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. 4, No. 2 (2016 年 10 月) ■ Print edition ISSN 2186-9693

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



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

もくじ

■ 編集者から	[小松宏昭 訳]	2
■ 編集者への手紙		
白亜紀にヨーロッパから溢れ出した恐竜 Oscar Javier Arévado	[柴 正博 訳]	3
地球の地質学的理解への大幅な見直しの時期が到来した Charles Warren Hunt	[柴 正博 訳]	3
的外れの一撃 Karsten M. Storedvedt	[赤松 陽 訳]	4
K.M. Storetvedt 教授の手紙"的外れの一撃"への回答 Arkady Pilchin	[矢野孝雄 訳]	7
■ 原著論文		
Neotectonics of the Gulf Coast and active rifting and wrenching of the United States Ghulam Sarwar		
メキシコ湾岸のネオテクトニクスおよび合衆国の活リフト運動と活ねじれ運動	[小泉 潔 訳]	11
Origin of the Central Honshu Arc and the Izu Ridge, Japan Fumio Tsunoda		
本州弧中央部と伊豆海嶺の起源 「寺崎紘一・川北敏章・新井 節・足立久男・佐藤利	D平・角田史雄 訳]	20
The Quaternary gold potential sites and their volcano-tectonic setting in the Japanese Islands s Yoshihiro Kubo	ota	
日本列島の島弧会合部における第四紀高品位金鉱床の時空分布とそのグローバルな適応	[久保田喜裕 訳]	34
Critical analysis of the plate tectonics model and causes of horizontal tectonic movements Arkady Pilchin		
プレートテクトニクスの批判的分析と水平造構運動の原因 〈要旨 〉	[矢野孝雄 訳]	41
■ 特集 The April 2016 M7.0 Kumamoto Earthquake, Japan 2014 年 4 月 M7.0 日本の熊本地震	[山内靖喜 訳]	42
Subionospheric VLF propagation anomaly prior to the Kumamoto Earthquake in April, 2016 M.Hayakawa and	d T.Asano	
2016 年 4 月に起きた熊本地震前の電離層下の VLF 伝搬異常	[山内靖喜 訳]	42
Anomalies in jet-streams prior to the M6.6 Taiwan Earthquake 2016 and the M7.0 Kumamoto Earthquake on 2016	H.C. Wu	
2016 年 M6.6 台湾地震前と2016 年熊本地震前でのジェットストリームの異常	[山内靖喜 訳]	44
Solar activity correlated to the m7.0 Japan earthquake occurred on April 15, 2016 Cataldi and Valentino Stra	aser	
2016 年 M6.6 台湾地震前と 2016 年熊本地震前でのジェットストリームの異常	[村山敬真 訳]	46
The April 2016 M7.0 Kumamoto Earthquake swarm: Geology, thermal energy transmigration, and precursors F.Tsunoc	da and D. R. Choi	
2016 年 4 月 15 日 熊本地震群:地質,熱エネルギー移送,および前兆	[矢野孝雄 訳]	50
■ 二ュース		
Increased volcanic and earthquake activities throughout the globe Weather Network		
地球規模で増大した火山と地震の活動	[村山敬真 訳]	57
Sunspots vanishing, again Space Weather 黒点,再び消失		
Federal and State leaders warned International Earthquake and Volcano Prediction Center	[村山敬真 訳]	57
連邦・政府の指導者への警告 壊滅的な地震と火山への準備のために	[岩本広志 訳]	57
■ 追悼		
Boris Ivanovich Vasiliev Alexander A. Gavrilov, Leo Maslov, Takao Yano and Dong R. Choi	[矢野孝雄 訳]	58
■ 財政的支援について / ニュースレターについて	••••••	60

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.

 New Concepts in Global Tectonics ジャーナル 日本語版発行チーム
 連絡先 〒399-8301 安曇野市穂高有明 126-9 矢野孝雄 Phone 0263-87-2538 EM yano.azumino@g-mail.com
 [翻 訳 メンバー]赤松 陽・岩本広志・川辺孝幸・窪田安打・久保田喜裕・小泉 潔・小坂共栄・小松宏昭 佐々木拓郎・柴 正博・杉山 明・角田史雄・宮城晴耕・村山敬真・山内靖喜・矢野孝雄
 [事務局メンバー]赤松 陽・足立久男(発送)・金井克明(会計)・川辺孝幸(HP)・佐瀬和義・宮城晴耕・矢野孝雄(代表)

編集者から FROM THE EDITOR

(小松 宏昭 [訳])

本号は、予想もされなかった結果をもたらす非常に衝 撃的な論文に満ちている.われわれは、メキシコ湾に 関する Ghulam Sarwar の論文 (p. 159-173)を歓迎す る.その論文は、海面下の深部構造にもとづくメキシコ 湾の形成についてのプレートテクトニクスによる説明に 疑問を投げかけている.彼の論文は、炭化水素の探 査データを含む広範囲の情報を分析している.この論 文は、最近の NCGT の各号で見られるように、北米の 地質研究者たちが、他の産業の同僚の援助を受けて プレートテクトニクスに声高に異を唱え、あからさまに反 対している実例である.

カナダの地球物理学者のArkady Pilchin (p. 204 – 272) はメキシコ湾のプレートの消滅を批判している. 彼は、リソスフェアプレートの水平移動や沈み込みが 物理的に不可能であることに言及している. Sawar と Pilchin の両論文は、プレートテクトニクスの棺桶に釘を 打つものである.

これら2つの論文は、氷山の一角にすぎない.最初に述べたように、筆者はプレートテクトニクスに不満を表明しているアメリカ合衆国の地質研究者から多くの手紙を受け取っており、その数はどんどん増えている.それはわれわれが(プレートテクトニクスからの)転換点に近づいていることを意味している.

また本号には、熱エネルギーの移送概念に基づく重要 な論文が含まれている. それは大規模な鉱床, 巨大な 火山 - 地震活動, そして地殻構造の発達を理解する うえで極めて重要なものである. Tsunosa and Choi (p. 286-296)は、地質と地震-火山活動記録の分析から 2016年4月熊本地震のエネルギーは、2010年に北セ レベス海下で起こった一連の強力な深発地震から放出 されたエネルギーによってもたらされたと結論した. この エネルギーは、フィリピン-台湾-九州の下を走る幹 線サージチャネルを通ってきたものである. このことは, 2013年のフィリピンの Mayon 火山の巨大噴火, 2013 年末の台湾の巨大地震,2015年南九州の桜島の噴火, そして 2016 年の熊本地震をよく説明できる. 久保田 (p. 194-203)の南九州に胚胎する世界的な菱刈金鉱 床は、このエネルギーチャネルによって容易に説明で きる. そこは、2つの島弧の交差部に位置する大規模 な地背斜が交わるところである. 中新世以降の本州弧 の隆起についての Tsunoda の発想 (p. 174-193) は,

彼の熱エネルギー移送概念にそのルーツがある.

この特集は、猛威を振るった熊本地震より前に出現した前兆現象について論じている.マスメディアは、ほとんど関心を示してこなかったが、今回の地震は2つの現象(一つはジェット気流:Wu,p.276-278,もう一つは地震発生1週間前のVLF伝播異常:Hayakawa and Asano, p. 273-275)によって正確に予知されていたのである.彼らは、私たちが巨大地震をあらかじめ正確にそして十分に予知できることを再び証明して見せたのである.これらの予知はCataldiほか(p.279-285)によって確実なものになっている.Cataldiらは、地震の数日前に出現する太陽活動の変異(太陽風の中のイオン密度の変化)に気付いていた.

読者は、Alvert Parker によって提案された海水面に関 する相矛盾したストーリーを楽しむことができるであろう. それは、地球温暖化理論は誤った根拠のもとに組み立 てられていることを示している.ニュースセクションに示 されるように、地球気候の寒冷化は確実な基礎データ を増大させている.太陽活動は大規模な停滞期に向か っていて、そのため火山活動や地震活動が増加してい るのである(p.346-347).

われわれは古地磁気についての活発な討論―編集 者への手紙のセクション (p. 150 – 158) における Karsten Storetvet の反論とArkady Pilchin の応答― を歓迎する.このような討論の場を提供することは, NCGT の主要な目的の一つである.われわれは,討 論に加わってくれた両名に勇気づけられた.Storetvet による再帯磁についての興味ある個人的見解はp. 322-344 に掲載されている.

われわれは、尊敬する仲間 Boris Vasiliev が今年3月 に亡くなったという悲しい知らせを本号で報告しなくて はならない (p. 348).彼は初期 NCGT グループの活 動に積極的に参加し、何年にもわたって編集委員を務 めてくれていた.彼は、海洋地質に関する真実の発見 と地球の歴史の解明に一生をささげた偉大な海洋地質 学者であった.現在の海洋地質学に関するわれわれ の知識は、彼の献身的なはたらきに負うところが大きい. 歴史は氏の名を永遠に留めるであろう.Boris、安らか にお眠りください.

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

白亜紀にヨーロッパから溢れ出した恐竜

(柴 正博[訳])

拝啓 編集者様

白亜紀にヨーロッパから溢れ出した恐竜は、リーズ大 学からの何人かの研究者が関係している「ヨーロッパ の」恐竜の移住パターン研究についての短いメモを共 有することを望んでいる.それらの大きい恐竜化石デ ータベースのおかげで、彼らはヨーロッパと他の大陸 とを結びつけている白亜紀のあいだの「陸橋」の存 在の可能性を発見した.プレートテクトニクスのフレー ムの下では明らかに、これらの関係は想像し理解する ことが難しいが、これらは異なった地質構造のモデル の下では、もっともらしいという程度を越えることができた. 以下は関連する記事:http://www.telegraph.co.uk/science/2016/04/24/dino-brexit-bizarre-migration-saw-dinosaurs-flood-out-ofeurope/

敬具

Oscar Javier Arévalo Postgraduate Research Student University of Leeds, Leeds, LS2 9JT, UK oscarjarevalo@gmail.com

地球の地質学的理解への大幅な見直しの時期が到来した

(柴 正博[訳])

私は、長く存続しながら間違いである地質学の3つの 概念-コア・マントル・地殻、ならびび造山運動の根 本原因についての訂正を提案する.これらはこの手紙 の主題である.私の結論は、石油や金あるいは資源 鉱物などのいろいろな探査において、主に北米西部 における70年間にわたる野外地質調査から導きださ れた.最後の25年間、私は広く受け入れられた概念 に対して私の細心の注意を払いながら検討してきたが、 この概念は間違いであった.私は1つの事例を証拠づ け、私の主張を支持する、これまでは思いも寄らない 新しい岩石カテゴリーが存在することを明らかにした.

第1

最初の過ち:地球は鉄の核と岩石からなるマントルを 持つということ.これらはばかげたことである.地球は 巨大な遠心分離機:重たい要素が外側に蓄積し;軽 い要素が内側にある.外惑星のように,地球の核は水 素と希ガスであるに違いない.マントルは金属の水素 化物に違いない.そしてそれは強く圧縮された水素に 包まれた液相で,水素原子核を外周の電子リングが突 き刺して流動化した金属である.

地球の地殻は、マントルの金属の水酸化物と、水圏と 大気の非金属の間の反応の産物である.金属の水酸 化物、炭素とシリコン(CH₄とSiH₄)の変化は、ここで 莫大な役割を果たす:第1に、それらは最も豊富な水 酸化物であり、2番目に非金属との最初の接触におけ るそれらの反応が(強情である、私は言う)が、正確 には反対で:それが地殻の中で水または酸素に触れ るときにメタン(CH₄)は反応しない.それに対応して, シランSiH₄が,酸素と接触して,二酸化珪素SiO₂と 水素をもたらし,暴力的な反応を起こす.シリカは地殻 の65%を構成し,残りの35%は他の金属酸化物から なる.莫大な熱解放が,特に空気において同じくこの 反応に付随して起こる.これは,爆発性の火山活動と マグマ活動,地域の地下での溶融を説明する.それ はまた,通常考えるように地殻熱は地殻の基礎の下に 推定されることができないから,私たちの地球内部の熱 の知識が熱くないことを示すかもしれない.

第 2

私が発見した2番目の過ちに進んで;石油と石炭は化 石バイオマスの退廃の生産物ではない. どちらかと言 えば,それらはバクテリアによってそして養われる古細 菌で,それは2番目の豊富な水素化物,低温の地殻 上部のメタン(CH₄)によって生産される.私は私のそ の発見を,1999年12月に開催された石炭層におけ るメタンの問題についての会議で石油と石炭の起源に とっての非水酸化理論として発表した.会議の参加者 は、メタンが石炭によって作られたと考えた.私は彼ら に、彼らの見方が逆である:石炭がメタンを作らない: メタンが石炭を作ると言うことにほとんど成功を遂げられ なかった.論文は、会議の講演録として同業者に査読 されて、オランダの出版社 Kluwer から出版された.

第3

私が指摘する3番目の過ちは、水平な力が地球の地 殻に存在するという間違った考えである. これは次の文 脈において現われる:プレートテクトニクス,海洋底拡 大,ほとんど水平な断層移動と「異地性のテレーン」. これらすべての概念は失敗している. なぜならば、押 されている地塊の構成要素が混乱状態でお互いに対し て衝突しないような方法で想像可能な力が用いられるこ とがないからである. 私はすでに北米西部の多くの地 質構造の状況を研究して、1999年に「EXPANDING GEOSPHERES」という名前の本を出版した. 私はその 時、内面的な地球膨張が誤って主要な横方向の力に 帰されて大規模な変位(もしそれらがすべて存在する なら)とされていることを、説明しなくてはならないと思 った.この本のための口絵は、1960年代後半に私が 掘削した掘削井の数マイル北にある Brussilof 山のマグ ネサイト鉱山を上空から見たものである. 基礎金属包含 物をともなうそのマグネタイトは堆積性のものではなく、 カナダのロッキー山脈の地質学の確立された理解と一 致しない. それから山の頂上にマグネタイトがなぜ産出 するのかを私は理解できなかったので、その本ではそ れについて論評しなかった.

1960年代後半に水平断層の下で石油の見込みを探査していて、私は偶然に発見をした.しかし、それは石油ではなかった.私はアルバータ州のバンフの南のKananaskis湖の上部付近で多分平らな衝上断層の下に、石油で汚れたデボン紀のサンゴ礁を発見した.10マイル西の私の発見の予測は、ブリティッシュ・コロンビアのパリサー川へそれをもたらした.そしてそこは、カンブリア層の幅の広い背斜構造がKananaskis湖の上部のサンゴ礁を拡大した可能性をともなうデボン紀のテ

レーンをおおうようにアーチ状の断層があると解釈されていた.この推測を証明するために、私は背斜構造の 頂上に1000フィートの掘削井を掘削した.

唯一の断層を通過する代わりに、古生代の堆積岩の 中だった.私の掘削井の全部の長さは、塊状で、硬く、 層理をもたないまたは砕けさえしている、そしてたまに 赤鉄鉱で色づいて混乱した苦灰岩を貫いていた. これ らの結果は完全に、西の源からの東のロッキー山脈へ の堆積性のテレーン全体を説明する水平な断層の拡張 の存在とともに、石油の見込みの概念を破壊した.私 の人生のそのエピソードは1960年代末に起きた:そし てそれは 2016 年のはじめまで、なぜ予期されたよう層 理のある堆積層に代って赤鉄鉱で色づいて混乱した無 層理の苦灰岩を掘削したのかということを考えない日は なかった. 今日私は答えを知っている: 注入岩が私た ちの回復であった. 金属の水素化物ガスが, 圧力で地 殻を通って上方へ注入され、そして山岳地域で横方向 に広がった. マグネサイトは多分注入末期のフェーズ の生産物である. 注入岩は今日教科書において認識 されていない岩石の新しいカテゴリーである.

カナダと合衆国ロッキー山脈地域の2000 マイル以上 は、注入岩の竜骨の上に座るように想像されるかもしれ ない:すなわち、造岩鉱物の結晶の濃縮物である.こ の論述をチェックすることができる:コアはブリティッシュ・ コロンビアの鉱山施設部門に届けられ、そこに多分保 管されている.

> Charles Warren Hunt Professional Geologist. Bsc. 1945, Caltec Univ. archeanc@gmail.com

的外れの一撃 (赤松 陽[訳])

編集者へ

本ジャーナル最新号(NCGT, v. 4, p. 37-80)の長い記 事の中で,Arkady Ptlchin 氏は,古地磁気学研究は 信頼できないとの砲火をあびせている.彼は自らの論 文を以下のように結んでいる."この論文の最終結論は, 古地磁気学は,データあるいはその解釈をもとになさ れている大部分のあるいは全ての結論と同様に,多く の誤った前提や推定が行われ,データとその解釈の結 果を信頼できないものにしていて,当てにならないサン プルの選定に基づいている".Pilchin 氏の歯切れの悪 い断定的な見解は,主に鉱物物理学と鉱物化学に基 づきながら,論理的考察が地質学的・地球物理学的 立場へ模写され,その"まゆつば的"試みは客観的 論拠を欠いている.この論文は,古地磁気学の(新旧 の)論文から引用され,文脈を無視した短い断片的見 解で満たされている.しかしながら,引用された論文 は実際には10年以上も以前の時代遅れなものであり (Storetvedt 2016 参照),余りにも単純な想定と表現法 を使い続けているのは彼の護身のためである. つまり, (畑の農夫のように)いつまでも固執してくどくどと述べ ることは,そのような古地磁気の観測によって得た実際 の物理的内容には事実上なんら抵触ところはない. す べての科学において,習慣的な考えはかなり衰退して いて,一般的に,専門研究の健全な発展を妨げている.

化石残留磁気の方位,あるいはその根拠についての実 験・観察科学によるデータの信頼性を評価する主要な 要素は,研究者の分析技術-パターン認識として知ら れているまったく稀な能力である.もし分析的な能力が より広く普及していたら,古地磁気データの正確さが著 しく高まったことは確実で,場当たり的解釈は著しく減 少していたであろう.この重要な点は,見たところでは, Dr. Pilchinの理論的・物理化学的考察とはかけ離れて いる.彼の主張の大部分は、実際には古地磁気研究に 対する見当違か、理解不足である.基本的には、彼が 退けている研究分野における最小限の見識を説明しな がら、藪の周りを叩いている(的外れな)のである.

著者は、いかなる時でも、どのような実験的分野の専 門的な論文をも特徴づけている大部分の矛盾した結果 や結論に基づいて、古地磁気学や他のすべての観測 科学が基本的に運命を共にしているという事実を知らな いように思える. 例えば、古地磁気学と地震学は、そ れぞれ納得された公式の磁気学や弾性波伝播のよう に. ともに充分に立証された物理学の原理の上に確立 されている. 枢要な疑問は、地質の状態や作用が明ら かにされた時、これらの性質はどのような反応を示し、 あるいは変化するかということである. このように、今日 の地球につきものの地震学の成果は、1960年頃の私 が学生だった時代のそれらとは根本的に異なっている. 地球内部の一度きりの成層化は、特にマントルに関し て、次第にかなり混沌とした内部状態に置き換えられて いった. (ユニークな解答などあるはずがない地球物理 的な反転を通じての)内部の構造の解釈は、しばしば プレート構造運動の過程と結びついており、様々な著 者が、種々の地震の信号を使って、しばしば矛盾する 解答を提案する. 内部構造の複雑さは明確な事実で あり、深層掘削の結果は、上部地殻でさえわれわれの 伝統的予測とは著しく異なることを語っている.

それで、われわれが地球内部のはっきりした事実を待ち うけている間、地震学では過多の仮定と推定が勝るであ ろう.地表下深部の検認における解釈上のすべての問 題にかかわらず、現代の見解は、わずか数10年前のこ ととは根本的に異なっている.ほとんど同じことが地殻の 形成過程に対する古地磁気学についてもあてはまる.つ まり、現代的なGPS速度データがさらなる実証を与えた 結果、リソスフェアの移動は事実となった.その合間に、 われわれは、誰かが観察上の複雑性のカーテンの背後 にある包括的な姿をとらえ、理解出来る解答を提案する のを期待いるのである.

一般に、ある造構イベントで放出される熱化学的作用 による造岩鉱物の緩慢な変化の古地磁気的影響と構 造地質的重要性は、多くの岩石の多様な部分が磁性 をもつことにある。多くの古地磁気学の研究によって示 されているこの事実は、古地磁気学がグローバルテク トニクスにおいて主要な利点となった1950年代に公式 化された単純な室内実験にもとづく物理的推定とはほ ど遠い。それは何よりもまず個々の磁化作用を観察し、 識別し、分析的に分離する能力(パターン認識)であ り、さらに、固有の地球物理的、動力造構的関連を見 出す能力である。それらは実際に古地磁気学に重要 な地球物理的な科学としての資格を与えるものである。

しかしながら,他のすべての実験科学および観測科 学に対するケースのように,公表された古地磁気学の 研究結果の大部分は、結論を誤ったものあるいは好 ましくないものとするような不十分な扱いを受けている (Storetvedt, 2016 参照). これは科学としての古地磁気 学の欠点ではなく,むしろ,研究者の不十分な能力と 見識の結果である. たとえそうであっても, Dr.Pilchin は明らかに、再帯磁作用(ほとんどの場合は部分的) は、地球物理科学として本質的に古地磁気学の資格 を欠いていると信じている.しかし、これは重大な誤解 である. 実際にはその逆が真実である. 火成岩の固 結の初期の段階において,たとえば,酸化鉄粒子は, 早期の高い閉鎖温度("主に")の磁化作用を被った ようには思えない. 不運にも野外における多くの研究 者は、彼らの1950年代の慣習的で単純な卓上物理 学 (bench-physics) の概念をしつこく使用するため、む しろルーズで不正確である.たとえば、オリジナルなそ して主要な磁化作用や閉鎖温度というような地質学で 汎用される用語は、物理学では何を意味するのだろう か? さらに、古地磁気の磁界の spot reading の当然 備わっている概念を使うことは、地質学的な前後関係 に実際にはどのような意味を持っているのだろうか? そのような疑問を呈することによって、私たちは熱心な 議論の余地のある 1960 年代や 1970 年代の再帯磁論 争へと戻っている(たとえば Storetvedt, 1968, 1970 を参 照). 1976年のアムステルダムでの EGS 会議, そして, 1979 年のキャンベラでの IUGG 会議などが続いてはい るが、公式には、この議論は1970年代末に急速に収 束した (Storetvedt, 2016 参照).

再磁化作用や多様な部分からなる古地磁気学は, 1970年代の終わりまでに、専門的論文や会議の場に おいて"現代的"な表現へ再帰した. 古地磁気学界 において、これらの概念は大陸移動と極移動という2つ の概念と同じくらい重要な概念になった.うわべでは、 古地磁気学は大変革をくぐり抜けてきた. しかし, 実 際には(それは)認識されてはいない.専門的組織の そのようなうわべだけの変化は科学においてはごく普通 のことであり、Margolis (1993, p.2) は、"われわれが 者註)について語る時、われわれが本質的に話してい ることは、ある特種な種類の性質の変化である."と書 いて正確に要点をついた.私は、独立した1つの長大 な論文 (Storetvedt, 2016) の中で,長年続いている再 帯磁の議論の間に起こったいくつかの重要なできごと について個人的な報告を行った. 根深い信念は、科 学的な論拠だけでなく、興味、類似、そして問題の核 心の再評価の機が熟したかどうかという特別な観点に 適合させるための圧力に関連しているということを思い 出すことが重要である.

Arkady Pilchin 氏は実験に基礎を置いた HBT(high blocking temperature) 磁化作用に対する彼の討論に 限定を加えている,しかし,穏やかな低温度の酸化や 粘性の影響(討論のため Storetvedt,1968 を参照)は, 初期の高温度の成分と置き換わっているようである.実

際には、しばしば、多様な部分からなる古地磁気の記録を作りあげている実験的に償われた部分的な再磁化作用のイベントは、1950年代に地球物理研究者によって表明され、遺憾ながら未だに繰り返されている単純で多くの点で非現実的な推定よりは、たいへん広い地球物理的・構造的な全体像を物語っている.不運にも古地磁気学の多数の研究書にみられる多くの主張は、非現実的で、"いにしえの昔"からの説得術策はおろか、何も表明してはいない.

岩石形成における磁化作用のイベントの記録は、比較的 短命な造構 - マグマ作用による隆起によって中断された 長い無活動の期間によって特徴づけられている既成の断 続的な全地球の地質史と密接に関連しているようである. つまり、これらの地質学的な変革は、地表地質の記録に 地質時代の境界をしっかりはめ込んでいる実際の極移動 の明瞭な位相のように、地球の自転の変化によって誘発 されているようである (Sroretvedt,1997, 2003).

厳密に言えば、冷却固結マグマの冷却過程で生成した鉱物と残液の反応段階に続いてな鉱物の二次的変 質が起こるだろう.それはつまり、結合したマグマ反応 段階と連続する後マグマ反応段階の磁化作用の過程を 露わにした連続する構造 - マグマ性イベントの直接的 な結果である.相関的な古地磁気の磁場軸は、再磁 化作用のもっとも活発な期間のより短い期間よりは長い 時間間隔を越えて、地質時代の境界に調和し、しばし ば安定して残っているようにみえる.例えば、上部オル ドヴィス系から二畳系までの時代範囲を推論によってカ バーしている西ヨーロッパの公表された古地磁気の方 向についての初期の批判的調査(Storetvedt,1967)は、 卓越した相対的極移動が、その時代の地球の空間的 に 30°の反転に明らかに調和して石炭系 - 二畳系境 界付近に起こったということを暗示している.

したがって、赤道付近のふくらみと極の平坦(化)に関 連した変化は、下部地殻および上部マントルからの熱 化学的な作用物質を放出したようであり、(それは)お そらく西ヨーロッパの先上部石炭系の岩石への'二畳 系'の広範な磁化作用の重複が原因であるようである.

上述の考察に続いて、初期の(主要な)磁化作用 軸は、相互に一列に並んだマグマの冷却過程で の鉱物と残液の反応や反応後の穏やかな温度の 粘性のある化学的な磁化作用の成分を表している (Storetvedt,1968). それはおそらく100万年あるい はそれ以上遡って及ぶ期間を表しているのかもしれ ない.このように、個々の磁気を帯びた粒子は、残 留磁気獲得の早い段階(マグマの冷却過程での鉱 物と残液の反応や反応後の段階)の間のそれぞれ の時代の周囲の古地磁気磁場の方向をとるであろ う.そしてそれによって、地磁気の永年変化から効 果的な統合と平均化を引き起こしている.であるか ら、質の高い詳細な岩石生成の研究は、磁化作用 の綿密に分類された方向を明らかにしているようである. 地質や構造運動の歴史が、気まぐれに進行するのと 同様に、実際の極移動のダイナミックな現象もまた気ま ぐれである. 見たところでは、極移動の主要なイベン ト,地表の構造運動の卓越した段階,重要な部分的 な地磁気の重複の発生等の間には、密接な関係があ る(Storetvedt,1990,1997,2003を参照). さらに、極 移動にたいして初期の古気候に基づいた証拠を与えた (Kreichgauer,1902; Koppen and Wegener,1924)のと同 様に,公表された古地磁気の方位の決定的な評価は, 地軸の双極子の想定を真実のものとした (Storetvedt, 1997, 2003). さらに加えて、観察される極移動の経路 の大陸間の食い違いは、中 - 新生代の間に地球全体 のリソスフェアが分裂とそれに関連した運動の支配下に あったことを力説している. これらの運動は, ウェゲナー の移動説やプレート説よって述べられているように NOT であった.構造的な運動は惑星の自転のアルプス期の 変化によってコントロールされてきたようにみえる. まし てやプレート説によって主張されてきたことよりも全体的 に移動論的ではない (Storetvedt, 1997, 2003).

文 献

- Kreichgauer, D., 1902. Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl, Missionsdruckerei, 304p.
- Köppen, W. and Wegener, A., 1924. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, Gebrüder Bornträger, 255p.
- Margolis, H., 1993. Paradigms and Barriers. How Habits of Mind Govern Scientific Beliefs. Chicago, Chicago Univ. Press, 267 p.
- Storetvedt, K.M., 1967. A synthesis of Palaeozoic palaeomagnetic data for Europe. Earth Planet. Sci. Lett., v. 3, p. 444-448.
- Storetvedt, K.M., 1968. On remagnetization problems in palaeomagnetism. Earth Planet. Sci. Lett., v. 4, p. 107-112.
- Storetvedt, K.M., 1970. On remagnetization problems in palaeomagnetism: further consideration. Earth Planet. Sci. Lett., v. 9, p. 407-415.
- Storetvedt, K.M., 1990. The Tethys Sea and the Alpine-Himalaya 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), 456p.
- Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics. Bergen, Fagbokforlaget, 397p.
- Storetvedt, K.M., 2016. A personal history of the remagnetization debate: Accounting for a mobilistic Earth. NCGT Journal, v. 4, no. 2, p. 322-344.

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

K.M. Storetvedt 教授の手紙 ″ 的外れの一撃 ″ への回答

(矢野 孝雄[訳])

編集者へ

Storetvedt 教授は、最近New Concepts in Global Tectonics 誌に掲載された私の論文『古地磁気データは信頼できるか?:古地磁気の批判的分析(Is paleomagnetic data reliable?: A critical analysis of paleomagnetism): Pilchin, 2016』への批判として"的外れの一撃 A shot off target"という手紙を寄稿した.この寄稿に私は感謝するとともに、私の出版物への批判を私はつねに歓迎している.というのは、批判は私に見直しの機会を与え、この問題における私の立ち位置をより良く解明してくれるからである.

私の論文で,私は古地磁気学におけるもっとも重要な 前提条件 (P1 ~ P4) と仮定 (A1 ~ A6) を議論した (表 1参照).

鉄酸化物の安定条件と第一鉄酸化物から第二鉄酸化 物への転換(TFFI)の条件に反するこれらの想定と仮 想を解析すると、これらの教義が偽りであり、間違って 認められてきたか、あるいは、間違って解釈されてきた ことがわかる.さらに、初期の古地磁気学、ならびに、 より最近の試料選択の実態を検証した結果、次のこと がらも明らかになった.試料選択に適するとされる温度 範囲内での鉄酸化物の不安定性という事実のために、 諸試料は、これまでも、そして、現在でも適切であると 認められているようである.また、世界中に厖大な数の 強い磁気異常が存在し、磁極よりも遥かに強い磁場が 存在することも明らかになり、地球中心軸を通る双極子 (GAD)仮説/モデルを大きく撹乱する.とくに、始生 代~前期原生代に形成された夥しい数の縞状鉄鉱層 が世界中に存在し、地球の磁場強度よりも数倍も強い 磁場をもたらしている.

驚くべきことに、Storetvedt 教授は、その手紙のなか で、問題の前提条件や仮定、試料選択の方法、さら には認知された研究結果に影響をあたえる強い磁気異 常の役割について、何も述べていない、そのかわり、 Storetvedt 教授は、私の論文(Pilchin, 2016)の結論 にかかわりのない、古地磁気学の歴史ににかなり焦点 をしぼって論じていて、適切な議論を困難にする.

古地磁気的想定と仮定、ならびに古地磁気学における 研究方法の解析結果として、私の論文は、「古地磁気 学は根拠のない想定と仮定, 信頼できない試料選択, 信用のおけない解釈にもとづくデータや結論の修正, それらの結果として、すべてではないにせよ、ほとんど の結論が改ざんに由来する」との結論に達した(Pilchin, 2016, p. 37). 古地磁気学の研究に生涯の大半をささ げた Storetvedt 教授は、そのような結論を不快に思い、 そのために次のように述べた. 「Pilchin のなまくらで断 言的な記述は基本的に鉱物物理 - 化学にもとづいてい るが、地質学的・地球物理学的状況への論理的考察 を伝えようとする喧伝された試みは現実的基礎を欠い ている」、そして、「化石残留磁化方位、あるいは、そ の問題にかかわる実験および観測科学からのデータの 信頼性にかかわる最先端の要素は研究者の分析能力 - "パターン認識"として知られている著しく希少な能 カーである.もし分析能力がより広く普及していたとす れば、古地磁気データの精度がはるかに高くなってい たことは明らかであり、場当たり的解釈は大幅に減少し ただろう. Pilchin 博士の論理的な物理 - 化学論考は,

表1 古地磁気学における主要な前提条件(P:Postulate)と仮定(A:Assumption). Pilchin (2016)より. [表の翻訳:小泉ほか(2016)]

前提条件/仮定	説明
P1	岩石の形成時に、それらの形成時代と場所に存在している地磁気場の方向に磁化された(初生磁化)*.
P2	後天的残留磁化は、全地質時代を通じて岩石中に保持されている*.
P3	任意の時代の平均された地磁気場は,地球の自転軸に沿った双極子(地球の中心軸の双極子;GAD)磁場である*.
P4	NRM取得は, 正確に年代を決めることができ, しばしば岩石の形成時代と一致させることができる(例えばRochette and Vandamme, 2001).
A1	熱残留磁気(TRM)は, 磁場の存在でキュリー温度(Tc)以上の冷却によって形成される(例えばCox and Doell, 1960; Butler, 2004).
A2	ブロッキング温度(キュリー点以下)以下で,磁化は事実上ブロックされ,岩石は地質学的に有意なTRMを獲得する (例えばTauxe, 2002).
A3	古い岩石中の古地磁気残留の安定性は, 起源の強磁性鉱物と粒子の大きさにそもそも支配されている(例えば Butler and Banerjee, 1975).
A4	すべてのサンプルの消磁をしないで得られた結果は,構造解析に使われるべきでない(例えばVan der Voo, 1990).
A5	熱消磁("クリーニング")を通じて,「選択された高温T以下の妨害温度を持つ粒子に起因する磁化は破壊されている」 が,「妨害温度TB>Tを持つ粒子に起因する残留磁気はほぼ完全に影響されない」(Creer, 1967, p. 287)
A6	堆積残留磁気(DRM)は, 堆積岩の堆積と岩石化作用で生じる強磁性粒子の物理的な整列で獲得される(例えばCox and Doell, 1960;Butler, 2004).

*Cox and Doell, 1960; Merrill et al., 1996による; 前提条件P1とP2は, 普通, 密接に関連している.

この決定的な要点を完全に見逃していることは明らかで ある.実際,彼の主張の大半は、古地磁気研究に対 して妥当性を欠き、的外れなのである.」

この指摘に対して、まずは、Storetvedt 教授が「鉱物 物理-化学」ならびに「論理的な物理-化学論考」 とよぶものについて検討してみよう.酸化物とよばれる 鉱物群が存在するが、私の論文ではほとんど取り上げ なかった. その論文で議論した唯一の酸化物は"鉄酸 化物 "- FeO (酸化第一鉄あるいは wustite ウスタイ ト), Fe2O3 (酸化第二鉄), および酸化第一-第二 鉄 FeO × Fe2O3 (magnetite 磁鉄鉱) - である. こ れら相互の間では、熱力学的条件に応じて、私の論 文 (Pilchin, 2016) の式 (1) [4FeO \rightarrow Fe + FeO \times Fe2O3] にしたがって転換が起きる。地殻中の主要 な磁性鉱物(自然鉄を除く)はすべて, Fe2O3 [α 相,赤鉄鉱]を主とする鉄酸化物を含んでいる.それ は、あらゆるフェライト (ferrite, 磁性材料: 酸化鉄を 主成分とするセラミックスの総称で、CaO × Fe2O3; CaO × Fe2O3; MnO × Fe2O3 など)の主要要素で あり、 準安定的な y 相 (maghemite マグへマイト: 酸 化第二鉄の総称)および他の磁性鉱物を形成する. これらの鉄酸化物を含む鉱物は、残留磁気を含む岩 石磁気の原因となる. これらの鉄酸化物が "あまり重 要でない"ことを示唆し、古地磁気学との関係性を軽 視するのは完全な誤りである. そうではなく、特定の 熱力学条件におけるこれらの鉄酸化物の間での転換 は,磁気特性と岩石残留磁気,単一ドメイン,古地磁 気学に重要な他の鉱物形成などを制御しているのであ る. さらに, 鉄酸化物の安定条件は実験的に解明され ていて、それと同様に酸化第一鉄から酸化第二鉄へ の転換(TFFI)は473-523K~729-843Kの温度範 囲で起き(たとえば, Pilchin and Eppelbaum, 2006; Pilchin, 2011; Eppelbaum et al., 2014), "論理的な 物理-化学"論考の産物ではない.これは、私の論 文 (Pilchin, 2016) のうち, "鉄酸化物の安定条件"と 題した章で (Pilchin, 2016; pp. 4-6) すでに示した ものである. そして, 実際の実験的証拠を無視しよう とする Storetvedt 教授の試みにはまったく驚かされる. さらに、このような数百もの実験結果が私たちの論文 (Pilchin and Eppelbaum, 2006, 2007; Pilchin, 2011; Eppelbaum et al., 2014;ほか) に記述・記載されている. 473K 以下で起きる鉄含有化合物から赤鉄鉱へというも う1つの転換は錆の形成であり、それには水と酸素が必 要であり、実験によっても確認されている. それゆえ、 Storetvedt 教授が私の論文における"論理的な物理 -化学論考"について氏が述べていることがらはよくわか らない.表1に列記された前提条件と仮定を検証するた めに Pilchin (2016) が用いた方法と手続きは厳密に実 験的で、いかなる特別の論理をもちいていない.

Storetvedt 教授の手紙の大半は,再帯磁の問題を次のように議論している.「Pilchin博士は,再帯磁作用について,地球物理学自らが古地磁気学を定量化させな

かったと信じていることは明瞭だ、と述べたが、これはとんでもない誤解である.実際には、逆が正しい.たとえば、火成岩の初期冷却作用において、酸化鉄粒子がその当時の高温の閉鎖温度において(初生的)磁化を獲得することはないだろう」、と.

しかしながら、再帯磁作用はきわめて単純に説明され る. すなわち, いかなる再帯磁も, 岩石あるいは鉱 物試料中の磁性成分の化学的変化を必要とする. 再 帯磁についての議論は、必然的に P1, P2 および P4 (Pilchin, 2016 を参照) を仮定する. なぜならば, 初 生磁化方位が変化し,獲得された残留磁気は地質学 的時間にわたって岩石中に保持されず、自然残留磁 気を獲得した詳細な年代は不明であるからである. さ らに、それは、仮定 A2 に矛盾する. というのは、磁 化の閉鎖温度という概念はなりたたないものも、実際に は再帯磁が起きるからである. これは Van der Voo and Torsvik (2012; p. 23) の次の記述に合致する.「岩 石磁気において古くから知られていた再帯磁は、岩石 の形成や堆積そのもののよりも、かなり後で獲得される ことが明確に示された. | これは,再び,前提条件 P1, P2 および P4, ならびに仮定 A2 に矛盾する (Pilchin, 2016 参照). さらに, Van der Voo and Torsvik (2012, p. 24) は、「厳密に定義すると、再帯磁は、消磁された 物質中に再生する残留磁気であり」、「いっぽうで、古 地磁気研究者たちには、再帯磁した岩石が以前に別 の磁性(後に,確実に消失する)をもっていたかどう かは一般に不明である.

初めて TFFI 温度範囲(843-729K ~ 523-473K)を 通過して冷却するときに形成され,その後,温度が 473Kを下回るようになると岩石や鉱物に磁気成分が 形成される.それ以降,473Kよりも降温したり,再び 473Kよりも昇温したとしても,再帯磁にかかわる諸作用 は局所的あるいは地域的条件に強く影響される.その ような変化は約473K以上への再加熱にかかわって起 こり,含鉄珪酸塩の分解による新しい磁鉄鉱の形成, あるいは,磁鉄鉱および/あるいは含鉄鉱物の分解に ともなう赤鉄鉱や針鉄鉱の形成に関連している.いず れの場合も,局所的熱力学条件と地域の岩石を構成し ている鉱物種によって優先的に強く影響されるが,基 本的には「岩石中の磁気成分における化学的・物理 的変化の副産物である」(Pilchin,2016; p. 10).

これは、次のようないくつかの事例によって実証される. Turner et al. (1978) は、スコットランド北部 Caithness 旧赤色砂岩層序の湖成ユニットにおいて、硫化鉄が過 熱されて酸化し、新しい磁鉄鉱粒子が生成したことを報 告している. Van der Voo and Torsvik (2012) も、Fe-硫化物の酸化作用が新しい磁鉄鉱粒子を形成したこと を報告している. さらに彼らは、シシリー泥灰岩が磁鉄 鉱を含んでいて、硫化物の形成後にもそれが残留し、 再帯磁をもたらす二次鉱物として磁鉄鉱を生成したこと を報告した. Torsvik et al. (1987) は、1時間の加熱 後の段階的熱消磁過程で二次鉱物が生成したことを報告した. 同様に、ノルウェー西部 Hasteinen 地域における19世紀の遺跡におけるある種の鉱物相から磁鉄鉱が二次的に生成した可能性があることが指摘された.

再帯磁の典型例は赤色層の形成で,磁鉄鉱から赤鉄 鉱への転換をもたらす. この作用には多くの重要な要 素(酸化条件の存在,水と酸素の供給,および,そ れらと磁鉄鉱との適切な接触,磁鉄鉱の粒子サイズ, 赤色層中での磁鉄鉱粒子の位置、温度、および他多 数) がかかわっているために、長い時間がかかる、こ れらの要素のいくつかが、岩石とそれらの磁性の形成 後、長い間(数千万年)をかけて再帯磁の契機をつ くってきたのだろう. Trench et al. (1988) は, スコッ トランド南西部 Ballantrae オフィオライトの特徴的残留 磁気を説明するには、最大で3,000万年という再帯磁 期間が必要であると報告し、多くの場合には複数回の 再帯磁が知られている (Storetvedt and Carmichael, 1979; Torsvik et al., 1989; Van der Voo and Torsvik, 2012). Torsvik and Sturt (1988) は, Moine 衝上帯 においてオルドビス紀中期~第三紀 / 現在にわたるお もに4つの二次的残留磁化要素を報告した.

赤色層の形成について、もう少し詳しく見てみよう.赤 鉄鉱が磁鉄鉱の二次的生成物であることはよく知られ ていて (Pilchin, 2011, 2016), 赤色層の全堆積物 が短時間で形成されたものではないことを意味してい る.赤色層は堆積岩であり、古地磁気学的観点からは (Pilchin, 2016 の 仮定 A6 参照), のちに赤色化するあ る単層の堆積時に「キュリー温度よりも高温で結晶化 する火成岩類とはちがって, 砕屑粒子はすでに磁化し ている. 自由回転する磁性粒子は、ちょうど磁針のよう に磁場方向に向くだろう. そのような粒子群の全磁力が 空間内で固定されれば, 堆積性残留磁気 (depositional remanent magnetization: DRM) が形成されるだろう」 (Tauxe, 2010; 7.6 章). これは、これらの粒子の閉鎖 温度がすでに設定されていることを意味する.赤鉄鉱 は磁鉄鉱の二次的端成分であり、赤鉄鉱は初生的堆 積物の中ではわずかであったことは明らかである. さら に,多数の事例において,研究者たちは赤鉄鉱を含 む岩石の開鎖温度を823~953Kという極端な高温に 設定している (Pilchin, 2016). 赤色層を形成する岩石 の再帯磁は堆積岩生成時の温度(比較的低度の変成 作用で、TFFIの温度範囲内)よりは高くはなりえず、 赤色層の形成はそれらの粒子の閉鎖温度よりも低温 で起きるだろう. これは、赤色層の磁性成分がほぼ純 粋な赤鉄鉱に転換するプロセスのすべてが、仮定A2 (Pilchin, 2016) に反することを意味する.

Storetvedt and Carmichael (1979) は、スコットランド 北部の John O'Groats 砂岩試料の自然残留磁気の担 体がもっぱら赤鉄鉱である(もともとの磁鉄鉱はまったく 残存しない)と報告し、これらの堆積物では第一鉄酸 化物が完全に赤鉄鉱化していることを事実をもって示し ている.同様に、ルチルの存在は、チタン鉄鉱が赤鉄 鉱に完全に酸化していることを物語る.赤鉄鉱の形成 はデボン紀にはじまり、ジュラ紀に終わったようにみえる が、それが継続的であったのか、それとも、断続的であっ たのかは定かでない.他方、Torsvik et al. (1989) に よれば、スコットランドの Western Old Red Sandstone にはさまれる Esha Ness 玄武岩・安山岩類には、チタ ンに乏しい磁鉄鉱が優占している.

Storetvedt 教授と幾人かの古地磁気研究者(たとえば, Storetvedt and Carmichael, 1979; Storetvedt et al., 1990; Torsvik et al., 1987, 1989; Van der Voo and Torsvik, 2012; など)は、造構作用が再帯磁に影響 するという.しかしながら、造構運動の影響はこの問題 では主要なものではない.というのは、いかなる造構 作用も、反応を起こし、持続させるのに十分なエネル ギーを必要とするからである.造構作用と再帯磁の間 に直接的関連性はなく、両作用はともに熱力学的条件 の変化の由来する.

そのような変化の最良の事例は、蛇紋岩化作用である. かんらん石 $(Mg,Fe)_2SiO_4$ [通常は苦土かんらん石と鉄 かんらん石との固溶体] の蛇紋岩化の過程で、苦土か んらん石成分 Mg_2SiO_4 は著しい体積膨張(40% に達す る; Hess 1955) を伴って蛇紋岩に分解する:

 $2Mg_2SiO_4 + 3H_2O = Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + Mg(OH)_2$ (1)

そして,鉄かんらん石成分 Fe2SiO4 は磁鉄鉱と珪酸に分解する:

 $3Fe_2SiO_4 + 2H_2O = 2Fe_3O_4 + 3SiO_2(aq) + 2H_2$ (2)

鉄かんらん石は 523K 以下の温度では不安定で (Deer et al., 1982), さらに分解する (Deer, 1997):

$$Fe_2SiO_4 \Leftrightarrow 2Fe + SiO_2 + O_2$$
 (3)

$$3Fe_2SiO_4 + O_2 \Leftrightarrow 2Fe_3O_4 + 3SiO_2$$
 (4)

造構作用への影響は、式(1)による苦土かんらん石の 蛇紋岩化にともなう大きな体積増加によってもたらされる. いっぽう、磁気的影響はすべて鉄かんらん石の分解に よってもたらされ、反応(2)、(3)あるいは(4)のい ずれかによる新しい磁気成分が形成されることは明らか である.しかしながら、これら2つの作用の間に強い結び つきはなく、再帯磁は新しい磁気成分の形成に起因し、 蛇紋岩化作用からの造構的影響によるものではない.

Storetvedt 教授は「Arkady Pilchin は, 自らの議論を 室内実験にもとづく高い閉鎖温度下での磁化に限定 している」という. 閉鎖温度は, 私の論文では仮定 A2に示され (Pilchin, 2016), 他の前提条件と仮定に 沿って議論が展開されている. 同時に, 古地磁気試 料の閉鎖温度は、キュリー点と同様に、室内実験、交流消磁実験、段階的熱消磁などで認められ、これは Pilchin (2016)でも考察された.

閉鎖温度は、研究初期に単一ドメインについて解析され (たとえば、Néel, 1949; Dunlop and Xu, 1994), その 後、Néel (1955) が複合ドメイン説を展開した. ノーベ ル賞受賞者 Louis Néel が提唱したこれらの論理は、古 地磁気学におけるもっとも基本的なものである. さらに複 合ドメインへの拡張が試みられた(たとえば、Dulop and Xu, 1994). 閉鎖温度(TB)は、残留磁気がどのよう に獲得され、それがなぜ地質学的時間にわたって保持 されるのかを説明するのに用いられ、この概念は古地磁 気学においてきわめて重要である. 磁気ドメイン説は、 さまざまな磁性体に関する多数の実験結果の総括にもと づく典型的な経験的学説である. 磁鉄鉱の平均閉鎖温 度 811K である(たとえば、Dunlop, 1981).

閉鎖温度以上かつキュリー温度以下では、磁性粒子 は超常磁性を示す(たとえば、Tauxe, 2002). 粒子 がキュリー温度以下に冷却すると、磁性モーメントが固 定され(たとえば、Tauxe, 2002), ある岩石中では、 個々の粒子がそれぞれの閉鎖温度をもつ(たとえば、 Tauxe, 2002). 2つの温度の間まで岩石を冷却する と、粒子部分だけが"閉鎖"される(たとえば、Taux, 2002; p. 58).

古地磁気学は信頼できない,というべきである.それは, 前提条件と仮定が時期尚早の段階でありながら研究者た ちに利用されているからではなく,彼らのほとんどが鉄酸 化物の安定性についての条件を無視したり,反して用い, それらの多く(たとえば,段階的熱消磁)が第一鉄酸化 物から第二鉄酸化物への変換(TFFI)温度範囲内で行 われているからである.これは,容認できない.

結論としては、Storetvedt 教授による手紙(2016)は 私の論文(Pilchin, 2016)の主題からはずれたもので あり、古地磁気学が到達した決定的結論を議論したも のでもなく、私の提案を否定する氏の試みはほとんど 成功していない、ちなみに、Storetvedt 教授は氏の未 公表論文をしばしば引用しているが、これは読者の理 解をより困難にしている.

文 献

- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1982. Rock-Forming Minerals: Orthosilicates, v. 1A, 2 edition, Geological Society of London, 932p.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1997. Rock-Forming Minerals: Single-chain Silicates, v. 2A. Geological Society London, 668p.
- Dunlop, D.J., 1981. The rock magnetism of fine particles. Phys. Earth Planet. Inter., v. 26, p. 1-26.

Dunlop, D.J. and Xu, S., 1994. Theory of partial

thermoremanent magnetization in multidomain grains: 1. Repeated identical barriers to wall motion (single microcoercivity). Journal of Geophysical Research, v. 99, is. B5, p. 9005–9023.

- Eppelbaum, L., Kutasov, I. and Pilchin, A., 2014. Applied Geothermics. Springer, 751p.
- Hess, H.H., 1955. Serpentinites, orogeny and epeirogeny. Geological Soc. of Amer. Special Paper 62, p. 391-407.
- Néel, L., 1949. Théeorie du traînage magnéetique des ferromagnéetiques en grains fins avec application aux terres cuites, Ann. Géeophys., v. 5, p. 99-136.
- Néel, L., 1955. Some theoretical aspects of rock magnetism. Advances in Physics, v. 4, p. 191–243.
- Pilchin, A.N., 2011. Magnetite: The Story of the Mineral's Formation and Stability. In: Dawn M. Angrove (Ed.) Magnetite: Structure, Properties and Applications i0. Nova Science Publishers, New York, Ch. 1, p. 1-99.
- Pilchin, A., 2016. Is paleomagnetic data reliable?: A critical analysis of paleomagnetism. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 4, no. 1, p. 37-80.
- Pilchin, A.N. and Eppelbaum, L.V., 2006. Iron and Its Unique Role in Earth Evolution. Monograph, Mexican Geophys. Soc. 9, National Univ. of Mexico, 68p.
- Pilchin, A.N. and Eppelbaum, L.V., 2007. Stability of iron oxides and their role in the formation of rock magnetism. Acta Geophysica, v. 55, no. 2, p. 133-153.
- Storetvedt, K.M., 2016. A shot off target. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 4, no. 2, p. 150-153.
- Storetvedt, K.M. and Carmichael, C.M., 1979. Resolution of superimposed magnetizations in the Devonian John O'Groats Sandstone, North Scotland. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v. 58, Is.3, p. 769–784.
- Storetvedt, K.M., Tveit, E., Deutsch, E.R. and Murthy, G.S., 1990. Multicomponent magnetizations in the Foyers Old Red Sandstone (northern Scotland) and their bearing on lateral displacements along the Great Glen Fault. Ceophys. J. Int., v. 102, p. 151-163.
- Tauxe, L., 2002. Paleomagnetic Principles and Practice,v. 1. Kluver Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands.
- Tauxe, L., 2010. Essentials of paleomagnetism i0. Berkeley: University of California Press. 489p.
- Torsvik, T.H., Sturt, B.A., Ramsay, D.M. and Vetti, V., 1987. The tectono-magnetic signature of the Old Red Sandstone and pre-Devonian strata in the Hasteinen area, Western Norway, and implications for the later stages of the Caledonian orogeny. Tectonics, v. 6, no. 3, p. 305-322.
- Torsvik, T.H. and Sturt, B.A., 1988. Multiphase magnetic overprints in the Moine Thrust Zone. Geol. Mag., v. 125, no. 1, p. 63-82.

Torsvik, T.H., Sturt, B.A. and Ramsay, D.M., 1989. On

the origin and the tectonic implications of magnetic overprinting of the Old Red Sandstone, Shetland. Geophys. Jour. Int., v. 99, p. 749-759.

- Turner, P., Vaughan, D.J. and Tarling, D.H., 1978. Palaeomagnetic and mineralogical studies of Devonian lacustrine sediments from Caithness, Scotland. Phys. Earth planet. Int., v. 16, p. 73-83.
- Van der Voo, R. and Torsvik, T.H., 2012. The history of remagnetization of sedimentary rocks: deceptions,

developments and discoveries. In: R. D. Elmore, A. R. Muxworthy and M. M. Aldana (eds.), Remagnetization and Chemical Alteration of Sedimentary Rocks. Geological Society, Special publication, 371. Geological Society, London, p.23-54.

Arkady Pilchin, Ph.D. Universal Geoscience & Environmental Consulting Company arkadypilchin@yahoo.ca

原著論文 ARTICLES

メキシコ湾岸のネオテクトニクスおよび合衆国の活リフト運動と活ねじれ運動: プレートテクトニクス破綻の物語

Neotectonics of the Gulf Coast and active rifting and wrenching of the United States: A tale of broken plate tectonics?

Ghulam Sarwar Independent Consultant, Houston, Texas, USA gsarwar45@gmail.com

(小泉 潔 [訳])

要旨:北アメリカ大陸塊は,顕生代に何回もの造山輪廻を繰り返してきた.現在,アメリカ合衆国の東側3分の1は大西洋側からの圧縮場にあり,西半分は主に引張場あるいはねじれ運動場にあり,南部のメキシコ湾岸はメキシコ湾(GOM)方向の引張場にある.メキシコ湾岸の引張は,南北アメリカ間の前期中生代リフト運動に由来し,GOM海盆における第三紀の成長断層に関連している.このリフト運動には,その北側にひろがる多数の北西および南東走向の断層にも関連していて,とくに北西-南東走向のトランスファー断層が中生代以来に間歇的に活動してきた.今のところ,それらは,大陸内部とメキシコのリフトとねじれに調和的なねじれ運動と関わっているように見える.メキシコ湾岸とメキシコ湾のリフト運動とねじれ運動は,筆者や多くの研究者による10年以上にわたる地表地質・歴史地震・重力・海底地形・地震活動・ボーリングデータなどに関わる研究によって支持されている.慣習的に認められてきたプレートテクトニクスがメキシコ湾岸とメキシコ湾の複雑な地質現象や大陸全体の"プレート内部"を説明することができるか,あるいはプレートテクトニクス物語が破綻しているのか,われわれは岐路にある.

キーワード:ネオテクトニクス,アメリカ合衆国,メキシコ湾岸,リフト運動-ねじれ運動

はじめに

アメリカ合衆国の大陸塊は、原生代~完新世岩石のコ ラージュから構成されている. その期間には時代の異 なる造山輪廻が、それらの形成以来程度の差はあるが 不安定な多くの堆積盆地をつくった(図1). その進行 中の地殻の造構応力場が、絶対的に有力なプレートテ クトニクス理論の観点から記述されてきている. Zoback and Zoback (1981, 1989) によると、アメリカ合衆国東 部と中央部のほとんどは、最大水平圧縮(図2A)の 方向の北東~東北東方向が特徴である. それは絶対 的なプレート運動と一致し、海嶺が大西洋から北アメ リカの方向に押している方向である. 北アメリカプレー トの底部の引っ張りは二次的なものであるかもしれな いが、応力については弱い要因である (Zoback and Zoback, 1989). (2016年5月10日受付, 2016年5月23日受理)

アメリカ合衆国西部は、引張テクトニクスで特徴づけられる. ただし、それぞれ太平洋で潜り込んでいるフアンデフカプレートからの北東圧縮と、走向すべりに規制されている太平洋北西部とサンアンドレアス地域は例外である(図2; Zoback and Zoback, 1989). この広域のコルディレラ東北東 - 西南西方向の引張が、ベーズンアンドレンジ地域とリオグランデリフトを規制している. この二地域に挟まれたコロラド高原はこの引張場の一部であるが、漸新世以来密着した大地殻ブロックとして隆起してきた.

サンアンドレアストランスフォーム断層の発達以前(30Ma 後),ファラロンプレートは前期新生代にアメリカ合衆国 (及び中南米)の西海岸に潜り込んでいるとされ,これ はベーズンアンドレンジ引張の始まりと関わりがあるとされ てきた(Atwater, 1970; Atwater and Molnar, 1973; Engebretson et al., 1985; Parsons, 2006 ほか参照).ベー



図1 アメリカ合衆国東半部の先カンブリア紀基盤;OA:ウォシト川オー ラコゲン;RCG:ラフクリーク地溝;RFR:リールフットリフト;RT:ロー マ海溝;BT:バーミングハム海溝;OB:オーリン盆地;FWR;フォートウェ インリフト;ECRB:東部大陸リフト盆地;LPCM:後期古生代大陸縁.ウォ シト川オーラコゲン・リールフットリフトやバーミングハム海溝等の多く のリフトの現在の地震活動は、メキシコ湾岸の安定性に疑問を提起し ている(クレジット:Kentucky Geological Survey, 2000).



図 2A アメリカ合衆国本土全体の応力分布図.外向きの矢印は引 張変形を受けている地域で,内向きのものは圧縮造構運動(スラスト と横ズレ断層)優勢の地域を示している.応力の範囲は太い破線で 表現されている.CC:カスケード収束領域;PNWE:太平洋北西部; SA:サンアンドレアス断層領域;CP:コロラド高原内部;SGP:南部大 平原(Zoback and Zoback, 1981;1989による).

ズンアンドレンジ地域はこの潜り込み帯の東部からはるか に離れているので、非常に低角度の潜り込み帯は、そ の周辺の背弧型のリフト運動をうまく説明するためにその ようにされている。フアンデフカ・エクスプローラ・ゴルダ・ ココス及びナスカプレートと名付けられたファラロンプレー トの名残は、太平洋プレートがサンアンドレアス断層(図 2B)に沿って北方に滑り動いているように、未だにアメリ カ西岸に沿って潜り込んでいるとされている。

メキシコ湾(GOM,図2A)に面する海岸に平行な第 三紀と第四紀の成長断層の影響で南方へ引張している ので、アメリカ合衆国の南部メキシコ湾岸地域は、前述し てきたこととまったく異なっている.これが超大陸パンゲア (Pilger, 1981)がリフト運動中の前期中生代に、メキシ コ湾の誕生と進化が起きている.



図 2B アメリカ合衆国西部全体のプレートテクトニクスの骨格.北西 海岸沖の右ズレのサンアンドレアス断層帯とフアンデフカ潜り込み帯 に注目 (クレジット:アメリカ地質調査所).

Reed (1995) は、GOM におけるリフト運動が白亜紀 以降に生じたこと主張した. Zimmerman (1995) は、 中生代と第三紀の地層(その多くはルイジアナ州のも の)に影響を及ぼした北部と中央メキシコ湾岸における ねじれ運動 (wrench movement) *について論じた.

* 訳者注 レンチテクトニクス (wrench tectonics); 連続や変 位が非常に良好であり, 深部の基盤をも変形に巻き込んで大 規模に発達する高角の走向移動断層をレンチ断層という. レ ンチ断層の形成をもたらすような横ずれ成分の卓越する応力 場における構造運動を総称してレンチテクトニクスという. 地 殻の最大短縮の方向と最大伸長の方向がともに水平面内に ある応力場において展開され, 横ずれ運動に伴うねじれ作用 (wrenching) が特徴的である.

レンチテクトニクスによって発達する構造要素は、応力楕円 によって模式的に表現されるような特徴的な発達方向・配列 様式を示す.すなわち、最小主応力方向にほぼ平行な軸を もち主レンチ断層に沿って雁行状に配列する褶曲・逆断層、 最大主応力軸にほぼ平行に発達する正断層、その両者に斜 交する方向に発達する走行移動断層等からなる.また、レン チ断層を挟んで相対する地質体の移動方向が斜め(oblique) である場合に、フラワーストラクチャーが形成されることがある. レンチ断層は衛星画像上において、大規模なリニアメントと して比較的容易に抽出される.また、上記の構造要素の配 列状況に着目することによって、レンチテクトニクスの場を画 像上で認定することが可能となる.それによって、石油探鉱 の予察段階においてその地域に発達する堆積盆地・トラップ のタイプ・性質等の予測に関して、貴重な情報が提供される. (http://mh.rgr.jp/memo/mq0196.htm より)

本論は、アメリカ合衆国のメキシコ湾沿岸が、おそらく プレートテクトニクスという専門用語を支持する受け身的 な沿岸ではない(Sarwar、2002;2003)という、最近 30年以上の筆者の観察に基づいている.代わりに、メ キシコ湾岸は、今日まで継続しGOMにまで及ぶ完了 した一時的な変形という意味では、活動的だったように 見える.それ故、'活'という語の使用は、ここではテ クトニックな意味であり、プレートテクトニクスの意味とは 異なっている.

従来のプレートテクトニクスは、上記の運動をどれだけ 説明したり、あるいは地質学的に永続的で異なったス トーリーーおそらく破綻したプレートテクトニクスーを伝え る一時的な"プレート内部"の運動や海岸の変形なの だろうか?

歴史的展望

メキシコ湾(GOM)は、南アメリカから北アメリカが分 離した三畳紀からジュラ紀に形成されたリフト盆地として 始まった(Pilger. 1981; Buffler and Sawyer, 1985; Salvador, 1987). 蒸発岩層が前中期ジュラ紀のリフト 運動により生じ、それに引き続き後期ジュラ紀に海洋底 が拡大した.そこに岩塩のない海洋地殻が作り出され た(Salvador, 1987; Buffler, 1991).海洋地殻は浅 海の南部カンペチェ盆地の岩塩と深海の Louann 岩塩 を分離した(John Dribus 私信, 2016). 盆地は白亜紀 に冷却し沈降した.それは炭酸塩プラットフォームと調 和的である.後背地の隆起による砕屑性堆積物が新生 代に優勢になった.ミシシッピー川は、フロリダ州の西 側で支配的な要因になった. 広大な盆地は、多様な基盤の性質によって複数のブ ロックに分割されている. それらのブロックの構造的境 界は、海洋底拡大の方向にほぼ垂直に発達したトラン スファー断層でハッキリしている (Lister et al., 1986). 北部のメキショ湾リフト盆地が、いくつかの北西 - 南東 方向に延びるトランスファー断層によって右横ズレに分 割されているのが,現在普通に見られる (図 3A・7・9; Adams, 1997; Huh et al., 1996; Stephens, 2010). しかしながら、現在の盆地の広域衛星観測重力デー タでは、GOM 盆地が北部では前期ジュラ紀に、南部 では後期ジュラ紀に開いたことを示していると説明され ている.示されているように、後期ジュラ紀の海洋底拡 大は、メキシコの沿岸に沿った北北東方向からフロリダ 州では北東方向に変わるトランスフォーム断層に伴っ て、北方へ凸の大きく弓形になった海嶺系に沿って起 きているように見える (図 3B, Sandwell et al., 2014; Mann, 2016). それ故, 北西 - 南東方向のトランスファー 断層のセットが、新たに浮かび上がった衛星観測重 力分布パターンとどのように合致するのかという問題が 発生する. 北西 - 南東方向のトランスファー断層(図 3A)は、(より若い?)海洋地殻と異なる力学的状態 下で本当に発達したのか、そうであれば、どのようにし てなのか?

それらの方向やそれらがともにどのように合致するの かに関わらず、すべての GOM のトランスファー断層 は、受け身的な沿岸の造構的に不活発な名残より さらに小さいと、一般に見なされてきた. GOM のそ の後のリフト運動は前進する第三紀デルタや岩塩構 造、そして最近では移動性のシグスビーナッペに沿う より緩い斜面や隆起部の褶曲運動やスラスト運動に関 係した成長断層運動の観点から説明されている(Lee and George, 2004; Fiduk et al., 1999; Weimer and Buffler, 1992). GOM 地域がカリブ海・メキシコと北ア メリカ西部の非常に活動的な造構領域(図9; Le Roy



図 3A 北部メキシコ湾盆地 の厳選された構造形態. 青 い地域は異地性岩塩で覆わ れているところ. オレンジの 曲線は正断層. 灰色の地域 は基盤の隆起あるいはアー チ. 北西方向の線はトラン スファー断層と名付けられて いる. 赤線は後期白亜紀大 陸棚縁 (LK)を示す. 議 論についてはテキスト参照 (Stephens, 2009より).



図 3B メキシコ湾の盆地全体の広域衛星重力図.地図上に記された ジグザグな海嶺 - トランスフォーム断層と地図 b 上の赤と黄色の線に 注目.COB:大陸地殻 - 海洋地殻境界.西から東方へ,トランスフォー ム断層の北方から北東方への曲がりに注目.(クレジット:David Sandwell博士,カリフォルニアスクリプス海洋研究所)

and Rangin, 2008; Le Roy et al., 2008; Martinez-Reyez, 2005)に属しているか,あるいは歴史を共有 (James, 2013)しているという事実が見過ごされている. アメリカの大陸内部の数地域の造構運動を大まかに見 ると、メキシコとカリブ海はトランスファー断層(及びほ かの断層)に沿った構造規制と一時的な活動が、中 生代にまで遡ることを示している.ルイジアナ州とGOM 内とその周辺のいくつかの地域を一瞥することにしよう.

過去の造構運動とトランスファー断層の活動

ルイジアナ州北部とアーカンサス州のウォシト山地の北 西-南東方向,及び西方ではテキサス州のサビーン 川とブラゾス川の流路が,トランスファー断層に規制さ れてきたように見える.それらのいくつかは第三紀と完 新世に運動したこと示している(Cox et al., 2000参照). 第四紀と完新世の運動は,大陸内部の数名の研究者 によって注目されてきた(Fisk, 1944).実例はケンタッ キー川断層系(Vanarsdale, 1986)・アーカンサス州 リールフットリフトのニューマドリッド地震**帯(Braille et al., 1986)とオクラホマ州のMeers断層(Ramelli and Slemmons, 1990) である. テキサス州のダラスとビッグ ベンド公園の間の広大な地域(Bolden, 2001)から記 載されたねじれ断層とフラワー構造*** はまた, 完新世 に形成されたものの一部であるかもしれない.

** ニューマドリッド地震 (New Madrid esrthquake); 1811 ~ 12年に米国ミズーリ州ニューマドリッドで起きた一連の大地震. …略…めったに起こらないと考えられている安定大陸内の地 震としてそのメカニズムが研究者の注目を引いた. 古いプレー ト境界が関与していると考えられている. (地学事典)

*** 訳者注 フラワーストラクチャー (flower structure);ほぼ 垂直方向に地下深部まで達する断層が,構造上位において 分岐し上方に向かって花のように開いた形態をとるようになっ た構造のこと.

分岐した断層群が大部分正断層から構成され、それらによっ て変位した地層が全体として向斜状を呈するものをネガティ ブ・フラワーストラクチャー、また断層群が大部分逆断層から 構成され、変位した地層が全体として背斜状を呈するものを ポジティブ・フラワーストラクチャーという.

レンチテクトニクス下にあって、水平移動する地質体相互の 移動方向が平行ではなく、斜めに近づく方向にある時に斜め 圧縮力(transpression)が勝り、ポジティブ・フラワーストラ クチャーが、また斜めに遠ざかる方向にある時に斜め引張力 (transtension)が勝り、ネガティブ・フラワーストラクチャーが それぞれ形成される.(http://mh.rgr.jp/memo/mq0196.htmより)

ルイジアナ州の河川の方向は、トランスファー断層に よって規制されているように見える. 特筆すべき例は、 ミシシッピー川渓谷沖と正確に一致しているレッド川系 の北西 - 南東方向の流路である. それらは、おそらく 両者とも主なトランスファー断層に規制された流路であ る (図4). ルイジアナ州のアレキサンドリアの西北西に 位置する温泉井の温水は、同じ断層に関係していると 見られる. 後期白亜紀の火山活動後に炭酸塩の山塊 になったモンロー隆起が. 現在も活動中の衝上断層 (Washington, 2001)を示しているのであれば、レッド 川断層はまたおそらく活断層 (図 3A・4) であろう.

南東ルイジアナ州の北西 - 南東方向のパール川トランス ファー断層(図3A)は、現在進行中の構造的不安定 さを絶えず調整しているように見える川の流路を規制して いる.パール川断層はまた、ルイジアナ州の州都である バトンルージュに及ぶ東西方向の大バトンルージュ断層 帯に根拠を与えている.Pontchartrain 湖地域の地震断 面では、新第三紀堆積物の 'cut and fill'構造を切り、 泥線にまで枝分かれする垂直断層帯と見られている.

大量の異地性岩塩が、メキシコ湾岸に沿ったねじれ・ リフト系中に巻き込まれている(図 3A). 基盤深部の垂 直または横ズレ断層運動の考察(例えば, Simmons, 1992; Jackson et al., 2010 ほか参照)なしに、しばしば、 全体の構造が岩塩造構運動の観点からのみ説明され る上記の地域で、ねじれ運動を支配し隠している.



図4 レッド川トランスフォーム断層は、ルイジアナ 州を斜めに横切りアチャフラヤ川盆地(AFB)の 北側でミシシッピー川に合流する川の北西流路を 規制している。断層はまた、膨大な量の河川堆積 物をメキシコ湾深部に流し込んでいるミシシッピー 渓谷沖合にぴったりと一致する。サビーントランス ファー断層は等深線で表現している特別な北西方 向の断層である。図 3A に示されているように、こ こには示されている二つの並行に走るもののほか にも多数のトランスファー断層がある。議論につい てはテキストと図 6・7 (グーグル地図)を参照。

成長断層運動・岩塩運動や重力造構運動のような GOMのリフト後の薄層の造構運動は、ほとんどの場合 薄層であり、ジュラ紀の Louann 岩塩の下の基盤とは 関係がないように見える.しかしながら、上述のように、 大陸内部の造構運動や GOM の歴史地震活動は、こ の全地域が活動的で、周辺地域とともに中生代以来一 時的に活動的であったことを明らかにしている.また、 メキシコ湾岸と GOM のいくつかのより最近の深発地震 は、見かけ上、Louann 岩塩下の基盤の変形を意味し ているようだ(図5).それ故、Louann 岩塩下の基盤 を切る深部のトランスファー断層が、重要な要因かもし れない (Stephens、2009 の図5参照).

メキシコ湾岸とGOM 大陸棚上の航空磁気及び重力異 常は、トランスファー断層に沿った北西 - 南東方向を 示している. 南ルイジアナ州で、それらの北西 - 南東 の線構造が中新 - 鮮新世の砕屑性堆積岩を切ってい る. それらはまた、埋没したリフトの縁(図6)の半地 溝と地塁に続く重力の高低の方向である(ねじれの) 東北東方向を横方向に相殺し、第三紀の成長断層の 東西の一般走向を規制している.

沖合での活動

ねじれ変位には沖合に多くの実例がある. ルイジアナ-テキサス州境に沿った西キャメロン地域で、サビーン トランスファー断層の東側に堆積した完新世の砕屑物 (MMS, 1986)は、東側により大きな堆積空間が形成 されたことを示している.また、同じ地域で、海岸線に 平行なテキサス州側の海底の転倒褶曲は雁行状とな り、サビーントランスファー断層を横切ると南方にズレて いる(図7).完新世の砕屑物の堆積と褶曲軸の南方 への雁行状シフトが,サビーントランスファー断層の近 くに生じている.南マーシュ島地域の南部では,私有 の3D 地震データに,筆者は深部(11000~13500m) から泥線まで枝分かれしているフラワー構造を確認し た.4500 フィート(1372m)に及ぶ中新世の成長断層 の地下の垂直方向と横方向のズレは明白である.ねじ れ系はサビーントランスファー断層と関わりがある要因 である.フラワー構造はまた,ミシシッピー川の鳥趾状 デルタの下や GOM 地域中の多くの他地域の地震デー タから注目されてきた.そのような地震データは所有権 があるため公表されてきていない.

深部 GOM の Keathley 渓谷地域(図4)で,岩塩上 の褶曲軸は隣接するトランスファー断層(ガルベストン トランスファー断層?)に平行である.これは,断層の 東側の厚い岩塩の上に発達した活褶曲上の断層の影 響が大きくなることによるものと説明されてきた(Shinol, 2000).しかしながら,長さ70マイルに渡る Keathley 渓谷の形態や方向が下にあるトランスファー断層による 影響であれば,断層近くの褶曲によるねじれは,おそ らくねじれ運動によるものであろう.

メキシコと西部メキシコ湾の活動

ブラゾス川トランスファー断層(図3A;図9BT)の 両側の岩塩の厚さは、非常に異なり(Huh et al., 1996),それは堆積作用に規制されていることを示して いる.Hudec et al. (2013)によると、シグスビー岩塩 の蓋層(図4)に沿って南に移動した異地性岩塩の体 積に基づくと、非常に多くの岩塩が西側よりブラゾス川 断層の東側に認められている.ブラゾス川断層は西側 に位置する中新世のパーディド川褶曲帯の東端を規定



図5 メキシコ湾岸と北部メキシコ 湾岸の深発地震(M2~6)の例. 示されているすべての震源は、 ジュラ紀のLouann岩塩層準以下 の基盤にあると見られている.

図6 20,000 ~ 600,000 フィート 領域帯でフィルター処理したブー ゲ重力.南ルイジアナ州におけ る東北東の構造方向のねじれオ フセットに注目.そこはトランス ファー断層が中新 - 鮮新世の砕 屑性堆積岩を切り,現在の水系 パターンと堆積物分布に影響を 与えている.

図7 サビーン川トランスファー断 層-テキサス-ルイジアナ州境 界のサビーン川にちなんでいる-は北西方に延びる. 海底の褶曲 軸(プランジを示している矢印の ある太線)は、西からサビーン川 断層を横切ると,南方へズレてい るように見える. また, 完新世の 砕屑性堆積物は,断層の東側に 沿ってローブ (MMS, 1986) を つくっているように見える. フラ ワー構造はこの断層に沿うさらに 沖合の地震データ上で注目され た. 豊富な TCF タイプのガス産 出地点に近く, 数千フィートの厚 さに積み重なった大規模探鉱域 も深部測定ネットワークを示して いる. さらなる議論は本文参照.

(after Sarwar, 2003)



図8 ブーゲ重力・歴史地震 (1600年代から2009年までのア メリカ地質調査所のデータ)とネ オテクトニクス(図のピンクの線 は断層).この地図はアメリカ合 衆国の東側3分の2に混乱の種 をまいている.リールフットリフト とウォシト川オーラコゲン(オクラ ホマ州)は、国内で最も活動的 で危険な地震帯の中にある.何 がこの広域の'プレート内部'の 混乱の背景にあるのだろうか? LL:Llano隆起;M:モンロー隆 起;S:サビーン隆起;W:ウィギ ンズアーチ.

図9 構造方向を示したメキシコ 湾・メキシコと北アメリカの構造 略図. A: アトランタ; BT: ブラ ゾストランスファー断層; BDF・ BTF: おそらくトランスフォーム断 層のできはじめ; CR: カリブ海 域; D: デルタ; FL: フロリダ線 構造;GT:ガルベストントランス フォーム断層;H:ヒューストン; M: モンテレー; MC: メキシコ市; MT: マタゴーダトランスファー断 層; N: ニューオリンズ; P: フェ ニックス; RGR: リオグランデ川リ フト; RRMT: レッド川-ミシシッ ピー川渓谷トランスファー断層; SF: サンアンドレアス断層; ST: サビーントランスファー断層;T: タンピコ. 文字 E と C は、それ ぞれ傾斜と逆方向の展張(up dip extension) と傾斜方向の圧 縮 (down dip compression) を意

味する.大きな矢印は,おそらくこの地域の現在のテクトニクスを支配している広域な右ズレ剪断レジメを表している.さらなる議論についてはテキスト参照.(Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources (1985)によって公表された環太平洋地域のプレートテクトニクスの地図の太平洋海盆から引用し修正した.Sarwar, 2002を修正)

し、新生代に再活動したように見える(Hudec et al., 2013). 沖合に延長すると、ブラゾス川とガルベストントランスファー断層は、Keathleyとアラミノス渓谷方向の 北西方向にほぼ一致しているように見える(図4).

広域な野外調査と地震データに基づいて, Martinez-Reyes et al. (2005) は, 第三紀中期(漸新世)に左 横ズレ運動を示す長さ900kmのリオグランデ川断層が, 北西 GOM 沖合へ延びると結論した. 断層はリオグラン デ川の流路を規制し, コロラド高原南縁へリオグランデ 川活リフトに沿って北方に延びている.この活リフトでは, 新第三紀及びそれ以降, 何回もの玄武岩質火山活動 を示している. 上記に加えて、北アメリカの長期に及ぶ一時的な変形 はまた、ルイジアナ州のモンロー隆起による白亜紀の火 山やミシシッピー州のジャクソンドーム(図4・8)のよう なメキシコ湾内や周辺及び北部メキシコ湾岸の第三紀層 中のより古い火山や砕屑物の広域分布に由来している.

高分解能深度(11秒:往復走時)2D地震データを 基に,Rangin et al. (2008)はより浅部の薄層の成長 断層運動を強化した西部 GOM における深部地殻の引 張とリフト運動について,説得力のある証拠を示した. それらの仮説は,個々の重力データから推定された断 層と地殻の薄化に関係した有意な熱流異常によって支 持されている.



図 10 2015 年 4 月 23 日にアメ リカ地質調査所より公開された 最新の地震ハザードマップ.誘 発あるいは人為地震の地域(地 図上の青い四角; Hand, 2015) を示す地震危険地帯(最も危険 な地域を赤~茶色で示す)を強 調してある.北部テキサス州と 隣のオクラホマ州の現在及び進 行中の多くの地震活動は, 高圧 下でつくられた水の複合的な "水圧破砕"と再注入を伴う, 堅実な頁岩生産ブームと関連づ けられてきた. そのため, 人工 地震は単に比較的現代の現象に すぎない. なお, 東海岸に沿っ たより小さな熱点に注目.

Le Roy and Rangin (2008) と Le Roy et al. (2008) はまた, 広域の 2D 地震データ・深部探査井戸と重力データを 研究し, ブルゴス盆地(北東メキシコ)と北西 GOM の 延長部で同様な観測をした.彼らは,深部の一時的な 新生代の地殻の変形が,リオブラボ左曲げのねじれ帯 (テキサス線構造の一部)・沖合のコルセア断層とGOM を境しているメキシコの広大な海岸平野の別な成長断層 に沿ってねじれ運動とリフト運動をもたらしたと主張した.

現在の西部アメリカ合衆国の大構造の骨格を見ると、 右横ズレ横断引張領域(図9)が支配しているように 見える.上述した GOM の右横ズレ分割によって、アメ リカ合衆国・メキシコとカリブ海地域が結びついている.

結 論

アメリカ合衆国とメキシコの大陸塊は生きており,北部メ キシコ湾の不安定な堆積物被服層に覆われる基盤もま た不安定であることは明らかである.大きな地殻ブロック (図8・9)の間の異なった運動を調整している多様なト ランスファー断層が,その基盤に存在する.メキシコ湾 岸は現在は"そのような受け身的な沿岸ではない"よう に見え,そのようなことが長期間続いた.リフト運動とね じれ運動は,北部メキシコ・テキサス州・ニューメキシ コ州(図8)及びアメリカ北西部のはるか北方で,新第 三紀から現在まで火山活動をすでに進行させてきた.

メキシコ湾岸・メキシコと GOM のトランスファー断層は, 生きているように見え,おそらく中生代のリフト運動以来 時々活動してきた.そうであれば,北アメリカ内部・メ キシコや GOM の現在の地震活動と活構造を適切に説 明できないプレートテクトニクスのパラダイムを変更する 必要がある (図8・9・10; Hand, 2015). "低角な潜 り込み・海嶺での押し・スラブでの引っ張り・マントル 対流またはプルームのような深部にある蝋燭"のような 抽象的概念を,プレート内や大陸全体の変形からどの ように結論できるのだろうか? 思えば、いわゆる "プレート内"運動は、何も北アメリカに限らない。南アメリカ・アフリカ・アジア・ヨーロッパさらに巨大な海洋地域に一般的である。従来のプレートテクトニクス理論は、惑星の周りの多くの活変形の説明が欠如しているようで、しかも説得力のある実際のデータに欠けているモデルに由来する考えを単純に信頼しているにすぎない。

GOMは、南南東方のカリブ海と西北西方のメキシコ 及び西部アメリカとの間の活造構運動が生じている.メ キシコ湾岸のねじれ運動を引き起こした基盤が確認さ れ、しかもメキシコ湾岸に沿った海岸の沈降と土地の 消失の原因として無視されてきた要素を我々のものとし ている(Sarwar and Bohlinger, 2005; Dokka, 2006; Gagliano, 2008; Stephens, 2010).

謝辞:筆者は、数十年以上にわたってメキシコ湾岸や その周辺地域の広域地質を議論する機会を与えてくれ た多くの石油会社あるいは会合に出席した地球科学者 に感謝する. Brian Lock・Dave Meloy・Bruce Reitz・ Gunnar Holmes・Doug Robbinsとは、広域地質につい ての意見交換した.編集上のアドバイスをいただいた Dong Choi博士、建設的なレビューをいただいた Keith James、最終校正をしてくれた親愛なる妻 Catherine Sarwar には、特に感謝する.

文 献

- Adams, R.L., 1997. Microbasin analysis of South Louisiana: An exploration model, or Hutton and Lyell were wrong. GCAGS Trans., v. XLVII. p. 1-11.
- Atwater, T., 1970, Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America. GSA Bull., 81, no. 12, p. 3513-3536.
- Atwater, T. and Molnar, P., 1973. Relative motion of the Pacific and North American plates deduced from seafloor spreading in the Atlantic, Indian, and South Pa-

cific oceans. R.L. Kovach and A. Nur (eds.), Proceedings of the conference on tectonic problems of the San Andreas fault system. Stanford University Pub. Geol. Sci., v. 13, p. 136-148.

- Bolden, G.P., 2001. Flower structures and wrench fault tectonics. AAPG southwest section mtg. Abstr. v. 85, p. 384.
- Braile, L.W., Hinze, W.J., Keller, G.R., Lidiak, E.J. and Sexton, J.L., 1986. Tectonic development of the New Madrid rift complex, Mississippi Embayment, North America. Tectonophysics, v. 131, p. 1-21.
- Buffler, R.T., 1991. Seismic stratigraphy of the deep Gulf of Mexico basin and adjacent margins. In Salvador, A. (ed.), The Gulf of Mexico Basin, GSA, The Geology of North America, v. J, p. 353-388.
- Buffler, R.T. and Sawyer, D.S., 1985. Distribution of crust and early history, Gulf of Mexico basin. GCAGS Trans., v. 35, p. 333-344.
- Buffler, R.T., 1991. Seismic stratigraphy of the deep Gulf of Mexico Basin and adjacent margins. In Salvador, A.(ed.), The Gulf of Mexico basin. GSA, The Geology of North America. v. J, p. 353-388.
- Cox, R.T., Van Arsdale, R.B., Forman, S.I., Beard. W. and Galluzi, J., 2000. Quaternary faulting in the Southern Mississippi Embayment and implication for tectonics and seismicity in an intraplate setting. GSA Bull., v.112, p. 1724-1735.
- Dokka, R.K., 2006. Modern day tectonic subsidence in coastal Louisiana. Geology, v. 34, no. 4, p. 281-284.
- Engebretson, D.C., Cox, A. and Gordon, R.G., 1985. Relative motions between oceanic and continental plates in the Pacific basin. GSA spec. paper 206, p.1-64.
- Fisk, H.N., 1944. Geological investigations of the alluvial valley of the lower Mississippi River.Vicksburg, Mississippi, Mississippi River Commission, and U.S. Army Corps of Engineers, 2 vols., 78 pages plus maps.
- Fiduk, J.C., Weimer, B.D., Trudgill, M.G., Rowan, P.E., Gale, R.L., Phair, B.E., Korn, G., Roberts, W.T., Gafford, R.S., Lowe, T. and Queffelec, A., 1999. The Perdido fold belt, northwestern deep Gulf of Mexico: part 2: seismic stratigraphy and petroleum systems. AAPG Bull., v. 83, p. 578-610.
- Flotte, N., Martinez-Reyes, J., Rangin, C. and Tardy, M., 2008. The Rio Bravo fault, a major late Oligocene left
 lateral shear zone. Bulletin de la Societe Geologique de France, v. 179, no. 2, p. 147-160.
- Gagliano, S.M., 2008. Relationship of gravity slump cells and linked tectonic systems to subsidence and land loss in Louisiana: sponsors: Baton Rouge Geological Society and Louisiana Geological Survey. Louisiana subsidence and land loss symposium report. p. 11-17.
- Hand, E., 2015. Heartland danger zones emerge on new U.S. earthquake hazard map. Science, v. 352, issue 6286.
- Huh, S., Watkins, J.S., Kasande, R., Fiduk, J.C., Bryant, S., Silver, K.E., Bradshaw, B.E., Xue, F.E. and Xi, J.,

1996. Regional structure and tectonics of the Texas shelf. GCAGS Trans., v. XLVI, p. 39-51.

- Hudec, R.M., Jackson, M.P.A. and Peel, F.K., 2013. Influence of deep Louann structure on the evolution of the northern Gulf of Mexico. Bull. AAPG, v. 97, p. 1711-1735.
- Jackson, M.P.A., Hudec, M.R. and Dooley, T. P., 2010. Some emerging concepts in salt tectonics in the deepwater Gulf of Mexico: intrusive plumes, canopymargin thrusts, minibasin triggers and allochthonous fragments. The Geological Society, London, Petroleum Geology Conference Series, v. 7, p. 899-912.
- James, K.H., 2013. Caribbean Geology: Extended and subsided continental crust sharing history with eastern North America, the Gulf of Mexico, the Yucatan basin and northern South America. Geoscience Canada, v. 40, no. 1, p. 3-8.
- Le Roy, C. and Rangin, C., 2008. Cenozoic crustal deformation of the offshore Burgos basin region (NE Gulf of Mexico). A new interpretation of deep penetration multichannel seismic reflection lines. Bull. de la Societe Geologique de France, v. 179, no. 2, p.161-174.
- Le Roy, C., Rangin, C., Le Pichon, X., Thi Ngoc, H.N., Andreani, L. and Garcia, M.A., 2008, Neogene crustal shear zone along the western Gulf of Mexico margin and its implications for gravity sliding processes: Evidences from 2D and 3D multichannel seismic data. Bulletin de la Societe Geologique de France, v. 179, no. 2, p. 175-193.
- Lister, G.S., Etheridge, M.A. and Symonds, P.A., 1986. Detachment faulting and the evolution of passive continental margins. Geology, v. 14, p. 246-250.
- Mann, P., 2016. Recent progress in understanding a two stage opening model for the Gulf of Mexico and its implication for deep water exploration in the US and Mexican maritime zones. Houston Geol. Soc. Bull., v. 58, no. 9, p. 23-25.
- Martinez-Reyes, J., 2005. The Rio Grande fault, a major mid-Tertiary left lateral shear zone. GSA Abstract with programs. v. 37, no. 7, p. 68.
- MMS (Minerals Management Service) Visual No. 5. Geologic and geomorphic features, Sept. 1986.
- Parsons, T., 2006. Developments in geotectonics: Continental rifts: evolution, structure, tectonics. v. 25, p. 277–324.
- Pilger, R.H. Jr., 1981. The opening of Gulf of Mexico: Implications for the tectonic evolution of the northern Gulf. GCAGS Trans., v. 31, p. 377-381.
- Ramelli, A.R. and Slemmons, D.B., 1990. Implications of the Meers fault on seismic potential in the central United States. In Krintzsiky, E.L. and Slemmons, D.B. (eds.), Neotectonics in earthquake evolution. GSA review in Eng. Geol., v. 8, p. 59-75.

Rangin, C., Le Pichon, X., Flotte, N., J. and Husson,

L., 2008. Cenozoic gravity tectonics in the northern Gulf of Mexico induced by crustal extension. A new interpretation of multichannel seismic data. Bulletin de la Societe Geologique de France, v. 179, no. 2, p. 117-128.

- Reed, J.M., 2001. Cretaceous to Recent rifting in the Gulf of Mexico basin: GCAGS Trans. v. LI, p.273-283.
- Salvador, A. 1987, Late Triassic-Jurassic paleogeography and origin of Gulf of Mexico basin. AAPG Bull., v. 71, p. 419-451.
- Sarwar, G. and Bohlinger, R., 2005. No active fault problems in Louisiana? GCAGS Trans., v. 55, p. 734-739.
- Sarwar, G., 2003. Northern Gulf of Mexico a not so passive margin. Bull. Lafayette Geol. Soc., v. 47, no. 6, p.17-21.
- Sarwar, G., 2002. Northern Gulf of Mexico a passive or passive active margin? Extended Abstract On disc. AAPG annual meeting, Houston, Texas.
- Shinol, J., 2000. AAPG Explorer, October issue article by Kathy Shirley, p. 12.
- Simmons, G.R., 1992. Regional distribution of salt in the northwestern Gulf of Mexico: Styles of emplacement and implications for early tectonic history. Texas A & M Univ. unpub. Ph.D. Dissert.180p.
- Stephens, B.P. 2010. A subsurface structural model for natural subsidence patterns in South Louisiana.

GCAGS Trans., v. 63, p. 393-407.

- Stephens, B.P., 2009. Basement controls on subsurface geologic patterns and coastal geomorphology across the northern Gulf of Mexico: Implications for subsidence studies and coastal restoration. GCAGS Trans., v. 59, p. 729-751.
- Vanarsdale, R.B., 1986. Quaternary displacements on faults within the Kentucky River fault system of east central Kentucky. GSA Bull., v. 97, p. 1382-1392.
- Washington, P.A., 2001. Evidence for significant neotectonic thrust faulting in and around the Monroe uplift. GCAGS Trans., v. LI, p. 359-366.
- Weimer, P. and Buffler, R.T., 1992. Structural geology and evolution of the Mississippi Fan fold belt, deep Gulf of Mexico. AAPG Bull., v. 76, no. 2, p. 225–251.
- Zimmerman, R.K., 1995. Evidence and effects of wrench faulting, north central Gulf Coast region. GCAGS Trans., v. XLV, p. 629-635.
- Zoback, M.L. and Zoback, M. 1989. Regional tectonic stress field of the continental U.S. Geophysical Framework of the Continental U.S. Geol. Soc. of Amer. Mem., p. 523-539.
- Zoback, M.L. and Zoback, M., 1981. State of stress and intra-plate earthquakes in the central and eastern United States. Science, v. 213, p. 96-104.

本州弧中央部と伊豆海嶺の起源 Origin of the central Honshu Arc and the Izu Ridge, Japan

角田 史雄

agatsuma.terao@gmail.com 埼玉大学名誉教授,日本

(寺崎紘一・川北敏章・新井 節・足立久男・佐藤和平・角田史雄 [訳])

要旨:原生代の地殻変動によって形成された埋没深部断裂は,顕生代の地殻変動が続く中でその形態とメカニズム的な面と を保持し続けてきた.つまり,これらの過去の断裂群は,基盤岩が熱せられて熱膨張を起こすたびに,開口して,マグマを地 殻内へ注入してきた.このように地殻変動は,遺伝的な性質と更新的な性質という二つの面をもっている.極東アジア地域で は,マグマが更新されるたびに,これらの埋没深部断裂は,繰り返し改変されてきた.このような経過を経て,現在の本州弧 中央部と伊豆海嶺の中部地殻は,鮮新世から更新世を主活動期として,下部地殻と上部地殻の境界面に侵入した安山岩や 閃緑岩などのマグマを主な構成岩層として形成された.地殻と地表面との隆起は,このマグマの侵入によって高温化した中部 地殻が熱膨張した結果,として引き起こされたものである.このうち本州弧は,マグマ活動がとりわけ活発だったために,現在, 陸域となっている.一方,マグマ活動がそれほど活発ではなかった太平洋側では,伊豆海嶺が形成されたのである.つまり, 火山島を除いた伊豆海嶺の大部分は,隆起量が小さく,今日もなお,海面下に留まったままになっている.結論的に言えば, 本州弧の上部地殻,中部地殻,下部地殻という三つに分けられた地殻の構造は,そのままの形で伊豆海嶺に連続している. 言い換えれば,これらの二つの地域における地殻の発達過程はまったく同じである.したがって,「両方の地殻構成岩類は異 地性である」,という見解は誤っている.

 $\neq - \nabla - F$: Grenville crustal disturbance, Izu Ridge, thermal-swelling of the middle Earth crust, heredity of crustal regime, Moho discontinuity

(2016年4月20日受付, 2016年6月10日受理)

Part I. 環太平洋地域での グレンビル変動(GCD)による構造破壊

(1) 地殻変動を伴ったGCDの膨大な火成活動

地球の誕生以来,花崗岩質マグマ (Dearnley, 1966) や玄武岩質マグマ(Gorai, 1960; Beloussov, V.V, 1971, Gorai et al, 1972) は、およそ 10 億年ごとに大量に生 成されてきたと考えられている. 始生代の地殻構成岩 層は,熱湧昇流によってひどく破壊されて,いくつもの 巨大な岩塊に分けられた. たとえば, Angara-Aldan 地 域 (Salop and Sheinenmann, 1969), 中国中央部地 域 (Huang < ed >, 1986 による Kun Lun Shan 東 部 や Qin Lin 褶曲帯) (A; 図 1A), 極東ロシア地域 (Beloussov, 1971) (B; 図1A) などでは, 巨大な始 生界の断層地塊の境界部に変動帯や褶曲帯が形成さ れている. こうした地殻の破壊を伴ったGCD (グレン ビル)変動は、11~9億年前に起きた大規模な熱湧 昇流によって発生した. このときに、環太平洋周辺域 に形成されたのが Salop (1983) の指摘した変成帯(図 1Aのa;環状の深部断裂=CDF),および,それに 伴う放射状の深部断裂(=RDF;図1Aのb)である.

(2) 太平洋の発生モデル

太平洋地域の上部マントルは、地球の外殻から供給さ れる熱によって部分的に溶けていて、熱い状態にある (Obayashi, 2009).この状態は、地球史で最大のマ グマ生成期であった後期原生代(Gorai, 1960; Gorai, 1968; Dearnley, 1966)に、膨大なマグマの湧昇が発 生して、まず、太平洋の全域を地塊運動地域化させた 可能性が高い.このグレンビル変動(GCD)は次に、 太平洋の全域で,超大規模なマグマの噴出を起こした, と考えられる.海洋底で発された始生界と原生界の採 取や掘削(Vasiliev and Yano, 2007; Gabrilov, 2016), 大陸地域から太平洋海域まで延びている始生代の地 背斜(Choi, 2013)とか,原生代における断層地塊の 中生代のダーウィン海膨への転換(Yano, 2014)など は、上記の仮説を証明するものといえる.古い太平洋 地域での環状構造の生成については、Chapman(1954) のモデルが参考になる.彼によれば、Monadnock山 で起こったマグマの貫入のしかたは、上記の火成活動 や構造運動と共通する点があるという.つまり、アルカリ 岩のマグマが湧昇して、同心状や放射状の断層沿いに 注入した.その結果として、アルカリ岩株が形成された、 というのである.

(3) 太平洋のふちに発達した深部断層系

環太平洋地域における始源地球の構造については多 くの仮説がある(Pavlenkova, 2016).すでに述べたこ とと,多くの仮説を参考にすると,古太平洋地域におけ る地殻は,熱膨張してドーム状に膨らんだ最上部マン トルに押し上げられて,同心円状の深部断裂(図 1Aa; CDF)と放射状の深部断裂(図 1A-b; RDF)など の深部断裂系が形成され,マグマの大量噴出後に沈 降した.そのために,環太平洋変成帯や破砕帯が形成 された,という仮説を想定することができる.変成作用 は,温度や圧力が高く,断層に沿って過熱水蒸気が 噴出する場所で起こる傾向のあることが分かっているた めである.したがって著者は,太平洋縁辺地域での深 い断層沿いが,変成作用の場所になっていると考えて いる(図 1A-a).そして,これらの深い断層帯が,海 嶺と互いに直交するように配置されていることは,ごく一



 図1 マントルの円弧状スラブの水平断面(PC;太平洋地域),および,グレンビル変動(GCD)の断裂系.
 図1A(左図)CDF=環状の深部断裂帯(A-a),RDF=放射状の深部断裂,および,A-b=環太平洋地域に発達したGCD帯.
 PC,太平洋、A Huang et al (1986), B Ludwig (1962,ロシア語) in Beloussov (1971,日本語訳),C 大和確, D Paekt'u火山. Iz. R,伊豆海嶺.

 図1B(右図) 極東アジアに発達した GCD で形成された断裂群.東経 130 Eから 140 Eまでの大きな島は、日本の本 州弧と呼ばれている. a= CDF帯; b = 1.0~0.85 Maの花崗岩体(領家タイプ); c = RDF帯; d = 0.85~0.6 Ma の流紋岩体(濃飛タイプ). CDF(図1B-a)は、MHA(本州弧中央部)において RDF(図1B-b)と交差する.



般的な現象である. さらに, 我々がグレンビル変動時 の放射状の深部断裂(RDF)(図1A-b)のそれぞれが, ほぼ火山帯や海嶺になっていることも明らかである. 超 大な地震探査 (Mueller, ed., 1974) や超深度掘削 孔・SG3 (Kozlovsky < ed >, 1987) などの結果に 基づいて Pavlenkova (1997, 2016) は,以下のように 述べている:つまり、中部地殻の平均厚さは約10km、 Vpの速度は6.5~6.7km/秒,構成岩石種は変成岩 である.この見解によると、中部地殻とその発達過程 は,図1'(英文のFig.1は誤りで,Fig.1'が正しい) のようにモデル化できる. すなわち, グレンビル変動 (GCM)の時に、広域変成岩類は、環太平洋地域に おける上部地殻の最下部から表層部で形成された. こ の岩層は,隙間の多い結晶片岩質の岩石からできてい るので、後期のマグマはそのような隙間に入り込む。そ の結果、中部地殻は徐々に厚くなって、上部地殻を押 し上げた. 日本の本州弧(日本列島で最大の島)は 3つの部分, すなわち西部, 中部および東部に分けら れる. このうち本州弧中部では、4つの別々のマグマ 活動があり、それらのそれぞれが、異なった地殻の構 造形成を行った(図1).この地殻の構造形成は、次 章でくわしく検討する; a. 白亜紀後期に,高粘性の 領家花崗岩マグマが,上部地殻の底部を占める変成 岩層の中へ注入した.これが,レンズ状の中部地殻の 発生であった. b. 白亜紀末期に,高粘性の濃飛流紋 岩マグマが中部地殻へ注入されて,薄い中部地殻が できた. c. 中新世になると, 安山岩マグマが急激に 増大して,大量に注入されてきた.そのため中部地殻 図1 本州弧中央部における中部地殻の発達過程 CDF;環状の深部断裂, RDF;放射状の深部断裂, MC;中部地殻(太線枠)

a. 環状の深部断裂(CDF)の再生;後期白亜紀の領 家花崗岩マグマの貫入;これがレンズ状の中部地殻 (MC1)の発生であった.UC;上部地殻,CD; コンラッド不連続面,LC;下部地殻,RyM;領 家花崗岩マグマ

- b. 放射状の深部断裂(RDF)の再生; 白亜紀末期の 濃飛流紋岩マグマの貫入; 薄いMC2の形成.
- c. CDFとRDFとの再生; 中新世の安山岩マグマの 貫入; 中部地殻 MC3 の急速な成長; AnM; 安山岩マ グマ, D-CVZ; 大山-鳥海火山帯.
- d. CDFとRDFとの再生;第四紀の活火山列による 再活動,および,中部地殻MC4の熱膨張による本 州弧中央部の隆起. AnM;安山岩マグマ,D-CV Z;大山-鳥海火山帯. FjVZ;富士火山帯

は,層状の岩層MC3になった.このときにフォッサマグ ナ地域における上部地殻はひどく破壊されて,一時的 に沈降した.d.しかし第四紀になっても,安山岩マグ マの流入は続いた.そして,中部地殻の厚さは増して, 層厚は最大 10km にも達した.

Part II. 日本列島における地質学的・地形学的現象

地質学的ならびに地形学的な基礎データ

(1-1)本州弧における地殻の地質構造発達の概観 「日本列島の地質構造発達史」(GDJ)(Minato et al<eds.>1965)は、極東地域の地質現象を余すところな く記した著作である.この大著は、地学団体研究会に所 属するメンバーを中心にして、およそ千人以上の地質研 究者によって刊行された.さらに、「日本の自然」<ed.> (1971)と題する一般向けの著作では、日本列島の地 質学的な発達過程を平易に紹介している.こうした著作 に基づくと、本州弧中央部においては、何回もの火成一 造構活動が繰り返された歴史を知ることができる(図1C、 Yamada, 1977; Minato<ed.>、1971; Tsunoda, 2001).

(1-2) 屈折波探査の結果に基づいて作成された速 度構造モデル 地下 40km に分布するモホ不連続面 を正確に解析するには,測線の長さは 300km 以上 必要である,と言われる.ユーラシア大陸の超大な屈 折波探査の測線はすべて 1000km 以上の長さがある (Muller<ed.>, 1974; Fuchs<ed.>, 1997)ので,そのモ ホ面の解析結果の信頼性は高い.これらの解析結果を 要約すれば,以下のようにまとめられる:

まず,地殻内へ注入されたマグマは,隙間があればそ こに侵入する.とうぜん,地殻を上下に二分するコン ラッド不連続面にも入り込んで, 岩層を形成する. この 岩層が中部地殻である (Solodilov, 1997; Pavlenkova, 1997). Solodilov (1997) によれば,黒海とカスピ海 の間にある Elbrus 活火山の分布する, ロシアのコー カサス山脈直下に発達し,P波速度 6.2~6.4km/ 秒 の速度層が中部地殻であるという.この地域に分布す る地殻の一部は溶けた熱い岩層であり、また、モホ面 (MhD) は一つの連続した面ではなく,何枚もの異なっ た速度の岩層が重なり合った「多重層」のようであ る (Tittgemeyer ほか, 1997). さらにまた, MhD は深 部断裂で切られている(訳者注; Muller<ed.>, 1974) という.これに関連して早川(2001)は、「熱流体は MhD を破壊する」ことがある、と指摘している.これに 加えて Meyerhoff ほか(1996)は「熱流は地殻をドー ム状に押し曲げ,場合によっては,地殻全体を破壊す るほどの力をもつ」と述べている.

本州弧の地質造構学的な区分

(1) 本州弧中西部における中部地殻

本州弧中西部の速度構造(図2の A-A')は,次のようにまとめられる:つまり,これらの解析結果は,6.1km/ 秒のP波平均速度をもつ上部地殻の上面とその厚さが 明確に識別され,モホ面からの反射波・Pn波も検出さ れている. これらのデータの信頼性は高い. したがって, Solodilov (1997), Pavlenkova (1997), Zhao ほか (1997) などに基づけば, Pavlenkova (1997)の提案した 6.5 ~ 6.7km/秒の速度をもつ中部地殻は,図2の灰色ゾー ン内に存在している可能性が高い.また,地殻の特徴 は以下にようにまとめられる:

(2-1) 本州弧西部の地質と速度構造

四国,中国,近畿の各地方における地殻の構造の特 徴は以下のとおりである:本州弧西部はW(若狭湾)-I(伊勢湾)線より西側の地域であり,その速度構造は, 図2のA-A'線で示した測線で解析された.この地域 の基盤岩層は中生代の花崗岩質岩層と中新統で,そ れらの上に,第四紀の大山火山帯から噴出した火山岩 類が覆う.各岩層の厚さは,Vp速度が5.5km/秒の中・ 古生界が4~5km,Vp速度が5.9~6.2km/秒の上 部地殻が13km,Vp速度が6.5km/秒ほどの中部地殻 (訳者注;を含む)速度層の厚さが15~20kmである. モホ面の深さは地下約30kmである.地殻の速度構造 は,ほぼ水平の成層構造を示す(図2のA-A'測線). 以上のことから,この地域における堆積岩層と花崗岩質 岩層などの構造は安定していて,どの地域でも時代で も,ほぼ一定となっている.

(2-2) 本州弧中央部(飛騨地域)の地質と速度構造

本州弧中央部では、グレンビル変動によって形成され た二方向の断裂系が互いに交差している(図2W-I 線~C-D'線).原生代の最末期から古生代まで



図2 日本列島の本州弧西部~中央部における地殻の速度構造の模式断面図

各地域における測線図の位置は、上左に示した四角の枠で囲った索引図に示してある. この索引図中のEは伊豆海嶺の東西幅を示し、 E 'は伊豆海嶺の火山フロント区域の位置を示す. A-A',本州弧西部の(倉吉-花房測線;Yoshii et al<1974>);B-B',東海-北 陸地域(渥美-能登測線; Aoki et al<1972>),C-C',本州弧中央部の北部(大町-結城測線; Usami et al<1958>),D-D',本州弧 中央部の南部(夢の島-根尾測線; Zhao et al<1997>). 細い破線,新生界;横線,先新生界;斜めの交差線,上部地殻(花崗岩質 岩層);灰色部,中部地殻(MEC)の分布している岩層部;密なたて線,下部地殻(下段の図中);粗なたて線,下部地殻;モホ面か らの特有な反射波(Pn波)が観測されないことから,8.0km/秒層とモホ面は失われている可能性が高い.

の火成活動は非常に激しかった(Minato et al<eds.> 1965).このことは,速度構造から推定される花崗岩質 岩層がきわめて厚いことから推定できる.Vp速度が平 均5.5km/秒で表される中・古生界,Vp 6.0km/秒の 上部地殻,Vp 6.6km/秒の中部地殻(Solodilov, 1997 ; Pavlenkova, 1997),それらの層厚はそれぞれ4~ 6km, 20km,8km (Aoki et al, 1972)である.モホ面は 地下約30~25kmに在る.それに,古生界は非常に 厚い.そして,新生代の安山岩マグマの活動は弱く, 中部地殻は非常に薄い(図2の真ん中のB-B').

(2-3)本州弧中央部(日本アルプス地域)の地質と 速度構造

図 2 の D-D'地域は,標高 3000m 以上の高山が連 なっていて,「日本の屋根」とよばれる;これらの高山 は南北方向に並んでいる(図 4A,1). 岩層ごとの厚 さを L, P波速度を S とすると,新生界は S=2 ~ 3km/ 秒,中・古生界 S=Vp 5.5km/秒,L=5km;上部地 殻は L=17km, S= Vp 6.0 ~ 6.5km/秒,中部地殻は L=13km,S=6.5=7.0km/秒.花崗岩質岩層(図 2 の B-D' 測線の Vp 6.0km/秒層)はきわめて厚い.これは,お そらく,花崗岩と流紋岩のマグマの大量の注入があった ためと考えられる(図 1C-a と図 1C-b).モホ面は地下 約 22 ~ 33km に在る(Sasaki et al, 1970; Zhao et al, 1997).地殻全体の厚さは本州弧西部よりは薄い.

(2-4) 本州弧中央部の地質と速度構造

この地域の周辺一帯(図2のD'-D''は、いわゆる 南部フォッサマグナ地域である)は、グレンビル変動に よって形成された2つの系統の深部断裂群が、互いに 交差する地域である.これらの深部断裂群の再生は、 中新世初期に膨大な安山岩マグマの噴出に伴って起 こった(Minato et al<eds.>、1965; Thunoda, 2001)(図 1C-c).このときモホ面が突き破られ、中部地殻は熱 膨張して、花崗岩質岩層を押し上げた.そして最後に、 マグマが抜け出た地下への落ち込みが発生した.

岩層ごとの厚さ(L)とP波速度(S)は以下のとおりである: 新生界はL=4km, S=Vp3km/秒;中・古生界はL=5~ 6km, S=Vp 5.5km/秒;上部地殻はL=5km, S=Vp6.0km/ 秒;中部地殻はL=18km, S= Vp 6.6km/秒. モホ面は欠 損(Usami et al, 1958; Hotta et al, 1964; Yoshii et al, 1974;浅野ほか, 1985; Zhao et al, 1997).

Zhao et al (1997) によれば,富士地域における中部 地殻(図2のC'-C')は非常に薄い.またモホ面 はほとんど存在していないらしい.そのため,中部地殻 には大量のマグマの注入があって厚くなったと考えられ る(図1C-d).北部フォッサマグナ地域(図2のC-C') における岩層ごとの厚さ(L)とP波速度(S)は以下の とおりである:新生界はL=1~2km,S=Vp2~3km/ 秒;中・古生界はL=2~6km,S=Vp 5.5km/秒;上 部地殻はL=15~18km, S=Vp6.0km/秒;ここでもまた, モホ面は確認されなかった(Usami et al, 1958; Hotta et al, 1964).上部地殻と中部地殻の上への拡大は, フォッサマグナ地域の内部では,きわめて不明瞭で確 認がむずかしい(図2のD'-D'').こうした現象の数々 は,マントルから注入されたマグマで熱膨張した中部地 殻によってもたらされたと想定される.

(2-5)本州弧中央部(関東平野地域)の地質と速度構造

関東平野地域(図2のD''-D'')での岩層ごと の厚さ(L)とP波速度(S)は以下のとおりである:新 生界はL=4km, S=Vp3km/秒;中・古生界はL=2~ 3km, S=Vp 5.5km/秒;上部地殻はL=5~14km, S=Vp6.0km/秒;中部地殻はL=10km,S=Vp 6.6km/ 秒.モホ面は不明(Usami et al, 1958;Hotta et al, 1964;浅野ほか,1985;Zhao et al, 1997).この地域 の花崗岩質岩層は部分的にしか観測されておらず,中 部地殻と下部地殻の厚さは薄い.

(2-6)本州弧東部(北陸・南東北地域)の地質と速度構造

北陸地域の岩層のP波速度(S)は新生界がVp3km/ 秒,中・古生界がVp5.5km/秒,上部地殻が Vp6.0km/秒,中部地殻がVp6.6km/秒であり,層厚 はそれぞれ,2~6km,1~4km,20~25kmである. ここでも,モホ面は確認されていない(Usami et al, 1958; Hotta et al, 1964).南東北地域(図2のC-C') の各岩層の層厚(L),P波速度(S)は新生界が L=2~3km, Vp3km/秒;中・古生界がL=1~4km, Vp5.5km/秒;上部地殻がL=12~20km?, Vp6.2km/ 秒;下部地殻がVp6.6km/秒.さらに,モホ面は確認 されていない(Usami et al, 1958; Hotta et al, 1964). この地域における堆積岩類の厚さは地域によってまち まちであるが,花崗岩質岩層は非常に厚い.

(2-7) 伊豆-小笠原海嶺の地質と速度構造

伊豆海嶺の東西幅は250kmで(図2のE-E'. E'は伊豆海嶺の火山フロント),南北方向の長さは 1700kmにたっする.中生界や始新統は浅海成の堆積 物(Hanzawa, 1947)であり,始新世や第四紀の火山 砕屑物が堆積する(Kaneoka et al, 1970).しかし,始 新世から第四紀までの砕屑性の堆積物はきわめて少な い.この海嶺では,一部溶融した中部地殻があり,そ の中に花崗岩質岩層が含まれることが,詳しい地球物 理探査で明らかにされた(Takahashi et al, 1998).

本州弧中央部と北緯 32.1 度に沿った伊豆海嶺の東西 方向の断面図には,非常に多くの共通点がある.つまり, 地形学的な特徴,地質層序学的な特性,地殻の速度 構造,中部地殻の形態,隆起過程など,どれをとっても そっくりである.しかし,マグマの大量注入の時期だけは 違っていて,本州弧中央部では18Maで,伊豆海嶺で は10Maより新しい.さらに、マグマの注入量は、本州 弧中央部の方が伊豆海嶺よりはるかに膨大な量である.

(3) 中部地殻の検証

地殻の速度構造に関しては, 普通, 上位にある岩層の 地震波伝達速度は,下位にある岩層の速度より遅いの が一般的である.この場合,地震波は,より高速の下 位層の表面で屈折して地表に返ってくる.しかし,地下 にある低速度層(ミラージ層)では、これとは逆な関係 になるので、ある特殊な方法でこの岩層を見つけ出さ なければならない.部分溶融していて,立山火山(図 2のCの近く)のほぼ直下6~20km に分布していた 中部地殻(Vp5km/ 秒層)も、このような方法で発見さ れた(酒井ほか,1996).キュリー点近傍の岩層も一 部溶けている. 立山火山の場合は, 地下 10km ほどの 深さにキュリー点がある.図1Cに基づけば,本州弧中 央部におけるマグマ活動は,中部地殻の発達と深く関 係している(図1C).この図に基づけば,中部地殻は 中新世後期以降に急速に著しい発達を遂げたと考えら れる.この点に関して、気象庁の「大島の三原火山は マグマの注入によって膨れ続けている」というコメントに は注目しておく必要があろう (JMA, 2016) (図1C).

Part III. 地殻変動の更新的形質と遺伝的形質の二面性

(1-1) 地殻内の「古傷」が復活するメカニズム

時間の経過によって断層運動でできた割れ目は固化し ていって動きづらくなる.しかし,マグマが注入すると, 岩層全体が熱膨張する.これによって,固化していた 割れ目は再び開いて動くようになる.これが古い断層の 蘇りで,地殻やマントルの中で起こる「古傷」の再生 である.このことから考えると,グレンビル変動でできた 過去の深部断裂が新しいマグマ活動で再生して活動す る,という事は十分に起こり得る(図1C).

(1-2) 極東アジアの白亜紀後期に起こった再生

成層圏を飛んでいる飛行機の外は低温で,気圧も低い. 一方,機内は外より高温で,気圧も高い.もし,こうした 状況下で機体に傷が入ると,破壊が起きて、機体は爆 発する.仮に地殻が膨大な熱いマグマに押されれば, 上記の飛行機と同じような状態におかれるであろう.

白亜紀後期の領家型の花崗岩マグマ(Minato et al, 1965, p.192, 図 15-1 と p.194, 図 15-2) は, グレンビ ル変動の同心円状の深部断裂(図 1B-b)沿いに注 入してきた.これに続いて貫入してきたのは濃飛流紋 岩のマグマ(山田, 1977)であり,このときは,放射状 の深部断裂ぞいの注入だった(図 1B-c).

このうちの高粘性の花崗岩マグマは,地殻を押し曲げら れる能力をもち,地面を隆起させる力があり,低地を高 地に変えられる(Minato et al<eds.>, 1965の口絵 30-13 ~ 30-19).さらに,これら2つの深部断裂は再活動 して,地殻を押し曲げた(Gorai, 1960).これらの深部 断裂は両方とも,本州弧中央部の西部で互いに交差し ているが,その地域は,花崗岩質岩層の異常に厚いと ころである.これらの断裂は,地中を切り裂くように発達 しており,花崗岩マグマの大量注入によって,モホ面を 貫いて,上部地殻中にも貫入してきたと考えられる(図 1C-aと図 1C-b).

(2-1) 極東アジア地域における古第三紀後期から最初 期中新世の再生

玄武岩マグマが流体になって漸新世に地殻内へ侵入 したときに,地殻はマグマの中へ沈み込んだ.その結 果として,帯状の海域が図 3Aと図 3B に示されてい るように,グレンビル変動時の深部断裂ぞいに現れた (Sun Yoon, 2001, Tsunoda, 2001).この時も最初に現 れたのは,同心円状の深部断裂沿いだった.

(2-2) 極東アジアにおける前期中新世の再生

上記のような状況の後で極東アジアでは, グレンビル 変動の放射状の深部断裂に沿って,中新世前期の膨 大な安山岩マグマの注入があった.一般的に,中性の 安山岩マグマは,おそらく地殻を押上げて破壊した可 能性が高い.このため,グレンビル変動の時にできた同 心円状と放射状の深部断裂はともに復活・再活動を起 こして口を開いた.それによって,広い古海域が出現し たと考えられる (Minato et al <eds.>,1965の口絵,30-20~30-21;フォッサマグナ地質研究会,1991,図4; Sun Yoon, 2001; Tsunoda, 2001) (図 3A と図 3B).

こうしたことに基づけば、グレンビル変動の時に形成され た過去の深部断裂は、中新世前期に復活・再生したと結 論づけられる(Minato et al<eds.>、1965; Fujita, 1972; Minato<ed.>、1977; Tsunoda, 2001; Sun Yoon, 2001).

以上のことから,本州弧中央部の地殻の岩層部分は, モホ面とともに,この中新世後期から鮮新世にかけて の激しい火成一造構変動によって構造変形を被った可 能性がきわめて高い(図3C)(Hayakawa, 2001, p.38, 図6)(図1C-c).このような地質学的な変動で陸域 の変化が起こって,群島化がすすんだ(Minato et al<eds.>,1965,口絵30-22~30-23).

(3) 変動の遺伝的形質と更新的な形質

10~7億年(訳者注;原文の10 million は1000 million の誤り)前のグレンビル変動によって形成された2つの系統の深部断裂は,すでに述べたように白亜紀後期と中新世の二度にわたって,大きな火成-造構運動を起こした.それらの2つの深部断裂とは,同心円



図3 50~15Ma 前にグレンビル変動の同心円状の深部断裂 (Minato et al < eds. >, 1965) A. グレンビル変動によって形成された同心円状の深部断裂に沿って形成された第一段階の溝状海域 B. グレンビル変動によって形成された同心円状の深部断裂に沿って形成された第二段階の溝状海域

C. グレンビル変動の2つの深部断裂が両方とも復活したことで広まった古海域



図4 本州弧中央部における古陸域の拡大過程 A; 首都圏地域における新生代の古海岸線の移動 古海岸線の時代, a; 14 ~ 13Ma, b; 8 ~ 7Ma, c; 3 ~ 2Ma, d; 2~0.06Ma, e; 現在

▲ ; 14~0.06Maの火山岩と火成岩の貫入岩; 1-赤石山地, 2-巨摩山地, 3-身延山と篠井山, 4-富士川, 5-甲府盆地, 6-関 東山地と富士火山, 7-御坂山地と丹沢山地, 8-大磯丘陵と足柄 山地, ISTL, 糸魚川-静岡構造線.

B; 古陸域の広さの変化.

a; 古陸域の拡大, b; 礫岩層の体積量の増大, c; 礫径の増加 (C1, C2, C3), +; 閃緑岩マグマの貫入, v; 火山噴出物 'e'; 現在の海岸線

状と放射状の深部断裂である.新しいマグマが湧昇し てくるたびに、上記の復活劇が何回も繰り返された.

しかしながら, グレンビル変動による深部断裂のうち, 最初に復活するのは同心円状の深部断裂、と決まって いる.これは、この深部断裂が非常に深いところまで達 しているためと考えられる.こう考えれば、このマグマ活 動がより深部のマグマ活動に与えると想定できる.

次に起こる地殻変動は決まって放射状の深部断裂であ る.この規則性はいつも変わらず,復活劇の仕方と仕 様とはがいつも同じだった.こうしたことから,地殻変動 は遺伝的な形質をもっている、と考えたい. その具体 的な事例としては, 古海岸線, 本州弧のかたち, 中央 構造線などは, デボン紀前期から現在まで, いつも上 昇と沈降の境界線として現れ続けてきた(Minato et al, 1965、口絵、30-1~30-30).この事実は、地殻変動 の遺伝的形質と言えよう.

Part IV. 本州弧中央部の隆起過程

(1) フォッサマグナ地域の隆起

「フォッサマグナ」というのは,糸魚川-静岡線と柏崎 ー銚子線という二つの構造線で区切られた構造区であ ると言われる(図 3C).この地域では,18~15Maに 古海域が急速に拡大して深化した.このとき巨摩地域 など東側の地域が沈み込んだ(図5の④)が,その 古海域の海底は, すぐに逆にもり上がってきた (図 4). つまり,古海域では,巨摩地域などの海底がもり上がっ たために, 5Ma までずっと西への傾動が卓越していた (図5の④).

図 4A では,後の時代に古陸域になっていく地域を灰 色で示した.図 3C で分かるように, 白色で表した古陸 域は,時代が経つにつれて,面積が増えていく.つま り、この時代に古陸域の面積が増えたといえる.このこ とから,次のような事実が明らかになる.つまり,まず, 陸成堆積物と海成堆積物との境界であり、沈降と隆起



図5 いわゆるフォッサマグナ地域における火成-造構過程の流れ図 a,海成堆積物; b,礫岩層; c,深成岩類; d,貫入岩類; e,火山噴出物; f,不整合; g,撓曲; h,沈降; j,沈降と隆起の逆転; k,火山の噴火 1.浸食された物質の移動(m;隆起の運動量)

の区分線でもある古海岸線は拡がっていくことになる.

一例をあげれば,フォッサマグナ(FMR)地域では, 隆起が15Maから始まっている.赤石山地で削剥され て運ばれた河成礫は,フォッサマグナ地域の古海域に 堆積した.FMR地域に堆積した17~15Maの礫岩層 に基づけば,17Ma以前の赤石山地に,隆起して礫を 削剥・運搬する山地が分布していたことになる(Minato et al<eds.>,1965,図16-7,220p;フォッサマグナ地質 研究会,1991,図2,日本語;Tsunoda,2001).この 場合,古海岸線は,海岸線 a から海岸線 e に向かって 太平洋側へ移動したのである(図4A).

さらに言えば,この場合の古海岸線の移動速度は,古 陸域の拡大速度でもある.その意味で,古海岸線 a か ら古海岸線 c までのうち,移動速度が最大なのは,伊 豆半島を含む南北方向の帯状域であった.

フォッサマグナ地域における古陸域の拡大速度は図 4B-a, 礫岩層の堆積の増加は図4B-b, 礫径の増加は 図4B-cにそれぞれ示した通りである.フォッサマグナ 地域で最初の古海域として現れたのは巨摩地域(図 4Aの2と図5の①)であり,中新世前期のことだった. また,棒状の閃緑岩体(8~6Ma,+印,図4B)は地 面を突き押しした後,花崗閃緑岩体が地面を突き破っ て上昇して(10~8Ma,+印,図4B),丹沢山地を形成した(図4aの7と図5)と考えられる

すでに上述したように、マグマが地殻内、特に中部地 殻内へ注入されると、それらはすぐに熱せられて膨らみ、 隆起を発生させることはほぼ確実である.このほかに、 マグマの棒状体が入ってきた場合は、隆起速度が速ま る原因になる.さらに7Ma以降は安山岩マグマの注入 量が膨大になってきた.このマグマは、簡単に岩層中の 隙間に入り込むので、隆起域を拡大させる要因になる. 実際に、7~1Maの時代には、フォッサマグナ地域の ほぼ全域が隆起域となっていった(Tsunoda, 2001).

(2)本州弧中央部における幅の広い盾状隆起と幅の 狭い帯状の隆起

本州弧中央部には,3000m級の日本アルプスそびえている.しかし,2000m級の中山帯もめだつ(図2の D-D').そして,大きくみた場合,それらの山塊の最高点をむすんだ包絡面のうちの最大の包絡面の曲率は,古代の盾を伏せたような形で曲がっている堆積岩の岩層と花崗岩質岩層(上部地殻)の撓み面の曲率とほぼ同じである点が注目される.このような地形面を盾状の隆起と呼ぶ.けれども,この地域には,狭く直線的で,南北方向にのびる山塊の列,および,富士火山 帯も認められる(図 4a の伊豆半島における 6-7).こ れらは,狭い帯状の隆起域である.

(3) 隆起の様式とメカニズム

(3-1) 幅広い盾状隆起の形成過程

本州弧中央部の中西部(図2の B-D') に発達する盾 状隆起の西翼は東へ傾いている.しかし,この面の東 への傾きは1500万年も前に形成された.このことは次 の事実から明らかである: なぜかというと,その時代に 古陸域だった区域(現在の赤石山地,図4Aの1)か らの礫が,当時,東側にあった古海域に堆積・分布し ている(図5の①).このことは,当時の陸域の地面 は東傾斜していたことを示している.当時の古陸域と海 底の差動量は1000~1500mくらいだったと想定される. この差は,現在の赤石山地の高さと,フォッサマグナ地 域の中山帯の山塊の標高差にほぼ見合っている.

前期中新世における本州弧中央部(図 3C の四角枠; Tsunoda, 2002)では,西に古陸域(図 2 の AD'), 東に古海域(図 2 の D'-D''; フォッサマグナ地域; 図 3C の四角枠)が存在していた.こうした状況下で古 陸域が拡がれば,古海岸線は当時の海側へ遷移して いく.15Ma以降の FMR(フォッサマグナ)地域におい ては,こうした古海域から古陸域への変化が加速して いった(図 5A および図 5B の a グラフ).また,仮に 古陸域が拡大した場合,浸食も加速して,礫岩層の数 が増える(図 5B のbグラフ).そして,高山化が起これ ば,礫径は大きくなるはずである(図 5B のcグラフ). 以上のことから,富士火山帯と赤石山地とは,盾状隆 起の主軸部になった.

(3-2) 盾状隆起の形成原因

本州弧中央部(図2のB'-D')区域)における花 崗岩質岩層(図2の6.0km/秒層<上部地殻>)の 上面は,上に凸で撓んでいる.そして,この曲がり方 は,盾状隆起の断面形態とほぼ同じである.その上,こ の区域の中部地殻はきわめて厚い.しかし,高度の低 い部分での中部地殻は非常に薄い(図2のB-B'と D''-D''').加えて,後期中新世以降に,火山活動 が強まると,上述した高度が上昇してきた.その結果, 高くなった山岳地域で削剥量が増えて,礫岩層の数が 増加した.以上のことから,本州弧中央部の中部地殻 は,新生代の安山岩マグマ(図5の▲)の地殻内へ の注入量が増えるとともに,厚さを増したことは確実であ ろう.こうして,上部地殻は押し上げられて出がったと考 えられる.こうして盾状隆起は形成されたと考えられる.

すでに検討してきたように、盾状隆起は次のような順序 で形成されたと考えられる:まず、中新世前期に、膨 大な安山岩マグマが花崗岩質岩層を突き破って噴出 した.しかし、中新世中期(1000~800万年前)お よび鮮新世(600~400)になると、新しい閃緑岩マ グマ(図5Bの+印)が深部から湧昇してきた.この 高粘性のマグマの注入した割れ目は硬くなり、外力に 対する抵抗力が増した.一方,安山岩マグマ(図5B のv印)は後期中新世から鮮新世(750~250万年 前)および第四紀(150~50万年前)に注入され た.その時に中部地殻には,あふれんばかりの安産岩 マグマで満たされて膨らみ,上部地殻を押し上げるよう になった.そのために,上部地殻は破壊されてできた 割れ目に安山岩マグマ(図5Aの▲印)が貫入した. 図2のB-D''間では上部地殻と地殻の表層部が弓な りに曲げられた.このような状態になったのは,中部地 殻が膨らんで,上部地殻を上に撓ませたためである. Takahashi et al (1997)に従うと,マグマの注入による 中部地殻のふくらみが,そのまま,伊豆海嶺の上面を 隆起させたことになる.

(3-3)帯状の隆起の形成過程

図2のB-D'間には、白山のような活火山を伴った帯状の隆起帯と、それらを伴わない隆起域とがある.それに加えて、フォッサマグナ地域(図2のD'-D')と 富士火山帯にも、帯状の隆起帯が分布する.

これらのなかで,活火山を伴った帯状の隆起帯の形成 は,以下のように説明できる;上部地殻中にできた深 部断層は,封圧の減少するところになる.つまり,圧力 の弱い部分になるため,マグマは横に広がりやすくな り,ドームが形成されやすくなる.

一方,活火山を伴わず,図2のD'線に沿うゾーンに 近い赤石山地(図4Aの1)などでは,マグマの貫入 の証拠はまったくない.しかしながら,数え切れないほ どのせん断性の割れ目が在る.このことから,山塊は引 きずられるような変動を受けたと推測される.部分溶融 したマグマと地塊の変動とが,このようなタイプの帯状の 隆起のできた原因と考えられる.

Part V.本州弧中央部と伊豆海嶺の発達

(1-1)現在の火山と地震が周期的に発生する原因 筆者は、火山・地震(VE)活動を発生させる原動力は、 地球の外核から熱移送によって運ばれる熱エネルギー であると考える(Tsunoda, 2002, 2009a, 2009b, 2011, Tsunoda et al, 2013, 2014, 2015).熱の移送速度は、 一般的に、地下深部ほど速い(Blot, 1971; Blot and Choi, 2004).しかし、伊豆海嶺では、これよりずっと速 い熱移送が知られている(Tsunoda et al, 2013).南雲 からの私信によれば、「超臨界流体におけるエネルギー 移送の速度は非常に速い(Suga et al, 2008)」という. 伊豆海嶺における高速の熱エネルギー移送は、こうした 超臨界流体というエネルギー移送なのかも知れない.

さらに、グレンビル変動によって形成された太古の地球 の変形形態は、すでに紹介したように、何回も再活性化 した.再活性化させたのは、新しく異種のマグマ活動で あった.地球の古い骨格に沿って発生する現在の噴火 や地震は、地殻変動のもつ「遺伝的な形質」によるも のであろう.また、「マグマ活動の後で破壊活動が起こ る」という遺伝的な形質は言い換えれば「マグマ活動 の後で地震活動が発生する」ともいえる(Tyrrell, 1955; Beloussov, 1971; Mayerhoff et al, 1996).これらの結論 を筆者は、地震の予測への適用を試みている.さらに筆 者は、こうした視点を本論で、本州弧と伊豆海嶺の造構 的・火山学的な発達過程に適用してみることとした.

(1-2) 太古の地質・地形を復元する視点

古第三紀後期以降における本州弧中央部の地殻の発 達は,太古の造構様式の「よみがえり」という視点で 探る必要がある(図1A).とりわけ,富士火山や伊豆 諸島の活火山島で構成され,南北にのびる富士火山 帯は,そうした太古の古傷跡(グレンビル変動で形成 された,放射状の深部断裂)に沿って形成されたもの であり(図6),本論の目的にかなう帯状区域である. つまり,古い時代の変形や活動状態を蘇らせるのは, この復元を行うしかない.復元の結果,本州弧中央部 は4つの段階を経て,盛り上がったことが分かった.

(2-1) ステージ1-後期白亜紀から始新世の時代

本州弧では, 漸新世から始新世の間, 安山岩や玄武 岩などのマグマが噴出した.また,厚さはまちまちであ るが,本州弧のほぼ全域で,一定量の花崗岩質岩層 が分布する.一方,伊豆海嶺においては,いわゆる活 火山と花崗岩質岩層とが、地殻の膨らんだ部分に限っ て分布している. その膨らんだ部分の天盤は, 高粘性 の花崗岩質岩の破壊力のある押し上げによって,断層 や断裂がたくさん形成されている.極東アジアの地殻 やモホ面は, 白亜紀後期のはげしい花崗岩質マグマ の活動によって酷い変形をうけて(図1B・図1C-a), 地殻内,とくに,地殻を上下に二分するコンラッド面に 多くの空隙をつくった. そこが中部地殻になったのであ る. つまり, 白亜紀末期には, その空隙に流紋岩マグ マが入り込んで,中部地殻が誕生した(図1C-bおよ び図 6A のフォッサマグナ < FMR >地域). その後の 時代に,それと同じような割れ目からの膨大なマグマ噴 出および陥没性の堆積盆地群の形成が行われた.そ れに先立つ濃飛流紋岩マグマの時代にも,噴出前の 隆起と, それに引き続く陥没性の堆積盆地形成が存在 していたことになる (フォッサマグナ地域,図 6A).

(2-2-1) ステージ2-モホ面の破壊

モホ面が存在していれば,そこからの反射波・Pn 波を 観測できるのが普通である.しかし,フォッサマグナ地 域では,それができない(図2)(Zhao et al, 1997;早 川,2001).これは全く予想外のできごとだった.考え られるのは,白亜紀後期の花崗岩質マグマの湧昇で 地殻はかなりのダメージを受けて弱体化していたため, (訳者注;中新世の)膨大なマグマの熱い湧昇流がモ ホ面を突き破って破壊したことである.

(2-2-2) ステージ2-中部地殻の熱膨張

中新世前期初頭に,巨大なマグマの湧昇流がモホ面



図6 富士火山帯から伊豆海領北部までの地殻発達過程のモテル a - マントル; b - 下部地殻; c - 中部地殻; d - 上部地 殻; e - 隆起と沈降; f - マグマ; g - 火道; h - 活火 山; i - 休火山と死火山; j- 古海域 A. 漸新世(5300万年前) - 始新世(2300万年前) B. 前期~中期中新世(1800~1500万年前) C. 末期中新世〜鮮新世(500~300万年前) D. 更新世(175~1万年前)

を突き破った.その湧昇流の影響は本州弧中央部を はじめ,伊豆海嶺 (Takahashi et al, 1997),大和海 嶺 (Kurashimo et al, 1996), Sato et al, 2001) など に及んでいる.深部断裂の蘇りで地殻が外力性の応力 を受けた後、大和海嶺、いわゆるフォッサマグナ地域、 本州弧中央部などでは,新生代の安山岩や閃緑岩な どの膨大な注入を受けた(図1C-cおよび図1c-d: Minato et al<eds.>, 1965 ; Fujita, 1972 ; Minato<ed.>, 1977).一般的に、中性の安山岩マグマは高い浸透 力をもっていて,地殻中に広域的に広がる性質がある. フォッサマグナ地域(図4)では、方向の異なる深部 断裂がほぼ同時に活動したため、花崗岩質岩ででき た上部地殻はひどく破壊された.切られた花崗岩質岩 の多くのブロックは,柔らかい中部地殻中へ沈み,古 海域がいっきに広がった(図 3b →図 3C).この変動 で地殻の速度構造とモホ面とは広域的に破壊が進行 していった(図 4B のフォッサマグナ地域;フォッサマ グナ地質研究会, 1991; Tsunoda, 2001; Sun Yoon, 2001).地殻,とくに中部地殻は、マグマの大量注入 が引き続いたために、その層厚が増した.とりわけ、伊 豆海嶺と大和海嶺の地殻の層厚増加が顕著だった(図 6Bの伊豆海嶺).

(2-3) ステージ3 一部分溶融した中部地殻の鮮新世における熱膨張

鮮新世になると,なかなか噴出してこない(訳者注; 高粘性の)デイサイトのマグマの体積量が増えた.この 高粘性のマグマが既存の割れ目や裂罅を充填して固ま ると、それ以後に湧昇してくるマグマを遮るバリアを形 成する. デイサイトのマグマ活動が盛んだった 鮮新世 に、爆発性の噴火が少なかったのは、このようなことが あったためと思われる. 合板の板を曲げたときには,板 と板の貼り付け面がズレ動く.同じようなことは、地殻を 構成する岩層でも起こるであろう.たとえば,マグマプ リュームが地殻を押し曲げたときに,地殻の上下の岩層 を「接着」していた「コンラッド」面は、剥がされて動 く可能性がある.この時に、剥がれた空隙にマグマが 入り込めば、中部地殻という岩層が形成される可能性 は高い(図 6C のフォッサマグナ地域).以上のことか ら本州弧中央部(Tsunoda, 2001)と伊豆海嶺に発達 する中部地殻は、マグマが充填して膨らんで、上部地 殻を押し上げたのであろう(図 6C).

(2-4) ステージ4 ー幅広の盾状隆起と狭小のピラミッド型隆起

グレンビル変動で最初に同心円状の深部断裂が形成さ れ,つぎに放射状の深部断裂ができた.その後,マグ マの活動様式が変わるたびに,これらの交差した深部 断裂は再活動を繰り返した.鮮新世以後になると,安 山岩マグマの湧昇があり,本州弧中央部の上部地殻 は,押し上げられて曲げ変形を被った.この上向きの 撓曲が盾状隆起を生み出した.一方,広域にわたる上 向き撓曲変形がすすむと,上部地殻中には,割れ目 群が形成されて地塊運動が激しくなった.このブロック 変動の結果、ピラミッド型隆起という地塊群が高くもり上 がった(図1C-d).フォッサマグナ地域では、上記の 深部断裂が交差していて,中新世前期には,モホ面が 破壊された(図 6B).その結果,本州弧中央部では, 中部地殻が厚さを増して、上述した上部地殻中の地塊 群や大地の面を押し上げた(図 6C).赤石山脈や日 本アルプスの山々(図4Aの1)のいずれもが,今日 のアルプス山脈, 巨摩山地 (図 4A の2) へと発達した. また,関東山地は亜高山帯の山を形成した(図4Aの 6). すでに IV-3-1 で述べたように,こうした山地の原 型は盾状隆起といえる.

結語とこれからの課題

(1) 放射状深部断裂における中部地殻の高度と厚さの変化

本州弧中央部において, グレンビル変動による放射 状の深部断裂に沿いに作成した, 水平: 垂直=1:1 の縮尺の東西方向の断面図が図7である. この図で は、地形的な高度は北側にいくほど高くなっている.さらに、中部地殻の厚さは、南から北へ、MEC3、MEC2、 MEC1の順で厚くなっている(Takahashi et al, 1998; Zhao et al, 1997; Sakai et al, 1996).この放射状の深 部断裂における安山岩マグマの活動はどこでも中新世 以降に激しくなっている.かりにこのマグマが中部地殻 に注入されるとすれば、中部地殻は膨れたり、厚くなっ たりしていると考えられるから、この場合、上部地殻と地 表面は押し上げられ、高度を高めたはずである.この 事実は、マグマが中部地殻へ注入され、上部地殻を押 し上げることで証明できる.

(2) 本州弧と伊豆海嶺の識別

(2-1) いわゆる衝突境界の地質学的解釈

箱根火山,伊豆半島,伊豆諸島は本州弧中央部から南 へのびている.1970年代までは,これらの地域はいわ ゆる海洋プレートに属していて花崗岩質岩層は存在して いない.したがって,この海洋プレートは,花崗岩質岩 層からできている本州弧中央部の大陸プレートと衝突し ている(Sugimura and Ueda,1973)とされていた.しかし, 浅野ほか(1985)の地震探査でこの仮説の間違いが指 摘された.つまり,本州弧中央部のフォッサマグナ地域 に分布する,厚さが10kmほどの花崗岩質岩層は伊豆 半島沖まで連続的につながっていたのである(浅野ほ か,1985).さらに,はるか南の北緯32度線付近まで, 衝突境界を含めて,ほとんど構造的な乱れの無いままで 連続しているのである(Takahashi et al,1998).



図7 第四紀の活火山群と中部地殻は, 深部断裂沿うモホ面の 破壊箇所で発達する

- a 第四紀活火山群と地震探査測線. V1 白山火山, V2 乗鞍火 山, V3 新潟焼山火山, V4 伊豆海嶺, V5 富士火山 - 伊豆 半島, V6 鳥海火山帯, S1 金沢 - 吾妻測線(酒井ほか, 1996); S2 夢の島 - 根尾測線(Zhao et al, 1997); S3 北 緯32度の緯度線測線(Taakahashi et al, 1998).
- b L1-L2-L3; グレンビル変動の放射状深部断裂; CHA, 本州 弧; IR, 伊豆海嶺; 横線,海水; 白色部,上部地殼; 灰 色部,中部地殼; たて線部,下部地殼とマントル; MEC(中 部地殻)中のS1は閃緑岩体

(2-2)本州弧中央部における地殻変動の遺伝的な形質 巨大なグレンビル変動による同心円状と放射状の深部 断裂群は,現在,10億年前の大地の古傷として基盤 岩中に遺されている.1億年前に湧昇した領家花崗岩 のマグマによって,当時の基盤岩が熱膨張し,閉じて いた同心円状の深部断裂のせん断面が開いた.それ でマグマは,開いた空隙に侵入していった(図1Ca).その次に,閉じていた放射状の深部断裂のせん断 面も開いて再活動した.そこへ濃飛流紋岩のマグマが 侵入した(図1C-b).18~17Maおよび5Ma以後に なると,マグマの湧昇によって,まず,同心円状の深部 断裂が再生して活動し,つぎに,放射状の深部断裂が 甦って活動した(図1C-cと図1C-d).2つの深部断 裂がともに復活したのは,地殻変動が本来もっている遺 伝的な形質と考えられる.

(2-3) 地殻変動の遺伝的な形質の現代における甦り

グレンビル変動による放射状の断裂帯は,東経138度 から東経139度くらいまで及んでいると想定される(図 4A).中新世から鮮新世まで,安山岩を含む膨大なマ グマが放射状の断裂に沿って湧昇し,フォッサマグナ 地域に噴出した.現在の富士火山帯における地下の温 度構造(図7のV4とV5)は、こういう風にして形成さ れたのであろうか? さらに、その活動は、どのように発 達してきたのであろうか? Zhao et al (1997) による「熱 い|中部地殻(図8の点部<英文の灰色部は誤り>)は、 富士火山帯の直下にまで達している.さらに,P波の最 低速部(図8の灰色部; 弘瀬ほか, 2008)は, 地下 30kmから地表面へ向かってもり上がっている. 岩石の 高温状態は,キュリー点と言われる磁力線の強弱で分 かる.本州弧中央部におけるキュリー点は地下 12km よ り深いところが多い (Okubo et al, 1989). しかし, 新 生代の火山活動がさかんな場所でのキュリー点は地下 10km 以浅である.とくに,富士火山帯の活火山の分布 する区域では地下 6km より浅い場所に分布する.

本州弧中央部では,後期中新世から盾状隆起の中心



図8 図7aの断面図でS2速度層中の低速度層

灰色部, P波の最低速度層(弘瀬ほか, 2008), キュリー点, 中部地殻,低速度層は地形的な凹地にも広く分布する. 部,つまり,放射状の深部断裂でマグマ活動が活発に なりはじめ,現在にまで続いている.そして,マグマ流 動体は,増え続けるマグマ量をバックにして,その中心 部をより高く押し上げた.マグマ流動体が盾状隆起を促 進させるのは,地殻変動の遺伝的形質にほかならない. その形質は現在でも健在であると考えられる.それを具 体的に示すのが,マグマと造構運動によるフォッサマグ ナ地域の地殻変動で,図8Bに示した通りである;つま り,大島の三原火山では,まず磁力線が弱まるとともに, 重力計の値が大きくなってくることで,マグマの湧昇が 分かる.次に,噴火と地震活動が起こって(図9-aの ▲とたての線),地面が傾動する(図9-b).最後に 伊豆と富士火山帯で火山・地震活動が盛んになり,相 対的に下がる東京湾では地震が増える(図9-c).

(3) これからの課題

島弧と海嶺の異同関係については、これからも、環太平 洋地域でもっと検討していくべき課題である.くわえて、 熱せられた中部地殻が熱膨張して上部地殻を上向きに



- 図9 首都圏南縁部で活動する火成-造構モデル
- a; 大島における火山-造構現象の発達過程(図7のO)1.月 別の地震発生回数(たての線),2.光波測距計で観測された 三原火山の膨張.測距計は大島の中央部に南北方向で設置さ れ,長さは5km.0cmは観測期間(1987年1月~2005年12月) の平均値;噴出物の体積 VE13(▲,2~3×10⁷m³) < VE12(▲, 10⁴m³) < VE11(▲)
- b; 首都圏南縁部における傾動方向の逆転(図4AのLevelling マーク)▲-▲(1992年12月~1993年1月),_{○-○}(1993年 11月~1994年2月),_{■-■}(1997年6月~1998年2月),_□ -□(2000年6月~2002年7月),大島に近い真鶴や小田原が 隆起した(長い矢印の区域).
- c; 伊豆-東京地域のシーソー運動モデル(このモデルの位置 は図4A中の図9B-b参照;訳者注,英文本中の8B-bは9Bb・9B-cの誤り)
- FVZ, 富士火山帯; CSZ, 断層集中帯; SF, せん断断層; 灰色部, 地震の集中発生帯; DE, 深発地震; SE, 浅発地震

点部, 中部地殻が含まれると考えられる 6.0 ~ 6.5km/ 秒層 (Zhao et al, 1997)

曲げる,という仮説もこれからの検討課題と言える.すな わち,そのことが,地表面の隆起という現象を引き起こす 可能性があるからである.いっぽう,熱膨張が治まれば, 地面は沈降する.言い換えれば,中部地殻の膨張と収 縮が地殻変動をコントロールしているといえる.火山活動 と地震活動は,このような視点に基づいて観察と解析を 行っていく必要がある.こうすれば,火山噴火や大地震 などの予測は,より科学に立脚したものとなろう.

謝辞 南雲博士, Don Choi, Nina Pavlenkova の皆様 からは、ご助言と最新の情報を提供していただいた.ま た,矢野,足立,川辺,久保田のみなさんには拙著を ご高閲いただき,適切な助言をいただいた.また,本 著の掲載の許可いただき,厚く御礼を申し上げる.

補注 この日本語訳は寺崎紘一・川北敏章・新井 節・ 足立久男・佐藤和平の各氏にお願いし,また,訳に関 連して赤松 陽・宮城晴耕・佐瀬和義・小川政之の 各氏にご援助いただきました.さらに,本文の英文のミ スもご訂正いただきました.厚く御礼申し上げます(論 文著者 角田史雄).

文 献

- Aoki, H., Tada, T., Sasaki, Y., Ooida, T., Muramatu, I., Shimamura, H. and Furuya, I., 1972. Crustal structure in the profile across central Japan as derived from explosion seismic observation. Jour. Phys Earth, v. 20, p. 197-223.
- Asano, S., Wada, K., Yoshii, T., Hayakawa, M., Misawa, Y., Moriya, T., Kanazawa, T., Murakami, H., Suzuki, F., Kubota, R. and Suehiro, K., 1985. Crustal structure in the northern part of the Philippine Sea plate as derived from seismic observations of Hatoyama-off Izu peninsula explosions. Jour. Phys Earth, v. 33, p. 173-189.
- Beloussov, V.V., 1971. The earth crust and the upper mantle developed in the ocean. Translated from Russian to Japanese, The association for Geological Collaboration of Japan, Tokyo, 362p.
- Blot, C., 1971. Volcanisme et seismicite dans les arcs insuaires: prevision de ces phenomenes. ORSTOM, Geophysique, no. 13, 206p.
- Blot, C. and Choi, D.R., 2004. Recent devastating earthquakes in Japan and Indonesia viewed from the seismic energy transmigration concept. NCGT Newsletter, no. 33, p. 3-12.
- Chapman, R.W., 1954. Criteria for the mode of emplacement of the alkaline stock at Mount Monadnock, Vermont. Bul. Geol. Soc. Am., v. 65, p. 97-114.
- Choi, C.R., 2013. An Archean geanticline stretching from the South Pacific to Siberia. NCGT journal, v. 1, no. 3, p. 45-55.

- Collaborative Research Group of the Fossa Magna, 1991. Uplifting of the Fossa Magna. Editorial board of uplifting of the Fossa Magna (eds.) (1991) Uplifting of the Fossa Magna. The association for the geological collaboration in Japan, 159-181, Monograph, no. 38, 181p.
- Dearnley, R., 1966. Orogenic fold-belts and a hypothesis of earth evolution. "Physics and Chemistry of the Earth", Ahrens, L.H., Press, F, Runcorn, S.K. and Urey, H.O. (eds.), Pergamon Press, v. VIII, p. 1-114.
- Fuchs, K. (ed.), 1997. Upper Mantle heterogeneities from active and passive seismology. NATO ASI Series Partnership Sub-Series 1, Disarmament Technologies, v. 17, Kluwer Academic Publishers, London, 366p.
- Fujita, Y., 1972. On the low of the Green-tuff orogenic movement and geosynclines. Pacific Geology, no. 5, p. 89-115, Tsukiji-Shokan, Tokyo.
- Gavrilov, A.A., 2015. The Darwin Rise and geomorphological-geological indications of focal systems on the Pacific Ocean floor. NCGT Journal, v. 3, no. 2, p. 196-207.
- Gorai, M., 1960. Ultimate origin of granite. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 52, p. 1-8.
- Gorai, M., 1968. Some geological problems in the development of Japan and the neighboring island arcs. Geophys. Monogr., v. 12, p. 481-485.
- Gorai, M., Kagami, H. and Iizumi, S., 1972. Reexamination on the source material of granitic magmas. Jour. Geol. Soc. Japan, v. 78, p. 549-559.
- Hanzawa, S., 1947. Eocene foraminifera from Hahajima (Hillsborough Isl.). Jour. Paleont., v. 21, p. 254-259.
- Hayakawa, M., 2001. Seismicity and volcanic activity in Japan. Himalayan Geology, v. 22, no. 1, p. 33-39.
- Hirose, F., Nakajima, J. and Hasegawa, A., 2008. Threedimensional velocity structure and configuration of the Philippine sea slab beneath Kanto district, central Japan, estimated by double-difference tomography. Zisin, Second series, 123-138. In Japanese.
- Hoshino, M., 1981. Basaltic Stage. Jour. Mar. Sci. Technol., Tokai Univ., no. 16, p. 65-68.
- Hotta, H., Murauchi, S., Usami, T., Shima, E., Motoya, Y. and Asanuma. T., 1964. Crustal structure in central Japan along longitudinal line 139°E as derived from explosion-seismic observations Part 2, Crustal structure. Bull Earthq Res Inst, v. 42, p. 533-541.
- Huang, T.K. (ed.)., 1986. The geological development of the main land of China. Xue-Ming L; a Japanese translation from Chinese, Tsukiji Shokan Co., 137p.
- JMA (Japan Meteorological Agency) HP, 2016. http:// www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php, in Japanese.
- JMA HP, 2016. http://www.data.jma.go.jp/menu/ bunyavolcano.html, in Japanese.
- Kaneoka, I., Isshiki, N. and Zashu, S., 1970. K-Ar age of the Izu-Bonin Islands. Geochem. Jour., v. 4, p. 53-60.

- Kodama, K., Long, X-M. and Suzuki, Y., 1985. Structural analysis of deep-seated volcanic rock reservoirs by tectonic simulation. United Nations ESCAP, CCOP Technical Bull., no. 17, p. 61-79.
- Kozlovsky, Y.A. (ed.), 1987. The superdeep well of the Kola Peninsula. Springer-Verlag, Berlin, 558p. (In Russian, Nedra Moscow, 1984)
- Kurashimo, E., Shinohara, M, Suehiro, K., Kasahara, J. and Hirata, N., 1996. Seimic evidence for stretched continental crust in the Japan Sea. Geophys., Res., Lett., v. 23, p. 3067-3070.
- Ludwig, W.J., 1962 (in Russia). Fig. 35 in Beloussov, V.V. (1971). The earth crust and the upper mantle developed in the ocean. 112p, Translation into Japanese from Russian, The Association for Geological Collaboration of Japan, Tokyo, 362p.).
- Meyerhoff, D.H., (ed.), 1996. Surge tectonics: A new hypothesis of global geodynamics. Kluwer Academic Publishers, Solid Earth Sciences Library, v. 9, 323p.
- Minato, M., Gorai, M. and Hunahashi, M. (eds.), 1965.The geologic development of the Japanese Islands.The Association for Geological Collaboration of Japan. Tsukiji Shokan, Tokyo, 442p.
- Minato, M., ed., 1977. Early life of the Japanese Islands. "Japan and its nature", v. 9, p. 189-212, Heibonsha, Tokyo, 220p.
- Mueller, S., (ed.), 1974. The structure of the Earth's crust based on seismic data. Upper Mantle Project; Scientific report No. 39, Developments in geotectonics, v. 8, Elsevier, 379p.
- Obayashi, M., 2009. Mantle-tomographic pictures of the Earth. Tsunoda, F., Habits of earthquakes. Frontispieces, Kodansha, 190p.
- Okubo, Y., Tsu, H. and Ogawa, K., 1989. Estimation of Curie point temperature and geothermal structure of island arcs of Japan. Tectonophysics, v. 159, p. 279-290.
- Pavlenkova, N.I., 1997. General features of the upper mantle structure from seismic data. Fuchs K (ed.), Upper mantle heterogeneities from active and passive seismology. NATO ASI Series1, Disarmament Technologies, v. 17, Kluwer Academic Publishers, p. 225-236, London, 366p.
- Pavlenkova, N.I., 2016. Degassing and expanding Earth: New model of global tectonics. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 3, no. 4, p. 489-515.
- Salop, L.I. and Scheinmann, Yu.M., 1969. Tectonic history and structures of platforms. Tect., v. 7, p. 565-597.
- Salop, L.I., 1983. Geological evolution of the Earth during the Precambrian (trasl Grudina, V.P.). Springer-Verlag, Berlin, 459p.
- Sakai, S., Iwasaki, T., Iidaka, T., Yoshii, T., Yamasaki, F. and Kuwayama, T., 1996. Crustal structure of the

Chubu District by artificial seismic investigation. The Earth Monthly, v. 18, no. 104-109. (in Japanese)

- Sasaki, Y., Asano, S., Muramatsu, I., Hashizume, M. and Asano, T., 1970. Crustal structure in the western part of Japan derived from the observation of the first and second Kurayoshi and Hanabusa explosions. Part 2. Bull Earthq Res Inst i0, v.48, p.1129-1136.
- Sato, T, Shinohara, M., Suehiro, K., Karp, B.Y., Klinch, R.G. and Isezaki, N., 2001. Seismic velocity structure of Kita-Yamato Trough, Japan Sea revealed by ocean bottom and airgun survey. In Japanese, Bull Earthq Res Inst, v. 53, p. 337-355.
- Solodilov, L.N., 1997. The GEON Center: 25 years of implementation of PNE in studies of Earth's deep structure. Upper Mantle Heterogeneities from active and passive seismology (Fuchs, K, ed.), VATO ASI Series, p.1-10, Kluwer Academic Publishers, 366p.
- Suga, K., Kuniyasu, H., Hattori, T., Saito, T., Mizohata, I., Iwata, T. and Hirase, S., 2008. Effect of water rotation on photoresist stripping in supercritical CO2. Solid State Phenomena, v. 134, p. 355-358. 2008. Trans Tech Publication, Switzerland.
- Sugimura, A. and Uyeda, S., 1973. Island Arcs: Japan and its environs. Elsevier, Amsterdam, 247p.
- Takahashi, N., Suehiro, K. and Shinohara, M., 1998. Implication from the seismic crustal structure of the northern Izu-Bonin arc. Island Arc, v. 7, p. 383-394.
- Tittgemeyer, M., Ryberg, T., Fuchs, K. and Wenzel,
 F., 1997. Observation of teleseismic Pn/Sn on super long-range profiles in northern Eurasia and their implications for the structure of the lithosphere. (Fuchs, K., ed., Upper mantle heterogeneities from active and passive seismology. p. 63-73, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 366p.
- Toyoshima, Y., Kagoshima, K., Tsunoda, F. and Kodama, K., 2006. The analysis of the geological developmental process developed in the south-western Metropolitan district using the Virtual Basement Displacement (VBD) Method. In Japanese, Earth Science, v. 60, no. 1, p. 35-48.
- Tsunoda, F., 2001. Middle Pleistocene uplift of the South Fossa Magna region. Himalayan Geology, v. 22, p. 17-25.
- Tsunoda, F., 2002. Mio-Pliocene geotectonic development of the northern Izu-Bonin Arc. New Concept Global Tectonics i0. May, 2002, p. 209-212, Otero Junior College La Junta, Colorado USA, 362p. with six figures.
- Tsunoda, F., 2009a. Habits of earthquakes Part1: Mechanism of earthquakes and lateral thermal seismic energy transmigration. New Concepts in Global Tectonics Newsletter i0, no. 53, p. 38-46.
- Tsunoda, F., 2009b. Quest of habits of earthquakes Earthquake area of Tokyo and Saitama -. In Japanese,

no. 62, p. 41-47.

- Tsunoda, F., 2010a. Habits of earthquakes Part 2.Earthquake corridors in East Asia. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 54, p. 45-56.
- Tsunoda, F., 2010b. Habits of earthquakes Part 3: Earthquakes in the Japanese Islands. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 55, p. 35-65.
- Tsunoda, F., 2011. The March 2011 Great Off-shore Tohoku-Pacific Earth-quakes from the perspective of the VE process. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 59, p. 69-77.
- Tsunoda, F., Choi, D.R. and Kawabe, T., 2013. Thermal energy transmigration and fluctuation. NCGT Journa, v. 1, p. 65-80.
- New Concepts in Global Tectonics Journal, V. 4, No. 2, June 2016. www.ncgt.org 193
- Tsunoda, F., Kawabe, T. and Choi, D.R. 2014. Transmigrating heat passing through the Aogashima volcanic island, Izu volcanic chain, Japan. NCGT Journal, v. 2, p. 23-27.
- Tsunoda, F., Kawabe, T., Kubota, Y., Hayakawa, M. and Choi, D.R., 2015. Tendency of volcanoseismic activity developed in the central part of the Honshu Arc. NCGT Journal, v. 3, no. 1, p. 34-42.
- Tyrrell, G.W., 1955. Distribution of igneous rocks in space and time. Bull. Geo. Soc. Am., v. 166, p. 405-426.
- Usami, T., Mikumo, T., Shima, E., Tamaki, I., Asano, S.,

Asada, T. and Matuzawa, T., 1958. Crustal structure in northern Kwanto district by explosion-seismic observations. Part II. Models of crustal structure. Bull Earthq Res Inst, v. 36, p. 349-357.

- Vasiliev, B. and Yano, T., 2007. Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. NCGT Newsletter, no. 43, p. 3-17.
- Yamada, N., 1977. Nohi Rhyolite and associated granitic rocks. Guidebook for excursion. Geol. Surv. Japan,v. 4, p. 33-60.
- Yamamoto, A., Nozaki, K., Fukao, Y., Furumoto, M., Shichi, R. and Ezaka, T. 1982. Gravity survey in the Central Ranges, Honshu, Japan. Jour. Phys. Earth, v. 30, 201-243.
- Yano, T. 2014. Late Mesozoic tectono-magmatism in the west Pacific Ocean – Did the Darwin rise demise or revise? NCGT Journal, v. 2, no. 3, p. 42-54.
- Yoon, S., 2001. Tectonic history of the Japan Sea region and its implications for the formation of the Japan Sea. Himalayan Geology, v. 22, p.153-185.
- Yoshii, T., Sasaki, T., Tada, T., Okada, H., Asano, S., Muramatsu, I., Hashizume, H. and Moriya, T. 1974. The third Kurayoshi explosion and crustal structure in the western part of Japan. J. Phys. Earth, v. 22, p. 109-121.
- Zhao, Z., Kubota, R., Suzuki, F. and Iizuka, S., 1997. Crustal structure in the Southern Kanto-Tokai region derived from tomographic method for seismic explosion survey. Jour. Phys Earth, v. 45, p. 433-453

日本列島の島弧会合部における第四紀高品位金鉱床の時空分布と そのグローバルな適応

Spatial distribution of high grade epithermal Quaternary gold deposits at Japanese island arc junctions and their global implications

久保田喜裕

新潟市西区五十嵐二の町 8050 新潟大学理学部自然環境科学科 kubota@env.sc.niigata-u.ac.jp

(久保田 喜裕 [訳])

要旨:世界有数の金鉱化作用で特徴づけられる菱刈金鉱床は,1981年に発見された.1985年から操業され,2015年の 生産時の平均最高品位は40g/t,産金量は216.7tであった(Sumitomo Metal Mining Co., LTD.: http://www.smm.co.jp/ E/). 驚くべきことに,鉱脈の生成年代は約1Maときわめて新しく,金鉱脈からは65℃の温泉水が湧出していた.このタ イプの金鉱床,第四紀温泉型金鉱脈は,しばしば先頭性鉱床であるため,地表で探査指針を得るのが難しくなってきている. 本論では,金鉱床胚胎場有望地域の探査指針としてのコールドロンモデルと"島弧会合部"の意義の概略と考察を行った.

キーワード: 菱刈金鉱床, 温泉型浅熱水性金鉱床, コールドロンモデル, 島弧会合部

(2016年4月8日受付, 6月11日受理)

はじめに

日本は14世紀のベネチアの探検家マルコポーロの時 代以来,"黄金の国ジパング"と呼ばれてきたが,な かでも北日本の北海道,中部日本,南日本の九州で, 産金量 10-50 t/Au の大規模な金鉱床が採掘されてきた(図1). そのような場所は地質学的には"島弧会合部"と呼ばれ、そこでは千島(クリル)弧、伊豆-マリアナ弧、琉球弧が本州孤と交差している.



図1 日本列島における大規模金鉱床と島弧会合部の位置. 凡例: マゼンタ色四角:大規模金鉱床(10-50t/Au <). オレンジ色丸: 島弧会合部. 黒色四角:図2,5の位置. レリーフマップは"Marine Geoscience Data System, GeoMapAppo"(http://www.geomapapp. org)による. 日本列島は三つの島弧会合部で特徴づけられる. そこでは千島 (クリル)弧,伊豆-マリアナ弧,琉球弧が本州 孤と交差している. 多くの大規模金鉱床は島弧会合部に近接して 分布している.

日本には歴史的な金鉱山が多くあるが,現在は金属鉱 業事業団 (MMAJ) によって 1981 年に発見された南九州 の菱刈金鉱山 (MITI, 1982) だけが操業中である.特筆 すべきことは,菱刈金鉱山の平均品位は 40-50 g/t かそ れ以上で,その規模は世界有数の米国の Fire Creek 地下金鉱山 (金品位の点では現在世界第一位にラン キングされる)と同様かそれ以上である.日本列島の 金鉱脈の鉱化年代はこれまで新第三紀と信じられてき たが,菱刈金鉱脈は約1 Ma の第四紀に生成されたこ とが分かった.興味深いことに,金鉱脈裂か系からは 60℃の温泉水が湧出している.そのため,菱刈金鉱 床は温泉型浅熱水性金鉱床と呼ばれている.

これまで, Kubota (1986, 1989, 1991, 1994, 2001, 2002) は,南九州の金鉱脈は鮮新-更新世にカルデラを含 むコールドロンや火山性陥没構造 (Smith and Bailey, 1968; Komuro, 1987) に規制され生成されたこと,また 第四紀温泉型浅熱水性金鉱脈の有望地域として島弧 会合部の重要性を指摘した.

金鉱床胚胎場としてのコールドロン

九州は、鮮新-更新世の間,激しい陸上火山活動 の場になったが、一部の地域は現在の火山-地熱地 帯へと引き継がれている(例えば、Matsumoto,1979). 火山活動の後には、低ブーゲー異常を示す径 10-20 km の多数のコールドロン/カルデラが形成された (図2). 鹿児島グラーベンおよび九重-別府グラー



図2 九州における金鉱床,コールドロン/グラーベン,キュリー 点深度の関係,Kubota(2005)を改変. 青色四角:図s.3,4 の範囲.青実線:図.10 の断面線.凡例1: 活火山,2:グラーベン,3:活断層,4:コールドロン/低ブー ゲー異常,5:先新第三系,6:新生界~第四系,7:金鉱床(赤 丸-大きな赤丸は菱刈鉱床),8:熱水変質帯,灰色実線:キュリー 点等深線(1km間隔).浅熱水性金鉱床,コールドロン/グラー ベン,活火山はキュリー点深度 8-9km以浅に分布している.

ベンは,連鎖した巨大カルデラ群によって形作られた (Kubota,1991). 金鉱脈,カルデラ,グラーベン,活火 山は,キュリー点深度が 8-9 km 以下の浅部に分布し ている(図3).

図3に示されるように、南九州では、金鉱脈は一般に コールドロン縁辺部、とくに複数のコールドロンに挟ま れる部位に位置している。金鉱脈は陥没構造の縁辺 部の走向方向に並走している。このことは、金鉱脈は 複数の陥没構造形成時の引張断裂に関連し形成され たことを示唆している(Kubota,1986).中部九州の金鉱 脈も同様に(図.4)、低ブーゲー異常/コールドロン の縁辺部の断裂系に規制された(Kubota,1991).旧金 山、熱水変質帯、温泉は、複数の低ブーゲー異常の 縁辺部ないしは挟まれる部位に位置している.

久保田(1989)は、南九州の地質発達史を再現するな かで、スケールモデルアナログ実験を用い、鉱脈裂か 系の形成過程を復元した.それによれば、金鉱脈胚 胎場は鮮新-更新世に二列のコールドロンが形成され る過程で、局所的な引張場におかれた場に形成され た. その際,表層の引張裂か系が金鉱脈の骨格を決 定した. それはマグマダイアピルから上昇した鉱化熱 水を伴う深部断裂系と連結し,続いて鉱化熱水が天水



図 3 南九州における金鉱床とブーゲー異常との関係, Kubota (1986) を改変. 凡例1:金鉱床,大円は菱刈鉱床, 2:コー ルドロン/低ブーゲー異常 (A:阿多, B:姶良, C:安楽, D:加久藤, E:小林, F:川内, G:入来, H:都城, I:大口, J:八重山, K: 串木野, L:頴娃, M:枕崎), 3:鹿児島グラーベン, 灰色実線: 重力等値線, 2 mgal 間隔. コールドロンは強いブーゲー異常を 示す. 鹿児島グラーベンは群生したコールドロン群からなってい る. 浅熱水性金鉱床は概してコールドロン間の縁辺部に沿って分 布している.



図 4 中部九州における金鉱床とブーゲー重力異常との関係, Kubota (1991) を改変. 凡例 1: コールドロン/ 20 mgal 以上の 低ブーゲー異常, 2: コールドロン/ 20 mgal 未満の低ブーゲー 異常, 3: 熱水変質帯, 4: 金鉱床, 5:60 ℃ 以上の温泉, 6:60 ℃ 以下の温泉, 7: 先新第三系, 8:活断層. 浅熱水性金鉱床, 旧廃止鉱山, 熱水変質帯, 温泉は複数のコールドロンに挟まれる 部位に位置している. 九重-別府グラーベンは連鎖/群生コール ドロンからなっている.

と混合,冷却,沈殿した;金鉱脈はこのような過程を 経て生成された(Kubota,1989).単一の隆起一陥没運 動だけでは,単に放射状・環状断裂系が形成される だけで,並走する鉱脈裂か系は形成されない.

上述のように、九州の地質学的な場は島弧会合部の ひとつとみられる(図1). 同様に、中部日本や北海道 といった他の二つの島弧会合部においても、金鉱脈 はコールドロンの形成過程に伴う断裂系に規制された (Kubota,1991). 北海道東部の金鉱床も、コールドロン/ 低ブーゲー異常、ないしは連鎖するコールドロン群か らなるグラーベンの縁辺部に位置している. グラーベ ン/広域的凹地構造の縁辺部では、金鉱化作用は北 方(14.3-13.4 Ma)から南方(4.51-4.3 Ma)へ移動した. さらに南方の上士幌鉱床の金鉱脈では、菱刈鉱床と同 様の年代、1.67 Ma を示している(久保田、1991). こ のことから、浅熱水性金鉱脈の胚胎有望場として、コー ルドロンモデルが提案される(Kubota,1991:図6).

そのモデルは、金鉱脈裂か系とコールドロンの形成が マグマ作用によってのみ統一的に説明できるとしている



図5 北海道東部における金鉱床とコールドロン/低ブーゲー異 常,Kubota(2005)を改変.凡例1:金鉱床,2:先新第三系,3:コー ルドロン/低ブーゲー異常,4:断層.数字は鉱脈形成年代(Ma). 金鉱床はコールドロンの縁辺部に位置している.金鉱化作用は連 鎖・群生コールドロンからなるグラーベン内で,北部(14.3 Ma) から南部(4.51~1.67 Ma)へ移動した.



図6 金鉱脈有望地域としてのコールドロン, Kubota (1991)を改 変.このモデルはマグマ性ダイアピルに起因しているが,火成活 動は熱源と鉱化溶液源として機能し,金鉱床形成の熱水循環系を 形成した.

点で,探査指針として有効である. Nakano(1981)は根 羽沢金鉱床とコールドロンとの関係を次のように説明し た:"隆起一陥没モデル"の造構力はマグマダイアピ ルに起因し,火成作用は熱源および鉱化溶液源として 解釈される. それは熱水循環系をつくり,鉱床形成を 果たした.

堆積盆地の発生過程である"火山性隆起-陥没モデ ル"は、Fujita(1967, 1970, 1972; Fujita et al., 2001) および Komuro(1987) によって、次のように提唱された: 堆積盆地の発生期には、上昇するマグマのため、地 殻表層部に隆起-断裂作用が生じた.次いで第一次 陥没が生じ, 陥没盆地内に湖沼成層が堆積した. し かし, 浅部と深部の断裂系はまだ連結していないため, 火山活動は生じなかった(図7:1st-3rd stage). 上昇 するマグマによって両断裂系が連結された後、火山活 動が第一次陥没に遅れて発生した(図7:4th stage). マグマの勢いが弱ければ、主要な火山性の造構運動 は終わるであろう. しかし、もしマグマの勢いが強かっ たなら、膨大な火山活動によりマグマだまりが空洞にな ることによって、第二次陥没が続いて発生する(図7: 5-6 stage). 金鉱化作用はこの火山性陥没盆地の形成 過程で生じた.

菱刈金鉱床周辺の深部構造

トモグラフィーの速度偏差パターンは、マントルの温度 変化より、化学組成の程度に対応していると思われる (Choi, 2004). 高速度帯、高速マントルは、分化した 物質(蒸気や液体)が地球表層へ逃げる道管の役割を



図7 陸上コールドロンにおける二重陥没モデルの形成過程, Kubota (2005)を改変.

凡例1:マグマ性地表曲隆,2:マグマの上昇と隆起・断裂作用, 3:第一次先火山性陥没および湖沼成層堆積,4:火山活動の開 始,5:引き続く激しい火山活動,6:第二次後火山性陥没. 担っていると解釈された (Choi, 2004; Choi et al., 2008).

南九州の菱刈鉱山周辺の Vp/Vs 速度と地震波トモグ ラフィーの画像は(図8), 波うったブーディン状構造が 地表下 10-20 km に分布していることを示している. こ れは,霧島活火山の直下へ連続することから,マグマ ないしは溶融層(すなわち, Meyerhoff et al.,1996 に よるサージチャネル),あるいはその両者と考えられる. 浅発地震は低速度層の上方で起きている. 菱刈金鉱 床は凸状の低速度層の縁辺部に位置している.

菱刈金山~霧島火山の直下 150km 以深には、やや 高速度の高角な構造帯が見られるが、それは深部断 裂帯を示唆している. Vp/Vs 速度構造およびトモグラ フィーの速度偏差が示す構造は、非常に複雑な形で、 地震発生面を切っている.

高品位第四紀金鉱床胚胎場としての島弧会合部の重要性

日本列島における新生代金鉱床は,限られた地域に 偏在して分布している(図9).中新世の金鉱床は,い わゆる"グリーンタフ地域"と呼ばれる日本海沿いお よび北海道東部の海岸沿いに分布している.しかし, 鮮新-更新世の金鉱床は,二つの島弧が交差する場 である北海道,中部日本,九州地方に胚胎している (Kubota, 1994).

グリーンタフ地域では、玄武岩~流紋岩の火山活動が中新世に浅海で起こった- "グリーンタフ変動" (Ijiri,1960).しかし、鮮新-更新世には、巨大カルデ ラを作るような安山岩質マグマの激しい陸上火山活動 が島弧会合部で生じた (Shimazu,1975)が、そこは現在 の火山-地熱地域に変遷した;このような変動は"島 弧変動"と呼ばれている (Fujita,1970).

猛烈な陸上の火山活動は、巨大カルデラや連鎖・群 生するカルデラからなるグラーベンを伴い、第四紀を通 じて島弧会合部に偏在して発生した(図2~5).内部 の連鎖・群生カルデラからなるリフト/グラーベンは、 巨大な第二次カルデラ陥没によって形成されたはず で、単純なプルアパートやプレート運動による地殻の 伸長では形成されない(Kubota,2005;図10).

地質学的に重要なことは、なぜ第四紀を通じて、島弧 会合部であのような膨大で特徴的な陸上火成活動が生 じたのかである.実際,島弧会合部の地質学的な場は、 二つの構造帯や火山弧が会合・交差する場とみること ができる.Gorai(1973)は、これらの場は異なる構造方 向が交差する深部断裂帯と指摘した.島弧会合部は 深部断裂帯の連結部とみられ、そこでは岩圧減少のた め、膨大なマグマが発生するであろう.このことが第四 紀の激しい陸上火山活動が島弧会合部で生ずる理由 である.





図 9 中新世・鮮新-更新世金鉱床の時空分布, Kubota (1994) を 改変.

1: 浅熱水性金鉱床,2: 卑金属鉱床,3: 中新世金鉱床境界,4: 島弧会合部背後,5: 島弧会合部前面.緑塗色部は中新世火山活動が生じた"グリーンタフ地域".後期新生代金鉱床の胚胎場は 中新世の日本海・北海道東部沿岸から鮮新-更新世の島弧会合部 へと移動した.

島弧(火山弧)会合部が第四紀金鉱床有望地域で あるという観点は,膨大な火山孤が分布している西太 平洋に適応できる.島弧会合部の場は,異なる方向 に隆起した海底地形が交差する場と捉えられる(図



図 10 連鎖・群生コールドロンを伴うグラーベンの発展過程モデル, Kubota (2005)を改変.

第1段階:マグマ上昇,連鎖ドーム隆起運動,"連結断裂系形成 作用",第2段階:火山活動に先立つ多角形陥没,続く後火山活動, 第3段階:激しい第二次火山活動,第4段階:マグマだまりの収 縮,後火山活動第二次カルデラ陥没,続くグラーベン(広域凹地 帯)の形成.

11). 例えば, ニュージーランドのタウポ火山地帯は, NNE-SSW 方向の Kermadec 海嶺と NNW-SSE 方向の Norfolk Island 海嶺が交差している. 九州に地質学的 に類似したタウポ火山地帯では, 現在生成中の金鉱床 が活火山-地熱地帯における多数の巨大カルデラ(例 えば, Cole, 1979; Rogan, 1982; Hedenquist, 1986)の 縁辺部に分布している.

同様に,次の地域も第四紀金鉱床胚胎場が期待できる(Kubota,1994;図11・12):台湾北部(日本の琉球 弧とフィリピン弧が交差);カムチャッカ半島中央部(日本の千島-クリル弧とアリューシャン孤が交差);その他の島弧(例えば,フィリピン弧,インドネシア孤,パ



図 11 菱刈タイプ高品位金鉱床胚胎有望地域としての島弧会合部の分布(赤丸). レリーフマップは "Marine Geoscience Data System – GeoMapAppo" (http://www.geomapapp.org)による. 島弧/火山孤会合部は二つの隆起帯(地背斜,構造方向,深部断裂帯)が交差する場所である.



図12 環太平洋火山帯における鮮新-更新世の金鉱床,金属鉱業事業団の多数の資料に基づいて作成.数字:鉱脈生成年代(Ma),P:鮮新 -更新世,R:現世,新期金鉱床は西太平洋だけでなく,東太平洋にも分布している.

プアニューギニア弧,南太平洋諸島など). 図12 に 示すように,重要なことは鮮新-更新世の金鉱床が西 太平洋の島弧会合部に分布していることである.

東太平洋にも同様の年代を示す金鉱床が分布して いる(図11). 北米大陸には, McLaughlin(2.2Ma)と Steamboat Springs(現世)の金鉱床が Cast 海嶺と Mendocino 断裂帯の会合部に位置している. 南米大 陸では, Choquelimpie(鮮新-更新世), El Indio(8Ma), および Minas del Prado(鮮新-更新世)がアンデス山 脈と Eastern, Challenger, Valdivia の各断裂帯の会合 部に位置している.

おわりに

1981年の菱刈金鉱床の発見後,パプアニューギニア のリヒール島で,世界有数の金鉱床が発見され(例 え ば,http://www.volcanodiscovery.com/lihir.html, http://www.spectral-international.com/files/50328913. pdf),1997年に操業が開始された.金鉱床は現在の 地熱活動を伴うカルデラ内に位置している.

Choi et al.(2008) は、Tabar-Lihir-Tanga-Feni 火山孤 に沿う世界有数の金鉱化作用は(とくにリヒール島で 顕著)、二つの大規模構造方向の交差部に位置して いることを指摘した; すなわち、NE-SW 方向の Cape York-Bismarck Sea Anticline および NW-SE 方向の 深部造構帯(Solomon-Fiji 造構帯)で、Tabar-Lihir-Tanga-Feni 弧が右側を走っている.

リヒール金鉱床はまさに島弧(火山弧)会合部に位置 している(図11・12). さらに Choi et al. (2008)も指摘 したように,島弧(火山弧)会合部は二つの隆起帯(地 背斜,構造方向,深部断裂帯)が出会う場で,特徴 的で激しい火山活動,大規模鉱床および温泉が生じ やすい場である.

謝辞:前職の金属鉱業事業団のメンバーに感謝の意を 表します.また,Dong R. Choi氏の有益な助言および 原稿を査読していただいた Per Michaelsen氏に深く感 謝します.

文 献

- Choi, D.R., 2004. Deep tectonic zones and structure of the earth's interior revealed by seismic tomography. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 30, p. 6-13.
- Choi, D.R., Rodriguez R. and Vasiliev B.I., 2008.
 Geology and tectonic development of the Pacific Ocean Part 2: Regional structural control on the auriferous Tabar-Feni volcanic arc, Papua New Guinea.
 New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 47, p. 31-44.
- Cole, J.W., 1979. Structure, petrology, and genesis of Cenozoic volcanism, Taupo Volcanic Zone, New Zealand -A review. Jour. Geol. Geophys., v. 22, p. 631-657.
- Hedenquist, J.W., 1986. Geothermal systems in the Taupo Volcanic Zone: Their characteristics and relation to volcanism and mineralization. In I. E. A. Smith (Ed): Late Cenozoic volcanism in New Zealand. Royal Soc. N. Z., Bull., v. 23, p. 134-168.
- Fujita, Y. 1967. Geologic problems in the generation stage of the green-tuff movement. Jour. Geol. Soc. Japan, v. 73, p. 106 (in Japanese).

- Fujita, Y. 1970. Crustal movements around island-arcs in northwest Pacific since Late Cretaceous. Island Arc and Ocean, Tokai Univ. Press, Tokyo, p. 1-30.
- Fujita, Y., 1972. The law of generation and development of the Green tuff orogenesis. Pacific Geology, v. 5, p. 89-116.
- Fujita, Y., Kubota Y., Yamauchi S., Adachi H. and Takegoshi S., 2001. Magmatic and tectonic activities characterizing the Green-tuff disturbance. Himalayan Geology, Special Issue –New concepts in global tectonics-, v. 22, no. 1, p. 93-101.
- Gorai, M., 1973. Kasei-sayo (Igneous Activity). Kyoritsu Shuppan Co., Ltd., Tokyo, 345p (in Japanese).
- Ijiri, S., 1960. "Green Tuff Movement" -Problems of the development of the Japanese Island. Earth Science, v. 50-51, p. 6-8 (in Japanese).
- Komuro, H., 1987. Experiments on cauldron formation
 A polygonal cauldron and ring fractures. Jour.
 Volcanology and Geothermal Research, v. 31, 139-149.
- Kubota, Y., 1986. Geological and geotectonic setting of gold-silver mineralization in the Hokusatsu district, southern Kyushu, Japan. Mining Geology, v. 36, no. 6, p. 459-474 (in Japanese with English abstract).
- Kubota, Y., 1989. Geological and geotectonic setting of gold-silver mineralization in the Hokusatsu district, southern Kyushu, Japan. Part2. Fracture analysis of the vein system based on scale model experiments. Mining Geology, v. 39, no. 2, p. 123-138 (in Japanese with English abstract).
- Kubota, Y., 1991. Significance of cauldrons as potential sites of gold deposits. Mining Geology, v. 41, no. 6, p. 379-386 (in Japanese with English abstract).
- Kubota, Y., 1994. Temporal and spatial relationship and significant of island arc junctions on the late Cenozoic gold deposits in the Japanese Islands. Mining Geology, v. 44, no. 1, p. 17-24 (in Japanese with English abstract).
- Kubota, Y., 2001. Late Cenozoic gold veins and volcanic collapse tectonics in the island arc junctions of the Japanese islands. Geotectonica et Metallogenia Special., 25, p. 85-92.
- Kubota, Y., 2002. Promising areas of the Quaternary blind gold deposits in island arcs - Tectonic control of gold veins in the Japanese Islands -. Proc. Int. Symposium on NCGT, p. 199-207.
- Kubota, Y., 2005. Relationship between grabens, cauldrons, and fault systems in Kyushu, Japan – Formation of a graben and fault systems through clustered cauldrons-. Bull. Soc. Geol. Italy -Special, no. 5, p. 159-168.
- Meyerhoff, A.A., Tanar, I., Morris, A. E.L., Martin, B.D., Agos, W.B. and Meyerhof, H.A., 1992. Surge tectonics -a new hypothesis of Earth dynamics. New

Concept in Global Tectonics, In Chatterjes S., and Hotton N., III (eds), 399-409, Texas Tech University Press., Lubbock, 450p.

- Matsubara, M. and Obara, K., 2011. The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate. Earth Planets Space, v. 63, p. 663-667.
- Matsumoto, Y., 1979. Some problems on volcanic activities and depression structures in Kyushu, Japan. Memoirs Geol. Soc. Japan, v. 16, p. 127-139 (in Japanese with English abstract).
- Ministry of International Trade and Industry, 1982. Report on the regional survey of the Hokusatsu-Kushikino region. 81p. (in Japanese)

- Nakano, K., 1981. Veins and formation system of the Nebazawa gold-silver deposits –Fracture analysis of the deposits based upon three dimensional experiment of scale model-. Mining Geology –Special, v. 10, p. 87-105 (in Japanese with English abstract).
- Shimazu, M., 1975. Cenozoic crustal movements and development of island arcs. Symposium-72, Island Arcs, Marine Sciences/Monthly, v. 72, no. 10, p. 14-18 (in Japanese).
- Smith, R.L. and Bailey R.A., 1968. Resurgent Cauldrons. Geol. Soc. Am. Mem., i0v. 116, p. 613-662.
- Rogan, M., 1982. A Geophysical study of the Taupo volcanic zone, New Zealand. Jour. Geophys. Res., v. 87, p. 4073-4088.

プレートテクトニクスの批判的分析と水平造構運動の原因 Critical analysis of the plate tectonics model and causes of horizontal tectonic movements

Arkady Pilchin

kUniversal Geosciences & Environmental Consulting Company 205 Hilda Ave., #1402 Toronto, Ontario, M2M 4B1, Canada arkadypilchin@yahoo.ca

(矢野 孝雄 [訳])

要旨:この論文では、プレートテクトニクスモデルの主要な問題が考察される. 厚いマントル層の対流を含めて、マントル 規模のひろがりをもつ対流概念は物理則に反していて、それゆえ、不可能である. マントルに想定される諸力の解析によ ると、それらの値はたいへん小さく、いかなる重要な造構作用(たとえば、オブダクション、造山運動、リソスフェア地塊、 沈み込み、など)を生み出すことも、駆動することもできないだろう. プレートテクトニクスやプレート運動では作用力の定 義が不明確で, 摩擦や限界強度を無視しているために物理則に反していて, それらを適用することは間違いである. 拡大 中心における新しい海洋リソスフェアの形成は、物理則に反している. なぜならば、海底で数十億年~数百億年間にわたっ て海洋リソスフェアの主要層のすべてを独自に形成するようなプレート(それらは全体として、幅1cm、厚さ50km、長さ数 千 km ほどが毎年増えて、長さ1000kmの固体海洋プレートを構築して、独自の岩石層として分離される)がつくられること は不可能であるからである. 中央海嶺の全長(中央海嶺の全長は約8万km, 連続的山脈は6.5万km)と海底に横たわ る海溝の全長(3 ~ 4 万 km)との間には不一致があるが,プレートテクトニクスモデルによると,海溝の全長は中央海嶺 の全長の2倍(約13~16万km)でなければならない.また、大西洋(2,3の場所を除く)と北極海で沈み込みが起き るのは不可能であることを示すデータもある. 厚さ 50km ほどの海洋リソスフェアプレート(スラブ)はいずれも3つの主要層 -温度 <約573Kの脆性的上部層,温度範囲約573~873Kの弾性的中部層,および温度約873K以上の塑性的下部 層-で構成されていて、 "剛性的"であるとは考えられない. 沈み込みスラブの密度の見積もりを解析すると、いかなる条 件下でも、海洋リソスフェアプレートの平均密度は上部マントル岩石よりも大きくなることはなく、それゆえ負の浮力は発生し ないだろう. ある領域の地殻全体がエクロジャイトに変化したとしても, 0.01g/cm3の負の浮力をもたらすことはできない. し たがって,沈み込み作用には巨大な外力が必要になる.海洋プレートの厚さは約50~86kmで,リソスフェア/アセノスフェ ア境界での温度は1573K(あるいは1603K)である.この温度は、技術的には"冷たい"とは考えられない.プレートモ デルには、回答がより困難な多数の疑問がある. UHP(超高圧) 岩石の形成は、静岩圧だけが働いているような沈み込 み帯では起こりえない. たいへん大きな過剰圧の形成は、岩石の分解(もっとも顕著な例は、かんらん岩の蛇紋岩化)だ けで、海洋プレートを水平方向へ動かすことができるような巨大な力を発生させることはできない、プレートモデルは1つの モデルとしても矛盾していて、多数の物理則に反し、厖大な数のまちがった前提と仮定にもとづいている.

キーワード:エクロジャイト、巨大な過剰圧、プレートテクトニクス、蛇紋岩化、衝上

(2016年6月13日受付, 2016年6月23日受理)

特集 SPECIAL PAPERS

2014 年 4 月 M7.0 日本の熊本地震 THE APRIL 2016 M7.0 KUMAMOTO EARTHQUAKE, JAPAN

(山内 靖喜[訳])

編集者より:別途に行われた次の2つの方法は今年4月に起きた破壊的な熊本地震の予知に成功した. すなわち,1) Wuによって指摘された約5ヶ月前にジェットストリーム異常,2) Hayakawaによって指摘された地震発生1週間前に現れた VLF 電波伝達異常である.本号は地震発生前の数日間に観測された太陽活動の異常およびこの地震の地質学的解析の論 文と共にこの2編の論文を掲載している.

2016 年 4 月に起きた熊本地震前の電離層下の VLF 伝搬異常 Subionospheric VLF propagation anomaly prior to the Kumamoto earthquake in April, 2016 b0

Masashi Hayakawa¹ and Tomokazu Asano¹ ¹:早川地震電磁気研究所(株式会社), 電気通信大学(略称 UEC), 〒 182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1. E-mail: hayakawa@hi-seismo-em.jp Phone/Fax: +81-42-444-6349

(山内 靖喜 [訳])

要旨:2016年4月14日と16日に九州の熊本地域で起きた強い地震は明らかに断層タイプである.マグニチュードが7より大きな強い地震の発生確率(この先30年間)は、国の中規模地震予知に従って1%未満と見積もられていたが、一連の強い地震(マグニチュード6.5と7.0)が起きて多数の死傷者がでた.地震発生前の電離層擾乱のVLF/LF^{*1}観測網に基づいている私達の地震短期予知システムは、九州における地震を予知したが、しかし、時間と空間は容認されるものであったが、私たちが予知したMは5.0-5.5であった.本論はいくつかの予備的な解析結果を示して、マグニチュードの見積もりにおいてこのような食い違いが生じた理由を示すつもりである.

*1:電波の一種. VLF は超長波 (波長 100 km - 10 km,振幅 3 - 30kHz),LF は長波 (波長 10 km - 1 km,振幅 30 - 300 kHz). (訳者注)

キーワード: subionospheric propagation 電離層下 VLF 伝達異常, 2016 Kumamoto EQ2016 年熊本地震, fault-type EQ 断層タイプ地震

1. 地震短期予知システム

電磁波効果は地震短期予知の最も強力な道具で あることは最近の一致した意見である(たとえば, Hayakawa(ed.), 2012 and 2013; Hayakawa, 2015). い ろいろな種類の可能な電磁波による予知の中で,電離 層擾乱はマグニチュードが6より大きく,浅い深度の強 い地震間において明瞭な統計的関連が確立されている ので,最も有望であると考えている(Hayakawa et al., 2010). このことが,このような地震予知情報を公共(し かし,閉ざされた団体においてのみあるいは私たちの 会社と契約した登録会員の個人と企業に対してのみで ある)に公開するために私たちがベンチャー企業を興 した理由である. (2016年5月16日受付, 2016年5月25日受理)

図1は日本における私たちのVLF/LFネットワークを示しており、8ヶ所の観測所で日本全体をカバーしている.私たちはこれらの観測所を北から次のように呼んでいる.NSB(中標津),AKT(秋田),KTU(勝浦),KMK(鎌倉),IMZ(射水),TYH(豊橋),およびANA(阿南).各観測所のVLF/LF受信機はいくつかの送信局からの電波を同時に受信するように設置されており、私達の場合、日本の2つの送信局、それらのコールサインJJY(福島、40kHz)とJJI(宮崎、22.4 kHz),および次の3つの外国の局、NWC(オーストラリア),NPM(ハワイ)とNLK(アメリカ、シアトル)である.図1において、JJI局からの電波の伝搬経路のみを大円で示したが、それは私たちが2016年4月の熊本地震に関係しているからである.



図1 VLF/LFネットワーク.JJI は南九州の日本 VLF 送信局であり、8ヶ所の受信所がある.九州の赤色×は震央を示す.

2. 観測結果

図2は2月17日から4月16日までの約2ヶ月間の JJI-IMZの伝搬経路についての伝搬の特徴を示してい るが、この伝搬が最も顕著な結果を示している.上図 は、過去の値(青色過去21日間、ピンク色17日間) で標準化した夜間平均振幅によって特徴づけられる動 向(TR)を示している.その値は標準偏差(σ)で 表されている.下図は振幅の変動(分散,DP)を上 図と同じ形式で表している.通常,異常はTRでの減 少とDPでの増大によって特徴づけられることが判って いる(Hayakawa et al., 2010 and 2016).最も重要な パラメーターであるTRは4月4日から7日までの間 に著しい減少を示していることが、この図(上図)から はっきりと読み取れる.同じような特徴が他の伝搬経路 についても見られるので、約1週間後(およそ14日 頃)に九州地域で地震が起きると私たちは考えることが できた.私たちの予知は地震の2つのパラメーター(い つ,どこで)において受け入れられるが、最後のパラメー ター M は良くなかった.その理由は、私たちの予知は 図2およびその他の伝搬経路の同じような図に基づい ており、予知した M は図2中の VLF 伝搬異常の角度 から5.0-5.5と結論した.しかしながら、実際の M は7.0 であった.図1とJJI-IMZ に対応するフレネルゾーン^{*2} から明らかに判るように、M の見積もりにおける食い違 いは九州北部になんらかの VLF/LF 受信所がないこと による.もし、九州北部の長崎に受信所があれば、地 震の震央はJJI-長崎の伝搬経路の真上あるので、図 2の異常は-3 σ より大きいかそれぐらいであったであ ろう.

*2:フレネルゾーン Fresnel zone とは、無線通信などで、電力損 失をすることなく電波が到達するために必要とする領域.二点 を中心軸とする回転楕円体となる.この領域内に障害物がある と、強度が確保されなくなる.通常、エネルギー伝達に大きく 寄与する第一フレネルゾーンを指す.(デジタル大辞泉の解説 より)そのため、平面図上では細長い楕円となる.(訳者注)

3. 結語

日本の2つの送信局の一つは九州南部にあるので、電 離層下のVLF/LF 伝搬データにおいて前兆の印を識別 することができた.私たちが予知した時間と場所は容認 されうるが、M は実際の値より相当小さいが、それはお そらく北部九州にVLF/LF 受信所がないためである.

2016年熊本地震に関する結果は私たちの電離層下の VLF/LF ネットワークの重要性を示しているが、いくつ かの困難をもたらした.たった8つの VLF/LF 受信所 からなる私たちの VLF/LF ネットワークでもって日本全



図2 2016年2月17日~4月17日のJJI-IMZ間の伝搬経路の観測結果.上図は夜間平均振幅の動向(TR),下図はその分散を示す.

体のいかなる強い地震のすべてを予知することは不可 能に思える.この問題を解決するために可能な方法を いくつか私たちは提案することができる.この方向の場 合のように、私たち(または早川地震電磁気研究所) は現在選択した地域の地震予知ネットワークを構築し つつある.すなわち、私たちは関東(東京)地域に 巨大地震が予想されることに特に注目しており、VLF/ LFの電離層下伝搬、上部電離層探査(VHF発信 器信号の垂直探査とこれらの VHF 発信器信号の遠隔 の観測所での間接的受信)、ULF/ELF^{*3}放射と沈下、 照準線 VHF 信号などを含めた多機能観測機を用いて 取り組んでいる.

- *3: 電波の一種.ULFは極超長波(波長1000 km-100 km,振幅300-3000Hz),ELFは極極極超長波(波長100,000 km-10,000 km,振幅3-30Hz).(訳者注)
- 訳者注:本論文では VLF/LF 伝搬データ異常と地震との関連 性については簡略的記述されているが、早川正士氏が執 筆された下記の単行本にはこの点が判りやすく記述されてい る.また、地震予知と地震学の関係、地震予知の現在の動 向なども書かれている.早川正士著「地震は予知できる!」 2011 年 KK ベストセラーズ発行.

文 献

- Hayakawa, M. (ed.), 2012. The Frontier of Earthquake Prediction Studies, Nihon-Senmontosho-Shuppan, Tokyo, 794p.
- Hayakawa, M. (ed.), 2013. Earthquake Prediction Studies: Seismo Electromagnetics, TERRAPUB, Tokyo, 168p.
- Hayakawa, M., 2015. Earthquake Prediction with Radio Techniques. John Wiley & Sons, Singapore, 294p.
- Hayakawa, M., Kasahara, Y., Nakamura, T., Muto, F., Horie, T., Maekawa, S., Hobara, Y., Rozhnoi, A.A., Solovieva, M. and Molchanov, O.A., 2010. A statistical study on the correlation between lower ionospheric perturbations as seen by subionospheric VLF/LF propagation and earthquakes. Jour. Geophys. Res., v. 115, A09305, doi:10. 1029/2009JA015143, 2010.
- Hayakawa, M., Asano, T., Rozhnoi, A.A. and Solovieva, M., 2016. VLF/LF sounding of ionospheric perturbations in possible association with earthquakes. AGU volume, Pre-Earthquake Processes: A Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction Studies, Ouzounov, D. et al. (eds.) (in press).

2016 年 2 月 5 日の M6.6 台湾地震前と 2016 年 4 月 15 日の熊本地震前での ジェットストリームの異常

Anomalies in jet-streams prior to the M6.6 Taiwan Earthquake on 5 February 2016 and the M7.0 Kumamoto Earthquake on 15 April 2016

Hong-Chun Wu^{1, 2}

1 Institute of Labor, Occupational Safety and Health, Taiwan, 2 Formosa Science Center wuhongchun094@gmail.com

(山内 靖喜 [訳])

要旨:ジェットストリームは対流圏上部または成層圏下部においてほぼ水平な軸をもって狭い範囲を早く流れている大気の流れである.ジェットストリームの前線が同じ場所あるいは風速コンターの交点で6時間かそれ以上の間留まっているとき,それは異常な前兆の発生を意味する.M6.6の台湾地震40日前の2015年12月28日12:00 UTC(協定世界時)に震央においてジェットストリームは中断した.同じく,M6.4とM7.0の日本の地震の140日前の2015年11月25日18:00 UTCに震央において中断した.ジェットストリーム前兆を用いた地震予知を将来行う場合,ジェットストリーム前兆出現と実際の地震発生間のこの幅広い時間枠は考慮されなければならない.他の前兆と組み合わせてより正確な予知を行うことは可能である.

キーワード: jet stream ジェットストリーム, earthquake 地震, precursor 前兆

(2016年5月6日受付, 2016年5月25日受理)

はじめに

2016年2月5日のM6.6台湾地震は117人の死者を, 日本の九州での2016年4月14日のM6.4の地震と 同年同月 15 日の M7.0 の地震は 59 人の死者をだした (Wiki web, 2016).大地震を予知し,前もって公共に 警告することは,地震科学者の最も重要な任務の一つ である.本論はこれら大被害をもたらした 2 つの地震の 前に出現したジェットストリーム前兆を紹介する.

ジェットストリームは対流圏上部または成層圏下部においてほぼ水平な軸をもって狭い範囲を早く流れている大気の流れである.風速はジェット軸部で最大である.あるジェットストリームの線成分(長さ,幅および深さ)は時速108 km/h(30m/s)の風速コンター(isotach^{*1})によって決められる.通常,ジェットストリームの長さは数1000 kmで,幅は数100 km程度,厚さは4~5 km程度といえる.ジェットストリームの前線が同じ場所に6時間かそれ以上とどまっているとき,あるいは風速コンターの交線にとどまっているときは,異常な前兆の出現を意味する(Wu,1999,2004 and 2014).

*1:等風速線(訳者注)

リソスフェアーー大気圏-電離層-磁気圏(LAIM) 系によれば、地殻地域はラドン(222Rn)のような放射 性元素を放出しており、その後の空気や水との反応は 反応熱を発生させる.これは気温上昇と圧力低下をも たらし、最後にジェットストリームの速度線を変化させる (Pulinets et al., 2015).

2.2016年2月5日の台湾地震

2016年2月5日のM6.6台湾地震の前にジェットストリーム速度での起こりうる大気の乱れを衛星データの観測 でみつけた(Wu, 2004).12月28日12:00 UTCにジェッ トストリームは震央で中断したが(図1),この日はその 主震 M6.6の衝撃の40日前で,震央からの距離は60 km以下.これは下記の著者 website に掲示されている: https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10 32014433517272&set=pb.100001261760990.-2207520000.1462264459.&type=3&theater

2016 年 1 月 5 日に掲示された予知のパラメーター: 2015/12/28~2016/01/28 西部台湾(23.5N120.7E) M > 6.0 実際の地震:

6.6 2016-02-05 19:57:26UTC 22.830°N 120.625°E 10.0 km



^{2015/12/28 12} 23. 5N120. 7E

図1 ジェットストリームの異常な挙動. 左図はジェットスト リームの原図(サンフランシスコ州立大学)でその速度は90 ノット(162 km /h)である.2015年12月28日12:00(協定世 界時)に将来の震央近くにおいてジェットストリームは中断さ れた. 震央は中断地域の近くに位置していた.

3.2016年日本の熊本地震

ジェットストリームは 2015 年 12 月 25 日 18:00UTC に 震央で中断した(図 2). この日は主震 M6.4 と 7.0 の 熊本地震の140日前で震央のずれは40km以下である. このことは下記の website に掲示された.

https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10 0983370908678&set=¥pb.100001261760990.-2207520000.1462264459.&type=3&theater

2015 年 11 月 26 日に掲示された予知のパラメーター: 2015/11/25 ~ 2015/12/25 南部日本 (33.1N131.0E) M > 6.0 実際の地震:

M6.4 2016–04–14 12:26:36UTC 32.849°N 130.635°E 10.0 km M7.3 2016–04–15 16:25:06UTC 32.782°N 130.726°E 10.0 km



図2 ジェットストリームの異常な挙動. 左図はジェットスト リームの原図 (サンフランシスコ州立大学) でその速度は130 ノット (234 km /h) である. このジェットストリームは2015 年12月25日12:00(UTC) に震央で中断した (図2). 震央は中 断地域に位置する.

4. 討論と結論

本論に示したように、前兆出現から地震発生までの時間のずれの範囲は広く、2016年2月5日のM6.4台湾地震の場合40日間である。2016年4月14日と15日のM6.4とM7.3の日本の地震の場合は140日間、2015年9月16日M8.3チリの場合は96日間(Wu,2015)である。M > 6.0の地震で確認されたことから、ジェットストリーム前兆の長所は位置に関して正確であったが、M > 7.0あるいはM > 8.0のマグニチュードの場合には確認されていない。より長い時間枠のため、差し迫っている地震発生を示すだけである。

ジェットストリーム前兆出現と実際に地震発生の間の長い期間はジェットストリーム前兆を用いた将来の地震予知において考慮されるに違いない.他の前兆と組み合わせて因り正確な予知を作ることは可能である.

文 献

Pulinets, S.E., Ouzounov, D., Arelin, A.K. and Davidenko, D., 2015. Physical bases of the generation of short-term earthquake precursors: A complex model of ionizationinduced geophysical processes in the lithosphere– atmosphere–ionosphere–magnetosphere system. Gemagnetism and Aeronomy, v. 55, no. 4, p. 540-558.

- Wiki web, 2016: https://en.wikipedia.org/wiki/2016_ Taiwan_earthquake, https://en.wikipedia.org/ wiki/2016 Kumamoto earthquakes.
- Wu, H.C., 1999. Preliminary finding on perturbation of jet stream by earthquake. Chinese Taipei Geophysical Society Meeting, Taiwan, p. 429-434.
- Wu, H.C., 2004. Preliminary findings on perturbation of jet stream prior to earthquakes. Eos Trans AGU;

85:T51B-0455.

- Wu, H.C. and Tikhonov, I.N., 2014. Jet streams anomalies as possible short-term precursors of earthquakes with M> 6.0. Research in Geophysics, Special Issue on Earthquake Precursors, v. 4, no. 1, p. 12–18. doi:10.4081/rg.2014.4939.
- Wu, H.C., 2015. Anomalies in jet streams that appeared prior to the 16 September 2015 M8.3 Chile earthquake. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 3, no. 3, p. 407-408.

2016 年 4 月 15 日に発生した M7.0 の日本の地震発生に関係した太陽活動 Solar activity correlated to the M7.0 Japan earthquake occurred on April 15, 2016

Gabriele Cataldi	ltpaobserverproject@gmail.com	Radio Emission Project, Rome
Daniele Cataldi	ltpaobserverproject@gmail.com	Radio Emission Project, Rome
Valentino Straser	valentino.straser@alice.it	Independent Researcher

(村山敬真[訳])

要旨:本研究の著者らは,2016年4月15日16時25分6秒UTCに日本の九州熊本の近くで発生したM7.0の地震 と太陽活動との関連性の可能性を確かめようとした.著者らは,M6+の全球的地震活動と太陽活動の間に関連性 があることを科学的に論証し,津波を発生させうるような大地震には,常に惑星間物質イオン密度の変動が先行す ることを説明する機会を持った.すでに述べたようにこの変動は強い地震に常に先行するので,著者らによって「惑 星間地震前兆」(ISP)として定義されている.惑星間地震前兆は,太陽に源を発し,著者らが「太陽地震前兆」(SSP) と定義したもの(太陽黒点の上に位置する,コロナ質量放出(CME)やコロナホール,フレアー,磁気ループ)を通 る現象である.著者らは2012年から今日にかけて,我々の惑星で発生したすべてのM6+の地震は,いつもこのタ イプの現象が先行することを確認することができ,従って,日本のM7.0の地震に太陽風のイオン変動が先行する ことを予期していた.

キーワード:コロナ質量放出,太陽地震前兆,地震予知,惑星間地震前兆,太陽風

(2016年5月10日受付, 2016年5月22日受理)

はじめに

全球規模の潜在的破壊地震と太陽活動との潜在的関 係を示唆する多くのデータがある(Straser et al., 2014-2015). 従って, どのようにこれが発生するのかを理解す ることが必要不可欠である。1970年より今日まで、科 学界が提案してきた説明は数あるものの、最終的に理 解されたことは、地震予知の前後関係の中で最も高い 特異性を持つ唯一の物理的現象は、惑星間環境の イオン密度の変化だということである (Anagnostopoulos et al., 2010; Odintsov et al., 2006; Makarova and Shirochkov, 1999; Simpson, 1968; Nikouravan et al., 2012; Afraimovich and Astafyeva, 2008; Rabeh et al., 2014). 2009 年から 2010 年の間に, 強い地震に自然 の電波放射の増加(SELFおよびELFバンド)が先行 することに気づき、これらの放射が地磁気と太陽活動 に結び付けられているかを調べた後で,著者らは2011 年より地球近くの太陽風の化学的・物理的パラメータ (惑星間磁場変調;イオンエネルギーと濃度;太陽風

の極性と速度・温度・方向;太陽風の動的圧力;磁 気圏界面までの距離)の追跡と、これらの放射が地磁 気と太陽活動とにつながっているかどうかの調査を開始 した.自然電波放射とM6+の世界的地震活動の分析 とに関連した太陽活動の分析は、地震活動は常に太 陽活動の増大の後にあると著者らが理解することを可 能にした.すなわち、全球規模で発生する強い地震に 対して、常に地球付近の太陽風イオン密度の増加およ び付随する地磁気擾乱が先行する.これらの結論は、 太陽活動と地震活動の連関の原因となる物理現象は電 磁気相互作用の形態であり、今後毎年調査されなけれ ばならないことを示す.著者らによれば、潜在的な破 壊的地震の予知のために、将来追及されなければなら ない新しい科学的アプローチである.

この背景から,2013年にイタリア宇宙機関(ASI)と中国 国家航天局(CNSA)は、CSES(中国地震電磁衛星) 建造の協定に調印した.最初の衛星は、電磁場と電 磁波・大気を動揺する粒子とプラズマ・自然発生源に

誘発される電離層と磁気圏および大気放射の測定、そ して地震の発生との相関性の研究に専念した. この字 宙任務は著者らが2010年以来認識した研究の重要性 と何が地震予知可能性の科学的調査の未来であるか を強調する.この論文で提供された研究は、2016年4 月15日に発生したM7.0の日本の大きな地震に対して、 2016年4月12日14時15分UTC(地震の74時間 前)に始まった太陽風陽子密度の増加が先行したこと を示す. 著者らは惑星間物質イオン変動を常時監視し, M6+ 地震が後に続くであろう増大が, 2016 年 4 月 12 日 14 時 15 分 UTC に始まったことを知り、実際にこの イオン増大は日本を含む世界規模で8つのM6+地震 に先行した. 著者らがこの研究において、日本に起き た2016年4月15日のM7.0の地震(図1)を選択す るのは、その他の地震と異なり、まさに惑星間磁場 (IMF) の強い変動の間にこの地震が発生したからである。

方法とデータ

この研究を認識するにあたり,著者らは強い地震に先 立つ日々の宇宙天気状況(地球近傍)と地球磁場の 特徴を分析した.とりわけ考慮したデータは,地球から 150 万kmのL1 ポイント (ラグランジュ点) に軌道をもつ ACE(Advanced Composition Explorer)衛星による太陽 風のイオン密度の変動に関係した太陽活動のデータ; 太陽風密度(エンリル太陽圏黄道面),IMF すなわち 惑星間磁場おける変動(GOES 衛星);X線変動(GOES 衛星),一時的なCME すなわち太陽コロナ質量放出 の監視(ISWA);太陽表面のコロナホールの位置監 視(NSO/SOLIS-VSM Coronal Hole);太陽風速度(エ ンリル太陽圏黄道面);電子変動(NOAA/SWPC); 磁気圏隔離距離(CCMC/RT)である.研究に使用さ れる地磁気活動に関するデータは,Kp指数で表され, また宇宙天気センター(SWPC)によって提供された.

結 果

この研究の結果は、著者らの仮説を確認した. 日本の M7.0 の地震は、惑星間物質イオン密度(地球近傍) の増加によって先行され、そしてまたその地震は著者 らが 2012 年のデータから何を突き止めるかについても 確認していた. 具体的には、14:15 UTC の 2016 年 4 月 12 日に始まる太陽風陽子密度(図 2)の増加の後、 M7.0 地震が起こった.



図 1 2016 年 4 月 15 日 16 時 25 分 06 秒 UTC に 発 生 し た M7.0 地 震 震 央 の イ ンデックスマップ (credits: USGS,http:// earthquake.usgs.gov/ earthquakes/eventpage/ us20005iis#general). 同心円状の色づけた線 は、マグニチュード (Mw) で計測した地震 のエネルギー分散の尺 度(色彩階)を表す.

2.782°N 130.726°E depth=10.0 km (6.2 mi)



図2 太陽風密度変動. グラフは, ACE 衛星によってL1 ラグランジュ 点において 2016 年 4 月 8 日から 17日の間に記録された太陽風陽 子密度の変動データと、Kp 指数 の変動と同時期に記録された M6+ 地震の時間マーカー(黒い縦矢印) を含む.紫の縦矢印は「ゆるやか な」陽子密度の増大の開始(惑星 間地震前兆の開始)を表す.赤い 破線に囲まれた黄色い部分はM6+ 地震に先行する Kp 指数の増大(地 磁気地震前兆)を示す. 陽子密度 変動のデータと Kp 指数は, iSWA による提供. iSWA は, NASA に関 連した宇宙気象情報のための,柔 軟で直ちに使えるウェブ・ベース の配布システムであり,最先端の 宇宙気象モデルに基づく予報を同 時発生の宇宙環境情報ベースの配 布システムであり、最先端の宇宙 気象モデルに基づく予報を同時発 生の宇宙環境情報と結合する.地 震活動についてのデータは米国地 質調査所 (USGS) による提供.



図3 惑星間磁場 (IMF) 変動. 磁 気記録は、2016年4月13日と15 日の間の惑星間磁場 (IMF) 変動の データを含む. 記録は GOES13 と GOES15の2つの静止軌道衛星に よって得られた. グラフから, 日 本のM7.0 地震に対して, 2016 年 4月15日6:00UTCに始まった惑 星間磁場 (IMF) の増大が先行する ことは明らかである.この増大の 主たる特徴は, M7.0の日本の地 震が記録されたときにそれ自身が

議論

M7.0の日本の地震が、この陽子増大の結果として実 際に発生した8つの地震の1つであったことが、陽子 密度変動曲線とUSGS によって提供された地震活動の データの分析によって明らかになった. この研究で分 析された陽子エネルギー区分は 310 ~ 1900keV であ る. 全球的な M6+ の地震活動と太陽活動の間の密接 な関連の追加の確認は,惑星間磁場 (IMF) 変動の分 析に由来する(図3). M7.0の日本の地震および一般 にすべての全球的な M6+ 地震活動とに関連したもう一 つの重要な事実は、地球磁場の増大である(Cataldi et al.,2013-2015). したがって地磁気活動の増大は太陽 活動の増大の直接の効果である.もしM7.0の日本の 地震が真に太陽活動に関連するならば、この地震は地 球磁場強度の増大によって先行されなければならない ことは明確である. 事実, 機器によるデータは, この命 題ならびに著者らによる2012年から今日までの観測も、 確かなものとする. もし誰かが 2016年4月9日から13 日の間に記録された Kp 指数を分析したなら、M7.0 の 日本の地震(そしてさらに一般的に, 2016年4月13 日から16日に記録された全8つの地震)が、2016年 4月11日9:00UTCに始まった地球磁場の増大によっ て先行された(図4)ことは明確になっていく、この現象







図5 磁気圏を通過し電離層に入る 太陽風から転換するエネルギーの低 次元モデル (WINDMI). 図は, 2016 年4月15日に発生した日本のM7.0 の地震に先行する, AL 指数(上段) とDST指数(下段)の1時間ごとの 変動を示す. DST 指数は,地球の地 磁気水平(H)成分の赤道環電流によ る変動の直接測定である.そして, AL(Auroral Lower) 指数がどんなと きの間でも、引用の観測者によって 記録された地磁気H成分の変動の最 小値であり、その中に存在する電離 層流の増加によって生成された全球 西方向オーロラ電子流(WEJ) の量 的測定を提供する. WINDMI データ の分析が, 2016年4月15日に発生 した日本の地震が太陽と地磁気の活 動の増大によって先行されたことを 示した. モデルは, オースチンのテ キサス大学物理学部核融合研究所に よる.

は著者らによって「地磁気地震前兆」(SGP)と記述され, 地磁気の擾乱や変動によって表される.DSTとAL指 数はこの意味で疑念を残さない(図5).すなわち日本 のM7.0地震は弱い地磁気嵐と極磁気放射の増大に 先行される.これら地震前兆の順次性(太陽地震前兆, 惑星間地震前兆と地磁気地震前兆)は,太陽活動と M6+の全球的地震活動の間に存在する関連の直接の 証拠で, 著者らがすでにここ何年か国際的な議論の機 会を持ってきたものである (Straser et al., 2015; Straser and Cataldi, 2014-2015).

結 論

結論として、我々は、世界規模で発生する強い強度

(M6+) 地震は、いつも太陽風の陽子密度の増大に先 行されることを確証することができる。2012年1月1日 から2016年4月30日までに記録された(604地震, USGS データ)時間間隔について検討すると、太陽風 陽子密度の増大が始まってから地震までの間に、平均 140.9時間が経過する。日本のM7.0地震は、陽子密 度増大の開始から74時間たって発生し、それに先立 つKp指数増大の開始からはより長い96時間の間隔 で発生した。地震予測の将来が、地磁気の性質の現 象と同様、宇宙天気、太陽現象、太陽物理学を採用 するべきであることを、重大なこととして確信させられた。

謝辞:原稿に対する建設的で有用なコメントについて 査読者に感謝する.

文 献

- Afraimovich, E.L. and Astafyeva, E.I., 2008. TEC anomalies-Local TEC changes prior to earthquakes or TEC response to solar and geomagnetic activity changes? Earth Planets Space, no. 60, p. 961–966.
- Anagnostopoulos, G., Papandreou, A. and Antoniou, P., 2010. Solar wind triggering of geomagnetic disturbances and strong (M>6.8) earthquakes during the November – December 2004 period. Demokritos University of Thrace, Space Research Laboratory, 67100 Xanthi, Greece. Cornell University Library.
- Cataldi, G., Cataldi, D. and Straser, V., 2013. Variations Of Terrestrial Geomagnetic Activity Correlated To M6+ Global Seismic Activity. EGU (European Geosciences Union) 2013, General Assembly, Geophysical Research Abstracts, v. 15. Vienna, Austria. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- Cataldi, G., Cataldi, D. and Straser, V., 2015. Solar wind proton density variations that preceded the M6.1 earthquake occurred in New Caledonia on November 10, 2014. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2015, Natural Hazard Section (NH5.1), Sea & Ocean Hazard Tsunami, Geophysical Research Abstract, v. 17, Vienna, Austria. Harvard-Smithsonian

Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.

- Makarova, L.N. and Shirochkov, A.V., 1999. "On the connection between the Earth"s magnetosphere magnetopause position and the earthquakes occurrence", In: Abstracts of XXVI General Assembly LJRSI, Toronto, Canada, August 13-21, p. 755.
- Nikouravan, B., Rawal, J.J., Sharifi, R. and Nikkhah, M., 2012. Probing relation between solar activities and seismicity. International Journal of the Physical Sciences, v. 7, no. 24, p. 3082-3088.
- Odintsov, S., Boyarchuk, K., Georgieva, K., Kirov, B. and Atanasov, D., 2006. Long-period trends in global seismic and geomagnetic activity and their relation to solar activity. Physics and Chemistry of the Earth, no. 31, p. 88–93.
- Rabeh, T., Cataldi, G. and Straser, V., 2014.Possibility of coupling the magnetosphere–ionosphere during the time of earthquakes. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2014, Geophysical Research Abstract, v. 16, Natural Hazard Section (NH4.3), Electro-magnetic phenomena and connections with seismo-tectonic activity, Vienna, Austria. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- Simpson, I.F., 1968. Solar activity as a triggering mechanism for earthquakes. Earth and Planet, Sci. Letter, v. 3, no. 5, p. 417-425.
- Straser, V. and Cataldi, G., 2014. Solar wind proton density increase and geomagnetic background anomalies before strong M6+ earthquakes. Space Research Institute of Moscow, Russian Academy of Sciences, MSS-14. Moscow, Russia.
- Straser, V. and Cataldi, G., 2015. Solar wind ionic variation associated with earthquakes greater than magnitude M6.0. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 3, no. 2, p. 140-154.
- Straser, V., Cataldi, G. and Cataldi, D., 2015. Solar wind ionic and geomagnetic variations preceding the Md8.3 Chile Earthquake. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 3, no. 3, p. 394-399.

2016 年 4 月 15 日熊本地震群:地質,熱エネルギー移送,および前兆 The 15 April 2016 Kumamoto Earthquake swarm: Geology, thermal energy transmigration, and precursors

Fumio Tsunoda	agatsuma.terao@gmail.com		
Dong R. Choi	Raax Australia Pty Ltd. International Earthquake	dong.choi@raax.com.au and Volcano Prediction Center.	dchoi@ievpc.org

(矢野 孝雄 [訳])

要旨:2016年4月に発生した破壊的なM7.0熊本地震(UTC; 7.3<JMA 2016>)は日本における内陸地震としては異常 に強い地震動であった.それは、阿蘇火山の南西斜面に発生した.地震群の震源(centrums)は別府 - 島原地溝の内 側へ移動した.この地震の初源的エネルギーは2010年のセレベス海深発地震(M6.6~7.6)に由来する.それは、上 部マントルの主要な熱エネルギー移送ルートあるいはサージチャネルを通って(PJ ルート)、フィリピンから台湾を経て、日 本の九州へ移送された.フィリピンにおける2013年のMayon火山の噴火は、この地球深部起源のエネルギーに起因す る.熊本地震は、阿蘇火山に代表される地溝内の火山活動に深く関わっている.それゆえ、熊本群発地震の地震活動は、 阿蘇火山の火山活動が終息するときに、衰弱するだろう.本研究は、地震と火山活動の発生においてエネルギー流(サー ジチャネルあるいは VP プロセス)という概念の重要性に注目したものである.

キーワード: 2016 年熊本地震,サージチャネル,火山噴火,VE プロセス,1965 年松代群発地震,別府 - 島原地溝 (2016 年 5 月 25 日受付,2016 年 6 月 21 日受理)

まえがき

2016年4月の熊本地震では、厖大な資産被害ととも に、約50名が死亡し、約3,000名が負傷した(https:// en.wikipedia.org/wiki/2016_Kumamoto_earthquakes). 2つ の強い前震(IRIS)と本震がつぎのように記録されている:

前震:

2016年4月14日12:26:36 (UTC) M6.2 (JMA; M6.3) 10km 2016年4月14日15:03:46 (UTC) M6.0 (JMA; M6.5) 6km 本震

2016年4月15日16:25:06 (UTC) M7.0 (JMA; M7.3) 10km

2016年4月14日にはじまった熊本群発地震は、今日 (2016年5月24日; JMA HP, 2016)まで続いている. 有感地震の回数はすでに1,000を超えた.さらに活動 的な地域が移動・拡大した.すなわち、これらの地震 の震央は、図1に網掛けされた領域を超えて、別府-島原地溝(Matsumoto, 1979, 2000; Matsumoto and Yamasaki, 1984)内に分布するようになった. M4.5+地 震分布図(図2)にみられるように、東側への側方拡 大は4月14~16日にもっとも急速に進行した. 震源 が浅いために,強い衝上性震動が押し上げた. その 結果,地表付近の断層が強く振動した. 全壊家屋は 7,996棟,一部損壊家屋が19,100棟に達した. さらに,







図2 熊本地震(M4.5+地 震で代表) -4月14日の 前震,4月15の本震,お よび余震-が4月15~16 日に東方へ拡大した.IRIS ウェブサイトプログラムで 描画.

73.035 棟で住居被害があった.

この地震は、日本における1970年以降の内陸地震の うちでは、最大規模のものの1つである(図3). それは、 震央域での地震エネルギーの集積と転換を意味する. それは、火山活動、とくに阿蘇火山との密接な関係に よって特徴づけられ、エネルギー源が同一であることを 示している.

熊本地震の活動プロセス

別府 - 島原地溝における火山 - 地震 (VE) 活動 (図1) は、次のように変化した. 2013年に火山性地震が急 増し,2014年以降には阿蘇火山の噴煙が高度1,000m に達するようになった. 2015年6月頃から、火山性地 震がさらに増加し、さらに、阿蘇火山の南縁が別府-島原地溝の断層に沿って拡大しはじめた. 2016 年4 月 14 日の M6.2 地震は, 先駆地震であり, 翌日の本 震を含む一連の主要地震がそれに続いた. 地震活動 は、図2のように、別府 - 島原地溝全域に急速に拡大 した (Japan Meterological Agency, 2016).

先駆的前兆

次の2つの先駆的徴候が観測され、熊本地震の前に 公式に報告されていた. 1) ジェット気流異常が本震の 140日前に震央付近に出現した.2) VLF 電磁気波の 伝播異常が約1週間前に現れた. これらは, NCGT 本 号において, Wu (p. 276-278) および Hayakawa and Asano (p. 273-275) によってそれぞれ記載されている. 前者で注目すべきは、ジェット気流異常の出現から本 震までの時間的遅れは140日であり、それは記録に残 るなかではもっとも長い (Wu, 2016). VLF 異常にもと



図3 日本および周辺における1970~2016年4月のM7.0+地震. 熊本地震は、1970年以降では、日本における最大級の内陸地震 の1つである.

づく予測も、マグニチュード(予測 5.0-5.5、実際 7.0) を除くと正確であった. Havakawa and Asano は、九州 における受信局が九州に設置されていてないためにマ グニチュードに違いが生じたとした.

さらに、論文の第2著者(DRC)は、日本の気象衛星ひ まわり8号の画像に注目した.これらの画像では、阿蘇火 山とその西方を含む地溝南縁に沿って、本心の40~43 日前にあたる3月3~5日を中心に(そして,その後も 間欠的に)電磁エネルギー放出が活発に起きたことを示 している. 4月8~12日, つまり, 本震の2~6日前 にも、活発な放出が同じ地域で発生した.ただ、地震の 直前には同地域で観測されたエネルギー逸漏の強さと規 模は、他の M7/0 規模の地震にくらべるとかなり小さい.

上述の前兆とは別に、長波長放射の射出(outgoing longwave radiation: OLR) はめだった異常を示さな かった. 熊本市近傍の海水表面温度 (sea surface temperature: SST) にも特別な異常は認められなかった.

火山性熊本地震群の地質学的背景

この地溝領域における地質発達史が図4に、A, B, C, D および E の順に示されている.

(A) 地殻への安山岩マグマの大量注入 地殻を上部と下部に区分するコンラッド不連続面の



🖈 : Major earthquake swarm

一貫性は弱い.したがって、大量の安山岩マグマが中新世前期にコンラッド不連続へ迸入した(図
4-A; Tsunoda, 2001). 中部地殻(図4-AのMC;
Tsunoda, 2016 = NCGT本号 p. 174-193)が形成され、しだいに厚くなった.上部地殻(図4-AのUC)はドーム隆起し、破断した.

(B) 安山岩マグマの大量噴出期

豊 肥 火 山 岩 類 (Matsumoto, 1979; Matsumoto and Yamasaki, 1984) とよばれる大量の火山噴出が中新世 中期に起こり, 大量の火砕岩類と溶岩がもたらされた.

(C) 別府 - 島原地溝期

厖大なマグマ噴出の結果,中部地殻が薄化し,その 表面が凹んだ.これらの事象の結果,強く破断され た上部地殻が中部地殻の凹部に沈降し,後期中新世 には別府 - 島原地溝(Matsumoto, 2000;図4-Cの BSG)が形成された.その際に,BSGの両端は深部 断層によって境された.

(D) 活火山期(後期鮮新世)

マグマが再び地殻へ迸入した. 中部地殻が厚くなり, 上部地殻を押し上げた. その結果, 大山-霧島火山 帯が形成された (BSG; 埋没, VS; 火山性堆積物, Pyr; 火砕岩類).

(E) 熊本火山性群発地震期

熊本群発地震の震源のほとんどは BSG 内部に分布していて、その深度は 5 ~ 13km であった (JMA, HP, 2016). 他方, BSG 地帯におけるキュリー点(ある種の岩石が溶融する高温状態を指示する: Okubo et al.,

1989)は、熊本群発地震の震央が分布する領域にほ ぼ一致する.つまり、この群発地震は、東西両端のか ら内部へ移動した.このような熊本の特徴は、松代火 山性群発地震(Matsuzawa,1976)にたいへんよく似 ている.図4-Eに示されているBSGは、埋没BSGの 内部へ移動した.BSG帯の基盤岩類はなぜ高温なの だろうか? それは、熱エネルギーがそこに供給された からである.

熱-地震エネルギーの移送

熊本地震のエネルギー源はセレベス海で発生した 2010年7月の強い深発地震群(詳細は Choi, 2010) に由来する、と私たちは考えている.この大量のエネ ルギーは図5に示される 2013年5月の Mayon 火山噴 火(火山噴火指標 L2;スミソニアン研究所 HP, 2016) を引き起こした.当該エネルギーの一部は台湾にもも たらされ、つづいて九州へ移動した.図6に示されると おり、九州南部における 2014 ~ 2015年の地震 - 火 山活動の活発化に注目されたい.台湾~九州間の深 度 150 ~ 300km における地震の発生深度が浅くなると いう明確な傾向にも注意されたい(図7).この地震は、 サージチャネルの上盤深度の存在を示すものだろう.

浅化する地震帯は、上部マントルには熱エネルギー移 送ルートもしくはサージチャネルが存在することを示唆 している. 鹿児島地方の鹿児島地溝の内部には、3つ の活火山-開聞岳、桜島、および阿蘇火山-、いわ ゆる霧島火山帯が存在することにも注意されたい.地 震深度(250~150kmで、北へ浅化)はサージチャ ネルの天盤深度を示すものであろう. 鹿児島地溝の





図6 2007 ~ 2015 年の M4.5+ 地震. 2016 年熊本地震以前には、別府 - 島原地溝ではほとんど地震が発生していない(図2と比較せよ). 九州南端における深度150 ~ 300kmの地震(黄色円)および深度70 ~ 150kmの地震(緑色円)にも注目されたい. 2013 年以降,南部 九州では比較的深い地震が全般的に増加した.この地域が熊本地震のエネルギー源である、と私たちは考えている.

Mag	Depth km	Day	Time UTC	Lat	Lon	Dist km
6.2	167.2	2009-09-03	13:26:18	31.18	130.18	0
6.3	160.1	1978-05-23	07:50:28	31.07	130.1	14
6.1	229	1981-01-02	15:39:46	29.28	128.1	290
6.2	216.5	1998-10-03	11:15:41	28.53	127.65	383
6.9	224.9	2011-11-08	02:59:08	27.32	125.62	616
6.6	200	1986-05-11	01:24:26	26.73	125.26	688
6	184.7	2000-01-28	16:39:23	26.06	124.55	792
6.4	200.4	2005-10-15	15:51:07	25.3	123.44	930
6.1	254.4	2014-12-10	21:03:39	25.57	122.45	981



図7 1970~2016年の南中国海におけ る比較的深く(150km以深)強い(>M6.0) 地震の北方への浅化傾向;台湾近傍で は~254km,九州では160~170km.こ のような傾向は,同じ深度範囲でみる と,M5.5~6.0の地震でも確かである. 本論文を執筆しているときに(2016年3 月31日)に,別のM6.4+の地震(深度 244km)がまさに台湾北部を震動させた (IRIS,ds.iris.edu/seismon/).私たち は,このような全般的傾向は台湾から九 州へ連続してきたサージチャネルが,北 方へ浅化していくことを物語っている, と私たちは解釈している.



図8 エネルギー移送ルート. 鹿児島地溝南部(第四紀火山が点 在)から,朝鮮 - 九州 - パラオ海嶺地背斜(ここには,金鉱山が 群生している)を経て,別府 - 島原地溝に入る. 基図は Choi (1993) による.

幅から判断すると、このサージチャネルの幅は20~40kmと考えられる.

この北東-南西方向のサージチャネルは、直交する 先カンブリア紀の地背斜軸(図8の朝鮮-九州-パラ オ海嶺系, Choi, 1993) を通過後, 北へずれる. この 交叉部には、世界的に知られた菱刈金鉱山 (Kubota, 2016) が形成されている. それは, 次に, 島原-別 府地溝へ入り、そこでは、大山火山帯 (Minato, 1977 の fig. 5-2) に含まれる別府 - 島原地溝中の著名な阿 蘇火山(図8), 雲仙, 阿蘇 - 九重火山をはじめ, 主 要な活火山が集まっている.霧島火山帯と大山火山帯 は、相互に斜交する別個の火山帯である. 地震の深度 分布や地震波トモグラフィ断面 (Matsubara and Obara, 2011;Kubota, 2016のfig. 8 [NCGT本号, p. 199] も 参照せよ)から判断すると、2つのエネルギー移送チャ ネルが存在する. 鹿児島地溝南部と別府 - 島原地溝に おいて、1つは深度約 150 ~ 170km (Tsunoda et al., 2013 の fig. 4), もう1つは 20 ~ 30km のものである.

Wever and Davis (1990), Tsunoda (2009) ならびに Tsunoda et al. (2013)の意見にしたがうと, 400km 以 浅の浅層には3つの低速度層が存在する. Tsunoda (2010)は,高温の移送ルートの存在を想定した. さら に,それ以前に,セレベス海からフィリピン - 日本 (PJ) ルートを通過する 2010 年の強い熱供給が存在したと述 べている (Tsunoda et al., 2013 and 2015). 2013 年の



図9 別府-島原地溝の深部断層の再活性化.

Pinatubo 火山噴火は, 20 世紀における PJ 熱ルートに 沿う最大の噴火であった(Tsunoda, 2010; Tsunoda et al., 2013).

熊本では,別府 - 島原地溝南縁の限る深部断層に沿っ て,阿蘇火山南麓の GPS 変化が生じた.GPS 変化の 展張方向は,この境界断層の走向に沿っている(図9). これは,熱エネルギーの到来による地温上昇と,その ために断層面が過熱されて断層帯が再活動した,と説 明されうる.地表面変位記録から判断すると,このよ うな変化が発生したのは熊本地震の約半年前のことで あった.

私たちは、近いうちに、2016年熊本地震と1965~ 1966年に中部日本で発生した松代地震(図1)を比較することによって、この事象をより詳細に説明するつもりである.

結論

- 1. 2016年4月熊本地震は、基本的には、阿蘇火山 に密接に関連する火山性地震である.
- そのエネルギー源は、2010年7月にセレベス海で 発生した一連のM6.7~7.6地震に示される地球深 部に由来する.
- 熱エネルギーが,フィリピン-台湾-九州(日本)ルート(P-Jルート)に沿って上部マントルに形成されたサージチャネルを通じて移送された.セレベス海深部から2010年にもたらされたこのネネルギーは,2010年Mayon火山噴火,2013~2014年の台湾と九州南部の強い地震をひきおこし,2015~2016年には鹿児島地溝の火山群と別府-島原地溝の阿蘇火山を目覚めさせた.
- 4. 熊本地震は、2つの前兆現象-ジェット気流異常 (150日前)とVLF電波の伝播異常(1週間前) ーによって予知された.しかし、これまでのマグニ チュード 7.0 規模の地震に比べると、他の兆候が強 く現れることはなかった.

5. この研究は、地震 / 火山活動への深部地質構造 による規制を証明し、本論文でとりあげた地震 - 火 山活動とそれらの予知におけるサージチャネルを通 じた熱エネルギー流と VE プロセスといった概念の重 要性を強調した.

謝辞:この論文は、日本の地質研究者による多くの困難な野外調査-九州における地溝と鉱床に関する研究(とくに、M. MatsumotoとY. Kubotaによる)によって築かれた.私たちは、菱刈金鉱山とその地域の地質に関する詳細な情報を私たちに提供くださったY. Kubota に深く感謝する.

文 献

- Blot, C., 1976. Volcanisme et sismicite dans les arcs insulaires. Prevision de ces phenomenes. Geophysique 13, ORSTOM, Paris, 206p.
- Choi, D.R., 1993. On the Korea-Kyushu-Palau Ridge System. Hokuriku Geology Institute Report, no. 3, p. 123-132.
- Choi, D.R., 2010. 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.
- Hayakawa, M. and Asano, T., 2016. Subionospheric VLF propagation propagation anomaly prior to the Kumamoto Earthquake in April, 2016. NCGT Journal, v. 4, no. 2, p. 273-275.
- Japan Meteorological Agency HP, 2016. Earthquake and volcanism (in Japanese; http://www.jma.go.jp/jma/ index.html). http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html (in English).
- Kubota, Y., 2016. Spatial distribution of high grade epithermal Quaternary gold deposits at Japanese island arc junctions and their global implications. NCGT Journal, v. 4, no. 2, p. 194-203.
- Matsumoto, Y., 1979. Some problems on volcanic activities and depression structures in Kyushu, Japan. Mem. Geol. Soc. Japan, no. 16, p. 127-139. (in Japanese with English abstract)
- Matsumoto, Y., 2000. Geotectonic development of the Beppu-Shimabara Graben in central Kyushu, Japan. NCGT Newsletter, no. 16, p. 16-20.
- Matsubara M. and Obara K., 2011. The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate. Earth Planets Space, v. 63, p. 663-667.
- Matsumoto, Y. and Yamasaki, T., 1984. Volcanic stratigraphy and structure of geothermal areas in Kyushu. Res. Nat. Energy, no. 8, p. 465-472.

- Matuzawa, T., 1964. Study of earthquakes. Uno Shoten, Tokyo, 213p. (in Japanese)
- Matsuzawa, T., 1976. Matsushiro Earthquake swarm. The theory of the earthquake and the application (in Japanese), p. 39-58, University of Tokyo Press, 223p.
- 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.
- Minato, M. (ed.), 1977. Japan and its nature. Heibonsha Ltd., Tokyo, 220p.
- Okubo, Y., Tsu H. and Ogawa, K., 1989. Estimation of Curie point temperature and geothermal structure of island arcs of Japan. Tectonophysics, v. 159, p. 279-290.
- Smithsonian HP, 2016. volcano.si.edu/search_eruption.cfm Takeda, T., Sato, H., Iwasaki, T., Matsuda, N., Sakai,
- Frakeda, F., Sato, H., Iwasaki, F., Matsuda, K., Sakai, S., Iidaka, T. and Kato, A., 2004. Crustal structure in northern Fossa Magna region, central Japan, modelled from refraction/wide-angle reflection data. Earth Planets Space, v. 56, 1293-1299.
- Tsunoda, F., 2001. Middle Pleistocene uplift of the South Fossa Magna Region. Himalayan Geology, v. 22, p. 17-25.
- Tsunoda, F., 2009. Habit of earthquake Part 1. Mechanism of earthquakes and lateral seismic energy transmigration. NCGT Newsletter, no. 53, p. 38-46.
- Tsunoda, F., 2010. Habits of earthquakes. Part 2. Earthquake corridors in East Asia. NCGT Newsletter, no. 54, p. 45-56.
- Tsunoda, F., 2016. Origin of the central Honshu Arc and the Izu Ridge, Japan. NCGT Journal, v. 4, no. 2, p. 174-193.
- Tsunoda, F., Choi, D.R. and Kawabe, T., 2013. Thermal energy transmigration and fluctuation. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 65-80.
- Tsunoda, F., Choi, D.R. and Kawabe, T., 2013. Thermal energy transmigration and fluctuation. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 65-79.
- Tsunoda, F., T. Kawabe, M. Hayakawa and Dong, R. Choi, 2013. Tendency of volcano-seismic activity developed in the central part of the Honshu Arc, Japan. NCGT Journal, v. 3, no. 1, p. 34-42.

USGS HP, 2016. earthquake.usgs.gov/earthquakes/search

- Wever, M. and Davis, J.P., 1990. Evidence of a laterally variable lower mantle structure from P– and S- waves. Geophys. Jour. Inst., v.102, 231-255.
- Wu, H.-C., 2016.Anomalies in jet-streams prior to the M6.6 Taiwan Earthquake on 5 February 2016 and the M7.0 Kumamoto Earthquake on 15 April 2016. NCGT Journal, v. 4, no. 2, p. 276-278.

NEWS

ニュース

地球規模で増大した火山と地震の活動 Increased volcanic and earthquake activities throughout the globe

(村山 敬真 [訳])

以下のニュースは、気象学者の Mario Picazo 博士による The Weather Network から引用されたものである. http://www.theweathernetwork.com/us/news/articles/ extreme-weather/frantic-volcanic-activity-seenacross-much-of-the-globe-/68389

地球全体にわたって見られる凶暴な火山活動

2016年6月1日水曜日-世界のいくつかの火山が, 最近大変活動的になって,莫大な量の火山灰や火山 ガスを大気に噴出し、何千もの人々を家から避難させた.しかし、それは火山活動についてだけではなく、 かなりの地震活動もまた、火山の影響地域、特に環太 平洋で生じた.

最近10日間で,世界中で40近い火山が活動の兆し を見せ,そのうち34というかなりの火山が大変活動的 な「火の輪」に沿っている.20世紀の平均火山噴火 数は年35であることを考えると,我々がちょうど今週見 ていることは,前世紀の年間平均を超える.

黒点、再び消失 Sunspots vanishing, again

(村山 敬真 [訳])

(注:以下の記事は Space Weather 2016 6月 24 日からの引用である. http://spaceweather.com/)

今月2回目,太陽は空白で黒点がない. NASA のソー ラーダイナミクスオブザーバトリーによって6月24日に 撮られたこの太陽の図は,暗い芯がないことを示す. これは何を意味するのか?太陽活動周期は振り子のよ うに,11年ごとに黒点数の大と小を行ったり来たりして いる.今日の空白の太陽は,振り子が黒点数小に向かっ て振れていることの印である.言い換えれば,太陽活 動極小期がやってきている.予報者は次の太陽活動 極小期が2019~2020年になるものと予期する.今か らそれまでの間,黒点のない太陽が多くあるだろう.最 初は空白期間は数日で,後に数週から数ヶ月になるだ ろう.黒点周期がその最下点に達したときには,一年 中になるかもしれない.しかしながら,宇宙天気現象が なくなると期待してはならない.太陽活動極小期は多く の興味深い変化をもたらす.例として,太陽の極端紫 外線の出力が低下するにつれ,地球の大気上層は冷 却し落ち込む.これは,スペースジャンクをわれわれの 惑星の周りにたまらせる.また,太陽圏が縮むと恒星 間空間が地球に近づく.銀河宇宙線が太陽系内部に, そして地球に比較的容易に突入する.

実際に宇宙線サージは常に進行中である. 宇宙線は 雲の種をまき,稲妻の引き金を引き,民間航空機を貫く. 我々の測定では,アメリカ大陸をたった1度往復横断 飛行すると,歯科X線の2から5倍の量のイオン化す る放射線を吸収する. この暴露は太陽活動極小期が 深まるにつれ増大する.

連邦・政府の指導者への警告 壊滅的な地震と火山への準備のために Federal and State Leaders Warned to Prepare for Catastrophic Earthquakes and Volcanoes

(岩本 広志 [訳])

Press Release 01-06-06-16 Monday, June 6, 2016 11:00 AM EST International Earthquake and Volcano Prediction Center 国際地震・火山予知センター P.O. Box 607147 * Orlando, FL 32860 www.ievpc.org 407-601-3295

国際地震・火山予知センター(IEVPC)は、本日、次 のことがらをお知らせする.近々の将来に突発する壊 滅的な地震と火山噴火による深刻な社会基盤被害と人 命損失に関する本センターの最終警告を、米国政府 が受理した. 広範な気候変動と地震の指導的な科学者と研究者達に よって2010年以降実施されてきた両分野の研究にもとづい て、国際地震・火山予知センター(IEVPC)は過去200~ 300年に被った地震と火山噴火の最悪の連続への早急な 準備を始めるよう合衆国政府と州知事へ最終警告した. 具体的に言えば、連邦政府の中で、IEVPC は米連邦 緊急事態管理局 (FEMA)、米国土安全保障省 (DHS) 配下にあり、米国地質調査所 (USGS)、は内務省 (DOI) の部門、それらの災害予測を国内でただちに準備しは じめた. IEVPC の最高執行責任者ジョン・カセイ氏は 2015 年から最近では 2016 年 3 月 13 日に米連邦緊急 事態管理局 (FEMA) に警告書を送った.彼はそれらの 警告を USGS とすべての役人に伝え、2 週間の間に政 府に影響を及ぼし、最終通知を成し遂げた.

地質家で IEVPC のオーストラリア研究所所長,ドン・チョ イ博士によれば,「長年の調査は太陽活動が衰えるこ とと地球の最悪の地震や火山噴火が密接に関係してい ることが疑いなく示されている.現在は次の衰弱もしく は冬眠が始まっていて,翌年から少なくとも20年以内 に人々が危険にさらされないとしても,我々はその兆候 に向き合っているつもりである.」IEVPC の共同研究者 のアルン・バパト博士,インドにおける地震の専門家, は次のように加える「IEVPC の実行する地震予知のマ ルチ - パラメーターは差し迫った地震の進歩した警報 の最良の意味をなし,現在では,カセイ氏の気候変動 に関する独創性に富んだ研究と結び付けられ,我々が 直面する,人々にとって潜在する地震の脅威について の非常に困難な時間について,ごく小さな疑問が残さ れているのみである.」

類似のジョバンニ・グレゴリ博士から,理論物理学者で,

イタリアの IEVPC 共同研究者,「IEVPC と気候におけ るカセイ氏の仕事は,地球力学活動に密接に関係して いる.例えば,私の「潮汐に起因する」(TD)ダイナ モ理論と関係するテクトニック効果 - 我々が次の数年内 に遭遇するだろう一般的な地震と火山活動は増加する ことが予期されるだろう.結果的に,太陽の冬眠は確 かに天体エネルギーの客観的な放出と非常によく関係 しているようで,すべての関係した災害を伴った地球力 学や火山活動の必然的な復活である.世界中のすべ ての指導者達は,我々が突入しようとする潜在的に危 険な時代への挑戦に気を付けるように注意する必要が あり,これは結果的に国や人々への準備のこと.」

トーマス・ジョーダン博士,米国で最も尊敬されている 地質家,南部カリフォルニア地震センター所長,は最近 2016年5月4日(ロスアンジェルス時間)に以下のよう にまとめている,例えばサンアンドレス断層は「…ロック, ロード状態,いつでも動き出すことができる状態,」この 意味はこの地域に対して「大きな一発」と呼ばれるマグ ニチュード8かそれ以上の地震がいつでも起きること.

米連邦緊急事態管理局 (FEMA) に宛てた手紙では, 米国地質調査所・州知事は,リスクの高いサンアンドレ ス断層や西海岸州のカスケード・サブダクション帯と連 動して未記録の地震という条件において,南カロライナ 州のほとんどの場所が大規模に維持されているように, ニューマドリッド地震帯 (NMSZ) と同様な配慮すること.

追悼 **OBITUARY**

(矢野 孝雄[訳])

Boris Ivanovich Vasiliev (1929年4月6日~2016年5月30)



2016年5月30日に,著名な海洋地質研究者で卓抜し た科学者である地質科学博士Boris Ivanovich Vasiliev が87歳で逝去した.氏は,その生涯の60年以上を地 質研究に捧げ,東アジアの縁海群と太平洋の研究に偉 大な貢献を行った.氏は指導者として,太平洋と大西 洋のさまざまな海域における28回の調査航海,ならび に20回におよぶ縁海群の研究航海に携わった.

B.I. Vasiliev は、太平洋の海溝と深海盆における地質 ドレッジの開拓者であった.氏は、潜水艇による潜行 調査にも従事した.彼が独自の手法でドレッジした岩 石試料は数 1,000 点に達する.氏が実際の岩石にもと づいて描き上げた初めての太平洋地質図によって、私 たちは太平洋の真の構造、進化、および起源を理解 できるようになった.彼は、太平洋および隣接海の地 質原図の編集者であり、著者であり、また、"Geological Map of the World"*の著者のひとりである.氏の指導 のもとで、海洋底の山脈とギヨーの燐灰岩と含金属岩 がいくつもの海洋調査で研究され、その結果、太平洋 北西部が巨大鉱床区として登録されることになり、燐灰 岩および多金属鉱床研究に展望が拓かれた.

氏は、古くから、プレートテクトニクス概念の反対論者 であった.彼の論文では、先カンブリア紀以降の太平 洋北西部が中程度に活動的な発達史を辿ってきたとい う考え方が証明された.氏によると、このような発達史が、 この海域に燐灰岩および多金属鉱床が存在する主要 原因の1つとなった、と考えられている.

大西洋,インド洋および太平洋の海底に大陸性岩石 が存在することを示した一連の論文は、ロジア語雑誌 ≪ Otechesvennaya geology ≫に公表された. T. Yano, Dong R. Choi および他の専門家と協力して,このテー マに関する一連の論文が NCGT Journal に掲載された.

Boris Vasiliev は、極東ロシアにおける海洋地質分野 の第一人者であった.氏の功績は、太平洋の地質構 造ならびに東アジア大陸 - 海洋遷移帯を理解するうえ できわめて重要であり、必然的に国際的な高い評価を えた.彼は、世界中の多数のか科学者たちと研究交 流をすすめ、大きな成果をえた.彼の多数の著述は、 英語、中国語および日本語に翻訳された.

2003 年 8 月に、氏は日本の新潟大学へ招かれ、 「Geological Map of the World」および「海と海洋底に おける地質調査の方法」について講演した**. 2008 年には東京で開催された地学団体研究会第 62 回総会 で「日本海域の地質と地形 - 造構作用の諸問題」と 題する講演を行い、高い評価をえた.

B.I. Vasiliev は,2001年に出版社 Dal'nauka から2冊の単行本を刊行した.その1冊は、オーストラリアの地質研究者 Dong R.Choiとの共著で、海溝と島弧の地質に関する諸問題を中心にした著作であった.もう1冊

は、ロシア科学アカデミー太平洋海洋学研究所の同僚 たちと共同して準備されたもので、北西太平洋の縁海 群の地質と炭化水素ポテンシャルに関する多数の問題 を考察している.この著作は、のちに、中国語に翻訳 された.

2005年には氏の編集による論文集『太平洋の地質と 起源』が出版された.4年後の2009年には、ウラジオ ストクのDal'nauka社から、包括的な単行本『太平洋 の地質構造と起源』(559p.)が刊行された.この著書は、 氏の長年にわたる研究のおもな結果(深海掘削データ、 岩石試料の岩石学的 - 地球化学的特徴に関する多数 の出版物、および地球の大規模海盆の深部構造など も含まれる)をまとめて、批判的に総説したものである. この著書は、M.Hoshino氏が主導して、現在、日本語 に翻訳されている.合計すると、氏の科学的出版物は 270点以上に達し、その中には、27点の論文集や単 行本が含まれている.

Boris Ivanovich は多数の海洋調査航海の際につねに 日誌をつけて続け、それらは2冊の著名な著書-『海 洋への道 The Road to the Ocean (1994 年刊)』な らびに『海洋地質研究者の日記 Diaries of Marine Geologist (2001 年刊)』-にまとめられた.それらは 研究者の卵や若い研究者たちにむけたもので、遠い 将来へのロマン主義を楽観し、愛することを激励してい る.氏は研究活動に並行して、運営にも大きく貢献した. 彼は極東地域間環境機構"緑十字 Green Cross"の 議長を務め、沿海州地域の自然 - 資源保護にかかわ る多くの緊急課題にとりくんだ活動のすべてに永続的に 参加してきた.

この傑出した人物への想いは友人や同僚たちの心に刻 まれ,氏の業績は地質学の歴史と遠い将来にわたって 輝きつづけるだろう.

Alexader A.	Gavrilov gavrilov@poi.dvo.ru
ロシア ウラ	ラジオストク V.I. Il'chev 太平洋海洋学研究所
Leo Maslov	lev.maslov@cccs.edu
	アメリカ合衆国 デンバー CCCS
矢野孝雄	yano.azumino@gmail.com
	日本 大町山岳博物館
Dong Choi	dong.choi@raax.com.au
	オーストラリア Raax Australia 社

* Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. Geologic Map of the World (Scale) 1:15,000,000. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation.

** NCGT 新潟フォーラムでの Vasiliev 教授の講演は、故鈴木尉元
 博士によって詳細な講演記録として NCGT Newsletter no. 28, p.
 4-6 (2003 年 9 月) に掲載されている.



財政的支援について FINANCIAL SUPPORT

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

ご希望に応じてごく少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 宛 名:New Concepts in Global Tectonics
 送先: 6 Mann Place, Higginns, ACT2615, Australia
- 見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

目的は次のとおりである:

- 1. 組織的照準を、プレートテクトニクスの観点に即座 には適合しない創造的な考え方にあわせる.
- 2. そのような研究成果の転載および出版を行う. とく に検閲と差別の行われている領域において.
- 3. 既存の通信網では疎外されているそのような考え方 と研究成果に関する討論のためのフォーラム. それは、 地球の自転や惑星・銀河の影響、地球の発達に関する 主要学説、リニアメント、地震データの解釈、造構的・ 生物的変遷の主要ステージ、などの視点から、たいへ ん広い分野をカバーするべきものである.
- 4. シンポジウム,集会,および会議の組織.
- 5. 検閲, 差別および犠牲があった場合の広報と援助.