (カリブ 海-メキシコ湾)および北部 (北米;ミシシッピーバレー-カナダ楯状地) ― が認められる:1)南部セグメント は顕生代変動をやや受けた先カンブリア楯状地で特徴づけられる、2)中部セグメントは中生代以降、最も活発な 造構-火成活動を伴っている (海洋化作用および沈降)、3)北部セグメントは、良く発達したリフトが南方 (先 カンブリア紀末)にあり、北方には古生代前期の崩壊沈降作用 (foundering) で形成された堆積盆地がある.

強く破砕された(その結果,透水性のある)NSASA の軸部は,深部エネルギーを移送する大規模チャネルである. カリブ海下の外核由来のエネルギーは,深部断裂帯を通り,マントル浅部へ上昇し,全体的な構造的高まり(カ ナダ楯状地)が位置している北方と上層へ移送する.Reelfootリフト,ニューマドリッド地震帯(NMSZ),その北 部に拡がる鉱床地帯,Wabash地震帯は,サージテクトニクスでよく説明できる統合された造構単位を形成している.

キーワード:南北アメリカ超大背斜,構造的カルミネーション,崩壊沈降作用 (foundering),ニューマドリッド地 震帯,構造的高まり,エネルギー移送

1. はじめに

本稿の年長著者の最近の論文(Choi, 2013b)では, 2つの基本的な地球表層の地背斜-全球規模の先カ ンブリア紀の地背斜を提案した.1) 南太平洋-シ ベリア地背斜 (南太平洋-東南アジア-中国-シベリ ア),2) 南北アメリカ地背斜 (南米-カリブ海-ミシシッピーバレー - グレートレイク - カナダ楯状 地-北極海), 図1・図2参照. 後者はさらに南大 西洋のリオグランデ海膨の南方にまで延びているこ とが確認された. それらは地球史の初期―始生代に 形成され、原生代と顕生代をとおして活動を繰り返 した.マントルや地殻の中軸地帯は破砕されている という特性のため、そこはエネルギーが移送や放出 されるチャネル (サージチャネル, Meyerhoff ほ か, 1996);海洋化作用や鉱化作用を伴う造構-火 成活動の場 (Choi, 2014b) になっている. 造構論的 概念は、局所的な大規模鉱床の分布や、地球表層で 起こっているテクトニクスや地質現象を理解するう えで,最も重要である.近年,年長著者は北米地質 と地震活動、とくに太陽周期に関連した北米中央部 で起きた 1811-12 年のニューマドリッド地震を取り

入れた研究をする機会に恵まれた. その地域はまさ にNSASAの軸部上に位置している. 彼は, その地域 の地質イベントと発達史は, 他のさまざまなスケー ルの地背斜構造にも適用できることを見出した.本 論は南北アメリカの長大地背斜と軸部に沿うカルミ ネーション(極隆)に焦点を当てる.

次稿で,著者らはNSASAと他の類似の構造 (p.368 New Concepts in Global Tectonics Journal, V. 3, No. 3, September 2015. www.ncgt.org the globe) で観察され た造構形態と発達史を最もよく説明するモデルを提 案する.

2. NSASA の一般的形態

図2はNSASAの全景を描いたものである.3つの顕 著な地質区が認められる;南米,カリブ海,そして 北米.

南大西洋-南米セグメント:

それは南部ではブラジル沖のリオグランデ海膨に始



図1 世界における先カンブリア紀の2つの地背斜方向 (Korhonen et al., 2007による世界地磁気マップに重ね合わせた, Choi, 2013b を若干改変).



図 2 Sloss (2000) による地球表層の起伏および NSASA(赤線). リオグランデ海膨から大西洋中央海嶺の東へ,南東方向に延びそ うなことに注意.

まる.リオグランデ海膨の先カンブリア紀花崗岩の 存在は、ドレッジや海中の観察によって、確認され ている(Choi, 2013a).興味深いことに、それは広 域的な地形的高まりをつくっている大西洋中央海嶺 を横断して,南東方向へ続いていることがわかる(図 2). この海域の地質の詳細な研究は,現在続行中で ある.

南米においては、NSASA はブラジル・ギアナ楯状地 にたどることができる.始生代の岩石は東西方向の 背斜との会合部に分布しているが(図3),そこで は構造的なカルミネーション(極隆)が形成されて いる.著者は、太平洋のペルー海盆へ連続する東西 方向のアマゾン向斜を報告した(Choi, 1998).南 米から周辺の海洋まで、先カンブリア紀の構造方向 が連続することは、その領域において、プレートテ クトニクスが適応できないことを意味している.

中央セグメント(カリブ海およびメキシコ湾)

NSASA の中央セグメントは,海洋化されたカリブ海 ドームに代表される(図2). そこは中生代以降, 造構的にも火成作用的にも最も活動的であり,現在 のカリブ海とメキシコ湾を形成する広域的沈降が 起こった.注目すべきことに,背斜状ブロックは 線状凹地を伴う海域へ連続するハイチ島で観察さ れるが,そこではマントル起源の超塩基性岩がド レッジされた (Malcolm, 1981; Ten Brink et al., 2002).海洋化作用はその構造的高まりで最も強く 生じたことを示している (Choi, 2010; 図4).

地震波トモグラフィー画像は,カリブ海が地下浅部 の低速度層による大規模なドーム構造であること



図3 南北アメリカ長大背斜の南部 セグメント. Choi (2002)により構 造マップ上に重ねられた. NSASAは リオグランデ海膨のある海洋底へ 連続している. ドレッジ調査と海 底観測により,海膨には大陸性岩 石の存在が明らかになった (Choi, 2013a). 赤丸は構造的カルミネー ションを示す.



図 4 海洋化作用は構造的高まりで最も顕著に生じている (Choi, 2010). 2つの構造時高まりの方向が,ハイチで海洋底の 地形的線状凹地(Caymanトラフ, E-W およびハイチ盆地, SW-NE) に連続することが認められたことに注意. 白色矢印は,2010年1 月のハイチ地震(赤星印)のエネルギーが深部の前震から本震の 方向へ流れたことを示す.赤三角印一火山.

を示している (Choi, 2010, 2014c). Widiyantoro (1997), van der Hilst (2000) および Fukao et al. (2001) に図示されているように,そこでは巨大 で線状の東方に傾斜した高角の高速度マントルがマ ントルを通り抜け,コア・マントル境界に達して いる.著者は現在,高速マントルは上昇する外核 のエネルギーを地表へ導く媒介路 (a conduit) と しての断裂帯を意味していると考えている (Choi, 2014c). この独特の造構的背景から,カリブ海 / メ キシコ湾の地殻でマントル湧昇と海洋化が最も強く 生じてきたことが認められる (図4). この変動は 今日にも活発に引き継がれている.

北米セグメント

地背斜構造はロシアの先カンブリア系構造図に描かれている(Drenov et al., 1979;図5).一連の地形的凹地は,北米大陸を貫いて直線状に並んでいる;

ミシシッピーバレーとグレートレイクからハドソン 湾(カナダ楯状地)とBoothia 湾を通って北極海 まで.軸部の地域は,両側の始生代と原生代の岩石 からなっている.その南部(ミシシッピーバレー~ グレートレイク)はカンブリア-オルドビス系の堆 積岩類で埋積された良く発達したリフトで特徴づけ られるが(図5),盆地北部はオルドビス系とシル ル系で埋積されている.

顕著なNW-SE 方向の線構造が北部(カナダ楯状地) と南部地塊(グレートレイク)を境しているが、こ れは大規模な深部地塊境界断層の存在を示唆してい る.この断層は、NW-SE 方向に一連の火山が配列し ている海洋底にまで延びている.グレートレイク層 の特徴的な構造はその地塊断層と NSASA のためとい える.

数多くの米国地質調査所や大学の科学者による ミシシッピーバレーの地質学的研究はその地質 や地質構造を充分立証した(Zartman et al., 1967; Zartman, 1977; Hinze et al., 1980; Hamilton and Zoback, 1982; Braile et al., 1986; Johnston and Schweig, 1996; Roger and Karadeniz, 2010):彼らは, Reelfoot リフトや過剰 流体圧を伴う中央基盤山脈,大規模なリフト構造の 存在を明らかにした(図5 挿入図; Blytheville-Pascola Arch Complex by Mckeown and Diehl, 1994). Reelfoot リフトはペルム紀の超塩基性岩を 伴っている.

Reelfoot リフトの北方延長には、鉱物に富んだ NW-SE 方向の基盤山脈があるが、その北部地域は 別の地震帯となっている(図6; Wabash Valley Seismic Zone, Roger and Kardinez, 2010). Reelfoot リフトの歴史と地質発達史は、NSASAの



図5 右:大陸の先カンブリア系地質図 (Drenov et al., 1979). 左:表層地質図 (Jatskevich, 2000).赤丸は現在の盆地を示すが, ほとんどが沈水した構造的高まりとなっている.右図の挿入断面は Rogers and Karadeniz (2010)による Reelfoot リフトの断面を示す. AR - 始生界, PR - 原生界, Cm - カンブリア系, O - オルドビス系, S - シルル系, D - デボン系, C - 石炭系, J- ジュラ系, K -白亜系, Pg - 古第三系.



図6 ニューマドリッド複 合リフトは点描されている. 太線はブーゲー異常等高線, 単位 mGal. Braile et al. (1986) ほかより引用. この 重力図は, 2つの直交する 基盤の高まりがニューマド リッドで会合していることを 示唆している. そこには鉱 化帯が発達している(著者 による赤丸). 地震はニュー マドリッド地域に集中してい るが,そこは Blytheville-Pascola 複合アーチ状カルミ ネーション部である.



北方セグメントの活発な火成作用 - 構造運動を表している.

北極海への連続

ハドソン湾と Boothia 湾を通過した後,NSASA は北 極海へ入る.図7は Jatskevich (2000)の地質図 で,NSASA が北極海まで連続していることを示して いる.NSASA の軸は Devon 島の西側を通り海洋へ入 る.そこには N-S 方向の古期岩類であるオルドビス 系とシルル系が分布している.この方向は,上位を 覆い,北極海の方向に調和的な E-W 構造方向をもつ デボン系によって乱されている.

ここでは、デボン系より下位の大規模な不整合に注 意すべきだ.そこにはさまざまな年代の地層(始生 -原生界、カンブリア - オルドビス系、カンブリア -シルル系、オルドビス系、オルドビス - シルル系、 シルル系)が直接覆っている.この後期シルル紀の 造構運動は、おそらく北極海の沈水の初期段階であ ろう.主要な北極のリフト形成は後期白亜紀~古第 三紀と地質図から判断される.

図7 北極海の地質図 (Jatskevich, 2000). NSASA は北極海へ延びて いる.構造的高まりが白亜紀と古第三紀の火山物質,および北極の西部 に発達した堆積物で占められていることに注意. この地域は NSASA と SPSSA (南太平洋 - シベリア長大背斜)の橋渡しの地域と考えられる. AR - 始生界; PR - 原生界; Cn - カンブリア系; O - オルドビス系; S - シルル系; D - デボン系; C - 石炭系; P - ペルム系; T - 三畳 系; J - ジュラ系; K - 白亜系; Pg - 古第三系; N - 新第三系. ハ ドソン湾と Boothia 湾が主にオルドビス - シルル - デボン系堆積岩類 で占められていることに注意. このことは盆地ないしはリフトが後期カ ンブリア紀に形成を開始したことを意味している.

4. 討論

カリブ海-ミシシッピーバレーサージチャネル

Reelfoot リフト, ニューマドリッド地震帯, 富鉱 地帯, そして Wabash 地震帯が統合された1つの体 系 (a unified system)をなしていることは, サージ テクトニクスによって説明される. その体系は, 大 規模背斜の軸部に発達しており, 南部 (カリブ海) からもたらされる外核を起源とし, 上部マントルお よび下部地殻で北方へ移送したエネルギーによって 形成されたものである. そこには全般的な構造的高 まりを示すカナダ楯状地が存在している. このこと はまさに Meyerhoff et al. (1996)によるサージ テクトニクスのシナリオ通りである.

Ervin and McGinnis (1975) のミシシッピー湾上部 (Reelfoot リフト) 直下の地殻速度断面には, レン ズ状の 7.4 km/s 層が示されている(図8 左図). Meyerhoff et al. (1996) はこの低速度レンズ層を リフト直下のサージチャネルと考えた. Johnston and Schweig (1996) はこの 7.4 km/s レンズ層を '異常下部地殻 – 高密度はんれい岩ないしは超塩基 性岩' と呼んだが,それはリフト内部と周辺に広 く分布している二畳紀の貫入岩に対応している.

Nunn and Aires (1988) によって, NSASA 直下にも 類似の7.5 km/s レンズ層が南米アマゾン堆積盆地 中部に示された(図8 右図). その異常なレンズ 層は, 古生代のサージチャネルの名残である苦鉄質 岩と考えられるが, このことはサージチャネルとク ラトン内部の堆積盆地との初生的関係を示している (Meyerhoff et al., 1996).

NSASA サージチャネルの初源的構成は,NSASA が完 全に形成された始生代にさかのぼると考えている. このサージチャネルは原生代後期に再び活発化した が,活動はより広域化し,Reelfoot リフトの形成 に呼応した.カナダ楯状地では,カンブリア紀に長 く続いた陸上イベントの後,今日のハドソン湾の骨 格を確立する激しいリフティングが,先オルドビス 紀に発生した.一方,楯状地北端では,厚いデボン 系堆積前に,シルル紀後期の沈降が開始した.この 変動は北極海の前駆的現象と考えられる.メキシ コ湾の創生作用は,Pratch (2008 and 2010)の言 う,ペンシルバニア期以来生じてきたと考えられる. 二畳紀には,Reelfootリフトに沿いの二畳系では, 激しいマグマ性サージが生じたが,それはリフトの 広い地域に苦鉄質 - 超塩基性岩脈を生産した.

残存運動は今日まで続いている; すなわち, ニュー マドリッド地震帯における地震活動のほか, カリブ 海とメキシコ湾の引き続く沈降運動である. 大きな 地震と大規模な太陽活動の低下期 / 小氷期 (Choi, and Maslov, 2010; Choi and Casey, 2015; Casey, 2014) との明白な関連は, 地球の核エネルギーによ るサージ流が銀河系規模の影響を受けていることを 示唆するものである. この事実は歴史的な氷期と造 構 / 火成作用を考える際に幅広い派生的影響をもつ.

加えて、年長著者は中米の太平洋沿岸に沿う地震エ ネルギー変動を明らかにした(Choi, 2014c):太陽 活動低下期の間、大きな地震(M6.5+)はカリブ海か ら北方へ伝播した一方で、活動期には南方へ伝播し た.今日、地震エネルギー流やその移送概念は充分 確立されている.

構造性カルミネーション

今日の研究では、長大背斜に沿う構造性カルミネーションの重要性が再認識された. 2つの直交する 断裂方向の会合部 (meeting point)では、物理的 に最も弱い部分になっている(図9 左図; DeKalb 1990, 2010). その地域では、マントルエネルギー





図8 地殻速度断面;左 図はミシシッピー湾上 部,右図はアマゾン堆積 盆地.7.4-7.5 km/s の レンズ状層の存在を示し ている.



図9 左:NSASA の概念モデ ル. Dekalb (1990, 2011) に よる地球の断裂系とエネル ギー流のパターンが示されて いる. 上部マントルに根を持 つこの断裂パターンは、始生 代以降のNSASAの造構史を 決定づけた. 2つないしは それ以上の深部断裂の交差部 (junction) は、 地殻上部へ上 昇する熱集積のため、カルミ ネーション構造を形成する. 右:Fujita (1972) および Kubota (2005) によるグラー ベンとコールドロンの形成モ デル.この図はグラーベン/ コールドロンないし堆積盆形 成の発展段階を示している.

が地表へ上昇する導管 (conduit) 一煙突のような として作用している. 捕捉され集積した熱は, 地殻 上部に上昇し, カルミネーション構造を形成する. こ の作用が繰り返し生ずる際, カルミネーション地域 はリフトや堆積盆地を創生し始める (Fujita, 1972; Kubota, 2015). すべての規模の NSASA において, さ まざまな段階のこの作用をみることができる.

それゆえ、火成 - 造構作用は一般的には、背斜軸の 直上や周辺に発達するすべての規模のカルミネー ション構造に集中する;金属鉱床、温泉、地震、火 山など.ニューマドリッド地震帯北部の富鉱帯(図 6)は、この造構史的背景のもとに形成された.モ ンゴルの超巨大 Cu-Au Oyu Tolgoi 鉱床は、南太平 洋 - シベリア地背斜およびアルタイ山脈方向の交差 部に形成された (Michaelsen, 2014). この長大地 背斜上にある他の大規模金属鉱床は Choi (2014b) に引用されている.

Kubota (2005) は、日本列島の九州におけるグラー ベンとコールドロンの地質構造の研究において、本 州孤と琉球弧の2つの島弧会合部の交差部 (cusp) に、多数の第四紀温泉型金鉱床;世界的規模を誇る 菱刈金鉱床(金品位 80-100g/t)で代表、が形成さ れていることを明らかにした.その鉱床は、南九州 の径 10-20km 幅のリフト/グラーベン構造内に発 達した大規模グラーベンの中央に位置している.そ れはまた、韓国 - 九州 - パラオ海嶺系の軸部に位置 している (Choi, 1993). このことから、構造性カ ルミネーションの概念は資源経済的にも計り知れな いものがある.

構造的カルミネーションのもうひとつの重要性は 地震との関わりである.多くの壊滅的な地震も構 造性カルミネーションで発生しているが、そのひ とつの例は2011年3月の東日本地震である(Choi, 2011).年長著者はこのような多くの事例を述べた. 前述のように、ニューマドリッド地震帯は、北西 – 南東のPascolaと北東 – 南東のBlytheville海嶺に よってつくられる構造性カルミネーションに位置している.著者は今後の論文で,NSASAに沿うグラーベンの形成機構の解析をより詳細に述べるつもりである.

5. 結 論

1. NSASA は、大西洋から南米、カリブ海、ミシシッ ピー河谷、グレートレイク、カナダ楯状地を通り、 北極海に達する. それはさらに、北極海を横切り南 太平洋 - シベリア長大背斜へ連続する.

2. 超大背斜は造構形態の特質に基づき,3つのセ グメントに分かれる.南部セグメントは先カンブリ ア紀後にやや安定した特性をもつ南米である.中央 セグメントは海洋化や沈降を伴う中生代以降に造構-火成活動が最も活発化したカリブ海で代表される. 3つ目のセグメントは原生代~古生代前期のリフト や堆積盆地の形成で特徴づけられる北米である.

3. 造構 - 火成エネルギーは外殻からカリブ海直下 の深部断裂を通じて上昇する. そのエネルギーは NSASA の断裂化した軸部に沿って形成された構造的 高まりに向けて上部マントルを北上する.

4.構造性カルミネーションは、地球の深部エネル ギーが捕捉され、大気へ放出される場所である.そ の場所と周辺地域はしばしば金属鉱床や大規模地震 帯の場になっている.

5. カリブ海-メキシコ湾, ニューマドリッド地震 帯, 鉱物資源帯, Wabash 地震帯は, サージテクト ニクスでうまく説明される, ひとつの造構システム を形成している.

6. NSASA とその対極をなす南太平洋 - シベリア長 大背斜の存在は、プレートテクトニクスが地球上の いかなる場所でも成り立たない明白な証拠である.

謝辞 建設的なご意見をいただいた角田史雄氏に感 謝する.研究地域の地質・地球物理図を集約してい ただいた Quentin Slade および その他 Australian National Library, Canberraのスタッフに併せて 感謝申し上げる.

文 献

- Braile, L.W., Hinze, W.J., Keller, G.R., Lidiak, E.G. and Sexton, J.L., 1986. Tectonic development of the New Madrid Rift complex, Mississippi Embayment, North America. Tectonophysics, v. 131, p. 1-21.
- Casey, J.L., 2014. Dark winter: How the Sun is causing a 30-year cold spell. Humanix Books, 164p. www. Amazon.com.
- Choi, D.R., 1993. On the Korea-Kyushu-Palau System. Hokuriku Geology Institute Report, no. 3, p. 123-132.
- Choi, D.R., 1998. Geology of the Southeast Pacific. Part I. Submarine ridges and basins tied to the South American Precambrian Shields. NCGT Newsletter, no. 7, p. 11-15. (www.ncgt.org)
- Choi, D.R., 2010. The January 2010 Haiti seismic disaster viewed from the perspective of the energy transmigration concept and block tectonics. NCGT Newsletter, no. 54, p. 36-44.
- Choi, D.R., 2011. Geological analysis of the Great East Japan Earthquake in March 2011. NCGT Newsletter, no. 59, p. 55-68.
- Choi, D.R., 2013a. Continental rocks from the Rio Grande Ridge. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 2.
- Choi, D.R., 2013b. An Archean geanticline stretching from the South Pacific to Siberia. NCGT Journal, v. 1, no. 3, p. 45-55.
- Choi, D.R., 2013c. 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., 2014a. 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., 2014b. An Archean geanticline extending from the South Pacific to Siberia. Acta Geologica Sinica (English Edition), v. 88 (sup. 2), p. 1602-1603.
- Choi, D.R., 2014c. Seismo-volcanic energy propagation trends in the Central America and their relationship to solar cycles. NCGT Journal, v. 2, no. 3, p. 19-28.
- Choi, D.R. and Casey, J.L., 2015. New Madrid Seismic Zone, central USA: The great 1811-12 earthquakes, their relations to solar cycles, and tectonic settings. Global Climate Status Report, 1- 2015. Space and Science Research Corporation. www.spaceandscience. net. Orlando, Florida, USA.
- Choi, D.R. and Maslov, L., 2010. Earthquakes and solar activity cycles. NCGT Newsletter, no. 54, p. 36-44.
- Choi, D.R. and Pavlenkova, N., 2009. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 5. Global low gravity-belt: an outer ring of the Great Pacific Ring Structure. NCGT Newsletter, no. 50, p. 46-54.
- Choi, D.R. and Tsunoda, F., 2011. Volcanic and seismic

activities during the solar hibernation periods. NCGT Newsletter, no.61, p. 78-87.

- Cordell, L., 1977. Regional positive gravity anomaly over the Mississippi embayment. Geophys. Res Lett., v. 4, p. 285-287.
- Dekalb, H.F., 1990. The twisted Earth. Lytel Eorthe Press, Hilo, Hawaii. 158p. Dekalb, H.F., 2011. Twisted shear. NCGT Newsletter, no. 60, p. 73-79.
- Drenov, N.V., Elyanov, A.A., Eremin, V.K., Kudryavtsev, G.A., Moralev, V.M., Ponikarov, v.P. Stavtsev, A.L. and Yarmoluk, V.A. (eds.), 1979. Geological map of continental Precambrian. Scale 1:15,000,000. Ministry of Geology, USSR.
- 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.
- Fujita, Y., 1972. The law of generation and development of the Green tuff orogenesis. Pacific Geology, no. 5, p. 89-115. Fukao, Y., Wadiyantoro, S. and Obayashi, 2001. Stagnant slabs in the upper and lower mantle transition region. Review of Geophys., v. 39, p. 291-323.
- Hamilton, R.M. and Zoback, M.D., 1982. Tectonic features of the New Madrid Seismic Zone from seismic-reflection profiles. Investigations of the New Madrid, Missouri, Earthquake region. Geological Survey Professional Paper 1236-F, p. 55-82.
- Hinze, W.J. Braile, L.W., Keller, G.R. and Lidiak, E.g., 1980. Model for midcontinent tectonism. In, Burchifiel, B.C., Oliver, J.E. and Silver, L.T. (eds.), Continental tectonics. National Academy of Sciences, Washington, D.C, p. 73-83.
- 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. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., v. 24, p. 339-384.
- Karason, H. and van der Hilst, R.D., 2001. Improving global tomography models of P-wave speed I: incorporation of differential travel times for refracted and diffracted core phases (PKP, Pdiff). Jour. Geophys. Res., v. 106, p. 6569-6587.
- 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.

- Kubota, Y., 2005. Relationship between grabens, cauldrons, and fault systems in Kyushu, Japan. – Formation of a graben and fault systems through clustered cauldrons-. Boll. Soc. Geol. Italy., vol. spec., no. 5, p. 159-168.
- Langenheim, V.E., 1995. Gravity of New Madrid Seismic Zone – a preliminary study. US. Geological Survey Professional Paper 1538-L, p. L1-18.
- Malcolm, F., 1981. Microstructures of the Cayman Trough gabbros. The Jour. of Geology, v. 89, p. 675-688.
- McKeown, F.A. and Diehl, S.F., 1994. Evidence of contemporary and ancient excess fluid pressure in the New Madrid Seismic Zone of the Reelfoot Rift, Central United States. U.S. Geological Survey Professional Paper 1538-N, N1-N24.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-Kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C., Choi, D.R. and Meyerhoff- Hull, D. (ed.), 1996. Surge tectonics: a new hypothesis of global geodynamics. Kluwer Academic Publishers, 323p.
- Michaelsen, P., 2014. Letter to the Editor. NCGT Jour., v. 2, no. 1, p. 9.
- Nunn, J.A. and Aires, J.R., 1988. Gravity anomalies and flexure of the lithosphere at the Middle Amazon basin, Brazil. Jour. Geophy. Res., v. 93, no. B1, p. 415-428.
- 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.
- Sloss, P., 2000. Surface of the Earth. World Data Center for Marine Geology and Geophysics, Boulder. Report MGG-5R. US Dept. of Commerce. Scale 1:40,000,000 at equator.
- Ten Brink, U.S., Coleman, D.F. and Dillon, W.P., 2002. The nature of the crust under Cayman Trough from Gravity. Marine and Petroleum Geology, v. 19, p. 971-987.
- Tsunoda, F., Choi, D.R. and Kawabe, T., 2013. Thermal energy transmigration and fluctuation. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 65-80.
- Widiyantoro, S., 1997. Studies of seismic tomography on regional and global scale. Ph.D. thesis, Australian National University, Canberra, Australia.
- Zartman, R.E., 1997. Geochronology of some alkali rock provinces in eastern and central United States. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 5, p. 257-286.

大規模地震時に震央から離れた場所で発生するレイリー波被害から 支柱建物を守る―インドの事例 PROTECTING STILT BUILDINGS FROM DAMAGE DUE TO RAYLEIGH WAVES DURING LARGE MAGNITUDE EARTHQUAKES LOCATED AT DISTANCE FROM EPICENTER- CASE FROM INDIA

Arun BAPAT

Consulting Seismologist, India arunbapateq@gmail.com

(矢野 孝雄 [訳])

要旨:M=7.5 あるいはそれ以上の大規模地震によって、2つのタイプの破壊が起きる.1つは、震央中心部周辺に かぎられて発生する剪断波(S波)によるものである.もう1つは100~150km以上離れたところで起きる遠隔被 害である.この被害は、14秒以上の長い周期をもつレイリー波によるものである.これらの波は、17m あるいはそ れ以上の高さをもつ構造物に被害をもたらす.

キーワード:レイリー波被害,高度17m以上の高い建物,震央距離150km以上の建物

まえがき

インドにおける都市域の拡張は、最近30年間あまり にわたる現象として続いてきた.都市人口の急速な 増大は、住宅需要を増加させている.このような基 盤構造は急速に変化した.住宅と自動車の数が幾何 学的急増するいっぽうで、道路面積はほとんど変わ らない、あるいはまったく変わらないために、自動 車の駐車場面積が喫緊の課題になっている.これを 部分的にでも解決するために、ほとんどの自治体は 土地を駐車場に利用できるように調整している.そ のために、多数の高い建物が支柱構造を有している.

いずれの地震の場合も, 震央域での破壊の大半は剪 断波 (S波) によるものであり, MM スケールでもっ とも強い震度(Imax)域に発生する.最大被害は、 地震規模によって直径 30 ~ 70km の楕円形(ときに 円形)領域に生じる.しかし,大きな規模(M≥7.0) 地震の場合には、もう1つのタイプの被害が現れる. それは、レイリー波(表面波ともよばれる)による ものである. このような被害は, 震源から 100km 以 上の距離に発生する. 震源から遠隔地でのレイリー 波による被害は、高い(h>17m)の構造物に限られ る. 同様の場所にあっても2階・3階建ての建物は, 通常、被害を被ることはないか、被ってもわずかで ある.この場合には、被害をまったくひきおこさな いある振動を受けている. ヒマラヤ北西部は,大 規模地震が起こりやすい (Bapat, 2007; Billham, 2001; Aizwal and Sinhala, 2007). そのような地 震に由来する波動は、不運にも、DelhiやDelhi首 都圏 (NCR: National Capital Region) 近傍の高い 建物に影響をもたらす. このような起こりうる分 遣的地震被害を克服するために,多数の科学的方 法がとられてきた. 主要な方法の1つは, Dehliの

マイクロゾーニングである (Singh et al., 2002). もう1つの被害を受けやすい都市圏は Guwahati 市 (Assam 州) である. Dehli と Guwahati は, インド の地震コードでいう地震帯 IV に位置する. 両市に は, 高い支柱建物が多数存在する.

支柱建物の被害

そのような被害が初めて観察されたのは、1985年9 月19日のM8.0地震時のMexico市であった. 震央 から約530kmの距離に位置していたMexico市では、 高い建物だけが被害を被った.インドでは、2001 年1月26日のBhuj地震(M=7.9)で、高い建物に 被害がみられた.Ahmedabad市は、Bhuj地震の震央 から約320kmにある.Ahmedabadの高い建物が、大 きな被害をうけた.そこでは、ある新発見があった. それは、2、3階建て支柱建物への被害である.図 1は高い建物の被害を示す.ところが、図2(a)(b) および(c)は、Ahmedabadにおける支柱建物の地階 部分の被害を示している.図2(a)(b)および(c) の建物は、すべて2階あるいは3階建てである.

2005 年 10 月 08 日のパキスタンでの M8 地震は, 震 央から約 150km にある Islamabad の Margala 町の高 いビルに深刻な被害をもたらした(図3).

Damage at Mexico City



図 1 メキシコの高層建物の被害(左)と Ahmedabad の高層建物 の被害(右).







図2 支柱建物の 被害: 左(a) は3 階建て,中央(b) は2階建て,そし て,右(c) は駐車 区画の被害.



Margala Tower on right before collapse



Margala Tower in Islamabad collapses after the 7.9 magnitude earthquake.

図3 パキスタン のMargala町.左: 地震前,右:地震 後.

Delhiの Qutab Minar における歴史的事例

1803 年 9 月 01 日のヒマラヤ北西部における地震に よって,高さ 72m の Qutab Minar の頂部の 2 階分が 被災した.これは、レイリー波によるものである. 内部階段の大理石製飾板がはがれ落ちた.この被害 は、すぐに修理された.図4参照.

支柱建物はなぜ崩壊するのか?

いずれのビルも地震力によって振動しはじめると, 応力は最上階にはじまり,地面に達する(図6). 最上階から地階にいたる建物の断面積はほとんど同 じである.応力が支持階に達したときに,全荷重が 支柱にかかる.各階の壁面積100とすると,支持階 の壁面積は3%あるいはそれ以下である.そのよう な著しい集中応力は支柱によって支持できず,支柱 が破壊される.支柱が降伏するか,破断するか,座 屈するかは,デザイン,入射波やその方向などに依 存する.

この状況が克服されると,被害の可能性が一定程度 減少したり,極小になる.応力波に均一な通路をも たすデザインの建物では,被害は起きない.これは, 図7に示される.

コンクリート壁あるいはレンガ壁の建設に用いられ るデザインは、図7の赤線で示される.この赤線は 提案される補強箇所である.それは RCC 建築に、あ

Historical Evidence of Damage



During 01 Sept, 1803 earthquake, two upper floors of Qutab were dislodged. This was repaired subsequently.

図 4 Dehli にある高さ 72.5m の回教寺院である Qutab Minar. 頂部の 2 階分が 1803 年の地震によって被災した. 被害は, その 後に修復された.







図6 地震振動の図解.上図:建物の1階,2階,3階,お よび多層階構造を示す.下図:これらの建物の振動を示す. 最後(右端)の図では,建物が2方向に振動する.



図7 レイリー波被害を防御するために提案されたデザイン. 赤線は,強化が必要な場所を示す.

るいは、単純なブロック壁に適用することができる. そのため、このデザインは車の運転や駐車の障害に はならない. ビルの構造とデザインによって、この デザインにはいくつかの選択肢がありうる. 中央部 は左側シャフトであり、それは常に強度が大きい. そのような追加配置は、ビルの支柱階をいかなる被 害からも一定程度守るのに役立つ.多くの都市では, 地方自治体や州の調整によって, 適切な駐車方法 が委託されている. Delhi 首都圏 (NCR: National Capital Region), Kolkata, Mumbai, Guwahati 🗞 他の大きな市のような大都市部では、著しく多くの ビルが支柱階を駐車場として利用している. Delhi 首都圏の建物は、このような条件のために重大な被 害を被るだろう. Delhi では, Delhi 開発局 (DDA: Delhi Development Authority) 本部が高層支柱ビ ルをもっている.上述した配置の補強は、支柱構造 への被害を軽減させたり,防いだりすることに役 立つだろう.DDAによって、多数の10階建て高層 ビル群が建設されてきた. 支柱階へのあらゆる被害 を回避するために,示唆された適切な改修方法がま ずもって施工されるだろう. 北東域の Guwahati や Jorhat, Gangtok, Kohima, Imphal, Aizwal などの 丘陵域でも、最近の2,3年間に多数の高層建物が 建設された. 西ベンガル州の Siliguri では, 支柱 階をもち,断面が四角の高層ビルがいくつか建設中 である.これらは、上述の手法で守られるかもしれ ない. Kolkata 州の Salt Lake 市は, 全域が埋立地 盤 (filled land) に立地している (Bapat, 2009). そこは、かつて面積 15km²の湖であった. この湖 は Kolkara 港から搬送された堆積物で埋め立てら れた. そのために, 直径 1m・延長 8km のパイプラ インが敷設され、港湾からの堆積物の圧送に用い られた. 湖の埋め立てには, 9年間(1971~1980 年)かかった.この地域は、最初、中~下層民の居 住地として開発され、家屋は2階または3階建てで あった.しかし,最近になって古く小さい建築物は 壊され,高層ビルが林立するようになった.これら の高い建物は20階建て,あるいはそれ以上であり, Salt Lake 市から500km以内で発生する大規模地震 (M>7.25)によるレイリー波による被害を被りやす い. Himachal Pradesh およびUttarakhand も同様 な状況である.

人口増加,急速な都市化にともなって,住宅地需要 が増大している.これは,高い建物を建設せざるを えない理由の1つである.そこで,これらの建物を レイリー波の被害から守るために適切な方法がとら れることが望まれる.高い建物へのレイリー波の有 害な影響を説明するための標準的備えがない他のア ジア諸国では,本論で示唆されたデザインが有用で あろう.図7 レイリー波被害を防御するために提 案されたデザイン.赤線は強化が必要な部分を示す.

文 献

- Aizwal, K. and Sinhala, R., 2007. Probabilistic seismichazard estimation for peninsular India. Bull. Seism. Soc. Am., v. 97, 1B, p. 318-330.
- Bapat, A., 2007. Lack of statistical confidence. Curr. Sci., v. 93, p. 1468 69.
- Bapat, A., 2009. Natural Hazards at Mumbai and Kolkata. Industrial Safety Chronicle, XL, no. 1, p. 42 – 47. Pub. National Safety Council of India.
- Billham, R., Gaur, V.K. and Molnar, P., 2001. Himalayan Seismic Hazard, Science, v. 293, p. 1442-1444,
- Singh, S.K. et al., 2002. Ground motion in Delhi from future large / great earthquake in the central seismic gap of the Himalayan arc. Bull. Seism. Soc. Am., v. 92, p. 535.

特集 SPECIAL PAPERS

2015 年 9 月 16 日のチリ地震 THE 16 SEPTEMBER 2015 M8.3 CHILE EARTHQUAKE

(小泉 潔 [訳])

編集者より:南米チリで発生した最近の巨大地震は,世界の科学者の協力で首尾良く予知された.まずは1年以上前に予告され,本震の21日前に短期的予測が成された.この予知は,確立はされたが,やや不安の残る概念と多様なアプローチによって可能になった.グループによるすべての手順は,将来の地震予知の実行に関して新しい方向を決めるであろう.この成功のもう1つの意義は,世界の地震学の権威によって主張されてきた'誰も地震を予知することはできない'という神話を打破したことである.時間的制約があるので,NCGTの本号にはとりあえず短い予備的報告を行い,本震の前に現れた前兆信号を紹介する.

チリ中央部における地震の前兆に関連した湿度パラメーターの解析: 新たな地震か,あるいは2010年 Maule 巨大地震(M8.8)の余震か? ANALYSIS OF PSYCHROMETRIC PARAMETERS ASSOCIATED WITH SEISMIC PRECURSORS IN CENTRAL CHILE:A NEW EARTHQUAKE OR THE GREAT 2010 MAULE M8.8 AFTERSHOCK?

Ariel R. CÉSPED

Principal Researcher, Chilesismos chilesismos@gmail.com

(小泉 潔 [訳])

要旨:本論は、チリ中央地域における 2015 年7~8月の地震前兆としての湿度パラメーターに関する解析結果を示す.比較研究によって、最近の動向と同等の現象が 2010 年の M8.8 Maule 巨大地震の数日前に発生した発生したことを見いだした.これは、2015 年9~10月に重大な地震が発生する可能性を示唆しているとして差し支えない.

キーワード: 地震予知, 湿度測定, 大気研究

筆者より:本論のオリジナル版は,2015年9月16日に発生したチリ地震の本震が発生する21日以前の2015年8月26日に公表された.

岩石圏 - 大気圏の電磁化学的つながり

大気物理学分野における最先端の研究は、活断層近 傍の地域で地震の数日あるいは数週間前に放射性 ガス(ほとんどがラドン222)・イオン・"p-holes" あるいは電磁気パルスのような化学 - 電磁気信号 を発する地震準備過程が現れることを示している (Rozhnoi et. al., 2009; Freund, 2010; Pulinets, 2011). おそらくより大きな応力が加わる領域の圧電 現象や、ラドン放射性崩壊による誘導放射性核種の 生成物に関連して地殻から放出されるイオンや自由 電子が、地下の土壌に染み込み表面に移動する.地 盤(陰極)と電離層(陽極)の間の電位(標準状態 で上限 100V/m) は、大気中におけるそれらの粒子の 相対的運動を活性化し,最終的に浮遊している水分 子と衝突する. それが電気的結合を大規模に壊し, 離散粒子"崩壊"(放電)を引き起こす. それらの ラジカルの熱力学的不安定性は、浮遊状態での原子 を寄せ集めて直径数ナノメーターのエアロゾルにす るイオン誘導反応(IIN)の中和によって速やかに安 定化する(平均反応速度はほぼ11ナノ秒).

この作用は、大気圏に放出された潜熱にかかわる大 きなエネルギー転移過程をともなう.固有相転移が 大気中の水蒸気量を変化させるので、広域的相対湿 度の変化は自ずと将来の震源近くに現れる.上記の 現象が有意に広範囲におよぶと、変化は最終的に大 気圏上部に到達し、雲の層(線状の前兆雲)(Zhong、 2014)の特性と宇宙から人工衛星によって全体を観 察できる大気圏上空の強風(ジェット気流)(Wu、 2014)を再編成する.

実験手順

上記のメカニズムの可能性のある活動を確認するために、地震の前兆に関連する湿度パラメーターの解析が実行されている.気象に関するデータベースが、タルカウノ基地(南緯 36.7°,西経 73.0°)Carriel SurのチリDirección Meteorológicaに用意されている.研究対象とした期間は、(1)2010年の1~2月と(2)2015年7~8月である.

大気の電子化学の合成におけるラジカルと誘発され た核生成過程の存在の関与の可能性を見つけるた めに、補正された化学ポテンシャル(Δ U)の解析 (Boyarchuk et. al., 2006)が、式(1)に従って示 されている:

$\Delta U = 5.8 \times 10^{-10} (20T_s + 5463)^2 \ln(100/H_g) \quad (1)$



図1 研究地域(四角形の中)

TSとHRはそれぞれ大気の温度(℃)と相対湿度で ある.そこで,式(2)に従って,凝結による潜熱 L(T)(Roger and Yau, 1989)の解析を用いて,イ オン化された粒子の安定化の過程や大気中の水蒸気 のもつその相互作用エネルギーと関連している可能 性のある変化をチェックする必要がある.

 $L(T) = (2500.8 - 2.36T_{\rm p} + 0.0016T_{\rm p}^{2} - 0.00006T_{\rm p}^{3}) \quad (2)$

この場合, 露点温度(\mathbb{C})であることを考慮すれば, TD は水の凝結温度である. この過程が顕著に影響 するレベルに達すると,将来の震源一帯の地域周辺 に潜熱の痕跡が,それ故人工衛星を経由して宇宙か らたどることができるだろう. これを検証するため に,表面の潜熱の流れ(SHLF)の挙動の分析が実行 された. データは国立環境予測センター(NCEP)に よってマネージメントされた表面流動再分析のウェ ブサーバーから得られた.最終的に,3つのパラメー ター $\Delta U \cdot L(T)$ と SHLF は次のアルゴリズム(3)に 従って,偏差指数によって評価される.

 $A_{index} = \frac{\left(x - \overline{x}\right)}{\sigma} \quad (3)$

 $x はサンプルの一日の値で, <math>\bar{x} \ge s$ はデータの平均 と標準偏差である. 閾値は特異値x + 2.5sに等し いことを識別するとされている. 結果は,継続解析 を一覧表とグラフにしている.

結果

以下のグラフが、ビオビオ川とその周辺地域における 2010 年 1 ~ 2 月 と 2015 年 7 ~ 8 月の Δ U·L(T) と SHLF 解析それぞれを比較した結果である.

結論

結果に見ることができるように,地震の前兆に関連 した重要な湿度変化がチリ中央地域に2015年8月 16日に観測された.2ヶ月間の比較分析は,2010 年のMauleのM8.8地震に先だつ数日間の挙動の乱 れに類似している.これが新たな地震の準備過程 とすれば,発生時期はほぼ2015年9~10月であ ろう.観測された事象が巨大地震(+M8)の特徴を 持っているので,地震準備地域経験公式による不確 実性の古典的な効果(Dovobrolsky et al., 1979)



グラフNo.1(左) Maule のM8.8 地震発生28日前 の2010年1月30日に発 生した ΔUの有意な変化 を示す.

グラフNo.2(右) 2015 年8月16日に発生した 同様な異常を示す.

グラフNo.3(左) Maule のM8.8 地震発生28日前 の2010年1月30日に発 生したL(T)の重要な変 化を示す.

グラフNo.4(右) 2015 年8月16日に発生した 同様な異常を示す.

グラフNo.5(左) Maule のM8.8 地震発生 ΔU と L(T) 増加3日後の2010 年1月2日のSHLF 異常 を示す.(訳者注;横軸 は2010年?)

グラフNo.6(右) グラ フNo.2とNo.4で観測され た ΔUとL(T) 異常発覚 の同日2015年8月16日 の SHLF 異常を示す.

は、将来の震源の確定的な地域を明確に示すことは できない. しかしながら, 2010 年 Maule の M8.8 地 震(南緯35°~37°)後の見かけ上の地質学的不安 定性も南~中部チリ海岸(南緯 30°~33°)におけ る広大な地震空白地帯も、大地震の可能性が高いば かりでなく、地震ポテンシャルがそれらの地域に集 中していることを示していることを念頭に置く必要 がある.この主張はまた,手法"アルゴリズム M8" (Kossovokov, 2015)の結果とも一致している. そ れは 2016 年 1 月に本番前の期限が来る南緯 30°~ 36° 周辺のチリ海岸に、今や地震警報(進行中)を 提供している.この結果が、新たな地震を予知して いるのか、2010年地震の強い余震を予知している か、いずれの場合でも、3つの異なったモデルの結 果が同様な結論に収斂していることが重要である. それが、例外的な事実というなら、可能性のある大 惨事を軽減することを念頭に置いて権力者や緊急 チームが適正な指針を持つようにすべきである.

文 献

- Boyarchuk, K.A., Karelin, A.V. and Shirokov, R.V., 2006. Bazovaya model' kinetiki ionizirovannoi atmosfery (The Reference Model of Ionized Atmospheric Kinetics), Moscow: VNIIEM.
- Dobrovolsky, I.P., Zubkov, S.I. and Myachkin, V.I., 1979. Estimation of the size of earthquake preparation zones. Pure Appl. Geophys., v. 117, no. 5, p. 1025– 1044.
- Freund, F., 2010. Toward a unified solid state theory for pre earthquake signals. Acta Geophys., v. 58, no. 5, p. 719–766. doi 10.2478/s116000090066x.
- Kossobokov, V.G., 2015. The Global Test of the M8-MSc predictions of the great and significant earthquakes: 20 years of experience. http://www.scec.org/sites/default/files/May7_1130_Kossobokov.pdf
- Li, J., Liu, S., Wu, L., Wu, H. and Yu, J., 2009. Surface latent heat flux (SLHF) prior to major coastal and Terrestrial Earthquakes in China. Progress in

Electromagnetics Research Symposium, Beijing, China, March.

- Pulinets, S.A., 2011. The synergy of earthquake precursors. Earthquake Sci., v. 24, no. 6, p. 535-548.
- Pulinets., S.A., Ouzounov, D., Ciraolo, L., Singh, R., Cervone, G., Leyva, A., Dunajecka, M., Karelin, A.V., Boyarchuk, K.A. and Levresse, 2006, Thermal, atmospheric and ionospheric anomalies around the time of the Colima M7.8 earthquake of 21 January 200. Ann. Geophys., v. 24, p. 835-849.
- Rozhnoi, A., Solovieva, M., Molchanov, O., Schwingens chuh, K., Boudjada, M., Biagi, P.F., Maggipinto, T., Castellana, L., Ermini, A. and Hayakawa, M., 2009. Anomalies in VLF radio signals prior the Abruzzo earthquake (M = 6.3) on 6 April 2009. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., v. 9, no. 5, p. 1727–1732.
- Valeriu, G., 2015. Analysis of the Seismicity from south of Chile using the AGD Method. (Unpublished report)
- Wu, H.C. and Tikhonov, I.N., 2014. The earthquake prediction experiment on the basis of the jet stream precursor, NH31A-3844, 2014 AGU Fall meeting.
- Zhong, 2014, "Modeling pre-earthquake cloud shape from remote-sensing images", Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA), 3rd International Workshop p. 470-474 IEEE.

後記:この報告発行の21日後の2015年9月16日に, M8.3の大地震がチリの北〜中部(南緯31.570°,西 経71.654°)に発生した.南緯30°〜33°の地域の 内側に発生した2つの地震が本論で議論された.チ リ国立非常事態局(ONEMI)のデータによると,死 者13人,100万人が中央チリ海岸に沿った地域で 地震と津波の被害を受けた.この報告は8月28日 にONEMIに送られ,2015年8月31日にソーシャル ネットワーク(https://goo.gl/I3kLLY)に公開され ている.3万人以上のフォロワーがこの予知に立ち 会い,彼らのほとんどがこの地震に備えた.我々は, 多くの人びとに感謝し,このような警告が前もって 広まるよう力説する.

BLOT のエネルギー移転法則と2015 年9月の M8.3 チリ地震 BLOT'S ENERGY TRANSMIGRATION LAW AND THE SEPTEMBER 2015 M8.3 CHILE EARTHQUAKE

Dong R. CHOI¹ and John CASEY²

- ¹ International Earthquake and Volcano Prediction Center, Australia. dchoi@ievpc.org www.ievpc.org
- ² International Earthquake and Volcano Prediction Center, USA jcasey@ievpc.org; Veritence Corporation. mail@veritence.net

(柴 正博 [訳])

要旨:2015年9月16日に津波をともなってチリの Coquimbo の南を揺り動かした強力な地震は、国際地震火山予 測センター(IEVPC)と地元の地震学者の協力によって成功裏に予測された. IEVPC による1年以上前の最初の予 測は地球の深部から浅部にいたる地震エネルギーの遅れ時間を予測できるエネルギー移動の概念に基づいていた. 短期のシグナルをモニターしつづけた地元の地震学者のチーム、Chilesismos がおよそ1カ月前に湿度線異常を発 見し、本震の21日前に公的な警告をした. Coquimbo による地震予測の実践は、もし我々が正しい地震モデルと共 同した国際協調によって支援された道具で武装した正しいアプローチをとるなら大惨事をまねく地震が予測可能で あることを証明した. 十分な資金提供がなされた国際的研究機構の創設は、人命を救いそして損害を和らげるのに 役立つ.

Keywords: September 2015 Coquimbo Earthquake, earthquake prediction, Blot's ET law, seismic energy convergence

はじめに

国際地震火山の予測センター(IEVPC)は、そのテ ストプログラムの一部としてこれまでの数年にわ たって中規模地震の警告を長く発表してきた.それ らの主要な道具は、Claude Blot's(1976)のエネル ギー移動概念、あるいは ET 法則(Grover、1998) である.それは、深発地震と浅発地震が関連してい て、大地震が起きる 3~5年前に浅発地震の発生 時を予測することができるというものである.

USGS は、世界的に非常に強い(7.0+)の震動をも たらした1973年以降の合計44の深発地震(300km+) を記録した.にそれらのほとんどすべてが、数年 後に同規模かあるいはもっと強いマグニチュード (IEVPC の内部のデータ)をともなう破壊的地震と して浅い深度に現われた;深部地震と浅発地震の間 によこたわるそれらの成因的関連が ET 法則によっ て実証された.我々は、今日では世界中から、深部 エネルギーが浅部へ出現した2011の事例を発見し た.最近のチリの地震はそれらの例の1つである. 300 km 以深の深発地震のすべてが、深部に根が張っ た主要な断層帯に沿って起きている.したがって, それらは環太平洋の地域;南太平洋と西太平洋,お よび南アメリカに現われる. 地質構造を分析するこ とによって、浅い出現の位置はおよそ予測すること ができる.なぜならば,深部エネルギーは深部断裂 に沿って移動すること、ならびに、既存の構造の中 にそれがトラップされること (Choi, 2011; Choi and Kubota, 2015) を知っているからである. けれ ども、特に海洋地域の多くのところでは、エネル ギーがどのように流れ出るであろうかを判断するこ とを難しくするほど不完全にしか地質学的に規定 できていない.太平洋の南アメリカ沿岸において, 我々は上部マントルと下部地殻中における南向きの 地震エネルギーの伝播を明らかにした. 中央アメリ カの海岸において、エネルギーの移動方向は太陽活 動周期によってコントロールされることが判明した (Choi, 2014). 主に我々の NCGT の同僚による多く の他の研究によって、移動地帯の下でエネルギー移 動現象が証明された(Tsunoda et al., 2013, and others). 今日では、マントル中のエネルギー移動 ははっきり確立された事実である.



図1 研究地域の深部裂罅帯とエネルギーの流れ.実際の発生のほとんど1年前にあたる2014年9月10日に,内部機密文書として IEVPC の同僚と何人かの選ばれた研究者に準備され回覧された.基礎となった地図はIRIS site http://ds.iris.edu/seismon/から.

上の背景において, IEVPCは2011年1月にアルゼ ンチンのSantiago del Esteroの近くで起きた強い 深部地震(M7.0)(図1)を分析して,2014年9月 はじめに警告を発表した.そしてそれは12月末に 取り下げた.2015年に我々の研究は適切に地震分 析手段と概念で装備される地元の地震学者のチーム によって後を引き継がれた.本論文は,そのテスト プログラムの1つとしてIEVPC ウェブサイト上で 2014年9月に Coquimbo 警告を発表に導いた科学 的な根拠を簡単に紹介した.

深部の前兆地震を応用した ET 法則

図1は、深部断層とエネルギーの移動方向について の ET 分析を例示する. この図は 2014 年 9 月 10 日 に IEVPC と他の同僚に回覧された.計算のために、 地質学のデータに基づいて, 仮説的な浅い震央が 北東-南西のブロック断層が交差する Coquimbo — Valparaiso 間の海岸の深度 30 ~ 35 km に配置され た.この位置の選択の主な理由は大規模な構造的か る未ネーションがその北部あるいは Coquimbo 地域 に存在することであり, そのために地震のエネル ギーがこの構造中にトラップされるであろうという ことである. そしてそれは大きい地震が生じるため の必要条件である. 多数の強力な地震の地質学的な 分析に基づいて, 我々は本震が大規模な構造的カル ミネーションとブロック境界をなしている深部断層 帯に起こる傾向があることを学んだ(例えば Choi, 2011).興味深いことに、実際に、2015年9月の地 震の本震がこの点の近くでまさに起きた.

ET 式によって,次の浅発地震の出現時間が求められた:

2015年6月15日に20kmに出現 2015年2月27日に25kmに出現 2014年9月17日に35kmに出現

主に深度 30 ~ 35 km におけるこれらの結果に基づいて, IEVPC は 2014 年 9 月 1 日に次のパラメータ をもって最初の警告を発表した.

震央; Coquimbo と Valparaiso の間の海岸地域
マグニチュード: M7.0~8.3
深さ: 10~60 km
発生時間: 2014年12月末まで

南向きのエネルギー流

Coquimboの地震を分析する中で、もう1つのエネ ルギーの流れを考慮に入れることが重要である一そ れは南アメリカの太平洋岸に沿って北から南に向か うものである.このエネルギー流れは強い地震(M7.0 あるいはより大きい)の緯度時間図によって識別さ れた(図2:Choi, 2014).

同じ図上に記入された M6.0 ~ 6.5 の地震の広範な 点在が与えられて,この流れ自身が最高 M6.5 の地 震を生成することができると考えられる.しかし, もしこのエネルギーが大規模な最頂点構造において 深部の地球に起源を持つ強いエネルギーが一点に 集まれば,大惨事の地震が起こるえる.2014年4 月1日の M8.0 の Tarapaca の地震はそれらの1つで あり (Choi, 2014a),この Coquimbo の地震と同様 である.しかし,チリ南部の巨大な M8.8 2010年 Maule 地震は前兆深部ショックをともなっていな かった.地質学的にその地域は Chile Rise とよば れる先カンブリア代の大規模な北西 - 南東に向かう



2540km/28years=90km/year=0.25km/day

図2 南アメリカの海岸に沿う地震(M7.0 +)緯度年図で,南向きの地震エネルギーの流れを示唆している. Choi 2014による原図に 新たなデータを追加.

構造を持っていて,震央の南には1つの有効な障壁 を形成している.これは地震のエネルギーの南向き の流れが2010年2月に解放される前にしばらくそ の構造の中にトラップされていたことを示唆する.

討 論

2014年9月~12月の集中的モニタリング期間に, 調査地域は連発する電磁気の活動を示した.これら のデータによって我々の予測が確証された.しかし, その地域は,エネルギーの大部分が Coquimbo のト ラップの中に入ったであろう12月下旬になると, 比較的静穏になった.IEVPC 警告は12月下旬に解 除されたが,モニタリングは地元の地震学者のグ ループである湿度線分析を専門に扱う Chilesismos (Césped, 2015)によって続けられた.彼らはそ れらのデータに重要な異常を見いだして,そして 2015年8月26日に警告を発表した.そしてそれは 本震の21日前であった.

IEVPC の最初の予測パラメータは、震央と規模、深 度に関して正しかったことが証明された.しかし, それは9カ月~1年の時間的ミスをした.この発生 の遅れは、実際には深さが25 km (USGS) で仮定し た発生深度が 30 ~ 35 km と深かったことも部分的 に起因する. 1973 年~ 2011 年の 37 の M7.0 +の深 部震動の詳細な分析によって、深発地震から浅発地 震までの時間的遅延が3~5年に達することが示さ れた. 今回のチリでの地震の時間的遅延は地球の深 部から浅部までおよそ4年9カ月であり,時間的遅 延の最大値に近い. 浅発地震の発生は、トラップ構 造の地質学的な条件や部分的には銀河系効果によっ て同様の影響を被る.もう1つの可能性としては, 南向きに流れているエネルギーのサージの到着時を 含まれるだろう.そして,それは太陽活動周期によっ て影響を受けているであろう.

結 論

最近の Coquimbo の地震は, Blot の ET 概念が強力 な長期~中期予測手段であることを再び証明した. それが適切な地震モデルによって方向付けられた短 期の局地的なモニタリングオペレーションと結合さ れる場合に,破壊的地震の予測が可能になる.

強く証明された記録を持っていて数年間商業的に採 用された早川の VLF 波増殖分析(2012)のような 他の先駆者発見道具とともに,この Coquimboの訓 練は「誰も地震を予測することができない」という 公式の神話を破壊した.

この成功は、正しい地震モデルで武装した IEVPC

によって採用された多パラメータと共同作業的アプ ローチに帰される.この過程において,長期から中 期の前兆検出手段が短期検証道具と結合された.こ れは破壊的地震の予知と国際協調の新しい誕生の先 触れとなって,そして協調された十分な資金基礎が 世界中の生命を救い始めることを保証する.

文 献

- Blot, C., 1976. Volcanisme et séismicité dans les arcs insulaires. Prévision de ces phénomènes. Géophysique, v. 13, Orstom, Paris, 206p.
- Césped, A.R., 2015. Analysis of psychrometric parameters associated with seismic precursors in central Chile: a new earthquake or the great 2010 Maule M8.8 aftershock? NCGT Journal, v. 3, no. 3, p. 383-386.
- Choi, D.R., 2011. Blot's energy transmigration concept applied for forecasting shallow earthquakes: a swarm of strong deep earthquakes in the northern Celebes Sea in July 2010. NCGT Newsletter, no. 56, p. 75-85.
- Choi, D.R., 2011. Geological analysis of the Great East Japan Earthquake in March 2011. NCGT Newsletter, no. 59, p. 55-68.
- Choi, D.R., 2014a. Seismo-electomagnetic energy flow observed in the 16 March 2014 M6.7 earthquake offshore Tarapacá, Chile. NCGT Journal, v. 2, no. 1, p. 61-65.
- Choi, D.R., 2014b. Seismo-volcanic energy propagation trends in the Central America and their relationship to solar cycles. NCGT Journal, v. 2, no. 3, p. 19-28.
- Choi, D.R. and Kubota, Y., 2015. North-South American Super Anticline. NCGT Journal, v. 3, no. 3, p. 380-387.
- Davidson, B., U-Yen, K. and Holloman, C., 2015. Relationship between M8+ earthquake occurrences and the solar polar magnetic fields. NCGT Journal, v. 3, no. 3, p. 310-322
- Grover, J.C., 1998. Volcanic eruptions and great earthquakes – Advanced warning techniques to master the deadly science. Copy-right Publishing Co., Pty Ltd., Brisbane. 272p.
- Hayakawa, M., 2012. Short-term earthquake prediction with electromagnetic effects: present situation. NCGT Newsletter, no. 63, p. 9-14.
- Straser, V., Cataldi, G. and Cataldi, D., 2015. Solar wind ionic and geomagnetic variations preceding the 8.3 Chile Earthquake. NCGT Journal, v. 3, no. 3, p. 394-399.
- Tsunoda, F., Choi, D.R. and Kawabe, T., 2013. Thermal energy transmigration and fluctuation. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 65-80.

2015 年 9 月 16 日のチリ近傍の M8.3 地震に先立つ 太陽北極磁気活動の急上昇と短時間ピーク A SURGE AND SHORT-TERM PEAK IN NORTHERN SOLAR POLAR FIELD MAGNETISM PRIOR TO THE M8.3 EARTHQUAKE NEAR CHILE ON SEPTEMBER 16, 2015

Ben DAVIDSONI

Space Weather News LLC/ The Mobile Observatory Project ben@observatoryproject.com

(小泉 潔 [訳])

要旨:惑星間磁場を包み込むコロナホールに関連する太陽風速度の急増によって証明されているように、太陽の北 極磁場の磁気活動が著しく強まった.この磁気活動の急速な活発化は、チリの M8.3 地震の日に頂点に達し、地球 最大の地震事象の増殖であるとして、Davidson(2015)が確認した信号と一致している.

キーワード:太陽の極磁場,地震,コロナホール,惑星間磁場

M8.3 チリ地震に先立つ太陽風のイオンおよび地磁気変化 SOLAR WIND IONIC AND GEOMAGNETIC VARIATIONS PRECEDING THE Md8.3 CHILE EARTHQUAKE

Valentino STRASER¹, Gabriele CATALDI² and Daniele CATALDI³

¹ valentino.straser@alice.it; ² ltpaobserverproject@gmail.com; ³ ltpaobserverproject@gmail.com

(久保田 喜裕 [訳])

要旨:最近のマグニチュード8.3 地震による災害および続いてチリを襲った群発地震は,地震を制御するメカニ ズムの深い理解と人々を守るためにも、地震予測研究の早急な準備を促している.この大地震の前兆として、本震 の数日前から数時間前まで,太陽風の陽子量と地磁気の変化がみられた.チリの地震は,本震に先立つ数時間前に, 地磁気活動と瞬間的な陽子活動の明瞭なピークに関係して生じた.太陽風のイオンの増加は,2015年9月16-17 日チリ地震で気付かれ、2012-2014 年間に M6 以上の強い地震が地球規模で生じたときにも観測された、このこと は太陽活動と地球での地震活動間に関連性があるとの仮説の可能性を高めた.

キーワード:地磁気的背景,地震予測,太陽風イオン変化,チリ地震

大地震に先行して放出された長波放射異常: 2015 年 9 月のチリ地震に関する研究 OUTGOING LONGWAVE RADIATION ANOMALY PRIOR TO THE BIG EARTHQUAKES: A STUDY ON THE SEPTEMBER 2015 CHILE EARTHQUAKE

N. VENKATANATHAN¹, Philip PHILIPOFF² and S. MADHUMITHA³ ¹ IFaculty of Physics, Department of Physics, SASTRA University, Thirumalaisamdrum, Thanjavur, Tamil Nadu, India. physics16972@gmail.com; Venkatanathan@eee.sastra.edu

Associate Professor, Institute of Mechanics, Bulgarian Academy of Sciences, Bulgaria. philip_ philipoff@imbm.bas.bg; philip.philipoff@gmail.com

School of EEE, SASTRA University, Thirumalaisamdrum, Thanjavur, Tamil Nadu, India. madhu14mitha@gmail.com

(赤松 陽「訳])

要旨:いく人かの研究者は,複雑な地震予測のプロセスを理解するために,工学に基礎をおいた人工衛星に携わっている.放出された長波放射(OLR)は,地震予知のプロセスを知るための重要な手段の1つである.OLRの異常な変化は,通例,大地震の3日~30日前に,震央地域の周辺で観察される.そして,雲の高さ以上で観測される.この論文で,著者らは,2015年9月16日に南緯32.5°,西経70°の位置で発生したチリ地震の詳細な分析のために人工衛星から送られてきた0LRのデータを分析した.OLRの異常な変化は,地震発生の16日前の2015年8月31日に観測された.その分析から,著者は,OLRの流動における絶え間ない変化は,今にも起こりそうな巨大地震を同定するための有効な手段として役立たせられることを発見した.

キーワード: OLR 異常, 異常指標, 熱力学的プロセス, 短期間地震予知

はじめに

さまざまな国の研究者たちが、地震の発生が予想 される地帯を知るために、地震の先駆(現象)の 研究に携わっている.近年,研究者たちは,前ぶ れ(先駆現象)を知るために人工衛星の技術を利用 しており,彼らは,連続したモニタリングが比較的 安価にできることから, 観察に基づいた(研究を 行う)他の分野よりも、人工衛星技術を好んでい る. 放出される長波放射 (OLR) は、雲の高さより上 で観察でき、人工衛星の赤外線センサーによって記 録できる.ORLにおける異常で明白な偏差は、大地 震の発生前にふつうに観察される. ORL は、地球を 周る極軌道を日に2周する、つまり、日中通過し夜 間にも通過する人工衛星によって測定されている (Venkatanathan and Natyaganov, 2014). これら2 つのほか,夜間通過のデータは,その中に太陽放射 のノイズ成分が含まれていないので、分析する多く の研究者によってもっとも好まれている. 起こりう ると考えられる ORL の変化の原因は、構造運動の活 発化による岩石圏,大気圏,電離圏の間の相互作用 によるものである. 活発化した構造運動は, 岩石の 割れ目からラドンガスを放出させるが、このラドン ガスは、それ自身(だけ)では地表へと広がること はない.メタン、二酸化炭素、その他のガスのよう な温室効果ガスは、ラドンガスの運搬媒体としてふ るまう. 地表では, 空気分子はこのラドンによって イオン化され潜熱を放出する. これは温度の変化と して観測され、雲の高さより上で、順番に ORL とし て測定される. ORL データ分析は、多くの好都合な ことをもっている. すなわち, a) 広帯域データは, コンピューター信号処理によって得ることができ る.b)(それは)地方時の間隔で地球上が格子に分 けられているのでわかりやすい. そして 3) ORL にの わずかな偏倚でさえ、高い感度で記録できる.

そのため、この論文では、著者らは、地震前の分析 のこれまでに必要とされているフィールドへ確実な 解決を与えるためのいくつかの方法を使う徹底し た ORL データ分析を検討している.著者らは、ここ で、2015 年 9 月 16 日に起こったこのたびのチリ地 震 (M8.3:図 1)発生前の ORL のシナリオを討論する. 地震は、南緯 31.570°・西経 71.654°に位置し、深 さ 25km であった.(http://earthquake.usgs.gov).



図1 2015年9月16日に発生したチリ地震 Illapel (M8.3) を 示す地図. http://www.emsccsem.org/Earthquake/earthquake. php?id=459672の厚意による.

方法論

ORL は、地球表面によって大気中に反射されるエネ ルギー放射である. これらの赤外線放射は雲の高さ より上で測られ、その ORL は地球と大気の温度に よって制御されている.これらの放射は,2.5°×2.5° の格子に与えられたデータが配置されている8~ 12µm(の幅)に並べられた赤外線センサーが備わっ たノア15やノア18のような人工衛星を使って記 録することができる (Gruber and Krueger, 1984). これらのデータは、ノアのウェブサイトhttp:// www.cdc.noaa.gov.からダウンロードできる. 短時 間の OLR 異常の出現は、活動的な断層地域に沿っ た応力増加によるものかもしれない.異常は、"現 時の OLR 流動"(COF)と"平均の OLR 流動"(MOF: 2008~2014年の過去数年の平均値)とを比較する ことによって確認することができる.もし, COFの 値が, MOFの信頼度水準+2σ以上ならば, 特定の 日のOLR 値は、異常として見なされるはずである. また、OLR 異常は、エネルギーレベル比(δE)で発 見される変化によって確認できるはずであり、それ は、与えられた位置と時間に対する OLR のレベルの 最大変化を示す (Ouzounov et al., 2011).

表1 2014年に中国で発生した地震とそれらに先んじて観測された OLR 異常が,表の末尾の欄に示されている.

| | | | | | OLR anomaly observed in |
|------------|----------|-----------|-----------|----------------|-----------------------------|
| | | | | | number of days prior to the |
| Date | Latitude | Longitude | Magnitude | Place | earthquake |
| 2014-02-12 | 35.905°N | 82.586°E | 6.9 | Hotan, China | 12 days |
| 2014-08-03 | 27.189°N | 103.409°E | 6.2 | Wenping, China | 30 days |
| 2014-10-07 | 23.386°N | 100.487°E | 6.0 | Weiyuan, China | 25 days |

$$\delta E = (y^*(a_{i,j}, b_{i,j}, t) - Y^*(a_{i,j}, b_{i,j}, t) / \sigma_{i,j})$$

ここで,

 δE —OLR の形成におけるエネルギーの最大静止変化 y^{*} = あらかじめ定義された時間 (t_0)・緯度 ($a_{i,j}$)・経度 ($b_{i,j}$)をともなう空間的位置に対する現時点の OLR 流動

 $Y^* = あらかじめ定義された時間(t) と緯度(a_{i,j}) と経度(b_{i,j}) をともなった空間的位置に対する「平均の0LR流動」 <math>\sigma_{i,j}$ 一古い0LRの値から計算された標準的な偏差

中国地域で発生した地震の分析(表1)から,著者 らは,短命な0LR異常は3つの地震すべての発生に 先んじてみられたことを見いだした.



図 2a(上) 南緯 32.5°・西経 70°で,2015 年 8 月 31 日に夜間 の周回時間に"人工衛星ノア 15"によって記録された 0LR 異常. 図 2b(下) 南緯 32.5°・西経 70°における,2015 年 8 月 15 日 と 2015 年 9 月 17 日の間の,0LR のシナリオが示されているグ ラフ.

結果と討論

マグニチュード M8.3 の地震が、2015 年 9 月 16 日 にチリのイラペル(Illapel)の西で発生した.0LR 異常は2015 年 8 月 31 日に観測された.これは、人 工衛星ノア 15 とノア 18 の昼間・夜間両方の周回 の間に記録された.最初の異常は、2015 年 8 月 31 日に「人工衛星ノア 15」の日中の周回時間に記録 された(図 2).その同じ日に異常は消え始めたが、 より弱い強度の異常が、2015 年 8 月 31 日に「人工 衛星ノア 18」の夜間の周回時間に記録された(図 3).

結 論



図 3a(上) 南緯 32.5°・西経 70°で, 2015 年 8 月 31 日に夜間 の周回時間に"人工衛星ノア 18"によって記録された 0LR 異常. 図 3b(下) 南緯 32.5°・西経 70°における, 2015 年 8 月 15 日~ 2015 年 9 月 17 日の 0LR シナリオが示されているグラフ.

この論文は大地震発生前の 0LR のシナリオを提示して いる.活発化した構造運動は,異常な熱的変化の出現 によるものと考えられる.0LR 流動の通常のふるまい についてのほぼ確実な理由は,断層の境界面に沿った ストレスの増大によるものであろう.それは地表へ向 かうラドンガスの発散を引き起こす.ラドンの放出は 大気のイオン化を増大させ,さらに大気の伝導率と潜 熱放出を順次変えていく.これは,0LR の先駆的研究 の背後にある自然法則の理論的根拠である.0LR の分 析は,容易に感知できるはっきりした偏差(変化)が, 大地震発生前に観察されたということを立証してい る.このように,地表面と大気の要素を組み合わせた 0LR の研究は,減災のための方法を促進する手段とし て,地震準備地帯をつきとめるための有効な手段とし て使えるはずである.

謝辞 私は、OLRのデータを提供してくださったノアの 物理科学部門(http://www.cdc.noaa.gov)にお礼申し 上げる.私は、有益なアドバイスをくださった匿名査 読者の方々に心から感謝申し上げる.それらはこの論 文を筋の通ったものにするために助けとなった.また、 この研究計画を行うにあたり、終始、激励をくださっ たサストラ(SASTRA)大学にお礼申し上げる. 文 献

- Gruber, A. and Krueger, A., 1984. The status of the NOAA outgoing long wave radiation dataset. Bulletin of American Meteorological Society, v. 65, p. 958–962.
- Ouzounov, D., Pulinets, S.A., Romanov, A., Romanov, A., Tsybulya, K., Davidenko, D., Kafatos, M. and Taylor, P., 2011. Atmosphere–ionosphere response to the M9 Tohoku earthquake revealed by multi-instrument space-borne and ground observations: preliminary results. Earthquake Sci., v, 24, no. 6, p. 557–564.
- Venkatanathan, N. and Natyaganov, V., 2014. Outgoing Longwave Radiations as pre-earthquake signals: Preliminary results of September 24, 2013 (M7.7) earthquake. Current Science, v. 106, no. 9, p. 1291 – 1297.

Websites:

- http://earthquake.usgs.gov
- http://www.cdc.noaa.gov
- http://www.emsc-csem.org/Earthquake

M8.3 チリ地震に先立つ宇宙気象条件 SPACE WEATHER CONDITIONS PRIOR TO THE M8.3 CHILIE EARTHQUAKE

Kongpop U-YEN kongpop@gmail.com

(赤松 陽[訳])

要旨:この論文は,2015年9月16日のM8.3チリ地震に先立つ重要な宇宙空間の気象状況を報告するものである. 早期の警告サインは,太陽黒点数ならびに地震発生直前の太陽コロナ孔面積にみらられる変化傾向の逆転として示 される.同様のパターンは,2004年の北部スマトラにおけるM9.1地震でも観側されている.このような証拠と対 応関係は,将来の大災害を引き起こす地震の指標になる可能性をもつ.

キーワード:地震,コロナ孔,宇宙気象,黒点数,太陽風

出版物 **PUBLICATIONS**

太陽と地球への惑星の影響,および現代の焚書 Planetary Influence on the Sun and the Earth, and a Modern Book-Burning

Nils-Axel MÖRNER

Paleogeophysics & Geodynamics, Stockholm, Sweden, morner@pog.nu

(矢野 孝雄 [訳])

(この記事は, Nova Science 出版社の新刊本の紹介である: https://www.novapublishers.com/catalog/product info.php?products id=54827)

要旨:この本は、おもに太陽物理学・地球物理学・一般気候問題の基本要素について述べたものである.太陽活動の変化・太陽輻射の減少・惑星への太陽風の影響などの諸現象は、多数の科学者を魅了してきた.さらに驚くべきことに、気候変動・海水準・潮汐・海洋循環・地磁気などにたいする地球の応答は、いずれも上述の作用に起因する.以下では、太陽から地球への影響が解析・計算される.

追悼 OBITUARY

(矢野 孝雄 [訳])

HOWARD F. DEKALB (1927年5月18日-2015年7月19日)



Howard Freeman DeKalbは、最愛のハワイ州ヒロの 自宅で家族と友人に囲まれて安らかに亡くなり、ヒ ロの東部ハワイ Veterans 墓地に葬られた.

彼には3人の子供(コロラド州 Boulder の Teresa
Lois DeKalb, カリフォルニア州 Ben Lomondの
Frederick Paul DeKalb, ならびにカリフォルニア
州 Berkeleyの Dana Louise DeKalb) と3人の孫,
そして1人のひ孫がいる.彼は,2003年に最初の
妻 Jean Muriel Barrett DeKalbを,2007年に第2
の妻 Mary Ann Ellis Mohr DeKalbを亡くしている.

Howard は, 長 老 教 会 の 宣 教 師 Pearl Meredith DeKalb と Lois Osgood DeKalb の次男としてコロン ビア州 Barranquilla で生まれた. 彼は Fairfield で 育ち,合衆国海軍の兵役後, Parson 大学を卒業した. その後,彼はコロラド鉱山学校 (Colorado School of Mines) から技師号を取得した.

Howard は、最初は歴史と数学の教師として、後に

Stanvac, Esso および Exxon の石油技術者として, 生涯の多くを海外ですごした.彼はベネズエラ・イ ンドネシア・パキスタン・オーストラリア・イラン・ サウジアラビアに勤務し,家族とともに世界中を旅 した.

勉強がとても好きで,歴史・神話学・地質学・天文 学・詩・絵画・音楽などの分野の書物を幅広く読ん だ.彼はクラシックピアノ・bluegrass バンジョー・ フォーク自動ハープを演奏し,アマチュア劇場と ミュージカル制作所での演奏を楽しんだ.いずれに 住んでいるときも,現地の言葉,文化,音楽および 歴史を大切にしていた.

Howard は,退職後はヒロで,著書"The Twisted Earth"*や自らの反プレートテクトニクス学説を 述べた論文を出版した.彼はLyman 博物館と津波博 物館でボランディアを務め,天文学的事件と神話学 の関係を講演した.彼は,自らの家系についても 研究して,0sgood 側の祖先が17世紀のマサチュー セッツ州 Salem で魔法にかけられたことをつきとめた. 2008 年の大きな発作のために仕事の速さが遅くなったが、世界についての抑えがたい好奇心が衰えることはなかった.

Howard は、生涯にわたって、無限のエネルギー、 寛大さ、そして、いたずらっぽいユーモアのセンス をもちつづけた.彼は人生を十二分に楽しみ、家族 と友人に深く惜しまれて亡くなった.

* 1990年刊 Lytel Eorthe Press(ハワイ, ヒロ) ISBN: 0-9623271-0-7, 150 p. 編集者注:NCGT Newsletter (www.ncgt.org.) で刊 行された出版物リスト

2006. The twisted Earth. No. 40, p. 39-40.

- 2006. DeKalb book Twisted Earth. Reviewed by Chris Smoot. No. 40, p. 40-41.
- 2007. Global shear deformations. No. 43, p. 56-59.
- 2007. Diagonal strain lines. No. 44, p. 33-37.
- 2007. Comment and reply: Global shear deformations. Leo M. Maslov and Howard Dekalb. No. 44, p. 46-47.
- 2007. Letter to the Editor, Diagonal strain lines. No. 45, p. 3-4.
- 2011. Twisted shear. No. 60, p. 73-79.

財政的支援について FINANCIAL SUPPORT

NCGT Newsletter は、すべての個人と組織が自由に 入手できる公開オンライン雑誌である.これは、こ の雑誌の増えつづける発行費用を賄うために、私た ちは読者からの善意・無償の寄付と広告収入に頼ら ざるをえないことを意味している.私たちは読者の 寛大な財政支援を歓迎する.

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

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

■ 送金方法

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

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

口座名: New Concepts in Global Tectonics

E-mail: ncgt@ozemail.com.au (editor@ncgt.org ではない)

■ 銀行振替あるいは小切手でお支払いの場合は

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

NCG ジャーナルについて ABOUT THE NCGT Journal

グローバルテクトニクスの新概念ニュースレター(現 在のNCGT ジャーナルの前身)は、1996 年8 月に北 京で開催された第30 回万国地質学会のシンポジウ ム "Alternative Theories to Plate Tectonics" の 後でおこなわれた討論にもとづいて生まれた.その名 称は、1989 年のワシントンにおける第28 回万国地質 学会に連携してワシントンのスミソニアンスミソニア ン研究所で開催された、それ以前のシンポジウムにち なんでいる.NCTG ニュースレターは、2013 年にNCGT ジャーナルに改称された 組織的照準を、プレートテクトニクスの観点に即座には適合しない創造的な考え方にあわせる。
 そのような研究成果の転載および出版を行う。とくに検閲と差別の行われている領域において。
 既存の通信網では疎外されているそのような考え方と研究成果に関する討論のためのフォーラム。それは、地球の自転や惑星・銀河の影響、地球の発達に関する主要学説、リニアメント、地震データの解釈、造構的・生物的変遷の主要ステージ、などの視点から、たいへん広い分野をカバーするべきものである。
 シンポジウム、集会、および会議の組織。
 検閲、差別および犠牲があった場合の広報と援助。

目的は次のとおりである:

NCGTJ 日本語版 おわびと訂正

翻訳者名の誤入力

日本語版 Vol. 3, No. 2 (2015 年 10 月発行)の翻訳者を誤入力してしました. 不手際を深くお詫び申し上げます.

お手数ですが、下記のとおりご訂正下さいますようお願い申し上げます. お詫び、ならびに、訂正のお願いまで.

p. 1

| Evolution of the tectono-magn | natic pulsation in the Earth's hi | story Valer | y ERMAK | OV | |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------|---------|----|-----------------------|
| 地球史における脈重 | 帥造構 - 火成活動の進化 | | | | [矢野孝雄・ <u>小泉 潔</u> 訳] |
| | | | | | |
| | | もく | じ | | |
| ■ 原著論文 | | | | | |

p. 35

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

Valery ERMAKOV

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



(矢野孝雄・<u>柴</u>正博[訳])



編集担当 矢野孝雄