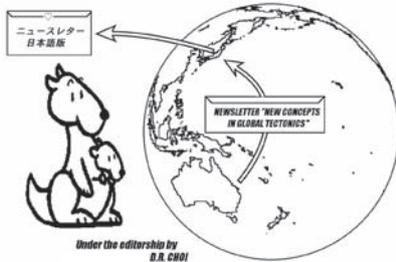


ニュースレター グローバルテクトニクスの新概念



NEWSLETTER *New Concepts in Global Tectonics*

No. 55 2010年6月 ISSN: 1833-2560 編集: D.R. Choi (日本語版 2010年11月)



編集部: Peter JAMES, Australia (PO Box 95, Dunalley, Tasmania 7177); Leo MASLOV, USA (maslovlev@yandex.ru); Cliff OLLIER, Australia (cliffol@cyllene.uwa.edu.au); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dpratt@xs4all.nl); Giancarlo SCALERA, Italy (scalera@ingv.it); Karsten STORETVEDT, Norway (Karsten@gfi.uib.no); Yasumoto SUZUKI (yasu-suzuki@vega.ocn.ne.jp); Boris I. VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru)

も く じ

■ お知らせ	NCGT インドワークショップ	.....	2
■ 編集者への手紙		.....	3
■ 評論			
	崩れつつあるプレートテクトニクス—高まりつつある新しいパラダイム Karsten STORETVEDT	.....	3
	Falling plate tectonics – rising new paradigm		
■ 原著論文			
	地震の癖: 第三部. 日本列島の地震 角田 史雄	.....	26
	Habits of earthquakes, Part 3		
	全地球的な地震の同時性について Dong R. Choi	.....	44
	Global seismic synchronicity		
■ 短報			
	メキシコ湾堆積盆—後期石炭紀のマントルドームの崩壊 Johann-Christian PRATSCH	.....	50
	Gulf of Mexico Basin – A collapsed Late Carboniferous mantle dome?		
■ 地球科学にかかわる政治政治欄			
	IPCC 首脳は荷物を解くことに満足している M. Ismail BHAT	.....	53
	IPCC Chief mellow for bail out package		
■ 出版物			
■ ニュース			
	NCGT 日本グループの報告 赤松 陽	.....	57
	NCGT Japan group report		
■ NCGT 日本日本サブグループのコーナー	★ニュースレターカラー画像のダウンロードサイト★	.....	59
■ 財政的財政的支援・ニュースレターについて		.....	60



連絡・通信・ニュースレターへの原稿掲載のためには、次の方法の中からお選び下さい: NEW CONCEPTS IN GLOBAL TECTONICS

1) Eメール: editor@ncgt.org, ncgt@ozemail.com.au, または ncgt@hotmail.com; 1ファイルは5 MB (メガバイト) 以下, 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またはpdf フォーマット), 4) 電話: +61-2-6254 4409.

放棄 [DISCLAIMER] このニュースレターに掲載された意見, 記載およびアイデアは投稿者に責任があり, 当然のことながら編集者と編集部との責任ではありません。

NCGT NEWSLETTER 季刊国際オンラインジャーナルです (発行: 3月, 6月, 9月, 12月)。

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

翻訳・編集: NCGT ニュースレター翻訳グループ

赤松 陽 岩本広志 川辺孝幸 国末彰司 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 角田史雄 宮川武史 宮城晴耕 山内靖喜・輝子 矢野孝雄

お詫び

NCGT 日本語版発行の遅れ

10月発行予定の日本語版 no.55 が大幅に遅れましたことを、深くお詫び申し上げます。定期発行に努めてまいりますので、ひきつづきご講読のほど、よろしく願い申し上げます。お詫びとお願いまで。

お知らせ ANNOUNCEMENT

（赤松 陽 [訳]）

NCGT インドワークショップ 地球ダイナミクス—認識と行き詰まり <EDPD-2011>
開催時期：2010年9月、組織者：Transect-India および NCGT-India

NCGT INDIAN WORKSHOP EARTH DYNAMICS Perceptions & Deadlocks < EDPD -2011>

Organized by: Transect-India and NCGT-India

@ Kanyakumari, Tamil Nadu / Trivandrum, Kerala September 2011

“仮説は、建物を建設する前に建てられなければならない、建設が終わると解体されなければならない足場である：足場は仕事にとっては不可欠であるが、建物そのものと間違えられてはならない。”（ゲーテ）

科学に関わる意見をめぐる論争は、科学の様々な分野の進化（発展）においてはまれなことではありません。創造的進化は、そのような突出した1つのケースであります。ビッグバン対定常状態は、もう一つの例です。現在、世界は、CO₂と地球温暖化の因果関係の科学は確立されていると信じている人々と まだ問題の結論は出ていないと思っている人々の間での熱い議論に関心が深まっています。実際に、後者のグループの間では、外に対してきっぱりとこの関係を拒絶するという断固たる意見があります。

この課題が、世界中で明らかに将来の公共福祉に影響を与えようであるという理由のために、開かれた直接的な政治的立場を背負い込んだので、議論の中に今まで例のない一般の人々の関与があることは驚くべきことではありません。2つの対立する見解に対して支持あるいは反対の立場から提示される科学的データの各々の部分は、反対している科学者の陣営によってでなく、まさに利害関係のある一般市民によっても厳しい詳細な吟味を受けているのです。そして、メディアもそれほど遅れてはいません。間違いなく、この一般市民の詳細な吟味は多くの科学的な経過を明らかにし、徹底的に打ちのめしました。しかし、それは少なくとも気候学に厳しい科学的な価値体系を負わせることが期待されています。

他のいかなる科学あるいは科学的な論争に、このような利点はありませんでした。私たち地球科学者は、現在のジオダイナミクスの主流概念であるプレートテクトニクスが関係する限り、直接そのことを知っています。CO₂によって誘発された地球温暖化のマントラ（ヒンドゥ教の呪い）のように、たとえ海底のたった0.0001%だけがわずかな程度の確実性で測定がなされており、広大な連なった大陸が、プレートテクトニクスが体系的に考え出

され提起された1960年代初期までは測量されずにそのままにされていたという事実は残っているけれども、それは広範な多数の地球科学者の想像力を捕えました。しかしながら、プレートテクトニクスは、全体としては些細な数ですが、最初からずっと科学者によって世界の異なる様々な部分を基にして争われ続けてきました。データは、その発展性のないことが力説され発表されました。そして、プレートテクトニクスは、反対陣営が‘その場しのぎの取り付け品’と名付けた説明をし続けました。しかし、その時代、反対陣営は、その人数は増加し続けたけれども、地球温暖化“懐疑論者”のように、彼らのデータを提示するための舞台（ジャーナル、会議）さえ失いました。1996年に科学者にとっての舞台が、様々な国に支部をもち、どのような意見をもつ科学者でもそのデータや解釈を公表することを許されているニュースレターを発行する“New Concepts in Global Tectonics”という形で創設されたことは、プレートテクトニクスに伴う科学的な難点を見つけ出す小さいグループの名目的な創立でありました。その創立以来、グループはオンラインによる会報「New Concepts in Global Tectonics」ニュースレターの発行し、そして、世界のさまざまな地域で定期的に国際会議を開催して、仲間（読者数）を大幅に増加させてきました。

この背景には、インドにおけるフィールド地質学の専門家の組織である‘The Transect’と、NCGTのインド支部は、“地球ダイナミクス—認識と行き詰まり<EDPD-2011>”の旗のもとに地球ダイナミクスについてさまざまな面から現在の理解と発展段階でのそれらのデータを提示し議論するために、地球科学者のための公開討論会の会場を用意しよう、と次回のNCGTの会議の開催を提案しているということがあるのです。

この会議は、2011年9月中旬に、南インドのトリヴァンドラム (Trivandrum) あるいはカニクマリ (Kanyakumari) [決定済み]で、3日間のワークショップ（開会と閉幕は除く）という形で行われることが提案されています。2日間は特別に地球ダイナミクスに関する話題について

の専門家の発表と討論を行いましょ。一その深さから表面と中心的なおおい境界線インタラクションに太陽（地球の気候に関する現在のホットな話題）でわたっている一話題に関する専門家のプレゼンテーションと議論のために、そして一日は、会議会場のまわりで地質学的に重要な場所の参加者（十分な数に応じて）のために見学旅行が準備されています。

私たちは、およそ 120 人の方々の参加を期待しています（インドの参加者と同じく、すでに確認済みの 60 名の外国人を含む）。25 人のインドの研究者が出席あるいは論文参加で万全の準備を整えるつもりです。特別な時間枠は、彼等が研究の間に出くわして得てきたであろう見解と疑問を発表するために用意されます。

国際的な科学者が恩恵うける便宜をはかるために、‘The Transect’ は、トリヴァンドラムとカニクマリ地区の 2

つの選ばれた学校 / 大学で、ポストミーティング、“日帰り地球科学キャンプ” など組織することを計画しています。ワークショップは、在学中の世代に知識を授けることをねらいにして、地質学分野の研究者チーム（パネルで Prof. Karsten Storetvedt, Dr. Dong Choi, Prof. Ismail Bhat, Prof. M. Santhosh, Dr. Asok Dubey, そのほか）によってリードされます。

私たちは、EDPD-2011 の満足すべき組織化のために、あなたのアドバイス、提案と協力を楽しみにしております。

Prof. Ismail Bhat: NCGT bhatmi@hotmail.com

Prof. M. Ramasarma: Transect mramasarma@gmail.com

Biju Longhinos: Convenor longhinos@geol-universitycollege-tvm-ac.ind.in

ncgt2011@gmail.com

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

（赤松 陽 [訳]）

親愛なるエディタ、

私は、地球温暖化闘争のためのイスラエル協会の議長とその研究部門の責任者を務めています。

私たちのモットーは以下の通りです：地球温暖化は、主に増加した太陽輻射に起因します。大気中の CO₂ の増大は、人間や産業活動によってではなく、主に温暖化した海洋（ヘンリー、ラウの法則）からのその放出に起因します。

このように、これら 2 つの地球規模の現象は、お互いそれぞれ区別されなければなりません：

1. 太陽輻射に起因する地球温暖化。

2. 現代の世界で消費者向けライフスタイルによる日常活動の結果として人間に起因する世界的な汚染。

これらの 2 つの異なる現象は互いに関連がなく、それらと戦うには異なるアプローチを必要とします。CO₂ 生産を減らすことによる地球温暖化に対する闘いは、煙だけを抑えることによって火と戦うということに例えることができます。それが無制御な方法でなされるとき、化石燃料の燃焼は環境汚染の原因になるかもしれません。しかし、それは疑いなく地球温暖化を引き起こしません。

Elsar ORKAN 医学博士
amosor2@gmail.com

評論 ESSAY

崩れつつあるプレートテクトニクス—高まりつつある新しいパラダイム：
目立った歴史的事実と現状

**FALLING PLATE TECTONICS – RISING NEW PARADIGM:
SALIENT HISTORICAL FACTS AND THE CURRENT SITUATION**

Karsten M. STORETVEDT

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

（山内 靖喜・小坂 共栄・小泉 潔・柴 正博・窪田 安打・矢野 孝雄 [訳]）

要 旨： 大半の地球科学者に対して、大陸移動とプレートテクトニクス論は現在根本的な地質学的世界像とみなされている。しかし、約 40～50 年前に起きた超可動的なテクトニクス革命の陰で実際にはどれだけ多くの研究者が現実の歴史を批判的にみることがをわざわざしているだろうか？

それでもなお、批判的な検証が実施される前にプレートテクトニクスが勝利したことは、地球科学の健全な発展にとって極めて有害であった—それはすぐに大変魅惑的になったので、実際には最強の反対の実例による取り壊しに対する免疫性を持ち続けた。すべての批判的検証が支持しなかったにもかかわらず—1970 年代後半までにはすでにそれらの検証の結果によってプレートテクトニクスは危機に満ちた構造物になっていた、ほとんど異常な保守主義が“最愛の” 仮説をよろよろと歩けるようにしたのであり、全球的地質学を古典的な死人がよみがえったような科学にかえたのである。プレートテクトニクスが主張する単純さとそのモデルが約束した地球科学を統合する能力は大方以前に見込みがなくなっている。この評論は大陸移動とプレートテクトニクスの歴史においていくつかの批判的な側面を扱い、理解するため、そして将来の研究のために新しい模範的な要項を提案して終わりにする。

キーワード： 重要な証拠の無視、専門家としての疎外、競争とその問題点、役に立たなくなった根拠上での激変、理論的危機にある地球科学、可能な出口

はじめに

NCGT 編集者への最近の手紙において (2010 年 3 月, Newsletter no. 54), Richard Barca は全球的テクトニクスの現状に関する簡単な評論, 次のような問題に言及している評論の論文が必要と述べている。その問題とは次のようなものである。プレートテクトニクスの事実に基づく事態はどんなものであるか、そして基礎をなす機構のどれが存続可能か—なにかあれば？ さらに、地質学の将来を形作る新しい証拠と対抗する理論はどんな具合かである。Barca の要求を受けて、私はこの準専門的で歴史的な評論を書いたのである。

機能的な全球理論の特性は、広範囲な自然現象間の手取り早く関連づける能力である。このように、地球に関する満足のいく理論は、少なくとも第一級の地球物理学の及び地質学の特徴をすべて説明することができる能力を持たなければならない—相互に関連している現象学的系の言葉を用いてである。アーチ状に覆っている思考の組み合わせからなる構築物の存在理由にふさわしい隠喩として、図 1 は最良の自然科学的状态において、役に立つであろう—**最大 - 理論** (a maxi-theory)。

訳者注) **最大 - 理論**：本論文の著者独特の用語ないし考えであり、本ニュースレター no. 12 (日本語版, p. 23 左欄 5 行目) で最大 - 理論と訳されているのでそれに従う。その文章によれば、「なるべくならば簡明な物理学の原理に結びついた一貫した体系の観点からその主要な側面 (力学的, 構造論的, 古気候学的, 古地理学的など) のすべてを容易に説明していなければならない」性質を持つ地球に関する理論を**最大 - 理論**とよんでいる。

しかし、科学もまたその社会政治学的及び心理的に奇異なことすべてを伴った人類の活動である—それは願望的思考, 互いに矛盾する事実を犠牲にすること, 及び支配的な人気のある考えをそのままの状態に保持する説得力のある専門家の必要性を含んでいる—この考えはときどきはっきりしない理由から流行った。その実際の健康状態にかかわらず、支配的な最大理論はその科学の貴族的な部分と独自性を形成する部分であり、その世界のある様相について権威をもって話をする席が用意されてい

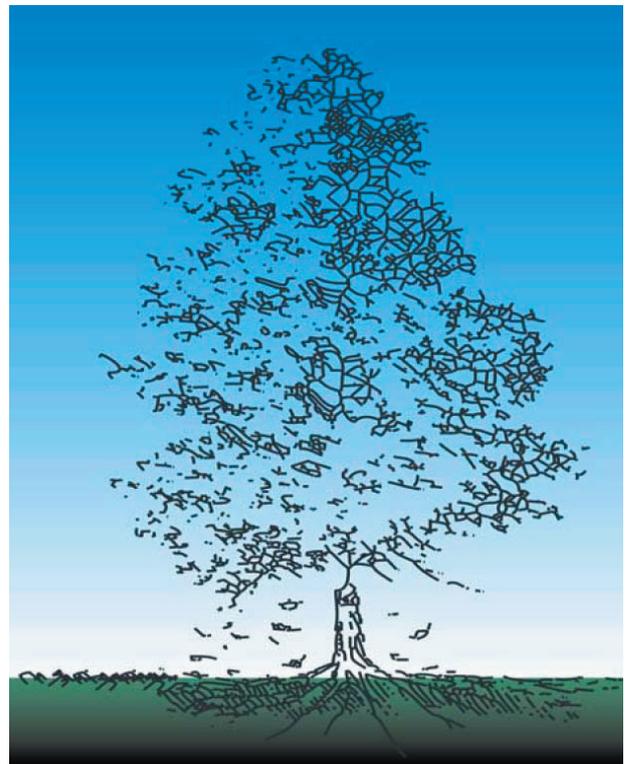


図 1 理想的にいえば、科学の最高の理論は木に喩えることができる。すなわち、ある分野内のすべての主要な事実は理路整然とした系を構成しているのである。しかし、思考を組み立てたようなものは、それに人気があることは関係なく、結局は間違っているのである—“木の葉” が落ち始め、“木” は解体の明瞭な印を表す。このような場合、包含される科学分野は各自の将来への見通しを失ってしまい、そして多数の人にとって予知は悪夢となった。破壊的で死人がよみがえったような科学へとさらに発展することを回避するために、公開と理論的再検討が最も重要である。

る。そして、もし私たちが現実主義者であるならば、現在の全球的地質学において人工的表面研磨 (ことによると、最初から欠陥のある建築物を助けるために加えられた) の間違いと積み重ねがどれだけ多くあるかを私たちは自分自身に問いかける。ここで私たちは現在の全球的なテクトニクスの権威に対する準備期間にいくつかの第一級の問題を掘り起こし、公にしなければならぬ—数 10 年前に大陸移動というウエグナー (Alfred Wegener) の仮説によって始まり、1960 年代後半にプレートテクトニ

クスという支配的な理論となって出現した。

歴史に関する課された務め

1950年代前半に Stanley Keith Runcorn(1981) は地球物理学の役割について次のように書いている。“大陸移動というウエゲナーの理論は正しくないことは、たいいてい一流の地球科学 (geoscience) センターにおいて、また広くいろいろなところにおいても同意されていた。ウエゲナーの理論は活発な論争をもたらしたことは評価されたが、しかし円熟した課題において地球物理学が早急に浮かび上がってきたので、この理論は多くある若者の思慮分別のなさの一つであり、忘れ去るのが一番良いとみなされた。地球物理学者たちは、彼等の課題が偉大な業績と名声をもつ近代物理学によって暗くされたことを強く感じていた。

しかし、もしこのような批判的な考えが地球物理学の社会に実際に優勢であったならば、その後 P. M. S. Blackett(London) や S. K. Runcorn(Cambridge/Newcastle) のような有名な英国の学者たちが大陸移動の仮説について長期間もたれてきた批判あるいは欠点を無視して大変容易にその仮説に急いで乗ることをどのようにしてできたであろうか。もちろん、その理由は次のようなことである。1950年代中頃の英国の古地磁気学者たちは大陸間の古地磁気の不一致が明らかにされことを説明するために、ある種の相対的な大陸の可動性を必要としていた。ウエゲナーの移動モデルはそのときまでに提案された可動性地殻の唯一の考えであり、すぐ手元に用意されており、そして、数年もしないうちに、長い間論争的になっていた考えが、アルプス時代の全球的テクトニクス、ならびに、大陸と海洋の現在の配置を理解するための重要な解明としてすぐに告知された。ウエゲナーのモデルが明らかにした多くの大陸をはめ込む複雑さと地質学的問題を避けるため、地球物理学者たちは彼等の古地磁気学上の必要性を満足させるため代わりに可動システム探しているのだと人々は考えた。

私が若い頃、私は次ようなことを少しづつ理解した。それは、1950年代の中頃の重要な時期に、代わりにの体系が未だできていなかったということである。同じく、英国の古地磁気学者たちがウエゲナーの古典的研究に基づいて全球的な解釈を組み立てたが、その研究は研究といっても入念に行われたものではないことが次第に明るみにだされてきている (参照 Storetvedt, 2003 & 2005)。2003年11月に、私は Ken Creer(Edinburgh) とその後 David Collinson(Newcastle) とこの点に関して議論する機会をもった。その当時最も先進的な古地磁気学研究室の2つ、すなわち Cambridge と Newcastle においてウエゲナーの本は入手できなかったことを彼等二人はともに確認した。1966年にその英語版が復刻されるまでその本を見たことがないことを認めた。Cambridge ではその本は大学の中央図書館に恐らく存在するだろうと Ken は考えたが、しかし、彼が続いて言うには“私たちは研究室でその古い本を探し求めることはしたことがな

い”。彼等二人は、ウエゲナーの二人の支持者の本、すなわちアーサー・ホームズ (Arther Holmes) の「一般地質学原論 (Principles of Physical Geology)」(1944) と Alex du Toit の「我が移動する大陸 (Our Wandering Continents)」(1937) 中の図からウエゲナーの仮説についての情報を基本的に得たことを認めた。このように、全球的古地磁気学データを評価するために、引用文の古地理学的骨組みに関してはまったく2次文献のみから学んだのである。アーサー・ホームズの大陸変位の普及に関して、移動に関する章の中心的図表の一つは、ウエゲナーの南半球 (Gondwana Gondwana) 集合体に有利なように明らかに偏っている。しかしながら、ウエゲナー及び彼と同時代あるいはその後の彼の熱烈なファンのどちらも次の思いもよらない事実が気がついていなかったようである。その事実、1890年代前半以来南極大陸からやってきていた。すなわち、その大陸から得られた古気候に関する化石とそのほかの岩石的証拠はウエゲナーの Gondwana の形状と著しく不一致である一彼の大陸移動のまさしく土台を実際に削り去るのである。

ウエゲナーの全球的古地理学的興味は少なくとも10年あるいはそれ以上前に、南極大陸はかつて熱帯的温暖から中緯度の状況を示す植物群が繁茂していたという状況を長期間経験したということは十分に確立していた。大型植物化石に基づいて、地質時代初め頃には南極大陸地域は現在より暖かかったに違いないという証拠が増えつつあった。このように、1893年にノルウェーの探検隊は Seymour 島においてセンセーショナルな化石観察をおこなった。それは石化した落葉樹の大量の丸太である (Larsen, 1894; Sharman and Newton, 1894)。20世紀初め頃には多くの英国の探検隊がさらに目覚ましい化石いくつかの成長速度が速いこととその大きさが大きいことは極環境と調和させられない。このように、南極大陸が少なくともデボン紀から第三紀中頃までの間は維管束植物の豊かな茂みに覆われていたことは100年前にすでに明らかになっていた。もし、何らかの理由から極地域の気温が大きな葉をもつ背の高い植物の活発な成長を支えるのに充分なだけ高かったならば、そのときの対応する熱帯は耐え難い暑さであったであろう—観察はこのような状況をまったく支持しない。南極大陸は熱帯から亜熱帯の環境にあった長い歴史を明らかにもったが、しかるに赤道 / 南アフリカ (南極大陸の北側に緯度約 70-90°離れた位置) は極気候を経験している。このように、化石の証拠は、アフリカと南極大陸とは現在と同じ物理的距離を地質学的過去においてももっていたことを示している。しかし、地球の空間での方位 (太陽に対して相対的な) は明らかに現在とはまったく異なっていた。古気候の見地から、ウエゲナーの大陸の原配置—図2に描いてある—は自己矛盾している。

北半球の環境の歴史を考慮して、広く認められた一連の証拠に沿ってウエゲナーは次のことを大胆に論じた。すなわち、古生代以降北極の気候は熱帯から次第に極へと変化し、最も著しい寒冷化は中期第三紀頃に起きたのであり、これは南アフリカ—すなわち極から熱帯へ—のま

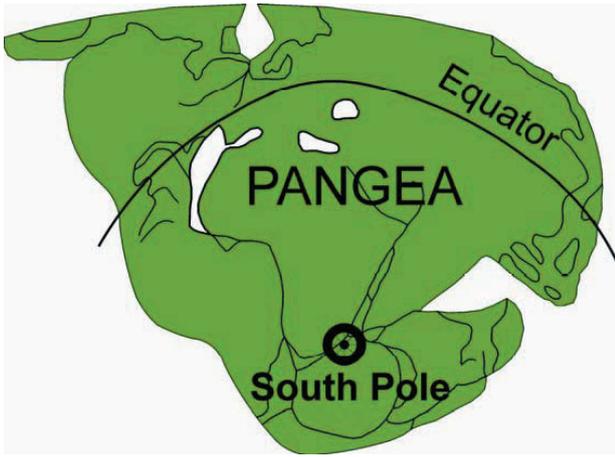


図2 ウェゲナーによる後期古生代における大陸配置. アフリカを現在の位置に固定している. しかし, 実際にはこの大陸が熱帯から亜熱帯の環境を経験したことを南極大陸産の化石の証拠は示している—彼の評判の大陸集合体が要求するような極環境ではない. 希望的観測が決定的な古気候の事実には勝ってしまったのだ.

さに逆の方向性をもつ. これはオーストリア人地質学者 Domian Kreichgauer の研究と一致しており, 彼の著書「地質学における赤道問題 (Die Äquatorfrage in der Geologie)」はウェゲナーの参考文献の一つであった. ウェゲナーは北半球での観察された事実を極移動というダイナミックな現象によるものとした—自転軸に関連しての惑星の空間での変化がときおり起きたことによるものとした. 合理的な結論のように見える:

横方向への大陸移動というウェゲナーの先入観が疑いもなく彼に歪んだ科学観を負わせたが, 彼がそれを避けていれば, 北極地域と南極地域の両者が同じような気候変化—暑い気候から寒冷気候へ—を経験したことに気がついたはずである. 中央アフリカは逆の気候変化を受けた—寒冷気候から暑い気候へ. この全球的な古気候像は明らかに極移動というダイナミックな現象を支持している—横方向への大陸移動を伴わない.

古生代の時間が大変長いことから, 相対的な極の位置は明らかにそれぞれが中央太平洋と南西アフリカ沖にあったが, 他方, それに対応する古赤道は現在の北極地域と南極地域通っていた. すでに1世紀前に存在し, その後の全球的な古地磁気学検討 (Storetvedt, 1990 & 1997) によって実証された古気候上の証拠は静止した大陸を支持している.

気候の変化勾配が最も著しいのはグリニッチ子午線上にほぼ集中する N-S 帯中に起きていることを Köppen and Wegener(1924) は気がついた. このことは次のことを意味している. すなわち, 現在の赤道上の約 90°E と約 90°W の2つの地域における気候変動は “ゼロあるいはまったく小さい” であるだろうということである (Wegener, 1924). 言い換えるならば, 地球は 0/180° 子午線面内における空間移動 (横転) を長期間うけてきた—極移動の概念を実証している. このダイナミックな系は地球を横切る大きな古気候の変化を容易に説明する—陸地塊を現在の相対的な位置にしたままで! Wegener (1929) の記述によれば, 図 3a には3つの相対的古赤道が描かれている—古生代以降の全球的極移動の過度に単純化した系として定義されおり, その後古地磁気学的証拠によって強化された系が図 3b (Storetvedt, 1990 & 1997) である. この単純な古気候系は実際には大陸をほぼ現在の相対的な位置に “凍結” していた. 従って, ウェゲナーの大陸移動を極移動の現象に強制することによって, 彼はごたまぜの全球的地質学に無意識に帰着した—今日まで継続している混乱の要因を持ち込んだのである.

大陸移動概念において, 南大西洋は大変大きく広がったリフトであり, 両側の縁はかつてきっちりと結合していたのである. ウェゲナーは向かい合う2つの大陸間の地質学的特徴が一致することを最も強調し, このような地質学的類似を示す証拠は大変強い印象を与えると論じている— “ちょうど私たちが新聞紙の切れ端の縁をきちんと合わせて修復して, そして文字列がなめらかに並ん

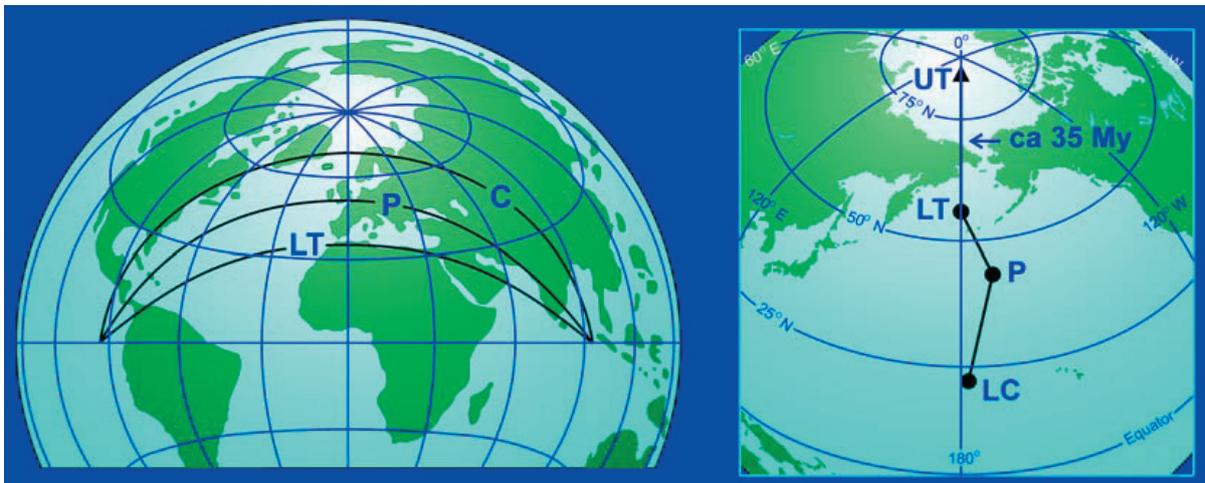


図3 3つの異なる時代について古気候に基づく古赤道 (左図): 石炭紀 (C), ペルム紀 (P) 及び前期第三紀 (LT), Wegener (1929) の記述による, 極移動に関して反証がない限り十分とされる一応の証拠としてみる事ができる. このダイナミックな系は19世紀後半にはすでに確立されていた (例えば, Kreichgauer(1902)). 地球はその空間での方位 (黄道に関連して) を, 歩調をそろえるようにして変化させた—ほぼグリニッチ子午線面における太平洋の方向への “横転” であり, この系は全球的な古地磁気極の移動パターンによって最近さらに実証された—右図 (Storetvedt, 1990 & 1997). 始新世—漸新世境界前後に地球は太陽に対する現在の方位に近いものをもった.

でいるかどうか点検するようなものである。もし彼等がそうすれば事実この方法で紙片は繋がると結論するだけである”。

このむしろ単純な記述は、彼のかなり乏しい地質学的知識を明らかに反映している。南大西洋沿岸に沿っての古い結晶質岩石についての広域的な地質調査が Alex du Toit (1927) によって行われた。du Toit は大陸移動に気が向いていたが、海洋を完全に閉じることに反対との議論を行った一向かい合う大陸間にはもともと 400-800km の間隙があったとする提案を行った (図 4): 彼によれば、観察された岩石相の違いを斟酌するとこれは必要であった。大陸がきっちり一つになることを支持するために議論されてきた地質学的類似は結局有意義ではなかったことを、このことは実際に意味していた。

1924 年にウエゲナーの著書の第 3 版の英語版がでるまでは、彼の移動仮説はドイツ語圏外では広く議論されなかった。この考えに対する相対的な反応は非常にさまざまであり、ヨーロッパにおける穏やかな支持から北米における断固とした拒絶までであった (Oreskes, 1999)。主に可能性のある推進力及び下層の特質に関する問題に討論は集中したが、これらは伝統的に論争されてきた問題である。驚いたことに、多様な現象と結合するその理論の解釈上の性質とその包容力を検証するというより緊急な問題は、その議論の中心にはなかった。そして、最も重要なことに、南極大陸からの矛盾した化石と岩石の証拠—南大西洋の両岸での地質学的対比を実際に行った努力はまったくの場違いであり—は基本的に無視された。

ウエゲナーの仮説の唯一真剣な検討は地表の大きな地形を説明するのにそれが役立つかどうかという点に関してである—アルプス時代に限られる。アーサー・ホームズのような移動支持者はテクトニクスにおいてもっともらしい推進力としてマントル対流を唱えてたが、明らかにウエゲナーと同じように願望的思考のわなに落ちた。



図 4 南大西洋の向かい合う大陸縁を一致させる試みにおいて、南アフリカの地質学者 Alexander du Toit は南西アフリカと南アメリカ東部の両沿岸地域において広範囲にわたる地質調査を実施した。ところが、観察された地質学的不調和を回避するため、最初の“開き (opening)” は少なくとも 400-800km 離れた大陸間で起きたことを提案した。この図は突然用いられており、移動を支持するなんらかの証拠を付け加えなかった; 事実、大陸は現在ある場所にこれまでも止まっていたとすることもできるのである。du Toit (1937) より。

Holmes (1945) はウエゲナーの Gondwana 集合体を支持したが、とはいっても“南極大陸に割り当てられるべき位置は必ずしもはっきり判らない”ことを彼は認めた。しかしながら、移動仮説において第一級の仮説である極環境に対しての強い反対を物語るこの大陸からの化石資料のことは述べなかった。もちろん、このような目に余るような省略は科学的な公正さの限界を超えている。

極移動と漂移の復活

1950 年代の半ばに、古地磁気学の新しい分野が、全地球的ダイナミクスの考え方を後押しした。Runcorn グループは (最初は Cambridge で、そして、1956 年以降は Newcastle で)、ブリテン島の古地磁気極の移動曲線を発表した (Creer et al., 1954; Runcorn, 1955; Irving, 1956)。現在～後期先カンブリア代にわたる岩層の連続的な古地磁気極を結ぶ経路が初めて提案された。相対的極移動経路が解明されると、黄道面にほぼ直交する歳差運動 [precession] にかかわりなく、自転軸の方向は地質時代を通じて変化しなかったのは当然と考えられた。英国の極移動曲線が、岩石に記録された古気候変化 (Kreichgauer, 1902; Köppen and Wegener, 1924; Irving, 1956) とうまく一致したという事実が、この新しい地球物理学的方法に信頼感をあたえた。古地磁気データはまばらであったが、まもなく、さまざまな大陸が別々の極移動曲線を示すことが認識され、それは、大陸がなんらかの方法で相対的に移動したことを意味した (Irving, 1956; Runcorn, 1956)。こうして、地球物理学の新しい研究分野が、長らく議論がつづいてきた表裏一体の概念—極移動と漂移—に科学的基礎を与えはじめた。図 5 は、Runcorn (1962) によるヨーロッパと北米の乖離した極移動経路を示す。

Wegener と初期の研究者たちが極移動の問題に関しては正しかった、と信ずるに足りる理由がある。しかし、



図 5 ヨーロッパと北アメリカに対して古くに想定された古地磁気極の移動経路。それらに共通する“南北方向”の極移動は、極移動のダイナミックな現象と調和的であるが、それらの経度方向の隔離はある種の大陸間運動が起きたことを示した。Runcorn (1962) にもとづく。

Wegenerによる大陸漂移に対する確実で長期にわたる反対意見があるなかで、英国の著名な古地磁気研究者が、地球自転の変化に由来する緯度による慣性効果に起因するより小規模な移動システム—大陸間で観察される古地磁氣的不一致をもたらした本当の駆動力—を考えなかったことは、理解に苦しむ。しかしながら、そのような推測に、'no time to lose' [あせり(?)]があったことは明らかである。ロンドンのBrackettグループがBritain島とインドからえられた古地磁気極を比較して、これら2つの地域の間に着しい大陸変位を認めることが好ましいと結論づけると (Clegg et al., 1956)、その後、遺棄されていたWegenerの漂移モデルに古地磁気データを関連づける一連の出版物が、急速に発展する有望な研究方向であるかのような印象をもたらした (Le Grand, 1988)。欠陥のある論拠にもとづいて、グローバルテクトニクスの革命が進行した。Wegenerの誤った大陸配置は、地殻ダイナミクスに欠陥のある架空の要素をもたらした、大陸間の古地磁気データの解釈を混迷させた。

次の短い物語は、1950年代半ばにおける英国の2つの古地磁気研究グループ (LondonとCambridge/Newcastle)の間の競争を、如実に描き出すだろう。1992年5月に、インド王立大学の代表的研究者の1人である、Memorial St. John'sの故Ernst (Ernie) Deutschと、1950年代半ばの大陸移動論争について議論する機会をえた。私は尋ねた。なぜ彼らは、はるかに小さな駆動力で済む亜大陸の現地性回転ではなく、インドの法外な北方移動を好んだのか? Ernieは、回顧してみて、次のことがわかったことを即座に認めた。すなわち、彼らが好んだ結論は、無知 (地質の一部について)、偏見、および、Newcastleグループ (1955年頃には漂移よりも極移動により傾倒して、とくにRancornが)との競争に影響されて色めがねでみていた、と。王立大学での研究に携わった研究者はすべて物理学者であり、彼らの誰もが、Wegenerとdu Toirが (漂移以前の Gondwana の構成を支持するために) 想定したインドの大規模な北方移動の議論を展開するために使った地質学的議論の浅薄な知識の外に何ももっていなかった、と氏は語った。彼らは、地質学的議論が正しいのは、当然のことと思った。氏はつづけた。いずれにしても、議論がわかっていたデカン玄武岩の古地磁気測定結果を、単にいつその混乱をもたらすであろう現地性回転に関連づけるよりは、古い考え方に結びつけたほうが安全であり、それゆえ関係した研究者たちの責任が問われることもなかった。氏の正直で思考を刺激する述懐のなかで、Ernieは、1950年代の古地磁気学は地球物理学の新しい零細な分野で、より広く議論の展開が求められていた、と説明した。岩石磁気学を革命的で長らく議論されてきた科学的仮説に結びつけるために、おそらく "New Physical Measurements Confirm Controversial Geological Theory" (議論のわかる地質学説を決着させる新しい物理測定) といった派手な見出しがつくれ、この若い研究分野をひどく悪い方向に押し上げたのだろう。

この短い物語は、科学というものが、さまざまな社会心

理や政治的要因に左右されてしまうのかを、私たちに気づかせてくれる。インドの長距離にわたる北上という古地磁気学的結論は、科学的には、たいへんこわれやすい論拠にもとづいている; にもかかわらず、それは、まもなく、次の10年間に完全に地球科学を変身させた最先端の構築物のなかでもっとも決定的な役割をはたすようになった。インドの長距離漂移は1950年代の古地磁気研究者には魅力的に思えたが、それにつづいて集積されたさまざまな証拠は、増大しつづける複雑性をこのモデルにもたらした。いっぽう、代替の造構解—後白亜紀におけるインド亜大陸の現地性回転—は、さまざまな地質学的、地球物理学的、生物地理学および古気候学的データをはるかに単純に説明することができる (Storetvedt, 1997 & 2003 参照)。次の結論が、適切であろう。

1. 古地磁気学は極移動という力学概念を立証した。しかし、
2. Wegenerの大陸漂移を批准せず、未だ特定されない何らかの大陸の可動システムが働いたことだけを認証した。

今日の新案

1960年代前半までには、リソスフェアの可動性という問題は一定の認知をえたが、その駆動メカニズムは議論すべき課題として残された。しかしながら、分散していた事実を統合した新奇な力学メカニズム—海洋底拡大—が、Dietz (1961) と Hess (1962) によって提案された。図6に模式的に描かれたこの新しい制御システムにしたがえば、海洋中央海嶺の下には、マンツルの対流セルの上昇部が存在し、上昇する熱いマグマが隆起した海嶺地形を説明すると喧伝された。新しい地殻が海嶺で形成され、玄武岩質の海底が両側へ拡大し、側方へ移動するにつれて冷却・収縮することが提案された。この仮説にしたがえば、海洋底年代は、海嶺軸から遠ざかるにつれて古くなり、地球半径が一定であると仮定すると、海洋底コンベアベルトに想定される古期端は、海溝でマンツル中へ再突入すると喧伝され、この作用は沈み込みと命名された。こうして、Dietz-Hessモデルは、漂移を説明する適切な駆動メカニズムを案出することによって、古くからの問題から解放された。1960年代中頃以降、海洋底拡大仮説は、漂移の議論に大きな影響をもたらした。

想定される沈み込み凹地が地球上に不規則に分布しているため、海洋底拡大仮説は、アフリカ/南極パラドクスのような、明らかに未解明の運動学的難問を数多くうみだし、問題はWegenerのGondwana融合にまで遡及した。Maurice Ewing (Lamont 海洋研究所) は、全世界の海洋に関する自らの地球物理学的研究にもとづいて、大陸の相対的位置は変化しなかったと主張し (Ewing and Donn, 1963)、そして、海洋中央海嶺は陸上の山脈と同じ起源をもつ相同物であると述べた。高くそびえる大陸の山脈が第三紀後期~第四紀に形成された、ということは数10年前から知られていた。そうだとすると、

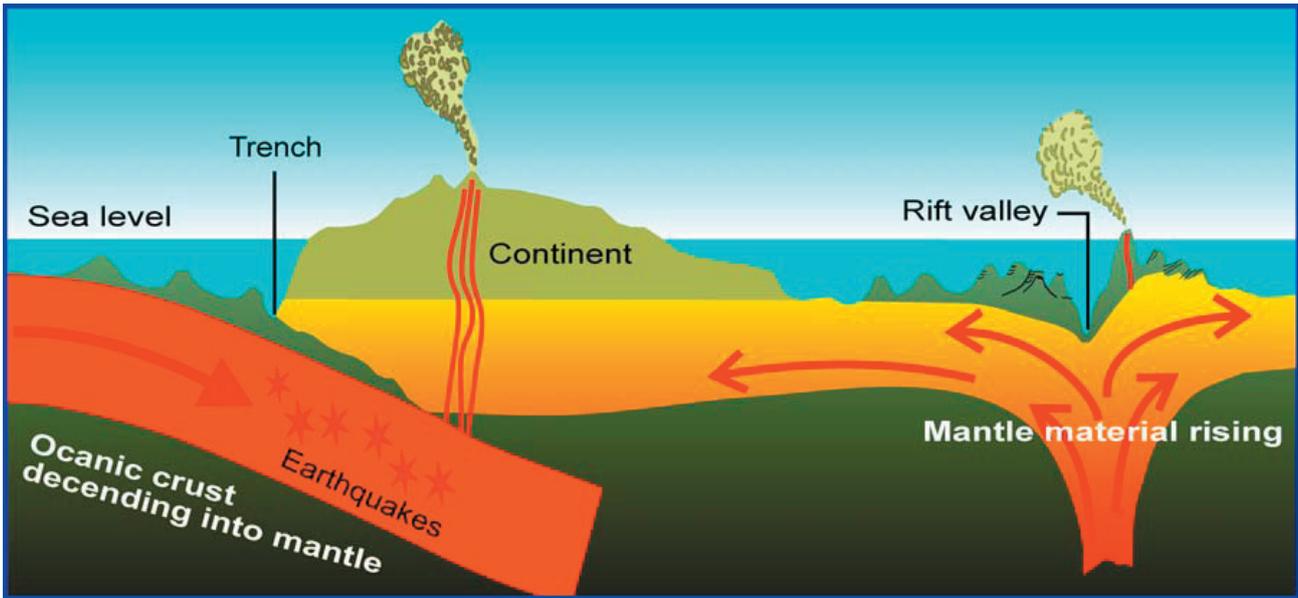


図6 海洋底拡大説の模式的表現：新しいリソスフェアが海洋中央海嶺で形成され、側方へ拡大し、海溝（沈み込み帯と呼ばれる）に沿ってマントルへ回帰する。しかしながら、その最初から、このモデルは数多くの運動学および観測的混乱—混乱は今日まで未解明である—をもって生まれた。詳細は本文参照。

Ewing/Donn の提案は、海洋底拡大に好まれるもっとも重要な議論に壊滅的打撃をあたえるであろう。いずれにしても、彼らの中央海嶺に関する提案は、大西洋およびインド洋の海嶺頂部のリフティングを説明するものであった。Ewing/Donn の観点に調和して、Andel and Bowin (1968) の研究は、大西洋中央海嶺は数 100 万年の歴史しかなく、それゆえ、比較的最近に大陸山脈を隆起させたのと同じ全地球的脈動の産物の一部であろうことを示した。海溝において、沈み込みが実際に狭い深海凹地に沿って起きているとすると、論理的帰結として、遠洋性堆積物は海洋底からはぎ取られ、これらの深海の‘溝’の陸側に構造的に集積されてきたであろう。しかし、海溝に沿う堆積くさびはほとんど存在しないことがわかり、とくに、多数のかつての海山には何が起こったのだろうか？ しばしば数 km の高さに達する海山は、表面になんらの痕跡も残さずに沈み込むことができたのであろうか？ 今日では豊富に得られる詳細な海洋底の地質観察によって、沈み込みの問題は、1960 年代に比べて、はるかに多くの困惑をかかえる事態にたちいたっている。仮定された沈み込みは、依然、確証されないままである (Carey, 1976 ; Storetvedt, 1997 ; Ollier and Pain, 2000 のレビューを参照)。科学的理由から、沈み込み仮説が数 10 年前に公式に退けられていないのは、まったくの謎である。

1960 年代前半に若い古地磁気研究者であった私は、海洋底拡大と沈み込みという新概念によって近代化した Wegener 流漂移モデルへの安易な転向者であり、典型的な me-too 科学者であった。Newcastle で開催された Runcorn の年次 NATO 会議で、新しい‘漂移’世界への反対意見を数回聞くことがあったが、批判は当時としては例外的であった。しかし、駆動力に関しては未解明の問題があった。一定半径の地球上において長期間にわたるマントル対流にかかわるエネルギーが存在するのか、あ

るいは、大陸分裂は地球内部における爆発的変化によって生じるのか、といった問題である。このような問題を検討するために、MacDonald (1964) は、まずは、大陸および海洋マントルの間の広域的相違を示す証拠をうることを提案した。

熱流量、表面重力データ、表面波から求められた速度情報、および人工衛星観測を組み合わせ、MacDonald は、「大陸の相対的 [側方] 運動は、深度数 100km までのマントルをともなっているはずであり、薄い大陸ブロックが流体マントル上を帆走することを想定するのはもはや不可能である」と推論した。いいかえると、マントル対流という考え方は、ほとんどの移動論者にとっては口先だけの漂移原因にすぎなかったが、それが問題視されるようになったのである。MacDonald の警告は無関心をもって受けとめられた、というのが妥当である。大陸の根の問題は、後に Jordan (1979) によってとりあげられ、最近のマントル地震波トモグラフィによって確証された。そして、今日も多重的問題点の 1 つになっている。

漂移モデルが直面する深刻な問題に関心がよせられることなく、1960 年代半ばは、旧来の支持者側の議論が目的意識的に再評価された時期であった。会議や古地磁気に関する論文では、大西洋沿岸の大陸の接合性という、懐古的テーマが流行した。こうして、1965 年までには、漂移への反対論は基本的に消失した。今日では、大西洋に面する大陸が中生代の分裂・漂移以前に接合していたのは、当然のこととされる。Wegener の大陸漂移に敬意を表す必要が増大し、かつては疑いの余地のない反証とみなされてきた証拠が、10 年を経ずして、意図的に積極的証拠に歪曲された (Storetvedt, 1997, 2003 & 2005) . ‘再強制シンドローム [re-enforcement syndrome]’ が強く働きつづけてきたのである。

こうして、Tuzo Wilson (1963) は、"Evidence from islands on the spreading of ocean floors" [海洋底拡大に関する島嶼からの証拠] と題した有名な論文で、次のように議論した。「対流は..... 水平運動をもたらす。これは、火山を、それらの中央海嶺上の源からゆっくり遠ざけ、火山活動は不活性になる。マグマ供給源は鉛直流の上に固定されているため、新しい火山を発生させるであろう。こうして、中央海嶺上のマグマ供給源は、しだいに古くなる1列の死火山のを形成するか、あるいは、一端が中央海嶺に位置する2列の火山列を両側に形成する。」

Wilson 論文は、科学的貢献よりも、社会政治的に、そして流行をつくりだすのに貢献した論文であることは明白である。この論文は希望的思考に満ち、それは、彼のデータ選択に影響を与える。Menerd (1986, p. 194) は自伝のなかで、Wilson の主張について議論し、次のように述懐している。「彼 [Wilson] は..... 多くの反駁すべき間違いを犯し、そして..... 私は後年、無益ながら、彼のデータの重要性に対する反駁を出版するという煩わしい仕事をせざるをえなかった。」海洋島は海洋中央海嶺の頂部で形成されるものだとする Wilson の前提に関する疑問について、Menard は「この仮定は実際には正しくない。アイスランドの例外はあるが、海嶺頂部に如何なる火山島もなく、活火山は海盆のどこかで成長しうるのである」と記述した。Wilson が、海洋底拡大陣営に属していたことは明白である。批判的読者たちには、彼の議論は腹立たしいものであり、かつ、間違っただけであった。

この地球科学的議論の過程で有名になった論文は、大西洋沿岸大陸の形状に関する Bullard et al. (1965) である。彼らのモデルが流行したのは、Euler の定理（球体上の運動をあつかう数学）の適用と、最少二乗法による最適性を推論した数学的手法（図7）にあることは明らかである。しかしながら、この研究の数学的証明は観衆に見せるための遊戯にすぎず、何が最適であるかということが気まぐれや個人的選択によっていて、確認されるべき科学的客観性が効果的に除去されている。好ましい適合性をうるために、多くの海底および大陸の '突出 protuberances' が捨棄された。そうしなければ、突出が大陸接合を妨げるからである。

Bullard 接合への反応を議論した Homer Le Grand (1988, p. 204) は、次のように記述した。「Bullard は、彼のデータを提出した。' 厨芥内、厨芥外 ' という用語がつくられはしなかったものの、彼のコンピュータ使用法に対する嫌疑が生じたであろう」と。Bullard 接合は、批判を免れえなかった。それは、基本的には、何が ' 適合 ' なのかについての予見的選択がおこなわれていた点にある。彼の大陸の再復元のなかで、重要な地殻片を歪ませ、無視したことで—そうしなければ、彼が望む適合が妨げられたであろう— Wegener が非難された。しかし、Bullard 版は、見かけ上はよりうまくまとめられているが、あまり効果的ではない。Wegener、そして今日では



図7 Bullard et al. (1965) による有名な漂移以前の大西洋大陸の接合は、専門的基準に疑問を抱えつつも、たいへん有名になった。漂移に賛成する人々は批判的意見にさらされることを嫌悪することが明瞭である。

Bullard は、カリブ海域と中米の大部分の古期結晶質地殻にどのような処置を行ったのだろうか？

彼らの再配置のなかで、Bullard グループは Rockall 海台を加えた。その根本的理由は、それがうまく適合するから、というものである。海洋を横断する Scotland-Iceland-Greenland 海嶺のような重要な構造は完全に無視されている。この構造は、北西ヨーロッパとグリーンランドの大陸棚を結んでいて、ほぼ完全に浅海性で、おそらく厚い地殻を形成していて、喧伝されている北大西洋の閉塞にとっては ' 最大級 ' の謎である。この問題は、大陸の運動に関する代替の造構系の研究におけるもっとも重要な動機づけになってきたはずである。残念ながら、誰もそのような可能性を表明してこなかった (1996年2月に Newcastle で開催された Runcorn 記念集会での K. M. Creet の私信)。誰も、すぐに次のように結論できるであろう。

Wilson (1963) および Bullard et al. (1965) の論文が、なぜそれほどまでに大きな影響力を実際にもつようになったのかは、理解しがたい。1960年代～1970年代には、これら2つの論文は地球科学の文献にもっとも頻繁に引用された。にもかかわらず、それはまさに最初から、如何なる科学的価値ももっていなかったことは明白である。

1960年代半ばまでには、古地磁気および海洋データの偏った解釈のために、そして、チャンスを追い求めよう

とするとする人間の性癖にそって急速に成長する新しい潮流から、地球科学研究者のグループの被害をうけるようになった。多くの著者が、見かけ上の注目にとらわれることなく、漂移/拡大仮説にともなう一連の運動学やその他の複雑性の覆いを取りはらった。科学哲学者 Imre Lakatos (1978, p. 4) は、'進行中の科学'の重要な事実をさらけだし、次のように述べた。「科学者たちは厚顔である。彼らは、単に事実がそれと矛盾しているという理由だけでは、学説を放棄しようとしな。彼らは通常、彼らが単なる異常と呼ぶものを説明する何らかの応急仮説を発明するか、あるいは、異常を [どうしても] 説明することができなければ、彼らはそれを無視し、彼らの関心を別の問題にふり向ける。」と。

ある考え方が科学者集団のなかにいちど足場を築くと、その考え方にかかわる根本的問題は無視されるか、まったく省みられなくなることは、全くのパラドクスである。事実、1960年代の大陸漂移とプレートテクトニクスの流行期には、この新原理への批判は固陋で反動的とみなされた。こうして、他者の背後につづいて推測をつづけるだけの路線が立派に整備され、それは今日に至っている。かくして、an everything-goes-and-nobody-knows philosophy [あらゆるものが進み、誰も理解していない哲学] が、地球科学界に巣食っているのである。

背後に潜む問題

Mason(1958), Raff and Mason(1961)らによって発見された、北東太平洋地域における500テスラを超えるような直線的な磁気異常帯の正負の繰り返しが存在することは、その起源に関するさまざまな推論を生んだ。発見された縞状のパターンは、主要な断層帯によって変位し、断層帯そのものも南北方向の直線的な磁気異常帯を変位させるせん断帯として認められる。磁気異常帯の源は、堆積物の下に隠されている物質だと考えられた。さまざまな地質学的可能性が提案された。Mason(1958)は、この南北性の異常帯の広がりには、太平洋の海底に対して北米大陸が相対的に西に向かって移動するセンスを与えているサンアンドレス断層の右横ずれの運動センスが関係していると示唆した。このようなMasonの考えは、多くの異常帯が示す曲がりを説明するとされた。

1960年ごろの海洋底に関する情報は、磁性を帯びる物質について正確に評価するには極めて不十分な状況にあったが、その不確かさを度外視してVine and Matthews(1963)は、海洋底の拡大を容認する定性的な仮説を新たに提起した。仮にこの考えをあてはめると、観察されている磁気異常帯パターンは、地磁気反転現象が原因ということになる。放射年代測定とともに進められた若い火山岩についての古地磁気方位の研究によって、過去数百万年間の、古地磁気反転をもとにしたタイムスケールがすでに完成していた。Vine and Wilson(1965), Vine(1966)らは、この磁気異常が一種のテープレコーダーのような役割を果たしていることを示唆した。その後、拡大説に基づいた海洋底地

殻ブロックの正負の地磁気異常について、おびただし数論説が爆発的に出版された(たとえば, Pitman et al., 1968; Dickinson et al., 1968; Le Pichon and Heiltzler, 1968; Heiltzler et al., 1968). その結果、拡大説では「海嶺軸部で新しくつくられる海洋底が冷却される際、その時の地磁気の方位で熱残留磁化が獲得される。その後、軸部が拡大により広がる。地磁気の極性が変化すると軸部で新たに付加された物質はその直前に形成されたブロックとは逆の方位を獲得することになる」と説明されるようになった。

拡大説と磁気逆転説とのリンクは、地殻の発展に関する考え方にこの上ない高揚をもたらした。海洋域に広がる海嶺システムでは、その軸部がそれを横断する断層によって変位している。Tuzo Wilson(1965)はそのことに注目した。彼は、海嶺を変位させている断層は通常の横ずれ断層とは異なる断層だとし、それをトランスフォーム断層と命名した。リッジ間の変位が、古い横ずれ断層によるものだとすると、現在のトランスフォーム断層による相対的な動きは、それを挟んで互いに逆向きである。一般的なトランスフォームモデルによれば、断層によって分断されている地殻は、リッジ部分で新しい地殻が生まれている間は一定の動きを保っているとされる。

Sykes(1967, 1968)の、海洋地域における断層帯形成のメカニズムについての研究によれば、トランスフォーム断層の変位センスは少なくとも大西洋赤道域ではTuzo Wilsonの提起したとおりでである。しかし、Wilsonモデ

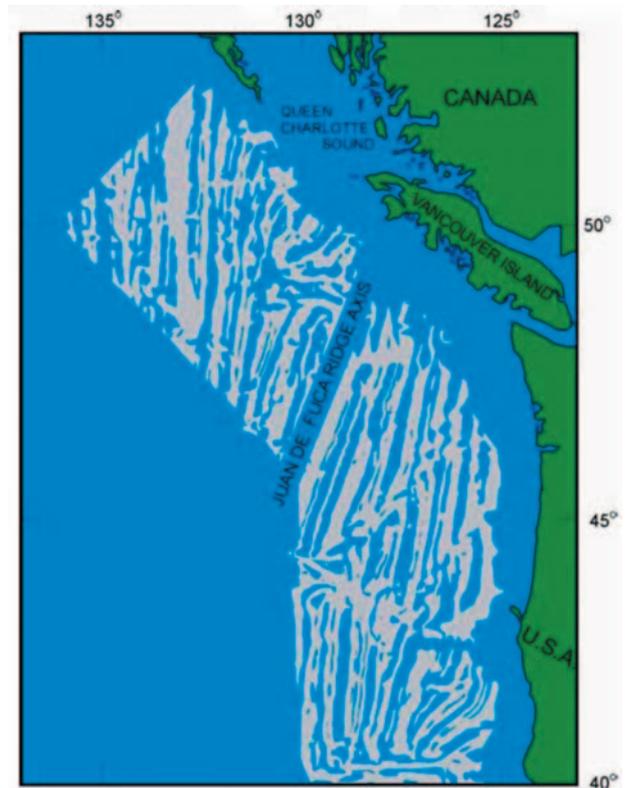


図8 有名な、北米沖の地磁気異常を示す図。白が正、青が負の異常を示している。太平洋北東部では、この異常帯が強い造構的影響を受けて曲がったり盛り上がりたりしていることが注目される。Raff and Mason(1961)による。

ルに基づけばトランスフォーム断層による変位がないはずの地域でも、そのような断層が存在することがあり、Sykes は明確な絵を描けてはいない。実際の観察結果は、トランスフォーム断層説とは一致しないのである。しかし、そのような不一致は「トランスフォーム断層に関する調査・研究が緒に就いたばかりだから」と説明された。地震テクトニクスの不確かさに加えて、リッジに沿って走り、中央海嶺に直交するパターンをもたらししている断裂帯が存在する。仮説としてのトランスフォーム断層は、間違いなくこのようなリッジに平行に走る断裂群と一体のものである。しかし、Tuzo Wilsonはこのことを無視している。従ってトランスフォーム断層の考えというものは、まるでひびだらけの壊れやすいグラウンドのようなものである。実際、地表に露出する岩石中には、大小さまざまなスケールで2系統の断裂群が存在することが長年にわたり確認されてきた。それらの断裂系の多くは、高角度で互いに直交している。互いに直交する断裂系は、大陸地域のどこにでも認められるばかりでなく、アイスランド島で認められるように海洋地域においても同様に広く確認される。最近の海底探査では、断裂による変位がないとされていた中央海嶺でも、多数の小スケールな、海嶺軸に直交する不連続が存在することが明らかにされている(たとえば、Sempere et al., 1990 & 1993; Purdy et al., 1990 など)。

Mason(1958)は、北東太平洋における地磁気の縞状構造は大規模なテクトニックプロセスの結果であることをほめかしている。それらの考えに符合することであるが、大西洋中央海嶺から、しばしばドレッジによって変成岩が採取される。これは、海洋地殻が実は造構的にはある種の変成岩テレーンであることを示すことの一環である。たとえば海嶺の中央谷の一部における研究でも、彼らは「多くのサンプルが示す片理構造は、変成作用の過程における相当程度のせん断の結果を示唆している」と述べている(Van Andel and Bowin, 1968)。Ewing & Donn (1963)が示唆しているように、仮にアルプス造山期に薄い大西洋地殻がせん断変形の状態に置かれ、また最近になって中央海嶺部分が上昇したと考えると、Tuzo & Wilson / Sykesの言う変位センスは、Storetvedt(1997 & 2003)の述べたのと同じである。言葉を換えて言えば、トランスフォーム断層説は、神からの贈り物などではなく、仮説そのものだけということである。観察される地震テクトニクスのなさまざまな特徴は、他の解釈によって説明可能なのである。数年間にわたり、各地の海洋地殻の磁気異常についての真偽のはっきりしないレポートが繰り返し報告された。

海洋底拡大、サブダクション、トランスフォーム断層などなどの地球物理学的な新概念が、それに調和しない多くの事実があるにもかかわらず、それらを見捨て地球科学界はもちろん、それを超えて一般の社会の中まで野火のように広がっていった。1967～1968年ごろには、ウェゲナーの大陸漂移説の新バージョンとしてプレートテクトニクス説が生まれ、主要な地球科学センターでは「大陸漂移」は疑う余地のない「聖典」の域にまで達し

たのである。このような状況下では、プレートテクトニクス研究者らは、その説をうまく説明するための確からしい証拠を提供したり、プレート論と観察事実とをうまく合致させるための偏見に満ちた説明を何とか考えつぐために強いプレッシャーをうけることになった。はっきりしないことだが、プレートテクトニクスは、あまりにも瞬間にポピュラーになりすぎたために、それに関する基本的な問題がカーペットの下に押し隠されてしまっているのである。

検証試験の失敗

海洋底の進化過程を推し量るための、拡大/地磁気アイソクロン法の確立ののち、多くの研究が実施された。海洋底での地磁気測定法は、一連の未確立な仮定に基づいていたため、海底基盤の地磁氣的性質やその年代にかんする、よりしっかりした情報が必要とされた。この目的の下で、1968年には新たにDSDPが計画された。この計画の主な目的は、海洋で玄武岩基盤の深度まで掘削し、その上に重なる堆積物を採取することにあつた。Leg. 3の各サイトで得られた結果は、磁気異常に基づいて海洋底の年代を決定できるデータであるとして、プレート論者たちから歓喜の声で迎えられた(Maxwell et al., 1970)。リッジからの距離と各地点の岩石年代の関係を示す公表されたグラフ(図9b)は、地球科学の世界に、あたかもハレルヤ的な興奮を巻き起こすきっかけとなった。それは、まもなく、多くの論文や教科書の中で突出して取り上げられるものとなった。

広範に読まれているMartin Dottの教科書「The Interior of the Earth(1982 2nd Ed)」はこのLeg. 3のデータについて次のように述べている。「このデータは重要なものである。これは、Vine-Matthews仮説の予見や海洋底拡大説を科学的に裏付ける初めてのものである。さらに言うなら、Heirtzlerらの地磁気タイムスケールの正しさと、80Myの間では5Myの精度でそれを用いることができることを明らかにした。」

ところがこの称賛は、Leg 3のInitial Reportとは多くの点で矛盾しているところがある。海洋底拡大説によれば、拡大が安定状態にある場合には、地殻の規則的な沈下に応じて深度が増すに従って(少なくとも炭酸塩補償深度で浅のところでは)、堆積物の厚さも規則的に増加するとされる。しかしこのことは、実際の観測データとは矛盾している。たとえば、Rio Grande RiseのSite 21では、中新世やそれよりも若い堆積物が、それ以前の中新世の堆積物よりもかなり浅いところで堆積したことが明らかにされている。南大西洋におけるLeg 3のSite 14～21の横断ルートでは、中期中新世に堆積の中断が起きたことが明らかである。南大西洋地域でのsite reportを注意深く検討した我々には、すでに広く受け入れられている海洋底拡大モデルを支持する具体的事実を手に入れたいとす欲望は、それらの事実とともに彼らを屈辱的な妥協へと導くことになったと推測される。拡大モデルによって予見されていた海底基盤年代に問題が

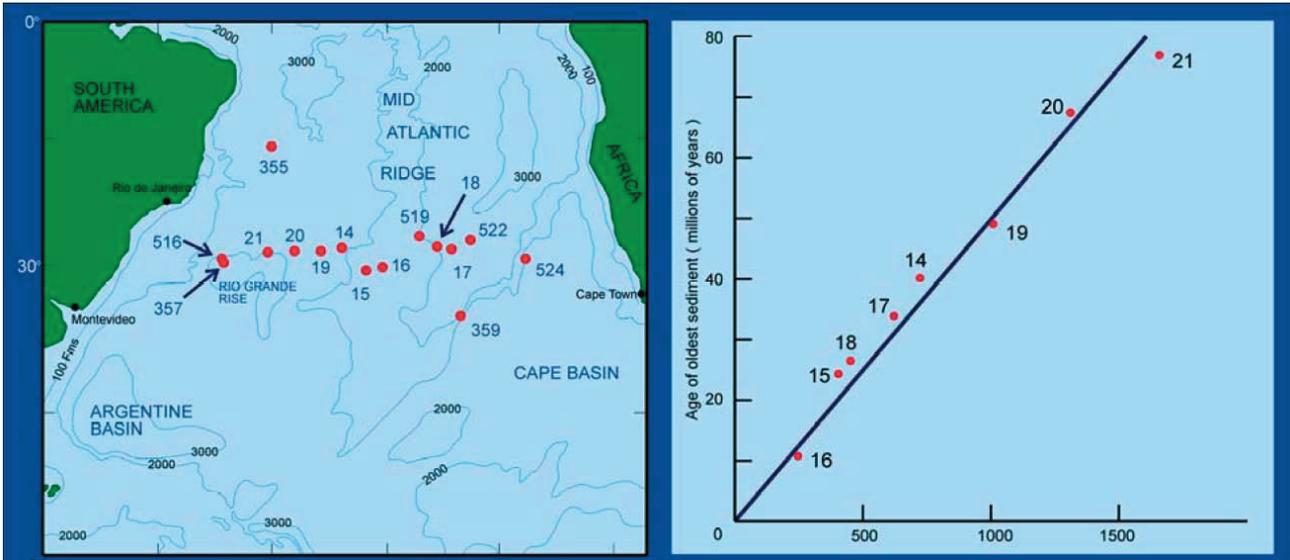


図9 (左) 南大西洋を横断する DSDP の Leg 3 の掘削 Site39, 72, 73 を示す図. この掘削は, Heitzler et al. (1968) による地磁気異常と年代のデータに基づいて, 海洋底拡大の動きをより確かなものにする目的で実施された. (右) Leg 3 の最初の掘削結果に基づいて示された, 有名な年代-距離図. 厳密な再計算によれば, この値は拡大モデルですでに確立されたと言われている値よりも大きなものであり, 決して彼らがリラックスできるようなものではない (Storetvedt, 1997&2003).

あるばかりでなく, 海洋地殻の垂直方向の回転 (これはプレートテクトニクス説では全く説明されていないことだが) もまた主要な要素である.

1977年, ハーバード大学の John Haller 教授は Bergen 大学での招待講演で, Leg 3 に関するいくつかの報告を, 科学界におけるはなはだしく不誠実な事例として取り上げた. 現代の科学の世界における倫理的な問題に関する彼の大胆な暴露は, Bergen 大学の地質学関係者に大きなショックを与えることとなった (それは, 現在ではプレートテクトニクスの世界全体にも及んでいるが). この時点で, 私はすでに私のところの地球物理学専攻の学生たちに, Leg 3 データの問題点についての情報を与えていたが.

Leg 3 参加の科学者たちによる, プレートテクトニクス説にとってはバラ色の報告にもかかわらず, DSDP に関わっている人たちにとっては結局のところ状況はそれほどハッピーなものではなかった. 南大西洋横断ルートに沿って Leg 39, 72, 73 の間で実施された掘削の結果は公表されないままであった. 私の著作 (Storetvedt, 1977&2003) の中で, 私は南大西洋横断ルートでの公表された掘削データについて詳細に議論し, 次のような結論に達した.

1. Maxwell (1970) によって注目された海底基盤の年代と, リッジからの距離の間の相関関係は, 厳密に再計算すると成立しない.
2. 南大西洋横断ルートでのデータは, 海洋規模の地殻上昇とそれともなう約 15, 45, 65 そして 90Ma ごろの地磁気的な活動に調和的である. 各ステージの地殻の上昇は, 沈降のステージに引き続いて生じている. これらの海洋地殻の脈動は, 広く認められている海水準の変動に関与している.

3. 海域の磁気縞状構造は事実である. また, 地磁気極性の逆転も事実である. しかし, Vine-Matthews 仮説のように, この二つの事実を結びつけることは地球科学を誤った方向に導く.

南大西洋での掘削結果に問題を抱えながらも, その後も海洋底成立の謎を解くための試みは続けられた. 大西洋中央部での Leg 37, 45, 82 では, 深度 600m 以上の深さから得られた玄武岩に対して, より包括的なテストが試みられた. 拡大説によれば, 中央海嶺に沿う地殻は最近の数百万年間で形成されたとされる. その考えに基づけば, リッジ軸部で得られた玄武岩の古地磁気に関する伏角は, 現在の地球磁場における緯度に依存した値となる. 北方のサイトである Leg 37 で得られた玄武岩の伏角は約 55°, 南方のサイトである Leg 45 でのそれは約 40° であった. 仮にそれらの伏角の値が確かなものであれば, その値は, 拡大説にとっては説の正しさを実証するうえではまたとない証拠となる. ところが, DSDP サイトのモデル的なフィールドで測定された伏角値は, 驚くほど矛盾したものであった (Storetvedt, 1997 & 2003 を参照). ほんの少しの例外を除く多くの層準では, モデル的古地磁気場よりも浅い伏角値で特徴づけられている. 大西洋中央海嶺における小さな伏角値は, 軸を中心とするテクトニックな回転では説明不可能であり, 上部地殻の層状構造は本来的にはほぼ水平なものであったと考えられる (van Andel and Bowin, 1968). しかし, 拡大モデルを採用せず, それに代わって大陸地殻の塩基性化や薄化 (海洋地殻化をふくむ), 地軸の移動などという考えに立って海域の古地磁気データを見ると, 古地磁気における伏角という問題は極めて明白な結論にいきつく. 図 10a は, Kreichgaur-Wagner が描いた第三紀前期の赤道の位置であり (Storetvedt, 1990&1997), さらに, 最近の古地磁気データによって補強されている. ジュラ紀から第三紀始新世 - 漸新世境界期 (約 37Ma ごろ) にかけては, 大

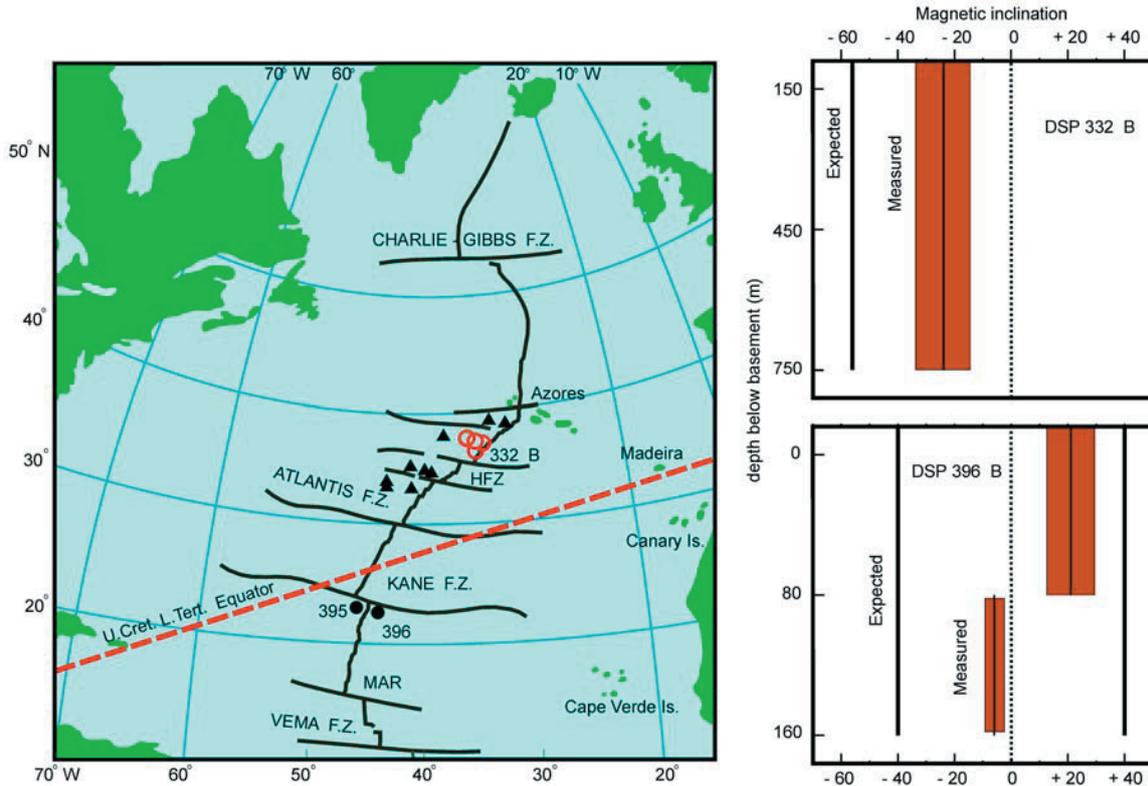


図 10 左の図は、すでに確立されたとされる海洋底拡大モデルを検証するため、大西洋中央海嶺沿いで実施された主な掘削地点を示す。その結果によれば、得られた古地磁気の伏角の値は、Vine-Matthews 仮説によって予想されていたそれよりも浅いものであった (右の図)。むしろそれらの値は、大西洋における第三紀前期の古赤道 (左の図の赤い破線: 図 3 参照) の位置に調和的である (Storetvedt, 1997)。

西洋のこの地域は、低緯度域にあった。比較的長期にわたるこの期間、赤道はイベリアからサハラ中部との間を移動していた (Storetvedt, 1997)。古地磁気学のフレームの中では、小さな伏角を示す古地磁気は、低緯度であったことを意味し、伏角が北に向かって大きくなることは古赤道から次第に離れた位置にあることを示している。ことばを変えて言うと、拡大モデルの考えに立って見た場合、伏角が小さいというのは問題なのである。さらに加えると、掘削した玄武岩が層構造を持っていることは、その玄武岩の年代がモデルの予想よりも十分すぎるほど古いということである。このことは、上部中生界の火山岩の総量からみて、大西洋中央部では、地球の歴史の初期からアイススタティックな沈降や海洋の深海化が起きていたことを明確に示している。古くて多様な種類の大陸性岩石が大西洋地域から得られるという事実 (Yano et al., 2009) に基づけば、玄武岩の下の地殻というものは、おそらくは薄化した古い大陸地殻であろう。

大西洋中央部でたまたま得られた浅い伏角を示す岩石の問題は、Leg 37 データの中の偶然の産物ではない。予期せぬ発見は、拡大モデルの基本的な要素のすべての部分で報告されている (Aumento et al., 1977)。Hall and Rolinson (1979) は、掘削データのレビューを行った中で、観察された地殻の表層部 500m の部分は実に複雑だということを強調している。たとえば、彼は次のように述べている。垂直方向でのマグマ性物質の重なりの中に、sheeted dike のようなものはないし、磁化方位の異なるものの重なりもない。地磁気異常の原因となる物質も存

在しない。玄武岩層にはさまれる深成岩がみられ、水平方向に岩相が完璧に異なっていたり、層序が異なっていたりすることがある。高温による岩石の変質が認められないのは、拡大説における拡大軸付近での熱流量モデルと符合しない。逆に岩石の変質は低温タイプのものばかりで、熱流量値は拡大モデルで期待されるレベル以下である、等々さまざまである。

まとめ：大西洋中央部における深海掘削データは、地殻の構造、地殻の地球物理的な特徴、そのいずれも海洋底拡大説に依拠して期待されるものとは明らかに異なっている。

1978 年、Strasburg で開催された European Geophysical Society の集まりで、私は一人の高名な海洋物理学者—彼は、海洋底拡大モデルの確実性を主張する一人としてはその当時すでに確固たる評価のある人物であった—と出合った。われわれはいつものように、科学的に興味ある事柄について議論し、当時進めていた海洋物理学的なプロジェクトについて話していた。ところが、話が DSDP の Leg 37 の結果に進み、拡大モデルに符合しない事実のリストについて私の同僚が説明を始めたところ、彼は次第に寡黙になり、ついにはまったくしゃべらなくなった。彼のそばに立っていた男、おそらく彼と同郷であろうその男は、彼がバツの悪い状況に置かれているのを感じていたのであろうが、突然私の同僚の方を向き、わたしの同僚の首に手を巻きつけて叫んだのである。「すみません。John さん、あなたの友人たちから離れて、ちょっと別のところで話しませんか」。彼は私の同僚をロビー

の隅の方へ連れて行ってしまった。われわれは偶然にも、科学的救出劇を目のあたりにすることになった。

衰退する熱狂

1960年代の大部分、私はベルゲンで古磁気研究を確立することで忙しかった。漂移関連の新しいグローバルテクトニクスの最も有望なバージョンは、教授する目的のためだけの興味に過ぎなかった。けれども1969年に、私の博士論文の準備段階で、私は海底磁極の線状構造の話題を私の試行試行的講義のひとつにすることを決めた。これによって私は、この主題に関して発表されたほとんどすべての論文を批判的に読むことができた。このとき初めて、私は海底地球物理学的な論文を批判的な態度で読んだ。私が見いだしたことは意義深かった；すなわち、観察をVine-Matthewsモデルに適合させるために、一連の正当と認められない場当たりの修正をするための変動パラメーターが用いられていた。たとえば、対称性が全般的に欠損している異常な画像に対処するために、海嶺のジャンプという手法が、都合の良い苦肉の策として常にもちだされていた。Vine-Matthewsモデルはもはや科学的な仮説ではなく、実験による完全な欠陥があるにしても、モデルはすでに小修道院の事実に変えられていた。1969年11月に行った私の試行的講義の終わりに、私は、大洋底拡大の一般に普及している概念にはいくつかの基本的間違いがあると結論した。

Watkins (1968) および Watkins and Richardson (1968) は、すでに、多様な磁極と地質学的事実にもとづいて海底磁極異常の代替モデルが生まれるかもしれないと警告していた。この著者は、地形起伏がそれらの研究地域(中央大西洋海嶺の上)にとって理論的モデルの編集物における重要な役割を果たしたことを指摘した。van Andel and Bowin (1968)の海底地質断面図を用いれば、採泥された資料の岩石磁極特性と関連させることで、それらは「地形起伏は広域的な理論モデルの編集物において重要な役割を果たし、したがって一連の単純で平らな地殻ブロックが広域的磁極断面の原因である可能性が高くないと強調できる」と結論した。換言すれば、地質学と海底地形を基にしたWatkins and RichardsonはVine-Matthewsモデルを問題にした。彼らの代替の構造は、確立された海底地球物理学的な仕事におけるかなり批判的でない慣習に対して警告の役を果たすのに十分よく制限されていた。すなわち、仮説的な地磁気の極性変化を広域的な磁場観測に強制的に一致させることについてのそれである。

もうひとつの重大な警告が、北東太平洋の地磁気測定からもたらされた(Luyendyk et al., 1968)。著者らは海面表面と海底近く深部の両方において、同時に磁場横断面を作成した。それらの断面のひとつからの結果を図11に示す。海底近くでの測定の広域変化と海底地形の間にかかなり明確な一致がある。位置の理論にしたがって、より短い波長はどちらかと言うと滑らかな表面断面を呼び起こし、上方にフィルターされたようになる。し

かし、両方の測定レベルにおいて、磁気異常は全調査地域の上の同じ方向において線状に分布することが判明した。ナロービーム音響調査では縞状地形が磁気の線状構造に平行して走っていることを示した。ある程度の範囲でLuyendyk et al. のデータは、線状の磁気配列構造がダイナモテクトニクスに原因しているという、Mason (1958)のオリジナルなテクトニクスの説明と関連することが示される。磁気異常と完全に実証されないVine-Matthewsの仮説を関連づける代わりに、海底からの実際の情報を解釈する方がずっとより安全であったろう。実際、Luyendyk et al. (1968)は、一般的な海嶺に平行する断層系に沿って走る構造的くさびの地磁気的感受性の変化に密接に関連している、としている。この説明では、異常は周囲の地磁気場によって誘発された磁気の変化を反映するだろう。すなわち、磁気的感受性との実際の対比は、地殻におけるひずみによる磁性鉱物学的変質に起因しているように印象づけられる。変質/酸化状態の異なる岩石の交互配列は、周囲の磁場によって変わりやすく分極化されていて、それは海嶺に平行したテクトニクスの縞模様を表現しているのだろう。このように考えていくと、線状の海底磁気異常は地磁気場の両極性の変化とは関係を持たないことになるだろう。

次の時代には、対称と主張されていたことが多くに対していっそう悪夢のようなままでいたに違いない。すでに1970年代初期に、たとえばPitman and Talwani (1972)は中央大西洋で、「異常は、理論的なモデルとある間隔を密に調べた断面とを対比することは、一般にすべて非常に困難である。」ことを認めた。けれども多くの普及した教科書とアニメ映画では、海底磁気の線状構造は海嶺軸について「完全に」対称であると描写され続けた。そして、Reykjanes海嶺はしばしばこのような双方対称の典型例であると述べられた。しかし、Agocs et al. (1992)はこの論争をテストし始めて、Baron et al. (1965)とTalwani et al. (1971)の磁気の横断面に基づいてReykjanes海嶺異常に重要な一見を与えた。再び、それらは地形と最も良い対応関係があることが明らかになった。

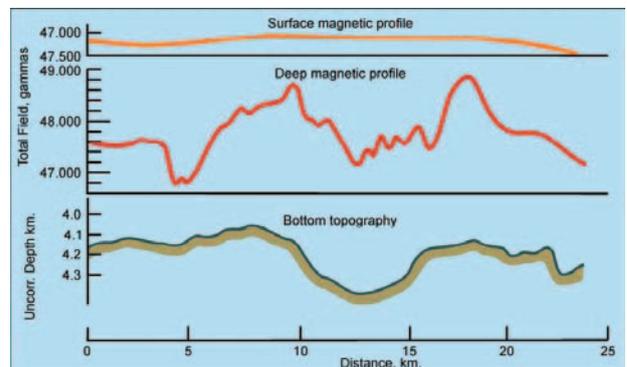


図11 北東太平洋の磁気測定調査では海面表面と海底近くの深海での同時の磁場横断変化が示される。深い磁極断面の場の振幅と海底地形の間に密接な対応関係が注目される。これは、磁極異常がVine and Matthews (1963)によって提案されていたように地磁気極性の基礎ではなく、構造-鉱物学的な起源を持つことを示している。

大洋底拡大とそれに付随する Vine-Matthews モデルは事実を制限して触れることができない状態で作用し、1960年代以降、線状の海底磁気異常の解釈を取り巻く複雑な問題群は決して明確にされてこなかった—このような試みは何十年も前に実際に断念されていたにもかかわらず。次第に私は、プレートテクトニクスのすべての局面で、同じような未解決の状況が、さらにまだそれが適用されていることを悟った。私にとって、Arthur and Howard Meyerhoff (1972 & 1974) と Sam Carey の 1976 年の本 - Expanding Earth - による広範囲で重要な論文が貴重な情報源となった。

漂移が直面する基本的問題の流れにもかかわらず、Tuzo Wilson (1966) は、大西洋が閉塞し再び開口した歴史をもつであろう述べた彼の論文によって、大陸地塊の複雑な運動と法外な受容を地質学界に準備させることにおいて重要な役割を果たした。1970年代初期にいわゆる「ウィルソンサイクル」は新しい普及したフレーズになっていた。そして多重の紛らわしい、そして相互に矛盾する中生代の古地理とテクトニクスの提案が成長し始めた（たとえば、Hallam, 1979 を参照）。グローバルテクトニクスにおける現代の特異な「渦巻き」を理解することは不可能である—なぜなら「プレートとプレート境界が増殖するにつれて、小さなプレートは理由なくして現われては消え、プレート移動の仮定されるセットは実現不可能である (van Andel, 1985)」からである。また、Forese Carlo Wezel 教授は次のように示した—「アプローチの急進的な変化が、今日の地質学の特徴を示している分裂を克服するために必要である」(Wezel, 1990)。ますます断片的になる地質学は、私に E. F. Schumacher の有名な言葉「率直さと単純さを取り戻すことは、より多くの精巧さと複雑さの方向に進歩することよりむしろいっそう困難である」を思い出させる。

グローバルな古磁気の証拠によれば、研究においてある種の運動テクトニクスのシステムがなければならないが、横方向以外にどんな物理的な原則があるか？ 私にとって、ある前進が 1972-73 年にリバプール大学で休職している間に来た。私はその時、北スコットランドの大規模断層の古典的事例（たとえば、e.g. Kennedy 1946; Garson and Plant 1972; Winchester 1973）であるグレートグレン断層 (GGF) に隣接している古磁気データを研究し、私がすでに発見していた断層両側での古磁気偏差の相違を説明しようとしていた。グレートグレン断層に沿った重要な横断流の動きに関しては、その曲がった性質がスコットランドの北と南の高地地方の間の相対的なテクトニクスの回転 (Storetvedt, 1974) を必ず暗示した。私にとって、少なくとも北大西洋域について個別の極方位の迷動の相違を理解することが本当の前進であった。ヨーロッパと北米の分岐した極移動曲線を説明するために、2つの大陸塊の横方への閉鎖を願うことはもう必要ではなくなった。すなわち、2つの大陸地塊は本来の場所で唯一相対的に時計回りの回転をして、北大西洋が南向きの扇形に展開することを引き起こすことができれば、これは間に入っている海がすでにひずみ変形

を受けていたことを意味し—そしてそれは海底磁気異常の構造 - 磁気の説明 (Vine-Matthews model モデルに代わる選択肢) に実体を与えることになる。このような見方と一致して、Jean Roy と Ottawa は論文を出版した。すなわち、北大西洋大陸の古緯度を基にした古磁気と比較して (Roy, 1972)、北米がすでにヨーロッパと比較して 20° の規模に達する南向きに緯度移動を経験していたと結論した。

グレートグレン断層研究からの私の経験と、Roy の論文からの重要なメッセージと、大洋からの意外な地質学のおよび地球物理学的な結果の絶え間ない流れによって、私の見たところでは、完全にそれを理解しないで、新しい地球テクトニクスのシステム—後に地球回転の周期的な変化によって起こされたねじれあるいは惑星岩石圏のレンチ効果から、Global Wrench Tectonics と呼ばれるものの萌芽期の段階にあった。大規模テクトニクスに関する 1970 年代前半の私の考えは、北大西洋に限定されていた。ことはゆっくりと発展していき、そして私は、1989 年の春までには、地球の新しい理論の最初のバージョン— Global Wrench Tectonics —をうみだした。

1975 年ごろに「ニューグローバルテクトニクス」は、ノルウェーの地質学界でも流行した；それは突然、基礎的な大学教科書から切り抜かれたスクラップのプレートテクトニクスの包含物の上につづいて、同僚が、まるで彼らはすべて新しい考えとともに生まれて育ってきたかのように、彼らの科学的な表現の形式を変えた。

1970 年代には、海嶺に沿った一般に低い熱流量についてのたくさんの懸念があった。海嶺軸に沿って仮定された熱いマグマ対流の湧昇にしたがえば、それらの中央海洋山脈に沿った熱流量は海洋盆のそれよりも平均値に高いことが予想される。

地殻が海嶺軸の両側へ拡大するにつれて、それは冷えて縮んで—そしてより低い地形のレベルへ沈下するということが当然の事と思われていた。しかし、まもなく、測定される熱流量のパターンはモデルの予想と一致しないことが明確になった。そしてそれは、たとえば中央大西洋の熱流量図で描写された (Rona, 1979)。海嶺頂上に沿って熱流量の規模においてひとつの大きな点在がある—それは海洋盆の平均 (ca. 1.3 HFU) に非常に近いきれいに整えられた中央値と理論的なモデルによって予測された値 (ca. 6.5 HFU) を下まわる多くのものである。Lister (1980) によれば、海嶺頂上における熱的極小値は中軸谷の平らな床面に特に出現する—そこは熱流が極大であると予想された場所である。

ものごとを連続しているようにしておくために、熱流量の問題も場当たりの弁解を促進した—時々皮肉な気味を含んで (図 12)。もし大洋底拡大が実際に鉄屑だめを目指して進んでいたなら、マントル対流の概念も同じく不運であろう。

新たな結びつきによる研究

Sam Carey (Carey, 1976) の The Expanding Earth において、彼は地球を含めた全宇宙が拡張性の力をもっているという古い考えを繰り返した。Carey にとっての焦点は、南極大陸 / アフリカのパラドックスとサブダクション過程とされる周辺の矛盾する運動学の謎を含めて、従来の大陸漂移が直面している多くの矛盾を取り除くはずだった。さらに、膨張では明らかに深い大陸の根源の問題 (MacDonald, 1964) について逃げていて、そして地球の回転が遅くなってきたという証拠 (Munk and MacDonald, 1960) を支持している。他方、Carey は磁極のアイソクロンシステムを示唆する仮定された大洋底拡大を受入れた—すなわちこれらの概念が直面する問題を無視した。

もし地球が膨張過程にあり、そして大陸が同じ大きさのまままでいたなら、新たに加えられた地殻は、多分海嶺に並行で垂直なシート状の貫入岩体から構成される中央大洋海嶺に沿って見つかるだろう。しかし深海掘削ではそのような貫入の中の貫入という複合岩体を発見していなか、発見できていない。地球膨張は仮定されたサブダクションの古典的な複雑さを説明することができる。なぜならば、このような過程は存在しないが、示唆された大洋底拡大と同様に膨張に関連した問題の長いシリーズが質問するために公開されたままであった。どんなテクトニックな過程が中央大洋海嶺に沿って起こっていたとしても、これらの地域において大陸起源を実際に示す古い岩石のコレクションが増大している。さらに、膨張仮説は地殻の厚さの大きな可変性について説明していない。それらは比較的滑らかな長い範囲の厚さ変動の場合を含み、大陸の内部から最も深い海洋盆まで広がっている。Carey の地球膨張説では、膨張は前期 - 中期中生代の間に起こったが、より以前の地質時代の地球に何が起こっていたのか？ なぜグローバルな過程はテクトニック帯で起こり、それらは地球を横切ってその位置を変えるのか？ そして経度に依存した気候帯が変化したことも忘れてはならない。北の大陸と南極大陸が熱帯 - 亜熱帯性の状態にあった間に、古生代の間「中央」アフリカが極地の気候を経験していたことが 10 年前から知られていた。それで Carey はこのような証拠をどのように無視することができたか。すなわち、なぜなら彼の膨張にとって極の迷動のダイナミックな現象は問題であった。いずれにしても、地球膨張は、それをグローバルな地質学理論と呼ぶためには、あまりにも多くの灰色の要素をもっている。

現在のものに比べて、化石サンゴにはより多くの成長線があることにもとづく外挿計算から、中期デボン紀のサンゴは 1 年でおおよそ 400 日の成長線を持つと見積もられ (Wells, 1963)、過去 3 億 5000 万年の間に惑星の自転速度が全体的に遅くなったことを示唆する。しかし、Creer (1975) は利用可能な化石時計データを編集して、定常的に自転が遅くなる地球からの顕著に逸脱した例を見いだした。彼の編集物は地球が実際に全体的に遅くなってがたがたと動いたことを示し、加速する期間から



図 12 中央大洋海嶺に沿った活発な火山活動がほとんどないこと、全体的に低い熱流量は大洋底拡大の概念にとって解決できない持続的な問題であった。その精神を維持するために、空想の折りと楽しませる表現がときどき見られた。

減速する期間が分かれ、はっきりした中断を見せている。これらの変換点は、「日の長さ」 / 時間グラフのジグザグパターンを定義し、それらはテクトニクスの大変動の時代 (たとえば Taconic, Acadian とアルプス変動) に対応した。このような証拠は膨張主義者とプレートテクトニクス論者の両方を混乱させる情報となった。Creer の「日の長さ」のコンパイルは、実際にテクトニクスと惑星の自転変化の間に密接な関係があることを肯定した最初の地球物理学的な証拠を提出した。その考えは元来 Kreichgauer (1902) によって提案されたものだが、その当時は気づかれず、認められていなかった可能性がある。

おおよそ 1980 年までは、グローバル地質学と地球物理学の私の理解はまだどちらかと言うと断片的であった。しかし哲学と科学史に対する私の増大する興味のおかげで、私は Carey の膨張モデルが、プレートテクトニクスがそうしたのと同じ病気の多くで苦しんだことを悟った。両方のモデルが、それらの推定に適していなかった事実を無視することに加えて、あまりにも多くの場当たりの命題を持っていた。私は、膨張は有意義なグローバル理論ではない、と否定した。しかし、プレートテクトニクスは実質的にもっと良くなかったが、よるめいている私の学術的な「仲間」として、まだ私の後に従っていた。しかし、私のプレートテクトニクスについての高まる批判は、Bergen の地球科学学界である騒ぎをもたらした。学生たちは私が彼らに与えることができたという詳細な情報、すなわち多くの教科書の中に見つけられる浅薄で立派に見える記載についての疑いを投げかけることによって興奮させられた。しかし、私の同僚の幾人かは、新しいグローバルテクトニクスにおける基本的な問題への私の説明が不公平な競争相手だと見ていた。そしてプレートテクトニクスに付随する強圧的な問題に関する公開討論会を手配するために学生からの主導権は何にもならなかった。

私は、国連のアフリカ経済委員会が組織化した 1981 年 5 月 5-16 日にアジスアベバで開催されたワークショップ

への参加招待を受けた。この会議は、地球についていっそう満足がいく理論を構築するために、いくつかの点で私の研究の節目になった。私はベルデ岬とカナリー諸島さらにそれらと関連のある北西のアフリカ大陸縁辺における私の進行中の古磁気学的研究について話すよう求められた。私の2時間におよぶ長い発表はいろいろな証拠の編集物で、かなりの部分を深海掘削とその他の海洋データに基づいていた。私は、大陸縁辺の広い帯とそれを縁どる大西洋の深海は薄化した大陸地殻であることが最も見込みが高いと推論した。私は、大洋底拡大は、海の幅の3分の1をカバーする大洋中央部の地殻帯に制限されることを示唆した。1981年に、これは大いに挑発的な提言だったので、それゆえに猛烈な拒絶が予想された。聴衆の残りは静かなままでいたが、Stephan Muller (チューリッヒ) と Hugh Faure (マルセイユ) は驚くべきことに肯定的なコメントを返答した。聴衆の中の多くの西洋の専門家は、技術的な専門を広範囲に扱っていることから、プレートテクトニクス形式主義に関連づけられた解釈の限りにおいて、進歩的な会合では非常に活発であった。けれども他の地球物理学的な見地に移した新しい考えについては、彼らは突然論じるべきものを何も持たなかった。会合の後に、他の2人の参加者 Ron Girdler (ニューキャッスル) と Claude Froidevaux (オルセイ) は、彼らが「精神の展望」を失ったほどの私の非伝統的な結論にとっても困惑したことを認めた。

中央大西洋の私のモデルでは、広い大陸/海洋境界帯は、様々な程度に薄くなり、化学的に変化した大陸地殻で構成されている。Barrel (1927) はこの考えに対する既存の事実を提案し、Belousov (1962) は主要専門書 Basic Problems in Geotectonics と後続の研究によって具体化した。私が聞くところでは、Barrell-Belousov 海洋化モデルを支持した事実と、Hess (1946) の guyots の発見、下部は平坦で上部は島である太平洋は、少なくとも、太平洋海底の伸張部分が沈下していることを明確に示している。少なくとも、世界の海洋の大部分は、薄化・塩基化を経験しており、アイソスタシー沈下に関係する。そして、現在の大陸ブロックは接合していない。それゆえ、長年続いている接合の問題は、人工的な作り物である。私は、しばしば、心がけてきた新しい北大西洋の可動案をそれとなくほめかした。ヨーロッパと北アメリカ間の小規模な相対的回転だけを必要とした、海洋間の南方への広がり方を説明するモデルである。

ワークショップの野外巡検の際に、Adrian Scheidegger から Vienna の方位の議論に関する意見を聞くことができた。Adrian は、プレートテクトニクスの通説に対してとても寛容であり、我々が訪れたいずれの露頭においても、方位の計測に余念がなかった。彼は、私たちが立ち寄った全ての岩石露頭において、世界的流行である、急傾斜で直交に近い組み合わせの破断面が存在することを繰り返し指摘した。私たちは、大小スケール双方の地表地形の線的な、幾何学的な形状に対して、地殻の共役な断裂の優勢な組み合わせの役割を議論した。地殻の“海洋化”作用の場合、大陸縁に平行に近い事例は、断裂/

断層システムの一つの目立ったメンバーに囲まれた、沈降する堆積盆地の産物にすぎない。そして、もしそうであれば、赤道地域における大西洋の東西の“オフセット”は、自然な説明ができるかもしれない。Adrian のつぶやきは、私に考える糧を与えた。

1980年代の中頃までに、プレートテクトニクスの数多くの矛盾と不調和の知識を得た。誤りでさえ、プレートテクトニクスは、全く科学的仮説がない—権威的定説として演じたことが明らかである。1986年に、地球の重要仮説として共同で提起した。しかし、2つの興味深く、解明する論文 (Morelli and Dziewonski, 1987; Pinet et al., 1987) が公表され、私にとって、来るべき重要な支えとなる転換点となった。

不規則なコア-マントル境界 (CMB) 層は、熱化学的に活発なゾーンの証拠であり、観察される範囲の地球力学的な、地表の地質的な現象を引き起こす内生的なエネルギーの引き金であろう。実際に、Morelli and Dziewonski (1987) は、地球表面で見積もった時、CMB 層の上昇範囲は、深海として沈降している領域に一致することを示した (図 13)。このデータは、コア-マントル帯がエネルギーと浮力のある物質を解放する過程で、地球の表面に地殻の薄化と海洋盆地の形成を引き起こしたことのヒントになるだろう。これは、CMB の“地形”と全地球の地表地形の間にみられる相関性が、ウエグナー型の側方大陸移動に対していっそうの反証になる。一方で、リソスフェア殻の原位置でのねじれ回転は、地球深部と地表の関係に矛盾しない。

エネルギーの上部移動とコア-マントル境界層の体積問題では、Gregori (2001) は潮流の熱に着手するために、“地形学的”高さのポテンシャルを考慮した。彼は、最下部マントルには相対的に低い熱伝導が予想され、伝導しないため、生産/放出される熱の“上昇流”の頂部に電流が集中するだろうと提案した。したがって、局地的な温度上昇は、電気的な伝導性の増加と自己増幅の電流集中を引き起こす。Gregori (同書) は、氷塊に突っ込んだ、電氣的に固く結合した鉄に似ているように、熱力学よりも電気力学の過程を描いた。コア-マントル境界層の外側には、重要な気孔空間が存在しており (参照, Storetvedt, 2003), Gregori のメカニズムは惑星脱ガスの効果的プロセスを提供しているかもしれない。

更に、Morelli and Dziewonski (同書) による論文は、地殻の海洋化の現実性を指摘しており、Pinet et al. (1987) は、下部地殻の塩基性化に伴う地殻のデラミネーションの好例を報告した。Parentis 堆積盆地を横断する Biscay 堆積盆地の内部縁における、深部-地震学的 ECORS 反射波の断面から、マントルと地殻の減少に関係する下部地殻の反射法地震探査から、特にはんれい岩-エクロジヤイト、またはグラニユライト-エクロジヤイトの相転移に基づいた、質量非保存モデルを提案した。彼らの予想図は、図 14 に描かれている。

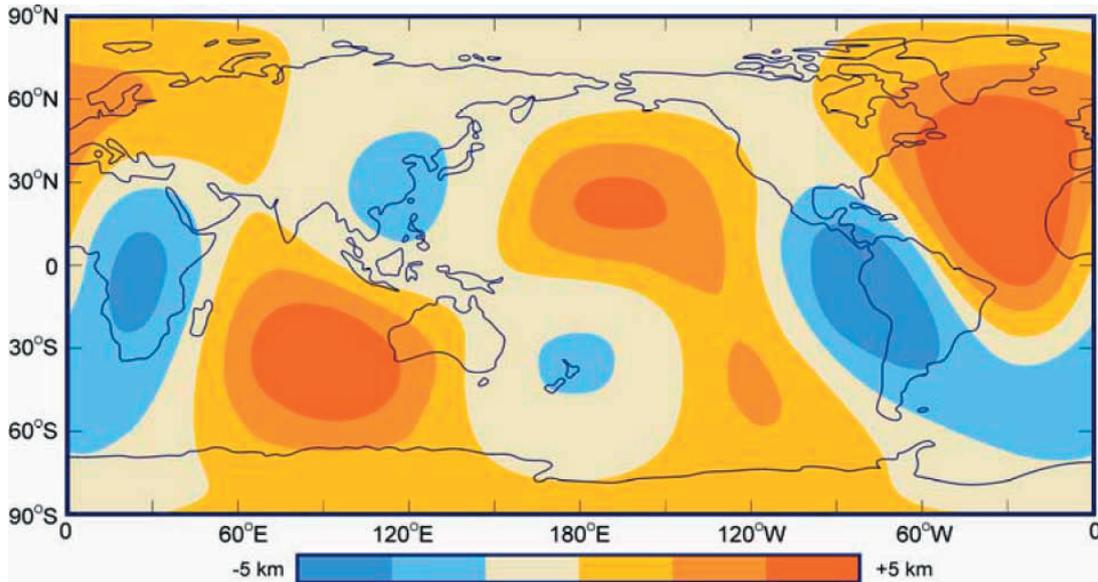


図 13 PcP/PKP 残差のインバージョンによって得られた、コア-マンテル境界 (CMB) の地形ダイアグラム (Morelli and Dziewonski, 1987 を簡略化). 下部マンテルの不均一性に一致. 注意すべきは, 地球表面に投影すると, CMB の高度分布は世界の海洋配置に一致し, 大陸が大きく側方移動しなかったことを示す. 一方, 外核 / 深部マンテルの作用と大陸-海洋配置の間に密接な関係があることを明瞭に示す.

エクロジャイトの密度は, 周辺の上部マンテルよりも大きいいため, この再結晶化作用を経験した地殻物質は重力的に不安定であり, 上部マンテルのある深度に沈下するだろう. エクロジャイトの転移は, 斜長石のような低密度鉱物の除去と, 地震波速度が大きい高密度鉱物一ざくろ石や単斜輝石など一の成長が必要である. 下部地殻におけるエクロジャイトの上方移動は, モホ不連続面の上位に発生する. 残留する地殻のアイソスタシー沈下, 堆積盆地の形成を引き起こす. 多くの海嶺の地震学的に “異常な” 厚さをもつ地殻は, 深い海洋堆積盆地の周辺でより薄い地殻をもち, 水没した “諸島” を形成する大陸地殻に部分的に同化した現地性遺物とみなすことができる (例えば, Storetvedt 1997 & 2003).

コアまたはコア-マンテル境界から上方へ移動した物質の不規則な分布と, 上部マンテルに関係する地殻の損失を組み合わせた効果は, 慣性的惑星運動に周期的な変化をひき起す. 角運動量保存の法則によると, 極変動と回転速度の変動に現れるように, 地球力学の変化が自然に発生するだろう. 主要なテクトニックな仕組みを表現するのは, 力学的引張であると私は後に理解した. つまり, 惑星回転のイベントによる変化は, リソスフェアの慣性が駆動するねじれを発生させ, 地表の地質学的・環境的作用に多様性をもたらす引き金となる. それゆえ, 地球の歴史一激しい火山活動や造山運動, 環境大変動, 生物学的カタストロフィーの短期間で特徴付けられる, 相対的に明瞭な地質学的時間の境界に細分される一は, 分かりやすい物理学的意味を持っている.

その後, ニューカッスル大学にて休職していた 1989 年の春に, 私の 20 年間におよぶ全地球テクトニクス熟慮は暫定的結論に至った. 最近公表された全地球の古地磁気学的データのまとめ (Piper, 1988) は, テチス海の終結とアルプス-ヒマラヤ造山帯の発達をよく理解した

研究であり, 私はくまなく探し出すことで, 学説のブレイクスルーが生じた. これが起こることで, この主要なアルプス造山地域には, 全体に圧縮変形が生じた. 大陸の現地性回転は, 古地磁気の極の揺らぎを引き起こした. 最も適度のリソスフェアの回転は, 緯度に依存する慣性力によって制御されたものであり, 初期のアルプス事変であった. コリオリカ-運動が回転となった場合はいつも発生する一は, 明瞭な調整要素の原理である. 地殻が薄い, 深い海域が強い造山的な変形を生じている間, リソスフェアは, 全地球的にねじれ変形を受けつづけた.

地球に関する新説の初期バージョンーGlobal Wrench Tectonics一は, 多くの良く知られた現象や観察を徹底的に再構成し, 全てのプレートテクトニクスの概念を捨て去ることで生まれた. これは, 多くの方面に現実に衝撃を与えた. さらに, 私の科学的認識の変遷が独特の理論的な自由を与えたことを, やがて認識した. 私は, 独断の影響力への従順への不愉快な締め付けから解放された. しかし, 私の科学的共通性はどのように答えるのか? 基本的に斬新なものは, 伝統的な軽蔑や削除にあうことはよく知られている. 一心理学的なメカニズムは, 現状体制の維持に頼る者を安心させるために働く. しかしながら, 新しい科学者との基本的な考えについて議論は必要であり, そのため, 私は忙しい旅行や講義の予定を始めた.

1990 年の春に, ヨーロッパ地球物理学会 (EGS) の 10 年記念会に出席した. そこで私は Peter Ziegler (Shell International の主任地質学者) と科学的議論を丸 1 日する機会を得ることができた. Peter は世界の地質に関する幅広い知識を持っており, 私の正統でない視点を試すのに適格な人物であった. 長い議論の間, 短い昼食の休憩のみで, 私たちは dynamo-tectonics 概観一特に北半球について, 幅広い範囲の議論をした. 地球の回転の

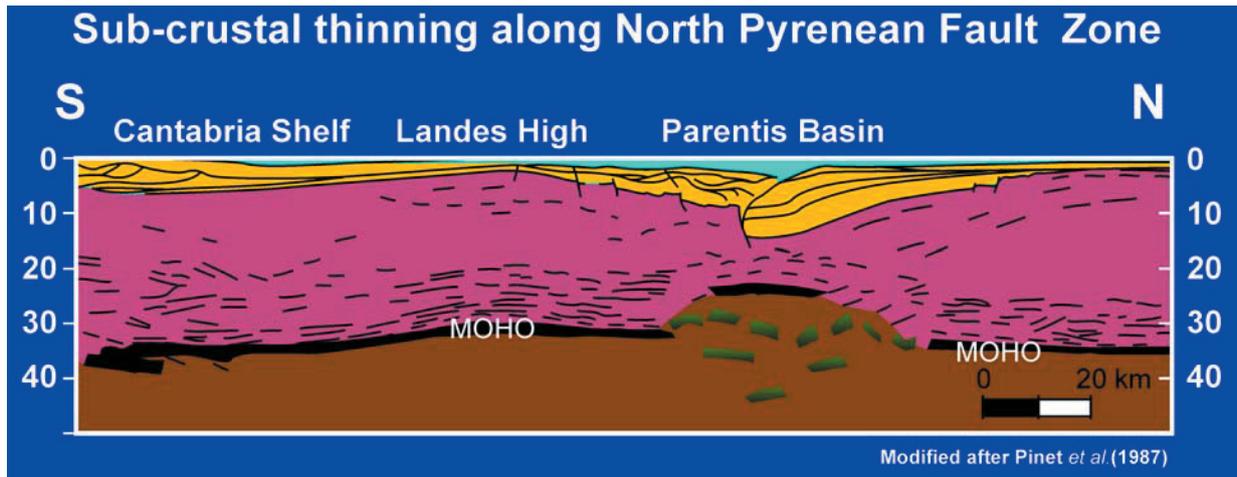


図14 深部地震探査にもとづく、Biscay 湾内の Aquitaine 大陸棚を横断する地殻モデル。Pinet et al. (1987) を簡略化。このモデルは、地殻下における「密度増加」— はんれい岩 / グラニュライトのエクロジャイト転移— と、それに伴って地殻が重力的にマントル中へ落下した、という彼らの考え方にもとづく。

地質学的歴史は、彼には全く新しいことがらであり、彼は、私の学説による新しい現象学的関係と、プレートテクトニクス集団から彼に与えられたことは著しく異なるものであったことを、彼は率直に認めた。我々の長い議論の結末に、彼は私の従来にない方向の考えについて“大変混乱する”と言った。1990年4月27日の手紙で、彼はこれについてより明瞭に詳述した。彼の手紙を開くと、「あなたの新しい考えについて長話の後、私はあなたが言った全てのことについて考え続けた。もしあなたが正しければ、科学的に確立されたことからの根幹が揺らぐだろうし、一人には大きすぎる仕事だと感じ。」と。そして手紙の最後に、彼は“仕事のグループ”を提案した。国際的なリソスフェア計画は私の肩には大変な重荷であり、それは私の助けとなるかもしれない。

2つの”対立する”学説

1993年11月の北米講義旅行の途上、Arthur Meyerhoff は討論のために私を Tulsa (OK) の自宅へ招待した。私は、1989年7月に Washington DC の Smithsonian 研究所で開催されたシンポジウムで Arthur に会ったことがあった。このシンポジウムでは、氏と共同研究者たちが、Surge Tectonics — 地球ダイナミクスの新概念— について、概要を発表した。後に、この新学説の主要な解説は会議録 (Chatterjee and Hotton III, 1992) に掲載された。氏らの力学駆動要因は、予期されたリソスフェア— アセノスフェアのサージチャネル網— 仮定された地球収縮によって駆動され、地球自転によって系統化された揮発性物質の側方流動系— である。氏らの基本的物理原則を全体として受け入れるとしても、私は、氏らの学説は全地球学説として通用するには視野があまりにも限られている、つまり、あまりにも多くの主要な全地球の現象が説明されていないことを見出したのである。たとえば、20年以上にわたって Arthur は極移動の堅固な反対論者であった。極移動という現象について、私は、疑問の余地のない事実であって、全世界の地質を理解するためのもっとも基本的な機構であるとみなしている。サージテ

クトニクスは、多くの点で、19世紀学派— 収縮論、大陸固定論およびアイソスタシー論— の混合物である。

しかしながら、私たちの間での科学的相違にもかかわらず、長い議論は、非常に楽しく建設的な時間となった。氏らの自宅談話室の床にしつらえられた大きな地球儀の前に、Arthur と私は世界地質の議論に丸一日を費やした。氏は私に、私の Wrench Tectonics を要約するよう求めた。この解説は、氏がくり返し行った質問とコメントによるのみならず、私たちの“午前部”を全部使うことになった。最近のマントルトモグラフィの多くの予期せぬ発見にはじまり、順次私の学説の説明をつづけた。私は、かなり不規則な地球深部の形成過程は化学的分化を遂げた地球内部という伝統的な見解とは相容れないようにみえ、初期の熱く / 溶融した惑星が、その後、長期にわたって収縮してきた、という古い考え方を保持することは困難であることを議論した。たとえば、地震学的に複雑なコア— マントル境界は、コアからのより軽い物質の分別、あるいは、コアとマントルの間での化学反応によって形成されたものであろう。コア / マントル境界起伏の全体的特徴と、地表における大陸 / 深海盆分布との関連を示唆する Morelli and Dziewonski (1987) の研究について、私は言及した。次に、不完全に脱ガスした地球、全マントルにわたる鉛直方向の物質移動、および、惑星ダイナミクスと地殻発達を説明する結論、と進んだ。不均一に分布した脱ガスは、マントル組成に側方変化を生じ、さらに大陸の深い根の原因にもなった。Arthur は、それは合理的であると考えた。

地表近くに熱と溶融物をもたらし、不規則なアセノスフェアを形成したのは、おそらく、外側球殻における脱ガスに関連した化学反応であった。マントルにおける鉛直方向の物質移動は、いかなる場合でも、惑星の慣性モーメントを変化させたであろう。安定した惑星自転を説明するには、慣性の最大軸は天体の自転軸に一致してはならない、ということは古くに確立された力学的事実である。したがって、最大慣性軸が変化する場合には、

惑星の脱ガスと内部質量再配置の結果、地球天体は自転安定性をとりもどすために回転しなくてはならなかったであろう。これが極移動の力学的基礎であり、極移動は古気候と古地磁気の証拠によって実証された力学現象である。鉛直方向の物質移動によるもう1つの影響は、惑星自転速度の変化である。この文脈において、私は、貝化石の成長線にもとづく1日の長さの長期的変化にかかわる Creer (1975) のレビュー研究について述べた。私の見解では、それは自転速度の変化や極移動事件によって起きた地球自転の発作的変化であり、後者は全地球地質の基本的力学要因となった。これらの力学的躍動は、地球史の挿話的事件をもたらす原因であろう。増大する慣性駆動テクトニクスと火山活動のひきがねになる事件は、内部の脱ガスにしたがって起こり、そのつど環境的・生物的影響をもたらした。比較的顕著な地質時代の境界の存在には、こうした力学的説明が与えられる。Arthur は返答として、これらの思考は論理的であり、氏が予測したサージチャンネルに必要となる圧力増加をより効果的に説明するメカニズムを私が彼に与えたと述べた。

午後は、惑星自転の周期的変化の地質学的影響について議論を続けた。論題は、その結果として起きるアセノスフェアと下部地殻におけるメルトと揮発性物質の静水圧増加が、どのようにして、エクロジャイト化とモホ面を形成し、重力に駆動されて地殻下でのデラミネーションが起き、アイソスタシーによって堆積盆地が形成され、サージ作用の多様性がもたらされるのか、といった課題であった。私の脱ガスに関連した地球史にしたがえば、外側球殻は加速度的な改変をうけたことになる。深海掘削情報や他の海域でのデータにしたがうと、地殻が薄い現在の深海域は、基本的には中生代後期の年代を示す。大西洋の最初の概形は全地球的の直交断裂系によって決定され、発達をつづける大陸縁は、現在のものよりもより平行的であった、と私は主張した。次に、大規模な地殻-リソスフェアの薄化をともなった明白な力学的脆弱化とあいまって、それに続く地球ダイナミクス事件—アルプス変動最盛期—が地球を襲い、造構運動をひき起した。この段階で、Arthur は、私の変動システムが Wegener の側方漂移とは大きく異なるものであることを実感した。この新しいシステムでは、陸塊のほとんどが鏡像的方向変化を含んでいる。慣性に駆動された大陸のねじれは、大西洋をわずかに再整形したにすぎず、北および南大西洋は、それぞれ中程度に南へひろがる扇状形態をとるにいたった。それは、大陸間の古地磁気方位の不一致を説明するのに必要な事象のすべてである。このときに Arthur は、私の大陸可動系を誤解していたことを認めた。それは、リソスフェア単元がねじれをうけただけであり、それらのマントルにのびる根がそうなのではないのである。しかし、この全地球的なリソスフェアのねじれは既存断裂を大きく拡大し、たとえば、赤道および中央大西洋に巨大な断層系を形成した。

私たちは、地球進化を幅広い観点から議論し、Arthur は氏の学説が一連の'第1級'の全地球的事象—全般的な古気候パターン、移動する造構帯の空間的分布、海洋お

よび大陸の両者における地殻厚度の大きな変化、中央海嶺に沿う活火山と高熱流量がほとんどみられないこと、顕著な汎世界的海水準変動の重要性、地質時代境界を規定した地質活動の活性化に示される地球の'脈動性'、などを説明していないことに合意した。しかし、Arthur が北極および南極域において始新世/漸新世境界の頃に亜熱帯性植物群・動物群が突然に消失するという確立された事象についてコメントしなかったことに、私は驚いた。この事象は、最新期の主要極移動を実証するもので、それ以降、地球はほぼ現在の空間方位をとるにいたった。

いずれにしても、より軟らかい上部マントル'層'(アセノスフェア)をもつ地球にとっては、ガスと流体の相互混合のために、惑星自転の変化が地表における多様な地質効果をもたらす水力学的ポンプ機として機能すると考えるのは自然なことであろう。しかし、私たちの議論のなかで、サージテクトニクス Surge Tectonics とレンチテクトニクス Wrench Tectonics との境界線は十分には引かれなかった。それゆえ、氏の学説に基本的重要性をもついくつかの構造—たとえば、Scotia, Lesser Antilles, および Banda/Sunda などの島弧—の詳細についての解釈に関して、私たちは合意に達しなかった。この段階で、私たちは科学におけるより大きな学説についての長い議論をはじめた。いかなる全地球的学説も、それが、さまざまな幅広い観察事実をたちどころに説明することができなければ、'真'とはみなされないであろうと主張した。真の学説と偽の学説を識別する際には、多数のばらばらな造構特性では、真の学説としては不合格なのである。

いくつかの構造の詳細に関わる不一致に拘泥しなければ、それはたいへん魅力的な1日であり、友情とユーモアあふれる会話で満たされ、科学者の間でなされるべきまさに理想的な意見交換であった(図15)。私たちの長い1日の終わりに、Arthur はより'すべてを包括する'全地球的な地質学説を創出するために氏と力をあわせるよう私を誘った—この誘いを、私は即座に受け入れた。当時、書籍出版計画があったために、私たちはともに多忙であった。そこで、氏は、よりいっそうの共同事業を計画するために1996年後半に再会しようと提案した。不幸にも、氏は1994年秋に逝去された。

この長い議論のなかで、全地球テクトニクスにおけるいくつかの重大な点で、Arthur は氏の意見を変更したように私は印象した。その後、1994年3月10日付の手紙で、この点に関して氏は多くの個別的'告白'をされた。それは、著名な科学者としては、きわめて異例の行動であった。この手紙の科学的部分を、1999年9月の NCGT Newsletter no. 12 に紹介したが、今日ではニュースレターの読者が大幅に増加したので、それらをここに再録することにしよう(手紙全体の複写は、NCGT 編集者のもとにある)。Arthur Meyerhoff は、次のように書いた。

『..... 君と私がいくつかの古地磁気データを全



図 15 1993 年 11 月, Meyerhoff 家の自宅図書室にて, Arthur Meyerhoff (左) とともに。

く違って解釈していることは紛れもない事実だ。しかし全体として見れば我々は多くの点で同意できそうに思う。私は、我々の仮説が互換性をもち、それらはほとんど完全に相補的であるとした我々の言明を繰り返したい。君のは確かに今日の慣習でいうところの「大作」であり、私のは地表 / 岩圈 / 岩流圈の詳しい構造運動を与える。

まず第一に私は極めて開けっひろげな人間である.....だから私がこういうのに驚くかもしれない：君は私の図が現代の極に関して正確な対称性を示しているとは思えないといった。私はすでにこれは先シルル紀のデータにたいしては多分正しいことを示した。君が私に書いてきたものに照らして私の図をみてみたが、これもやはり先ジュラ紀または先三畳紀のデータにたいして多分正しいと思う。君はこれをむしろ私の観点の急進的な変化と認識するだろう。私は君の理論が基本的に正しく健全であると強く確信したので、相当な注意と最大限の客観性をもって、私のデータを再検討することを余儀なくさせている。幸いなことに、これらの論文は 25 年も前に書かれたものなので、私がある時に書いた言葉が、シナイ山の山頂の石にはめこまれた青銅の飾り枚の上に彫られることはもうないというわけだ!.....

君は、サージテクトニクスは古気候には直接の関係を持たないといっているが、それは全く正しい。Karsten, 君は何も誤解していない。私があるそれを誤解だと思っている(だけなのだ?)。君が、サージの造構運動はある種の水力ポンプ—おそらくほかの方法では説明できない構造的特徴を解明する一である、というのも全く正しい。

君のモデルがいくつかの重要な構造的特徴, スコティア海嶺, 小アンティル諸島, バンダ / スンダ弧のような, を説明している, という点では我々は少し見解が異なる。これらは、岩圈に関する岩流圈の東方移動(相対的), (という理論)に完全に適合する。けれども、君の仮説はウラル褶曲帯を少しはましに説明している。で、ほかの褶曲帯, 先三畳紀の北アンデス山脈, アパラチア山脈, Ouachita-Arbuckles, そしてより古いものがいくつか(カレドニア山地, 東アフリカの古い褶曲帯, アゼルバイジャ

ン等々), のようなほかの褶曲帯も説明できるかもしれない。またカレドニア山地(狭義の)の説明にも役立つかもしれない。

そういうわけで、お互いに都合が良いところで会えると二人が思うとき、試みに 1996 年後半の一日を提案させていただきたい。Karsten, 君の仮説は非常に重要だ—私のも同じだと思うが一だからあまり長く弱火の上で煮沸かしているわけにはいかない。私は二つの仮説が相補的に相互に互換的であると強く確信しているので、君と私は我々の地球科学にたいして一緒にできる最大の貢献として、いつか二つの仮説を一緒にまとめ著作物として提出したいものだ、と感じている、なるべく今世紀の末までに.....』(以上の引用箇所は、NCGT ニュースレター日本語版 no. 12, pp. 23-24: 宮川武史 [訳] より転載)

回顧と見通し

科学界では、その構成員の批判的機能と創造性を禁制する支配的な教義によって支配されることなく、それに対して毅然とすることが認められなくてはならない。そのような業務の非生産的・破壊的状況は、今日の地球科学にとっては現実であることが悔やまれる。多量の観察がプレートテクトニクスの期待にすぐにはそぐわないという事実が、際限のない場当たり状況を生み出してきた。しかし、社会と専門家との間の複雑な関係や、権力・権威・名声・'信用'をめぐる絶え間のない闘争は、広く受容された学説の規範への攻撃に対しては激しく抵抗する。

この不幸な状況の源は、Alfred Wegener が南極でえられた古気候学的証拠—彼が好んだ南半球の Gondwana 群集に矛盾する決定的な化石の証拠—を無視したことにあることは明白である。この巨大な失敗に決着がつけられないまま今日に至っていることは、まったく理解できないことで、地球科学の損失である。大陸の大規模移動という考え方が議論の中心におしもどされはじめた 1950 年代半ばの批判的な時代に、それに巻き込まれた古地磁気研究者たちが Wegener のデータに批判的な視点を持ち、側方への漂移に反対する地質学的議論を行なわなくなった。Kenneth Creer によると、彼らはちょうど'彼らが手元にもっていたものを利用し', その後、もともとの誤認を正す公平な考え方を犠牲にした、というあまりの出世至上主義が横行した(図 16)。もし 1950 年代の指導的古地磁気研究者が、大陸間での古地磁気的不一致を説明するために Wegener の側方漂移モデル以外の物理的メカニズムを選択していたとすると、全地球テクトニクスはまったく異なった知的経路をたどったであろうことは想像に難くない。一連の基準は、今日のそれとは根本的に違っていたであろう。言うまでもなく、全世界地質の今日の行き詰まりには何らかの新しい思考が必要であることは明白である。

20 世紀半ばまでは、地球は液化した岩石球として形成され、その後、密度分化を経験して、鉄に富むコア、中間密度の珪酸塩マントル、そして、より軽い珪酸塩のより

多い地殻が形成されたことが一般に是認されていた。何か未知のメカニズムが放射性元素を地殻に濃集させ、地球内部の化学的分化は実質的には完了していることが、予想された。地球がほぼ十分に発育した天体であるとするこのような見方が、かなり支配的であった。というのは、それが、不動の大陸という一般的理解に合致したからである。しかし1世紀以上も前に、Chamberlin(1897)は、初期地球は冷たい天体として誕生し、その全体に分布していた放射性物質のために、しだいに加熱されたと仮定した。この観点を支持するUrey(1952)は、地球天体の化学的分化はかなり不完全で、それゆえ、現在も進行中であると主張した。事実、最近の地震トモグラフィによって解明されたように、地球内の深層が比較的不均一で、ある程度の異方的状態は脱ガス過程が不完全であることを指示する。

Hixon(1920)は造構帯を惑星ガス放出によって引き起されるダイアピル現象としてとらえ、アルプス山脈の発達を研究したAmpfer(1944)は地下のガス圧が鉛直テクトニクスを駆動する可能性を論じた。1815年のTambora火山と1883年のKrakatoa火山のような19世紀の巨大な火山灰噴出とガス放出事件が、この考え方に影響したのであろう。地球深部における炭化水素の存在を考慮して、Gold(1985 & 1999)は次のように説明した。ある段階でこの惑星が溶融したとすると、揮発性物質は排出されつくしたであろう。そうではないとすると、もともとの冷たい天体が次第に加熱されたわけであるので、地球内部のあらゆる領域で内部温度が上昇しつづけるかぎり脱ガス作用はつづく。氏は、結晶質地殻を通じて上昇してくる非酸化炭化水素の永続的流出が観察されることは、地球深部は一般に信じられているよりもかなり低温である、と結論した。Turekian(1976)は、同じ文脈で、今日信じられているように炭素質コンドライトがマンツルの初原物質に類似しているとすると、水をたくさん含有するマンツルの脱ガス作用は、地球表面に現存する水の量よりもはるかに歴大な量の水を生産したであろう、とした。これらの考察によると、地球はその全史を通じて熱力学的平衡に達したことがない、と推論するのが合理的



図16 古地磁気学という新しい研究分野が極移動と大陸漂移の議論を復活させつつあった1950年代半ばは、地球科学の進化にとって、きわめて決定的な時代であった。悔やまれることに、当時の指導的古地磁気研究者たちは、Wegener流の大陸運動の様式に盲目的にしたがうことを選択した—それとは別の解を探そうとしないうで。この選択は、地球科学が歩き道を狂わせた。

であろう。内部安定性に到達する自然過程において、浮揚性揮発性物質によって推進される物質再配置は、慣性に駆動された累進的な地質活動をもたらしつつ、この惑星の誕生以来ずっとつづいてきたであろう(Storetvedt, 2003)。

地球の脱ガス系パラダイムのなかで主要な力学-造構的原因を代表するのは、それに関連した惑星自転の挿話的变化である(Storetvedt, 2003)。最上部マンツルにおける不均一脱ガスに由来する熱とメルトのために、不規則な低速度層が形成される。こうして、より脆性的な上載'リソスフェア'は、ときどき、さまざまに深部から剥離され、緯度依存性のある'現地性'ねじれ変化['in situ' wrench deformation]を被ることになる。全般的な造構パターンが惑星自転に密接に関係する全地球的シナリオは、古くはKreichgauer(1902)によって提案された系であり、大きなメリットをもつ。たとえば、Kreichgauerは主要な造構-火成活動帯の全地球的分布を初めて力学的に説明し、それらは変化する古赤道の相対位置に沿って調和的に延びている、とした。

脱ガスシナリオにしたがうと、アセノスフェアに相当する高い静水圧が次第に形成されると、漸進的なエクロジャイト化が起こり、重力に駆動された地殻下からの薄化、連動するアイススタシー沈降、ときどき進行する海洋沈降をもたらす(Storetvedt, 2003)。ジュラ紀後期以降、これらの作用がそれ以前よりもより急速に進行し、その結果、第三紀はじめまでには、深い海洋凹地が現在の分布に近似した。地殻-リソスフェアの主要な薄化にともなう顕著な力学的脆弱化に調和して、地球を造構的危機に陥れたアルプス革命という後続する地球ダイナミックス事件をもたらした。白亜紀後期~第三紀初期を通じて、地殻の薄い海洋域はねじれ変形を被り、それにとまって、広く発達した直交断層系に囲まれた領域が主要な横ずれ断層帯に転化した。この剪断作用の別の産物は鉱物の変質であり、それによって断層規制をうけた対称的磁化強度が生み出され、線状の磁場強度異常をもたらした。

脱ガスに駆動されたダイナミックな地球は、ガス/メルトによって漸次的に進化させられる大気圏とともに、一定範囲のサージテクトニクス作用を説明することができるだろう。地球のいくぶん非定常な自転は、促進されたリソスフェアのねじれ事件と組み合わせさせて、不可避免的に静水圧を増大させ(とくにアセノスフェアと下部地殻レベルで)、鉛直地殻変動、火山-造構作用、激しい火山噴火(クレータ形成)、さらには、ガスとメルトが混合したより落ち着いた噴火を活発化させる。表層近くでの圧力場においては、ほとんどの揮発性物質は目にみえない気体(たとえば水蒸気、メタン、二酸化炭素、硫化水素)やより少量の窒素、ヘリウム、ラドンなどになっただろう。

地震に関する優占的な見方は、岩石に蓄積された歪が突如解放されることによる造構性事象であるとするもの

で、随伴する‘地震性ガス’はこの造構作用による断裂空隙の開放として説明される。しかし、脱ガス地球モデルでは、地震は深部における加圧ガスの突然の破裂であると予測され、地震波ならびに随伴する構造破壊をもたらし、同時に、地震ガスを放出する。

もし地質科学が21世紀に花開くとすると、地球科学の研究活動は高品質の論理構成に導かれなくてはならない。待望されたパラダイムシフトが進行するなかで、NCGT Newsletterは、プレートテクトニクスが自然の現象と観察を説明できないことをくりかえし暴露してきた。要するに、これらの進行中の努力は、機能していないプレートテクトニクス‘学説’の不安定化のために不可欠な貢献であり、来るべきパラダイム革命をひき起すために欠かせない1つの段階なのである。身近かなデータの認知と評価の変化を押し進めるために、世界の海洋からえられた実際の地質構造と構成岩石に関する多くのNCGT論文を喜んで読んできた。これらの論文と多くの他の論文は、地震と地震予知をあつかった論文のみならず、脱ガス地球パラダイムにうまく包含される。もっとも重要なことは、データの批判的で正直な解釈、そして、説得力のある逆の証拠に直面したときに誤りを快く認めることが真の科学の源泉であることを肝に銘じておく必要がある。

謝辞 すぐれた挿絵を描いてくれた、私の永年にわたる技術助手 Frank Cleveland に私は深謝する。

文 献

- Agocs, W.B. et al. 1992. Reykjanes Ridge: quantitative determinations from magnetic anomalies. In: *New Concepts in Global Tectonics*. Lubbock, TX, Texas Tech. Univ. Press, p. 221-238. Ampferer, O., 1944. Über die Möglichkeit einer Gasdruck-Tectonik, Akad. Wissensch. Wien, Math. Naturw. Klasse, Abt. Ia, Band 1-10, Heft 1944/45, p. 45-60. Aumento, F. et al, 1977. Initial Reports of the DSDP Leg 37. Washington, D.C., U.S. Govt. Print. Office. Baron, J.G. et al., 1965. An airborne geomagnetic survey of the Reykjanes Ridge. U. S. Naval Ocean. Office: Inform. Rept. H-3-65, 23p. Belousov, V.V., 1962. Basic Problems in Geotectonics. New York, McGraw-Hill, 816p. Belousov, V.V., 1990. Tectonosphere of the Earth: upper mantle and crust interaction. *Tectonophysics*, v. 180, p. 139-183. Bott, M.H.P, 1982. *The Interior of the Earth* (2nd edition). London, Edward Arnold, 403p. Bullard, E.C. et al., 1965. The fit of the continents around the Atlantic. *Phil. Trans. Roy. Soc. London A*, v. 258, p. 41-51. Carey, S.W., 1976. *The Expanding Earth*. Amsterdam, Elsevier, 488p. Chamberlin, T.C., 1897. A group of hypotheses bearing on climate changes. *Jour. Geol.*, v. 5, p. 653-683. Clegg, J.A. et al., 1956. Rock magnetism in India. *Phil. Mag.*, v. 1, p. 419-431. Creer, K.M., 1975. On a tentative correlation between changes in the geomagnetic polarity bias and reversal frequency and the Earth's rotation through Phanerozoic time. In: *Growth Rhythms and the History of the Earth's Rotation*. London, John Wiley, p. 293-318. Creer, K.M. et al., 1954. The direction of the geomagnetic field in remote epochs in Great Britain. *Jour. Geomag. Geoelect.*, v. 6, p. 163-168. Dickson, G.O. et al., 1968. Magnetic anomalies in the South Atlantic and ocean floor spreading. *Jour. Geophys. Res.*, v. 73, p.2087-2100. Dietz, R.S., 1961. Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature*, London, v. 190, p. 854-857. Du Toit, A., 1927. A geological comparison of South America with Africa. *Publ. of the Carnegie Institution of Washington*, no 381, Washington D.C. Du Toit, A., 1937. *Our Wandering Continents*. Edinburgh, Oliver and Boyd, 366p. Ewing, M. and Donn, W.L., 1963. Polar wandering and climate. In: *Polar Wandering and Continental drift*. Tulsa, Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists. Gold, T., 1985. The origin of natural gas and petroleum, and the prognosis for future supplies. *Annual Review of Energy*. v. 10, p. 53-77. Garson, M.S. and Plant, J., 1972. Possible dextral movements on the Great Glen and Minch Faults in Scotland. *Nature*, v. 240, p. 31-35. Gregori, G., 2001. The origin of the magnetic field and the endogenous energy of the Earth and planetary objects (extended abstract). *Int. Workshop on Global Wrench Tectonics*, Oslo 9-11 May, 2001. Hall, J.M. And Robinson, P.T., 1979. Deep crustal drilling in the North Atlantic Ocean. *Science*, v. 204, p. 573-586. Hallam, A., 1979. A decade of plate tectonics. *Nature*, London, v. 279, p. 478. Heirtzler J.G. et al., 1968. Marine magnetic anomalies, geomagnetic reversals, and motions of the ocean floor and continents. *Jour. Geophys. Res.*, v. 73, p. 2119-2136. Hess, H.H., 1946. Drowned ancient islands of the Pacific Basin. *Am. Jour. Sci.*, v. 244, p. 772-791. Hess, H.H., 1962. History of ocean basins. In: *Petrologic Studies: A Volume to Honor A.F. Buddington*. New York, Geol. Soc. Am. Hixon, H.W., 1920. Is the earth expanding or contracting? *Popular Astronomy*, v. 28, p. 1-11. Holmes, A., 1944. *Principles of Physical Geology*. Edinburgh, Thomas Nelson and Sons Ltd., 532p. Irving, E., 1965. Palaeomagnetic and Palaeoclimatological Aspects of Polar Wandering. *Geofis. Pura Applicata.*, v. 33, p. 23-41. Jordan, T.H., 1979. The deep structure of continents. *Sci. Am.*, v. 240, p. 92-107. Kennedy, W.Q., 1946. The Great Glen Fault. *Q. Jour. Geol. Soc. London*, v. 102, p.41-71. Kreichgauer, P.D., 1902. Die Äquatorfrage in der Geologie.

- Steyl, Missionsdruckerei, 304p.
- Köppen, W. and Wegener, A., 1924. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, Gebrüder Bornträger.
- Lakatos, I., 1978. The methodology of scientific research programmes. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 249p.
- Larsen, C.A., 1894. The voyage of the 'Jason' to the Antarctic regions. Geograph. Jour., v. 4, p. 333-344.
- Le Pichon, X. and Heirtzler, J.R., 1968. Magnetic anomalies in the Indian Ocean and ocean floor spreading. Jour. Geophys. Res., v. 73, p. 2101-2117.
- Le Grand, H.E., 1988. Drifting Continents and Shifting Theories. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 313p.
- Lister, C.R.B., 1980. Heat flow and hydrothermal circulation. Ann. Rev. Earth Sci., v. 8, p. 95-117.
- Luyendyk, B.P. et al., 1968. Lineations of magnetic anomalies in the Northeast Pacific observed near the ocean floor. Jour. Geophys. Res., v. 73, p. 5951-5957.
- MacDonald, G.J.F., 1964. The deep structure of continents. Science, v. 143, p. 921-929.
- Mason, R.G., 1958. A magnetic survey off the west coast of the United States. Geophys. Jour. Roy. Astron. Soc., v. 1, p. 320-329.
- Mason, R.G. And Raff, A.D., 1961. Magnetic survey off the west coast of North America, 32°N latitude to 42°N latitude. Bull. Geol. Soc. Am., v. 72, p. 1259-1266.
- Maxwell, A.E. et al., 1970. Initial reports of the DSDP Leg 5. Washington D.C., U.S. Govt. Print. Office.
- Menard, H.W., 1986. The Ocean of Truth. Princeton, Princeton Univ. Press, 353p.
- Meyerhoff, A.A. and Meyerhoff, H.A., 1972. The new global tectonics: major inconsistencies. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 56, p. 269-336.
- Meyerhoff, A.A. and Meyerhoff, H.A., 1974. Tests of plate tectonics. Mem. Am. Ass. Petrol. Geol., v. 23, p. 43-145.
- Meyerhoff, A.A. et al., 1992. Surge Tectonics: a new hypothesis of Earth dynamics. In: New Concepts in Global Tectonics, Lubbock, Texas Tech. Univ. Press, p. 309-409.
- Morelli, A. and Dziewonski, A.M., 1987. Topography of the core-mantle boundary and lateral homogeneity of the liquid core. Nature (London), v. 325, p. 678-683.
- Munk, W.H. and MacDonald, G.J.F., 1960. The Rotation of the Earth. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 323p.
- Ollier, C. and Pain, C., 2000. The Origin of Mountains. London, Routledge, 345p.
- Oreskes, N., 1999. The Rejection of Continental Drift. New York, Oxford Univ. Press, 420p.
- Pinet, B.L. et al., 1987. Crustal thinning on the Aquitaine shelf, Bay of Biscay, from deep seismic data. Nature (London), v. 325, p. 513-516.
- Piper, J.D.A., 1988. Palaeomagnetic Database. Milton Keynes, Open Univ. Press, 264 p.
- Pitman, W.C. and Talwani, M., 1972. Sea-floor spreading in the North Atlantic. Bull. Geol. Soc. Am., v. 83, p. 619-646.
- Pitman, W.C. et al., 1968. Magnetic anomalies in the South Pacific Ocean and sea-floor spreading. Jour. Geophys. Res., v. 73, p. 2069-2085.
- Purdy, G.M. et al., 1990. Bathymetry of the Mid-Atlantic Ridge, 24-31°N: A map series. Mar. Geophys. Res., v. 12, p. 247-252.
- Rona, P.A., 1980. North Central Atlantic Basin and Continental Margins. NOAA Atlas 3. Washington D.C., U.S. Dept. of Commerce.
- Roy, J.L., 1972. A pattern of rupture of the eastern North-American-western European palaeo-block. Earth Planet. Sci. Lett., v. 14, p. 103-114.
- Runcorn, S.K., 1955. Rock magnetism – geophysical aspects. Adv. In Physics, v. 4, p. 244-291.
- Runcorn, S.K., 1956. Palaeomagnetic comparisons between Europe and North America. Proc. Geol. Ass. Canada, v. 8, p. 77-85.
- Runcorn, S.K., 1962. Towards a theory of continental drift. Nature (London), v. 193, p. 311-314.
- Runcorn, S.K., 1981. Wegener's Theory: The role of geophysics in its eclipse and triumph. Geol. Rundschau, v. 70, p. 784-793.
- Sempere, J.-C. et al., 1990. Segmentation of the Mid-Atlantic Ridge between 24°N and 30°40'N. Nature (London), v. 344, p. 427-431.
- Sempere, J.-C. et al., 1993. Segmentation and morphotectonic variations along a slow-spreading center: The Mid-Atlantic Ridge. Mar. Geophys. Res., v. 15, p. 153-200.
- Sharman G. and Newton, E.T., 1894. Notes on some fossils from Seymour Island, in the Antarctic regions, obtained by Dr. Donald and Captain Larsen. Trans. Roy. Soc. Edinb., v. 37, p. 707-709.
- Storetvedt, K.M., 1974. A possible large-scale sinistral displacement along the Great Glen Fault in Scotland. Geol. Mag., v. 111, p. 23-30.
- Storetvedt, K.M., 1990. The Tethys Sea and the Alpine-Himalayan orogenic belt; mega-elements in a new global tectonic system. Phys. Earth Planet. Inter., v. 62, p. 141-184.
- Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet, Bergen, Alma Mater (Fagbokforlaget), 456p.
- Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics, Bergen, Fagbokforlaget, 397p.
- Storetvedt, K.M., 2005. Når Grunnlaget Svikter (scientific autobiography in Norwegian), Oslo, Kolofon Publisher, 266p.
- Sykes, L.R., 1967. Mechanism of earthquakes and nature of faulting on the mid-oceanic ridges. Jour. Geophys. Res., v. 72, p. 2131-2153.
- Sykes, L.R., 1968. Seismological evidence for transform faults, sea floor spreading, and continental drift. In: The History of the Earth's crust. Princeton, Princeton Univ. Press, p. 120-150.
- Talwani, M. et al., 1971. Reykjanes Ridge crust: a detailed geophysical study. Jour. Geophys. Res., v. 76, p. 473-517.
- Turekian, K.K., 1976. Oceans (2nd ed.). Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 149p.
- Urey, H., 1952. The Origin of the Earth and the Planets. Oxford, Oxford Univ. Press.
- Van Andel, T.J.H., 1985. New Views on an Old Planet.

- Cambridge, Cambridge Univ. Press, 324p.
- Van Andel, T.J.H. and Bowin, C.O., 1968. The Mid-Atlantic Ridge between 22° and 23° north latitude and the tectonics at mid-ocean rises. *Jour. Geophys. Res.*, v. 73, p. 1279-1298.
- Vine, F.J., 1966. Spreading of the ocean floor. *New evidence. Science*, v. 154, p. 1405-1415.
- Vine, F.J. and Matthews, D.H., 1963. Magnetic anomalies over oceanic ridges. *Nature (London)*, v. 199, p. 947-949.
- Vine, F.J. and Wilson, J.T., 1965. Magnetic anomalies over a young ocean ridge off Vancouver Island. *Science*, v. 150, p. 485-489.
- Watkins, N.D., 1968. Comments on the interpretation of linear magnetic anomalies. *Pure Applied Geophysics*, v. 69, p. 179-192.
- Watkins, N.D. and Richardson, A., 1968. Comments on the relationship between magnetic anomalies, crustal spreading and continental drift. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 4, p. 257-264.
- Wegener, A., 1929 (English trans. 1966). *The Origin of Continents and Oceans*. London, Methuen & Co Ltd, 248p.
- Wells, J.W., 1963. Coral growth and geochronometry. *Nature (London)*, v. 197, p. 948-950.
- Wezel, F.-C., 1990. Loosing contact with mother Earth. *Terra Nova*, v. 2, p. 507-508.
- Winchester, J.A., 1973. Pattern of regional metamorphism suggests a sinistral displacement of 160 km along the Great Glen Fault. *Nature Phys. Sci. (London)*, v. 246, p. 81-84.
- Wilson, J.T., 1963. Evidence from islands on the spreading of the ocean floor. *Nature (London)*, v. 197, p. 536-538.
- Wilson, J.T., 1965. A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature (London)*, v. 207, p. 343-347.
- Wilson, J.T., 1966. Did the Atlantic close and then re-open? *Nature (London)*, v. 211, p. 676-681.
- Yano, T. et al., 2009. Ancient and Continental Rocks in the Atlantic Ocean. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 53, p. 4-35.

原著論文 ARTICLES

地震の癖：第Ⅲ部. 日本列島の地震

HABITS OF EARTHQUAKES: Part 3. Earthquakes in the Japanese Islands

角田 史雄

日本, 埼玉県ふじみ野市上福岡 1-11-25 e-mail: tsunochan@sky.email.ne.jp

(角田 史雄・矢野 孝雄・久保田 喜裕 [訳])

編集者注：この論文は、2009年8月に講談社(東京)から出版された著者の本、「地震の癖」に基づいて翻訳および再構成したものである。

要旨：日本では、火山と地震との連動現象(VEイベント)が、30～50年ごとに活発になる。南太平洋に起源をもつVEイベントの熱エネルギーは、2つのルート、つまりフィリッピン-日本(PJ)ルートと、マリアナ諸島-日本(MJ)ルートとで移送される。1990年に東へ移送され、南日本の普賢岳を噴火させたVEイベントの場合、日本海に沿うPJルートをさらに北上して、1995年の被害地震・兵庫県南部地震をひき起こした。南から移送されたもう一つのVEイベントは十勝沖地震(M=8, 2003年)を発生させたが、そのエネルギーは、2000年から2005年まで三宅島の雄山火山を噴火させたものと一連のものである。

キーワード：熱エネルギー, 熱機関, サイスマテクトニクス, 火山-地震現象, 断層地塊, 地震の周期

1. 概説

この前のⅡ.では環太平洋域、とくにスマトラ-中国(SC)ルートにおける地震の発生のしかたについて述べた：南太平洋のスーパープレューム(以下SP)から湧昇してきた熱は、環太平洋火山・地震帯にそって移送され、30～50年周期の大地震をひき起こす。

このⅢ.では、日本列島の地震を：1)PJルートに関係す

る西日本、2)同じく北陸および北日本、3)マリアナ-日本(MJ)ルートに関連する本州弧中南部(関東地方)に分けて述べる。

2. VE イベントとその移送ルートの概観

日本列島の深部における地質構造とその構造環境は、多くのサイスマテクトニクスモデル(Mogi, 1967; Mogi, 1968; Mogi, 1969; Mogi, 1973; Zhao et al., 1992;

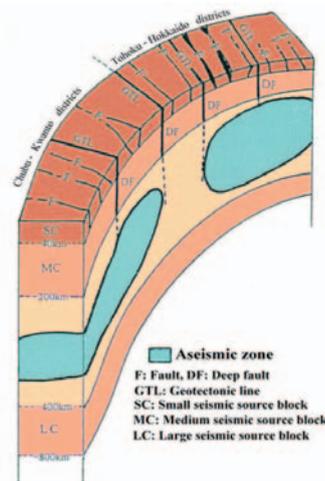


図1 日本列島北東部の地震地質学的な構造様式

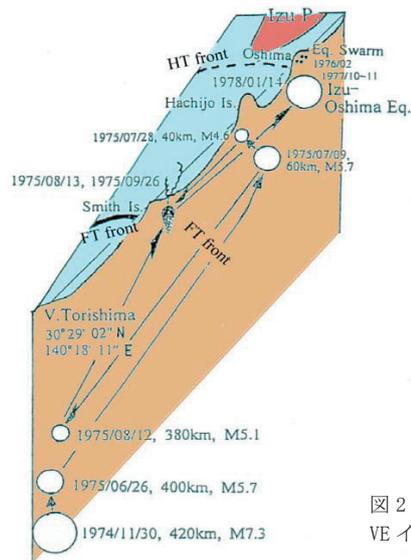


図2 伊豆海嶺におけるVEイベントの北上

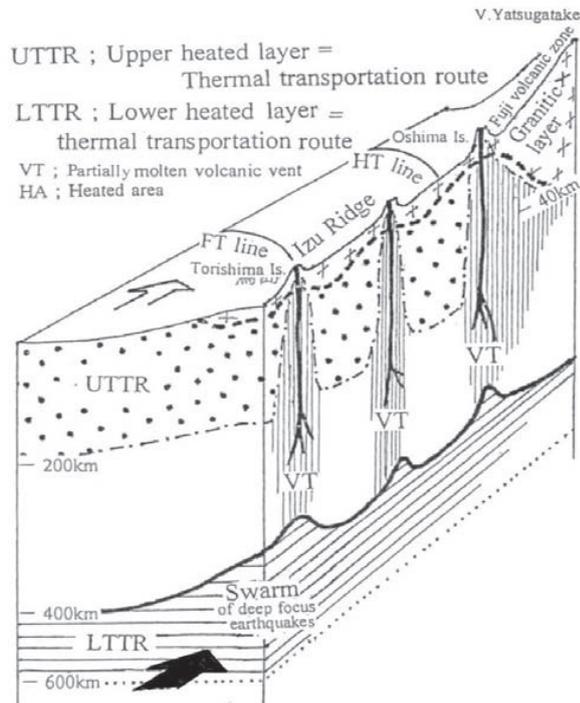


図3 伊豆海嶺と富士火山帯に分布する熱移送ルート

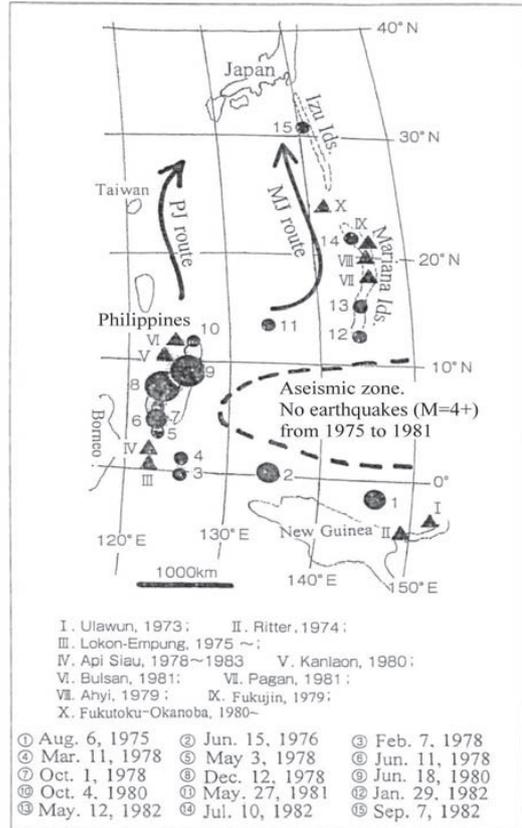


図4 熱移送ルートの分岐

Nakajima and Hasegawa, 2006 & 2007) に基づいて、図1のようにモデル化される。つまり、一つの無地震層が上下の地震発生層にサンドウィッチ状に挟みこまれている(図1)。SCルートやマリアナ-中央日本ルートでは、このうちの大きな地震発生層(SSB)における地震活動度が高い。熱エネルギーは、これら2つの地震発生層(図2)中を、たがいに関連しながら、移送されると考えられる(図3)。熱流の主流は赤道地域の Papua New Guinea とフィリピンに沿って回り道しながら、フィリピンの近くで、西のPJルートと東のMJルートとに分かれる(図4)。MJルートにおける小さな地震発生ブロック(図1のSSB)は図5のように示されるが、同じような層構造はPJルートでも認められる。日本列島の地下にあるSC層は高温(図6; Okubo et al., 1989)なので、熱エネルギーは移送されやすい。さらに、この地域の地殻構成岩は、造構作用によって著しく破壊されている(Minatoほか編, 1965; Fujita, 1972; Tsunoda, 2001 & 2002)。鮮新-更新世に日本列島は、激しい火山活動にひき続いて、広域にわたって隆起が起こり、その間に、たくさんの地塊群が形成された(図7)。流動するマグマによってこれらの地塊群は、たがいにズレ動いてM7~8クラスの地震を発生させた(Fujita, 1970; Fujita and Yoshitani, 1979; Usami, 199; Tsunoda, 1997)。

1. 西日本

1) 1995年兵庫県南部地震(M=7.3)の発生
Tsunoda(2010)は、1950年あたりにポリネシアにあった

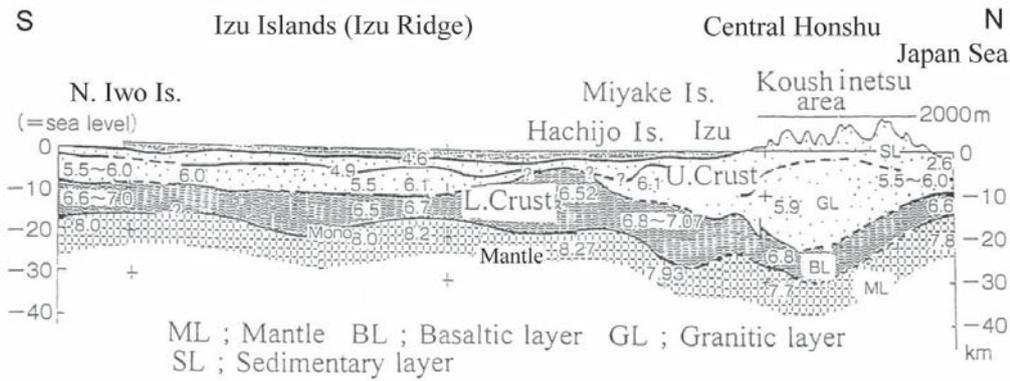


図5 伊豆諸島と富士火山帯における縦断地殻断面図

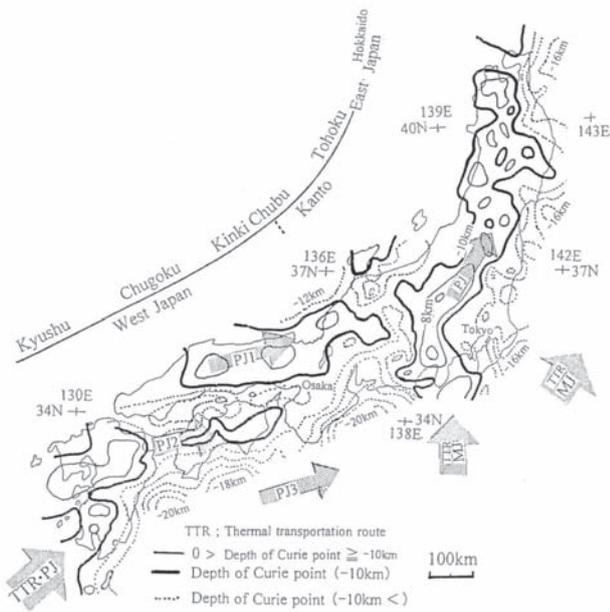


図6 日本列島におけるPJルートとMJルート

VE イベントのピーク (テクトニックパルス) が北上して、1995 年兵庫県南部地震を起こしたことを示した。Utsu-WEQ のホームページと「理科年表」の地震資料によると、1948 年 9 月 8 日にトンガで M7.9 地震が発生した。トンガからフィジーまでにわたる SP は、PJ ルートのスタート地点であると考えられる。同じように、1948 年以降、ポリネシアから台湾までの VE イベントのピークを追跡すると、高温化 (HT) 線と溶融化 (FT) 線とに基づいて、地震の移動が分かる (図 4)。

高温化線で示される地震の移動：

- (1) 1950 年 12 月 2 日のバヌアツ地震 (M8. 1)
- (2) 1969 年 1 月 30 日のモルッカ地震 (M7. 9)
- (3) 1970 年 1 月 10 日のフィリピンの地震 (M7. 6)。この地震以後、1977 年まで M7 かそれ以上の 3 つの地震があった。
- (4) 1978 年 11 月 14 日の台湾の地震。M7 クラスの 2 つの地震があり、1978 年のものはそれより大きい。
- (5) 1986 年 12 月 12 日の三宅島の地震 (M5. 1)
- (6) 1987 年 2 月 9 日の沖縄本島の地震 (M4. 4)
- (7) 1987 年 2 月 13 日の鹿児島県大隅半島東方沖の地震

(M4. 7)

(8) 1987 年 3 月 18 日の日向灘 (宮崎県) の地震 (M6. 6)

溶融化線で示される噴火の移動

- (1) 1950 年の Ambrym 火山 (バヌアツ) の噴火と 1953 年の Epi 火山の噴火
- (2) 1969 ~ 1970 年の Soputan 火山 (インドネシア)、1976 ~ 1978 年の Didicas, Bulsan, Mayon, Taal などの火山の噴火
- (3) 1988 年の海底火山・喜界島火山 (九州・薩摩半島沖合い) の噴火

上述したことは、HT フロント (原著者・訳者・角田注；本論では高温化線を HT フロント、溶融化線を FT フロントと呼び、前者を地震の発生要因、後者を噴火の発生要因とした) が、火山の多いフィリピンから北上し、海底火山や温泉のたくさん在る台湾、および、硫黄島、沖縄、九州の霧島火山帯と北北東に配列する海底火山群を経由したことを立証するものである (図 8)。これはまた、PJ ルートにおける熱いマントルに沿って、VE イベントが北上したことも証明している。喜界島カルデラの北北東にある日向灘で起こった 1987 年の地震が、1988 年の喜界島カルデラの噴火に先行して発生したことは、高温化線が溶融化線に先行して進むことを裏付けている。

この論文シリーズ II で述べたように、スマトラ-中国 (SC) ルートと同じで、PJ ルートでもまた、地震が噴火に先行して発生するのである。

2) 霧島火山帯における VE イベントの北上

火山が密集する霧島火山帯は、喜界島火山のすぐ南にある諏訪之瀬島火山島からはじまる (図 8)。東アジアの VE イベントのピーク (NCGT 54 号の第 II 論文) と同じように、図 9 は VE イベントの移動をグラフで示している。図には霧島火山帯の南にある硫黄島火山も含まれる。しかし、そこでは高温化線と溶融化線との区別がはっきりしない。つまり、VE イベントの移動と 2 つの前線のそれとが混在している。

噴火の並びは、ライトがつぎつぎに点灯されていくのに似ているので筆者は、これを噴火列と名づけた。火山島

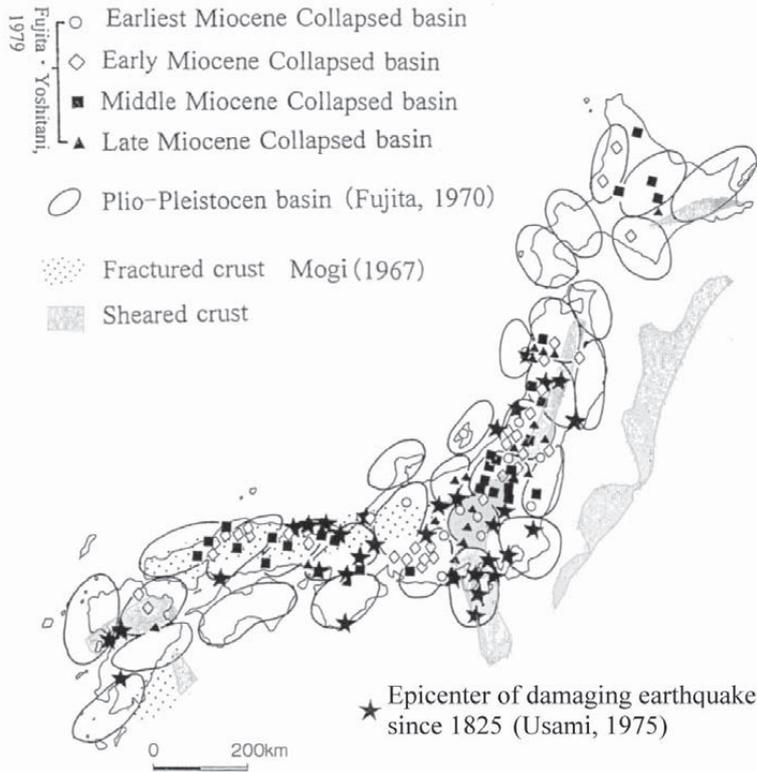


図7 鮮新-更新世の堆積盆地の境界に分布する被害地震



図8 霧島火山帯

間の距離を測り、噴火の時間差をもとめると、VE イベントの速度が計算できる。図では移動線が1988年1月に薩摩硫黄島を通過している。この火山から210km北にある雲仙普賢岳は、200年間の休止期間をへて1990年11月17日に噴火した。FTフロント(溶融化線)がこの日に雲仙普賢岳にたつたとすると、FTフロントは3年間に210km移動した、つまり年に70km、1日に0.2kmの速度である。

3) 滞留する熱で起こる地震

九州におけるFTフロント(溶融化線)によって最初に起こったのは、1989年4月の阿蘇火山の噴火であった(図8)。そのつぎに起こったのは1990年からの雲仙普賢岳、1992年の霧島火山、1995年の九重火山など、噴火のラッシュであった。この一連の噴火は、九重火山が1996年に再び噴火して終わった。こうした火山活動が続く間に九州では、M5クラスの地震が7つ発生した: 周防灘(くわしくは豊後水道; 1991年, M6.0), 北鹿兒島(1994年, M5.7), 大隅半島沖(1994年, M6.0), 日向灘(1994年, M5.3), 奄美大島沖(1994年, M5.3), 南宮崎の山岳地域(1994年, M5.3), 奄美大島沖(1995年, M6.9)。滞留熱によってマントルが高温化し、地震発生層が膨張して割れ、その結果として地震が発生した。

4) 九州から神戸へのVEイベントの東進

九州の霧島火山帯は中国地方の大山火山帯と連続している(図15)。後者は3,000年前より古い時代(原著者・訳者加筆)から活動は休止している。しかし、大山火山帯の地殻は熱を帯びていて、その周辺域より温度が高い。このことは、産業総合研究所(AIST)の地磁気異常を研究しているOkubo(1991)氏によって明らかにされた。そこでのキュリー点深度は浅く、熱い岩層の存在を示している。この図には示されていないが、四国沖の南海トラフの地下には高熱流量が知られている(Yoshii et al., 1972)。

西日本には、合わせて3つの高熱帯がある。これらの高熱帯は溶融化線のとおりみちになっていると考えられる: 1)PJ1ルートは日本海沿岸域, 2)PJ2ルートは瀬戸内海地域, 3)PJ3ルートは南海トラフ(太平洋沿岸域)などである。このことは、日本列島へたつたPJルート

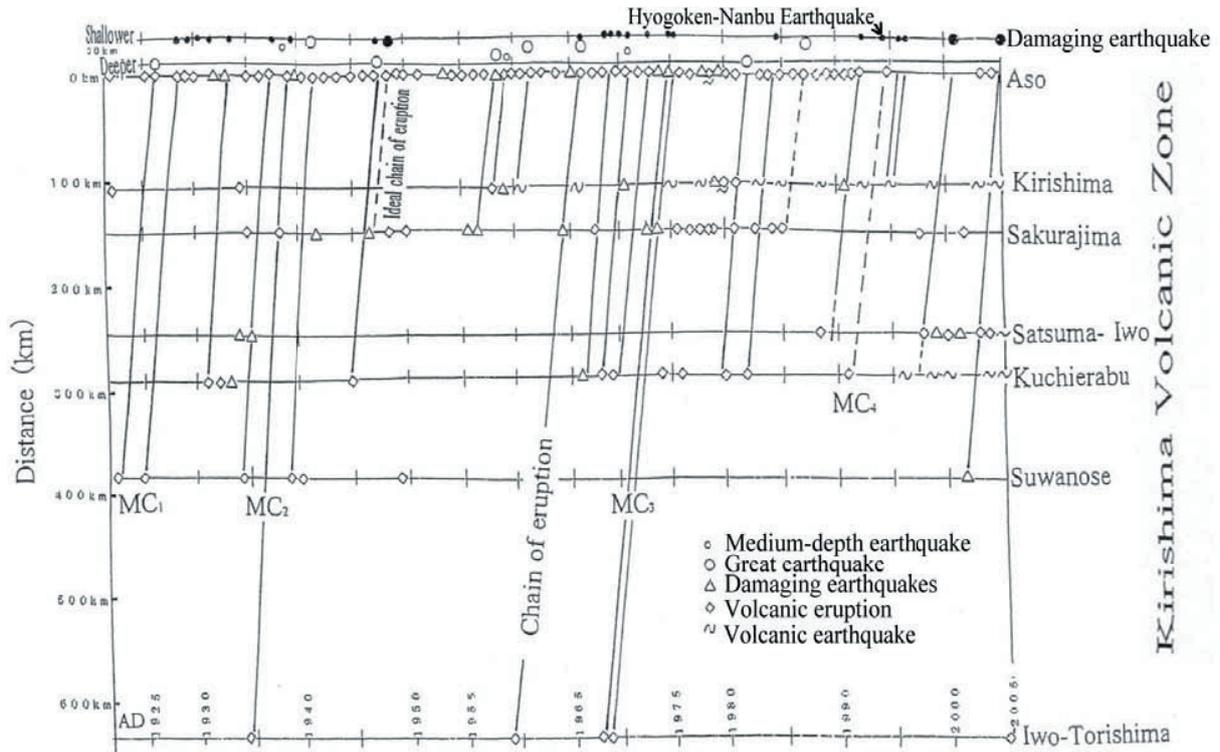


図9 霧島火山帯における火山活動中心部の北上

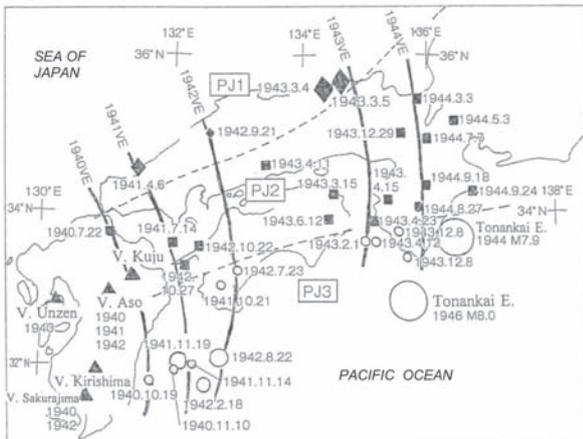


図10 HT フロントの東進

は3つのルートに分岐していることを示す。

南海トラフでは2つの巨大地震が発生した。つまり、1944年の東南海地震 (M7.9) と1946年の南海地震 (M8.0) とである。そのときのVEイベントがどのように移動したかを示したのが図10である。この時のPJ1ルートで発生した地震を◆, PJ2ルートのそれを■, PJ3のそれを□で示した。同時期に起こった地震群をつなぐと、VEイベントが東へ移動していくようすが分かる。

九州での火山活動の後、VEイベントは東へ移った。しかし、その移動速度が3つのルートごとに、わずかずつ違っている。そのなかでもっとも遅いのが、巨大地震が発生したPJ3ルートの速度である。長い期間にわたって低速度で移動して熱が滞留し、それが巨大地震の引き金になったのだろう。

5) 兵庫県南部地震は、なぜ起こったか？

神戸地域は主に、1.2～0.6億年前の古い花崗岩で占められている。地面から地下20kmくらいまでがこうした花崗岩質岩層になっていて、この岩層を地震発生層と呼んだ(図11)。琵琶湖から大阪を経て明石までの北東-南西ゾーンには多くの深部断層があり、その「根」は地下20kmくらいまでたっている。

この岩層の下位には、さまざまな超塩基性岩からなる下部地殻、つまり、玄武岩質岩層がある。この岩層では地震が起りづらいので、無地震層と名づけた。

上部マントルがHTフロントで高温化されると、無地震層は膨張するが、温度が下がれば収縮する。いいかえれば、この岩層は、弾性に富んでいて動きやすい。このように、弾性に富む無地震層の上に、脆性的な地震発生層が載っているが、こうした位置関係は、60km以浅で発生する浅発地震を発生させやすい(図11)。

日本を含む中央環太平洋地域では、1985年から活発なVEイベントがはじまり、1990年ごろにそのピークを迎えた。西日本の近畿地方には活火山が無い。しかし、1985年から地下の熱い和歌山市では、数ヶ月おきに群発性の地震が続いていた。推測では、和歌山市直下では、無地震層が高温化で膨張して割れ、群発性の地震を発生させていたと思われる(図12)。

和歌山市-神戸間には、一つの起震地塊があるが、もう一つは神戸-中国地方東部間にある(図6)。これらのいずれもが、弾性に富む無地震層の上に載っている。この地塊の和歌山側が押し上げられると、反対の神戸-淡路

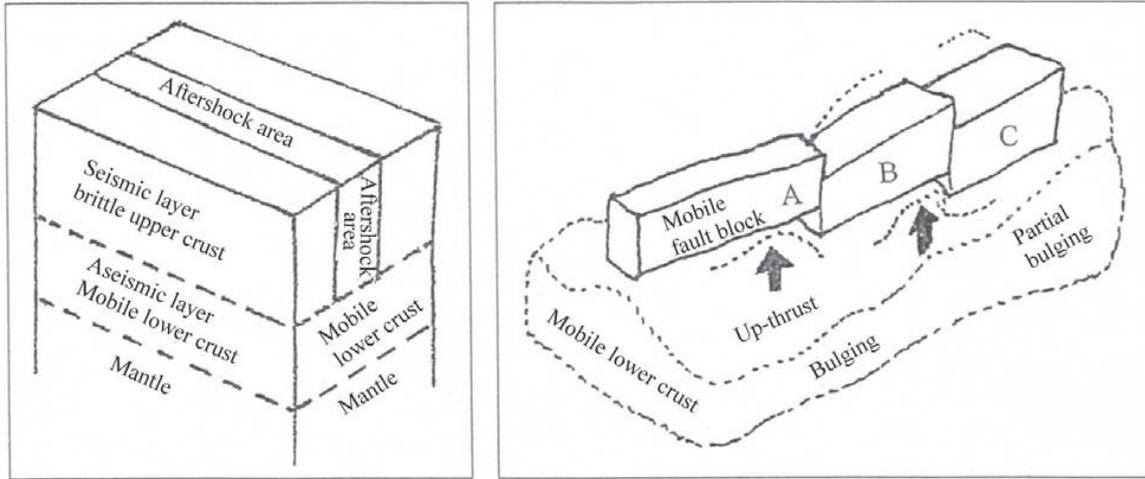


図 11 阪神地域のブロックダイアグラム (左図) および断層で区切られた動きやすい地塊群

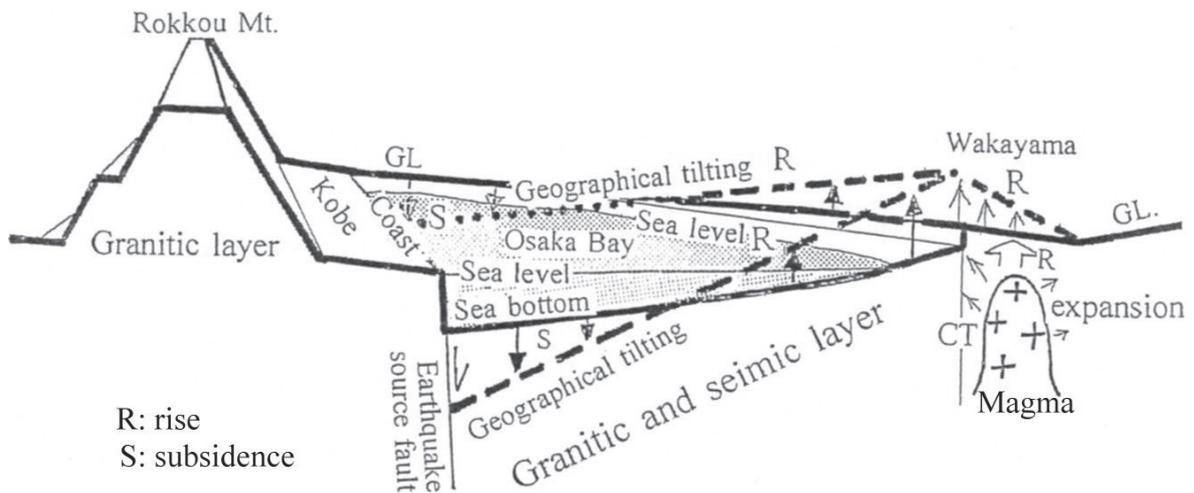
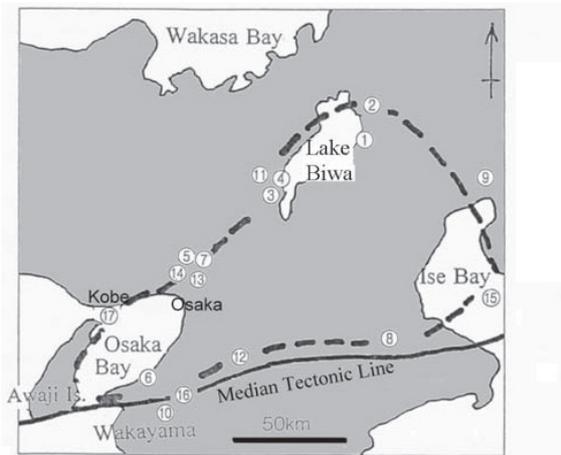


図 12 近畿地方における起震地塊の傾動 GL 地面、S 沈降、R 隆起



- ① May 28, 1994 (44km, M5.3)
- ② May 29, 1994 (42km, M3.6)
- ③ Jun. 28, 1994 (15km, M4.7)
- ④ Jul. 20, 1994 (14km, M2.8)
- ⑤ Jul. 27, 1994 (15km, M3.1)
- ⑥ Jul. 28, 1994 (10km, M4.1)
- ⑦ Jul. 28, 1994 (12km, M3.4)
- ⑧ Sept. 6, 1994 (59km, M3.6)
- ⑨ Oct. 4, 1994 (49km, M3.9)
- ⑩ Oct. 16, 1994 (6km, M4.6)
- ⑪ Oct. 24, 1994 (15km, M4.5)
- ⑫ Nov. 8, 1994 (75km, M4.5)
- ⑬ Nov. 9, 1994 (13km, M4.2)
- ⑭ Nov. 10, 1994 (11km, M4.2)
- ⑮ Dec. 23, 1994 (12km, M4.6)
- ⑯ Jan. 3, 1995 (13km, M3.9)
- ⑰ Jan. 6, 1995 (18km, M3.7)

図 13 兵庫県南部地震の前震過程。本震は 17 の近くで 1995 年 1 月 17 日に発生した。

側は沈む (図 12)。兵庫県南部地震の発生時には、これが起こった；つまり、神戸側が押し下げられて震源断層が形成された。

1994 年 5 月 28 日に滋賀県中部地震が起きた (図 13；琵琶湖)。破断したのはこの地塊の北西縁だった。その後、地塊の山岳地域を取り巻くような地塊の縁では、多くの地震が発生した。こうした、弾性に富む無地震層の上に載る地震発生層中の地塊は図で示される；つまり、地塊の縁を動き回るように、連続している地震が発生していくのである。最初に破壊が和歌山から三重地域へと移動して、琵琶湖、京阪神 (大阪) へと向かった (原著者・訳者注；ここの英文は誤り)。こうしたことは、薄氷を割ったとき、最初は小さな割れ目だが、最後にバリッと大きく割れるのと似ている。

6) 近畿地方の起震地塊

震央をつないでいくと、図 13 のようなブロックになる。これは地殻のブロックといえる。日本列島には、これと同じようなブロックがたくさん在る。これらのブロックの縁は地震発生層の弱面である。

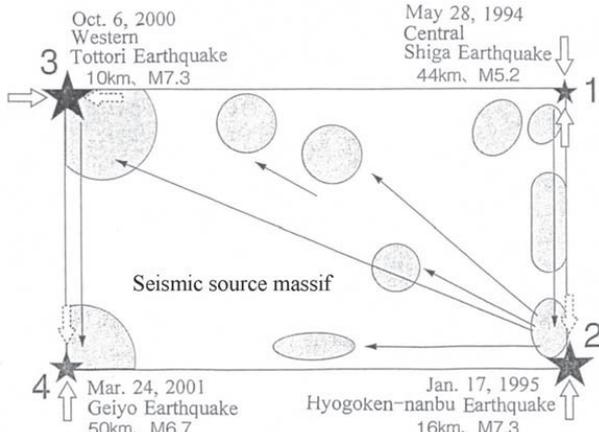


図 14 兵庫県南部地震の後震過程における起震地塊

①→②→③と結んだところは地殻の弱面で、M5以上の地震では、ここが強く揺れたり、余震が集中する。兵庫県南部地震では、こうした弱面は、本震の前に発生したいくつかの地震であらかじめ破壊されていた。1995年の大地震前には、ここがすでに揺れやすい状態になっていたのである。そうしたブロックの東側が押し上げられた(図13)。

すでに前号(NCGTニュース54号, II, 52頁)で述べたように、本震の主要動が発生する間に起こる地震を、前震過程の地震と呼んだ。本震前の地震を発生させる地塊は、起震地塊という。同じように、本震の後で発生し、余震を含めた一連の地震過程を後震過程と呼ぶ。兵庫県南部地震では、後震過程の期間はおよそ1年半続き、地震の主な発生域は兵庫県内であった。

しかし約2年後の地震発生域は西の鳥取県、それから瀬戸内海へと移った(図14)。こうした地震過程のなかで、M6～7の大きな地震は「跳ね回る」ような移り方をした。

こうした現象がなぜ起きたのか？和歌山側の起震地塊は、兵庫県南部地震の本震後にしばらく揺れ続けた。地震エネルギーは、つぎの起震地塊となる西側のブロックに移ったのである。したがってVEイベントは隣接する地塊へ移動したのである。

故藤田教授は、こうした起震地塊の起源が300万年前の変動であると指摘された。彼のくわしく掘り下げられた研究によって、ここで明確に議論できる、こうした地塊群が明らかにされたのである。言いかえれば、1994年から2001年の期間の間に現れた起震地塊は、300万年前という古い昔の変動で形成されたものだったのである。

藤田など(原著者・訳者加筆; 英文の800Maと600Maとはそれぞれ8Maと6Maの誤り)によれば、800万年前ごろからマグマ活動が強まり、600万年前ごろから海と陸とが押し上げられて、新しい陸が形成され、高い山地地域が出現した。この変動によってできた地殻中の割れ目群は、亀の甲羅に似たかたちで形成された。これが起震

地塊の起源である。これらのブロックは現在、日本列島の全ての地域にわたって、敷石のように敷き詰められている。こうしたブロックの縁には、現在もなお、地殻の古傷がそのまま残されている。和歌山側の押し上げ量がわずかなものであっても、地殻のブロックは簡単に傾き、それらの古傷はつぎつぎによみがえるのである。

7) 西日本の地震の巣はどこか？

上のような考察に基づいて筆者は、被害地震は、こうした起震地塊の縁で発生すると推定した。図7には、1825年以後に発生したM6～7の大きな地震の分布を示してある。この図は、藤田氏の地殻のブロック図を重ね合わせて作成した。

図で分かるように、被害地震のほとんどが、こうした起震地塊の縁で起こっている。これらの縁は、ふだんははっきりしていないが、マグマのうごきや強い地震の力が加わると、姿を現して、起震地塊の縁となったり、被害をだすM6地震やM7地震の引き金になったりする。もし、初期の押し上げ力が強ければ、すでに強く加圧された状態は、簡単に隣接する地塊へ移る。

M1という微小な地震まで含めると、日本列島の下では連日、地震が発生している。これは、日本列島の下に、動きやすい下部地殻(無地震層)が広がっているためである。この揺れは、高温化した温度が高いほど強くなる。かりに地温が上昇し続ければ、ブロックの揺れはもっと大きくなって、その境界部では、切れ込み量が深く、広くなる。このような関係のなかで可動性のある無地震層に載っかっている大山火山帯(図15)の縁は地震活動などで傷つきやすい。したがって、こうした前兆的な現象をつねに注視する必要がある。図7でも、若狭湾と大阪湾とをむすぶラインは、こうした縁の一つである(図13)。このラインでは実際に兵庫県南部地震が発生した。これはまた、一種の深部断裂であり、地面から少なくとも地下20kmくらいまでたっしていて、M6～7の被害地震の震源も確認されている。

8) 西日本の地震

もし、小さな切れ込みを入れてから薄氷を剥ぎ取るうとするとき、その薄氷の縁がつぎつぎに割れていく。これと同じように、滋賀、淡路-神戸、鳥取、芸予という順序で、M6からM7クラスの地震が、飛び跳ねるように起きた(図14)。このときは、九州の霧島火山帯とかその東の延長部にある大山火山帯では、火山の活動は知られていない。しかし、図6で分かるように、この地域では、キュリー点深度が浅い。熱エネルギー流は、北側のPJ1と南側のPJ2の二股に分かれて運ばれたのであろう。これが起これば、ブロックをとりまく縁にエネルギーが集中して、そこを弱化させる。このため、地震は「飛び跳ねる」ようなかたちで発生する。

図15は、大山火山帯のまわりを飛び跳ねるようにして発生した地震を示す。白丸は最初に地震が発生した地点を示し、黒丸はそのつぎに引き続いて起こった地震を示

す。たとえば、白丸1は兵庫県南部地震で、黒丸1は鳥取で発生したその後の地震である。図では白丸2のつぎに黒丸2、白丸3のつぎに黒丸3というふうに辿っていくと、PJ1からPJ2、あるいはその逆という具合に、地震が飛び跳ねるようにして起こっているのを確かめられる。地震のこうした「飛び跳ね」るような現象は、熱い岩層が大山火山帯を押し上げて、起震地塊を揺らすためと考えられる。

前頁で述べたように、大規模な西日本のVEイベントは、九州での火山の噴火にはじまり、溶融化線と高温化線とが東へ移動することで発生する。熱の滞留場所が定まると、広い地域が隆起する。そして起震地塊が揺れはじめて、歪み応力をもっとも弱い場所へ集中していく。多くの場合、最大歪み応力の集中場所で破壊が起こるが、ときには、すでに裂け目などのある場合、ブロックの反対側が破壊されることもある。それが現れる所は、いくつかのブロックが接合しあっている場所である(図7)。

西日本では、九州で火山の活動期における噴火があった1~2年後に、被害地震が起こりがちである。その例が、九州の火山活動と西日本における被害地震との関係である(表1)。

高温化線で熱が移送されてくると、九州の霧島火山帯の地下が熱せられる。高温化線はさらに東進を続け、中国地方、四国地方、近畿地方などの地下を温める。このような過程が起震地塊を活動的にして、地震を誘発する。

被害地震の履歴から判断すると、M6からM7クラスのそれは30~50年ごとに発生してきた。これが過去400年間続いている。このことから言えば、1995年に起きた兵庫県南部地震のつぎの大きな地震は2025年から2045年あたりに起こることになる。震央は中国山地(大山火山帯)の西の方になるかもしれない。2001年の芸予地震の余震群が、ほぼ水平域に密集していた(菅ノ又ほか, 2006; 図16)ことから判断すると、地震の「飛び跳ね現象」は、板状の岩層ブロックが不安定岩層の上で揺れ動くためであろう、と考えられる(図17)。

2. 北日本の北陸 - 東北地域

1) 北陸 - 中越地区のVEイベント

西日本から中北~北日本への熱移動が続いている。とくに、PJ1ルート(図6)が沿岸部と若狭湾に沿って東方へ伸びる。いいかえると、溶融およびHTフロントが中北~北日本へ前進しているのである。

図18は、時間とともに北東へ移動をつづける融融化あるいは高温化フロントを示す。移動しながら、1998年8月~1999年1月に焼岳地下での火山性地震群をひき起した。この火山性地震は、高温のマグマが火山性ガスを発生させ、母岩が膨張・破断したことを示す。これはHTフロントの通過に起因し、溶融化フロントが近畿から北陸 - 中越地区へ移動したのと同様、HFフロントも東へ移

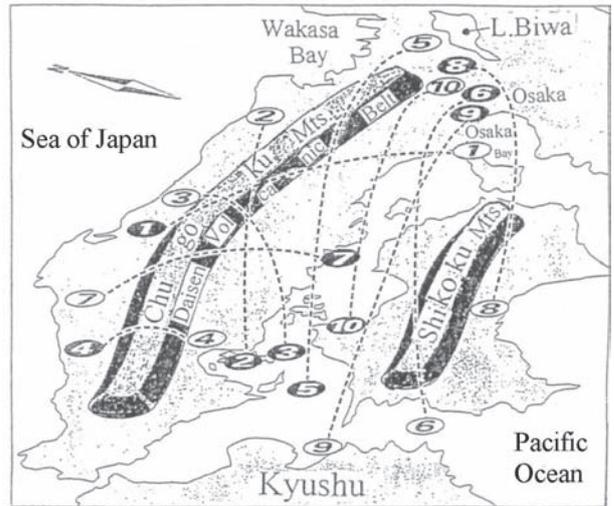


図15 大山火山帯の周辺における被害地震の「飛び跳ね」現象

表1 九州における火山活動と関西における地震の活動度との対照

Eruption in Kyushu	Leaping earthquakes
1995 Aso →	①1995 Hyogo
1942 Aso →	②1943 Tottori
1903 Kirishima →	③1905 Geiyo
1872 Aso →	④1872 Izumo
1806 Aso →	⑤1812 Matsuyama
1749 Sakurajima →	⑥1749 Uwajima
1709 Aso →	⑦1711 Hoki
1660 Kirishima →	⑧1661 Kinki
1592 Aso →	⑨1596 Kyoto
1533 Aso →	⑩1533 Kyoto

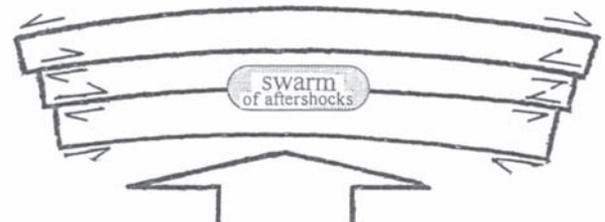


図16 2001年芸予地震における水平の余震域

動したことを意味する。

地震学者大森房吉は、100年以上も前に、長野~新潟県を流れる信濃川に沿って多数の被害地震が分布することを示した。氏はこの地帯を信濃川地震帯と命名した。それは、新潟県の中越地区に属す。

次の図(図19)は、中部地方の火山活動と中越地域の被害地震との関係を示す。それらの中には、1つの明瞭な関連性がある。1つの好例は、次のとおりである：日本中央部にある富士山で1997年に発生した低周波地震の後、新潟県の焼山火山が活発化した。つづいて、1998年には中越地方の小千谷でM5.2の地震が発生した。これとは別に、同様な事象が2001年にも発生した。2000-2001年の富士火山での低周波地震後、2001年に浅間火山と焼

kishou.go.jp/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact.htm) に記録された火山活動報告と噴火史にもとづいて、私は、各火山の火山性地震と噴火の時期と順序を調べた。結果は、図 20 のとおりである。火山性地震の発生順が破線で、噴火の発生順が太線で示されている。この図にみられるように、北よりの火山ほど、火山性地震の発生が次第に遅れている。これは、熔融フロントの北上を示すと考えられる。この図には、たとえば火山蒸気、水蒸気爆発、などのマグマ活動も一緒に示されていて、それらは HT フロントの指標である。HT フロントも、北への移動を示す。HT フロントは熱によるマグマの発生を示す。それゆえ、HT フロントは、北陸-中越地震の後、鳥海-那須火山帯に沿って北へ移動しつづけている。

4) 岩手県南部内陸地震の前震過程

HT フロントの通過後、東北地方の地震は“跳ね回る”パターンを示した (図 21)。

この図の数字は発生順を示し、円の大きさはマグニチュードに対応する。それらのうち、最大地震は 2008 年に発生した岩手-宮城内陸地震で、番号 28 が付されている。加えて、陸→陸あるいは海→海の移動は細線で、海→陸あるいは陸→海の移動は太線で示される。前半期には、この移動は海→陸あるいは陸→海 (細線) であったが、後半期にはほとんどが陸→陸になった。

このタイプの移動は、スマトラ島における“跳ね回る”現象 (Ⅱ, 図 8 参照) に類似する。そこでは、HF フロントは南東から到来し、前半期には“跳ね回り”は HT フロントの移動方向と直交していたが、本震の発生が近づくころには火山帯に平行する方向に変化した。

5) 岩手-宮城内陸地震の前震

この地震の震央は、栗駒火山の下にある。それは、鳥海-那須火山帯 (図 22) が位置する矩形の高まり-高い地下温度をもつ一の中央部にあたる。VE イベントは、2002 年に岩手火山に到達した。栗駒火山の下では、2003 ~ 2006 年に地震活動が活発化した。同時に、マグマ活動が N-S 方向の火山群で激しくなった。2つの火山 (安達太良および吾妻火山-図 20) の隆起が、GPS 測量で検出された (JKA, 2006)。つづいて、“跳ね回り”が再び発生した。隆起が極大に達したときに、栗駒火山の地下で母岩がほぼ水平に変位した。この種の地震断層は、図 16 に示されるように上方に押し上げられた層状ゴムの例にたとえられる。

6) 内陸地震および太平洋沿岸の海域地震の関連性

東北内陸地域での HT フロントは、その高温の地下とともに、那須-鳥海火山帯に沿って移動する (図 20)。しかし、図 22 に示された 2000 ~ 2008 年の主要地震分布は、それらのほとんどが、太平洋沿岸域と日本海溝で発生している。この地震エネルギーは、どこから来たのか? この図にみられるように、地震の北上は 3 回起きた (1' → 2' → 3' および 1" → 2")。1 シリーズの地震発生

をたどると、HT フロントが日本海溝に沿って北上することを確かめることができる。事実、このシリーズの地震は、南部に先駆地震-小笠原島西方の深発地震 (2000 年 1 月 11 日; M=5.8, H=469km) と、その後 3 ヶ月以内に発生した大地震 (硫黄島近傍, 2000 年 3 月 28 日; M=7.9, H=128km) をもつ。深度 469km で M5.8 の地震を発生させたエネルギーは、4km/日弱の速度で移動し、3 ヶ月後に深度 128km に達したときには、エネルギーをほぼ 1000 倍にも増大させていた。これは、同じエネルギーが、圧力の減少とより大きな熱膨張空間をえることによって、はるかに大きな破壊力を発生させることを意味するのかもしれない。エネルギー移動が熱として現象していることは、明らかである。このエネルギーは、2000 年 7 月 6 日の東関東沖地震、つづいて、2000 年 7 月 21 日の茨

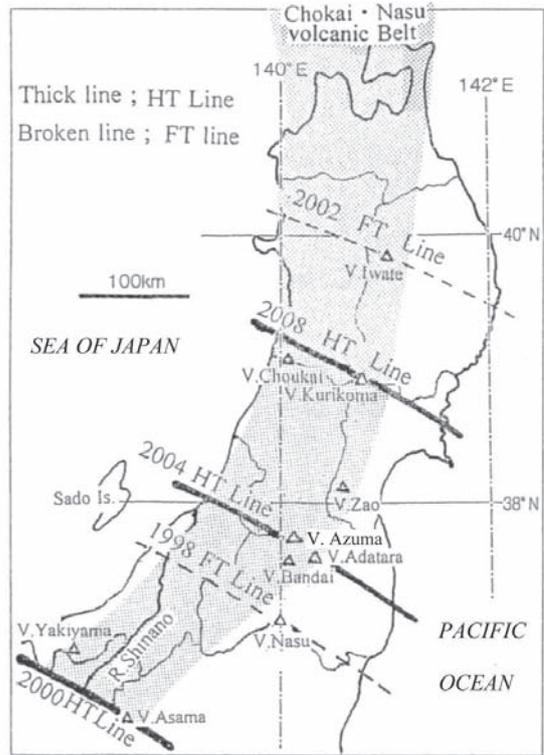


図 20 HT および FT (熔融) 前線の北上

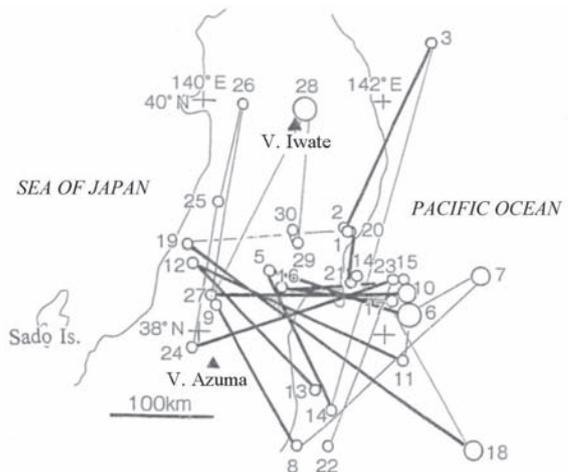


図 21 2008 年岩手県南部内陸地震の前震

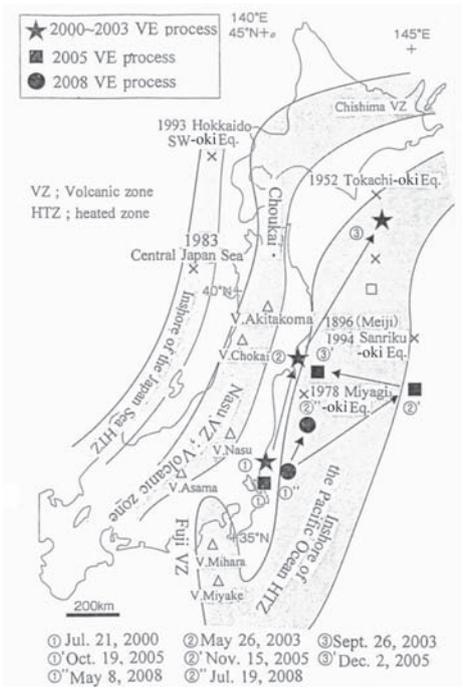


図22 東北地方の加熱域に発生した2000～2008年の地震活動

月である。これは、VE イベントのパターンも示している。すなわち、Blot(1976) が地震エネルギー伝播 (ET) と呼んで研究したように、まず深発地震が発生し、次により浅部で地震が発生するパターンである。熱エネルギーの流向は、伊豆島を過ぎると、北から北東へ変化する。より北方の北日本の東北地方には、2つの線状の地下高温帯—内陸部の鳥海—那須火山帯、ならび、太平洋沿岸帯—があり、HT フロントはその中を移動ができる。

これら2つのベルトの関係をみいだすために、1896年の巨大な明治三陸沖地震 (M=8.5, 図22) を含む地震群を検討する。次の4つの事変は、この巨大地震のエネルギー源の規模をよく例示する。

- 1880年 伊豆諸島の海底噴火 (噴火—浅根)
- 1889年 硫黄島における水蒸気爆発による新火口の出現
- 1895年 富士火山におけるガス噴出
- 1896年 伊豆諸島の Bayonnaise 岩礁に新火山島の出現

これらの活動のエネルギーは、内陸と太平洋沿岸の2つのルート (図22) を通じて、さらに北方へ移動したと考えられる。これは、太平洋沿岸帯の巨大地震 (明治三陸地震, 1896年6月15日, M=8.5; 図23上端) の発生わずか2ヶ月後に鳥海—那須火山帯の真昼岳山の山頂部をつくる地塊が激しくはね上げられた、という事実に示される。この活動は、1896年の陸羽地震 (M=7.2; 図23の中央) に関する。この地震以前に、秋田駒ヶ岳が活動状態に入っていた。図23は、この一連のVE イベントを図示したものである。太平洋沿岸の地下がまず加熱され、つづいて海底面が隆起して地震を発生させた。つぎに、内陸部のマグマが加熱されて膨張し、つづいて地震発生層を押し上げて、起震した。さらに、地震群が太平洋沿岸に発生した。このように、東北地方では、内陸部と太平洋沿岸とが、地震活動に関して相互作用を行っているのである。

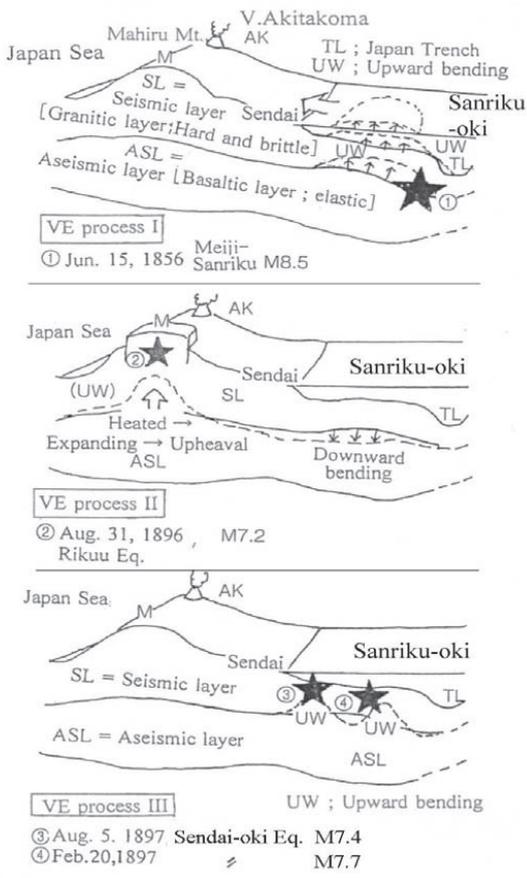


図23 東北地方における巨大地震のVE イベント

城沖地震 (図22の1) に表現されるように、北東へより遠くまで移動した。

温度増加速度は、約4km/日である。もし、火山性ガスがこの熱量を運搬して、裂隙に沿って移動するとすると、この速度は想定可能である。小笠原島の深発地震から、東京の北方の茨城沖地震までの期間は、わずか6ヶ月

7) 東北地方における地震発生特性
前節では、東北内陸部と太平洋沿岸部における2例の巨大地震 (2008年の岩手県南部内陸地震と明治三陸地震) が紹介され、それらの相互関係が述べられた。しかし、それは大地震のみならず、比較的小規模な地震においても、マグマ活動が活発な時期には、太平洋沿岸における大地震、そして1年後には、大地震をともなって内陸火山が噴火する。これは、地下温度が上昇している時期には、それらの相互作用が短時間の内に発生することを意味している。しかし、高温であるために、地下深部の岩石が弾性的であり、地震がこの弾性層の上で発生すると想定できない。これらの事実からは、弾性層の波曲が上位の地震発生層を急に横曲げさせると考えるのが合理的である。

東北地方におけるVE イベントのサイクルは、どの程度の期間にわたって続くのだろうか? 1900年以降に東北地方と太平洋沿岸に発生したM7以上のすべての地震が、

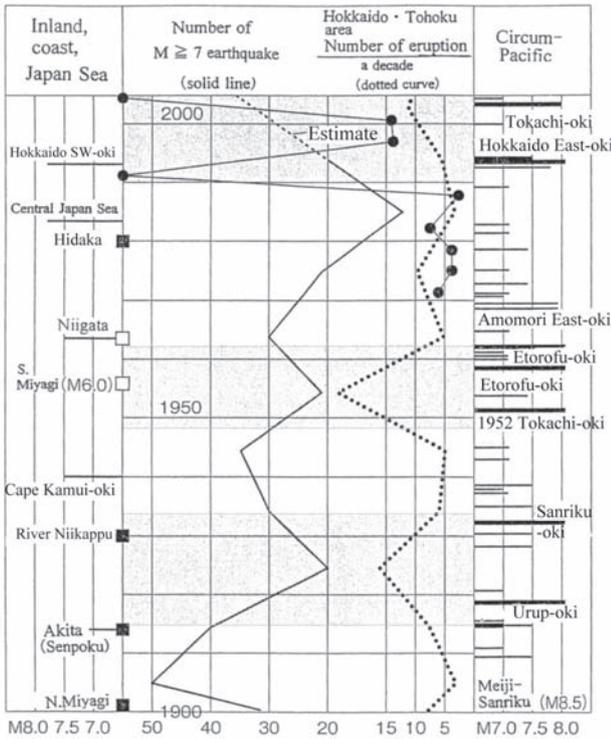


図 24 東日本における VE イベントと世界の被害地震

次の図 24 に示される。この図によると、大規模な VE イベントは、東北沖の太平洋沿岸では 30 ~ 50 年毎にくりかえされてきた。環太平洋地帯の北東部の多くの地域では、昇温期は火山活動期におおよそ一致する。内陸部の変動は、いくぶん異なるが、一般的傾向は同じである。東北地方の地震は、30 ~ 40 年毎に内陸と太平洋沿岸で密接に関係して発生する。

3. 関東地方

1) 関東地方へ連続する MJ ルートの VE イベント
前頁で地震の“癖”について述べてきたが、それは西日本と北部中央日本から東北地方まで広域にわたって認められる。南太平洋で発生したスーパープリュームは PJ ルートを經由して西日本へ到達する。読者が熱移送によって発生したさまざまな地震と火山現象を理解されたとき、著者は信じている。熱エネルギーを移送する PJ ルート以外に、もうひとつ別の熱移動ルート、関東地方に到達する MJ ルートがある。この節で MJ ルートを検討することによって、地震の癖を明らかにできる。

1970 年代前半における南太平洋のスーパープリュームの活動は活発で、そこからもたらされた VE イベントは強力であった。次に示すのは、大規模な地震と火山噴火の一覧である：

- インドネシア セブ海 M7.5 地震 (1972 年 6 月 11 日) -
- ニューブリテン島の Ulawun 火山の噴火 (パプアニューギニア) - Ritter 島の火山活動 (ニューギニア 1974 年) - M6 か、それより大きい深部地震 (1973 年 6 月 21 日 ; 1973 年 12 月 28 日 ; 1974 年 3 月 23 日 ; 1975 年 2 月

22 日) - パプアニューギニアにおいて連続して発生した M7.9 と M7.7 (1975 年 7 月 20 日) の大地震

これらのイベントはフィリピンへ移動し、その後マリアナ諸島へ移動した (図 4 参照)。さらに、VE イベントの最前線は伊豆諸島へと北上し、福徳岡ノ場という海底火山 (南硫黄島付近) で噴火を引き起こした。その後、噴火は伊豆諸島に沿って北へ向かった。

南太平洋のスーパープリュームで発生し、パプアニューギニアに達した VE イベントは、緯度 10°S と 10°N 間には現れない。この区域では、M4.0 以上の地震は記録されていない。そのため、MJ ルートは南フィリピンで PJ ルートから分岐すると考えられる。

2) 伊豆諸島に沿って北進する VE イベント

伊豆火山列はほぼ直線的に 1700km にわたってのびている。図 25 は黒丸が噴火、水平軸が噴火 (時) の年、縦軸が火山間の距離を示す。グラフで一番上の列には、主要な地震名が記されている。灰色の帯と実線は、噴火が南部で始まり北部へ移動しているという、VE イベントの北上を意味している。これは、すでに紹介した噴火列にあたる。灰色の帯は、連続して発生した噴火、実線は単発の噴火を、それぞれ示している。前者は、噴火が続いて起こる火山の活動期を意味しており、その幅が広いほど、火山活動が活発であったことを示す。そのことは、伊豆諸島では、火山活動に活動期と静穏期のあることを意味している。

3) 首都圏南西部における VE イベント

筆者は、環太平洋地帯における VE イベントの変動パターン、つまり、そのピークの北上パターンを、すでに紹介した (Tsunoda, 2010, NCGT no. 54 の図 5)。マリアナ諸島から伊豆諸島でも、VE イベントの活動期のピークが 40 年ごとであるから、環太平洋地帯のそれと同じ変動パターンである。図 25 で示されている、もっとも幅の広い噴火列は、環太平洋地帯における VE イベントのピークにみごとに一致している。噴火列の傾きは VE イベントの速度に関係している。すべての噴火列で 1000km/10 年、つまり 100km/年 (0.28km/日) の速度で北上している。それは噴火列が全て平行であることから判断される。また、同じ速度の VE イベントが、何回も繰り返されてきたことも分かる。

1900 年以降のデータによれば、活動期の間隔ないしサイクルは約 40 年である。それより規模が小さいものの周期は約 10 年である。これらのことは、規模の大きな VE イベントが 40 年、規模の小さいものが約 10 年の周期をもっていることを意味している。図 25 の上段の被害地震はすべて、三原山火山 (大島) の噴火後、1 年以内に発生している。VE イベントの規模が大きければ大きいほど、地震による被害は甚大になる。

これらの事実は、伊豆諸島を經由してきた VE イベントが大島あたりに達するときに、首都圏南部地域において

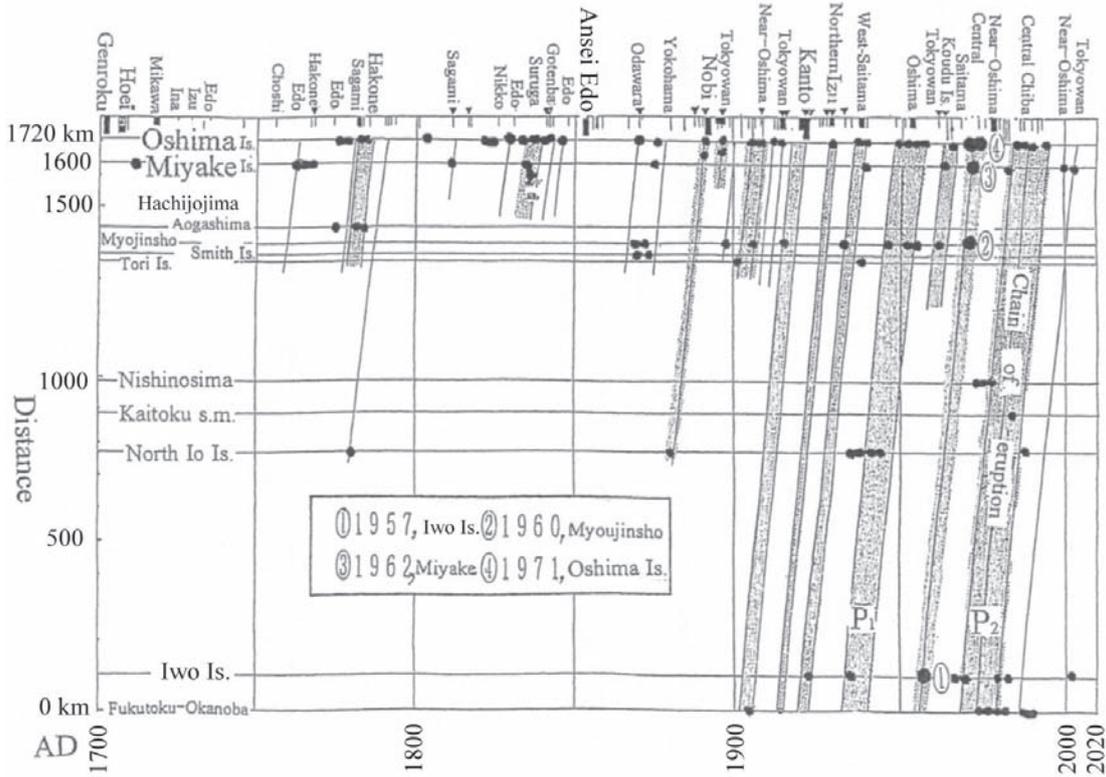


図 25 富士火山帯の一連の噴火

被害地震が起きることを警告している。伊豆諸島は富士火山帯に属している。このゾーンにおける火山の根では、ローカルに発達したマグマによって、熱が岩層中へ入り込んで高温化を引き起こす。火山の根はもともと熱い。そのため高温化線が通ると、その地域の母岩はすぐさま膨張・破壊し、火山性の地震を発生させる。溶融化線が到達すると、高温化した岩層が溶けて、マグマとそれに関連したガスが形成され、噴火が準備される。西日本と北陸-東北地方のそれと同じように、関東地域の地下には、弾力があって暖かい岩層（無地震層）があり、理想的な熱移送ルートになっている。

4) 富士火山帯の地下構造

東海大学海洋学部のグループと旧地質調査所とは、1981～1985年にかけて、富士火山帯を横断するE-W方向の広域地震探査を行った。同様のデータは、このほかのグループからも提案されている。これらのデータに基づいて、富士火山帯（日本列島-伊豆諸島地域）のE-W断面図を作成した（図26）。

その図で、上部地殻（花崗岩質層=GL、地震発生層）の下位層（下部地殻）は層厚変化がはげしい。厚い箇所は鎖状のソーセージのようにみえる。地震発生層（上部地殻）の直下には無地震層がある（BL-下部地殻で、熱いマグマに富む層、ML-上部マントル）。BL層も鎖状ソーセージの形態を示している。そのため、伊豆-富士火山帯の浅部は鎖状ソーセージ構造で構成されている。図26で、火山（浅間や富士、八丈島）はGL層の厚い地域に発達している。これらの火山では、その根にGL層を貫く厚いマグマがある。そこでの地面はもり上がって高い。

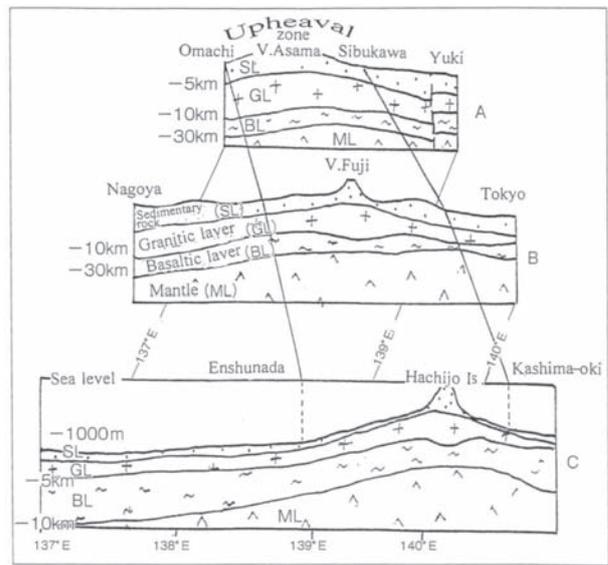


図 26 伊豆諸島と富士火山帯の地殻断面

マグマを伴う鎖状ソーセージ構造は、プレートテクトニクスでは説明できない一側方圧縮ではそのような構造は造れない。それはマグマによる上方への突き上げを採ることによって合理的に説明できる。

ある地質研究グループが関東・甲信越地方で20Maに渡る地史を検討し、1991年に『フォッサマグナの隆起過程』というタイトルで出版した（Tsunoda, 2001）。詳細な岩層・層序や年代、化石、層厚を検討し、各年代ごとの地質、堆積、古地理をそれぞれの図にまとめた。これらの図に基づいて、図27が作成された。

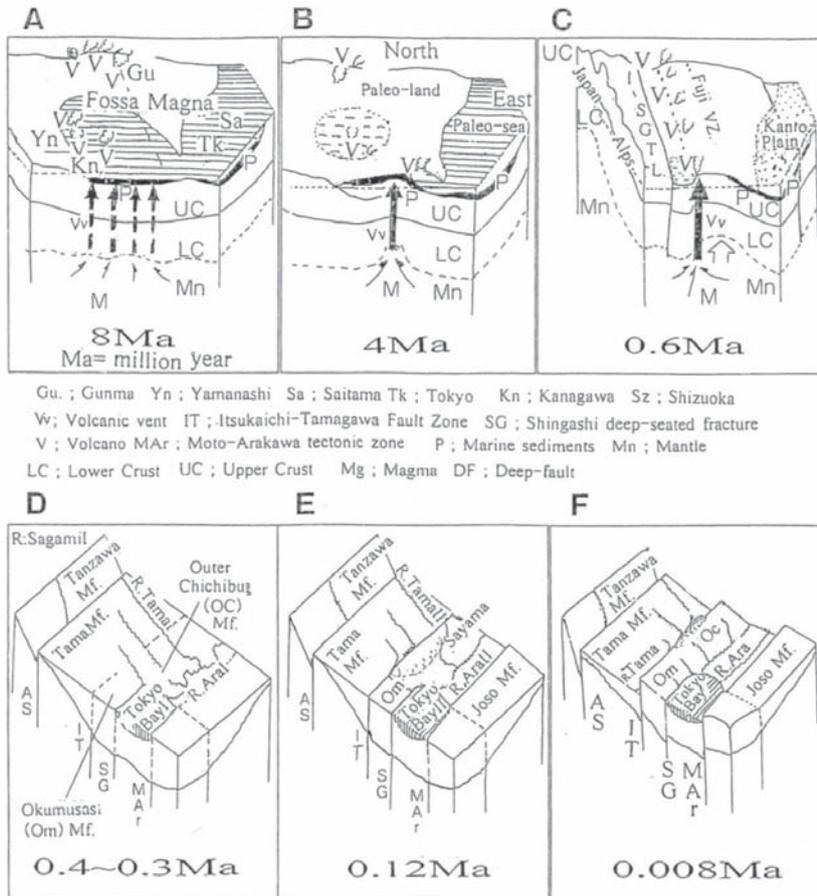


図27 首都東京圏の造構史 (A-C) および東京-神奈川地域に発現した活断層地塊の形成史 (C-F)

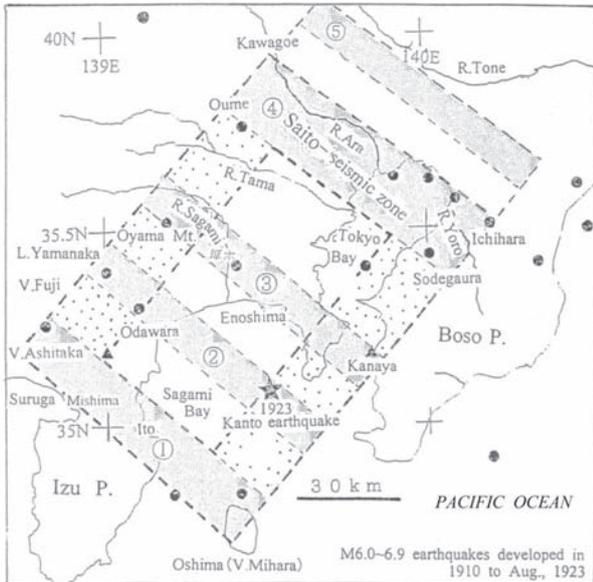


図28 首都東京圏の中部および南部における高地震活動帯

日本の本州弧中央部では、19～17Ma 前に、激しいマグマの噴出が起きた。その噴出後に同地域は水面下に沈降し、12Ma の前に陸域が現れたが、そこでの噴火は激しさを増した (A, 図27)。それは溶融マグマの上昇が長期間続いたためであった (B)。陸がマグマによってさらに高所に押し上げられた後、埋没していた岩石は地表に露出し、浸食によって礫が生産された (C)。山地高度は山梨

で最も高く、その南北で低い。今日の地形はまさに、直下にあるGL層の膨らみにそのまま対応していて、本州中央部の山岳地域の形成にマグマが大きく寄与していることを明瞭に示している。

5) 首都圏の地震

MJ ルートを通して運ばれた熱エネルギーがどのように関東地方の断層に影響を与えるのか、検討してみよう。この地域では、地震活動の高い地域が5ヶ所ある (図28)。

図25の噴火列のひとつで、伊豆大島近海地震 (M7.0) が1978年1月14日に発生した。活発な高温化線 (HTフロント) から供給されて貯まった熱エネルギーは、箱根火山と伊東付近の火山性地震などから放出されたガスを産み出した。この間のマグマは北伊豆から箱根にかけて最も活発で、伊豆半島北部の中伊豆で地盤をもっとも隆起させた。

中伊豆が隆起すると、大島地塊は沈降する。実際、大島地域では、マグマ活動の指標となる火山性地震群はその時もみられた。上方からは岩塊の自重がかかり、下方からはマグマの押し上げがあって、それらによって圧縮された岩層が割れたのである。地殻は大島の西方で直接破壊された。これが大島近海地震である。国土地理院によると、大地は地塊の北部と南部で異なって動いた。余震は2つの地塊の境界部に位置していた。1978年大島近海地震の約2年前から、火山帯-箱根-伊東-大島に沿って、おびただしい地震活動があった。マグマ活動が伊豆大島

近海地震を発生させたと言える。

6) 首都圏南部と同東部とで発生する地震の相関関係

1930年11月26日の北伊豆地震は強烈であった (M=7.3); 地震断層のひとつのオフセットは工事中のトンネルを塞いだ。北伊豆地震の4年前には、富士山の直下で火山性地震があった。その2年前には大島の火山が噴火し、9ヶ月前には伊東湾の地盤を10cm隆起させるような群発地震が起きた。これら全ての先行現象とか前震過程の地震があった後、北伊豆地震が発生した。後震過程はきわだっていて、その過程で発生した地震 (M3.0ないしそれ以上) は全て、地殻ブロックの境界に位置している (図29)。

1930年北伊豆地震での、地殻ブロックの動きを検討してみよう (図30)。マグマは最初にブロックを押し上げて地震を起こす。しかし、ブロックの反対側は、摩擦力のため、隣接ブロックとともに一緒に押し下げられる。北伊豆地震の1年後に発生した地震 (1931年西埼玉地震, M=6.9) が最大余震であった。

7) 首都圏南部地域地震の巣

この地域の地震は、東へ移動するようにみえる。これは個々の地殻ブロックが東傾斜で傾くために発生する。事実、このような動きのパターンは2006年にも繰り返された (図31)。

首都圏南部地域におけるこの地震発生現象のパターンは、地震の規模に関係なく、古くから繰り返されている。地震が原因で、地殻ブロックが揺動するためである。富士火山帯直下のマグマが活発化するときはいつでも、地震はブロック境界 I, II, III, IV に沿って強く発現する。

現在、首都圏で最も脆弱な地域は図31のIII地帯一埼都地帯である。次の図 (図32) は、この地帯内の数多くの被害地震を示している。マグニチュード6~7の地震がほぼ10年間隔で発生してきた。その地域は人口密度の高い地域なので、将来の地震に対して特別の注意が払われなければならない。

8) 地層の飛び跳ねモデル

図33は、首都圏地域における2005年のVEイベントによる地震のメカニズムを示している。この過程は大島火山島と周辺地域の地盤の隆起によって生じた。伊豆半島と鎌倉地域の東海岸の地盤は、この変動によって、東へ傾動してしまった (国土地理院ホームページ。2009-<http://www.gsi.go.jp/sokuchi/level/KENSOKUSYUROKU/index.htm>)。

5つの深部裂かが上部地殻に発達した。首都圏南部地域における地震発生層は、鮮新-更新世の変動によって形成された (図27)。地震発生層のマグマ活動によって傾動した後、これらの裂かは応力を受け、既存断層を再活動させた。それは断層ブロックをずらせ、頻発する地震を生じさせた。図33に示したVEイベントの繰り返しは、

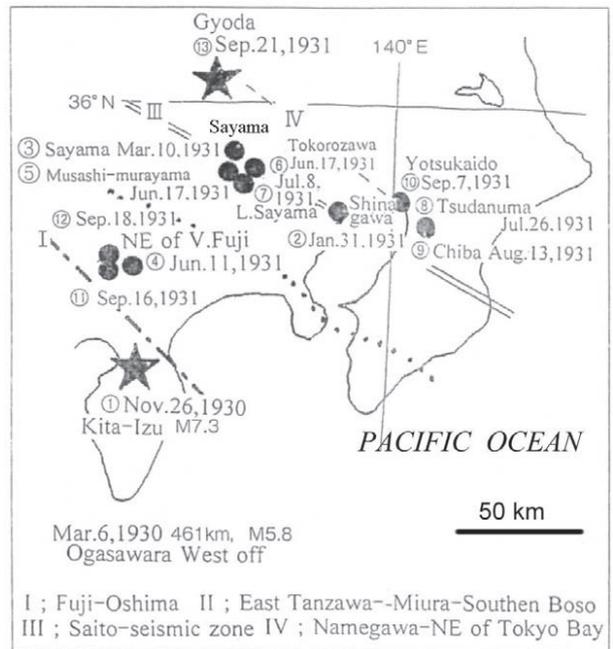


図29 首都東京圏における地震活動帯

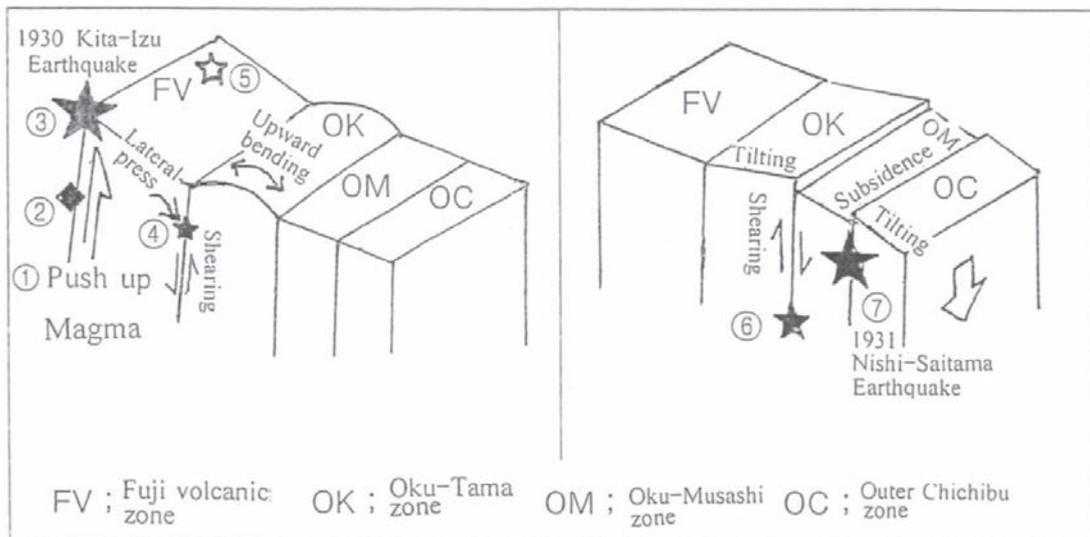


図30 神奈川~埼玉地域内の1930-1931年間の地震過程に関連したブロック運動

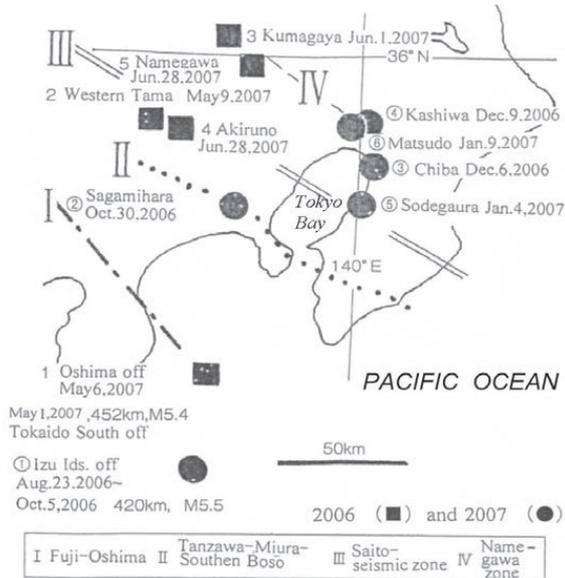


図 31 2006年 (■) および 2007年 (●) の VE イベント

首都圏南部地域における地震の癖である (図 28)。

富士火山帯は頻発する極浅発地震にさらされてきた。さらに、埼玉地震帯で発達した地震は地下約 50-90km に集中している (図 34)。震源断層から派生した垂直断層が富士火山帯にみられ、東京地域では低角断層に分岐する (図 35)。地震は地震発生層の揺動によって生ずるのである。

1987年 12月 17日の九十九里浜沖の地震 (千葉県東方沖地震, M6.7) は中程度の規模の地震であった。しかし、それは甚大な被害をもたらした: 死者 2名, 倒壊家屋 63,000棟, 地すべり 35ヶ所, 道路被害 1,565ヶ所。この地震は、兵庫県南部地震でみられたように、この地震には、前震過程が認められた (図 13, 14)。

前震過程の地震は長方形の縁辺に沿って分布している (図 28)。10ヶ月以内に、富士火山帯から始まり、埼玉地帯へ移動する、3つの地震が繰り返し起こった (図 27)。ほとんどの場合、ひとつの過程は 1年以上かかるため、この現象は異常といえる。

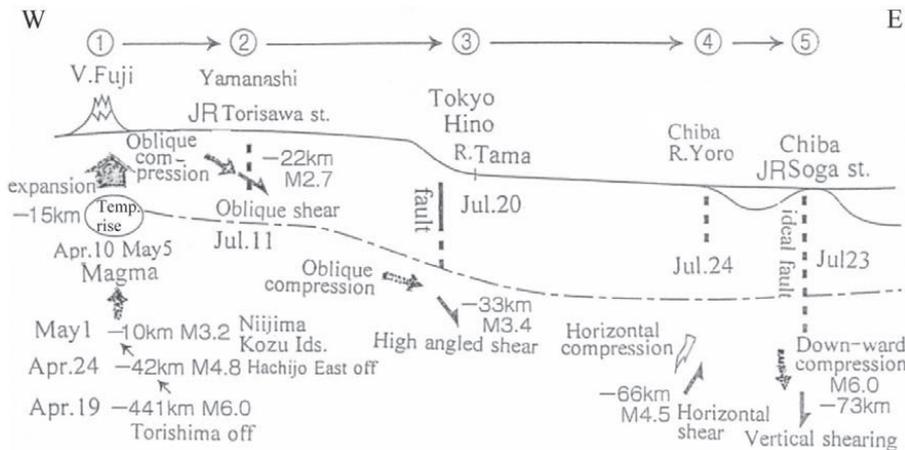


図 33 首都東京圏における 2005 年 VE イベントの地震メカニズム

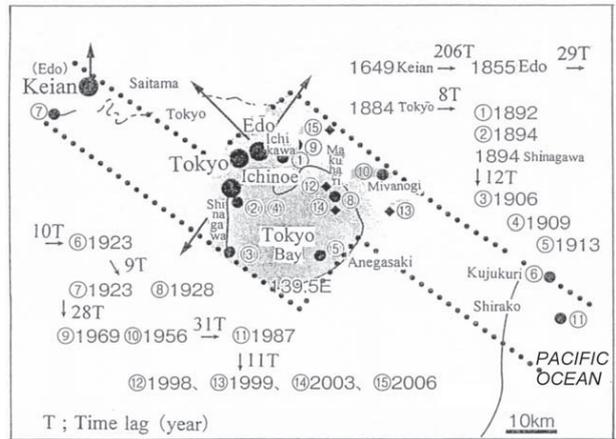


図 32 埼玉地震帯と被害地震

本震は激しく図 30 のブロック A を揺さぶった; 既存の断裂があるブロックだけが激しく揺れた。余震を含む後震過程は全く同じ場所、ブロック B で発生した (原著者注; 図 30 に該当する図は挿入時に欠落して無い。ブロック A はほぼ房総地域で、同 B は、その北に隣接する下総地域に分布する)。

9) あらたな視点からみた東京の歴史的大地震

1855年 11月 11日、きわめて強いゆれが現在の東京地域を襲った—安政江戸地震 (M6.9, 図 25) である。その地震は死者 4000名, 倒壊家屋 10,000棟と報じられた。この地震に先立ち、富士山では 1854年~1855年に地熱活動が生じ、新潟の焼山では 1852~1854年に噴火した (原著者注; 本文の Yakiyama Volcano は Yakeyama の誤り)。さらに、二つの大地震が立て続けに起こった: 1854年 12月 23日の安政東海地震 (M8.4), 1854年 12月 24日の安政南海地震 (M8.4)。M6~7の非常に多くの地震が近畿から関東にかけての広い範囲で続いた。

安政東海地震と安政南海地震の後も、富士山は地熱活動が続き、地震発生層を突き上げる段階に達した—それは引き続き二つの大地震を誘発した: 1855年 11月 7日の遠州灘地震 (M7.0~7.5) および安政江戸地震 (前述したように 1855年 11月 11日)。後者は前者の 4日前に発生した。驚くべきことに、ふたつの地震の位置は富士山

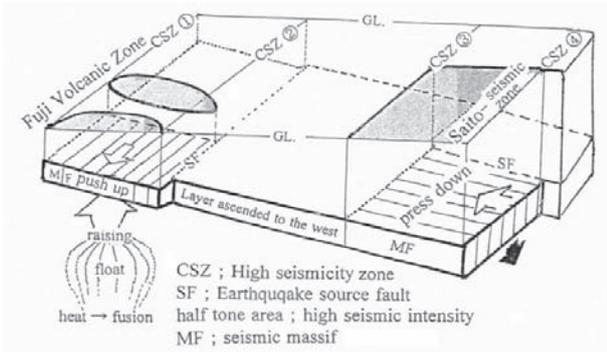


図 34 地震発生層の揺動運動

からちょうど 65km のところである。このことは富士山直下にある地震発生層の突き上げのためと考えられる。同時に発生する大地震は富士火山帯下のマグマの熱作用が原因であった。Blot・Choi(2006) は、Merapi 火山と 2006 年 5 月のジャワ地震で同様の現象に気づいた。

要約すると、関東地方の地震の癖は以下のとおりである：

- フィリピンから MJ ルートを通ってきた熱は、約 40 年周期で伊豆諸島を含めた富士火山帯に達する。
- その移送された熱エネルギーは、富士火山帯直下の地殻を暖め、地盤を隆起させ、関東地方の地殻ブロックを動かす。
- この過程が地震を誘発する。

10 数年 (訳者注：a ~ 10-year = a ten-odd years) の周期もある。それらは 40 年周期と同様の形式をとる。

結論

地球の外核で生じた熱エネルギーは、南太平洋下のスーパープリュームに沿って上昇し、下部・中部マントルへ広く入り込む。深部の岩層は移送する熱エネルギーによって熱せられ、そこで深発地震が発生する。浅部マントルでは、熱エネルギーが絶え間なく入り込むことによって、熱せられた地域を膨張させる。その結果、上位の断層で区切られた地殻ブロックで、浅発地震や火山噴火が発生する。

これらの火山・地震活動 (VE イベント) はスーパープリュームから環太平洋全域へ移動する。西へ向かう 2004 年の VE イベントはスマトラ島へ達し、母岩は熱により膨張し、後に破断した。ガスで充満された火山活動は、次第に激しさを増し、小～中規模の地震を頻発させ、大規模なスマトラ沖 Boxing Day 地震を導いた。この巨大地震の後、多発地震は、SC 熱エネルギールートをぬけ、北へ向かい、2008 年に壊滅的な地震 (M8.0) が発生した中国西部の Wenchuan へ達した。

南太平洋のスーパープリュームから日本へ北進する VE イベントは、環太平洋火山・地震帯に沿って遷移している。巨大地震の周期は 30 ~ 50 年である。日本列島には、熱せられ不安定な下部地殻 (非震性層) が分布してい

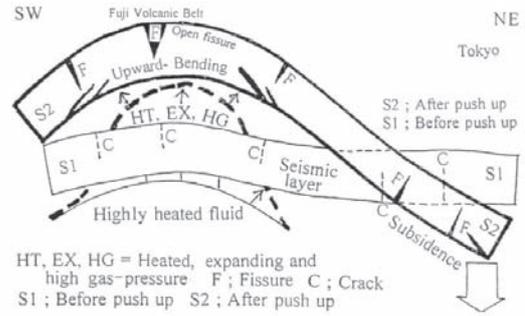


図 35 地震発生層の変形メカニズム

る。日本列島の被害地震の巣は上部地殻 (地震発生層) で、不安定な無地震層の上位にある。地震発生層で認められ、断層ブロックを区切る深部断層は高温化が起りやすい地下深部にまで達している。そうした広い境界部では揺れが非常に強い。

地震活動の予知は、それぞれの地域における過去の記録に基づき、地震の癖を分析することによって可能になることを願っている。

追記

私は、地震の癖という表題のもとで、火山活動と地震活動を追い求めている。私は、研究を進める過程で、地球の全史を通じて、造構イベントの主役は熱であろう、との結論にたった。しかし、私の VE イベントの研究で対象にしたのは、ほんの数 100 年という短い期間であり、地理的な範囲も限られている。この課題を完全に全うするには、まだ膨大な研究がなされなければならない。私は今後もこの仕事を遂行し続けるつもりである。

私の急務は、伊豆半島直下 600km の深発地震の後、なぜたった数日で、火山性地震が火山島で発生するのか、ということを理解することである。本論の 1 章である考えを述べた：電子レンジ構造。電磁気と地震との関係は、早急に解決すべき課題である。また、熱せられた岩石が熱やマグマの状態が変わる中で、どのように振る舞うのかを明らかにしなければならない。このことは、岩石破壊と地震発生との関係を理解するうえで、特に重要である。

地震周期では、多くの興味深い問題がある。今後の研究で、30 ~ 50 年周期が明らかとなる。火山活動と地震との関係はさらに明らかにされるであろう。これらが明らかにされた暁には、これらがより確固たるものになるので、それぞれの地域ごとの地震予測がより現実的なものになるだろう。

地震被害をもっと軽減するためには、地震の癖と地盤のゆれの両者を理解しなければならない。前者は、後者が正しく理解されたときにはじめて、さらに意義深いものになる。両方の分野でのさらなる理論的な研究が将来にむけての課題である。

本論の最後に、個々の現象を大切に研究を進めるように教えて頂いた恩師の故藤田至則教授、ならびに、マグマ活動に起因する地震活動について教えていただいた南雲昭三郎博士に心から御礼申し上げます。Dong Choi氏とDavid Pratt氏には、著書全体の翻訳・英文と図の校正などをはじめとする格段のご協力をいただいた。厚く御礼申し上げます。知識の限界を広げてくださり、励ましと建設的な意見を頂いている多くのNCGTメンバーに心から感謝致します。

文 献

- Blot, C., 1976. Volcanisme et sismicité dans les arcs insulaires. Prévision de ces phénomènes. Géophysique, v. 13, Orstorm, Paris, 206p.
- Blot, C. and Choi, D.R., 2006. On the recent catastrophic Java earthquake (May 26, 2006) and Merapi Volcano eruption: Their forerunners. NCGT Newsletter, no. 39, p. 31-36.
- Fujita, Y., 1970, Crustal Movements around Island-Arcs in Northwest Pacific since Late Cretaceous. A symposium Island arc and ocean, 1-30, University of Tokai Press, 227p., Tokyo. (with English abstract)
- Fujita, Y., 1972, On the Law of the Green-taff orogenic Movement and Geosynclines. Pacific Geology, no. 5, p. 89-116, Tsukiji-Shokan, Tokyo.
- Fujita, Y. and Yoshitani, A., 1979, Data of the Neogene collapsed sedimentary basin. The memoirs of the Geological Society of Japan, no.16, p. 221-229. (In Japanese)
- Geospatial Information Authority of Japan, 2010. <http://www.gsi.go.jp/sokuchi/level/KENSOKUSYUROKU/index.htm>
- JMA, 2006, http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/sendai/2006y/213_06y.pdf
- Minato, M., Gorai, M. and Funahashi, M. [eds], 1965, The Geological Development of the Japanese Islands. Tsukiji Shokan, Tokyo, 442p.
- Mogi, K., 1967, Earthquakes and fractures. Tectonophysics, v. 45, p. 35-55.
- Mogi, K., 1968, Migration of seismic activity. Bull. Earthq. Res. Inst., v. 46, p. 53-74.
- Mogi, K. 1969, Relationship between the occurrence of great earthquakes and tectonic structures. Bull. Earthq. Res. Inst., v. 47, p. 429-451.
- Mogi, K., 1973, Relationship between shallow and deep seismicity in the western Pacific region. Tectonophysics, v. 17, p. 1-22.
- Nakajima, J. and Hasegawa, A., 2006, Anomalous low velocity zone and linear alignment of seismicity along it in the subducted Pacific slab beneath Kanto, Japan: Reactivation of subducted fracture zone? Geophys. Res. Lett., v. 33, L16309, doi: 10.1029/2006GL026773.
- Nakajima, J. and Hasegawa, A., 2007, Subduction of the Philippen Sea plate beneath southwestern Japan: Slab geometry and its relationship to arc magmatism. Jour. Geophys. Res., v. 112, B08306, doi: 10.1029/2006JB004770.
- 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.
- Suganomata, J., Okada, T., Hasegawa, A., Zhang, H. and Thurber, C., 2006, 3D Seismic Velocity Structure in and around the Source Region of the 2001 M6.7 Geiyo Intraslab Earthquake, SW Japan. Zishin, Jour. Seis. Soc. Japan., v. 59, p. 87-105. (In Japanese with English abstract)
- Tsunoda, F., 2001, Middle Pleistocene Uplift of the South Fossa Magna Region. Himalayan Geology, v. 22, no.1, p. 17-25.
- Tsunoda, F. 2002, Mio-Pliocene Geotectonic Development of the Northern Izu-Bonin Arc. Pro. Int. Symposium on NCGT, May 2002 (Colorado USA), p. 209-212.
- Tsunoda, F., 2009a. Jishinno Kuse (Habits of earthquakes). Kodansha, Tokyo, 190p (in Japanese).
- Tsunoda, F., 2009b. Habits of earthquakes. Part 1. Mechanism of earthquakes and lateral thermal seismic energytransmigration. 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.
- Usami, T., 1996, Materials for comprehensive List of destructive earthquakes in Japan. University of Tokyo Press, 493p. (in Japanese)
- Yoshii, T., 1972, Terrestrial heat flow and feature of the upper mantle beneath the Pacific and the Sea of Japan. Jour. Phys. Earth, v. 20, 271-285.
- Zhao, D., Hasegawa, A., and Horiuchi, S., 1992, Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan. Jour. Geophys. Res., v. 97, p. 19909-19928.

全地球的な地震の同時性について

GLOBAL SEISMIC SYNCHRONICITY

Dong R. CHOI

Raax Australia Pty Ltd 6 Mann Place, Higgins, ACT 2615, Australia

raax@ozemail.com.au; www.raax.com.au

（小松 宏昭 [訳]）

要 旨：1973 年以後の地震の有力なデータは、地球上の多くの場所で発生した多くのマグニチュード 5.0 以上地震には同じような傾向があることを示している。1976 年から 1995 年は全体的に活動が活発であり、1996 年から 2003 年までは活動は低調である。そして 2004 年から現在までは活動は活発となる。南西太平洋と南東アジアは非常に似通ったパターンを示し、チリは 1～2 年遅れて同様の傾向を示す。カリブ海と地中海は比較的小規模な変動を示し、研究された期間を通じて安定である。1980 年以降、前者における地震の活動サイクルは、3～4 年の時間的な遅れを伴い、太陽黒点の活動周期と極めて関連性が強いことを示している。しかしそれ以前では、（地震と太陽黒点の）明確な関連性ははっきりせず、地震のサイクルに影響を与える他の複合要素が考えられる。M=7 以上の非常に強い地震で起きた劇的な変化は 1990 年から 1991 年の間に起こった。それ以前はそうした変化は浅い所で独占的に起こった。しかし 1991 年以後、深部での変動に取って代わられた。この期間は、新しい地球的規模の地震サイクルの始まりと考えられる。地震の活動の休止期は、研究対象のほとんどの地域、特に南西太平洋において 1996 年から 2003 年まで明確に見られる。この時期は太陽黒点の活動サイクルの谷間と符合する。研究された地球的規模の同時発生的な地震活動は、テクトニックなプレートの衝突や沈み込みでは説明することができない。その代わりにこの地震活動は、地震のエネルギーが地球の外核からもたらされていることを強く示唆する。1980 年以降の太陽黒点と地震活動の関係から、太陽はテクトニックな火成活動や全地球的な気候変動を含む地球のダイナミクスに影響を与えてきたと推定される。地球の核それ自体、そして、太陽や他の惑星と地球の核の活動との相互作用に関する包括的な研究は、今やわれわれにとって最も重要なテーマとなっている。

キーワード：全地球的な同時性地震、地震の休止、地球の核、深発地震、太陽黒点、太陽と地球の相互作用

はじめに

筆者は、NCGT54 号で先ごろ発行された 2 つの論文の中で、地震は地球上の多くの地域（地中海・カリブ海・南西太平洋）で同時に起こる傾向があることを指摘した。南西太平洋・カリブ海・地中海における地質学、地球物理学そして地震学に基づくデータから、筆者は地球の核が地震のエネルギー源であると結論づけた。

筆者は全地球的規模での地震の（同時）発生傾向をより確かなものにするため、チリと南東アジアおよび東アジアを分析と比較のために加えた。その結果は図 1 に示した。一般的に言って、世界中のマグニチュード 4 以上の地震は、2004 年と 2008 年の間をピークに 1995 年以降どの地域でも同時的に増加している。

一方、マグニチュード 5.0 以下の小規模な地震を調べてみると、データの信頼性や質の問題に出くわしてしまう。というのは、それら小規模の地震は機器や測定範囲の影響により敏感であると考えられるからである。実際多くの地域で、特にマグニチュード 4.0 以下の地震について人工的な影響が認められている。1981 年の以前の地中海地域、1995 年以前の東アジア・南東アジア・南西太平洋そして 1998 年以前のチリ・カリブ海地域である。マグニチュード 4.0～4.9 の地震に伴う現象に対して、地中海

地域（1980 年代に至るまで）、チリ（1990 年）そしてカリブ海地域（1987 年）のような何箇所かの地域で、人工的な影響がより細部の段階で認められる。したがって図 1 の地震の発生頻度を表した図は、1991 年以降のものは信頼できると考えられる。地震活動の 1995 年以降の全地球的な同時的増加は確かなものである。

われわれが考慮すべき他の要素は、マグニチュード 5.0 以下の地震のほとんどが同じ地域のより大きな前の地震によって引き起こされることである。このことは、校閲者の一人によって適切に紹介されている (Venkatanathan, 私信, 2010 年 6 月 19 日)。またわれわれは、マグニチュード 4.0～4.9 の地震がマグニチュード 4 以上の地震のほとんど (90% かそれ以上) を占めることを思い起こす必要がある。このためにマグニチュード 5.0 以上の地震の重要な特徴が、それより小規模な地震によって覆い隠されてしまっているのである。これらの議論に基づき、この論文において私は主としてマグニチュード 5.0 以上の地震に焦点をあて、世界中の地震活動の傾向について検討する。

地震発生の一般的な傾向とそれらの同時性

データは USGS NEIC の 1973 年 1 月から 2009 年 12 月までの資料から引用した。研究対象とした地域の詳細な

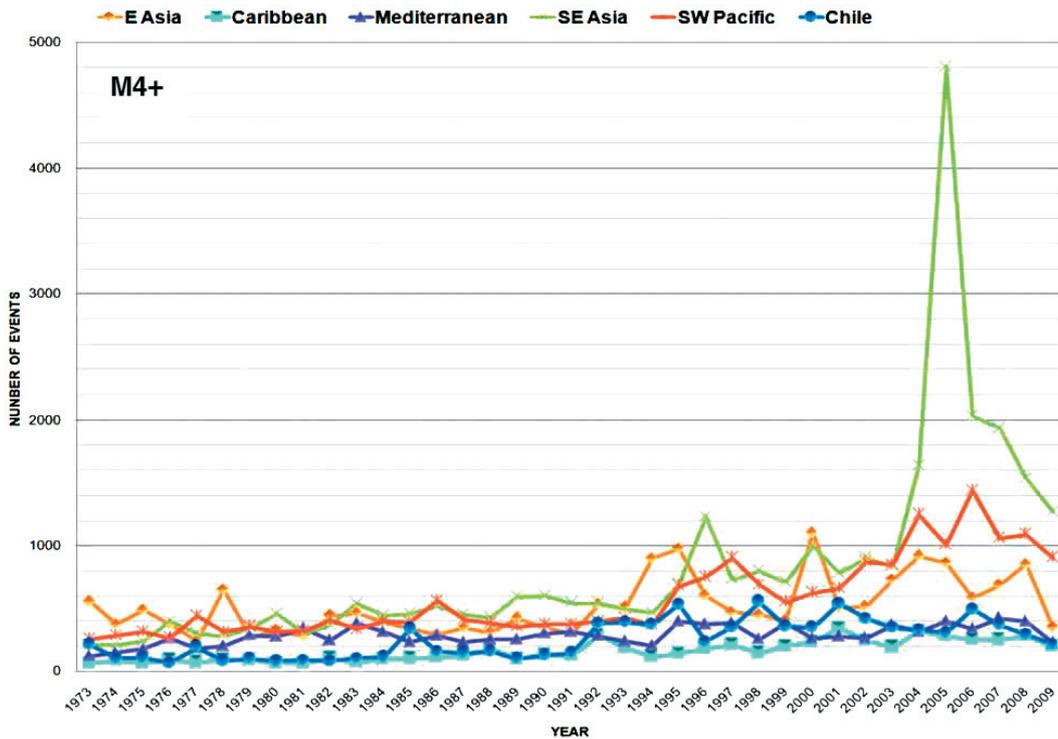


図1 マグニチュード4以上の地震の世界的な比較. 1991年より前の数が少ないのは, すでに述べたように観測機器と観測領域に関する様々な問題に起因する.

表1 研究対象地域のリスト

Locality	Longitude	Latitude	Total number of samples (M5.0+)	Reference
Caribbean	-56 to -90	10 to 22	797	Choi, 2010b
Chile	-63 to -75	-24 to -40	1297	
SW Pacific	177 to -170	-13 to -28	5493	Choi, 2010a
SE Asia	90 to 127	10 to -10	7296	
East Asia	125 to 150	30 to 50	3782	
Mediterranean	0 to 45	30 to 50	875	Choi, 2010a

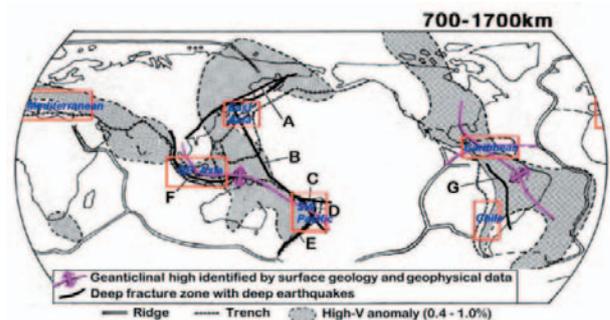


図2 研究対象地域. 深尾ほか (1994) による深度 700 ~ 1700km のトモグラフィ図. 構造線は Choi (2005). A ~ G は深発地震を伴う主要な深部構造帯.

データは以下に示した (表1; 図2).

それぞれの地域に関する2つの図は, NEIC のデータから作られた:1) マグニチュード5以上の地震の発生回数 (図3), ならびに, 2) 年ごとの地震発生深度の断面図である.

1. 毎年の変動の頻度

図3は年毎の地震の発生回数とすべての地域での毎年のマグニチュード5以上の地震の変動を示している. 一見して南西太平洋, 南東アジア, そしてチリは1975年から1996年までは活動が活発である. 1997年から2003年までは活動が低調であり, 2004年から2009年までは再び活動が活発になる. 前2つの地域は非常に似通った傾向を示すが, チリは活動傾向が1年~2年遅れてやってくる. 東アジアでは1996年より前の1978年と1994年に突出したピークを伴う大きな振幅が見られる.

一方, カリブ海と地中海地域 (ともに深発地震が見られ

ない) では, 強い地震はかなり少なく, また, 調査対象とした期間では著しい変化を伴わず (図3・図4), 世界的な傾向に従っていないように見える. しかし, カリブ海と地中海地域でマグニチュード4以上の地震が増加する傾向は他の地域と同様である (Choi, 2010a の図9).

2005年の南東アジアでの地震の回数の多さは, クリスマス翌日 (2004年12月26日) の大地震 (スマトラ沖地震) の余震とその後のインドネシアの他の地域で起こった大規模な地震によるものである. 図には含まれていないが, 同様の事実が2010年のチリ地震の余震に見られる. 地震後2ヶ月以内に起こったマグニチュード5以上の余震の数は約300回に達するのである (USGS NEIC, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/Eqarchi/epc/>).

2. 年代と地震発生深度の断面

図4のX軸は年代, Y軸はマグニチュード毎の地震の深さを示している. すべての地域でマグニチュード5から

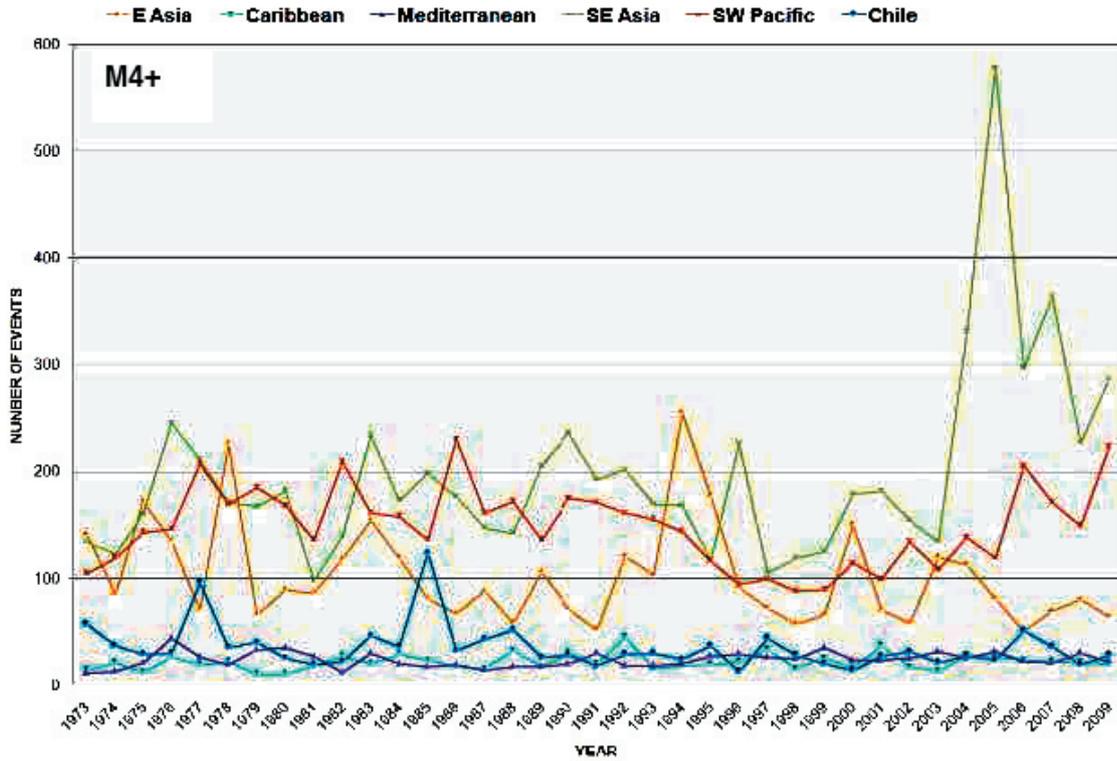


図 3 M 5 + 地震数の経年変化

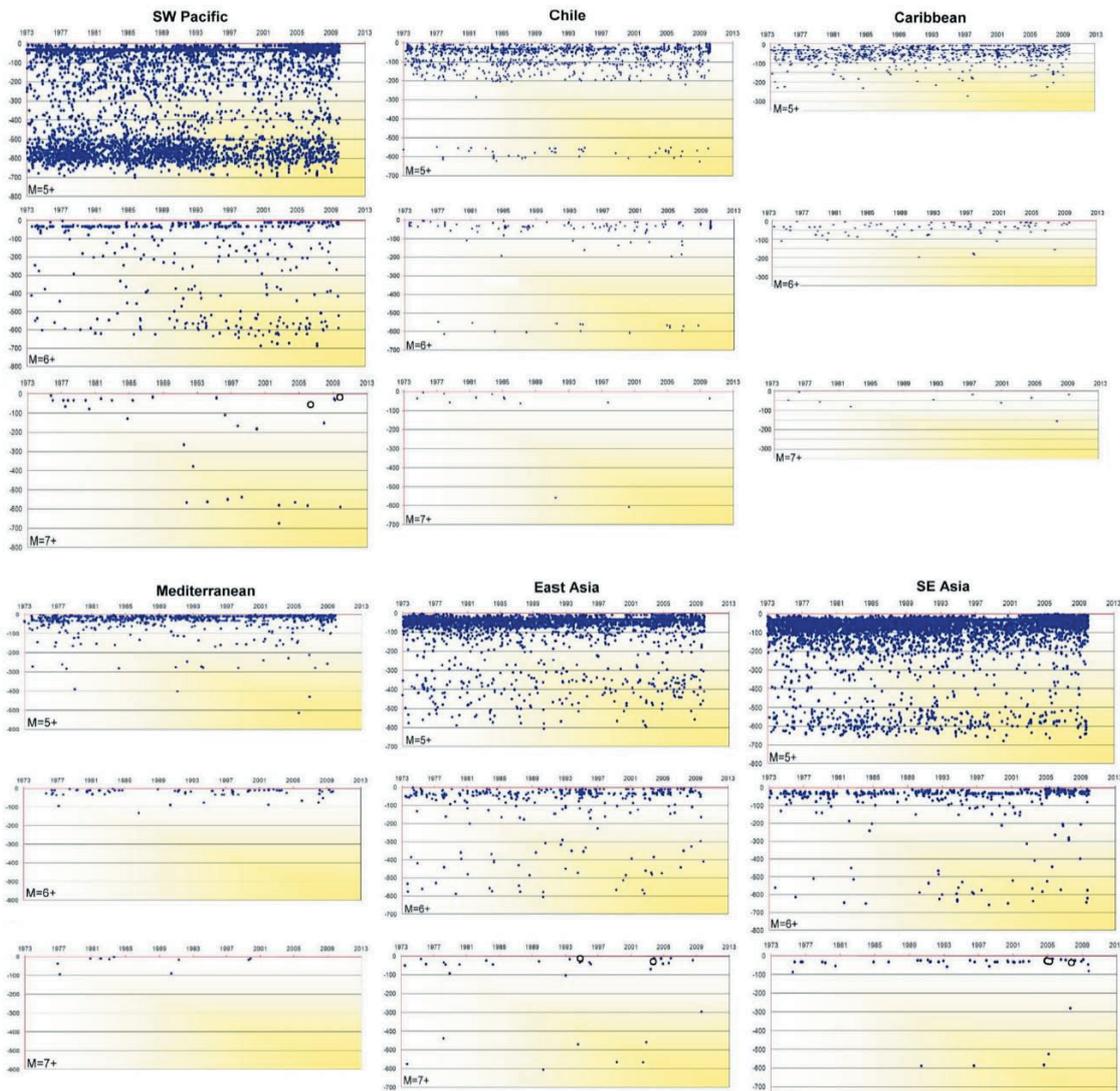


図 4 1973 年から 2009 年までの地震の年代別深度分布. マグニチュード 7 以上の地震の断面に示された ○印はマグニチュード 8 かそれ以上の規模の地震を示す.

表2 1990～1991年に発生した深部大規模地震リスト

Locality	Date	Magnitude	Depth (km)	Note
Mediterranean	26/02/1990	5.3	401	
East Asia	12/05/1990	7.2	605	
SE Asia	24/05/1990	7.1	588	
SW Pacific	30/09/1991	7.0	566	Two more large ones in 1991 & 1992 between 250 and 390 km. M=6+ quakes also become intensive from 1991 onwards.
Chile	23/06/1991	7.3	558	
Caribbean	1/03/1991	6.2	196	

マグニチュード6.9までの地震は、多かれ少なかれ1973年から2009年まで同じように発生しているが、1990年から1991年ではマグニチュード7以上の地震とマグニチュード6から6.9の強い地震の発生において劇的な変化が見られる。それらの地震は、1990年-1991年からそれ以後突然あらゆる深さで発生しているように見える。それ以前は大規模な地震は、1973年と1978年の2回に深部で発生した東アジアと強い深発地震の発生しない地中海地域を除いてほとんどの地域において浅い部分で発生していた。この傾向はカリブ海でも同様である。カリブ海では深さ310kmを越える地震は知られていないが、1991年以降マグニチュード6かそれ以上のものが150kmより下の中くらいの深さで発生している。図2には1990年から1991年の非常に深いところで発生した大規模地震をリストアップした。

その他の強調されるべき興味ある事実は、表3にあるように、チリを除いた地域は1996年から2003年まで地震活動が休止にあるということである。そのことは図3の地震の発生頻度を示すグラフによく表れている。この休止期は、主にマグニチュード5.9以上の深くて強い揺れが発生している南西太平洋以外の地域の50kmより浅

表3 地震の休止期

Locality	Period	Note
Mediterranean	1996 to 2002	Best seen in small quakes, M4.0 to 4.9 (see Fig. 5).
East Asia	1997 to 2003	
SE Asia	1996 to 2001	
SW Pacific	1996 to 2003	Quiescence throughout the upper mantle (700 km) and the crust. Sharp start and sharp end.
Chile	Not recognized	
Caribbean	1994 to 2001	But not clearly recognizable even in M4.0 to 4.9 quakes.

い部分で見ることができる(Choi, 2010a, p.31-32を見よ)。南西太平洋地域はスーパープレームが外核から直接上昇してくる場所である(Kawakami et al., 1996)ということから、この特別の地域においては、外部からの力の影響が地球の内部に向かってより深く突き抜けていっているということを暗示しているのかもしれない。

考 察

地震と太陽黒点との関係

地震と太陽黒点活動との関係は正確な分析がなされていないので、この段階での結論は拙速であるといわざるを得ない。しかしながら1980年以降、太陽黒点の増大期と減少期と地震活動には、3～4年の遅れを持ってはつきりした関係が見られる。しかしながら、チリと南西太平洋における1976年から1978年の活動曲線の中での初期の地震活動のピークは、太陽黒点の活動傾向とは一致しない。太陽黒点数は、1972年から1976年には段階的に減少した。

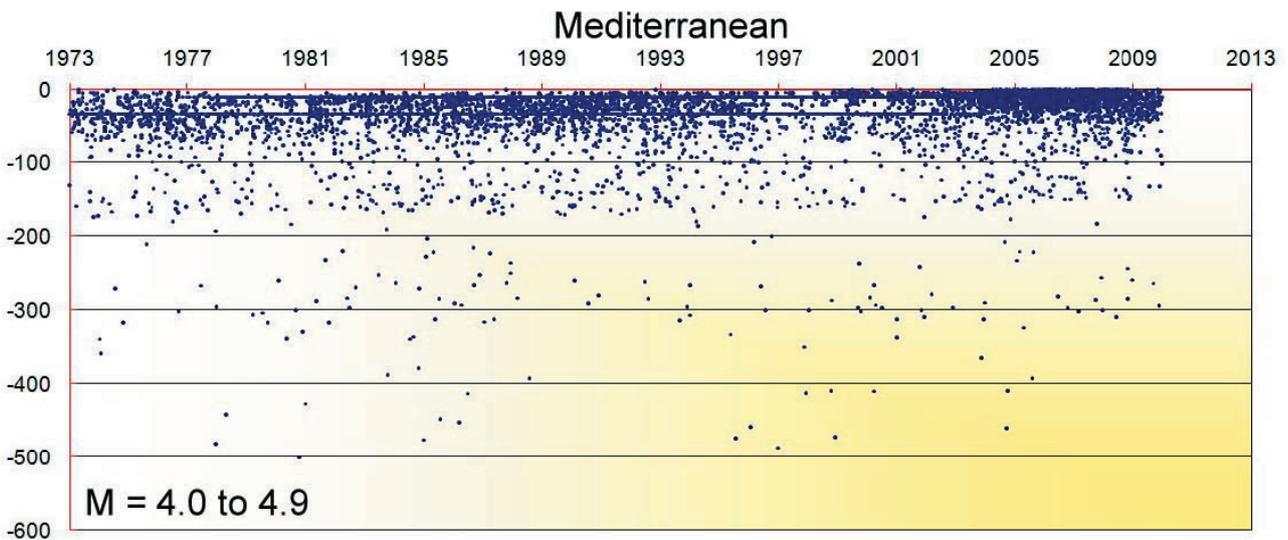


図5 地中海地域におけるマグニチュード4.0から4.9の地震。1996年から2002年の間では50kmより浅い部分に明らかな地震の休止期が見られる。しかし、マグニチュード5.0以上のより強い地震ではそれは明確ではない(図4)。他の多くの地域では、1997年以前においては、マグニチュードが5.0以下の地震は観測機器や機器の設置範囲による影響が大きい。地中海地域では1980年まで人為的な影響が見られる。

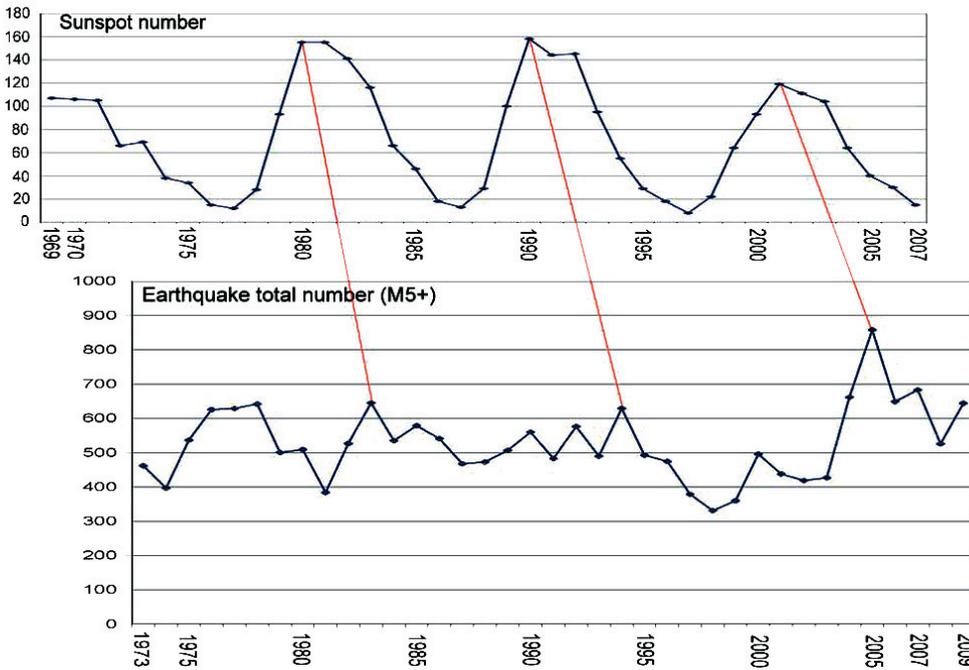


図6 M5+の大地震の総数(下図)と太陽黒点(上図)の比較. 1980年以降の可能性がある対応関係が赤線で示される. もし正しいとすると, 地震ピークは, 黒点ピークよりも3~4年の遅れを示す. 太陽黒点データはEndersbee(2007)から.

これらの曲線は, 地震というものは複合要因—太陽, 外力, そして, おそらくは地球の核の活動周期—によって影響されている, ということの意味するのだろう.

太陽と地球との相互作用は, Gregori(2006)とEndersbee(2007)によって議論されている. Endersbeeは, 太陽黒点の増減周期を地球温暖化と関連づけた. 最近の研究は彼らの議論を支持している. しかしながら, 太陽と地球との間の明確な関係をより明らかにするためには, 統計学的な研究とそれに付随するデータが必要である.

1996年から2003年間の明確な地震休止期は, 1996年から1998年までの黒点の減少期に関係がある. この休止期は, 1996年から1998年の地震の減少が最も突出していることから, 他の外的な力(Kolvankar, 2007; Straser, 2010)と結びついた効果を意味している.

太陽黒点の増減周期から3~4年遅れて地震の周期がやってくるということがもし本当であるならば, それは非常に興味のある事である. この研究で分析された地震の大部分は, 南西太平洋を除いて100kmより浅い所で起こっている(図4). したがって, 図6に示された地震の活動周期は浅い箇所での震動の周期を反映している. われわれは, すでに深部(およそ600kmくらい)での震動によって解放されたエネルギーは普通3.5~4年かけて浅い部分に到達し, そこでの突然の地震の引き金になることを知っている(Blot, 1976; Grover, 1996; Blot et al., 2007). このことは, 外核から解放されたエネルギーは深さ600kmの部分にすぐにあるいは非常に短い時間で到達し得ることを意味している.

地球の外核からもたらされた地震のエネルギー

全地球的に同時発生する地震現象とその起源は, 共通す

る単一のエネルギー源—地球の外核—を想定することによってのみ説明することが可能である. 著者は, 深発地震帯が高速異常マントルブロックの境界に沿って, あるいは, その近傍に位置する深部破砕帯に関係していることをすでに指摘している(図2を見よ; Choi, 2005). 公表された地震トモグラフィ断面図をみると, これらの線状の深部破砕帯が高角から中程度の角度をなして, マントルの底まで達して(Choi, 2005, 2010a & 2010b; Fukao et al., 2001; Kara son and van der Hilst, 2000; Romanowicz, 2003), 地震のエネルギーが核由来すること支持している. さらに南西太平洋における深さ550km付近のトモグラフィ球面に描きだされた高熱流帯, 深発地震分布, および深部に位置する構造帯との間の完全な組み合わせは, 地震のエネルギーが核からもたらされたことを証明している(Choi, 2010a). より広域的には, 南西太平洋とアフリカの下に核から発散される巨大なマントルプルームがKawakamiほか(1991)によって描かれている.

1990年から1991年の地震の新しい周期の始まりは, 見での通り非常に強く, 深発地震は外核の活動に直接関係していると考えられることから注目に値する. この点では, 1990年は太陽黒点の活動ピークである(図6). 地震の活動周期は30~50年であるから(Tsunoda, 2010b), われわれは今新しい周期の中間点にいることになる. もしこれが正しければ, 強い深発地震の数は減少していくはずであり, 一方浅くて強い地震は, もっと頻繁に起こるはずである.

地球の外核から地球表面付近にエネルギーが発散されるという考えは, 地球力学を考慮する上で広い関連分野と発展性を有している. Storetvedt(2003)の地球の脱ガス仮説とGregori(2009)の温かい泥の構造地質学[warm mud tectonics]はこの論文において観察された事実と一

致する。

地震トモグラフィデータに支持された Meyerhoff et al. (1992) のサージテクトニクス, Bolt (1976) の ET 概念, そして角田 (2009) の VE 過程といった仮説は, すべて, 核よりもたらされたエネルギーが 3 次元的に伝達されていることを推定している。これらにしたがって, われわれは新しい有力な地球力学モデルの構築に一步近づくことができる。私は, この論文が地球の核, 地球力学, 地球全体の気候, そして太陽や他の惑星との相互作用に関する研究が多くなされるきっかけとなることを希望するものである。

結 論

- 1) 地震は地球の外核からもたらされるエネルギーによって引き起こされる。決してプレートによる沈み込みや衝突によって起こるものではない。マグニチュード 7 以上, 深さ 500km 以上の場所で起こる強い地震は, 核の活動に直接関連するものと考えられる。
- 2) 1980 年以降についてみると, 太陽黒点の増減周期は 3 ~ 4 年遅れてやってくる地震の活動周期との間に明確な関連性が見られる。
- 3) 規模の大きな深発地震で明らかなように, 新しい地震の周期は 1990 年から 1991 年に始まっている。この時期は太陽黒点の活動期と一致する。
- 4) 1996 年 ~ 2003 年の間の浅い地震に主として見られる活動休止期の原因を, 地球の核の活動周期と同様に, 太陽や他の惑星を含む外部の力との相互作用との関連で理解するにはさらなる研究が必要である。南西太平洋下の深部での地震の休止は, 外部の力とスーパープレュームの間で起こりそうな相互作用を考える上で興味をそそられる現象である。
- 5) 太陽活動と関連する地球の核の活動は, 全地球的力学や気候変動, そしてその他の現象を考える上で幅広い関連性や発展性を有している。

謝辞 Vinayak Kolvankar 氏, Nataria Venkatanathan 氏, そして Giovanni Gregori 氏には初期の原稿の段階で様々な批評をしていただいた。Raax Australia Pty Ltd の IT 専門家の Minghe Frank Li には図 3 と図 5 を用意していただいた。そして, David Pratt 氏には英文を検討していただき, また有益なコメントをいただいた。

以上の方々に心から感謝したい。

文 献

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

Blot, C., Choi, D.R. and Vasiliev, B.I., 2007. The great twin earthquakes in late 2006 to early 2007 in the Kuril Arc: their forerunners and the seismicity-tectonics relationship. NCGT Newsletter, no. 43, p. 22-33.

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

Choi, D.R., 2010a. Tectonic significance of the 29 September 2009 Samoa earthquake. NCGT Newsletter, no. 54, p. 23-35.

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

Endersbee, L., 2007. Climate change is nothing new! NCGT Newsletter, no. 42, p. 3-17.

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

Gregori, G., 2009. The Earth's interior – myth and science. NCGT Newsletter, no. 53, p. 57-75.

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

Karason, H. and van der Hilst, R.D., 2001. Improving global tomography models of P-wave speed I: incorporation of differential travel times for refracted and diffracted core phases (PKP, Pdiff). *Jour. Geophys. Res.*, v. 106, p. 6569-6587.

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

Kolvankar, V.G., 2007. RF emissions, types of earthquakes precursors: possibly caused by the planetary alignments. *Journ. Indian Geophys. Union*, v. 11, p. 157-170.

Kolvankar, V.G., 2008. Sun induced semi-diurnal stresses on Earth's surface, which trigger earthquakes and volcanic eruption. NCGT Newsletter, no. 47, p. 12-24.

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

Romanowicz, B., 2003. Global mantle tomography: progress status in the past 10 years. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, v. 31, p. 303-328. doi:10.1146/annurev.earth.31.091602.113555.

Straser, V., 2010. Twin earthquakes and planetary configurations: Height of planets used for earthquake prediction. NCGT Newsletter, no. 54, p. 57-64.

Storetvedt, K.M., 2003. Global wrench tectonics. *Fagbokforlaget, Bergen*. 397p.

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

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

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

短報 SHORT NOTES

メキシコ湾堆積盆—後期石炭紀のマントルドームの崩壊 GULF OF MEXICO BASIN – A COLLAPSED LATE CARBONIFEROUS MANTLE DOME?

Johann-Christian PRATSCH
Houston, Texas USA jcp@hal-pc.org

（岩本 広志 [訳]）

要旨：広域的な地質学と地球物理学のデータを結合すると、後期古生代の巨大な地熱マントル・ドームが、北部メキシコ湾の陸上・沿岸域での先行隆起、それにつづく崩壊と盆地状沈降の駆動力として浮かびあがる。その結果として生じた基盤岩の造構造運動の発達、石油やガスの分布を規制している：テクトニクスの複雑さは、未固結の中生代～現世堆積物、特に厚い中生代岩塩層の高い流動性に起因する。ここにはプレートテクトニクス理論によって要求されたイベントの証拠はない。

キーワード：北部メキシコ湾、広域的な地熱マントルドームの崩壊、後期古生代の隆起と崩壊の開始、中生代と第三紀の沈降

ここに記したショートノートはメキシコ湾の地質学的な歴史と起源に関して考慮した幾つかのアイディアを記述したものである。規制された石油鉱業会のデータ（おもに地域的な地震探査、重力探査、地磁気探査データ）を示す多くの困難性はあるが、だからといってここに考えの表現を提案することができたものが完全に制限されてはいない。しかしながら、私の会社が信じるこのようなクリティカルなデータは、私のアイディアが表現してきたものが健全で、地域地質学的なシナリオ上で正しく、これまで記載することができた完全に最終的に真実のデータであることを示している。

メキシコ湾は、大きな擬似的な循環性海洋盆地で、巨大な北米大陸の南側に位置している。その地質的な起源と歴史は複雑である。一つの結果として、多くの説明がその時々提案されている；それらはしばしばその時の流行のセオリーによって強い影響を受け、盆地状地域における単純な沈降に始まるものや複雑なプレートテクトニクス見解との間を変動する。一つの説は、インパクト見解で、古生代における北アメリカに対する南アメリカ大陸の北側のシフトや、それに引き続く後古生代での現在その場所に位置する南アメリカの南側に向けたシフトとして提案される；このことはペンシルベニア紀（後期石炭紀）の古い陸塊の縁で、北-北西方向のスラストイング（北米大陸に向けて）がオクラホマやテキサスに沿って、引き続きメキシコ湾盆地の沈降の発達が起こったものと説明するものと考えられる。幾つかのプレートテクトニクスモデルはメキシコ湾のオープニングが三疊紀からとしているが、しかし決定論的データは未だにこれを支持するものとして作られていない。地質学セオリーの違いは、丁度使用中の「時間に基づく（時代論）」セオリーからの解離で、その多くは沿岸域の深い（古い時代の）層位学的データの不足に起因し、現在の間違いは北米大陸南部の境界に沿った地質発達を沿岸域にまで結び付け

ていることによる。付け加えて言うならば、地質的な話のもっともらしい説明が他に比べて、地質的に似通ったものとして、ハード面のデータが不足した場所で使われる地域とも言える。

我々が結びつけた以下に述べる点が正しい答えである：

- 前ペンシルベニア紀の深海堆積物は、部分的に変成し、これは南から北へ大陸南縁に沿って運ばれ、南西オクラホマと南西テキサスの非変成オルドビス紀陸棚炭酸塩岩層を覆っている。メキシコ湾地域での古生代の全てか殆どの期間に開放性の海洋が存在したと考えられる場所は北部メキシコと南部テキサスからアパラチア地域と北部フロリダである。
- 北方向のスラストナップの定置した時代は、変成作用の観測可能な時代として後期ペンシルベニア紀である。上昇とスラストイングは現在の北部メキシコ湾域で存在している活動的なマントルドームによって引き起こされたと解釈される。
- 厚い海成堆積物と非海成非変成の二疊紀堆積物は少なくとも南部テキサスにおいてはこの褶曲帯の南側に存在する。これは現在のメキシコ湾北部に以前に存在していた活動的なマントルドームが崩壊し始めることとして解釈される。
- 厚い後期三疊紀/初期ジュラ紀から現生堆積物は、南部の陸域-遠方の沿岸域の合計で最大?50,000 フィート以上に及んでいる。おもに海成堆積物より成る。碎屑物は上昇し削剥される北米大陸から運ばれる。
- 三疊紀から現生のセクションにおいて一般的な堆積性・構造性傾斜は現在の盆地の南方に向かっていて、断層運動、堆積同時性の構造を含んで、普通、厚いジュラ紀の岩塩の運動によって引き立たされる。
- 地域的な断層トレンドは西部での北西方向から東部での北東方向。殆どの断層は引張性；側方成分が生じた。局所的な断層トレンド、超地域的な側面から見られるも

ので、岩塩ドームの上昇と崩壊に沿った環状の断層作用に類似する。

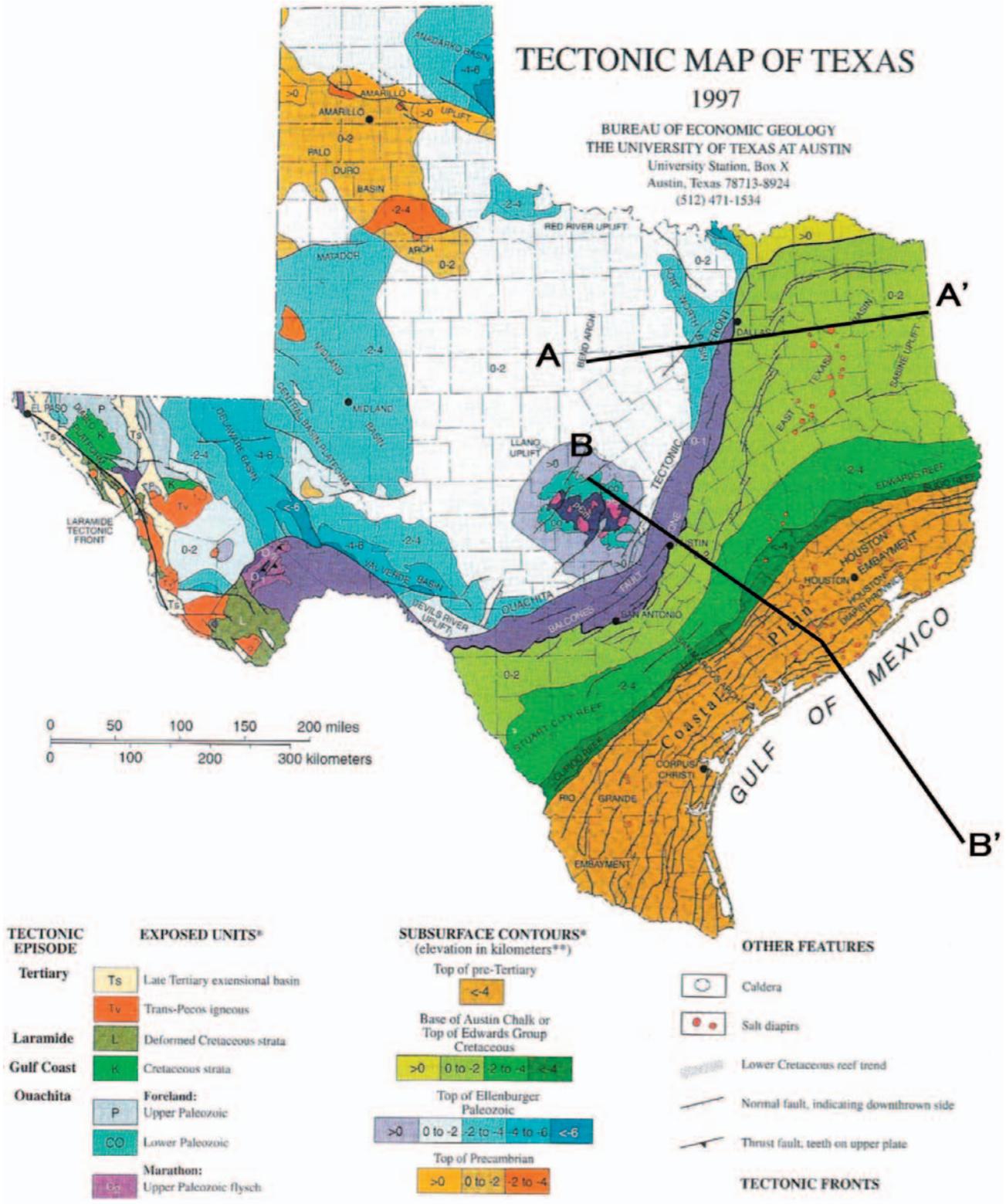
g) 地図上に描かれる地磁気トレンドはプレートテクトニクスの運動が求める堆積盆地の開放はそのセオリーが間違っていることを示している。

h) より大きな大陸性ブロックの運動はどのように南米大陸が北米にインパクトを与えたか、また現在の場所に

戻ってきて不足は無いのかという、幾つかの漠然とした局所的なテクトニックのアイデアを求める。

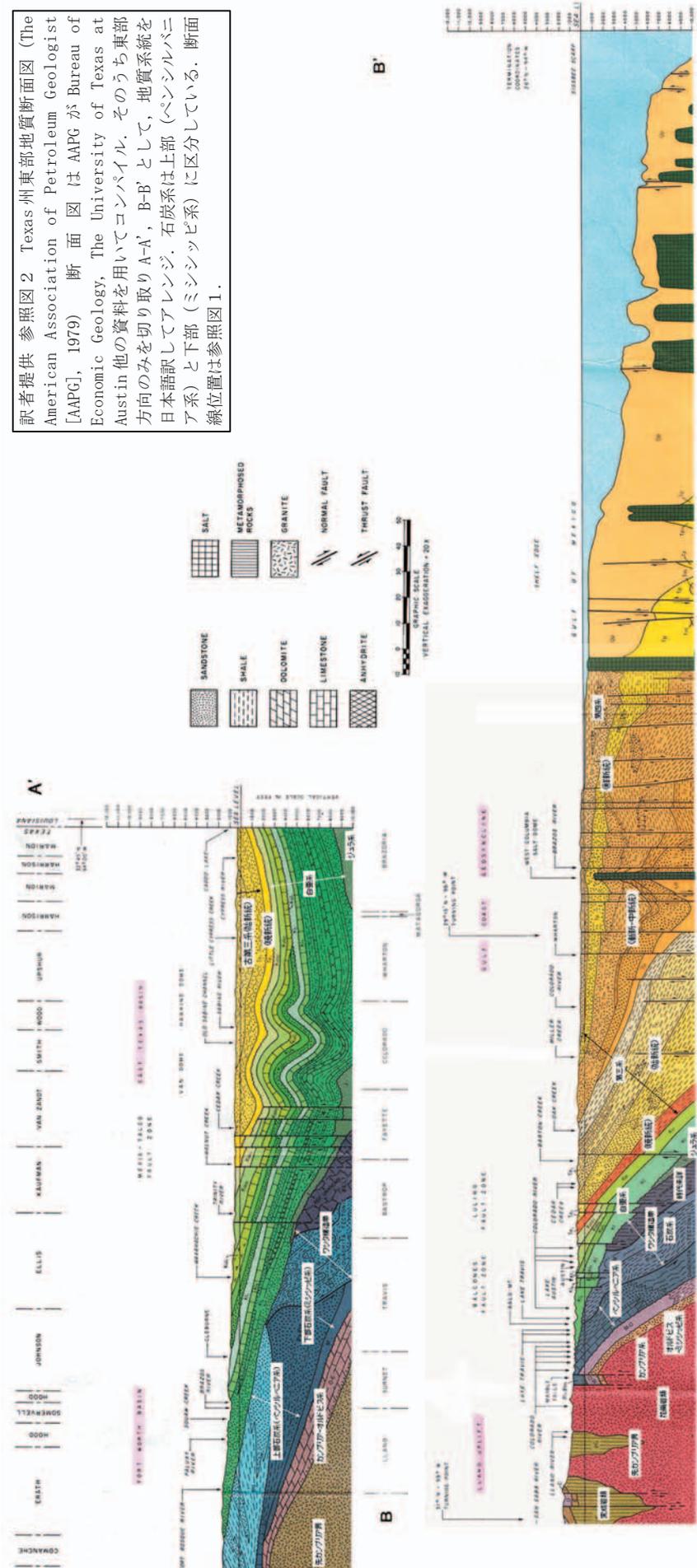
i) 上昇するマントルドームは局所的な次元であるが、上掲したようなことは、広域的盆地でそれらの崩壊と発展が引き続き、以下に掲げる場所に期待される。

- バルカン半島のハンガリー盆地
- スペインとモロッコ間のアルボラン盆地



訳者提供 参照図1 Texas州テクトニクス図 Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin (1997) より。断面線 A-A', B-B' をアレンジ。

訳者提供 参照図2 Texas州東部地質断面図 (The American Association of Petroleum Geologist [AAPG], 1979) 断面図はAAPGがBureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin他の資料を用いてコンパイル. そのうち東部方向のみを切り取りA-A', B-B'として, 地質系統を日本語訳してアレンジ. 石炭系は上部(ペンシルベニア系)と下部(ミシシッピ系)に区分している. 断面線位置は参照図1.



- イタリアのチレニア盆地
- 東部リビア
- ヨーロッパ・ヘルシニア造山帯の一部(パリ盆地)
- 西部カナダ
- 米国のロッキー山脈中央部
- 米国, ミシガン盆地
- インド
- その他

深部地殻からマントル深度に至る活動的な深部シート状マグマ・イベントの表層への兆候として活動的な構造帯が加わることによって, このリストはかなりの拡大することができる.

メキシコ湾の地質史の完全に満足のいく復元には, この地域を横断した様々な層序上のレベルでの広域的構造図・層厚図が要求されるだろう;これは地域地質図が結合されなければならない. それらの重力や地磁気マップも含んで. そのような地図は存在するが, しかし自由に使うことはできない, これらは石油会社やサービス(調査)会社の所有物であり, しばしばより大きな地下の地球物理データの獲得を要求されることもある. 私は過去にこのようなデータセットを見て仕事したこともある. しかし, このような地質・地球物理データセットの結果を十分に記載するには, 私は上記の理由によって自由ではない. 私は, 少なくとも幾つかの答えが与えられている幾つかの出版物を引用する.

この答えには既知の陸域と沿岸の地質の間に満足のいく対比が行われていて, 下記に連なるイベント(事件)が確立される.

- 1) カンブリア紀からペンシルベニア紀(後期石炭紀)は北米大陸の南側は海洋環境が支配的; 現在の大陸での頁岩相の発達と現在のメキシコ湾の場所での深海堆積物の発達.
- 2) 後期ペンシルベニア紀の北米陸棚上でのホット・マントルドームの発達, 変成作用と古生

代深海セクションの北部 - 北西方向の構造的な移動が支配.

- 3) 最末期ペンシルベニアから初期二畳紀のマントルドームの崩壊
- 4) 二畳紀から現生の海成堆積物の発達. 北米大陸南側でのメキシコ湾盆地の出現

ここには、メキシコ湾盆地全体の完全な地質発達史の前に、説明に必要な幾つかの追加点がある.

- 1) 後期古生代から新生代にかけての地下の多くの火成岩体の重要性は、陸域と沿岸域双方に花崗岩～玄武岩溶岩のレンジに属する.
- 2) 東部メキシコにおけるシエラ・マドレ構造複合体の影響の展開は局所的なメキシコ湾構造運動に相当.
- 3) 北部メキシコ湾北部におけるペンシルベニア紀のマントルドームの展開と南部北米大陸が安定したユカタン・ベリゼの非変成古生代テレーン方向の南部に.
- 4) 北部カリブ海のキューバ・カイマン マントルドームの展開

継続的な高分解能重力・地磁気データが利用可能な時に答えは見つけられるだろう. メキシコ湾北部での地磁気基盤の上面と北米大陸南縁の優れた深度マップは決定的

なテクトニクスと正しい基盤レベルを示す. 上に述べたデータセットは、残念ながら、石油鉱業界とデータ所有者グループの他には現在では使用できない.



地球科学にかかわる政治欄 **GEOPOLITICAL CORNER**

IPCC 首脳は荷物を解くことに満足している IPCC CHIEF MELLOWS FOR BAIL OUT PACKAGE

M. Ismail BHAT

Department of Geology & Geophysics, University of Kashmir, Srinagar – 190 006, India
bhatmi@hotmail.com

(岩本 広志 [訳])

「人為的な気候変動の科学的コンセンサスに賛成しない人に対しても、私は聞く耳を持っていないわけではない。」

紳士淑女諸君：これは IPCC の長である R.K. パチャウリ博士が完全に包み隠すことなく BBC(英国国営放送)に 2010 年 6 月 15 日に語った言葉である. 彼はしばらくの間裸のようであったが、諺の王さまのように不本意に了解した.

最近の 2010 年 2 月でさえも、完全に純粹無垢をまもっていると考えているその時、このように言った「気候温暖化の疑惑」喫煙と癌の間の関連を否定する人；アスベストはタルク粉も同然と言う人々—私は彼らがそれを適応することに日々向き合っている... 私は総じて清潔な

中において、私は完全に何もなくそれらの人々が何をしているかについて無頓着である”言葉の軽蔑に注意. このタイプの軽蔑的な言葉は地球温暖化活動家が”否定者”或いは”ひらべたい地球を信じるもの”のような疑惑的な言葉を使って駆り立てているもので、“ニュールンベルグ裁判”と呼んでいる.

パチャウリ氏はこのような疑惑が決して聞こえない訳ではなく、それらに単純に答える気がないのである；彼は彼の同胞の V.K. ライナ氏にそうするように、吠える気なのであり、彼のレポートにあるヒマラヤの氷河の健康は”まじないの科学”と呼ばれる. 彼は 150 年前のデータを基礎にしたくないライナ氏の研究を止めなかったし、馬鹿なライナ氏をちょうどこのように”この男の

引退した年の前から最大の尊厳を以って、彼が現れて確立した年以前に全てのものを投げ出したことについて、それが総じて困惑をもたらした”彼の60歳代後半、ライナ氏のように彼はそのことを忘れ、彼は長年の前に引退したはずだが、彼はインド政府の雇用を続けている。ライナ氏は引退後に10年もの間(氷河学)を続ける約束を持ち、パチャウリ氏がそうでないように最初に鉄道エンジンの軌道に手を出し、そして経済さらに気候科学に関する彼の経歴の旗が終わった時、彼はライナ氏の仕事を”確立した年以前に全てのものを投げ出した”と言った時、彼は彼自身のがらくたな(IPCC)レポートが科学的に確立されたものや歴史的な10年・世紀に戻ってしまうような記録がどうあれ投げ出してしまおう企てであると考えるだろう—中世の温暖と小氷期として。

それは彼の非科学的背景が彼に”科学的な総意”を話させてしまう。彼の経歴の如何なる段階のいかに真面目な科学的な努力を欲しいままにしても、彼はそこには科学の”総意”のようなものは何もないことを知っているだろう。科学は確証でもなければ、総意の排除でもなく、多数票でもない。科学は再生可能な筋金入りの経験上の事実を要求する。

そのことは彼にとってそのことを言うには余りにも遅かったことで”ICPPと大きな科学的コミュニティは気候変動の科学の精力的な討論の発展を歓迎するだろう”広く世界中が知っていることは如何に受容性のある彼が科学的な討論をし続けるなら、それは心を変えることなく、彼の科学的道徳に溺れることなく、そのことはクライメートゲートといくつかのほかのゲート(パチャウリゲートですらそこにある)が持っている気候温暖化についての公的な意見がカーボンビジネスと彼のよって

立つIPCCの長として最も重要なことで、その余波の文脈と考えられた戦略的な陳述と要求である。破産したアメリカの銀行の最高執行責任者達が彼らのプライベートジェットで托鉢の碗(支援の要請)を手アメリカ議会に赴いた時の熱烈な民衆の反応を思い出す。彼等は低姿勢を身につけることによって救済措置を受け入れられるという彼等の教訓を学んだ。彼等の旅行の選択がどんなニュースを作ったか?何もない。

炭素取引はICPPによる助産婦が作った、食べ過ぎの太った赤ん坊のようなもので、それはすぐに大きく風船のように膨らみ、大きなビジネスは丁重な政治的後援とも言える。あなた方が持っている高く強力な(政治かつビジネス)鮫はそれを含んでいる。後に彼等は民衆感情によるパチャウリ博士による尊大な防御による温暖化によってサポートされたICPPの詐欺的な科学と同様に株価の重大な損失を患うことになる。しかしながら、現在のアメリカの世論は、BPの原油流出事故を優遇し、彼等の好意に対して再びテーブルを返すことができる。

この非難された環境がICPPの”何千もの科学者”による地球温暖化の再確認であり、炭素政策ビジネス階級とパチャウリ博士両方の差し迫った懇願である。そのどちらもこの機会を見ることを逸しているようだ。もっと彼を上機嫌にさせることは反対勢力に対して彼自身をさらけ出して討論することで、簡単には炭素政策ビジネス階級が彼の好意に同意することである。和解的な言葉で言えばパチャウリ博士はアメリカの銀行家が彼らのプライベート・ジェットを使うような短かい戦略的なポーズを突然探し出されたものようであり、もし彼を救済するならば、すぐに普通のビジネスとなるだろう。

出版物 PUBLICATIONS

(矢野 孝雄 [訳])

最近の地震からみた防災計画 DISASTER MANAGEMENT PLANS IN VIEW OF RECENT EARTHQUAKES

Arun BAPAT

1/11, Tara Residency, 20/2, Kothrud, Pune 411 038, India. arun_bapat@vsnl.com

この10年は、災害管理の10年とよぶことができるだろう。多数の巨大地球事件が発生した。たとえば、2004年12月26日に発生したSumatra地震(M9.3)や、インド(Bhuj地震, M7.8, 2001年1月26日)、パキスタン(Kashmir地震, M7.9, 2005年10月8日)および中国(Sichuan四川地震, M8, 2008年5月12日)における破壊的地震が、それらである。これらの地震災害によって、約50万人の人命が失われた。個々の地震は異なる特徴をもつので、

それぞれ新しい知見をもたらす。これらの地震による不慮の事故から学んだ教訓は科学的に研究・解析され、社会全般ととくに人々の生命の地震に対する安全性を増大させる見地から、重要な推論と結論を一般の人々に普及することは、地震研究者と防災関係者たちの義務である。地震および防災分野におけるいくつかの賞賛すべき研究にもかかわらず、いずれの地震においても(中国での1人を除く)、1人の生命も救うこともできなかったのが

事実である。地震に関する発生後予報に関する実践は、多数のかなり信頼できる地震先駆現象を予告した。地震研究者たちは、いっぽうで、かなり信頼できる地震前兆の解明をめざして、他方、防災研究の専門家たちは地震予知が不可能であると熱心に説く。その結果、防災専門家たちによる地震発生後の観測システムや機器測量や復旧測量に専念することになる。不幸なことに、現在の防災計画のほとんどは、地震発生後における瓦礫や死体の撤去にかかわるものになっているようだ。

この状況は、前向きに、そして至急、改革されるべきである。新しい政策が策定されることが本質的に重要である。そして、それらは、さまざまな地震から学んだ教訓にもとづかなければならない。

ヒマラヤ北西部は、Himachal および Uttarakhand 礫岩で構成されていて、大地震 (M>7.5) による被害をもっとも受けやすい地域として認定されている。そのような地震が発生する確率は約 0.986 という値である^(文献1・2)。そのような地震が発生した場合には、震央付近での被害は天文学的値になるだろう。さらに、Delhi の国家中枢部では高さ 17m 以上の高層建築はひどく被災するだろう。Sumatra 地震は、もっとも強力な地震であったであろう。いくつかの地震後の予知事業は、新知見をもたらした。震央域の海水表面温度 (SST) は 1 週間にわたって 3.0 ~ 5.0°C も高く、地震発生前にも同様であったであろう。SST ならびに陸地表面温度は、さまざまな衛星画像からほぼ 1 時間毎に得られるデータから算出することができる。これは、震央域になるであろう領域が温度上昇することを示す。

2005 年 10 月 8 日の Kashmir 地震発生の前日、震央域の気温は平年にくらべて約 8.0 ~ 10.0°C も高かった。これを考慮すると、Himalaya 北西部のさまざまな地域において監視が継続されるべきであろう。インド気象庁 [India Meteorological Department: IMD] による 2009 年 1 月 1 日 ~ 執筆時 (2010 年 3 月) までの日々の気象通報によると、Shimla, Srinagar および Dehradun における最高および最低気温は、平年にくらべて低温側では 2.0 ~ 4.0°C、高温側では 8.0 ~ 12.0°C まで高くなっていることが観測された。

インドにおける 2001 年 1 月 26 日の Bhuj 地震ならびに 2005 年 10 月 8 日の Kashmir 地震は、大きなマグニチュードの地震からの Rayleigh 波に予期される被災効果に類似する。Bapat³ は、この効果が Gujarat 地震で観測されたという。7.5 以上のマグニチュードの大地震が発する長周期 (周期 12 ~ 18 秒) である Rayleigh 波は、独特の特性をもっている。このような波動は、不運にも、震央から 150 ~ 550km にある高さ 17m 以上の高層建築物に影響をあたえる。

このような現象は、1985 年 9 月の Mexican 地震で、初めて観測された。Mexico 市は、M8.0 の地震から約 550km の距離にある。高層建築物 (h>17m) だけが、ひどい被害

をうけた。1 階、2 階および 3 階建ての構造物はまったく被害をうけなかったか、あるいは、被害は最小限であった。Bhuj (Gujarat) 地震では、震央距離 320km に位置する Ahmedabad 市の高層建築物がひどい被害を受けた。Kashmir 地震 (Pakistan) では、Islamabad の 10 階建てビルが全壊した。Guwahati における最近の事例は、まことに興味深い。Bhutan では 2009 年 9 月 21 日に M6.25 の地震が発生し、その震央は 27.3°N・91.5°E であった。Guwahati (震央距離約 150km) の高層建築物はすべて、最大約 4 ~ 5° 傾いた。地震マグニチュードが 7.0 以上であったなら、構造物の被害はより悲惨であったであろう。これらの野外観察を考慮すると、Himalaya 北西部の推定される震央から 550km 以内に位置する Delhi, Noida, Gurgaon, Jaipur, Agra などのような場所では、すべての高層建築物の被害想定図を描くことが必要であろう。

2008 年 5 月 12 日に中国で発生した M8.0 の Wenchuan (Sichuan) 地震に先だって多数のヒキガエルが池から逃げ出し、道路を歩き回っていたことがひろく知られている。動物の異常行動 (現在確立された科学的枠組みでは説明されえない) は、信頼における地震前兆としては認められるべきである。

適切に説明されるかどうかにかかわらず、この前兆を是認して、それを人々の命を救うために利用すべきである。これは、Varahamihira が著した古代インドの文献 Brihatsamhita にも述べられている。合衆国における最近の研究によると、大気中の多数の荷電粒子が、通常状態に比べて数倍に増加する⁴。過剰な荷電粒子は、動物の異常行動をうまく説明するかもしれない。動物の異常行動に加えて、人間の異常行動が、2010 年 5 月 25 日発行の CURRENT SCIENCE 誌 (vol. 98, no. 10, p. 1228) の意見欄に報告された。

Bapat⁵ は、Latur, Bhuj および Andaman 地震の発生に先だって、通院者数が通常の日平均にくらべて、5 ~ 7 倍に達したことを報告した。病院や医師は、この前兆について語るべきである。

Haiti 地震は、2 つの重要な観測をもたらした。中 ~ 大規模地震の発生に先だって、地球磁場の変化が、逆に、起こりうる震央域における無線電波の伝搬と受信に影響をおよぼすことはよく知られている⁵。

この影響は、「地震電磁気効果」とよばれる。Haiti 地震発生の約 1 日前に、無線受信にひどい障害が発生し、ときどき交信がとだえた。この観察は、インドにもあてはまる。警察、軍、空港、テレビチャンネル、携帯電話会社、全インドラジオなどのようなさまざまな通信部門がこの効果を認知すれば、通信の困難・障害・不能などのあらゆる通信異常や通信障害 'block out' が防災局へ報告されるだろう。'block out' とは、信号が完全に受信不能になることを意味する。

Haiti でもうひとつ観察されたのは、防災にかんするこ

とがらである。Haiti の多くの地点では、家屋が丘陵の斜面や頂部に立地する。たくさんの丘陵を結ぶ道路はたった1つしかなく、家屋はこの道の両側に建てられている。地震のときには、利用できる唯一の道路が地すべりと倒壊した家屋によって遮断された。その結果、医療チーム、救急チーム、そして土木工事機械が、必要とされる場所へ到達できなかった。これが、被害をいっそう大きくした。

Shimla, Dharamsala, Nainital, Mussoorie, Shillong, Aizawl など、この国の多くの町は、丘陵地の同様な立地条件にある。ほとんど地点を結ぶ連絡道路がただ1つしかない場合には、適切な代替ルートや回避ルートは、道路の閉塞を避けて建設されなくてはならない。Mizoram 州の首都である Aizawl は、その典型例である。この都市を連絡しているのは、延長約 9km の道路が 1 本あるだけである。

Chile 地震の場合には、多くの前兆があったわけではない。これは、いくぶん異例である。先行する 1960 年の大規模地震の前震については、興味深い物語がある。M8.7 の 1960 年 5 月 22 日の Chile 地震には、2 つの前震があった。1 つは M7.0、もうひとつは M7.5 の地震である。誰もが M7.0 が前震で、M7.5 の地震が本震であると考えた。しかし、両地震が 1960 年 5 月 22 日の巨大地震 M8.7 の前震であった。これらの事象は、興味深い。

現在、この問題が研究されていて、いくつかの興味深い観察が浮かび上がっている。Bhuj 地震には、めだつた前震はなかった。しかし、この地震の約 50 日前に、Jamnagar, Rajkot などでも顕著な低周波地震が発生していた。2004 年 12 月 26 日のスマトラ地震 M9.3 の場合には、2004 年 7 月 29 日に 14 時間にわたって M5.6, 5.1, 5.0, 5.3, および 5.9 の 5 つの地震が発生した。これは、本震に先立つ一連の前震である。

前震の発生メカニズムは、さまざまな地域で詳細に研究される必要がある。これは、地震活動をひきおこす応力を理解するのに有効である。すべての人が地震の観察から学び、自らを教育するべきであり、それが地震災害を軽減するであろう。防災の最終目的は、人命の救助にあるべきである。さまざまな地震からの教訓が、Himalaya 北西部や他の地域における地震発生前後の状況に対処するのに有用である。防災計画の適切な修正が、統合されて利用されるであろう。地震発生以前に適切な対応がとられ、いくつかの信頼できる前兆に関して監視がつけられれば、地震災害の軽減が可能になるだろう。

文 献

1. Bapat, A., *Curr. Sci.*, 2007, v. 93, p. 1468–1469.
2. Geological Survey of India, 2007. Report on Seismic Microzonation of Dehradun Urban Complex, Uttarakhand, p. 1–48.
3. Bapat, A., Damage to tall structures situated at long distance from epicentre due to long period seismic waves and effect on structures on filled lands. In Proceedings of the 6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Arlington, USA, 11–16 August 2008, paper # 3.03.
4. Friedemann, F., 2008. *Curr. Sci.*, v. 94, p. 311–313.
5. Bapat, A., 2006. Seismo-electro-magnetic and other precursory observations from recent earthquakes. In, “Proceedings of the First India Disaster Management Congress”, New Delhi, 29 November 2006.

編集者注：この記事は、CURRENT SCIENCE (v. 98, no. 10, p. 1287–1288; 2010 年 5 月 25 日発行) に掲載された。

火星の Eastern Tithonium Chasma における蒸発岩ドームの形状と起源 MORPHOLOGY AND ORIGIN OF AN EVAPORITIC DOME IN THE EASTERN TITHONIUM CHASMA, MARS

Davide BAIONI and Forese Carlo WEZEL

Planetary gEology Research Group, Insitute of Earth Science,
University of Urbino, Campus Scientifico Sogesta, 61029 Urbino (PU), Italy
dvbgeo@uniurb.it; Wezel@uniurb.it

要旨：Tithonium Chasma (TC) 東部にみられる高さ 3.4km のドーム型隆起地形は、OMEGA 画像スペクトル測定機によって解明された硫化鉄物 kiersite の強い表面兆候がみられる領域に一致する。このドームは、その頂部、山腹および基部にみられる表面地形であり、それらが氷の融解からもたらされた液体の水によって形成されたことは明白である。これらの地形はさまざまなカルスト地形

を含み、侵食および堆積地形がともに認められる。ドーム表面には衝突クレータがほとんどみられず、ドームの形成年代が若いことを示唆する。ドームの岩石層は側方へ連続的であるが、いくつかの場所では変形していることが明瞭である。以上のドームの鉱物学および構造的特徴は、地球における多数の岩塩ドームと同様、それがダイアピルとして進入したことを示唆する。

石油および天然ガス開発に関する最近の発見の衝撃：インドを中心に
**IMPACT OF RECENT DISCOVERIES ON
PETROLEUM AND NATURAL GAS EXPLORATION: EMPAHSIS ON INDIA**

J. Marvin HERNDON

mherndon@san.rr.com

最近の2つの発見が、石油および天然ガス鉱床の起源と定置に関する理解に大きな衝撃をもたらした。1つの発見は、メタンから炭化水素形成に関するもので、非生物源の石油・天然ガスが発見される可能性がある領域を大きく拡大する。もう1つは、地球におけるマントル対流の物理的不可能性の発見であり、地球力学的挙動の範囲と領域を限定し、石油・天然ガスの形成に関する新しい見通しを与えるものである。この論文は、これらの発見の衝撃と意義、とくに、インドおよび全世界にわたる石油・天然ガスにかかわっていることに焦点をあてる。こ

こで研究された理由づけにもとづくと、考察に含まれる一般性、東アフリカリフト系に関する研究成果、および、より大規模で古期の Siberian Trap (シベリア玄武岩) で蓄積された経験、石油・天然ガスの最終的な主要起源となるインドの Deccan Trap (デカン玄武岩) 下の予測と潜在性が、筆者には有望と思われる。

関連ウェブサイト：

<http://NuclearPlanet.com;>

<http://NuclearPlanet.com/boost.pdf>

ニュース NEWS

(赤松 陽 [訳])

**NCGT 日本グループの報告
NCGT JAPAN GROUP REPORT**

Yo AKAMATSU yo-akam@m2.hinocatv.ne.jp

NCGT 日本グループが設立されてから、13年が過ぎました。ここでは、私はグループとその活動に関する若干の情報を提供したいと思います。

NCGT グループの創立とニュースレターの発行

The New Concepts in Global Tectonics (NCGT) グループは、1996年に北京で開催された28th万国地質学会議で生まれました。Dickins氏とXiao氏によって組織された「Alternative Theories to Plate Tectonics」(プレートテクトニクスの代替理論)と題するシンポジウムは、会議期間中の1996年8月9日に開催されました。会場は、150人以上の参加者でいっぱいでした。8月13日に、Dickins, Choi, Maslov, Gao,そして鈴木尉元の各氏は、the New Concepts in Global Tectonics (NCGT) グループを組織し、NCGT ニュースレターの発行や2年後に日本でシンポジウムの開催を準備する相談を行うために集まりました。

Dickins氏とChoi氏によって編集された最初のNCGT ニュースレターは、1996年12月に発行されました。それ以来、ニュースレターは年に4回発行されています。

NCGT ニュースレター日本語版の発行

NCGT 日本サブグループは、1997年に藤田至則氏と鈴木尉元氏によって日本で設立されました。ニュースレター翻訳係を含む、21人のメンバーからなる日本グループの現在の責任者は、鈴木尉元氏です。メンバーは、出版物の発送や情報交換や財務管理を含む組織運営を行っています。NCGT ニュースレターの各号は17名の翻訳係によって日本語に翻訳されています。そして、通常、日本語版は英語版の発行の4ヵ月後に発行しています。日本語版の編集長は、矢野孝雄氏です。日本語版最新号no. 54のカバーページが図1に示されています。現在、日本語版の読者は72名です。

国際シンポジウム

NCGT つくば国際シンポジウム, 1998

筑波シンポジウムは、茨城県つくば学園都市にある日本の地質調査所で1998年10月22日～23日に行われました。これに先立ち10月20日～21日に房総半島の野外巡検が実施されました。このシンポジウムには、海外の地球科学者22人と国内の研究者54人が参加しました。シンポジウムでは、大陸と海洋の構造と起源、サージテ



図1 NGCT ニュースレター日本語版 (no. 54) の表紙

クトニクスと膨張テクトニクス、島弧および周辺の地球構造運動論などのセッションが開催されました (NGCT ニュースレター No. 10 参照)。

24の講演と32のポスターによる発表が行われました。シンポジウムの後、お別れパーティーは筑波学園都市の近くの牛久ワイナリーで開催されました。

NGCT 「山脈に関する東京フォーラム」, 2001

NGCT 日本サブグループは、2001年8月27日に東京のホクトピアホールで、“変動地形と地殻変動”をテーマに談話会を開きました。

オーストラリアから来日したC.D. オリエール氏は、「山脈の起源」をテーマに招待講演を行いました。彼は、私たちが今日見ている大部分の山脈はネオテクトニックの時代に台地が隆起をして侵食の結果形成されたものであると主張しました。他の講演者のうち、6人は日本人で、2人はネパール人でした。

NGCT コロラド シンポジウム, 2002

NGCTの会議は、Leo マスロフ氏によって組織され、2002年5月6日～8日に、アメリカ、コロラド州のラ・ユンタにあるオテロー短期大学で開催されました (NGCT ニュースレター No. 23 参照)。科学者は10カ国から参加しました、そして、28のプレゼンテーションが行われました。日本からの地質研究者11人が会議に出席しました。地質巡検は、5月8日～10日に、コロラドで実施されました。

NGCT 新潟ワークショップ, 2004

NGCT 新潟シンポジウムは、新潟市の新潟大学で、NGCT 日本サブグループによって開催されました。このシンポジウムにはB. I. ワシリエフ氏が招待されました。氏は、ロシア科学アカデミー太平洋研究所に所属しています。氏は、「15,000,000分の1スケールの世界地質図について」と題する講演を行いました。鈴木尉元氏は、「環太平洋地域における中-深発地震の発生の地質学的条件」について、講演を行いました。このワークショップへの参加者は、36名でした。

第32回万国地質学会議フィレンツェ大会およびNGCT ウルビノ会議, (2004)

グローバルテクトニクスの新概念 (NGCT) シンポジウムは、2004年8月25日に、イタリア、フィレンツェでの第32回万国地質学会議フィレンツェ大会でもたれました (NGCT ニュースレター, No. 32 参照)。このシンポジウムはF.C. ウェツェル氏によって組織されました。そして、シンポジウムのためにたいへん大きな会場が用意されていました。そこで、12の口頭発表がなされました。このシンポジウムの後、NGCT グループのもう一つの集会在、8月29日～31日に、ウェツェル氏の配慮によってウルビノ大学で開催されました。地球内部の深部構造と表層地殻の構造運動との関係が議論されました。日本からの参加者は4人でした。

NGCT ウラジオストック・ワークショップ, 2007

B. I. ワシリエフ氏とA.A. ガブリロフ氏によって組織された、北西太平洋の地質学的・地球物理学的研究に関するウラジオストックシンポジウムは、2007年8月24日に、ロシア、ウラジオストックの太平洋海洋研究所で行われました。日本から7人とおよそ30人のロシアの地球科学者が出席しました。そこで5人のロシア人と4人の日本人による講演が行われました。火成岩の環状配列は島弧地域の浅発・深発地震を伴う断層と比較されました。

8月25日には、A.A. ガブリロフ氏の案内でウラジオストック市内の観光ツアーが行われました。また、8月27日～28日には、[ガブリロフ氏とワシリエフ氏の案内で]前期白亜紀のリポヴェツキー (Lipovetky) 石炭鉱床と前期中新世のパヴロフスキー (Pavlovsky) 石炭層の地質巡検が行われました。その後の交流会とあわせて、私たちはロシアの研究者たちとの友好を深めることができました。

NGCT 東京ワークショップ, 2008

NGCT 東京ワークショップは、2008年8月21日に、「環状構造とその地質学的意義」をテーマに、東京の大東文化大学で開催されました。私たちは、B. I. Vasiliev氏とA.A. Gavlirov氏 (両氏ともロシア太平洋海洋学研究所所属) を招きました。ワシリエフ氏は、日本海と太平洋の深海底から集められた岩石について講演を行いました。ガブリロフ氏は、極東や太平洋に見られるリングストラクチャーについて講演をしました。さらに4人の日本の

研究者によって講演が行われました。このワークショップの後、私たちはロシアの2人を箱根火山と丹沢山地への地質巡検旅行へ案内しました。

第33回万国地質学会議オスロ大会、(2008)

ベルゲン大学のK. ストレトベット氏は、IGC 会議で NCGT のセッションを組織することを担当しました。この会議では、組織委員会メンバーの何人かは、NCGT セッションに対して露骨に干渉しました。この事件は、NCGT ニュースレター No. 48, 51 で詳細が述べられました。3人の日本のメンバーが NCGT セッションに出席しました。そして、2つのプレゼンテーションを、1つは口頭で、もう一つはポスターで行いました。

地学団体研究会（地団研）[The Association for Geological Collaboration in Japan(AGCJ)]

私たちは、日本の地学団体研究会と友好関係にあります。地団研は第二次世界大戦直後の1947年に設立されました。現在およそ1,500人の会員がおります。地団研は、大学の教員、に加えて、小学校、中学校、高等学校で教育に携わっている個人から成ります。また会員には、地球科学を専攻する学生〔や地質エンジニア〕も含まれています。地団研の会員は、科学研究だけに組み入るわけではなく、地球科学を普及活動にも一生懸命取り組んでいます。会員は、地球科学の研究と教育の条件を改善しようと、すなわち科学の世界に民主主義を保障しようと努めています。NCGT グループに属しているほとんどの人々は、地団研の会員でもあります。会員はプレートテクトニクスを受け入れている会員、そうではない会員がいます。最近、地球科学史を専門としている執筆者が、地団研がプレートテクトニクスに疑問を呈するのでそれが日本の地球科学の発達を10年以上も遅らせた主張して地団研を非難しましたが、批判には根拠がありません。

構造コロキウム

構造コロキウムは、年に2回持たれる地質研究者のための研究発表会です。参加者は、地質学の研究は地質調査に基づかなければならないし、フィールド・データは地質学の母であると考えています。批評的な評価や新しい発想が歓迎されます。参加者は、大学教師に加えて、地質エンジニア、高校教師、大学院生や大学生などです。

地球科学の力量を高めるワークショップ

地球ゼミは、地球科学を勉強するために1月に1回夕方から地団研本部で行われています。私たちは、R. W. van Ben Meulen の『Mountain buildings』, B. I. ワシリエフの『Main features of geologic structures in the northwest part of the Pacific Ocean』, A. メイヤホフの『Surge Tectonics』などを読んで勉強しました。現在は、M. 舟橋の『Foundation of the Earth』読んでいます。およそ10人のメンバーがいます。

地震ゼミもまた、月に一度夕方から、芝学園高校の地学室で行われています。私たちは今村恒明の『Theoretical and applied seismology』を学びました。現在はC. リヒターの『Elementary seismology』を読んでいます。およそ6人のメンバーがいます。参加者の中に料理の上手な“コック”がいて、参加者は毎回のゼミ後でコンパを楽しんでいます。

私たちは、NCGT 日本グループを大きくして、地球科学の健全な発展のために私たちの活動を広げていく努力をしたいと思います。〔2010年8月には新たに2名がニュースレターの読者になりました。〕

(訳者註)[]内は、原文では落丁しているので訳者が訂正追加しました。

<p>NCGT 日本サブグループの コーナー</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ カラー図面をはじめ、ニュースに掲載された図面をダウンロードすることができるサイトが、川辺孝幸さんのご尽力で開設されました。 ■ 購読者限定の ID と PASS は、下記のとおりです。ログインして、No. をクリックすると図の一覧が現れます。必要な図面をダウンロードして、ご利用下さい。 URL http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/ncgt/ ID PASS
<p>カラー画像を 入手できます！</p>	

財政的支援について **FINANCIAL SUPPORT** 新購読料システム NEW SUBSCRIPTION FEE STRUCTURE

(赤松 陽 [訳])

私たちは、オンライン購読の場合、個人で可能な方からは 30 米ドル (45 豪ドル) あるいは相当額以上の、また、図書館に対しては 50 米ドル (75 豪ドル) あるいは相当額の財政援助をお願いしております。印刷物での購読の場合には、図書館では 70 米ドル (95 豪ドル)、個人では 50 米ドル (75 豪ドル) を設定させていただきました。

少額ですので、ばかにならない銀行手数料の支払いを避けるために、私たちは、銀行為替手形か、New Concepts in Global Tectonics 宛での支払い可能な個人小切手を発行してもらうことをお願いします。あて先は 6 Mann Place, Higgins, ACT2615, Australia. 銀行を通じて送金する方のための銀行預金口座細目: 銀行名 - Commonwealth Bank, Belconnen Mall ACT Branch (BSB 06 2913)10524718. 口座加入者名 - New Concepts in

Global Tectonics.

自国通貨が国際的に流通する国の方は、個人小切手の場合、自国の通貨立てで発行してください。たとえば、カナダからの送金の場合は、カナダドル立てでというように、というのは、もし、カナダから米ドル立てで発行されると 40 ドル、豪州ドル立てで発行されるとそれ以上の手数料がかかってしまうからです。また、銀行為替手形の場合は、豪州ドル立てで発行してください。もし米ドル立てで発行されると、同じように、それらには 40 豪州ドルあるいはそれ以上の手数料がかかってしまいます。

もし領収書が必要な場合には、ご送金の際に一言、お知らせ下さい。

ニュースレターについて **ABOUT THE NEWS LETTER**

このニュースレターは、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。New Concepts in Global Tectonics というニュースレターのタイトルは、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開催された、それ以前のシンポジウムにちなんでいる。

目的は次の事項を含む:

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・生物学的変遷の主要ステージ、などの視点から、たいへん広い分野をカバーするべきものである。
4. シンポジウム、集会、および会議の組織。
5. 検閲、差別および犠牲があった場合の広報と援助。

