

国際誌 グローバルテクトニクスの新概念



An international journal for New Concepts in Global Tectonics

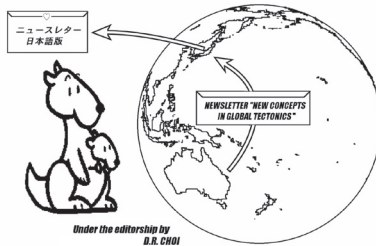
[英語版 Vol. 2, No. 1 <<http://www.ncgt.org/>> から翻訳]

日本語版 Vol. 2, No. 1 (2014 年 6 月)

■ Print edition ISSN 2186-9693

多数のカラー図面は、下記のオンライン版をご覧ください

■ Online edition <<http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/ncgt/>>



編集長 : Dong CHOI, 編集委員会 : Ismail BHAT, India (bhatmi@hotmail.com); Peter JAMES, Australia (glopmaker75@hotmail.com); Giovanni GREGORI, Italy (giovanni.gregori@idac.rm.cnr.it); Leo MASLOV, Russia (ms_leo@hotmail.com); Cliff OLLIER, Australia (cliff.ollier@uwa.edu.au); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dp@daavidpratt.info); N. Christian SMOOT, USA (christiansmoot532@gmail.com); Karsten STORETVEDT, Norway (Karsten@gfi.uib.no); Boris I. VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru); Takao YANO (yano@rs.tottori-u.ac.jp)

も く じ

■ 編集者から	Plate tectonics in disarray 混乱の中のプレートテクトニクス	[小松宏昭 訳]	2
■ 編集者への手紙	グローバルテクトニクス・地震予知・現在進行中の議論 K. STORETVEDT	[小坂共栄 訳]	3
■ 原著論文			
	9/56 year cycle: earthquakes in Japan, Kamchatka and Alaska D. McMINN	9/56 年周期 <要旨> [矢野孝雄 訳]	6
	Massive solar eruptions to cause tectonic uplift R. JOHNSON	太陽代爆発と造構隆起 <要旨> [矢野孝雄 訳]	6
	Airport communication as seismic precursor Arun BAPAT		
	地震の前兆としての空港情報	[赤松 陽 訳]	7
	Relation of seismicity with surface faults in Pakistan: An overview Haleem Zaman MAGS		
	概説 : パキスタンにおける表層断層と地震活動との関係	[久保田喜裕 訳]	11
	Origin of oceans: Spreading vs primary oceans models A.V. KHORTOV, A.E. SHLEZINGER & G.B. UDINTSEV		
	大洋の起源 : 拡大モデル対初原海洋モデル	[柴 正博 訳]	19
	Seismo-electromagnetic energy flow observed in the 2014 M6.7 earthquake offshore Tarapacá, Chile D.R. CHOI		
	チリのトラパカ沖地震 (M6.7 2014 年) で観測された地震 - 電磁気エネルギーの流れ [矢野孝雄 訳]		23
	Australasia within the setting of global wrench tectonics Karsten M. STORETVEDT & Biju LONGHINO		
	グローバルレンチテクトニクスから見たオーストラレーシア	[杉山 明 訳]	27
■ 討論	Global tectonics: Prediction and confirmation P. M. JAMES	テクトニクス : 予測と証明 [矢野孝雄 訳]	52
■ 出版物			
	Communicating earthquake risk to the public D.E. ALEXANDER	地震発生の危険性を伝える [山内靖喜 訳]	53
	The frontier of earthquake prediction studies 早川正士 (編)	地震予知研究の最前線 [山内靖喜 訳]	54
	Fukushima: Earthquake prediction in the shadow of consensus science J. GRESSER, J. CASEY and D.R. CHOI		
	福島 : 科学に関するコンセンサスの影に隠れてしまった地震予知 [小泉 潔 訳]		54
	The global climate status report John CASEY	地球規模気候状況報告 [山内靖喜 訳]	59
■ ニュース	European Geological Union General meeting, and 14th IAGOT	[矢野孝雄 訳]	61
■ 財政的支援について / ニュースレターについて			64

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

連絡先 〒 680-8551 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学地域学部地域環境学科 矢野孝雄 Phone/Fax 0857-31-5113 EM yano@rstu.jp

翻訳・編集 : NCGT 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

編集者から

FROM THE EDITOR

(小松 宏昭 [訳])

混乱の中のプレートテクトニクス Plate tectonics in disarray

多くの NCGT Journal の読者は、ここ数年（地球科学関係の）主要雑誌で、プレートテクトニクスに関する論文が激減していることにお気づきだろうか。編集者は、編集項目の1つとなるこの事実に注意を払う必要がある。いたるところでプレートテクトニクス信奉者が混乱している様子を示す多くの兆候がみられる。今日、日本やいくつかの国では、しばしばテレビのニュースで太平洋の海溝で発生した巨大地震の原因を（これまで説明されてきた）プレートの沈み込みで説明しなくなっている。2011年3月に起きた東日本巨大地震以来、プレートテクトニクスに対する大衆の姿勢ははっきりと変化した。

最近日本では、プレートテクトニクスの衰退を反映した論文が発表された。その論文は、世界平和研究所—ここは著名なビジネス仲介サイトである日本ビジネスプレス JBpress である—の研究員によって執筆された (<http://jbpress.ismedia.jp/articles/-/40113>)。一方、われわれ NCGT メンバーの一人である角田史雄氏が発展させた新しい地震発生モデルが紹介された。角田氏は、巨大地震の発生を説明できないプレートテクトニクスモデルを厳しく批判している。

地質学者は（地震予知に関して）地震学者とは異なるアプローチを持っている。モデル駆動の方法論を主とする地震学者は、地質学のデータを自分たちのモデルに合わせようとし、時としてモデルに合わない地質学的データを軽視する傾向がある。プレートを動かすことのできる明確な力は存在しない。コンピューターを駆使した数多くの試みにも拘らず、マントル対流によって引き起こされた摩擦は、プレートを動かすには十分な力とはなり得ないということが明らかになってきた。角田博士は、火山活動や地震活動そして地質学に関する膨大なデータから、伊豆-小笠原海嶺に沿って一定の速さで地震-火山エネルギーが北上することを明らかにした。氏は2020年—正確には東京オリンピックが開催される頃—浅い震源の、強い地震が東京の南で起こると予想する。われわれは、厳密に検証されていないプレートテクトニクスを認めるわけにはいかないが、地震の発生機構や予知を理解する助けとなるあらゆる理論を追及し、実用的に受け入れていくべきである。

これは日本政府に近い地震学者でない人物によって公的に述べられた意見である。それは（日本の）一般大衆の大多数の意見として受け取られるべきものである。日本人々は2011年3月に起きたM=9.0

の地震と津波による壊滅的被害を受けた福島原子力発電所の状況をさらに悪化させるかもしれない将来の巨大地震を特に心配している。本号の p. 55 ~ 59 に述べられているように、Explorer's World のチームと国際地震火山予知センター (IEVPC) は、プレートテクトニクスに頼らない多くの学際的アプローチにもとづいて、地震による社会不安を和らげる助けとなる包括的地震予知を提案する。

加えて、地震に関係したエネルギー流についての私たちの新しい概念は、最近の多くの巨大地震に適用できるものである。最も新しい事例が、本号の p. 23 ~ 26 に掲載されている。それはチリ北部の沿岸で起こったM=8.0とM=6.7の地震で、IEVPCが予知に最も成功したもののひとつである。エネルギー流の概念は、プレートの沈み込みに頼らずに最も的確に地震の発生を説明する。

今日、炭化水素（石油）の探査に携わっている地質学者の間では、海洋底の下には大陸性の岩石が存在するということが暗黙の原理となっている。石油産業では早くから海洋地殻における大陸的性格を受け入れている。これは、深海での積極的な石油探査という風潮の強力な底流となっている。そのおかげでわれわれは、マスメディアの「石油生産は頂点に達している」という見解に対してそれ以上耳を傾ける必要はない。世界中の海洋に古期大陸性岩石が存在するという確たる証拠を提示してきた NCGT のメンバーの一致協力した努力は、大きな成果を生み、人類の繁栄に貢献するであろう。

しかしながら、われわれの発見のすべてが人類の平和や繁栄に役立ってきた訳ではない。海洋底の潜在的な鉱物資源が原因となって、領土問題が世界各地の海洋島で起こっている。そのなかには、中国と日本そして韓国と日本の間における南シナ海や日本海での領土問題も含まれている。

上記の事実と発達はわれわれがすでに戦いに勝利したことを証明している。プレートテクトニクス信奉者とその支持者たちは、彼らが最高の真実と信じ、そして世界の地質学会をほぼ半世紀にわたって席捲したその理論が根拠薄弱な筋道の立たない理論であると認めなければならない。これは、地質学研究における革命である。NCGT メンバーは、自分たちが（地球科学の）歴史的な発展において大きな役割を果たしていることを自覚すべきである。

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

親愛なる編集者へ

(矢野 孝雄 [訳])

NCGT ジャーナルを定期発行いただき、厚くお礼申し上げます。この雑誌は、今日の地球科学界でもっとも興味深く、また、独立性をもった雑誌であり、それがあなたの雑誌の大きな長所になっています。私は2004年以降 NCGT ジャーナルの読者の1人になったことを幸運に思っています。2004年にフローレンスで開催された第32回 IGCで、私は2件の発表を行いました、そのうちの1つは、友人の Sholpo とともに、“グローバルテクトニクスの新概念”セッションで報告しました。私たちはともに Beloussov の研究部門に勤めていて、亡くなった Sholpo は Beloussov の直弟子で、支持者でした。

Beloussov の逝去とともに、ロシアでの地質思考における反プレート論は、量的にも質的にもしだいに弱体化しました。それが、地球ダイナミクスの幅広い視野にもとづく、教義にとらわれない研究によって生まれる新しい考え方をみだす可能性を、きわめて優位にしている背景になっています。NCGT ジャーナルは興味深い科学雑誌であるばかりでなく、基礎から応用にいたる幅広い本質的問題を議論するための国際的基盤になっている、とみるのが客観的だと思います。NCGT ジャーナルに関わっている地球科学研究者の明晰な頭脳が統合されて、現在優勢な教義的思考にうち勝つ統一戦線を形成し、やがて、健全で挑戦的な新概念を創出することでしょう。

NCGT ジャーナルのおかげで、私は新しい新鮮な概念—レンチテクトニクス (Storetvedt) とサージテクトニクス (Meyerhoff と後継者たち)、および、それらの間の躍動的な論争—を学ぶことができました。そこで、感情的に熱した反対者—建設的思考には不可欠であるが—を調停している編集者に、私は改めて深謝します。また、自然と社会の両方における実際のできごとに即座に対応するのも、NCGT ジャーナルの偉大な長所です。それには、国際会議に関する思慮深い報告や重要な新しい出版物のほか、とくに最近の地震に関する多数の論文 (編集者による論文を含めて) が含まれています。

NCGT ジャーナルにロシア人著者の記事が掲載されることが、私にとって大きな喜びです。そのような著者には、私の友人である Nina Pavlenkova, Gennady Kochemasov, 他が含まれています。

私は、あなたの今後のとりくみがうまく成功をおさめ、地球の構造と進化に関する独創的で実りある考え方が発展することを願っています。

敬具

永遠の読者 Lidia Ioganson

ロシア科学アカデミー地球物理学研究所、主席研究員

e-mail iogan@ifz.ru

グローバルテクトニクス論・地震予知・ 現在進行中の議論について

Global tectonic theories, earthquake prediction, and
the ongoing debate

(小坂 共栄 [訳])

親愛なる編集者へ

地震やその前兆現象に対するこのジャーナルの、継続的でかつ斬新な焦点の当て方は、地球内部の動きをより詳しく理解するためのとても重要なステップとなっている。その結果、期待される地震学理論の発展が、プレートテクトニクスを入れる棺桶にふたをする最後の釘となればよいのだが。

地球表層部のようすは、地球内部の状態に関係したシステムの表現であるため、テクトニクスに関する確かな表現は地質学的状況に関する我々の全体的理解に関するパーカッションに密接に結びついたものでなければならない。地震は地球内部の状態の現れである。したがって地球の“造構力学関数”を明らかにしようとする努力は、まずもって表層部のさまざまな地質環境の解明から始めなければならない。このようにして成功したグローバル理論というものは、地震の原因—もちろん、どのようにしてそれを予知するかも含めて—も当然の帰結として扱われる。

この見方は、Michael Faraday の “unity in diversity” の法則、すなわち “自然界のあらゆるものは、何かしらほかのものと関係を持っている” という法則に従っている。私の最近の論説 “Domino requisite in global tectonics グローバル理論に不可欠なドミノ (NCGT, Vol. 1, no. 4, p. 59)” で、私は、地質学的機能性をもつグローバル理論が一種の unity in diversity をかたちづくっていて、どのように構成されているかを示してみた。これをほかの言葉で述べると、どんな特別な造構現象、たとえば地震などのようなも

の、であろうとも何かグローバルな造構モデルに依存してそれを決定的な現象として説明せざるを得ないということである。その主要部が、一連の現象をしっかりと説明できるもの、すなわち一連の現象に関する観察を、特別なメカニズムを取り入れることなくそのまま他の現象の予知にあてはめることができなければならないということである。

Neil de Grass Tyson(1994) は、これに関して次のように述べている。“ある種の理論は、新しく発見されたものに対しては目を向けずに、知られている現象のすべてをその理論に都合の良いように説明しようとするものだ。ボールのような理論などは科学にとっては何の役にもならない。なぜならその理論は、厳密なテスト（検証）を受けていないし、その理論に対して障壁となるような事実を避けながら作られたものだからである。それ故、そのような理論やその結論というものは、それを検証することができないのである。”と、このことについて、Imre Lakatos (1978) は、“それが間違いだと立証できる実験や観察を用意できる理論は科学であり、間違いの可能性を提示できないものは偽科学である”と述べている。

プレートテクトニクス論に関しては、厳密な科学的検証は全く期待できそうにないし、社会的・政治的な理由で、問題になることはその時々都合よく片隅に追いやられて無視されてしまう。私はこれまで“その意味で、この論は spherical-type なのだ”と私の書籍や論文で繰り返し述べてきた。グローバルテクトニクス論が出て以降の早い時期から、地球科学の世界はすべてのことが皆が知らないうちに進んでいくというひどい状態に置かれてしまった。私の専門領域に限ってみれば、Surge Tectonics 論も、もう一つの不可解な ball-shaped hypothesis である。私のオープンな主張に対して、Surge Tectonics 論の支持者から期待通りのホットな反応が返された。私の最近の議論では、科学的議論において判断を誤らせる心理的でかつ社会的・政治的な側面についても取り上げられている。

自然科学のある特定の分野は、それについての特別な理解がなくてもそれが生産的でかつ有用だということはすぐにわかる。石油産業はそのよい例である。石油の起源やその岩石中での移動についてはまだよくわかっていない。石油は一般に言われている考えに反して、たとえばしばしば結晶質基盤岩の中で見つかったりする。以前私はこのジャーナル誌上で、“そのことは石油や天然ガスが地球のコア部分から延びる板状のものからの脱ガス化と、それに関連したマントルの遷移によって生成されるという考えを支持するに十分な事例だ”と述べた (Storetvedt and Longins, 2012; Storetvedt and Bouzari 2012, その他)。アセノスフェアやリソスフェアでの揮発

性ガスの圧力が上昇すると、その力はその上に重なる物質の荷重を超えて大きなものになる。その結果、ガスを閉じ込めていたバリアは破壊され、深部断裂に沿って地震を発生させることになる。ガスや流体の圧力の増大過程で、表層部では目に見えないほどわずかのメタン・二酸化炭素・硫黄酸化物などのガスの流れが、大気温度のわずかな上昇とともに突然の雲の出現を伴って増加する。

これらの現象は、大地震に先立って起こる大気中の霧現象などとして報告され“earthquake weather 地震気象”などと呼ばれている。この点で、このようなマントル中のガスの放出やそれに関係した地磁気異常などは、私のレンチテクトニクス論の当然の帰結として説明できるのである。

現在進行中の論理に関する論争についてコメントするなら、このジャーナルの最近の主張では、“我々の目標は、最も適切なモデルをさがすことにあり、他者の主張を打ち負かすことではない”と述べている。この主張について、私はいささか当惑している。NCGT ジャーナルのそもそもの存在意義は、プレートテクトニクスに代わって最も現実的なグローバルテクトニクス論を科学の世界に紹介することにある。それは逆に言えば“現在流布しているプレート論や、その主要なリーダー達を打ち負かす”ことにある。更に言うなら、一般的に、人々は“サイエンスとはその内部に冷静で論理的な目的を備えた頭脳活動であり、科学方法論として一般化されたものに導かれて、人間的にも偏屈なものからは離れたものだ”と言いたがるが、それは全くの間違いである。

“Induction and Intuition in Scientific Thought 科学的思考における直感と証拠の提示”という Peter Medawar (1969) の著作の中で、彼は“科学者というものは、自分自身や自分の科学的活動を誤って伝える傾向にある。また科学の世界での何かしらの記念大会は、おしなべて、幕が上がり聴衆が見ている前では単純な（みせかけの）ポーズであり、その背後にある真の姿は隠されている”，と述べている。諸君が科学者の誰かに“それについての科学的な手法は何か？”と尋ねたとしよう。彼 (Medawar) はこう答えるだろう。“彼は一見威厳に満ちて、そのくせキョロキョロと落ち着かない態度を取るに違いない。威厳有りげなのは、彼はその意見を明言しなければならないからであり、その一方で彼はそれを明言するだけの確たる信念もないし、事実をなぜ隠すのかがよくわからないためにキョロキョロしてしまうのである”，と。

その時点で支配的な理論というものは、どんな科学の分野でも最も弱い部分である。基本的なことだということへの無理解から、科学の世界では、繰り返えされる主張や社会的・政治的な動機や混乱などと

結びついて、その時の一般論が形作られていく。例を上げれば、1960年代中頃～後半のプレートテクトニクスの conversion process の中にあって、私は若い一人の（プレート論への）賛同者だったのだが、そういう人々は皆ある種の騙し屋だったと言って良い。振り返ってみると、プレートテクトニクスは科学的な賛同者を持った当時のはやりの“カラクリ仕掛け”のようなものであった。その後、プレートの拡大やサブダクション説が教育のあらゆるレベルを席卷してしまうのだが、それに関する厳密な検証が失敗した例は無視されてしまった。社会的-政治的な強い要請は、それに対する否定的な科学的事実であっても、その影を薄くさせてしまうのである。不器用な観察などは、自己のキャリアを高めるのには何の役にも立たないのである。1970年代になって、私が地球科学的な経験を積む中で、グローバル地質学の新しい方向を目指そうとする科学者たちは、次第に口を閉ざすようになっていった。私は大学で新しく教授職に就いてすぐに、プレートテクトニクス論の中ではもはや誰も新しいプレートモデルのリーダーシップを取ろうとしていないことに気づいた。ノルウエーでは地質学における新しい見方の子供向けのマンガは、1973年に作られたのだが、1975年ごろまでには彼らの作った地質学や地球物理学でのカリキュラムは、上っ面だけのアイデアに過ぎないものとして、誰も目を向けなくなっていた。

このジャーナルで現在進行中の2つの学説に関する議論で、どちらが真実に近いかはそれらに対する支持者の数によって決まるものではないことに注意を向けなければならない。科学というものは一般の投票によって決められる類のものではない。科学の世界では、ひとつの新しい考えに対する脅迫は逆にそれに対する闘争心を引き起こすきっかけとなる。なぜなら、科学者というものは常に新しいアイデアに対する抵抗者であるからである。Brooks (2012) は、科学の進歩について次のように述べている。“科学とは、血を流すことのない戦争である。そこには城塞があったり、壊れた橋もある。またそこには、かつてはヒーローだったが、今では一人よがりな役にも立たない考えになったために、脇にどいてもらわなければならない人もいるのである。”

さまざまな非科学的な理由で、その時期に専門家たちにもはやされている主張に抵抗しようとする考えは、それを主張する者がどんな地位を得ていようと、誤ったやりかた、脅し、根も葉もない噂の流布などを含んだもので妨害されてしまうのである。そんなところでは、公の場での議論などはシャドーボクシングよりもまだ役に立たないことになる (cf. Brooks 2012)。科学の世界では、人間性の裏側というものが現れる。彼女は、Guardian 紙上での論説 “Peer Review Is No Picnic” (<http://www.guardian.co.uk/science/blog/2010/sep/06/peer-review>) を見てほし

い)で、生物学者の Jenny Rohn の次のような事例を紹介している。“ある国際学会のシンポジウムで、私はそれこそ初めての講演を行ったのだが、フィールドで刺のあるバラが静まり返った聴衆の前で私に向かって情け容赦のない冷笑とともに、私の考えが完全に間違っていると述べたのである。今日ではもちろん簡単に反論できるのだが、その時の私はあまりのショックで何も反論できなかった。また、当時私はあまりにも無邪気だったためか、彼の脅迫めいた反論が、私の発見そのものが彼にとっての脅威になっていることから出て来ていることに思いも至らなかったのである。”

科学の歴史における重要なパラダイムシフトというものは、いずれもそれを発見した科学者の個人々の強い力によって推進されて来たことを忘れてはならない。成功した理論というものは、“誰もが知っているものなのに、誰も考えもしなかったこと”のように見える。彼ら（新しい理論の提唱者）は自らの足で立ち、そのスタイルは（自然に対しての）畏敬の念を持つと同時に、科学の常識に対しては軽蔑の念を持つもののように思える。また他人から孤立した生活や、自分自身のために研究することを楽しむというスタイルのように見える。とは言っても、やはり彼らの思考は一見無茶のように見え、また情け容赦のない批判は個人的な対価を必要としている。これらのことから、我々は科学の進歩というものは実に骨の折れる仕事であることが分かる。Isaac Newton が大学で彼の仕事を講義できるようになるまでに、実に35年も要したことを Brooks (2012) が述べているのを思い出させる。また、最近のことでは、生物学者の Barbara McClintock や物理学者の Alfvén と Chandrasekhar が受賞したノーベル賞は、彼らが40～50年も前に成し遂げた仕事に対してであった。

どんなに間違った理論であっても、ごくまれには正しい主張をしている場合があることは言うておかなければならない。グローバルテクトニクスや地球の進化などのように、自然の多面性を扱う場合、重要な現象はその他の地質学的特性と密接に結び付けられなければならない。そのような密接な関係が確かなものになると、我々は機能的で期待できる理論の下で仕事をしているという信頼感を得ることが出来る。このジャーナルの最新号 (vol. 1, no. 4) に、Bapat et al. の “Thermal Seismo-electromagnetic Signals ...in NW Australia...” というタイトルの論説がある。この論文では、“hot” なガスや流体の中間的な放出—これが広域的な地磁気異常が短期間存在したり、それが長い周期で回転する現象、海面温度の上昇、電磁波の伝播などを引き起こす原因であることを紹介しているのだが、これらの現象が2013年12月末に北西オーストラリア沖でサイクロンが発生したことに関係していると述べている。

文 献

この論文の筆者らは、観察された一時的な物理現象が Exmouth Plateau や隣接する海岸沿いの先カンブリア紀楕状地の発展のようすを示すと考えている。彼らは、それらの現象をマントル由来のガスのその地域への放出と結びつけているが、その周辺地域の重要なメガスケールのテクトニックな特徴には注意を向けなかった。私のレンチテクトニクスでは、イオン化したガスと流体の放出は、この南部のリソスフェアの間欠的な wrenching (ねじれ) に関係したと考えられる。このモデルによれば、報告された短期間の地球内部の回転によるいくつかの物理的異常は、互いに直交する広域的断裂に沿う引張応力場の形成に関係したものである。短期間の引張場は、マントル内のガスや流体を軽く叩く効果を果たす。グローバルな wrench tectonic system では、海洋性リソスフェア域に隣接するオーストラリアは新生代以降、反時計回りのねじれ状態に置かれた。オーストラリア周辺の幅広い海洋域の造構的変形は、google earth でも十分に見ることができる。このジャーナルの今号の別の論文 (Storetvedt and Longinos 2014) で、この反時計回りのねじれを支持する事実をいくつかまとめている。それらの動きそのものは、海洋域と陸域の非調和を示すものではないが、そこにリソスフェアの変形が集積していることを示している。このような反時計回りの動きは、西オーストラリアの断裂帯に沿って局所的引張場を容易に生じさせ、その結果上部マントルからの断裂に沿ったガス放出の道を開けることにつながったのである。このような上部マントルからのガスや流体の放出は、ここだけに孤立した現象ではなく、地球の dynamo-tectonic system の主要部—それは南半球全域を包む造構環境全体の一部分をなしている。

このレターを終えるにあたって、私は、英国の数学者・生物学者であり歴史科学者でもある Jacob Bronowski (1951) の次のような言葉を紹介しておくことにする。“科学とは、成された仕事を受け入れることであり、成し得ていないものを拒絶することである。このことは、実は考えることよりもっと難しい。”

- Bronowski, J., 1951 (reprinted 2011). The common Sense of Science. London, Faber and Faber, 160p.
- Brooks, M., 2012. The Secret Anarchy of Science. London, Profile Books, 311p.
- De Grass Tyson, N., 1994. Universe Down to Earth. New York, Columbia University Press, 277p.
- Kuhn, T., 1999. The Deep Hot Biosphere. New York, Springer, 235 p.
- Lakatos, I., 1978. The methodology of scientific research programmes. Cambridge, Cambridge University Press, 250p.
- Laudan, L., 1977. Progress and its Problems. Los Angeles, University of California Press, 257p.
- Medawar, P., 1969. Induction and Intuition in Scientific Thought. Philadelphia, Am. Philosophical Soc., 64p.
- Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet. Bergen, Alma Mater, 456p.
- Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics. Bergen, Fagbokforlaget, 397p.
- Storetvedt, K.M., Leong, L.S. and Adib, M., 2003. New structural framework for SE. Asia, and its implications for the tectonic evolution of NW Borneo. Geol. Soc. Malaysia, Bull., v. 47, p. 7-26.
- Storetvedt, K.M. and Longinos, B., 2012. The Atlantic and its Bordering Continents – A Wrench Tectonic Analysis: Lithospheric Deformation, Basin Histories and Major Hydrocarbon Provinces. NCGT Newsletter, no. 64, p. 30-68.
- Storetvedt, K.M. and Bouzari, S., 2012. The Tethys Configuration and Principal Tectonic Features of the Middle East: A Wrench Tectonic Survey. NCGT Newsletter, no. 65, p. 103-142.

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

原著論文

ARTICLES

9/56 年周期：日本，カムチャツカおよびアラスカにおける地震 [要旨]
FACTS, THEORIES, BLIND COMMITMENTS AND SOCIO-DYNAMICS [Abstract]

David MCMINN
Independent Scholar
mcminn56@yahoo.com; www.davidmcminn.com

(矢野 孝雄 [訳])

“存在する2つの矛盾は、私たちを疑い深くさせる。古いものは機能せず、新しいものに私たちは慣れていない。” Jean de la Bruyere

要旨: この論文は、日本とカムチャツカで発生する大地震にみられる 9/56 年周期の予測性を検証する。9/56 年効果は、不思議なことに前者ではなく、後方で確認される。しかし、これら2つの地域のデータを統合すると、大地震 ($M \geq 8.1$) に 54/56 年および 9-45/56 年格子との対応関係が認められる。56 年および 9 の倍数年で構成されるこれらの格子が日本-カムチャツカにおける地震発生のタイミングにそれほど重要である理由は未解明である。月-太陽潮汐の調和性はこの不思議な現象の解明にとって根本的に重要であるが、それ以上のことはよくわからない。日本-カムチャツカで確立された事象に類似する 54/56 年および 9-45/56 年の地震格子がアラスカでも成立することは重要である。

キーワード: 9/56 年周期, 54/56 年周期, 地震, 日本, カムチャツカ, 千島列島

大規模な太陽爆発とそれらの造構性隆起要因への影響 [要旨] MASSIVE SOLAR ERUPTIONS AND THEIR CONTRIBUTION TO THE CAUSES OF TECTONIC UPLIFT [Abstract]

Robert JOHNSON

Independent Researcher, Oxford, UK bob.johnson1000@gmail.com

(矢野 孝雄 [訳])

要旨: 今日までに公表された造構性隆起運動に関するすべての学説は、駆動エネルギー源を地球内部に求めている。このような仮定はさまざまな隆起モデルに矛盾をもたらし、それらのモデルはしばしば地形学的証拠に抵触する。外部エネルギー源はそのような制約をとりのぞき、その結果、十分な証拠にもとづいて多くの既存モデルが放棄されることになる。本稿は、大規模な太陽爆発によって生じる外部エネルギー源がこれまでのさまざまな時代の稀有な事件に関与したことを解明する。地球と太陽とのむすびつきと太陽のコロナ放出変化に関する天体物理学的証拠が、極度の太陽爆発の効果予測に関する既存モデルとともに検証される。極端なコロナ質量放出 [Coronal Mass Ejection] が起きると、光が地表にもたらしている現在の電荷にくらべて桁違いに大きな電荷が生じるであろう。こうして、地表へもたらされたエネルギーが、既存の多くの熱膨張および相変化モデルを通じて大規模な隆起をひき起こしたであろう。この放電にかかわった電場では急速なイオン拡散が生じ、それによって“花崗岩問題”も解決され、この仮説は地質学的証拠からも支持されるだろう。

キーワード: 造構隆起, 太陽爆発, コロナ質量放出, 荷電電流

地震の前兆としての空港情報 AIRPORT COMMUNICATION AS SEISMIC PRECURSOR

ARUN BAPAT

seismologist, India arunbapateq@gmail.com

(赤松 陽 [訳])

編集者註記: この論文は、パキスタン、カラチの NED 大学工学系で 2012 年 12 月 22 日開催されたパキスタン工学研究所 (IEP) 第 12 回年会の会報に初載された論文を再録したものである。一部修正されている。

要旨: 地震災害はほとんど警告なしにやってくるため、最も恐れられている。努力によって、直前 (数時間前) の適切で確実な地震前兆の発見がなされつつある。航空輸送は最も速いコミュニケーション法である。侵入機と着陸空港の間のコミュニケーションにおいて経験する障害は、地震の確実な前兆現象として役立つ。これは、地震-電磁効果によって生じる。そのような観測が記録されると、近隣の国々にも、適切な情報が知らされるはずである。もし、民間や軍のパイロットがこの現象について教育されたとしたら、地震災害を軽減する助けになるだろう。

キーワード: 地震前兆, 空港コミュニケーション

1. はじめに

地震は、最も恐れられてきた巨大自然災害の 1 つである。これは、地震が突然やってきて、実際には

ほとんど警告がないからである。今世紀に入ってから、いくつもの破壊的地震が起こった。2つの巨大でたいへん大規模な地震 ($M > 9.2$) が、2004 年 12 月 26 日にスマトラ (インドネシア) で、そしてさ

らに、2011年3月11日に日本の東北地方で発生した。スマトラ地震は、23県でおよそ25万人の死者が出た。東北地震は、福島原子力発電所に重大な被害をもたらした。加えて、インド、中国、パキスタンで、M8.0前後の3つの地震が起こった。パキスタンの地震は、2001年1月26日のブーイ (Bhuj: インド、グジャラート州) 地震と2005年10月8日のパキスタン地震である。これら2つの地震は、約10万人の死者を出した。2008年5月12日の四川地震は、約8万人の死者を出した。ニュージーランド、フィリピン、韓国、中国、エル・サルバドル、コスタ・リカ、カナダ、イラン、イタリア、ギリシャなどで、いくつかの中規模の破壊的地震が起こっている。このように天文学的数字の死者が出たにもかかわらず、破壊的地震の発生を予知することさえも全く不可能であったということは実に悲しむべきことである。そのような状況のもと、一般の人々やとりわけ科学者は、挫折を伴う失望を感じたにちがいない。しかしながら、この暗雲に対して希望の光もある。それは地震予知の最近の進歩である。Bapat(2003, 2008 and 2010a), Bernard et al. (1997), Freund(2006), Hayakawa(2010), Pulinets(2011) などの多数の研究者は、適切な地震予知の方法の発展に努めてきたし、あるいは、彼らの研究は、ほとんど完成の域に達したかのように見える。これから数年以内に地震予知の技術が十分な進歩レベルに達するに違いない、と期待される。イタリアの地震研究者たちが、目下、イタリアのL'Aquilaでの中規模地震の震源位置の困難な算定や、発生の予知のための正当で地道な仕事を行っていることは、深い悲しみの念をもって述べられる必要がある。

2. 地震予知の進歩

地震予知の目的は、最近30年ほどの間に、いくつかの変化を遂げた。1980年頃までは、地震予知は、大部分の技術者にとっては口にできない話題であった。それでも何人かの科学者は、地震予知の可能性を探索し、それを成し遂げようと努力していた。地震予知の目的を明らかにし、事実と数字にもとづく幅広い考察する試みを行ったのは、日本の科学者力武常次(1976)が初めてであろう。1990年までに多数の技術者、科学者、防災事業管理者、行政官らは、地震は予知することができるはずであると信じはじめた。また、地震予知分野の研究への資金提供は、社会的に有効であるはずだということがはっきりと理解された。通常、人命が失われる地震の発生の後、政府は、財政的な補償を死者の遺族に与える。もし、死者の数が膨大な時には、補償の総額もまたそれに対応して増加する。もし、地震を予知する有効な研究がなされているならば、人々にはあらかじめ効果的な警告が伝えられるはずであり、死亡数は確実に減少するであろう。

3. 予知の方法

研究初期のある時期に、地震予知研究においてもっとも重要とされたのは、ほとんどの場合、地震学・地理学・地質学・構造地質学的パラメーターに限られていた。それらについて、注目すべき前進もあった。しかし、研究結果は実際には役立たなかった。中国の科学者が、1976年に破壊地震の発生の予知に成功したことが最初であった。それは、1975年2月4日に起こったマグニチュード7.3の海城(Haicheng)地震であった。しかし、ついではながら、予知に利用されたパラメーターのうち、科学的に認められた地質学的・地震学的パラメーターは何一つなかった。中国の科学者は、ほとんど動物の異常行動の観察にもとづいて地震が予知できることを実証した。それは重要な成功であった。しかし、不運なことに、1年余りの内に、マグニチュード7.8の破壊地震が1976年7月28日に唐山(Tangshan)で起こり、推計で24万人の死者がでた。これは、特に、1975年の海城地震の予知成功後であっただけに、世界にとって大きな驚きであった。後に、地震予知の賛成派や反対派は意見を出し合い、慎重審議を行った。重要な発見の1つは、工学的技術に基づいた予知に、これらの地震前兆を考慮すべきであり、それらは地震の前の短い時間に現れるということであった。他の地質学的・地震学的・地理学的パラメータも慎重に検討されており、それらは常に検討されるべきである。それらとは別に、地震の数時間前のひじょうに短い期間に現れるいくつかのパラメータがある。それらは、動物や人間の異常行動、全電子含率(TEC)、長波放幅射(OLR)などである。Freund(2011)は、地震予知の成功は、地震学・地質学・地理学などを使わない方法によって可能であると述べた。

4. 地震 - 電磁気効果

中～大規模地震の発生前にはいずれの場合も、震源および震央の領域が温度上昇を経験する。温度上昇は、主に地震の原因となる断層両側の間での運動によって起こる。最初、運動はナノスケールで、ついで、ミクロスケールで起こり、最後には地盤の断裂をひきおこす。その結果、地下と地表の温度が異常上昇する。温度上昇は、物理法則に従って減少する。地磁気の磁気強度の減少は、逆に電磁波の伝播・反射に影響し、地震 - 電磁気効果として知られている。King(1983), Bapat(2010b), Ouzounov et al. (2006) およびPulinets and Ouzounov(2010)は、この問題を議論した。それは、ラジオ、テレビ、無線通信、空港交信など、すべての電磁機器に影響する。もし、あるラジオ局がたとえば1000kHzで放送しているとすると、潜在的震央域においては、1100, 1200, 1300, 1400・・・1500, そして1600kHzのような、より高周波帯で同じ電波が受信されるは

ずである。この効果は、1966年1月のタシケント地震によって初めて観測された。この効果は、中震～強震 ($M > 6.5$) の発生前の数週間にわたって現れる。同様に、テレビ番組の受信能力が攪乱され、音声や映像にぼんやりとした乱れが引き起こされる。これは、地震発生の約10時間前に現れる。地上通信線（電話など）による通信が著しく攪乱され、地震発生の数時間前に多くのバックグラウンドノイズ（暗騒音）が発生する。もっとも良い警報機は携帯電話である。中～大規模地震が発生する約100～150分前に、まず携帯電話がうまく機能しなくなり、つづいて、その直後に全く機能しなくなる。これは、2001年1月26日に発生した $M=8.0$ のブーイ (Bhuj: インド, グジャラート州) 地震, 2005年10月8日の $M=9$ のカシミール地震, そして2004年12月26日の $M=9.3$ のスマトラ地震のような、多くの地震の発生前に観測された。

有線電話への影響

ラトゥール地震の後、電話の受信が非常に乱れたことが報告された。電話サービスへの悪影響を監視するために、電話の設置数についてのデータや月ごとに訴えられた苦情の数が集計された。このような苦情数は、月平均で約3000件（偏差は±10～15%）であることがわかった。月ごとの電話の総利用回数はほぼ一定であった。苦情についてのデータは、（通信）機能障害や、管理・運営上および会計上のあらゆる種類の苦情を含む。地震は1993年9月29日に起こった。1993年1月～9月の苦情データは、次の通りである。

1月～4月期には月平均で約3000件の苦情があり、苦情の数が増加しはじめている。電話の総利用回数にはほとんど変化がなかった。その後の各月の苦情数が表1に示されている。

表1のデータは、地磁気磁場が、1993年5月のある時に変化しはじめ、増加を続けたことを示している。表1のデータを検証すると、約5ヶ月間の苦情の数の増加は、元の数 (3000～4600) の53%であることがわかった。障害を増加させる作用は、5月～9月に加速され、1993年9月29日に地震が発生した。地震発生後には、いくつかの新しい臨時電話が設置され、電話網の利用にかなりの増加がみられた。このような理由から、地震後のデータは用いなかった。地震-電磁気効果が地震発生の数ヶ月前に現れたようにみえる。現在のところ、電話通信の攪乱距離についてデータがえられているのは、わずか3カ所である。それらはマグニチュード6.3の1993年ラトゥール地震の際のものであり、その影響は震源から35kmの距離に位置するラトゥール町で観測された。

観測された地上および地下の影響に加えて、地震発生前には航空輸送へも悪影響がおよぶ。このタイプ

表1 ラトゥールにおける月別の電話苦情と電話利用回数

Month in 1993	Number of complaints
January	3000
February	3000
March	3000
April	3000
May	3200
June	3400
July	3700
August	4000
September	4600

の影響は、長い間、疑問視されてきたが、そのような影響の確実な証拠が、最近、オーストラリアで観測された。オーストラリア大陸は、地理的みると、世界地図の南端の角に位置している。オーストラリアへのすべての国際機はインドネシアの上空を飛行しなければならず、そこは地震活動と火山活動が顕著である。

航空通信への悪影響は、2004年12月26日に起こった $M=9.3$ のスマトラ地震のおよそ6週間前に初めて観測された。オーストラリアに向かっていたすべての航空機が潜在的な地震活動地域の上空を飛行していた時間帯に、はっきりとした異常を経験した。自動操縦システムが解除され、続いて航空通信に障害が生じた。軍用機でさえ、同様の障害を経験した。その当時 (2004年12月26日の前)、これらの原因は正確に理解されていなかったが、地震後に行われた観測によって、電子通信への悪影響が確認された。

航空機への地震活動の影響は、ほとんどの場合、地震派生前にみられる。これらは、磁気コンパスや統合化された飛行機器設備の誤表示として現れる。いずれの破壊的地震の発生前にも、潜在的震源地域における地下温度が上昇する。磁石が熱的影響を受ける場合はいつも、その磁氣的性質や実際の磁気力を弱める。キュリー温度として知られている特定の温度で、磁石の磁気作用・磁気力が完全に消失する。

地磁気におけるそのような減少は重要であり、航空機のナビゲーションに影響するにちがいない。2009年1月3日に、インドネシア領パプアでマグニチュード7.8の地震が発生した。地震発生の1週間前、航空機の自動操縦システムが、インドネシアのある特定空域を飛行する間、解除されていたことがオーストラリア国家航空局によってみいだされた。当時は原因がよくわからなかったが、後の研究によって、その空域が偶然にも大規模地震の潜在的な震源地域であったことが解明された。2010年1月12日に $M=7.0$ のハイチ地震が起こる数時間前、航空機は空港と通信できなかった。そのため、多くの航空機は、行先を他の空港へ変更せざるをえなかった。

5. 現象の数理的解析

地震発生の数日前（中～強震の場合は、およそ4～

6 日前)に、ラジオやラジオの報道の受信状態が著しく擾乱される。障害は、受信周波数の増加という形でみられる。もし、放送の周波数が 2000kHz であるなら、地震のおよそ 4 ~ 6 日前の潜在的震源域では、同じ放送が 2100, 2200, ... 2500, 2600kHz 等で受信されるに違いない、この受信周波数の増加は、次式であたえられる。

$$f = 1/2 \pi \sqrt{LC} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 f は受信者に受信された周波数、 L はインダクタンス、 C はコンデンサー (受信機の種々のタイプによって異なることがある)、 2 と π は定数。

このように、放送された周波数は変化しないことがわかるであろう。上の式はコイル磁石型の受信機とフェライト磁石型の受信機に対して有効である。周波数の明瞭な増加は、最終の受信時点に限られる。 L 項は分母と平方根の形をとる。 L の値 (主に地磁気磁界強度) のわずかな変化でさえ、受信された周波数を変化させるであろう。上の式 (1) は地震 - 電磁気効果に起因する現象をあらわしている。もし、この式が理解されなくとも、地質学的あるいは構造的断層を境に両側の岩体の運動に関する地震物理学は、地下の温度上昇を明確に説明する。インド、トルコ、イラン、日本、アメリカ、ロシア、インドネシア、そしてパキスタンなどで、地震前の受信周波数の増加が報告された。いくつかの国では放送周波数が監視されていて、放送された周波数の受信状態が、これらの観測所でモニタされている。周波数の受信状態が許容誤差の限度内である場合、地磁気磁場にほとんど変化がない、と考えられている。雲で発生する稲妻や雷を伴う嵐も、受信周波数を変化させることが知られている。しかし、それは一時的であり、継続時間は短い。いっぽう、ラジオへの影響は、およそ 1 週間前に出現する。

6. 飛行のための地震情報の利用

地震活動が活発な領域を飛行するすべての航空機には、地震の緯度・経度や活動的断層の長さが記載されている地図が適宜用意されている。それは、中～大規模地震に対する情報伝達手段となる可能性がある。パイロットや航空士は、断層上空を飛行するときには深い注意をはらっている。彼らは、付近の空港との通信を厳密に監視していて、航空機の自動操縦システムへの有害な影響の有無にも注意している。

7. まとめ

航空機で観測される地震 - 地磁気的影響は、手作業だけでなく、機器によっても容易に検出できる。もし、そのような影響が、地震活動地域を飛行中の多数の航空機が観測していれば、それに関係する国々は適

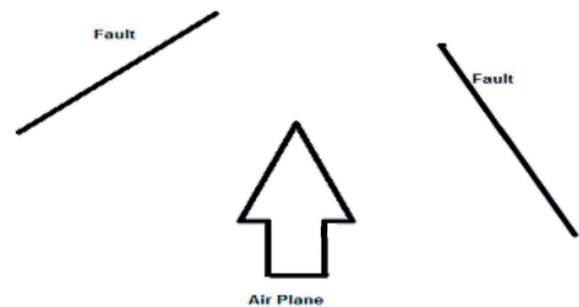


図 1 地震地域を飛行中の航空機は、その地域の地震によって生じる活断層の詳細を得られるであろう。地震活動の活発な地域や断層から約 50 ~ 100km 以内にある空港は、(a) 無線交信の障害、(b) 自動操縦システムの解除、そして (c) 飛行中の他のあらゆる異常な磁気情報の交信記録を保存するだろう。飛行経路中での通信障害の始まりに関するデータは記録され、その後のしばらくの期間においては、継続期間を伴う障害記録数が保存されるであろう。地震発生をめぐするすべての公式交信記録は、その地域における地震監視体制の維持にも役立つ。もし、ある航空機が空港と連絡できない場合は、非常に短い期間 (数時間) に迫った地震の予知と理解することが可能であろう。このように、航空機の交信は、中程度の期間 (数ヶ月) や短期間 (数時間) における地震予知にとっても有力な手段となりうるだろう。

切な警告を発することができ、また、人々の生命を救う手助けとなるだろう。

文 献

- Bapat, A., 2003. Role of Telecom in Seismic Surveillance. Proc. Nat. Sym. on Developments in Geophysics. Banaras Hindu Univ. Varanasi, India, p. 129-132.
- Bapat, A., 2008. Seismo-Electro-Magnetic and other Precursory Observations from Recent Earthquakes, Proc. First Indian Congress on Disaster Management, November 2008, New Delhi, India
- Bapat, A., 2010a. Disaster management plans in view of recent earthquakes. Current Science, v. 98, no. 10, p. 1287-1288.
- Bapat, A., 2010b. Use of seismo-electromagnetic effect as reliable seismic precursor for organizing earthquake mitigation on short term basis. Electromagnetic studies of earthquakes and volcanoes (EMSEV) workshop, Chapman University (USA), Oct 3 - 6, 2010.
- Bernard, P. et al., 1997. From precursors to prediction: a few recent cases from Greece. Geophys. Jour. Internat., v. 131, p. 467 - 477.
- Freund, F., 2006. When the earth speaks: Understanding pre-earthquake signals. First European Conf. Earthq. Eng. Geneva, Switzerland, 3 - 8 Sept 2006, paper no. 6, p. 1 - 10.
- King, C.Y., 1983. Electromagnetic emission before earthquake. Nature, v. 301, p. 377.
- Ouzounov, D., Bryant, N., Logan, T., Pulinets, S. and Taylor, P., 2006. Satellite thermal IR phenomena associated with some of the major earthquakes in 1999

– 2003. Phys & Chem. of the Earth, v. 31, p. 154–163.
Pulinets, S. and Ouzounov, D., 2010. Lithosphere – Atmosphere – Ionosphere – Coupling (LAIC) – A unified concept for earthquake precursor validation.

Jour. Asian Earth Sci. doi: 1016/j.jseaes.2010.03.005.
Rikitake, T., 1984. Earthquake forecasting and warning, D. Riedel Pub. Co. Dordrecht, Boston and London.

概説：パキスタンにおける表層断層と地震活動との関係 RELATION OF SEISMICITY WITH SURFACE FAULTS IN PAKISTAN: AN OVERVIEW

Haleem Zaman MAGSI

Department of Earth Sciences, Karakoram International University,
University Road, Gilgit 15100, Pakistan. dr.magsi@kiu.edu.pk

(久保田 喜裕 [訳])

要旨：本研究は、パキスタンにおける地震活動と表層断層との関係（これは変形の最終的な緩和過程であり、通常は分散した地震活動として現れる）ならびに地震静穏帯における強い地震の発生について論述したものである。パキスタンの地震活動は地塊構造や断層に関連していて、これらの地質構造は地殻中での運動エネルギーの発生・蓄積を制御している。第四紀断層と大地震の震源帯の方位を示したローズダイアグラムをみると、震源での変形が表層断層に常に反映されるわけではないことがわかる。震源の造構モデルによると、運動エネルギーの源は深部における最新期の造構運動に求められ、エネルギーは地殻ブロックに蓄積されていく。パキスタン国内における地震は、エネルギー蓄積と曲げ変形、それにつづく破壊－変位の最終的緩和といった一連の過程を経て発生する。深部の最新の造構運動の原因は、アルプス－ヒマラヤ褶曲帯の屈曲にかかわる広域的深部断層群に求められる。そのため、地震の多くは、Quetta 対曲, Makran 地域, Sulaiman 山脈東部, Indus-Kohistan 地震帯およびインダス川下流盆地に発生する。

キーワード：ローズダイアグラム, ネオテクトニクス過程, 向きを変える湾曲 (trend changing bends), 造構性震源 (seismotectonic focus), 曲げ応力

はじめに

多くの研究者、たとえば Ambraseys and Bilham (2003), Khan et al. (2002), Chandra (1975), Fan et al. (1980), Gaffar and Abbas (2010), Molnar and Tapponier (1973), Mona Liza and Khwaja (2005), Muhammad and Khatak (2002), Qasim Jan et al. (2008) および Quittmeyer et al. (1979) は、パキスタンの浅部断層の発震機構解を、インド・アラビアプレートの北方移動とユーラシアプレートとアフガン地塊へ潜り込みによる広域圧縮応力に結びつけた (図1)。あるグループ (Seeber et al., 1979) は、基盤が北方へ緩く衝上し, Hazara, Bannu, Potwar Plateau および Indus-Kohistan 地震帯の地震活動につながるデコルマ・基盤断層モデルを提案した (図2)。Mona Lisa et al. (2005) も, Bannu 盆地と Potwar 台地の震源として基盤断層モデルを支持した。Belousov et al. (1980), Blot and Choi (2005) および Magsi (1983) はこのデコルマ・基盤断層モデルを否定した (図3)。Makarov and Schukin (1979) は、深部変形が常に伏在断層に関連しているわけではないと主張した。さまざまな深度での脆性－延性変形の理解は、震源での造構運動の判断基準 (seismotectonic criteria) として重要である (Schukin, 2008)。

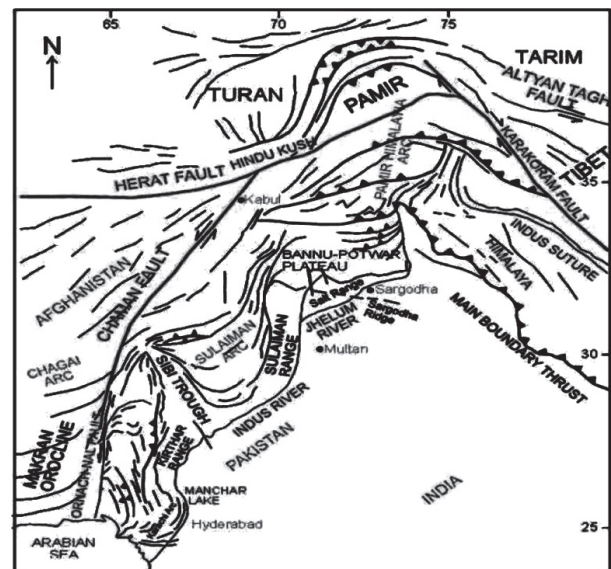


図1 パキスタンの構造図 (許可: Geological Survey of Pakistan)

震源域における解析結果をみると、震源における発震機構と地震時変位との間に整合性がないことがわかる。そのいくつかの例は以下のとおり；1935年5月30日マグニチュード7.5のQuetta地震, 1974年12月28日マグニチュード6.0のPattan地震,

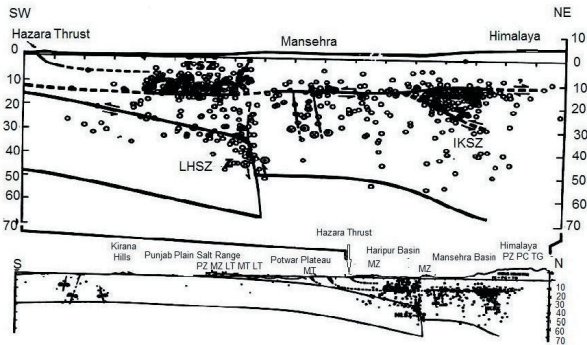


図2 Hazara 弧および Indus-Kohistan 地震帯の地震活動：デコルマ対基盤断層；IKSZ (Indus-Kohistan 地震帯)，LHSZ (Hazara Lower 地震帯)，UT, MT, LT= 上・中・下部第三系，MZ = 中生界，PZ= 古生界，PC = 先カンブリア系，TG = 第三紀花崗岩 (Seeber et al., 1979).

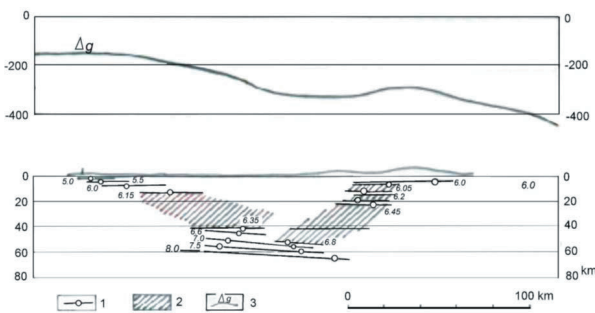


図3 ブーゲー異常曲線および Lawrencepur-Astor 沿いの地震波速度 (Belousov et al., 1979). 1: 速度層, 2: 地震波誘導層 (Waveguide Layer), 3: ブーゲー異常 Δg (上図).

Quetta 地震 (1935) の場合、地震時の変位として北西の地塊が約 60cm 沈降、南東の地塊が隆起するような正断層が発生した (West, 1935). 発震機構解からは逆断層運動と結論づけられている (Gupta and Singh, 1980). Pennington (1979) によれば、発震機構と余震分布はスラスト変形を示しているが、主マントル断層 (the Main Mantle Thrust) と地震時の表層破壊が起きなかったこととの関係は説明できていない。さらに、両地震とも同じ深さで発生した。

Quittmeyer et al. (1979) は、発震機構にもとづいて 1909 年 10 月 Kachi 地震に走向移動運動を提案した。この地震は、1909 年 10 月の M7.2 Kachi 地震 (Herron, 1911) の際に現れた地震断層の北端付近に発生したもので、N40°W 方向にのびる震央帯の西側地塊に約 70 cm の沈降をもたらし、それを横切る線路や電話線は破壊されなかった。このような発震機構解の解釈と表層断層との間にみられるくいちがいは、Nowroozi (1972), Tariq et al. (2002) および Baig et al. (2002) の Sulaiman 山脈での研究にもみられる。発震機構解の解釈と表層断層との関係にみられるこのようなくいちがいは、震央帯における地震時の緩和作用 (coseismic relaxation) の有無、断層の活動性 / 静穏性をもたらす造構エネルギーの蓄積と解放といった震源環境について理解するなど、より適切な解釈を見出すことを求めている。Schukin (2008) は、無地震地帯に突然に発生する大

地震を研究するなかで、震源での脆性・延性破壊による発光現象という地震造構環境に関する研究の重要性を主張している。

私見だが、震源に関する仮説では Gorshkov (1981) の提案が最も将来性がある：すなわち、その提案は、地震の震源は 3 次元的構造媒質 (a three-dimensional structural medium) や地塊、あるいは、ある容積の地殻～上部マントルをもっていて、そこに蓄積された造構エネルギーが岩石の強度限界に達すると、最終的に変形という運動エネルギーに転化する、というものである。震源の地震性造構環境を理解するうえでは、これが最も良い近道である。変形は造構エネルギーの蓄積と曲げ応力の発生に始まり、物質の塑性変形のメソメカニクス (mesomechanics) 概念どおり (Panin, 1998), 表層破壊などの緩和変位 (Kuchay, 2010) によってつぎつぎに発生する。

本研究の目的は、パキスタンにおける震源断層の役割を認識するため、造構地塊 / 断層と地震活動との関連性を評価することにある。Quetta (1935) と Pattan (1974) は、造構性震源 (seismotectonic focus) モデルから、震源域での地震時破壊の有無や動かない表層断層の原因を説明することを試みている。本論では、パキスタン国内と近隣地域における震央と造構地塊・表層断層との関係を議論し、非震性地帯 (Schukin, 2008) や、動かない断層 (locked faults: Takashi et al., 1991), 厚い堆積物で覆われたインダス・デルタでの活発な地震活動 (Bilham et al., 2007) などの問題点を明らかにする。

地表断層に関する地震活動

地震活動の体系的研究と表層断層および地質構造との関連は、前世紀の 1980 年代に始まった。2005 年 10 月 8 日の破壊的地震は、インドプレートとアラビアプレートの北方移動、ユーラシア・アフガン地塊下への潜り込みによるという造構作用の概念に、地震学の研究をつよく当てはめる結果となった (図 4)。もぐり込み帯を横断する Lawrencepur-Astor に沿う深発地震の断面形態からは、Gilgit-Balochistan におけるアンダースラスト作用は認められない (Belousov et al., 1979)。この潜り込み帯の問題については、別の論文で議論したい。

パキスタンにおける地震活動の初期の公表データは、Moritsa (1870) の論文にもとづいて解析されたが、それは 1819 年 Allah Bund 地震 (Oldham, 1869) 時の隆起運動 (6.4m) をはじめ、重要な地震が掲載されている 893 ~ 1869 年の地震一覧を利用したものである。地震と表層断層との関係は Griesbach (1893) によって報告されたが、彼は 1892 年 12 月の Balochistan 大地震 (Chaman 断層

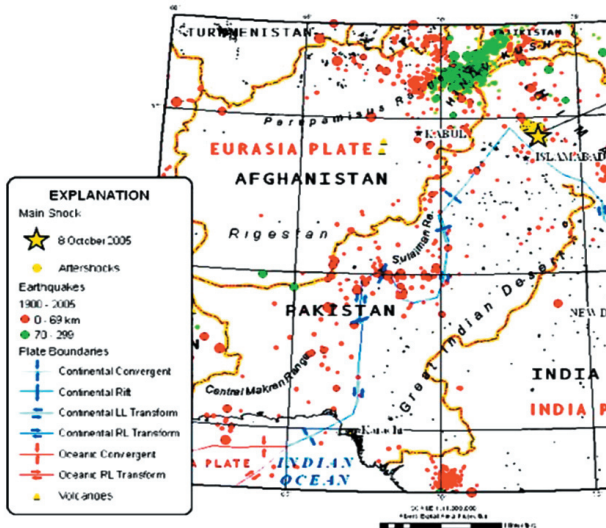


図4 パキスタンの地震活動図。青線はインドとアラビアプレートの境界。(EERI Special Earthquake Report — 2006年2月)。

から Old Chaman 市西方へ約 75cm の左横ずれオフセットを生じた) を研究した。Quittmeyer et al. (1979) は、1505 年地震時の Chaman 断層の北端セグメントの垂直変位と、インドプレートの北方移動に伴う Chaman 断層に沿う連動した垂直・水平変位について述べた。彼らはまた、パキスタンの地震活動について、表層断層や狭長地帯(地震活動の放散方向に調和的)との関連についてもその特徴を記した。Takashi et al. (1991) は地震時に動かない静穏な(非震性)断層に対して“固定された (locked)”という用語を使用し、そのような場所は大地震の間、変形していることを意味すると指摘した。Seeber et al. (1979) は、Chaman 断層はトランスフォーム断層境界だと提案した。Lawrence and Yeats (1979) は、地震活動と地形現象にもとづき、Chaman 断層を 4 つのセグメントに分けた。セグメントの解析によると、ほとんどの震央が Chaman 断層の活動的なセグメント内に限られている。Farah (1976) および Yeats and Lawrence (1979) は、2 つの地震 (M6.6, M5.2) は Chaman 断層の活動的なセグメントに関連していたことを示した。Shafiq et al. (2012) は、Quetta 対曲における強い地震 (1982 年 12 月を含む) は Mach リニアメント (図 5) に関係していること、また表層断層の再活動による地震やその周期については、小さい地震が複雑な断層系に関連して起きているなど、不明な点が残っているとの見解を示した。

大地震があちこちに散在したり (Gaffar and Abbas, 2010)、カシミール地域の大断層や地震の少ない地域から外れて発生することがしばしばあるが、そこは 2005 年 10 月 8 日のカシミール地震で放出された蓄積応力エネルギーを誘発するような複雑な断層系の近くである。Magsi (1985) によれば、複雑な断層系内の低地震活動は地殻の強い変形作用に求めることができるが、そこで大地震が発生するには造構応力の蓄積が不十分である (図 6)。さらに、

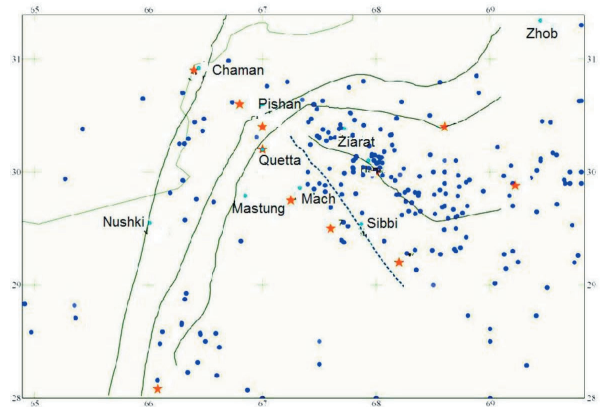


図5 Quetta および Mach リニアメント付近の局所的・広域的断層(点線)。橙色一星印および青色丸印—震央 (Shafiq et al., 2012)。

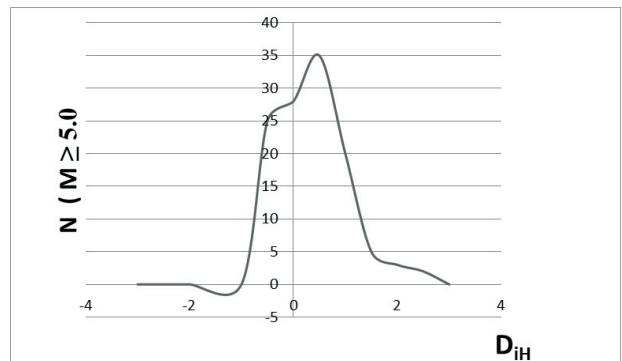


図6 震央の数と地殻変形の基準強度線 (isolines) との関係: DiH = 地殻変形の基準強度, N = 地震数 (Magsi, 1985)。

2005 年 10 月のカシミール地震のような強い地震は、起震層上部からのエネルギー放出の結果である (Magsi, 2013)。

地震時の変形と発震機構との違いは、パキスタンでは現在も議論が続いている問題である。たとえば、Armbruster et al. (1980) は、Quetta 地方における地震活動の研究のなかで、1935 年 5 月 30 日の Quetta 地震の震央を通る Chiltan あるいは Takhatu 表層断層と地震時の破壊との直接的な関係を見出すことができず、その地震を Quetta 断層によるものとした。しかし、その地震の発震機構からはスラスト運動によることが示されている (Gupta and Singh, 1980)。Gupta and Singh (1980) および Armbruster et al. (1980) は、Quetta 対曲では、発震機構にもとづいて推論されたスラスト運動だけでなく、全般的な走向ずれ断層運動に気づいた。

Seeber et al. (1979) および Armbruster et al. (1980) は、Chaman 断層帯に伴う走向ずれ運動を想定した。しかし、1935 年 5 月 30 日の震源域における野外調査では、60cm の鉛直変位があるという事実が確認された。このことは正断層であることを示しており (West, 1935)、発震機構解から決定された走向移動変位とスラスト断層運動とはまったく異なっている。その正断層は Sibi 横断前縁

盆地 (Sibi Transverse Foredeep, Magsi, 1983) および北部 Kirthar 中軸帯 (Kirthar Axial Belt, Noushaba, 2004) で特徴的づけられる明瞭なグラーベン状断層を示している, 図 7. Solovieva (1967) は, Sulaiman 山脈の地震はネオテクトニクス作用の結果として形成された地塊に伴い, 活動的な痕跡を残すセグメントを含む Quetta 地域の地震活動は複雑な造構的結節部 (a complex tectonic knot: 北東および北西構造の交差部) に関連していると指摘した. このことがアルプス褶曲帯の鋭い対曲を形成した. 同様の解釈の不一致は, Nowroozi (1972), Tariq and Qaisar (2002) による Sulaiman 山脈でも観察されているが, 彼らは Harnai 地域で起こった地震—Sharigh 地震帯, および Kingri 地震 (2002) に対して, 北北東の横ずれ断層運動を設定した. それに反して, Baig et al. (2002) は, 東部～中央 Sulaiman 山脈を 4 つの地震帯 (北東, 東西, 北西のスラストによる) に分けた. Karim et al. (2002) は, 発震機構解にもとづき, Chakwal 地震 (2001) を Kallar Kahar 断層から 20km 離れて並走する表層断層に関連させた. Astor Valley 地震 (2002 年 11 月, マグニチュード 5.4 と 6.4) では, 主マン托スラスト (the Main Mantle Thrust, Tariq et al., 2002) の局所的方向に平行な横ずれ成分をもつ正断層が描かれた. 彼らはまた, 震源は内部重力滑動による重力性の引っ張りのため, 遠く離れた地域に位置していることを示したが, それは衝突テクトニクス (主に走向移動断層とスラスト) に規制されたローカルな一般的構造方向とは正反対である.

一方, Seeber and Armbruster (1979) は, Hazara 弧の地震活動を急傾斜の基盤断層に, Indus-Kohistan 地震帯をアンダースラスト運動に, さらに Potwar and Bannu 盆地の少ない地震活動をデコルマの非震性クリープに関連させ, まれに大地震が起こると指摘した. Mona Liza et al. (2005) は, Bannu 盆地を走向移動断層 (基盤断層を含む) による非震性地帯とした. Avouac et al. (2006) は, カシミール地震を基盤のデタッチメント断層にまで達するスラストシートのクリープに関連させた. しかし, 以上のことは, この地域の深部地震断面 (Belousov et al., 1979) や Indus-Kohistan 地震帯 (Blot and Choi, 2005) のモデルを見ると, まだ立証されたとは言えない.

海岸地域だけでなく, 被覆層の厚いインダス川下流盆地と Balochistan 盆地にまで影響している地震活動は, この国の北部に比べるとあまり研究されていない. しかし, Sindh 南部にも影響した Allah Bund 地震 (1819) および Bhuj M7.5 地震 (2001) は, E-W 走向であり, 遠方で Makran 断層帯へ連続する Kutch 断層帯に関連づけた (図 7).

Makran 断層帯はアラビアプレートとアフガン断層

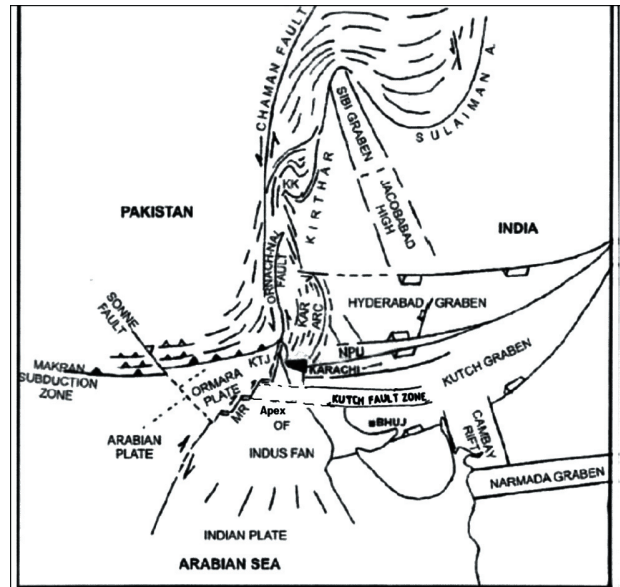


図 7 Karachi 弧および周辺地域の構造体を示したプレートテクトニクスによる概略図. Kar Arc: Karachi Arc, KTJ: Karachi triple junction. KK: Khuzdar Knot, MR: Murray Ridge, NPU: Nagar Parker uplift (Sarwar, 2013 を修正).

間のもぐり込み帯と考えられている. Oranch-Nal トランスフォーム断層は, Kutch-Makran 断層帯を垂直に分断し, インドプレートとアラビアプレートとで三角形をつくっている. Karachi 西方のアフガン地塊は, Hindu Kush 帯に比べると, 地震活動は少ない. Makran 断層帯に沿う厚い堆積物を切っているスラストは多い (Quittmeyer et al., 1979) にもかかわらず, 震央と断層帯との間に対応はみられない. Makran 断層帯は高度 3,000m 地帯を伴い, ネオテクトニクスが顕著な地域とそうでない地域で特徴づけられる (Chistyakov, 1971). そこでは, 大地震はネオテクトニクスが顕著でない Makran 沿岸の前縁海溝内に限られている.

Makran 北部の M7.0 地震 (Voskresenskii et al., 1971 による Balochistan 地塊) は Chagai 高地に関連している. それは Solovieva (1967) の推論に拠っている. Kutch の地震活動は北西および北東方向のグラーベンに規制され, 広域的な断層はインダス川下流盆地で Kutch のひとつのグラーベンを分断している (図 7).

地震 ($\geq M5.0$) と表層断層・地質構造との成因的關係を理解するひとつの試みが行われている. 私は, パキスタンの大地震の震央における地震時変位の有無の問題について, 3次元地震体積や震源 (three dimensional seismotectonic volumes, hypocenter) からの見方も検討している.

1935 年 5 月 30 日の QUETTA 地震

1935 年 5 月 30 日, 壊滅的な地震が Quetta 市街を襲ったが, それは地震の間は眠ったままであつ

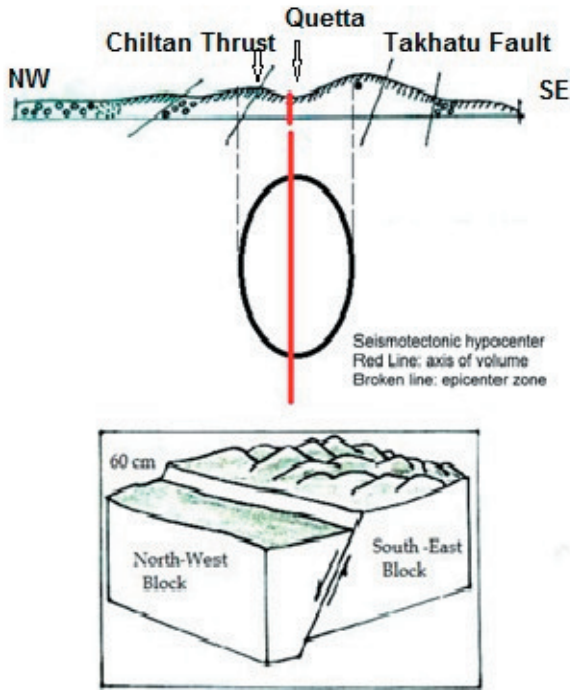


図8 1935年5月30日 Quetta地震の地震造構震源モデル. Quetta地域の地質断面 (Seeber et al., 1979).

た Chiltan 断層と Takhatu 断層を覆い隠すほどの延長 106km・幅 25km の震源域が広がっていた (図 8). West (1935) によれば, 地震時の 60cm の鉛直変位量が震源域の中軸部 (Quetta 断層と命名: Armbruster et al., 1979) に沿って生じた. Kazmi (1979) はまた, 1955 年 2 月 M6.2 の地震 (1935 年地震の破壊の北方延長にあたる) で, 1km の地震破壊を報告した. 彼は, 沖積層に覆われた地帯に伏在する Chiltan 断層と Takhatu 断層が連結している可能性を指摘したが, それはおそらく, Seeber et al. (1979) が提唱したデコルマであろう.

Gupta and Singh (1980) や Seeber et al. (1980), Armbruster et al. (1980) によれば, Chaman 断層の影響下にある Quetta 走向断層やスラスト運動は強い地震の結果とされている. それに対し, Sibi 横断前縁沈降帯 (Sibi Transverse Foredeep) の断層やグラーベン状構造に沿って, 地震時の変位形態と圧縮の痕跡がないことは, その地域には引張応力が蓄積され, Chaman 断層にも影響していることを示している. Sibi 横断前縁海溝は上部白亜系の高まりをなし, Sulaiman・Kirthar 盆地を分断している. Sibi 高地は, 広域的断層が影響を与え, 明瞭な境界をもつ地溝状構造を示す (Kalinin, 1966). その構造は後期白亜紀以降の隆起と沈降といった鉛直運動過程を規制している. これらの広域的断層は Cambay グラーベンや Sukkur オーラコーゲン (Khain, 1979; Auden, 1974) の造構作用をも規定している. Sibi 横断前縁沈降帯は深い根をもっている; 下部の複雑な褶曲作用や表層の新生代堆積物は, 大規模なグラーベン状の曲げ褶曲 (前

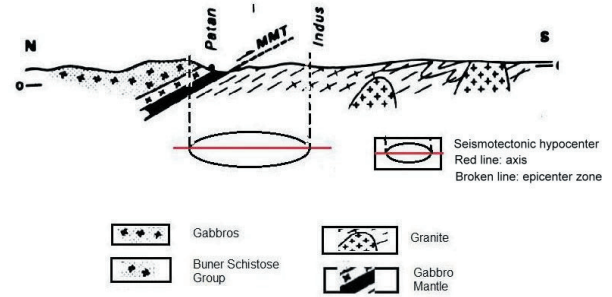


図9 1974年12月 Pattan地震の地震造構論的震源. Pattan地域の地質断面 (Tahirkheli et al., 1979). MMT= 主マントル断層.

縁海溝のそれに対して, 鉛直軸とともに, やや南方への転倒を伴う) によって, もみくちやにされている. その地溝状構造はまた, 南方の地溝状構造に連続することが明らかな Kirthar 中軸褶曲帯 (Noushaba, 2004) にある. 1892 年および 1909 年 M7.2, 1931 年 M7.0, 1931 年 M7.2, 1935 年 M7.5 のすべての大地震は, Sibi 横断前縁沈降帯に関連していて, 中央パキスタンのアルプス-ヒマラヤ褶曲帯の湾曲に重要な役割を果たし, 強い独特の地震力 (high specific seismic force) Nm を伴う地帯 (Magsi and Kazi, 1989) を形成している. 軸部に垂直な正断層ないしは逆断層を形成するような地震時変形は, Sibi 横断前縁盆地を特徴づける褶曲構造を反映する. 1909 年と 1935 年の地震時に沈降した西部と北西部の地塊は, 鉛直方向の地震造構力を示す震源モデル (図 8) を実証し, 北西側地塊の沈降と南東側地塊の隆起で特徴づけられる地震体積 (seismotectonic volume) の鉛直軸が, 表層での地震破壊に重要な役割をはたすことを示唆した. 1935 年地震における変形力の軸は, Chiltan 断層と Takhatu 断層間の中央を通る. さらに, 両断層とも地震体積の一部ではなく, Chiltan 断層と Takhatu 断層は, 1935 年 5 月 30 日の地震では動かなかった.

1974 年 12 月 28 日の PATTAN 地震

Pattan 地震 (1974 年) は, 北西方向に震央帯がある Indus Kohistan 地震帯内で発生した. 主マントルスラスト (図 9; Tahirkheli et al., 1979) が震央地帯を抜けて走っている. Pennington (1979) によると, 発震機構と余震分布はスラスト運動を示しているが, これは地表地質からは支持されない. 馬蹄形態の湾曲構造にもかかわらず, 最大の地震は Kohistan 地震帯の北東部内に限られている. Seeber et al. (1979) は, その地震帯の活動の特徴づけるものとして, デコルマモデルを提唱した. 主マントルスラストを横断する Lawrencepur-Astor の深発地震断面には, デコルマや緩傾斜基盤の存在は見られない (Belousov et al., 1979). Blot and Choi (2005) は, Indus-Hazara 地震帯モデルをも否定した. 造構震源体積モデル (seismotectonic focal volume model, 図 9) は, 震源域表層部で

地震時に変形作用がないことを説明するであろう。そのモデルは、1974 年 12 月地震の地震造構体積（震源体積）が、地震波動誘導層 (seismogenic waveguide layer, Magsi, 2013) の最上部において、やや水平か水平な軸内に位置していることを示唆している。そのため、表層での地震時の無変形作用は、地震造構体の軸部に沿うやや水平か水平な変形作用と水平変形によって説明されるだろう。

討論と結論

ネオテクトニクス作用は、パキスタンの起震層 (Magsi, 2013) において、変形の力学的エネルギーを造構エネルギーに変える作用である (Gorshkov, 1981)。パキスタンにおける地震の分類は (Quittmeyer et al., 1979)、表層断層に関連した形態学のみに基づいている (Quittmeyer et al., 1979) が、それは地震源の本当の姿や、地震災害を規制する他の要因を予測するうえで、誤った判断を招きやすい。

さらに、パキスタンの地震造構論では、地震時変形の有無や震源域の再活動しない断層の存在は、熱い論争にはならなかった。そのため、地震活動と表層断層との関係の評価は、造構エネルギーの減衰や増大の要因としての断層の役割を理解するうえで、地震造構体積の三次元的研究におかれなければならない。Quetta (1935) と Pattan (1974) の 2 つの地震は、地表地質はほぼ同じであるにもかかわらず、ある地震にはあるが他のものにはないといった、三次元的地震造構モデルにおける地震時の表層断層の役割を規定するために、また、地震時の変形要因として選ばれた。Chiltan スラストは Quetta 地震 (1935) を抜けて走り、主マントル断層は Pattan 地震 (1974) の震央地帯を横切っている。1935 年 5 月 30 日の Quetta 地震 (図 8) と 1974 年 12 月の Pattan 地震 (図 9) の地震造構モデルは、地震時変形が地震造構論的震源の中軸に関係して発生していることを示唆している。震源の中軸は、地震時に Chiltan/Takhatu 断層と主マントル断層が活動させないといった重要な役割を担っていた。その 2 つの地震（同様の深さで異なったマグニチュードで、いずれも表層ではスラスト断層）の地震造構モデルは、震央地帯の地震時変形の有無といった疑問に答えてくれる。地震造構体（震源）の向きは地震時変形の方法を規制するうえで（2 つの地震では異なっている）、重要な役割を果たしているということを、そのモデルは示している。1935 年 Quetta 地震では、地震造構体積の中軸はほぼ 90° で、Chiltan 断層と Takhatu 断層の間を走っている。

造構力の解放は、地震時の正断層破壊によって起こる。1974 年 Pattan 地震では地震時の変位が現れなかったことについては、地震造構性震源の中軸が水

平ないしはやや水平であったこと、および変形が引き続き起こったことによって説明することができる。Chiltan 断層や Takhatu 断層、主マントル断層が動かなかったことは、いずれの断層も両地震の地震造構性震源で地震造構体積（震源）の一部にもならなかったためであることが分かった。しかし、もしある断層が地震造構体積の一部になっていたなら、もし変形軸が断層の軸に一致していたなら、そのような場合に限って、1892 年 Chaman 地震や 2005 年 Kashmir 地震で実証されたように変形が断層に沿って発生する。その断層の活動的なセグメントは地震造構性震源の一部であることを意味し、またエネルギー放出源はエネルギーの大きさを減少させることを意味している。

活断層を伴っている場所で、地震活動が低いのはこのことによる。私見だが、地震時の変位は、地震造構体の軸の方向が主な要因である (Allah Bund (1819) や Chaman (1892), Kachi M7.2 (1909), Quetta M7.5 (1935), Gwardar M8.0 (1945), Kashmir M7.6 (2005) などの各地震、および 1931 年の M7.2 と 7.2, 1974 年 3 月の M6.0 Pattan, 2000 年の M6.0 Astor などの地震を含む)。造構エネルギーの移動方向に向いた造構性震源の中軸は、表層の破壊を規制するか、断層が震央帯を通り抜けるのを妨げる。この仮説は、断層の動かない地帯 (Takashi et al., 1991) や発散する地震活動 (Quittmeyer et al., 1979)、さらに非震性地帯での大地震の発生 (Schukin, 2008) を解き明かすのに役立つ。地震活動と表層地質の造構地塊 / 断層との関係を示した頻度分布図 (図 10) やそのローズダイアグラム (図 11) は、立体的な造構性震源の概念を支持している。そのデータ解析結果は、どんな地震も造構性震源と表層断層の異なった方向にしたがい、大きさの異なる造構地塊に関連して発生していることを明確に示している。パキスタンでは、断層がエネルギー源を軽減する側にあるにもかかわらず、最終的な緩

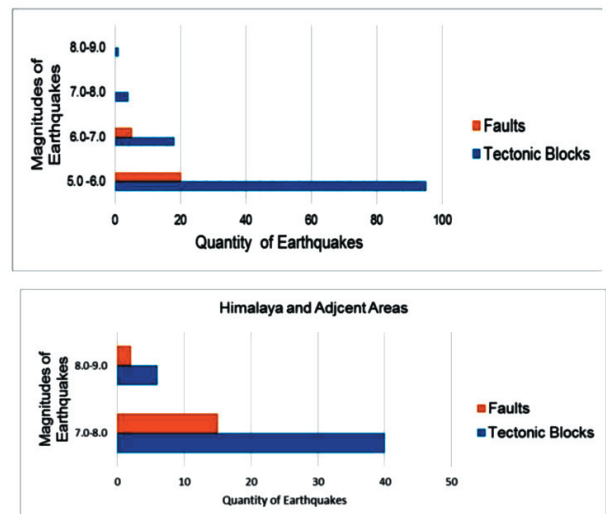


図 10 パキスタン国内における震央と表層の造構地塊・断層との関係 (a) およびヒマラヤとその近隣地域 (b)。

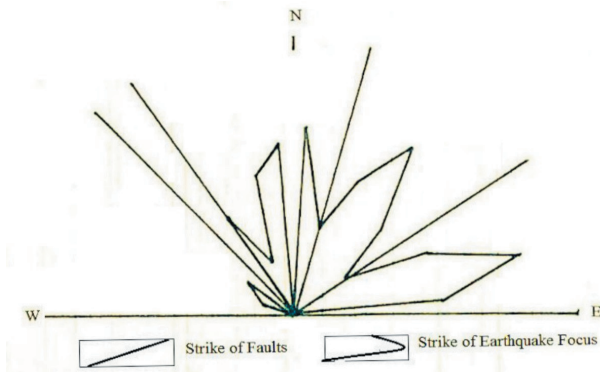


図11 パキスタンにおける断層走向と震源のローズダイアグラム。

和が変位をもたらすといった、地塊内でのエネルギーの蓄積と応力の増大が観測された。地震の一連の過程を規制する原因は、上・下部層内にある導波層（地震波動誘導層）のネオテクトニクス変動（Magsi, 2013）とパキスタン側のアルプス-ヒマラヤ褶曲帯の湾曲部；Makran, Quetta, Kohistan および Karakoram-Pamir に生じた内的作用である。

謝辞 本研究の間、献身的に支えてくれた妻の Emilia に感謝する。

文 献

- Ambraseys, N. and Bilham, R., 2003. Earthquakes and associated deformation in northern Baluchistan 1892-2001. *Bull. Seism. Soc. America.*, v. 93, no. 4, p. 1573-1605.
- Armbruster, J., Seeber, L., Quittmeyer, R. and Farah, A., 1980. Seismic network data from Quetta, Pakistan: The Chaman Fault and the fault related to the 30 May 1935 earthquake. *Spec. Issue Geol. Bull. Univ. Peshawar*, v. 13, p. 129-142.
- Asif Khan, M. Abbasi, A. and Khattak, G., 2002. Geological Control on Natural Hazards: Earthquakes and massmovement hazards in Pakistan. *Geol. Bull. Univ. Peshawar* v. 35, p. 1-8.
- Auden, J.B., 1974. Afghanistan - Pakistan. In Spencer, A. (ed.), *Mesozoic- Cenozoic belts data for orogeny studies*. Geological Society of London, Spec. Pub., no. 4, p. 235-253.
- Avouac, J.P., Ayoub, F., Leprince, S., Konca, O. and Helmberger, D.V., 2006. The 2005, Mw 7.6 Kashmir earthquake: Sub-pixel correlation of ASTER images and seismic waveforms analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 249, p. 514-528.
- Baig, S.M., Faiq M., Mujeeb R. and Hamid M., 2002. Seismotectonic set up in East Central Sulaiman Range. *Geol. Bull. Univ. Peshawar*, v. 35, p.67-84.
- Belousov, V.V., Belyavsky, N.A. and Borisov, A.A., 1979. The structure of the lithosphere the profile of deep seismic sounding of the Tien Shan, Pamir-Karakoram Himalaya. *Sovetskaya. Geology*, no. S, p. 11-28. (In Russian).
- Belousov, V.V., Belyavsky, N.A., Borisov, A.A., Volvovsky, B.S., Volvovsky, I.S. and Resvoy, D.P., Tal-Virsky, B.B., Khamrabaev, I.Kh., Kaila, K.L., Narain, H., Marussi, A. and Finetti, J., 1980. Structure of the lithosphere along the deep seismic sounding profile: Tien Shan-Pamir-Karakorum – Himalayas. *Tectonophysics*, v. 70, p. 193-221.
- Bilham, R., Lodi, S., Hough, S., Bukhary, S., Khan, A.M. and Rafeeqi, S.F.A., 2007. Seismic hazard in Karachi, Pakistan: Uncertain past, uncertain future. *Seismological Research Letters*, v. 6, p. 601-613.
- Blot, C. and Choi, D.R., 2005. Forerunners of the catastrophic Kashmir Earthquakes (8 October, 2005) and their Geological significances. *New Concepts in Global Tectonic Newsletter*, no. 37, p. 4-16.
- Chandra, U., 1975. Fault plane solution and tectonics of Pattan earthquake of December 28, 1974. *Tectonophysics*, v. 28, p. T19-T24.
- Chistyakov, A.A. 1971. Neotectonic of Hindustan subcontinent. *Tr. NII. Foreign Geology*, v. 22 p. 25-40 (In Russian).
- Fan, G., Ni, J.F. and Wallace, T.C., 1994. Active tectonics of the Pamir and Karakorum. *Jour. Geophysics. Res.*, v. 99, p. 7131-7160.
- Farah, A., 1976. Study of recent seismotectonic in Pakistan. Report CENTO Working Group on Recent Tectonics, Istanbul.
- Gaffar, A. and Abbas, S.F., 2010. An overview of the past history based on seismicity pattern of Kashmir region, an interpretation from 2005 earthquake. *Journal of Animal and Plant Sciences*, vol. 20, no. 4, p. 297-304.
- Gorshkov, G.P., 1981. Fault or deformation of the medium? In the book *geologic - geophysical research methods in seismic-prone zones*. Abstracts of All-Union session hazardous areas (2-6 September 1981) Frunze 12-13. (In Russian)
- Griesbach, C.L., 1893. Note on the earthquake in Baluchistan on 20 December 1892. *Records Geological Survey of India*, v. 26, part 1, p. 1-61.
- Gupta, H.K and Singh, D.D., 1980. Source Mechanism Study of Quetta Earthquake of May 30, 1935. *Spec. Issue, Geo. Bull. Uni. Peshawar*, v. 13, p. 143-150.
- Heron, A.M., 1911. The Balochistan Earthquake of the 1909. *Rec Geol. Sur. of India*, v. 41, part.1, p. 22-35.
- Kalinin, N.A., 1966. Geological Issues of Oil and Gas of India. *M- Science* p. 188. (In Russian)
- Karim, K., Shahid, A. and Mohammad, Q., 2002. Focal Mechanism study of Chakwal Earthquake of July 16, 2001 in the light of regional tectonics. *Geol. Bull. Univ. Peshawar*, v. 35, p. 97-102.
- Kazmi, A.H., 1979. Active faults systems in Pakistan. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), *Geodynamics of*

- Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p. 285-294.
- Khain, V.E., 1979. Regional Geotectonics of Asia and Australia M. Nedra. (In Russian).
- Kuchay, O.A., 2010. Specific Features of Earthquake Manifestation in Seismotectonic Deformation Field. *Geodynamics and Tectonophysics*, v. 1, no. 3, p. 285-296. (In Russian)
- Lawrence, R.D. and Yeats, R.S., 1979. Geological reconnaissance of the Chaman fault in Pakistan. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), *Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta*, p. 351-358.
- Magsi, H.Z., 1983. Seismotectonic of Pakistan, Thesis Moscow State University named after Lomonosov. Moscow, p. 155. (In Russian)
- Magsi, H.Z., 1985. Evaluation of seismic danger zones in Pakistan based on the interpretation of Landsat data. *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan*. v. 22, p. 133-137.
- Magsi, H.Z. and Kazi, A.A., 1988. Some special characteristic development of seismic activity in Pakistan. *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan*, v. 23, p. 267-274.
- Magsi, H.Z., 2013. Seismogenic layers in Pakistan. *New Concept of Global Tectonics Journal*, v. 1, no. 4, p. 29-33. Makarov, V. and Schukin, Ya., 1979. Assessment of activity of the hidden faults. *Geotectonics*, no. 1, p. 96-100. (In Russian)
- Mohammad, R. and Ghazanfar, A.K., 2002. Earthquakes in Nanga Parbat Area, North Pakistan: Causes and concerns with particular reference to Basha Dam. *Geol. Bull. Univ. Peshawar*, v. 35, p.163-173.
- Molnar, P., 1992. A review of seismicity, recent faulting and active deformation of the Tibetan plateau. *Jour. Himalayan Geology*, v. 3, p. 43-78.
- Molnar, P. and Tapponier, R., 1973. Fault plane solution of earthquakes and contemporary tectonics in Asia. *Earth Planet Science Letter*, v. 19, p. 101-112.
- Mona Liza, Khwaja, A.A. and Qureshi, S.N., 2005. Structural interpretation on the basis of focal mechanism studies in the area of Khot Plateau, Bannu Basin and western extension of Salt Range. *Pakistan Journal of Hydrocarbons Research*, v. 15, p. 43-51.
- Mona Liza and Khwaja, A.A., 2005 Seismic Activity along the Main Boundary Thrust, Pakistan. *Geol. Bull. Uni.Peshawar*, v. 38, p. 23-30.
- Morits, A., 1870. The list of significant earthquakes of 1869. (In Russian).
- Nawrooz, A., 1972. Focal mechanisms of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan and Afghanistan and plate tectonics of Middle East. *Bull. Seismol. Soc. America*, v. 62, no. 3, p. 823-85.
- Noushaba, H., 2004. Tectonic interrelationship between Khuzdar region and submarine Arabian Sea structures and their economic potentials. Ph.D. Thesis, University of Karachi.
- Oldham, T.A., 1882. Catalogue of Indian Earthquakes from earliest time to the end of AD 1869. *Mem. Geol. Sur. of India*, v. 19, part 3, p. 163-215.
- Panin, V.E., 1998. Fundamental physical mesomechanism. *Physical Mesomechanism*, v. 1, no. 1, p. 5-22 (In Russian).
- Pennington, W.D., 1979. A summary of field and seismic observations of the Pattan Earthquake, 28th December 1974. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), *Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta*, p.143-147.
- Qasim, J.M., Mona Liza and Khan, A.A., 2008. Post-October 08, 2005 Muzaffarabad Earthquakes Scenario. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, v. 41, p. 1-6.
- Quittmeyer, R. L., Farah A. and Jacob, K.H., 1979. The Seismicity of Pakistan and its relation to surface faults. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), *Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta*, p. 271-284.
- Sarwar, G. and Anwar, A., 2013. Riding the mobile Karachi arc, Pakistan: Understanding tectonic threats. *Journal of Himalayan Earth Sciences* v. 46, n. 2, p. 9-24.
- Seeber, L. and Armbruster, J., 1979. Seismicity of the Hazara Arc in Northern Pakistan: Decollement vs. Basement Faulting. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), *Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta*, p.131-142.
- Shafiq, R., Najeeb, A., Lindholm, C. and Zahid, R., 2012. Probabilistic seismic hazard analysis for Quetta City, Pakistan. Technical Report no. PMD-16/2012.
- Schukin, Yu.K., 2008. Geodynamics, Mass, Seismicity. All-Russian Conference Tectonophysics and current issues of Earth Sciences. On the 40th anniversary of the Laboratory of Tectonophysics Gzovskim, M.V., p. M.369-371.
- Solovieva, A.P., 1968. Seismicity of Middle and Central East "Turkey, Iran, Afghanistan". Ph.D Thesis Moscow State University named after Lomonosov. Moscow. (In Russian)
- Tahirkheli, R., Khan, A., Mattauer, M., Proust, F. and Tapponnier, P., 1979. The Indian Eurasia Suture Zones in Northern Pakistan: Synthesis and interpretation of recent data at plate scale. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), *Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta*, p. 125-130.
- Takashi, N., Tsutsumi, H., Khan, S.H. and Lawrence, R.D., 1991. Active faults of Pakistan. Maps, sheets and inventories, no. 21, p. 1-141.
- Tariq M. and Qaisar M., 2002. Source Mechanism of the

- July 13, 2002a Earthquake Kingri, Balochistan. Geol. Bull. Uni. Peshawar, v. 35 p. 57-65.
- Tariq M, Qaisar, M. and Zahid A., 2002. Source mechanism of Astor Valley Earthquake of November 20, 2002 inferred from teleseismic body waves. Geol. Bull. Uni. Peshawar, v. 35, p. 151-161.
- Voskresenskii I., Kravchenko K., Movshovich E., and Sokolov B. 1971 Outline of Geology of Pakistan. M.Nedra pp.166 (In Russian).
- West, W.D., 1935. Preliminary geological report on the Balochistan Earthquake Quetta of 30 May 1935. Rec. Geological Survey of India, v. 69, part 2, p. 203.
- Yeats, R.S., Lawrence, R.D., Syed J. and Shahid H. K., 1979. Surface effects on the 16 March 1978 earthquake, Pakistan- Afghanistan border. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p. 359-361.
- Zakharov, V.S., 2011. Characteristics of the self-similarity of network active faults and the seismicity of Eurasia. <http://Georazrez.uni-dubna.ru>, p.1-18. (In Russian)

大洋の起源：拡大モデル対初原海洋モデル ORIGIN OF OCEANS: SPREADING VERSUS PRIMARY OCEANS MODELS

Alexey V. KHORTOV¹, Alexander E. SHLEZINGER² and Gleb B. UDINTSEV³

- ¹ OJSC "Soyuzmorgeo". Chief Geologist of OJSC "Soyuzmorgeo" Address: 38 Krasnogvardeyskaya street, Gelendzhik 353461, Krasnodar Region, Russian Federation. E-mail: akhortov@mail.ru
- ² Geological Institute, Russian Academy of Sciences. Chief Research Worker of Geological Institute, Russian Academy of Sciences. 7 Pyzhevsky per., 119017, Moscow, Russian Federation. E-mail: rima@ginras.ru
- ³ Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences. Member-correspondent of RAS, Chief Research Worker of Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences. 19 Kosygina St., 119991, Moscow, Russian Federation. E-mail: geokhi.ras@relcom.ru

(柴 正博 [訳])

要旨：現代海洋の起源に関する拡大モデルは、それらの地質構造と震探データに支持されない。磁気異常についての既存情報と沖合の深海掘削のデータにしたがうと、初原海洋モデルが提案されるだろう。それは、前地質時代の末期に起こった不規則な結晶化が側方への不均質性をもたらし、その結果、早期の前海洋的および前大陸の領域ができた、という仮定に基づいている。初原海洋モデルは、現代海洋の起源に関する拡大モデルに比べて、地質データおよび震探データにより良く適合する。

キーワード： *spreading model, primary oceans model, magnetic anomalies, oceanic crust, mid-oceanic ridges*

はじめに

拡大モデルによれば、大陸あるいは古代の海洋（太平洋）の分離は、それらの場所に新しい若い海洋（大西洋、北極海、そしてインド洋）を形成することにつながる（Hallam, 1983; Pitman et al., 1974）。若い海洋地殻の年齢は、磁気異常と一致させてジュラ紀～完新世と規定される。この基礎の上に構築されたスキームが、新しい地球テクトニクスあるいはプレートテクトニクスの骨組みにおいて、若い海洋の最近の構造を決定する。それで、若い海洋は、大陸地殻が伸張したり短縮することと（リフティング）あるいは大陸の断絶と拡大のために大陸の場所から源を発していて、中央海嶺と海洋リソスフェアプレートから構成され、大陸リソスフェアのそれらを結合している。それらは後に中央海嶺を形成する上の

大陸の切断地域から分離して動く。側方への転置は、後期中生代～新生代の移動帯あるいは沈み込み帯において吸収され（補償され）る。若い太平洋は、ジュラ紀以前の海洋地殻が広がった結果によって古代の海の場所に起源を発して、中央海嶺といくつかのジュラ紀～白亜紀の海洋リソスフェアプレートから構成されている。そのジュラ紀以前の表層堆積物は沈み込み帯で沈んだ。そのために、太平洋ではジュラ紀以前の海洋地殻は欠如していると考えられる。

拡大の結果として新しい若い海洋が生まれたという意見は、ほとんどの研究者による深海掘削データ（図1； Patrikeev, 2012）と一致する磁気異常の年代にほとんど基づいている。しかし、深海掘削のデータに基づいた震探第2層の風化した玄武岩の上に重なっている地殻の第1層の年代図は、Bluman (2011)

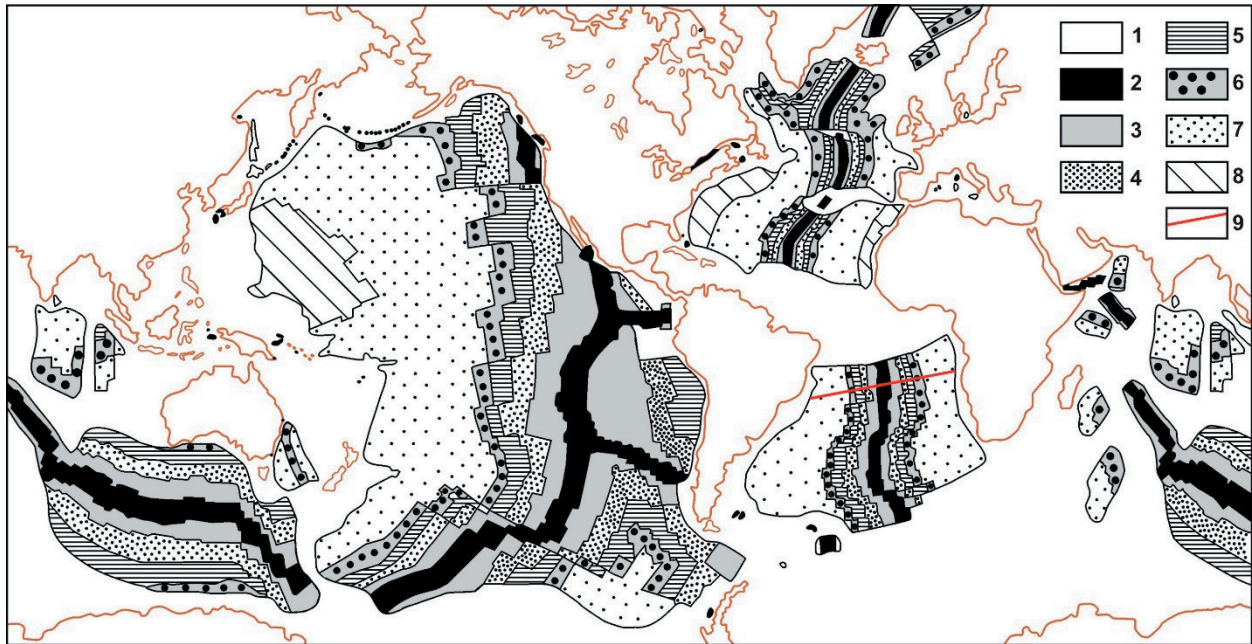


図1 磁気異常によって決定された海洋地殻の時代 (Kennet, 1987 より). 1: データがない海域と陸地, 2-8: 時代, 2: 完新世, 更新世, 鮮新世 (0 ~ 5 M.A), 3: 中新世 (5 ~ 23 M.A), 4: 漸新世 (23 ~ 38 M.A), 5: 始新世 (38 ~ 53 M.A), 6: 暁新世 (38 ~ 65 M.A), 7: 白亜紀 (65 ~ 135 M.A), 8: ジュラ紀 (65 ~ 135 M.A), 9: 図のプラン.

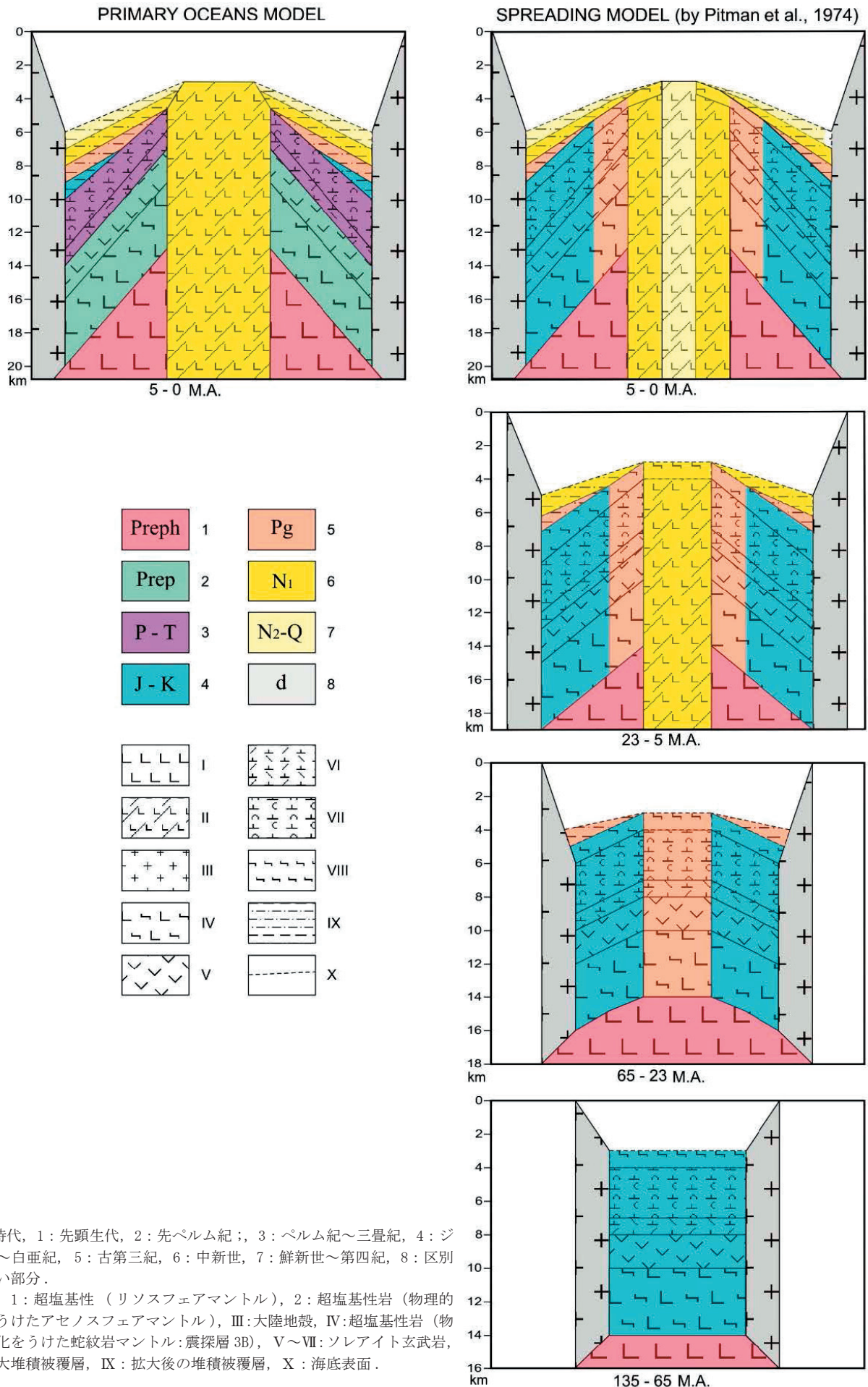
によれば、磁気異常によつての決定された年代とは本質的に異なる。例えば、太平洋の北アメリカ大陸縁辺部は中新世～更新世の時代 (Bluman, 2011) を示すのに対して、磁気異常ではその地域は古第三紀になっている。掘削データに基づく大きな白亜紀の領域は磁気異常に反映されず、そして太平洋の大部分を占める「磁気の」白亜紀地殻はどんな深海掘削の掘削孔によつても確認されていない。

プレートテクトニクスによれば、分離面で海洋のオープニングが起こったために、大陸またはジュラ紀以前の海洋地殻が動いたとされる。一般にそれは、マント表面 (モホ) あるいはもっと深い境界によつて識別される。大陸地殻地域において、モホは 30 ~ 40 km あるいはそれ以深に位置している。海洋のオープニングの前にこの境界がすでにできていたと考えられる。ジュラ紀から完新世にかけて、10 km 以上の深さの海洋はマントルの蛇紋岩層 (震探海洋地殻層 3B)、ならびに、その上の海洋地殻—はんれい岩層 (震探海洋地殻層 3A)、岩脈と玄武岩層 (震探海洋地殻層 2C と 2B)、陸源性岩石をとまなうソレイト玄武岩層 (海洋第 2 層の震探海洋地殻層 2A) および堆積被覆層 (第 1 海洋地殻層) —で満たされた。海洋底拡大モデルによれば、蛇紋岩マントルと海洋地殻、堆積被覆層は同一の鉛直層序を形成し、海洋が広がるにつれて次第にいつそう若くなる。それはなぜ磁気異常に従って、その最も古い地域は大陸の近くに位置して、またより若い地域は今までに海嶺に変えられ割れている地域に接合しているかということである。言い替えれば、蛇紋岩マントルと、海洋地殻 (はんれい岩、岩脈と玄武岩質とソレイト質玄武岩層) と堆積被覆層が、それぞれの海

洋の鉛直断面で同時に形成されるのか、ということである。

そのために岩石の時代は、最近の海洋を構成して、水平にも、鉛直方向においても変化するべきである。これについての説明は、海底拡大の提案者によつて提出されていない。拡大発展後の進路における最近の海洋地殻の破片だけが、深海掘削によつて明らかにされた堆積被覆層の鉛直の時代に関連した連続を獲得することができた。明らかにこの理由で、ほとんどすべての層序研究者は世界海洋の堆積被覆層にみられる鉛直の時代に関連した連続を認めているが、彼らはそれを拡大から拡大後のものに帰してはいない。磁気異常によつて決定された海洋地殻の年代は、層序学データによつて支持されず、そして側方へ時代的に関連した堆積被覆層は存在しない。

整理統合された大陸 (主として先カンブリア代) 地殻はジュラ紀～白亜紀のマグマによる海洋地殻直下の基礎となっている。受動的縁辺の海洋縁辺盆地は層厚 10km 以上の浅海性大陸岩石によつて埋積され、大陸地殻と海洋地殻の接合帯に位置していて、拡大モデルに適合しない。短期間、特に後期新生代の数 km 以上の沈水の結果に起源をもつ受動的縁辺の中の大斜面と古斜面と深い海溝は、海洋拡大モデルの骨組みのどんな説明にも実際に見いだせない。Bluman (2011) による深海掘削コアの解析は、海洋地殻第 2 層のほとんどすべての玄武岩が陸上～浅海環境で形成され、それらは赤色岩も含む同様の成因による堆積物によつておおわれている。これらの陸上～浅海性岩石は、世界中の海洋の同様な堆積被覆層に覆われ、さまざまな水深で発見される



(Bluman, 2011; Golovinsky, 1985; Kennet, 1987; Patrikeev, 2012; Rudich, 1983; Udintsev, 1972; Yunov, 1980). これは、陸上～浅海環境で形成された玄武岩と堆積被覆層の深海基盤岩がプレートテクトニクスモデルを否定することを意味している。

そのため、その魅力にもかかわらず最近に海洋が形成されたとする海洋拡大モデルは、地質学的-地球物理学的データ、特に震探データによって確認されない。拡大モデルに従えば、海洋の地質層序はジュラ紀岩石から始まることから、地球の2/3の領域は始生代と原生代、古生代および三畳紀の岩石を欠如していることになる。

磁気異常と深海掘削の同じデータを基にして、初源海洋モデルが提唱された (図 2)。このモデルは Fedchuk (2002) の側方異質性というアイデアを基にしている。それは、先地質時代の地球の発展期に起こった先地質学時代の先海洋と先大陸地域の起源 (Pitman et al., 1974) を導いた不規則な結晶作用に起因する。さらに、Afanasiev (1981) は、地球の地殻が側方および鉛直方向で不均一であるために複雑であるが、全体としてはひとつのものであることを提案した。

地球表層の先地質学的多様性は、ほとんどが海洋と大陸の起源によるものである。先海洋の領域中のマントル岩石が厚さ数百 m の水層に覆われたとき、海洋の地質学的歴史が始まった。震探データによれば、水が厚さ 3.5 km の蛇紋岩に変化させられたマントルカンラン岩の中に入り込んだ。そのため、震探層 3B は全域に形成された。残念ながら、その形成時代は明確ではない。その後、古生代のいくつかの段階で、海洋全体に広範囲にわたるマグマの活動が起きた。これらのマグマ由来のはんれい岩層は海洋のマグマ性地殻の基底部を占めていて、震探層 3B に対応する。その時代は、上部が先三畳紀であろうと考えられるが確定していない。ただ三畳紀において、大陸の火山岩トラップ地域は震探第 2 層岩石に類似する岩石を伴ってでき始めた。この層は、輝緑岩岩脈と玄武岩 (震探層 2C と 2B) とソレアイト玄武岩 (震探層 2A) によって構成されていて、マグマ性海洋地殻の上部層をなす。海洋の中央部分が隆起域の残骸になったのに対して、大陸に向かってその表面はさらに集約的に沈降させられた。

海洋の堆積被覆層はジュラ紀から形成され始めた。堆積被覆層は、一般に磁気異常年代に対応して大陸の周囲近くから海洋中央部に、外側から薄い海進をうけた。それぞれの次により若い層序ユニットがさらに海洋に広がったが、最も若い第四紀の堆積物だけが孤立した形で海洋の中央部で見いだされる。

そのために、初源海洋モデルの文脈において海洋中

央部の隆起帯の残骸は海進で薄くなった被覆堆積層を規制してきた。磁気異常は、さまざまな時代の堆積物に覆われた震探第 2 層の反映である可能性がある。古生代中頃に出現した中央海嶺は、海洋地殻の中で異常なマントル噴火が起こった地帯である。何人かの著者は、中央海嶺が海洋の表面におけるアセノスフェア由来物であると提案している。

受動的な大陸縁にみられる海洋周辺盆地は、マグマ性海洋と大陸地殻の結合地帯の中の補償構造であるという初源海洋モデルによく適合する。急激な沈降は、受動的な大陸縁辺と活動的な大陸縁辺の深い海溝中の海洋リソスフェアプレートとの境界をなしている古斜面と斜面の起源を結果としてもたらした。以上の命題は、初源海洋モデルが若い海洋起源の海洋拡大モデルと比べて地質学的-地球物理学的情報によく適合していることを示す。

文 献

- Afanasiev, G.D., 1981. Selected works. Magmatic formation and general problem of geological Petrology. M.: Nauka. 1981. 514 p. (In Russian)
- Bluman, B.A., 2011. The Earth's crust of oceans on the data of International deep-water drilling in the World' ocean. St-P.: VSEGEI. 2011. 344 p. (In Russian)
- Fedchuk, V.Ya., Sokolovsky, A.K. and Korsakov, A.K., 2002. Evolution of the continental crust of the Karelsky and Aldan-Stanovoy region. Izv. Vusov. Geology and Prospecting, no. 3, p. 15-86. (In Russian)
- Golovinsky, V.I., 1985. Tectonics of the Pacific Ocean. M.: Nedra. 199p.
- Hallam, E., 1983. Interpretation of facies and stratigraphical succession. M.: Mir. 326p. (In Russian)
- Kennet, J.P., 1987. Sea Geology. v.1 & 2. M.:Mir. 383p. (in Russian)
- Panaev, V.A. and Mitulov, S.P., 1993. Seismostratigraphy of the sedimentary cover of the Atlantic Ocean. M.: Nedra. 247p. (In Russian)
- Patrikeev, V.N., 2012. Vertical motion of the North-Western plate of the Pacific Ocean. Bul. MOIP. Geol., v. 87, no. 4, p. 65-76. (In Russian)
- Pitman, W.C., Larson, R.L. and Herron, E.M., 1974. The Age of the oceanic. Bull. Geol. Soc. Am. Map and Chart Series MC-6, 120p.
- Rudich, E.M., 1983. Moving continents and tectonics of the Pacific Ocean floor. M.: Nauka, 272p. (In Russian)
- Udintsev, G.B., 1972. Geomorphology and Tectonics of the Pacific Ocean floor. M.: Nauka, 394p. (In Russian)
- Yunov, A.Yu., 1980. Structure, evolution and prospective of the oil and gas bearing of the passive, active margins and marginal seas of the Atlantic, Pacific and Indian oceans. L.: NIIGA, p. 33-44. (In Russian)

チリのタラパカ沖で 2014 年 3 月 16 日に発生した M6.7 地震の際に 観測された地震 - 電磁気エネルギーの流れ

SEISMO-ELECTROMAGNETIC ENERGY FLOW OBSERVED IN THE 16 MARCH 2014 M6.7 EARTHQUAKE OFF TARAPACÁ, CHILE

Dong R. CHOI

International Earthquake and Volcano Prediction Center (IEVPC), Canberra, Australia
dchoi@ievpc.org

(矢野 孝雄 [訳])

要旨 : 2014 年 3 月に発生した M6.7 のタラパカ沖地震は, 2 つの主要断層系が会合する地点で 2 つの地震 - 電磁気エネルギーが収斂することによって発生した. 深部の北西方向への地震 - 電磁気エネルギーの流れは, 2 つの中発前震によって証明される. それは Blot のエネルギー移送説にしたがっていて, タラパカ沖本震に関係する. 南米大陸縁に沿って南方へ向かうもう一つのエネルギー流は, 1970 ~ 2014 年 (3 月) の浅発地震 (50km 以浅) の発生年代と緯度との関係を示したグラフ (第 2 図) によって検証される.

大陸縁に沿って南方へ向かう浅部のエネルギー流の平均速度は, 0.25km/日 (28 年間の平均値) である. 一方, 北西方へのエネルギー流 (深度 128 ~ 35km) の平均速度は 0.34km/日であった. 2 つのエネルギーの収斂が, 浅発の本震のマグニチュード (6.7) を大きくする一因となった. それは, 2 つの前震 (深度 128km/M6.4 と深度 214km/M6.2) よりも大きかった. より深いところで発生した前震に比べて, 浅いところで発生した本震のマグニチュードのほうが大きいことは多くの過去の本震で観測されていて, 将来の破局的地震の予測に役立つだろう.

キーワード : タラパカ沖地震, エネルギー伝播, 収束と流動, サージテクトニクス

1. はじめに

チリの Tarapacá 沖では 2014 年 3 月上旬になって, 全電子密度 (total electron content : TEC) が北部チリ沿岸域において顕著な異常を示すようになった. IEVPC の経験にもとづいて, 私たちは, それが大地震の切迫を示していると考えた. 筆者はすぐに他のデータ — 長波長輻射 (outgoing longwave radiation : OLR), 海水表面温度 (sea surface temperature : SST), 雲画像, 地質, および既発地震 — を検討した. また, Tarapacá 地域の南東で 2009 年および 2011 年に発生した 2 つの中深度地震に関して Blot のエネルギー伝播解析 (Blot, 1976 ; Grover, 1999) を行った. 解析結果は, Antofagasta 北部で強い地震の発生が切迫していること確信させるものであった. 予測マグニチュードは約 6.4 で, それは IVEPC 区分による破壊的地球物理的事象の閾値 (CGE, M7.0 以上) よりも小さかったために, 筆者は 3 月 3 日に IEVPC 組織にのみ通知し, 公には何も発表しなかった.

予測どおり, この通知の 13 日後の 3 月 16 日に, Antofagasta の約 400km 北方の Tarapacá 沖で, M6.7 (修正前は 7.0) の本震が発生した. こうして, 震央, 発震時刻および規模の点で, 筆者の予測がほぼピンポイントの精度をもつことが証明された. 地震発生後の解析によって, 2 つの主要断層系が会合している Tarapacá 地域の沖合で 2 つのエネルギー流が収斂したことが解明された. エネルギー流は, 地震発生メカニズムや地震予知において, とくに重要な概

念である. 筆者は, 本稿において, この特別な地震において発見されたエネルギー流に焦点をあてながら, 新発見のいくつかを簡潔に紹介する.

2. 前兆と断層系

エネルギー流を考察する前に, Tarapacá 本震の前に現れた前兆のいくつかを要約しておこう (図 1 参照). OLR の傾向は, NW-SE 方向にのびる明瞭な線状の高異常を示し, 3 月 2 ~ 8 日には平均値を 10 ~ 30W/m² ほど超えた. この線方向は, 2009 年と 2011 年に起きた 2 つの先駆地震が示す深部断層帯に一致する. この断層帯は北西へのびて, 海洋底の深い海溝に達している.

もっとも顕著な異常信号は, TEC パターンに現れている. それは, 2 月下旬に出現し, 3 月上旬に顕著になり, 3 月 10 ~ 11 日に最大になった. その後, 3 月 16 日の本震前の 3 月 13 ~ 15 日にいくぶん減少した.

海水表面温度 (SST) は, 地震準備期間の全体にわたって, なんら特段の異常を示さなかった. これは, 2012 年 11 月のミャンマー地震 (NCGT ニュースレター, no. 65, 編集者から, p. 2 ~ 4) のような他の大きな地震とはきわめて対照的である.

衛星画像 (Dundee Satellite Receiving Station; <http://www.sat.dundee.ac.uk/geobrowse/geobrowse.php>) では, 本震の 47 日前の 1 月 28 日に,

おもに海溝域からあるまとまったエネルギーが放出されたことを示す兆候が、本震の約 30 ~ 40 日前の 2 月上旬以降に観測された。しかし、全体としては、この地域の衛星画像には、比較的小規模な活動しかみられなかった。

3. エネルギー流

この予知実験では、2つのエネルギー経路が見いだされた。その1つは、深部断裂に沿う地下深部の北西流であり、もう1つは大陸縁に沿う浅部の南方流である。前者は、NW-SE 方向の断層線に沿う

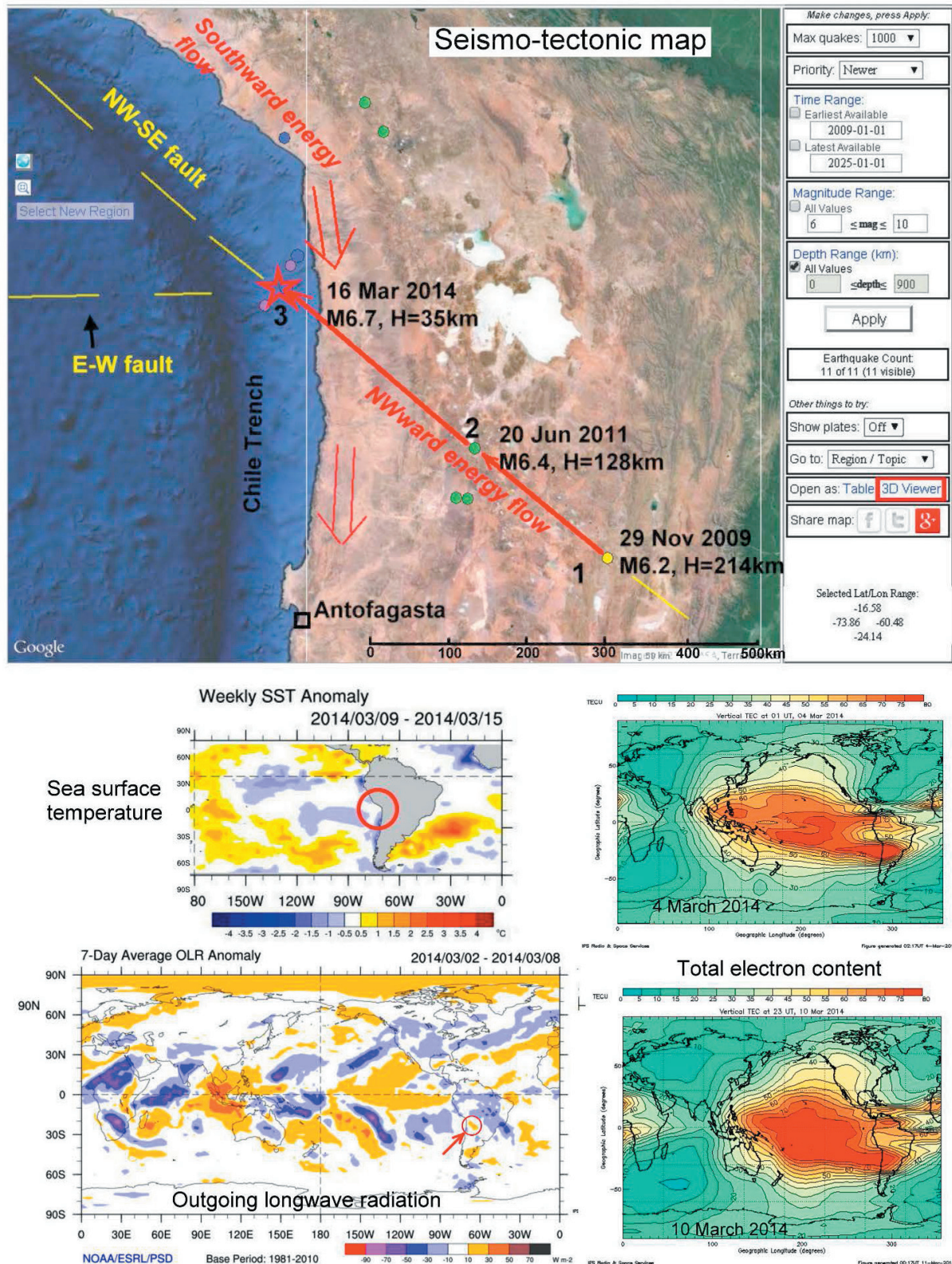


図1 地震-造構図(上図), 全電子密度(下右図), 海水表面温度(中央左図), および長波長輻射(下左図). 異常は全電子密度と長波長輻射に観測されたが, 海水表面温度ではみられなかった. Tarapacá 沖地震は, 2つの断層系の会合部で発生した. 本震における2つのエネルギー流の収斂に注意されたい.

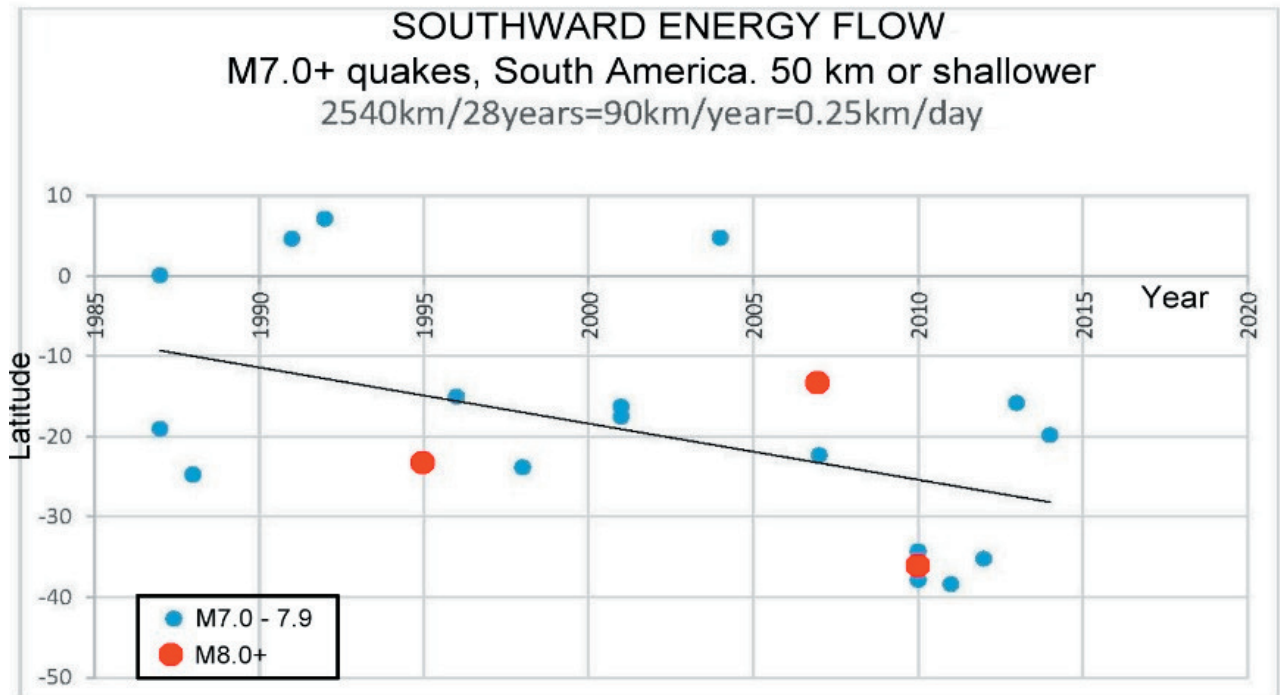


図2 50km以浅で発生したM7以上の浅発地震の緯度/発生年分布図. 全般的な南への流動がみられる.

海溝近傍に1200時間にわたって地震雲が観測された. おもに海溝域からある程度のエネルギーが放出されたことを示す兆候が, 本震の約30~40日前の2月上旬以降に観測された. しかし, 全体としては, この地域の衛星画像には, 比較的小規模な活動しかみられなかった.

3. エネルギー流

この予知事業では, 2つのエネルギー経路が見いだされた. その1つは, 深部断裂に沿う地下深部の北西流であり, もう1つは大陸縁に沿う浅部の南方流である. 前者は, NW-SE方向の断層線に沿う3つの強い地震—1) 2009年11月29日のM6.2/深度214km, 2) 2011年6月20日のM6.4/128km, 3) 3月16日の浅い本震M6.7/35km(図1参照)—によって証明される. この断層は, その北方延長がチリ海溝に達する深部断層帯であることは明らかである. 筆者は(Choi, 2005, 図21), さまざまなデータにもとづいて, Antofagastaを通るNW-SE方向の構造的高まりを識別した. 問題のNW-SE方向の断層は, この基盤隆起の北翼に位置している.

これら3つの地震は, エネルギー伝播(ET)計算式によって関連づけられる(図2). この計算式を第1および第2地震に適用すると, 約7ヶ月後に第3の地震が発生することが示された. この値は, これらの地震の深度および位置情報に含まれる誤差, エネルギー開放にいたる前の地震発生準備期間の長期化, あるいは, エネルギー伝播経路における複雑な断層系による伝播距離の延長に起因するのである

う. いっぽう, 第1地震から第2地震へのエネルギー流は, ET計算式に正確に適合するものであった.

第1地震(深度214km)から第2地震(128km)への平均移動速度は0.41km/日であり, 第2地震から第3地震(深度128kmから35km)へは0.36km/日であった.

浅い南向きの流れは, 1970~2014年に発生したM7以上の浅発地震(50km以浅)に関する緯度vs発生年の図から算出された(図2). その平均速度は0.25km/日である. 同様の傾向は, 同じ地域におけるM6以上の地震にも認められる. このようなエネルギー流は, 流速を減少させる局所的エネルギー溜りによって妨げられるが, 全体としては, 幅広い通路における地震の時間的移動として示されるエネルギー運動として, 確実に追跡される. 筆者も, カリフォルニアでの地震発生パターンにおいて同じ事実を発見した(Choi et al., 準備中). Tsunoda (2011)ならびにTsunoda et al. (2013)は, 伊豆-小笠原海嶺にそって日本へ向かう系統的な北向きのエネルギー流を記載した. これらの観測は, サージテクトニクス(Meyerhoff et al., 1996)の提案のように, 定常的なエネルギー運動が活動的造構帯の地下で起きていることを確認する.

4. 考察

Tarapacá沖地震の解析によるもっとも重要な発見は, 2つのエネルギー流の収斂, ならびに, それによるマグニチュードの増大効果である. エネルギー

収斂とマグニチュード増大効果は、多くの破壊的地震—2件だけ例示すると、スマトラの2004年クリスマス翌日地震 (Blot and Choi, 2004), ならびに、2011年3月の東日本(東北)巨大地震—にみいだされる。同じ現象は、今回の Tarapacá 沖地震にも認められる。こうしてみると、Grover の次のような記述 (1998) は重要である。

「マグニチュード6以上の深発地震は、それらの“現象”が収斂して…。たとえ、ひどく小さい規模の地震とであったとしても……、はるかに大規模な地震を誘発し、地震災害をもたらすマグニチュード7以上や8以上の大規模地震をひきおこすだろう。」

私たちは、最近、さまざまな地質-地理的環境におけるエネルギー伝播と速度に関する照合調査を行った。一般的傾向は、Tsunoda et al. (2013) によって考察されている。また、最新の総合的な研究報告も近く公表されるだろう。

5. 結論

この報告は、2014年3月にチリの Tarapacá 沖で発生した強い地震をもたらした2つのエネルギー流とそれらの収斂に関する観測結果を公表するものである。この収斂は、5年および3年先行して発生した2つのより深い地震に比べて、より大きなマグニチュードをうみだした。

Tarapacá 地震は、その発生の13日前に予測され、この予測はピンポイントの正確さをもっていた。予測作業は、誰もが入手できる公開データだけにもとづいていて、現地観測所のデータは利用されていない。それは、おもに Blot の ET 概念のおかげであり、また、IEVPC の総合的データ解析力、蓄積された手法の有効性、強い地震を数年前にでも検知できる明察性、および、さまざまな短期的兆候の重要性を理解できる能力にもとづいている。もし私たちが現地観測所をもっていれば、地震予測ははるかに詳細かつ正確になっていたであろう。

謝辞 筆者は、原稿に建設的コメントを寄せられた角田史雄氏に、また、前兆のより良い理解に貢献された他の IEVPC 構成員に感謝する。この論文は、IEVPC 全体の努力の成果である。著者は、英文チェックをしていただいた David Pratt にも感謝する。

追伸：この論文を含む NCGT 最新号が発送されたまさにその時、すなわち2014年4月1日に、小さな津波をともなった M8.0 の巨大地震が同じ地域を襲った。これが本震であり、この論文で記述した3月16日の M6.7 地震は今からみると前震であったと

考えられる。それらの発生間隔は15日間であった。TEC は高いままで、SST は3月下旬以来より高くなり、OLR は減少していた。

このような本震の巨大規模は、エネルギー収斂と大きな貯留構造 (NW-SE 深部地震系の南部を占める先カンブリア紀の構造的高まり) の複合効果に由来すると考えられる。大陸縁に沿う南向きのエネルギー流が、この構造で貯えられ、巨大エネルギーとして蓄積された。もう1つのエネルギー流が、深部断層にそって南東から到達し、地震発生のひきがねとなった。同様なパターンは、2011年3月の東日本巨大地震にもみられる。エネルギー流、貯留構造、およびエネルギー収斂は、Tarapacá 沖での今回の地震のメカニズムを解明するための鍵である。

文 献

- Blot, C., 1976. Volcanisme et sismicité dans les arcs insulaires. Prévision de ces phénomènes. Géophysique, v. 13, Orstom, Paris, 206p.
- Blot, C. and Choi, D.R., 2004. Recent devastating earthquakes in Japan and Indonesia viewed from the seismic energy transmigration concept. NCGT Newsletter, no. 33, p. 3-12.
- 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. 5, p. 79-118.
- Choi, D.R., 2010. Blot's energy transmigration concept applied for forecasting shallow earthquakes; a swarm of strong deep earthquake in the northern Celebes Sea in July 2010. NCGT Newsletter, no. 56, p. 75-85.
- Choi, D.R., 2011. Geological analysis of the Great East Japan earthquake in March 2011. NCGT Newsletter, no. 59, p. 55-68.
- Grover, J.C., 1998. Volcanic eruptions and great earthquakes. Advanced warning techniques to master the deadly science. CopyRight Publishing Co. Pty Ltd., Brisbane. 272p.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-Kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C. and Choi, D.R. (Ed., Meyerhoff-Hull, D.), 1996. Surge tectonics: a new hypothesis of global geodynamics. Kluwer Academic Publishers, 323p.
- Tsunoda, F., 2011. The March 2011 Great Offshore Tohoku-Pacific Earthquake from the perspective of the VE process. NCGT Newsletter, no. 59, p. 69-77.
- Tsunoda, F., Choi, D.R. and Kawabe, T., 2013. Thermal energy transmigration and fluctuation. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 65-80.

グローバルレンチテクトニクスから見たオーストラレーシア AUSTRALASIA WITHIN THE SETTING OF GLOBAL WRENCH TECTONICS

Karsten M. STORETVEDT

Institute of Geophysics, University of Bergen, 5014 Bergen, Norway
karsten.storetvedt@gfi.uib.no

Biju LONGHINOS

University College, Trivandrum City, Kerala, India
biju.longhinos@gmail.com

(杉山 明 [訳])

“誰もが予想するように、(専門家の)危機は、通常科学のパズルの永続的な欠陥が現われるべくして現われることによって生じる。既存の法則の破綻は新たな法則を探求するための序曲である。”

トーマス・クーン「科学革命の構造」

以下で、* 1 ~ 7 の注記は訳者による。

要旨： 東南アジアとそれに隣接する南西太平洋地域（オーストラレーシア）*¹の境界区域は、島嶼、海溝、圧縮性ないし横ずれ圧縮性深部断層、造構フロント及び多数の小規模な縁海盆からなり、地球科学者にとっては未だに大きな難問である。特に、プレートテクトニクスが君臨する間、仮想的なマイクロプレート間の境界をしばしば変更しようとしたり、圧縮環境の中に引張性ないし横ずれ引張性の環境を作ろうとしたり、サブダクションの極性を逆にしたり等々、場当たりの提案にまったく歯止めがかからなくなったように思われる。流行のプレートテクトニクスに強要されたモデルは、地域全体の適切な理解が十分決着していないにもかかわらず、現実の状況を簡略化し過ぎているということが時に言われている。それにもかかわらず、オーストラレーシアの造構的な結合は異常に高い地震・火山活動を伴い、世界でも最も明瞭な生物学的境界の1つであるウォーレス線によって切られ、その構造的な複雑性の大部分が新生代早期以降に生じたということが明々白々になってきた。

* 1 オーストラレーシア (Australasia) : オーストラリア大陸・ニュージーランド北島・同南島、近くの島々 (インドネシア領を含む) をまとめて指す地域名。18 世紀のフランスの思想家で比較民族学者のシャルル・ド・ブロス (Charles de Brosses) が自著「南方の地航海史」の中で初めて使った。(Wikipedia)

確証され構造関連の情報に基づいて、現在東南アジアに対して援用されている過度に進化した複雑性を、観察される現象が予測されたものとなるような秩序ある筋の通った現象学的システムに変えることができるということを論証するのが本論の目的である。言い換えると、著者らは、地域的な造構的事実が密接に絡み合った別の考えを提示しようというのである。この発展的刷新の基礎がグローバルレンチテクトニクスである。これは惑星の永続的な脱ガスとそれに伴う慣性モーメントの断続的な変化 - そのダイナミックな変化は真の極移動を引き起こし、惑星の回転速度を変える - と連携した地球の新しい理論である。想定される内部エンジンの影響は、地殻下層の薄化とそれに伴う盆地形成の組み合わせとして現れ、表層では地球全体のリソスフェアの緯度に応じた捻れとなる。動力造構的な作用モードは断続的な性格を持つ。造構過程が間欠的に出現する特徴を有し、地質時代境界そのものが存在するという事実はこの性格と矛盾しない。オーストラレーシアは赤道の位置にあったことで、とくに捻れ造構過程を受けやすかった。間欠的に北側の表層リソスフェアは時計回りの方向に捻れ、他方、南側のリソスフェアはそれに対応した反時計回りの捻れイベントを被った。こうして、(南西太平洋への延長部を含む) オーストラリアは、中新世後期に東南アジアと触れ合う前の、中新世初期に反時計回りに 70° 回転した。この過程でインドネシア東部とニューギニアは、元々は遠く隔てられていたが、マカッサル海峡に沿って並列するという現在の地理的環境にもたらされ、いわゆるウォーレス線という鮮明な動物地理境界の1つができた。新生代の慣性効果が東南アジアの地形的・造構的複雑性を正しく理解させるものと結論づけられる。周辺を含めたオーストラリアの第三紀後期に想定される回転を、より広い地域全体を展望する中で考察する。

キーワード： 東南アジア、オーストラリア / 南西太平洋、新第三紀 - 現世、造構的發展、レンチテクトニクス

はじめに — 新しい造構舞台

アジアの南東端はニューギニア・ソロモン諸島・ニューカレドニアを含むオーストラリアの境界地帯と共に、分裂し変形したベニオフ帯の分節により広く取り巻かれている。この地域は2つの著しく異なる造構地理学的部分、すなわち1) 極度に複雑な北東部と、2) どちらかというとは非変形の南西部のスンダランド^{*2}大陸棚に分けることができる。厚さ 30 km 前後の地殻を有するスンダランドは古生代と中生代の火成岩・堆積岩に加えて変成岩からなる（例えば Hutchison, 1996; Lebedev and Nolet, 2003）。しかし、スンダランドは多くの深部断層帯で切れ、その事実はプレートテクトニクスの考えでは謎とされてきた（例えば、Houseman and England, 1993; Huchon et al., 1994; Wang and Burchfield, 1997）。スンダランドは南をインドネシア島弧-海溝システムによって限られ、その南東端ではマレー諸島がオーストラリアとニューギニアを合わせた大陸性台地と合体する。ここはバンダ海・チモール海・アラフラ海からなる複雑な地域で、オーストラリア起源と推定される多くの造構-層序ユニットを含んでいる（例えば、Hamilton, 1979; Audley-Charles, 1981; Wood 1985; Hutchison, 1996）。

^{*} 2 スンダランド (Sundaland) : インドシナ半島, マレー半島, ボルネオ・スマトラ・ジャワなどの島々とそれに接する広大な大陸棚からなる地域。最終氷期にはひと続きの広大な陸地となり、生物が自由に往来できた。生物地理学的にはウォーレス線（本文で後述）を東縁とする。

東部インドネシア（バンダ）弧の海側でオーストラリア陸棚の北部は活動的なチモール-セラム造構フロントによって切られている。プレートテクトニクスの考察では、ニューギニアから南シナ海の東縁に向かって広がるスンダランドで北東に向かって地形造構上の複雑性が増している原因は、狭い深海盆のリフティングとそれに伴う拡大、もしくは、外来性のマイクロコンチネントがオーストラリアもしくは中国南部から分離したことによるのではないかとされている。これに対して、Hall (2002) はボルネオが第三紀の間のある時期にインドネシアから分離したという証拠はなく、海域の盆地で得られる情報はスンダランドが幅広い一連の大陸地域であったことを示唆していると述べた。彼は、しかし、マレー諸島の残りの地域に関しては高度に複雑で推測に満ちた造構スキームを仮定している。彼は（他の多くの研究者と同様）、漸新世の間に中国南部とインドシナの大陸縁辺でリフティングが生じ、南シナ海(SCS)に大洋地殻が形成されたと考えた。

線状の磁気異常が存在することは Hall (とその他の研究者) のプレートテクトニクスに関連した結論にとって明らかに決定的であった。不規則な地殻の厚さも SCS 盆地の複雑性も彼の結論を変更するほど決定的に重要なものではなかった。しかしながら、多くの付け足し的でスケールの小さい解釈は、比較的幅の広いオーストラレーシア境界地帯の造構的發展と、現象面での違いを組織化し統一された関連が明らかに完全に欠如しているという点で、信頼に足る造構的解釈を我々に示しているとはいえない。プレートテクトニクスの偽装のもとではオーストラレーシアの構造的複雑性は基本的にはまだ説明がついていないといって差し支えない (Storetvedt 2003, Storetvedt et al. 2003, 及びその中の参考文献を参照)。

図1は衛星画像をもとにして描いたオーストラレーシアの地形である。この異常に複雑な地殻領域を正しく理解するには、それを適切な動力造構的土台にしっかり結びつける必要がある。これは、造構特性、地殻の厚さの変化、盆地の形状、生物地理的様相その他種々の現象が機能的でグローバルな理論から分岐して予想通りの結果になることを意味している。そのような内部的に結びついた予想される一連の現象は、基本的には、正当な根拠のない場当たりのメカニズムを持ち出すことなしに立証されなければならない。オーストラレーシアは疑いもなく地球上で構造的に最も複雑な地域の1つであり、それゆえにどんなグローバルな動力造構理論にとっても有効性

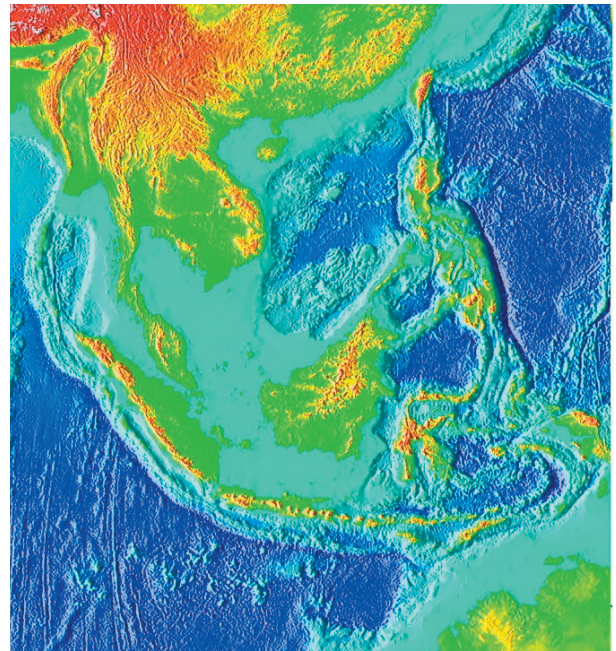


図1 NOAAの人工衛星と情報（ボルダーの国際地球物理データセンター）にもとづくオーストラレーシア境界地域の地形イメージ。とくに、スンダランドの大陸性プラットフォーム北東の複雑な地殻構造、すなわち島嶼と大陸性リッジの間に点在する多数の湾曲した楕円状で細長い深海盆に注目。

が試される場である。それを踏まえて、期待される自然な一連の現象学的つながりを確立しようと、ここにレンチテクトニクスのスキームが適用される。

GEODYSSSEA GPS の残差ベクトル (Rangin et al. 1999 の図 5 を参照) は、(ユーラシアの一部である) スンダランド・南中国の大陸地域・インドシナが時計回りに (南方へ) 動いていることを示唆した。同じ意味あいでは、Wang and Burchfield (1997) はアジアの内部にかなりの内部変形があり、その主要な断層帯は種々のアルプス期の変位の姿を示していると主張した。つまり、彼らは NW-SE 方向に走る紅河断層 (Red River Fault) の北部に沿った約 600km のオフセット (以下を参照) が、NW-SE 方向のトンキン湾 (Gulf of Tonkin) (メコン盆地南部) に入ると同じだけの量の動きに変換されていないと主張した。さらに、断層運動と盆地の発達の間には密接な関係があるように見える。例えば、Lacassin et al. (1997) はタイ・マレー沖盆地をタイ国を縦断する NW-SE 断層系上の運動に結びつけた。同様に、南シナ海や日本海のような北西太平洋縁辺の縁海は、もう 1 つの広く発達する NE-SW 走向の断層系と調和した全体的に細長い形をしている。概して、東南アジア地域の現在の地形と構造発達には明らかにどこにでも見られる古い先カンブリア時代の直交断裂組織 - 東アジアではそれぞれ NW-SE と NE-SW 方向を示す - に沿った過程によって規制されている (以下を参照)。

レンチテクトニクスの理論 (Storetvedt, 1997 and 2003) は、破碎され種々の程度に薄くなったリソスフェアが慣性に駆動された地球全体の間欠的な捻れと、それに関連した脆い外殻の変化に影響を受けてきた、あるいは現在も影響されているだろうと考える。この理論的足場に立つと、盆地の形成は、マンテルに由来する超臨界水によって促進される岩石の分解に助けられて、深部断層帯の横ずれ引張領域に沿って段階的に拡大するであろう。これは、(上昇する含水流体によって強化された) エクロジャイト化とそれに伴う重力による地殻の間欠的な上部マンテルへの消失という方法で地殻下層が薄化する過程を通して進行するものである (Storetvedt, 2003 とその中の参考文献)。この考え方に調和して、Lebedev and Nolet (2003) は S 波トモグラフィ解析から東南アジアがマンテルの外側 150 km に顕著な低速度異常を有することを見出した。これは最上部マンテルにガスと含水流体が地域的に蓄積されていて、それによって不規則な薄化とそれに関連する捻れ造構過程で傷つきやすいリソスフェアが地域的に作られるとする見方を支持するものである (以下を参照)。

図 2 に示すように、フィリピン、紅河-サバ (Saba)、タイ-ビルマ-ナツナ (Natuna)、イリアン及びス

マトラの剪断帯は幅広い NW-SE 走向の断層系を構成している。これらの平行する巨大剪断帯は上部始生界から得たデータとみなすことができ、明らかに地球規模の直交断裂系の一部であり、東南アジアを横断する顕著なセットは地域的な顕生代の褶曲帯と並走している。したがって、これらの断裂帯は長い再活動の歴史を経てきたであろう (Storetvedt, 2003 参照)。例えば、紅河盆地がそれに沿って位置している紅河剪断帯に関する最近の研究は、第三紀後期になってもフェーズの異なる 2 回の走向変位が生じたことを示唆している (Bui et al., 2011)。しかしながら、おおよそスンダ海峡 (スマトラとジャワの間) からボルネオ中央部を横断してフィリピンのミンダナオの北に向かって引かれる線の東では、主要な構造方向が明白に '絞られて' 'ひとまとまりになる。この造構的な歪みは、南側のリソスフェアの捻れ運動を構成する一部としてのオーストラリア-南西太平洋大陸塊の慣性による大規模な反時計回りの回転 (以下を参照) によって引き起こされたと思われる地殻の横ずれ圧縮変形と調和的である (以下を参照)。関連するボルネオ南西部及びパラワン沖の幅 100 km, 厚さ 5-8 km の付加ウェッジの圧縮性短縮 (例えば、Hinz et al., 1989; Ingram et al., 2004) は、推定される造構的衝突と調和的である。その結果としての造構的圧力は、幅 1,000 km 以上にわたって明らかに強い造構的効果を及ぼし、ニューギニア島から南シナ海の南東縁まで伸びる地殻帯を強く変形させた。

大洋地域は薄くなって化学的に変化した大陸地殻であるという考えに即して、地球上の多くの地域から得た構造と岩石の証拠を比較した van den Linden

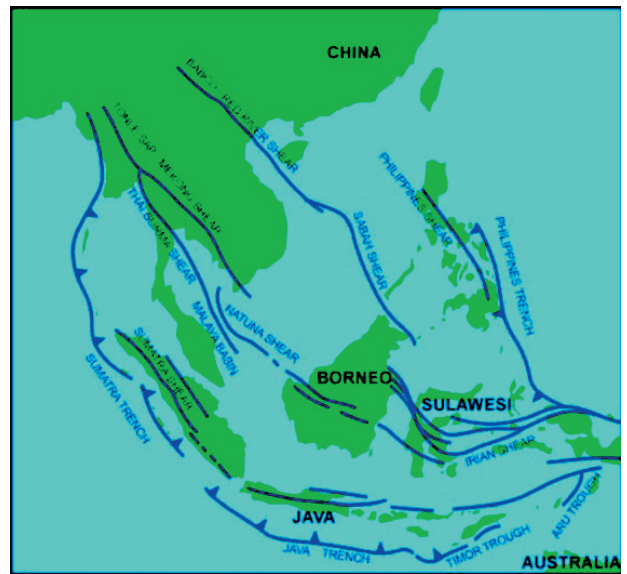


図 2 Wood (1985) にもとづく東南アジアを横断する顕著な断層帯を描いた造構図。東部地域においてそれらが束になって収斂する状態に注目。このような状態は、第三紀後期に想定される南西太平洋-オーストラリア大陸ブロック (本文参照) の大規模な反時計回りの回転を原動力とした造構変形によって生じたものとみなされる。

(1977) は, “大陸性リソスフェアの薄化は大陸縁辺と大洋盆の形成に重要な役割を演じる”と主張した. 例えば, オーストラリアの東の広大な大洋地域は地殻構造の多様性を大々的に示している. この複雑な縁辺領域の多様な地形は, その変化に富む水深及び地殻の厚さの大きな違いによって, 提案された大洋化モデルへの格好の手引きとなるだろう (van den Linden, 1977 参照). 例えば, Shor et al. (1971) によると, “ロードハウ海膨 (Lord Howe Rise) とノーフォーク海嶺 (Norfolk Ridge) は厚い堆積物を載せ, オーストラリアの大陸地殻と同じ深い地殻の根と P 波速度をもった厚い物質層を有している”. さらに, ニューカレドニアからノーフォーク海嶺を通してニュージーランドに至る南北に連なる構造と, 海面上に露出した部分 (ニューカレドニア, ニュージーランド, キャンベル海台 (Cambell Plateau) とチャタム海膨 (chatham Rise) 上の島々) から得られた地質学的証拠は Summerhayes (1969) にオーストラリアの東の海台 / 海嶺システム全体が大陸と親和性を有すると思わせた. さらに, 介在する小規模な海盆は地殻の厚さが 20–8 km にわたって変化する (Shor et al., 1971 参照). それゆえ, 南西太平洋の全体的な地殻構造は地殻拡大起源説と簡単には相容れないが, 種々の厚さの地殻をもつ海嶺・トラフ / 海盆システムは地殻下層の上部マントルへの不均等な消失と考えることでもっと容易に説明がつく. このことからオーストラリア / 南西太平洋大陸塊 (もしくは造構ブロック) という語を用いることは合理的である.

世界中の深海盆が中生代後期より前に存在したという事実に基づく証拠はないが, オーストラリアは先カンブリア以降ずっと赤道下に位置し, リソスフェアの捻れが断続的に再活性化し, それに伴って断層沿いに盆地が沈降した結果できた狭くてかなり深い線状の盆地は中生代以前にも存在した (Storetvedt, 2003 and 2007). しかしながら, 手近な証拠から, 初めは厚くて汎地球的な脆い外殻が, 長い変質の歴史を通して次第にムラのあるアセノスフェア, モホ境界面, 及び強く変化した残りの地殻に変わっていったということは想像がつく. 白亜紀後期までにこの地球の外殻は進んだ段階に達し, 現在の多様なモザイク状の大陸ブロックが, 介在する大洋盆とともに大部分現在の位置に収まった. しかしながら, 世界の主要な大洋においてさえ, 地殻の変化過程は完了していない. 例えば, 部分的に薄くなった大陸地殻が広大な海台の形, もしくは種々の不規則な花崗岩質 / グラニュライト質の地塊として大西洋・インド洋・西太平洋に広く分布していることが次第に明らかになってきている (例えば, Ben-Avraham et al., 1981; Storetvedt, 1985; Udintsev et al., 1989/90; Dickins et al., 1992; Choi et al., 1992). それゆえ, 大陸性から大洋の状態までの不規則で不完全な地殻の変化は, 南シナ海 (SCS) の

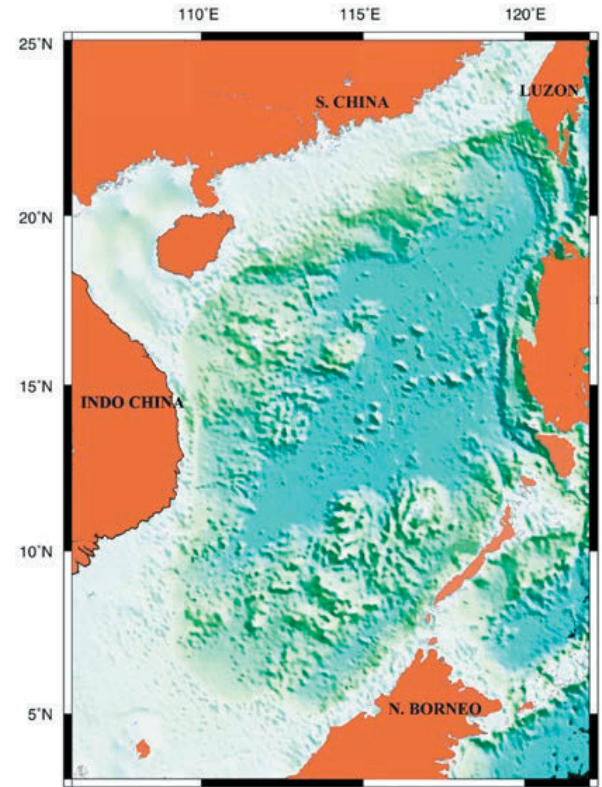


図3 Yan et al. (2008) にもとづく南シナ海の海底地形レリーフ図. 地殻の厚さの研究 (図6 参照) から準大陸性の性格を有するとされる不規則な海盆地形に注目. これは鎖状に連なる海山が特徴の中央部に対しても事実である.

ような小規模な海盆内でとくによく表れていることが期待される. この海盆の極めて複雑な水深を 図3 に示す. SCS の凹凸に富む地形と, 最も深い中央海盆においてさえ染み痕のように残っている準大洋地殻の厚さ (図6 参照) は, 東アジアの縁海の一般的特徴であるように思われる.

地殻と上部マントルの長期にわたって段階的に進行する変化によって地球は白亜紀後期までに, それ以前に較べて造構的にはるかに不安定な状態となった. 残った大陸地塊は, 地球全体の最上部マントルの大部分を覆うガス / 流体で満たされたアセノスフェアの連続的な成長と歩調を合わせて, 薄くて機械的に弱い大洋のリソスフェアに取り囲まれるようになった. その結果, 不均質で脆いリソスフェアは, より深いマントルから造構的にある程度分離するようになり, それによって慣性によるリソスフェアの変形が白亜紀後期から目立って容易になった (Storetvedt 2003 とその中の参考文献を参照). このようにして, 白亜紀後期から第三紀初期に地球を席卷した動力造構的なうねりが, 結果として地殻物質の内部への実質的消失を招いた. これらの大変動は, 1) 惑星の回転速度の変化というイベントと, 2) 地球の空間的方位の間欠的な移動 (真の極移動) となった. 地球規模の造構的發展が進行していた.

アルプス変動のクライマックスに先立って生じたと推定される惑星の加速（データと討論については、Creer, 1975; Storetvedt, 2003）と同時に、地球全体のリソスフェアは慣性によって西向きに捻れるというイベントにさらされた。地球規模でのリソスフェアの捻れというこれらのイベントの間に、集積された地球規模の造構的影響の大部分は変形しやすい大洋地域によって解消されたが、大陸塊には古緯度・大きさ・形状のような要素に応じた種々の程度の「現地性の」方位変化が生じた。地球規模のリソスフェアの捻れの間に、直交する高密度の断裂網により強く切り刻まれた大陸塊もまた、走向移動断層帯の再活性化のフェーズを含む穏やかな内部変形を受けやすくなっていたことを思い起こしてほしい。そこでは時に塩基性マグマと固体状態の上部マントル物質（オフィオライト）の注入を伴う盆地が発達した。白亜紀以降に地球を席卷したリソスフェアの構造的変形は、アルプス褶曲帯を誕生させながら、当時の低緯度でとくに顕著に現れた（Storetvedt, 1997 and 2003）。アルプス変動のクライマックスの時期に古赤道は今日の地中海の南縁に沿っており、その東方延長はアラビア半島を横切ってインドネシア弧の南縁沿いに伸びていた（例えば、Köppen and Wegener, 1924; Storetvedt, 1997 とその中の参考文献）。インドネシア地域が今日まで赤道にとどまったという事実は、ここで最も関心のある期間（最近の 100m. y.）にオーストラリア-インドネシア境界地域が造構性の最大捻れ変形に対して最も決定的な地理的位置にあったことを暗示している。

表層の 2 つの古リソスフェアが白亜紀後期から第三紀初期にかけて断続的に西向きに捻れた結果、（当時の古赤道の北側に位置した）東南アジアとユーラシアの残りの部分は穏やかな時計回りの捻れを、他方、古南半球（アフリカ、オーストラリア、南極を含む）はそれに対応した反時計回りの捻れを被った。慣性効果が組み合わさって古赤道帯は全体として横ずれ圧縮帯に変わり、それはアルプス帯に典型的に現れた。その結果、先カンブリアの古ベニオフ帯（例えば、Wilson, 1954）は再活性化して分裂し（Storetvedt, 1997 and 2003 参照）、当初は直線的であったインドネシア弧は気まぐれに湾曲して今日の（小円もしくはヘアピン）構造になった。白亜紀後期ないしそれ以降の捻れの間、それまでに現在のような大洋が優勢の領域となっていた古南半球ではインド洋中央部が強く変形し（以下参照）、南極やオーストラリアのような比較的小さい大陸塊は造構的に締め付けられてかなり回転した。この動力造構システムの中で、南半球の低緯度に位置するオーストラリアは、新第三紀の間、比較的大規模な反時計回りの回転を被り、その動きがバンダ弧地域の特別複雑な構造を生み出す主要な原動力となった。さらに、それに伴った北西方向の造構圧力は明らかに多数の地域的な造構的不連続を作り出し、前面の付加

ウェッジが南シナ海の東縁に沿って形成された（図 4 を見よ）。南西太平洋-オーストラリアブロックの反時計回りの動きにより作りだされた NW 方向の造構圧力は、GPS が示す位置速度によると、まだ作用している（以下参照）。

南シナ海地域—代表的な例

プレートテクトニクスの枠内では、いくつかの小海盆が結合し全体が NE-SW に伸長している閉鎖性の南シナ海（以下参照）は、しばしば多くの矛盾する解釈を与えられてきた。この海盆の深海部に見られるうねった磁気異常の存在（図 4）は、拡大を強要する多くのモデルにとって疑いのない基礎的事実としての役割を果たしてきた。しかしながら、海底の年代決定方法の面からの海洋磁気リニエーションは、それが地磁気極の連続的な逆転を示すという仮説に従っているのであるが、決定的な実験によって支持されたものではない（失敗し無視された決定的な試験についての議論は Storetvedt, 1997 and 2003 を参照）。これらのリニエーションの明らかなもう 1 つの解釈は、剪断が原因の断層に沿った磁氣的 - 鉱物学的変化というもので、いわゆる感受性コントラストモデルである（議論については Storetvedt, 2003 and 2010 を参照）。これは海底の磁場異常が周囲の場によって誘導された産物であり、岩石の感受性と地磁場の強さによるということを意味している。大洋の岩石が一般に変質した状態にあるという見方では、残留特性と地磁場の逆転は海底磁場の評価においては副次的な重要性しか持たない。

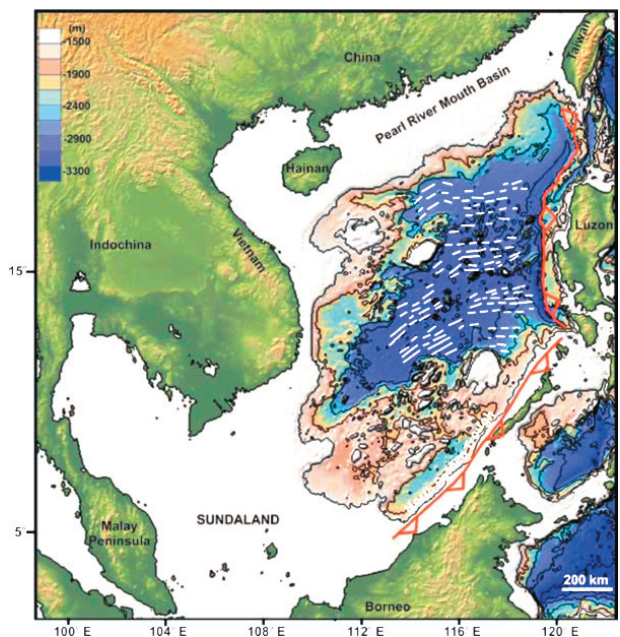


図 4 大陸性のスンドラランド大陸棚に接する南シナ海地域の水深図 (Li et al., 2013 を簡略化)。磁気リニエーションは Briais et al. (1993) による最新版である。この地域の地殻の厚さの変化（本文及び図 6 参照）に関連する異常な湾曲構造に注目。南シナ海の東縁に沿った造構フロントが赤で描かれている。

横ずれ断層運動、流体によって加速された地殻下層の薄化、海盆の形成という三者が密接に関係しているという考えに従うと、南シナ海は地域全体にわたってNE-SW 走向の剪断性の木目 (grain) が広く認められる横ずれ引張領域内で形成された。つまり、不規則で深い南シナ海盆の線状の磁気異常は、アルプス期におけるユーラシアの時計回りの慣性に起因する捻れで生じた剪断運動が原因とみなされる。東シナ海・日本海・オホーツク海などの北西太平洋縁辺に沿った他の海盆もおそらく似たような形成史を有しているであろう。後者の海盆の全体的に厚い地殻は明らかに断片的でもっと弱い磁気異常を示す結果となった。事実、剪断運動が生み出した磁気リニエーションの発達に決定的に地殻の厚さに応じているように見える (Storetvedt, 2010 and 2013)。ここで論じた剪断運動が作り出した海盆は、従来のプリアパート盆地の概念とは起源が明瞭に異なるということを強調しておくことは重要である。

想定される地殻 / リソスフェアの横ずれ引張レジーム内で、マントルから上昇する含水流体は、グラニュライト (またはガブロ) からエクログャイトへの変化過程を促進させつつ、脆い表層に浸透したであろう (Austreheim, 1998; Leech, 2001 を見よ)。その結果、重力を要因として地殻下層の薄化が海盆の沈降を伴って起こったであろう。しかしながら、エクログャイト化とその他の地殻の分裂過程 - それに同期して固体の岩石を泥に変える超臨界水の力のような - は断層 / 断層の密度に強く依存するので、結果として生じる表層の盆地は極めて不規則な形状になるに違いない。したがって、大陸性物質を強く同化した発達途上の盆地の内部では、様々な広がりをもった目下形成されつつある深海盆が、図 3 に示すように、種々のしっかりした厚い地殻を有する (部分的には同化された) 大陸の残存部を伴って自然に出現するだろう。剪断運動が作り出した発達途上の盆地の全体的な形状は、地殻を切る断層の分布密度の違いに影響され、ときには南シナ海に見られるような平面的には斜め平行四辺形の形をとる。

図 5 は南シナ海の主要な小海盆の概略の輪郭を示す。これらの海盆は、走向がそれぞれNE-SW とNW-SE の2つの地域的な断裂及び断層の直交セットに沿って延びている。これらの表層の盆地は、ここでは上部マントルの含水流体がそれに沿って地殻レベルへと上昇した横ずれ引張レジーム内で発達したと推定される。漸進的なエクログャイト化の過程とそれに伴う重力を要因とした地殻下層の薄化は、グラベンとハーフグラベンで特徴づけられる盆地のアイソスタチックな発達を引き起こしたのであろう。南シナ海とそのNE-SW 方向に整列した小海盆は、図 5 に示されるようなユーラシアの時計回りの回転によって形成される大規模な剪断系によく符合する (Storetvedt, 1997 and 2003 とその中の参考文献

参照)。それにもかかわらず、リソスフェアの捻れレジームにおいては直交するNW-SE 方向の断層系もまたある程度、横ずれ引張条件とそれに関連する海盆形成の対象になったであろう。ここではタイ・ビルマ剪断帯に沿ったマレー盆地と紅河剪断帯に沿った南メコン盆地がその実例である (図 2)。

レンチテクトニクスによると、構造的再活性化と盆地の形成は惑星回転が変化する時に生じる (地殻がマントルへと失われることによって引き起こされる) 間欠的な現象で、盆地の沈降とそれに関係する海水準低下の時期に密接に関連している (Storetvedt, 2003)。南シナ海地域の掘削から得られた地質学的データはそのような予想を支持している。岩石の証拠は急速な盆地の沈降が白亜紀後期、始新世後期、及び中新世初期～中期に生じたことを示している (Ru and Pigott, 1986)。さらに、珠江河口盆地では Dongdong et al. (2009) が漸新世後期と新第三紀後期に急速な沈降期があったと説明した。これらの観察結果は地球 (とくに大洋地域で)

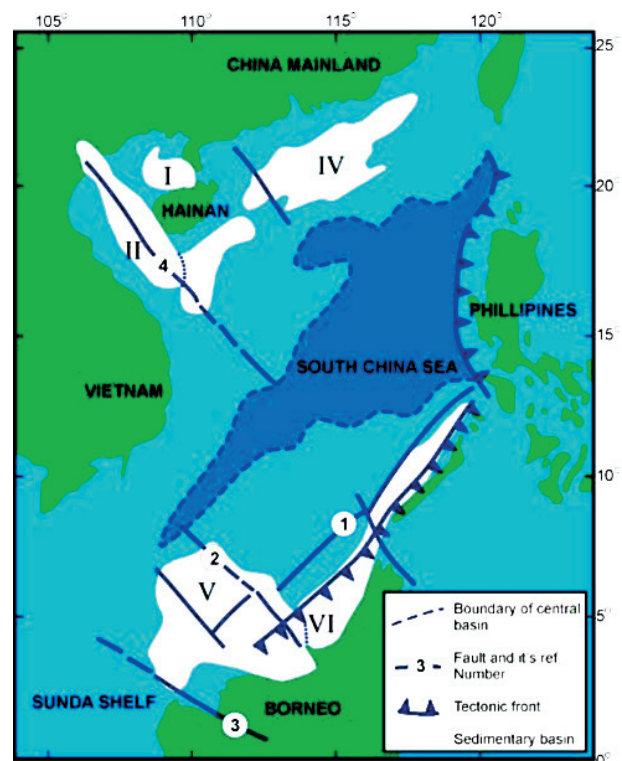


図 5 本図は Hutchison (1996) と Huang et al. (2005) に基づいた南シナ海地域の主要な縁辺盆地の略図を示している。主方向に直交するNW-SE 方向の盆地も存在するが、NE-SW 方向に伸長した小盆地が発達していることに注目。小盆地 (I-VI) は、I: ベイブ湾 (Beibu Bay) 盆地 (南メコン盆地), II: イング海 (Yinge Sea) 盆地 (南メコン盆地), III: 海南 (Hainan) 南東盆地, IV: 珠江 (Pearl River) 河口盆地, V: ゼンム (Zengmu) 盆地 (パラムデルタを含む), VI: 南沙トラフ (Nansha Trough) 盆地 (北西サバトラフ)。構造線は、1: 北西ボルネオ衝上断層, 2: ティンジャール (Tinjar) 断層, 3: ナツナ (Natuna) 剪断帯, 4: 紅河剪断帯。北西方向の圧縮と調和的な北西ボルネオとフィリピン沖の付加ウェッジにも注目。

を席卷する地殻のデラミネーション（これは盆地の形成を招く）の期間と海水準曲線における海退イベントの間の密接な関連を支持するものである (Haq et al., 1987 参照)。

他の縁海とともに、SCS は地殻下層のエクロジャイト化の過程とそれに伴う重力に支配されたデラミネーションにより形成されたと想定すると、その後の火山活動は大陸地殻混成物質による化学的特徴を示すであろう。これは我々に Sr-Nd-Pb 同位体の富化がインド洋の玄武岩に限定されるという初期の散々議論された Dupal 異常^{*3} という現象を思い起こさせる (Dupré and Allègre 1983; Hart 1984; Weis et al. 1989; Meyzen et al., 2005)。南部大西洋 (Regelous et al., 2009)、南極海盆 (Goldstein et al. 2008)、日本海 (Tatsumoto and Nakamura, 1991)、南シナ海 (QuanShu et al., 2008) のような地域を含めて、Dupal 異常がはるかに幅広く存在するということが徐々に明らかになってきた。したがって、Dupal 異常は異常とみなすわけにはいかない。それはむしろ、地殻下層のマントルへの消失とそれに伴う上部マントルのマグマ混合に関連した一般的な地球化学的特徴のように思われ、大洋 '状態' へと向かう地殻変化の継続的な過程という考えと調和的である。SCS の地域における同位体の変化を考慮して、Deng et al. (1998) は場当たりの論拠によりいくつかのホットスポットを提案した。他方、Tu et al. (1992) は SCS の火山活動の同位体組成がアセノスフェアとリソスフェアの成分のどちらも含むことを示唆した。いずれにせよ、現在 Dupal の比率に都合のよい説明は、大陸性物質が混成した比較的浅いマントルに源があるとするものであろう (Meyzen et al., 2005; Goldstein et al., 2008 を見よ)。

*** 3 Dupal 異常 (Dupal anomaly) :** マントル起源と考えられる玄武岩類の Sr・Nd・Pb の同位体比が赤道～南緯 60° を中心とした南半球で北半球より高い値を示すとする Dupré and Allègre (1983) の主張。しかし、その後、このような異常は全地球規模で存在することが分かった。(地学事典)

地殻の '海洋化' 過程において、主要な断裂帯は、より少なく破碎された地殻領域よりも流体を引き金とした強力なエクロジャイト化とそれに関連した地殻下層の薄化を被ってきたようである。南シナ海中央海盆のモホ面深度の違いはこの法則に一致しているように思われる。図 6 は重力インバージョンに

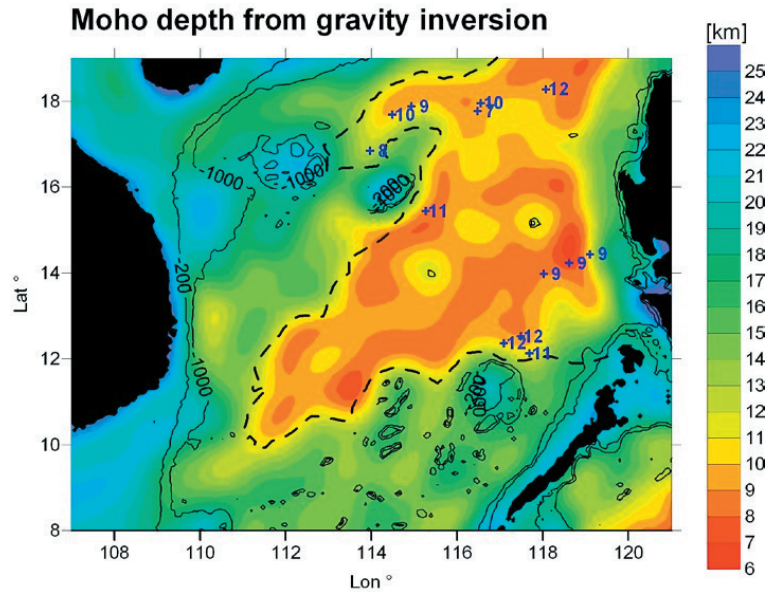


図 6 Braitenberg et al. (2006) による重力インバージョンにもとづく南シナ海地域の地殻の厚さの違い。水深はそれぞれ 200m と 1000m 等深線で、薄い地殻（‘大洋性’）と厚い地殻（‘大陸性’）の間の移行部は破線で示されている。しかしながら、この‘大洋性’と‘大陸性’という地殻の区別は人為的なもの（すなわち、プレートテクトニクスのアプローチ）のように思われる。実際にはモホ面深度は不鮮明で、かつ、明らかに地域的な造構の木目によって規制されている（本文参照）。図 3 と比較すると、この地域の線状の磁気異常は最も薄い地殻に限定されていることが分かる。数字を付した十字は Braitenberg et al. (2006) が求めた地震学的なモホ面深度を示す。

よって例証されたモホ面深度の違いを示している (Braitenberg et al., 2006)。この図で分かるように、SCS で最も浅いモホ面深度 (7-9 km) は、卓越する NE-SW 走向の断裂システムに沿った 2 つの地殻断面で見られ、それらの間にはそれに沿って多数の海山が存在する顕著に厚い地殻部分 (9-12 km) が存在する (図 3 参照)。さらに、SCS の北東断面ではモホ面のパターンが時計方向にスウィングしていることが認められる。しかし、SCS の北部海盆では地殻の厚さの違いがさらに複雑で、'E-W' システムが波うっている。例えば、南シナ海北部のバイユン・サグ (Baiyun Sag) の地殻構造を研究した Huang et al. (2005) は、その地域のモホ面が起伏発散し、陸棚から深海盆に向かって段階的に薄くなっていると記載した。

地域的に NE-SW 及び NW-SE の方向を有する普遍的な直交断裂系の再活性化が、盆地の形状だけでなく、観察されるモホ面深度の違いにも関与しているように見える。それに加えて、不均等な地殻の薄化が地殻の剛性を変化させ、それによって慣性に起因するさらに大きな剪断作用が最も薄い地殻断面に作用し、その結果、観察されるような湾曲してうねる磁気リネーションができたのであろう (図 4)。この基礎に立つと、南シナ海の比較的薄い地殻の線状磁気異常がなぜ日本海・オホーツク海のような厚い準大陸性の地殻を伴う縁海盆よりずっと発達してい

るのかということが理解できる（日本海・オホーツク海の磁気異常特性については Sugimura and Uyeda (1973), 地殻の厚さについては Choi (1984); Lee et al. (1999); Zheng and Lay (2006) を参照). 地球規模のリソスフェアの捻れという考えに調和して, 北西太平洋のリネーションは日本の大規模な中央構造線に沿って遮られることなく陸域に連続する (Storetvedt 2010 の図 5, 7 参照).

南からの造構力

インドネシア弧はスマトラとジャワに沿って WSW 方向に顕著な凸面を向けているが, チモール地域から先では, この弧状システムはより急激に反時計回りに曲がり, 最後は平面的に全体がヘアピンの形を示す. 図 7 はインドネシア地域の '一次オーダー' の深部テクトニクスの輪郭を描いている. Wilson (1954) はインドネシア弧を先カンブリア時代初期の大円 (地球を取り巻く) 収縮変位の一部とみなした. その見方を受け入れると, この弧の現在の造構的な湾曲は白亜紀後期以降のリソスフェアの変形過程で生じたものと推測される. ちなみに, 先新第三紀当時の古赤道は比較的直線状のインドネシア弧に沿っていて, オーストラリアはこの帯のすぐ南に位置していた (以下参照). それゆえ, 造構的な慣性効果は間欠的な時計回りの回転という形で容易に発現したであろう. この関連で, チモール-セラム海溝 / 弧システムの鋭い時計回りの湾曲は, 東南アジアに対する (南半球リソスフェアの一部としての) オーストラリア / ニューギニアの慣性に起因する反時計回りの回転の当然の結果となる (Storetvedt et al., 2003; Storetvedt et al., 2003).

古地磁気学的証拠にもとづくと, 第三紀後期以前にはオーストラリアは今日と著しく異なる方位をもっていた (データと討論については Irving, 1964;

Tarling, 1983; Piper, 1988; Storetvedt, 1997 を参照). これらのデータによると, 大オーストラリア湾は初めインド洋に面を向けていた. しかし, 周辺を含めたオーストラリアは最終的に東南アジアと合体する前のとくに中新世の間に反時計回りにスウィングした (以下参照). それに伴ったリソスフェアの短縮の大部分は, インドネシア東部の分裂したベニオフ帯に沿う薄化した大洋地殻の下方撓曲によって調整されたと思われる (以下参照). 推定される反時計回りの捻れによって生じた NW 方向の造構応力は, 明らかにニューギニアと南シナ海の間のスダランドの北方への強い造構的な複雑性 / 活動性の主要因になっている. レンチテクトニクスと Carey (1958, 1976) のグローバルスキームは, 両モデルが白亜紀後期ないしそれ以降の太平洋を取り巻くベニオフ帯の分節沿いだけでなくテーチス軸沿いにも剪断変形があったことを強調するという点で造構的な類似性があると言ってよい. その他の点では 2 つのグローバルスキームの背後にある物理的原理は相容れない.

結果として周辺を含めたオーストラリアと東南アジアが造構的に並列したということは, 世界で最も重要な動物地理学的不連続の 1 つであるウォーレス線の成因をも説明するであろう. 19 世紀の後半, ウォーレスは多数の論文及び著書で, 彼が分けたロンボクとバリの間から北方の (スラウェシとボルネオの間を走る) マカッサル海峡を経てミンダナオ (フィリピン南部) の東にまで伸びる生物学的境界線を引いた. 彼はその線の西の島嶼地域がアジアであり, 他方, 東の島々 (スラウェシ, チモール, モルッカ, ニューギニアその他) は, かつての南西太平洋-オーストラリア大陸の名残りともみなされるべきであると主張した (George, 1981 も参照). いっぽう, Huxley (1868) はフィリピンの西に動物地理学的な

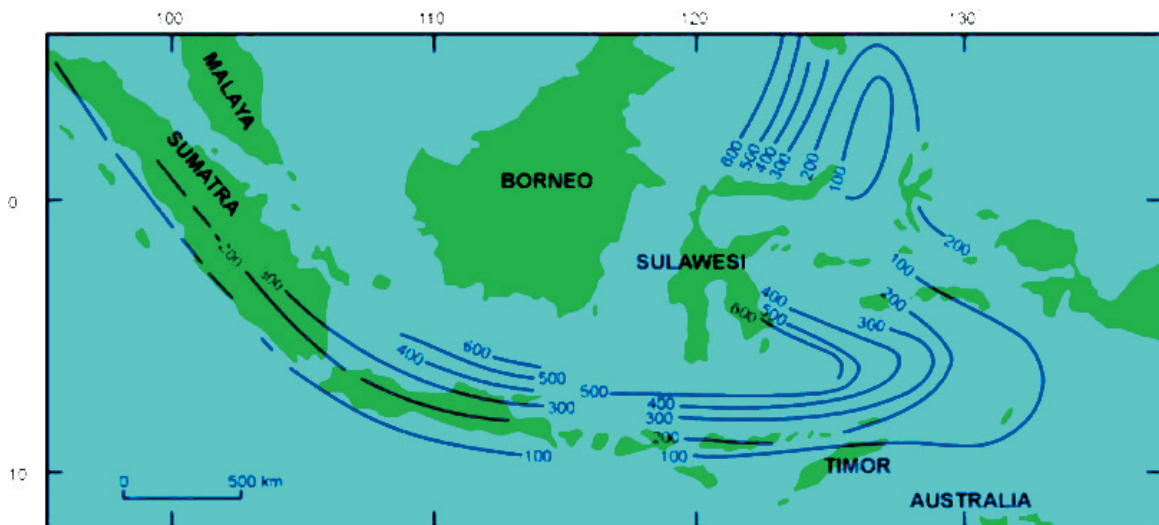


図 7 この図は湾曲したインドネシアの弧 - 海溝システムに沿った震源深度の分布を示す. 図は Hatherton and Dickinson (1969) に基づく. 東インドネシアのベニオフ帯 (km で表示した等深度線) の強い造構的な変形に注目. そこでは, 最も深い地震も発生する. この深い先カンブリア時代の造構帯の最初の形状は, 地球を取り巻く大円状の収縮変位の一部であったと思われる.

線を引いた。しかしながら、2つの地域の間では生物学的混合がそれほど生じていないという事実は、スラウェシとそれより東の島嶼地域がごく最近の地質時代に東南アジアの東端と物理的な接触をするに至ったことを示唆している（以下及び Whitmore 1981 の地質学的生物学的議論を参照）。

オーストラリア / 東南アジアの造構的並列の時期は、スラウェシの東の腕であるスラ半島 (Sula Peninsula) における地質学的な証拠によって支持されると考えられる。押被せ断層と覆瓦構造に基づいて Kundig (1956) はこの造構的イベントの時期を中新世中期とした。したがって、中新世後期 / 鮮新世の時期は陸生の植物及び動物は、東はスラウェシ / ニューギニア / オーストラリア、西はボルネオまでの間を移動することができたであろう。この植物と動物の移動は、当時のニューギニアの南及び西に存在したと推測される延長 2,000 km という広大な陸地によって容易になされたに違いない。それにもかかわらず、最大の造構的ひずみ地域は北西ではセレベス海とスルー海の間を走り、ボルネオとパラワンの北西沖の付加フロントで終わっている (図 4 参照)。

比較的高い地震活動、地形と重力の 200 km オーダーの起伏、強く褶曲した被覆堆積層の存在、そして高角逆断層が組み合わさって生じているということは、赤道インド洋の地殻が著しい変形の場合であることを示している (例えば、Stein and Okal, 1978; Weissel et al., 1980; McAdoo and Sandwell, 1985; Neprochnov et al., 1988; Bull and Scrutton, 1992; Van Orman et al., 1995 その他)。そこを通過する地震波の減衰を引き起こす広域にわたる地殻の撓曲 (Stark and Forsyth, 1983) は、私の知る限り合理的な説明が与えられたことはない。例えば、このいわゆる 'プレート内' にある顕著な造構帯はプレートテクトニクスの最も基本的な原理のいくつかに背いている。ほとんど上部マントルに達していると思われる最も強い構造的変形を伴う地域はラカティブーチャゴス海嶺 (Laccative-Chagos Ridge) と東経 90 度海嶺 (Ninety-East Ridge) の間に生じている。実際、レンチテクトニクスのモデルは大洋リソスフェアがこのような形でいろいろな程度に影響を被ったことを予想する。

インド洋の強く造構化された帯の内部で Neprochnov et al. (1988) は 1) 古いアルプス期の子午線方向のシステムと、2) より若い新第三紀の斜め走向移動断層群の 2 組の深部に達する断裂を識別した。後者の断裂は古いグループを切って、東経 90 度海嶺その他のインド洋の海嶺を切って雁行状オフセットを作り出している。著者らは中央インド洋海盆がアルプス期の左ずれ剪断作用を被ったと

結論づけた。変成岩が繰り返し採取されている南西インド洋海嶺の分断された性状は、インド洋が実際に極めて幅広い走向移動断層帯によって切られ、南大西洋南部からベンガル湾 (Bay of Bengal) にかけて伸びるわずかに湾曲した (南東に凸面を向けた) 変成 - 造構帯を形成していることを示唆している。この顕著な大洋褶曲帯に沿った左ずれ剪断運動 - ここでは南部のリソスフェアの反時計回りの捻れによって生み出された幅広い断裂帯とみなされている - は自然に再活性化してインドネシア弧に沿った先カンブリア古期のベニオフ帯を変形させたであろう。この弧に沿った横ずれ圧縮過程は、スンドラ下下のインド洋リソスフェアをある程度アンダースラストさせる原因になったであろう。

インドネシア弧の造構変形は東方ほど顕著である。例えば、図 7 から分かるように、極めて深い地震はインドネシア西部に沿っては通常見られず、スマトラの "地震学的に補正された" GPS 速度はスンドラ / 南中国に対して弧に平行な北西方向の動きを示し (Michel et al., 2000)、これはベニオフ帯の西部に沿った水平移動に調和している。比較すると、インドネシア東部の地震 - 造構帯は少なくとも 600 km の深度まで達している。したがって、インドネシア東部のベニオフ帯の分節は明らかに基本的には圧縮性である。これは東部地域に関する GPS 観測点の動きが弧 / 海溝システムに対して急角度をなすという事実によって支持される結論である (以下参照)。地球の半径が基本的には不変であったと仮定すると、想定されるインドネシア弧の下の地殻の消失は、古南半球のどこかの不規則な伸長とマグマ性の充填作用により相殺されたに違いない。

造構化された中央インド洋海盆の北西に当たるアフリカと、反対側の翼にあるオーストラリア及び南極の間の古地磁気の比較は、オフセットがどの程度かという問題を解明するであろう。レンチテクトニクスによると、オーストラリアや南極のような比較的小さい (残存) 大陸塊は、中生代後期以来薄くて壊れやすい大洋地殻に囲まれ、それゆえに傷つきやすく、アルプス期のリソスフェアの捻れを被ったときに可動性が増した。単純な回転はそれらの現在の大陸間の古地磁気学的不一致を十分に説明することができる (Storetvedt, 1990 and 1997)。図 8 は南極 (AN) とオーストラリア (AU) のジュラ紀 (両大陸に対して適正なデータがある唯一の時期) の平均的な極が、2つの大陸の方位角を再配列した後、どのように一致するかを示している。

図 9 は白亜紀における東南アジアに対するオーストラリアの位置をニューギニアとスラウェシの島々とともに示している。これは南半球の古リソスフェアのアルプス期の捻れとそれに伴う幅広い中央インド洋海盆に沿った大規模な左横ずれ剪断作用が生

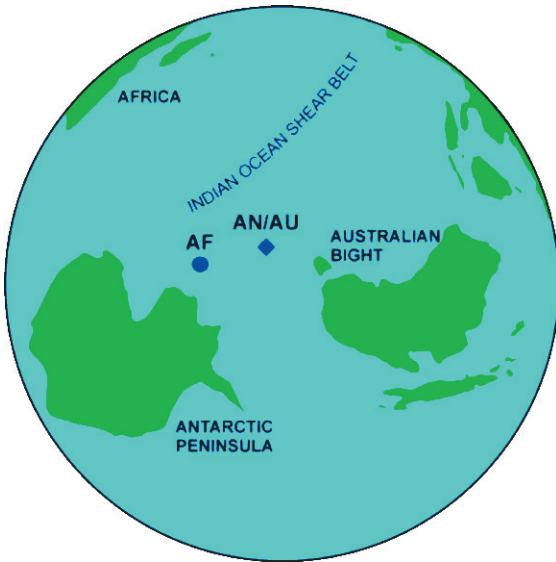


図8 南極とオーストラリア (AN/AU) から得られたジュラ紀の古地磁気極の共通の位置は、これらの大陸の原位置での適切な再配列 (回転) の後では、相当するアフリカから得られた極に近くなるように見える。この NNE 方向の極移動は、中央インド洋海盆が、全体的に地殻が薄く、それゆえに機械的に脆弱な南側のアルプス期の捻れの産物である大規模なアルプス期の左横ずれ剪断帯であることを示唆する証拠と調和的である。図は Storetvedt (1997) に基づく。

じるより前の状態である。当時、インドネシアの古ベニオフ帯はまだ現在のような曲面を獲得してはいなかった。さらに、アルプス期のクライマックスより前は、現在の大オーストラリア湾 (Great Australian Bight) はインド洋に向いていて、スラウェシとメラネシア諸島 (ニューギニアその他) は東南アジアから地理的に遠い位置にあった。その上、オーストラリア / 南西太平洋大陸と東南アジアは実際の古赤道の反対側に位置していた。しかしながら、広範なアルプス期の最も重要な動力造構の原動力になったと思われる惑星の加速はすぐに初めの大陸配列をひっくり返した。オーストラリアの大陸集合体を含む南半球の古リソスフェアは反時計回り (北向き) の捻れを被り、他方、東南アジアを含むユーラシアのリソスフェアは対応する時計回り (南向き) の捻れを被った。このリソスフェアの捻れは南部の大陸塊を東南アジアと物理的に密接に接触させ、さらにインドネシアのベニオフ帯を著しく複雑な帯へと変えた。インドネシア弧を横断する最近のトモグラフィーイメージ (Widiyantoro and van der Hilst, 1996) は、この地域の上部マントルの込み入った構造状態を明白にした。

古赤道帯に沿ったリソスフェアの全体的な西向きの引きずりが原因のアルプス造構変動は、図 10 に描かれたオーストラリア / 東南アジア大陸を発達させた。北半球の時計回りの捻れによってもたらされた横ずれ圧縮レジームという結果は、インドネシアのベニオフ帯に沿った顕著な造構的再活性化を



図9 オーストラリア-ニューギニア-スラウェシ陸塊の初期の配列を示す古地理図。大オーストラリア湾がインド洋に向いており、かつてのオーストラリアと南西太平洋大陸ブロックが分裂したスラウェシとニューギニアは東南アジアから地理的にかなり離れていたということに注目。アルプス期の赤道は西インドネシアの南縁を通り、E-W に走る古ベニオフ帯に沿っていた。その形を小円もしくはヘアピン状に変えたインドネシアの造構的柔軟化が始まったところである。

招いた。伝統的には '古期安山岩' (van Bemmelen, 1970) と呼ばれているインドネシアの主要な島々に露出する白亜紀後期と第三紀初期の火山岩はこのモデルと矛盾しない。スマトラとスンダランド陸棚の地殻は、顕著な横ずれ圧縮レジーム内のそれらの位置にもかかわらず、断層が発達する地殻下層の薄化により著しく弱体化することはなかった。しかしながら、ジャワの北方とさらに東方の地殻は薄化し、断層運動を被って複雑に細分化された (Hutchison, 1996 参照)。このようにして、ベニオフ面に沿ったアンダースラスト / オーバーライディング過程の組み合わせを作り出した横ずれ圧縮変形と調和して、北方の地域は明らかに極めて変化が大きいが、全体として東へ向かって地殻の薄化が増大し、インドネシアのこの部分は造構変形をうけやすくなった。明らかにアルプス期のクライマックスの間に始まったこの弧の湾曲は、しかしながら新第三紀の造構パルス前には完成しなかった (以下参照)。ジャワとスマトラの間の造構的断絶はスンダ海峡に沿って延び、現在に至る地質活動の表現 (1883 年のクラカタウ火山の爆発を参照) へと継続してきた。

インドネシア弧の造構的な湾曲が次第に大きくなった結果、ベニオフ面に沿って存在すると思われる逆断層の傾斜が増した。走向沿いのスラスト運動の方向がジャワからアンダマン海へと変化したことが地震造構パターンの西方への連続的な変化を説明するようと思われる。ジャワの下でベニオフ面は 600 km の深さまで地震造構的に活発であるのに対し、造構



図 10 白亜紀後期から漸新世初期造構活動の間、太い湾曲した矢印で示されている 2 つの表層リソスフェアの緯度に依存した捻れが東南アジアとオーストラリア / 南西太平洋大陸の接近をもたらした。この過程の間に造構的な横ずれ圧縮 - インド洋地殻のインドネシアベニオフ帯の下への大規模な斜めアンダースラスト運動を含む - が発達しつつあるインドネシア地域を反時計回りに折り曲げた。それに加えて、古北半球の時計回りの捻れが、発達しつつあるインドネシア弧に沿って一定の乗り上げ効果と追加的な湾曲をもたらしたであろう。インド洋リソスフェアの斜めアンダースラストは、細い矢印が示すスマトラに沿った大規模な右横ずれ断層帯 (Hutchison, 1996 参照) を作り出したに違いない。アルプス期の古赤道の北は時計回りの捻れが、直交性の断裂群 (図中で R の記号を付記) の分節内の横ずれ引張 (リフト化) レジームを作り出したことに加えて、南シナ海・日本海を含む西太平洋縁辺に沿った NE-SW 方向の造構的本目を再活性化した。(歪められた古南半球のリソスフェアの一部を構成する) オーストラリアが I の位置から II の位置へ変化するという北方へのかなりの回転性移動は、地域的なインド洋リソスフェアの東インドネシアの下へのアンダースラストの程度を反映しているように思われる。

力が結果的に断層面に対して斜めになったスマトラ地域では震源深度は基本的に最大で僅か 100-200 km に限定されている (Hatherton and Dickinson, 1969 を参照)。ベニオフ面に沿って予想される走向移動的な動きは複雑なスマトラ断層帯の剪断性再活性化に必要とされた引きずり効果を生み出した。しかしながら、高密度間隔の直交断裂が普遍的に存在することにより、スマトラを横断する水平的造構オフセットとそれに隣接する海溝はどれも大陸と大洋の不調和を際立たせることはなかった。

スマトラの陸域ではベニオフ面はスマトラ断層の下で突然終わっているように見える。インド洋のずっと薄いリソスフェアは、その島の深部レベルに達する代わりに、恐らく上部マントル中に地域的に発達する低速度層 - これは深部まで連続していると思われるスマトラ断層 (Sumatra Fault) によって陸側

に拘束されている - に沿ってかなり西向きに滑ったであろう。そのようなベニオフ面に沿った海溝に平行な動き (走向移動) はスマトラ断層に沿った右ずれ走行移動の動きを容易に引き起こしたであろう (Hutchison, 1996 参照)。

スマトラ断層帯は北方の西アンダマン断層 (West Andaman Fault) の走向へとスウィングし、拡大するアンダマン海の西側造構境界を形成したと考えられてきた (Curry et al., 1979)。しかし、レンチテクトニクスが理解するところでは、アンダマン海は初生的な大陸性地殻が強力にデラミネートされ、アイソスタシーにより下方へ落ち込んだ横ずれ引張性の海盆としての特徴を備えている。観察されるこの地域の海洋底磁気異常は、おそらく横ずれ引張空間への時々の拡散性磁気浸透に加えて磁氣的 - 鉱物学的剪断効果が組み合わさったことに再び関連づけられるであろう。ちなみに、地震探査断面から示唆される中央リフトバレーも、アンダマン海嶺 (Andaman Ridge) のすぐ西の東傾斜のスラスト (Curry et al., 1979) も、スマトラ沖の大洋リソスフェアの北西方向への横ずれ引張性滑りの産物のように見える。

オーストラリア / 南西太平洋ブロックの新第三紀における慣性による回転と周辺の大洋地域の造構的変形

上述のように、著者らは、アルプス期のクライマックスの間に南側のリソスフェアの捻れがどのようにオーストラリアと南西太平洋大陸集合体に作用して東南アジアと接触するに至らしめたかということを説明した (図 10)。この過程で中央インド洋海盆の顕著な N-S 方向の褶曲帯が形成され、南西太平洋のベニオフ帯が分裂変形し、その後、環太平洋古ベニオフ帯の地域的分節を分裂させ変形させた膝形のケルマデック-トンガ海溝が出現した。しかしながら、周辺を含めたオーストラリアの現在の方位はまだ確定していなかった。36 m. y. 前後における真の極移動イベント (Storetvedt, 1990, 1997 and 2003 参照) が、おそらく始新性 - 漸新世境界を作り出した地質学的隆起の主要な力学的要因として作用し、相対的な赤道がほぼ現在の位置に達した。南半球におけるその位置により、オーストラリアは中新世後期に始まるその後の地球規模の造構的変動の間のさらなる反時計回りの回転を受けやすくなった。例えば中新世前～中期までの高海水準に表われているこの新しい造構性隆起により、オーストラリアは周辺の大洋リソスフェアとともに現在の地理的方位に至るまでに 70° オーダーの大きな反時計回りの動きを被ったに違いない (Storetvedt, 1997; Storetvedt et al., 2003)。

アフリカとオーストラリアから求めた中生代 - 漸新世の極移動経路を比較すると 2 つの陸塊の間の顕著な経度の不一致が分かる (Storetvedt, 1997)。実

際の年代スパンに対してアフリカから求めた極移動曲線は、概略、ほぼ $0^{\circ} \sim 80^{\circ}\text{E}$ からの経度の隔たりを示す 60°S に沿っている。他方、これに対応したオーストラリアの極の経度は、ほぼ 100°E とほぼ 180°E の間で変化する（データは例えば Piper, 1988 を参照）。この大陸間の古い極の不一致は、オーストラリア / 南西太平洋大陸の個々の反時計回りの回転によって説明することができる。しかし、オーストラリアの極移動経路の漸新世極の尖点がアフリカのその数 10 度東にある（Storetvedt, 1997, Chapter 9）ことから、オーストラリアの第三紀の回転（反時計回りに少なくとも 70° まで）の終了は暁新世後期より後、おそらく新第三紀になってからに違いない。しかしながら、入手可能な古地磁気学的データではこの最近の運動の詳細を説明することができない。他方、バンダ海とそれに隣接する東南アジア地域の構造的記録からは造構的衝突が最初は中新世中期と鮮新 - 更新世の間と定められる（Hutchison, 1996 参照）。この間、オーストラリアは次第に東南アジアに対して現在の配列に近づき、最終的にウォレス線の異常に鮮明な動物地理学的境界を作りだした。さらに、造構的衝突は疑いもなく（初めはきれいな直線状だったインドネシア東部のベニオフ帯の）著しい変形の主要な要因となり、現在のスプーンのような形の構造を作りだした。約 150 年前のウォレス線の発見以来、この鮮明な動物地理学的不連続の存在が疑われたことはない。そして、東洋系とオーストラリア系の生物相の極めて限られた混合は、2つの区がごく最近の地質時代に隣り合う位置になったに違いないという強力な証拠である。

図 11 はオーストラリア・ニューギニア・その他が白亜紀後期より前の地理的環境（図 10）からどのようにして現在の方位配列に変化したかを示している。結果としてバンダ地域が複雑な構造になったことに関して、Widiyantoro et al. (2011) は「トモグラフィイメージは、上部マントルにおけるスラブの捻れがバンダ弧の下のスプーン形の構造を作ったという以前の観察結果を論証している。バンダ海の下の 660 km の不連続上に平らに横たわるスラブもまたよくイメージされている」と述べた。さらに、白亜紀後期以降の北側リソスフェアの時計回りの捻れは疑いもなくインドネシアのベニオフ帯の湾曲と再活性化という方法で追加的な造構力を与えた。また、ここで主張されたようなオーストラリア（その準大陸的環境と共に）の顕著な慣性による回転は、周辺の薄い地殻で構成されたワルトン海盆（Walton Basin）のような大洋地域に当然ながら明瞭で造構的な証拠を残したであろう。

東インド洋を横断する新生代の捻れ造構剪断運動ーワルトン海盆

ワルトン海盆はインド洋の最深地域を包含し、その中央部の大部分で海盆の深さは 6,000 m 以上が普通



図 11 図は周辺を含めたオーストラリアの新第三紀の回転の全体的な様子を示している。その比較的小規模で赤道下の区域を見ると、薄くて機械的に弱い大洋地殻によって囲まれていたことに加えて、「オーストラリア」大陸ブロックは新第三紀の間、ともすると慣性による新たな反時計回りの引きずりというフェーズを経験しやすかった。この新第三紀～現世の造構的スウィングはほぼ 70° （位置 I から II へ）に達する。世界で恐らく最も顕著な生物地理的境界であるウォレス線は明らかに東南アジアとの並列の結果であろう。アルプス期の捻れが最大であった期間のベニオフ帯の南西太平洋部分のゆがみに加えて、新第三紀～現世の慣性的な動きが疑いもなく南西太平洋縁辺に沿ったさらなる造構的複雑さを作りだした。さらに、オーストラリア / 東南アジアの造構的相互作用はインドネシア東部のリソスフェアをスプーンの形にした。それに加えて、スラウェシ海とスールー海における横ずれ引張レジームを伴った NW 方向の圧力が全体的な圧縮変形へと導き、北西ボルネオと西フィリピンに沿った構造的フロントが、明らかにこの過程で基本的に建設された。表記は、S.F. : スマトラ断層、T.T. : トンガ海溝、K.T. : ケルマデック海溝。

である。しかしながら、表面地形は極めて起伏に富み、西側を東経 90 度海嶺で仕切られた海嶺とトラフからなる幅広い帯がこの海盆を画然と仕切っている。南ではブローケン海嶺（Broken Ridge）が南部フロントを形成し、この準大陸性海嶺（Storetvedt, 2003, Chapter 6 参照）は、その基部で E-W 走向のオブ海溝（Ob Trench）を伴う急で深い崖 - ディアマンテナ断層帯（Diamantina Fracture Zone）に沿って東に伸びる - により限られている。ワルトン海盆における DSDP Leg 27（Veevers et al., 1974）は白亜系下部とジュラ系最上部の堆積物の下で玄武岩に縫着した。その 3ヶ所の掘削地点は水深 5400 ～ 5700 m の間にあり、図 12 に示されているようにオーストラリア縁辺からの距離はそれぞれ異なっている。これらの地点で採取された堆積物の断面はすべて同じパターンを示し、厚さ数 100 m の連続する厚い白亜系粘土岩の上にほぼ 150 m の厚さの中新世中期から現世までの深海粘土が載っている。この採取された 2つの連続堆積体の間の 80 ～ 100 m. y. という長い時間間隔は、白亜紀と新第三紀のシーケンス

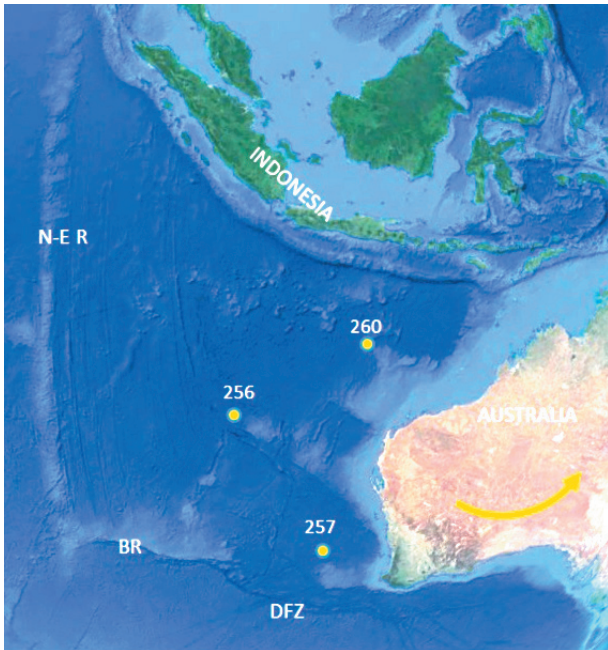


図12 西を東経90度海嶺 (N-E R), 北をインドネシア弧, 南をオプ海溝とディアンティナ断裂帯 (DFZ), 東をオーストラリアに接する四辺形のワルトン海盆のGoogle Earthによる地形イメージ。空色に塗られた大洋の台地と海嶺は部分的に薄くなって沈下した大陸性の断片とみられる (本文参照)。数字を付した黄色の点は本文中に引用された深海掘削地点 (DSDP Leg 27) を示す。ここでは新第三紀の反時計回りの回転 (黄色の矢印) からの造構性の引きずり効果と解釈された卓越する構造性リニアメントの調和的な湾曲に注目。それに対してオーストラリアは南部の捻られた表層リソスフェアの分裂した部分を構成する。ディアンティナ断裂帯と南西オーストラリアに近接して走る造構的に複雑な部分は同じ慣性によるリソスフェアの変形の産物と見られ、オーストラリアの慣性を原動力とした回転により生じた造構性の分裂/再活性化を示すものである。略号はBR: ブロークン海嶺, DFZ: ディアンティナ断裂帯, N-E R: 東経90度海嶺

の間におそらく1つかそれ以上の平行不整合が存在することを示唆している。Leg 27のスタッフによると (Veevers et al., 1974), "一連の堆積物は全体として深海性粘土の特徴を有し、そのうちの一部は炭酸カルシウム補償深度の上、一部はその下に堆積したように見える"。これらの観察結果はワルトン海盆が発達する間の実質的な垂直方向の深度変化を示唆するものであろう。そして、現在の西オーストラリア沖の深海地域が中新世中期に最終的な沈降をしたことが推測される。ワルトン海盆の2回の沈降イベントは、この海盆内に横ずれ引張条件を作りだしたオーストラリアの反時計回りの2段階の動きに対応させることができる。GPSその他のデータによると、オーストラリアの反時計回りの動きの背後に予想される横ずれ引張環境は明らかにまだ続いている。オーストラリア北西部地域における断層に沿ったマンタルの脱ガスとそれに関連した物理的現象に関する最近の報告 (Bapat et al., 2013) はこの見方と調和する。

2011年の11月中旬にシドニー大学から来た新しい紀要は "沈降する島々は Gondwana 物語における造構的变化の原因となりえた" という見出しがついていて、オーストラリア大学と共同で行ったパース深海平原 (Perth Abyssal Plain) の研究における思わぬ発見について報告している。水深1.5 kmの詳細な海底マッピングにより、明らかに沈降する前に一度は海面上に出現したことがある平頂部をもった2つの巨大な台地が発見された。それに加えて、これらの台地の急斜面からドレッジされた数100 kgの岩石は、予測された大洋性玄武岩ではなく片麻岩・花崗岩・白亜紀前期の化石を含む砂岩からなり、大陸性の基盤岩類のみが得られた。そのことにより、この台地は想定された Gondwana ランドの仮想的な分裂の後に残された微小大陸塊であるとされた。しかしながら、図12で気づくように、西オーストラリアの大陸棚は隣接するインド洋に向かって明らかに深くなっている、台地と非地震性海嶺になる。それゆえ、これらの海底地形はまさに薄化して沈降した大陸地殻を表しているように思われ、最近パース深海平原内で発見された沈降した台地はその代表的な例であろう。

(中生代後期～第三紀初期における地球規模のはるかに大規模な大洋化の過程に加えて) ワルトン海盆の地殻は新第三紀の間に、周辺を含むオーストラリア陸塊の大規模な反時計回りの結果、2回目の薄化を被った可能性が高いと思われる。ワルトン海盆の想定される新第三紀の剪断性再活性化は、増加した流体に促進された地殻下層の薄化とそれに関連する種々の程度の盆地の沈降を容易にした (Storetvedt, 2003 参照)。それゆえ、南西オーストラリア沖の顕著な低フリーエア重力異常 (Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources 1985) は、地域的な反時計回りの捻れを背景にした横ずれ引張条件と調和する。

図12はレンチテクトニクスでは簡単に説明がつくが、以前には説明のつかなかった多数の細部の所在も示している。例えば、東経90度海嶺の穏やかではあるが一貫した南東方向へのスウィングは、ワルトン海盆を横断して南東に伸びる海嶺とトラフの幅広い帯とともに、オーストラリアの反時計回りの回転に引きずられた変形しやすい薄いリソスフェア内での当然の産物になるだろう。高度のある大陸塊の方が、低くてより薄い地殻を持ち造構性の捻れ変形を被りやすい大洋リソスフェアより大きな慣性を持っていることに注目するべきである。Google Earthから簡単に知ることができるように、オーストラリアの周りの広大な大洋地域は強い造構性の擾乱で特徴づけられている。レンチテクトニクスによると、'大洋中央'の海嶺は程度の異なるリソスフェアの慣性によって作り出された深部断層帯を有し、これらの海底海嶺に沿った地形的隆起はおそらく新

第三紀のもので、大陸の山脈とともに形成されたものである (Storetvedt, 2003 及びその中の参考文献参照)。

基本的な(直交性の)構造的木目 (structural grain) を地球規模で検討すると、北を指す共役断裂セットの初期の方向は NNE-SSW であったと考えられる (Storetvedt, 2003, Chapter 7)。しかし、ワルトン海盆ではこれらの構造の方位は、白亜紀後期～第三紀の捻れの力により、北部インド洋におけるさらに西方の断裂系と同様、初期の方位からやや異なる方位に変わった。さらに、ブローケン海嶺の南縁に沿って、地域全体の捻れの力が、南側リソスフェアの大規模な反時計回りの剪断作用の枠内で、顕著なオブ海溝とそれに伴うディアマンティナ断裂帯の全長で古い直交性断裂の木目の分裂を招いた (図 12 参照)。南に緩やかな凸面を向いている後者の造構性地形は、大オーストラリア湾の方へ、またそれに沿って伸びている '大オーストラリア' ^{*4} の想定される回転に調和的である。オーストラリアに近い薄くなった深海地域は、さらに離れた地域より新第三紀の捻れ力を強く受けたであろうということもまた予測できる。これはおそらくブローケン海嶺の東端とワラビー海台 (Wallaby Plateau) - 西オーストラリアの大陸性台地の延長と考えられる - の間に生じた偏菱形のトラフシステムを生み出した。

* 4 大オーストラリア (Greater Australia) : オーストラリア大陸にニューギニア・スラウェシを合わせた地域を指し、別な箇所 で用いられている 'extended Australia' に 同 じ と 思 わ れ る。

新第三紀～現世におけるオーストラリアの反時計回りの回転 - これは南側リソスフェアの慣性フレームの中で生じた動きであるが - により、それに伴うインド洋の北東部を横断する南東方向の造構性の引っ張り - それは南側のリソスフェアに影響を及ぼした穏やかな赤道方向の捻れを付加した - が、スマトラ - ジャワ大陸性地殻の下に想定されるアンダースラストを弱めたであろう。しかしながら、西インドネシア弧に沿って弱まったそのような圧縮効果は、当時のユーラシアの時計回りの捻れによって、少なくとも部分的に相殺されたことが推測される。しかし、スマトラのベニオフ帯が中新世～現世の赤道に対して斜めの方位をとったために、スマトラ断層帯に沿って時間とともに変化する応力環境が発生したと思われる。例えば、スマトラ北部沖のニアス (Nias) 地域では、Samuel and Harbury (1996) が、その後の鮮新世の小規模な短縮によって変形されたハーフグラベンを伴う中新世の伸長性小海盆を記載した。右横ずれのスマトラ断層に沿った動きの程度に関しては、滑り速度が南東から北西へ増加する (Hutchison, 1996 参照) ということが広く受

け入れられているように見えるが、種々の提案がなされてきた (例えば, Curray et al., 1979; Karig et al., 1980; Diament et al., 1992; McCaffrey, 1992)。それにも拘らず、歪レジーム内にある島に沿った変化とは無関係に、スマトラの火山活動の大部分は時代的には中新世からであり、さらに、スマトラの走向移動断層は中新世の間にその活動を再開した (McCourt et al., 1996; McCarthy and Elders, 1997)。

トンガ - フィジー地域 - 捻れ造構フロント

周辺を含めたオーストラリアに想定された反時計回りの捻れの時期は、それが関連した造構フロントに刻み込まれた地質過程によって最も明白にされる。上で議論したように、バンダ地域とそれに接するアジアの南東端部分の岩石の記録は、オーストラリアとアジアの造構的衝突が、最初、中新世中期と鮮新 - 更新世の間であったと特定する (Hutchison, 1996)。この捻れ回転の年代に関するさらなる証拠は、大規模な横ずれ引張フロントとして際立っているトンガ - フィジー地域 (メラネシアの外側) に見出される。この地域は、明らかに世界で最も捻れたベニオフ帯の分節の1つである。トンガ海溝は実際、地球上でマンタルの地震活動が最も活発な帯として知られている (Oliver and Isacks, 1967)。アルプス期の主要なイベントが終わった後 (図 10 参照) - この時期は始新世～漸新世の境界付近での真の極移動の主要フェーズに当たる - , メラネシアの外側における漸新世の火山活動は微々たるものであった。しかしながら、中新世中期までに、ビチレブ (Viti Leve) で地域的な火山活動が復活し、一連の深成岩類が定置した (例えば, Whelan et al., 1985; Taylor et al., 2000)。

トンガ - フィジー地域は著しい地形的造構的複雑性を示しており、活動的な海嶺・海盆と不活発なそれがモザイク状に配列している (例えば, Lagabrielle et al., 1997; Ruellan et al., 1996)。南西太平洋の断片化した海溝 / 弧システムの本質を説明するという難問を突きつけられて、フィジー海台の造構性回転の歴史を明らかにしようと多くの古地磁気学的研究と同位体年代研究が行われてきた。これら多くの研究は、中新世後期～鮮新世の種々の程度の反時計回りの回転という結論に達したが、Inokuchi et al. (1992) はさらに複雑な回転史、すなわち、漸新世における 45° の時計回りの回転の後、中新世中期末 (11 m. y. 前) 以降 75° の反時計まわりの回転があったと示唆した。ごく最近の古地磁気学的研究で新第三紀後期の回転の時期と大きさという問題に焦点を当てて、Taylor et al. (2000) はフィジー海台の主部は 10m. y. 前かそれ以前に最大 135 ± 17.5° までの反時計回りの回転をし、それは約 3 m. y. 前に突然終了した地域的な造構性の流動であると結論づけた。一般的に、古

地磁気学的及び放射分析学的研究は、トンガ地域が複雑な造構フロントであるという考えで一致する。

図 13 に示されているように、メラネシア外側地域の断片化し変形した造構フロントは、ケルマデック・トンガ海溝が陸側に傾斜したベニオフ面を有し、他方、ニューヘブリデスに伴う断層面は逆方向の海側に傾斜している。さらに、V字型のラウ (Lau)・南フィジー (South Fiji)・北フィジー (North Fiji) の海盆はすべて北に開いた扇型の形状を示している。これらの地形は、オーストラリア-南西太平洋ブロックの新第三紀後期における大規模な反時計回りの回転が作り出した造構レジーム内の ' 分裂した ' 地形と見ることができる。事実、Hamburger and Isacks (1988) は、トンガ-ニューヘブリデス地域の地震テクトニクスを、拡散し剪断が優勢な変形システムと解釈した。ラロトンガ (Rarotonga)、西サモア (W. Samoa)、ニウ (Niue) の GPS 観測点がある隣接する太平洋に対するトンガ海嶺上の観測点での GPS による地殻速度の見積 (Bevis et al., 1995) は、ラウ海盆が当初横ずれ引張の分裂をしたというここで主張された考えを支持する (図 14)。さらに、ラウ海盆中央部の N-S 走向のリフトの分節が西に累進する雁行状のオフセットを示すという事実 (例えば、Parson et al., 1992) は、周辺を含めたオーストラリアのブロックが反時計回りに回転することによって作り出された引張性レジームに調和する。組成が極めて多様な火山活動、火山岩中に胚胎する塊状の硫化物鉱床の存在、多金属熱水活動が多く、南西太平洋縁辺海盆を特徴づけている (Fouquet et al., 1991; Binns and Scott, 1993)。これらの観察は、現在も回転し、その西縁に沿って横ずれ引張性の剪断レジームを作り出し、地球深部の脱ガスから金属及び他の成分を運搬しているマンテル流体の湧昇を促進しているオーストラリア/南西太平洋ブロックというモデルとよく適合する。

図 14 は、東側をトンガ海嶺、西側をラウ海嶺に接する V 字型のラウ海盆を、GPS が決定した速度 (隣接する太平洋に対するトンガ海嶺観測点の値) とともに示している。観測された地殻速度が ESE 方向を指し北ほど大きいという事実は、トンガ海嶺とラウ海盆が横ずれ引張性の分裂によってできたというモデルを支持し、オーストラリア/南西太平洋ブロックの反時計回りの回転がまだ続いているということを暗示している。ラウ海嶺の北部が目立って西にスウィングしているということは古地磁気学的証拠によって支持される。

オーストラリア/ニューギニアと東南アジアの間の新第三紀における造構的衝突

上の議論で、オーストラレーシア結合に影響を及ぼした新第三紀の地球力学的パルス、第三紀～現世の地球規模の慣性を原動力にした捻れイベントに直

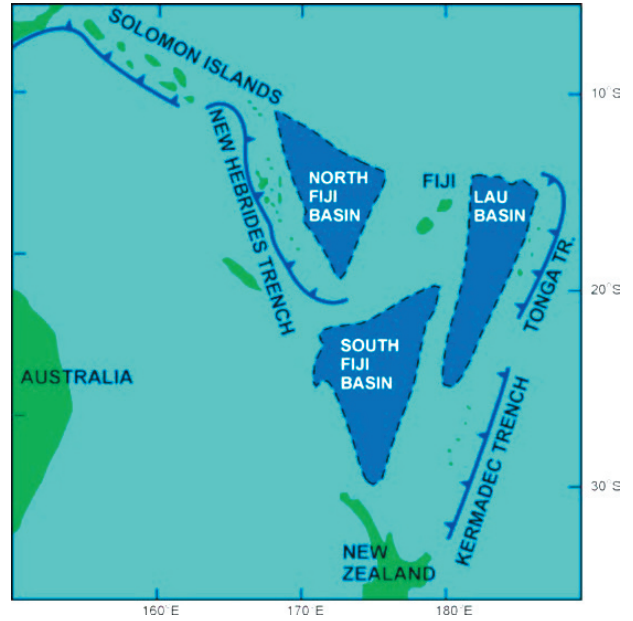


図 13 略図はメラネシア外側のトンガ地域における捻れて断片化した海溝-弧システムと主要な堆積盆地を示す。ケルマデック海溝とトンガ海溝は陸側に傾斜したベニオフ面を伴っている。他方、対応するニューヘブリデスの深発地震帯は南への傾斜を示す。小規模な造構条件によると、オーストラリア-南西太平洋大陸ブロックの新第三紀～現世における反時計回りの回転 (プレートテクトニクスの過大な簡略化はプレートとマイクロプレートの地域的な多様性という前提を押し付けた) は、観察される造構地形的複雑性-リフト性盆地の扇状に開いた (北方に面を向けた) 形を含む - を招いたと考えられる。

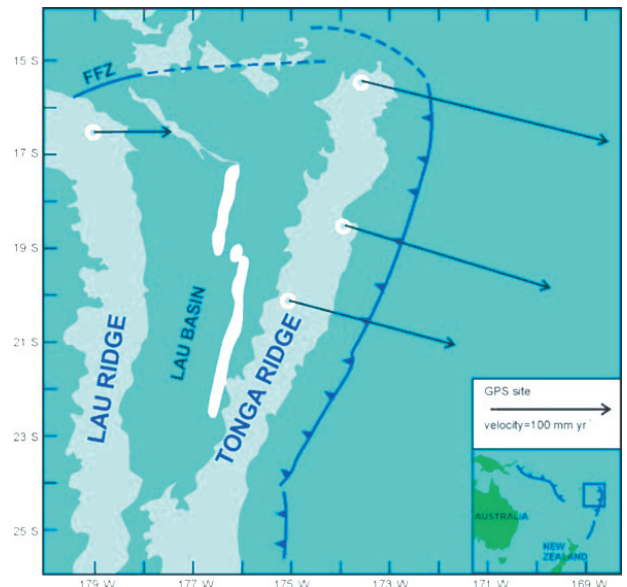


図 14 略図はトンガ海嶺上の観測点に対する GPS の水平方向の速度を示す。北に扇状に開いたラウ海盆は中央部に西向きで北へ伸びるオフセットを伴う雁行状リフトシステムを有する。トンガ海嶺上で GPS の速度が北方に増大しているこのリフトシステムは、オーストラリア-南西太平洋ブロックの新第三紀～現世の反時計回りの回転によって引き起こされたトンガ海嶺/ラウ海盆の分裂というモデルと調和的である。ラウ海嶺もまたその延長の大部分にわたって北方へと増大する西向きのスウィングを示し、これはフィジー海台 (内挿された図を参照) に向かって鋭く曲がっている。FFZ はフィジー断裂帯を示す。図は Bevis et al. (1995) を単純化したもの。

接関連づけることができるということが理解されてきた。この過程で両半球のリソスフェアの外殻は、それらの一般的ではあるが全体に控えめな赤道に向う移動に加えて、慣性による造構的な捻れと相対的な回転を被ってきた。白亜紀後期～漸新世初期の間、古南半球の反時計回りの捻れは「犬の足」の形をした大規模なケルマデック・トンガ・ニューヘブリデスの海嶺/海溝システムを作り出しただけでなく、明らかにインドネシア弧の造構的再活性化といくらかの湾曲の原因にもなった。しかしながら、約 70° と推測されるオーストラリア/南西太平洋ブロックの反時計回りの回転に伴って東南アジアの現在の造構的複雑性が成立したのは新第三紀になってからであった。この過程で東インドネシアのベニオフ帯は捻れてスプーンのような構造になり - 例えば Widiyantoro et al. (2011) による地震トモグラフィデータを見よ -, メラネシア外側の造構的複雑さが現在の形を得た。造構境界のアジア側では鋭く限定された生物学的境界であるウォーレス線を確定し、オーストラリア/ニューギニアブロックの全体的な横ずれ圧縮応力が自然と北西に方向づけられた。これは図 15 に示された地域的な GPS 速度パターンによる結論である。パプアニューギニアの西部高原では複合貫入岩体と鉍化作用の年代は中新世中～後期の間に集中する (Mason and Heaslip, 1980)。

構造的及び力学的証拠の組み合わせは、最大変形帯がカロリン海と西フィリピン海の大部分だけでなく、バンダ海・セレベス海・スールー海・北ボルネオ（以下も参照）・フィリピンを含む NW 方向で幅が 800–1000 km の広い地帯を構成しているという見方に調和する。南シナ海の東海岸 - 北西ボルネオ・パラワン・ルソンの沖 - に沿った NW 方向の造構圧力は明らかに覆瓦状スラスト帯で終わっている。この見方と一致して、フィリピン北部の GPS の水平方向速度場はスダラランドに対して再び WNW 方向のベクトルを示している (Galgana et al., 2007)。ニューギニアから北ボルネオ - パラワン - ルソンの造構フロントまでの著しく歪められた地殻の分節は、複雑な小規模の造構過程を最も作り出しやすかったであろう。それは、深い円形/楕円形/細長い形の海盆の形成を伴う帯内の横ずれ引張条件ばかりでなく、湾曲した圧縮帯や火山活動を含むものであった。

セレベス海の深海掘削 (Rangin et al., 1990; Silver and Rangin, 1991) は、コアの下部セクションで極めて遅い堆積速度 (2 m/m.y.) を、その後の中新世後期～鮮新世の間は著しく速い堆積速度 (30–100 m/m.y.) を示した。下部セクションが深海粘土岩からなるのに対し、上部セクションは石英タービダイト、半遠洋性泥岩及び炭酸塩タービダイトの混合物からなっていた。セレベス海盆への大陸起源物質の流入は隣接する地域が一定程度の隆起

を被ったことを示している。同じ中新世中～後期の石英に富むタービダイトの開始はスールー海盆の深海部についても記載されている (Nichols et al., 1990)。後者の堆積物に関して、Hutchison (1996) は最もふさわしい供給源は当時隆起が進行していたと推定される北ボルネオのみであると述べた。

似たような堆積速度 (4 m/m.y.) は西フィリピン海盆における DSDP site 291 でも観察された (Karig et al., 1975; Silver and Rangin, 1991)。このように、中新世中～後期より前は、セレベス海・スールー海・西フィリピン海では極めてゆっくりした泥の堆積が優勢で、陸源性の珪質碎屑性もしくは火山起源地域からの流入はほとんどなかった。言い換えると、これらの縁海の発達初期にはそれらのまわりの地域の地形は基本的には浅い水域であったように思われる。大陸性の結晶質岩類から洗い出された碎屑物は中新世中期にタービダイトとして導入され、それは、オーストラリア/南西太平洋ブロックの大規模な反時計回りの回転が極大になったと推定される 1,000 万年ほど前にピークに達した (Rangin et al., 1991; Silver and Rangin, 1991)。この地域的な造構性の隆起では、太平洋の縁海は横ずれ引張の分節の内部で形成されたように思われる。さらに、このごく最近の地質時代の強く変形した地殻帯は、ジオイドに明瞭な印を残したに違いない。こうして、周辺を含めたオーストラリアの回転は疑いなく下位のアセノスフェアにおけるかなりの静水圧の増大を招き、そこから浮力のある上部マントル物質が地表の火山活動だけでなく地域全体の高ジオイド異常^{*5}を引き起こしたであろう。

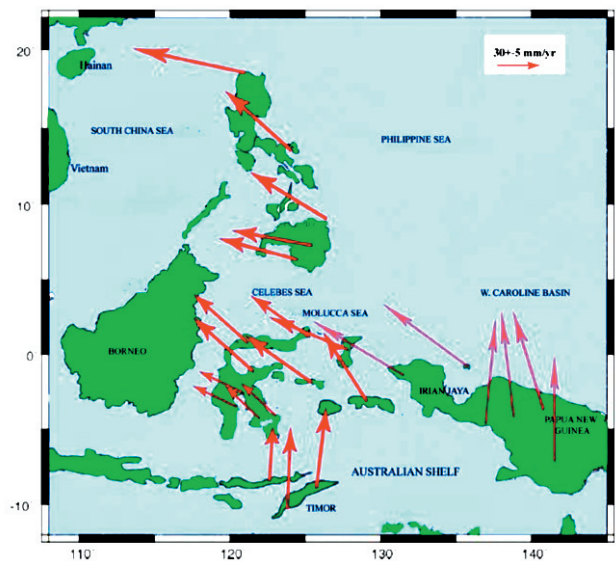


図 15 図はバンダ海－セレベス海－スールー海地域の観測点のスダラランド（大陸性東南アジア）に対する GPS の速度（明るい赤色）を示している。Rangin et al. (1999) を簡略化。ニューギニア西部の GPS ベクトル（ピンク色）は Puntodewo et al. (1994) による。

- ＊ 5 ジオイド異常 (geoid anomaly) : 重力異常を表現する一形式. 高密度層が低密度層の上にあるときはジオイド異常が高くなり, リソスフェアが薄くなっている地域ではジオイド異常が低くなる. (地球の物理学事典)

地域的な構造的リニアメントとそれらのレンチテクトニクスとしての意味

図 16 に示されているように, オーストラレーシアの異常に高いジオイドは, 中新世中期～現世の比較的幅広い地域的造構帯を十分にカバーし, 南東のケルマデック - トンガ弧 / 海溝から北西のフィリピン西部と北ボルネオに沿った造構フロントにまで及んでいる. 脱ガス地球モデルでは, 同時代のオーストラレーシアの高ジオイドは, 横ずれ圧縮 - 横ずれ引張レジーム内での結果としての地殻 / リソスフェア変換過程の初期段階とみなすことができる. ジオイド異常の基礎となっている重力観測の結果は, 地下に何ら特別の密度分布がないことを示している. しかしながら, 地殻の変換が地殻下層のエクロジャイト化とそれに伴う重力による上部マントルへの消失という形で (オーストラレーシアよりも) 顕著に進むことにより, 初期の高ジオイドは容易に低ジオ

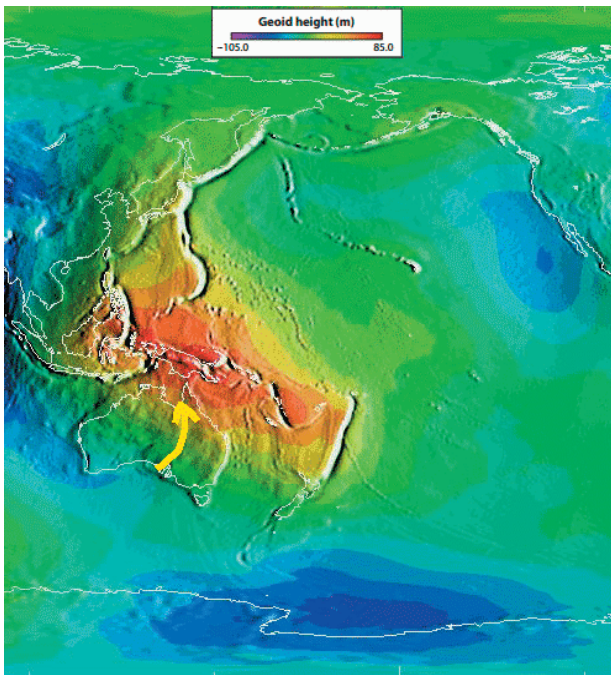


図 16 この図は NIMA/GSFC WGS-84 EGM96 の全地球を対象としたジオイドマップの一部を切り取りメルカトル投影したもの. 本文で議論された新第三紀～現世のオーストラリア - 南西太平洋大陸の反時計回りの回転が黄色の矢印で示されている. ジオイドの高い部分がケルマデック / フィジー地域と南シナ海の南東縁の間の強く造構化された帯と極めてよく対応することに注目. ジオイドが高い部分は全体的な横ずれ圧縮レジームを示す一方, オーストラリアの希な動きは全体的な横ずれ引張条件を引き起こした. その結果, 負の重力 / ジオイドで表現される地殻下層のデラミネーションとそれに伴う沈降が進んだ.

イドに変わるに違いない (例えば, Storetvedt, 2010b). このことは現在のケースによく示されている. オーストラリアの動きの背後で北東インド洋はワルトン海盆の低重力をもたらした横ずれ引張条件を経験し, 他方, その動きのフロント側ではケルマデック地域からニューギニアを経てボルネオ地域に至る NW-SE 方向の伸び - Choi (2007) によってボルネオ - バヌアツ複背斜 (Borneo-Vanuatu Geanticline) と名付けられた - がかなり幅広く高重力と高ジオイドで特徴づけられている. Choi (2007) は, この特徴が 300 km の深さにある地震不連続 (Williams and Revenaugh, 2005 及びその中の参考文献を参照) と密接な配列をしていることに注目した.

Williams and Revenaugh (2005) はこの十分確証された上部マントルの地域的不連続がエクロジャイト質の物質の存在によって生じている可能性を示唆した. これは脱ガス地球 / レンチテクトニクスの考え (Storetvedt, 2003) では地殻の '大洋化' の比較的初期段階に相当する. Williams and Revenaugh (2005, 彼らの図 1) によって示されているように, SE-NW 方向に走る地震帯の不連続は, アジアの太平洋縁辺に沿って北方へ続き, フィリピン周辺ではほぼ垂直に近い鋭い断絶になる. 上部マントル速度パターンにおけるこの明瞭な断絶は, ここで提示されたオーストラレーシア造構モデルに都合のよいもう 1 つの証拠である. もし著者らが白亜紀後期～新第三紀の反時計回りの動きのフェーズをなくせば, 南西太平洋の異常で複雑な膝の形をした構造は消滅する. そして, 先アルプス変動の古地理を復元した後, 北西太平洋と南東太平洋のベニオフ帯の分節は全体的に緩く湾曲した構造帯の中に整列し, 初生的な太平洋を取り巻く仮想的な大円の西の部分を形成する.

レンチテクトニクスシステムでは, 古い汎地球的な直交断裂及び断層のネットワークが中生代後期以降, とくに目立って再活性化されたと考える. この造構の復活過程では, 地殻内部の変形と海盆の発達とともに生じた. Davidson (1980) による南東オーストラリアにおける断層で規制された盆地の研究は, レンチテクトニクスの予測と一致する. 地殻の表層地形が直交する断層系により強く規制されているということは十分確証された事実であるように見える (Storetvedt, 2003 の Chapter 7 参照). このようにして, 現代の大陸縁辺は, 明らかに地殻を切る直線状の構造的断絶に沿って作用する地殻下層のエクロジャイト化とそれに伴うデラミネーションという過程を通して発達した (以下参照). 基底から上方へ向かう地殻薄化の速度は, (すべての時代に) 大陸地殻の断層発達の程度に応じたものであったろう. ここであまり断層化していない大洋化から取り残された地殻とみなされる比較的深い竜骨状の

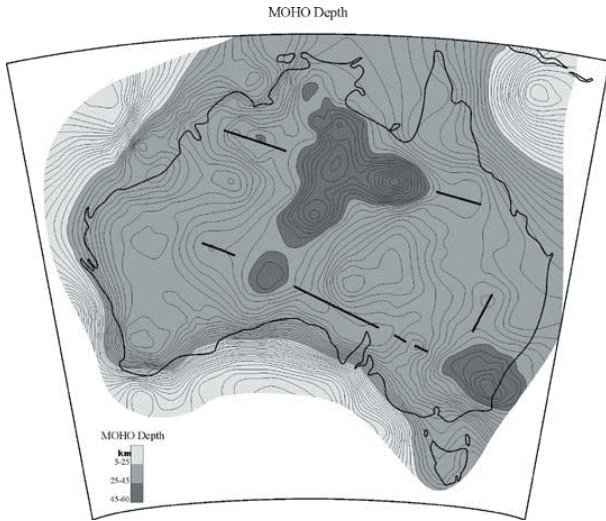


図 17 Goncharov (2001) を簡略化した．オーストラリアのモホ面深度の違い*．深いモホ面の'根'が，図 18 に示された地表の直線状の節理の方向と対応した方向の軸をもつ直交パターンを形成しているように見えることに注目．

* モホ面深度の凡例が小さくて読みにくい，明灰色：5-25 km，灰色：25-45km，暗灰色：45-60 km の 3 段階に区分されている．

根 (keel-like root) をもつ現代の非震性海嶺では，全く同様に，深い大陸性地殻の厚さの細かな変化が，似たような竜骨状底部構造を示すはずである．この予測は，深い地殻の竜骨が存在するオーストラリアのクラトンによって明瞭に示される．(Goleby et al., 1998; Goncharov, 2001)．図 17 は Goncharov (2001) によってまとめられた屈折法地震探査とレシーバー関数解析*⁶ にもとづくオーストラリアのモホ面深度変化を示している．データは逆さになった'山脈'の輪郭を描く深いモホの'根'が直交配列して存在することを示唆している．モホの骨組みは NNE-SSW 及び WNW-ESE に伸びた顕著な軸を持っていて，興味深いことに，これらの深部に位置するリニアメントは大陸を横断する普遍的な地表の節理の方向と調和的である (図 18)．

* 6 レシーバー関数解析 (receiver function analysis) : 速度コントラストが大きい速度境界面で発生する P 波と P-S 変換波の走時差から，観測点直下の速度構造を推定する方法．

図 17 と 18 を比較することにより地域的なモホ面の地形と微細規模の表層節理の間で方向がよく似ていることが極めて明瞭に分かる．これは共役で垂直に近いほぼ直交する断裂系がすべての地球型惑星の比較的厚い表層を特徴づけているという見方 (Storetvedt, 2003) を支持する．この見方と調和して，Goncharov (2001) は南部オーストラリアのイサ山 (Mount Isa) トランゼクトに沿った深くて密度 (速度) の大きな竜骨が平均的なモホ面深度の下に少なくとも 10 km は伸びている傾向があることを見出した．Goncharov (2001) によって議論され

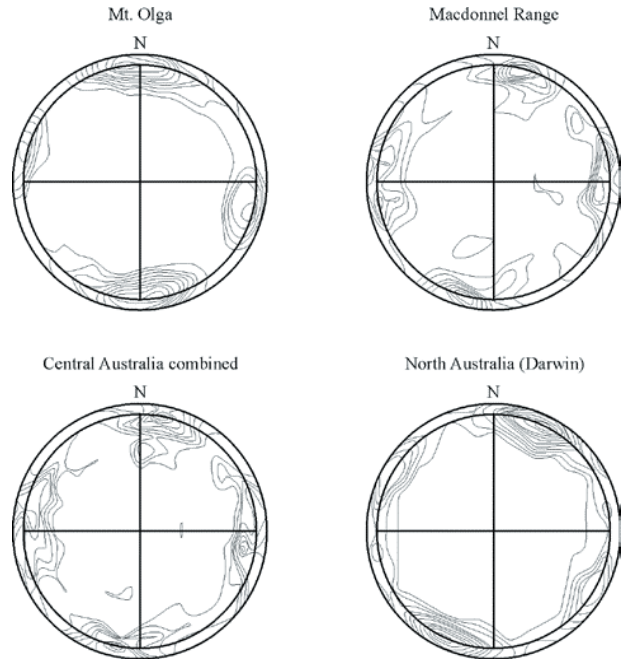


図 18 ランベルト投影した極密度図はオーストラリアの種々の地域における特徴的な垂直に近い地表の節理を示す．投影図の内円は下半球，外円はそれと 10° 重なった上半球を示す．走向がそれぞれ NNE-SSW と ESE-WNW の小規模な断裂の卓越方向と，図 17 に概略が示されているモホ面の'リニアメント'の方向の間の密接な対応に注目．節理のデータは Scheidegger (1980) から．

た断面の深度レンジ全体で地震波速度の'成層'状態が深くまで達しているということは，一見したところ，厚い低速の初生的な表層が不均質な地殻下層のエクロジャイト化とそれに伴う密度を要因とした薄化を被ってきた証拠とみなすことができるであろう．この解釈では，オーストラリアの下深い地殻竜骨の直交配列は，地殻下層のエクロジャイト化の過程がそれに沿ってさらに効果的になったもっと顕著な断裂系につながっている．

図 17 と 18 で示された造構軸は，オーストラリアの回転前 (先新第三紀) にはそれぞれほぼ N-S と E-W の走向を示していた直交系の輪郭をはっきりさせている．このように，オーストラリアが初生的な地理的方位に復元されると，白亜紀後期～第三紀の捻れ造構性回転を補正した後では，その基本的断裂系はもっと大きな大陸のそれと極めてよい一致を示す (Storetvedt, 2003 の図 7.5 を参照)．言い換えると，大陸がその先アルプス期の方位に復元されたとき，基本的断裂系は単純な地球規模の配列になる．深い北東インド洋海盆に接する垂直的で明らかに断層に規制された東経 90 度海嶺とブローケン海嶺は，白亜紀後期～新第三紀のリソスフェアの捻れによって少し影響されただけのように見えるが，それゆえ初生的な断裂ネットワークの'鋳型'を表わしている．

地球の様々な程度の回転とそれに伴うリソスフェアの捻れ変形というイベントにより，汎地球的な直交

断裂系は繰り返し再活性化され、それによってマントルから地表レベルへの金属複合体の上昇 - おそらくマントルの炭化水素の流れの中でいわゆる有機金属として運搬された (Gold, 1999) - を容易にした。この見方と調和して、O'Driscoll (1980) は、オーストラリアの造構性リニアメントに言及しながら、" このシステムにおける主要な線状地形は大規模な鉱床と種々の時代の盆地パターンに関連して見出される " と結論づけた。地下のデータとの相関は、線状地形が断層と剪断帯のような不連続によって特徴づけられた地殻の擾乱・薄化帯であることを示唆している。

造構性大構造の議論で、O'Driscoll (1980) は、WNW, NNW, NNE 及び ENE という走向方向をもった地球の広がりを持つ 4 つのリニアメントの集団が存在することを示唆した。しかし、上で議論したように、オーストラリアでは NNE と WNW の断裂系だけが明瞭に存在し、他の大陸に関しても特徴的な地形になると思われる直交断裂ネットワークを形成している (先アルプス期の古地理では Storetvedt 2003 を参照)。

しかしながら、O'Driscoll (1980) は彼の研究の基礎を、膨張する地球上での大洋底の拡大を仮定した Carey (1958/1976) のモデルに置いた。しかし、海底拡大と地球膨張という 2 つの仮説は地表の事実の観察に基礎を置いていない。このように O'Driscoll は彼のグローバルテクトニクスを (大陸の) 事実と (大洋の) 理論先行の作り物を混ぜ合わせたものの上に組み立てており、それが彼のグローバルテクトニクスの循環システムを今少し筋の通らない空論にしている。

ボルネオの新第三紀の造構変形

西をボルネオと接するマカッサル海峡地域では、造構圧力が深部断層の走向移動性再活動、オフィオライトの定置 (造構力によって地表にもたらされた上部マントル物質の固体状態での貫入を含む)、及び火山活動のきっかけになった (Hutchison 1996 参照)。しかし、造構力が最も顕著に現れたのは北スラウェシ沖である。ここセレベス海盆の南縁では、ほぼ東西に走る海溝が発達し、その海成堆積物が変形されている。このスラウェシブロックの圧縮性押し被せはすべての不明確な深部の造構性変位を作り出した。造構フロント内の大部分の地震性イベントは地殻レベルに限定されるが、いくつかの地震は 200-300 km の深度で発生している (Cardwell et al., 1980)。スラウェシの想定された北西方向の造構圧力の影響はマカッサル地域における左横ずれ剪断作用であろう (図 19 参照)。事実、北スラウェシ海溝システムの西側境界断層はパル (Palu) 断層であり、それは震源メカニズムの研究から左横ずれの走向移動の動きと解釈されてきた (Hamilton 1979)。

北ボルネオ沖では基盤が NE-SW 走向の ' ベーザン & リッジ ' 地形を示し、Wood (1985) はこれをサバ断層 (Sabah Fault) 上での剪断作用に帰した。彼の解釈は北西サバとパラワンの構造フロントの明らかな非整列を示唆している (図 19 参照)、おそらくパラワンウェッジ (島そのものを含む) の相対的な北西への移動を暗示する。同じ文脈で、Hinz and Schlüter (1985) は、パラワン南部沖の覆瓦した無秩序な堆積性ウェッジは漸新世～中新世前期の炭酸塩プラットフォームに南東から乗り上げた異地性の地塊である、すなわち、ハーフグラバーベンの充填物を伴う現地性の大陸性基盤の上に不整合で重なっていると主張した。南パラワンの異地性テレーンのオフィオライトは、北サバのラジャン複合体 (Rajang Complex) と同時代の上部白亜系～下部第三系に属し、おそらく元の北サバの配列から分離され、前期中新世の後半以降に北西へ (すなわち現在の位置に) 衝上したものであろう (Storetvedt et al., 2003 参照)。Hinz and Schlüter (1985) の解釈に従うと、パラワンのウェッジ / 造構フロントは中新世中～後期に形成されたと考えられる。

Hinz et al. (1989) は北西ボルネオの縁辺に沿って多くの覆瓦したスラストシートが 190 km にもわたって追跡できることを見出した。個々のシートの厚さは 3-15 km と様々で、覆瓦ウェッジが複雑性を増しているところでは明らかな圧縮性褶曲帯となり、北西方向に薄くなる。Hinz et al. (1989) は、さらに、北西サバ沖では最大の歪帯がパラワンに向かって北東方向へ 350 km 前後も伸びていることを示唆した。サバの残りの部分の造構変形に関しては、北西サバの最南端の造構層序区であるバラム (Baram) デルタの構造中に興味深い情報を読み取ることができる。この地区の末端部分は明らかに北西サバトラフ (Sabah Trough) の南東境界を示すスラストフロントの一部を形成している。バラムデルタの中央部分は海側に面を向けた多数の大きなグロース断層*7 からなり、曲線状の大規模な延長断層は、北東では、明らかに全体として NNE-SSW 方向の剪断地形である曲線状の大規模な別の断層セット (Hazebroek and Tan 1993; Hutchison 1996 参照) に接合している (図 19)。

*7 グロース断層 (growth fault): 地層の堆積と同時に形成される断層。成長断層、堆積時断層ともいう。堆積中に断層を挟んだどちらかのブロックが下降すると、断層の両側で同一層準とされる地層でも、下降した側のブロック上の地層の方が厚くなる (地学事典)。この点で一般に断層の両側で地層の厚さに違いがない堆積後に形成された断層と区別がつく。

これらの観察事実をサバの想定された反時計回り

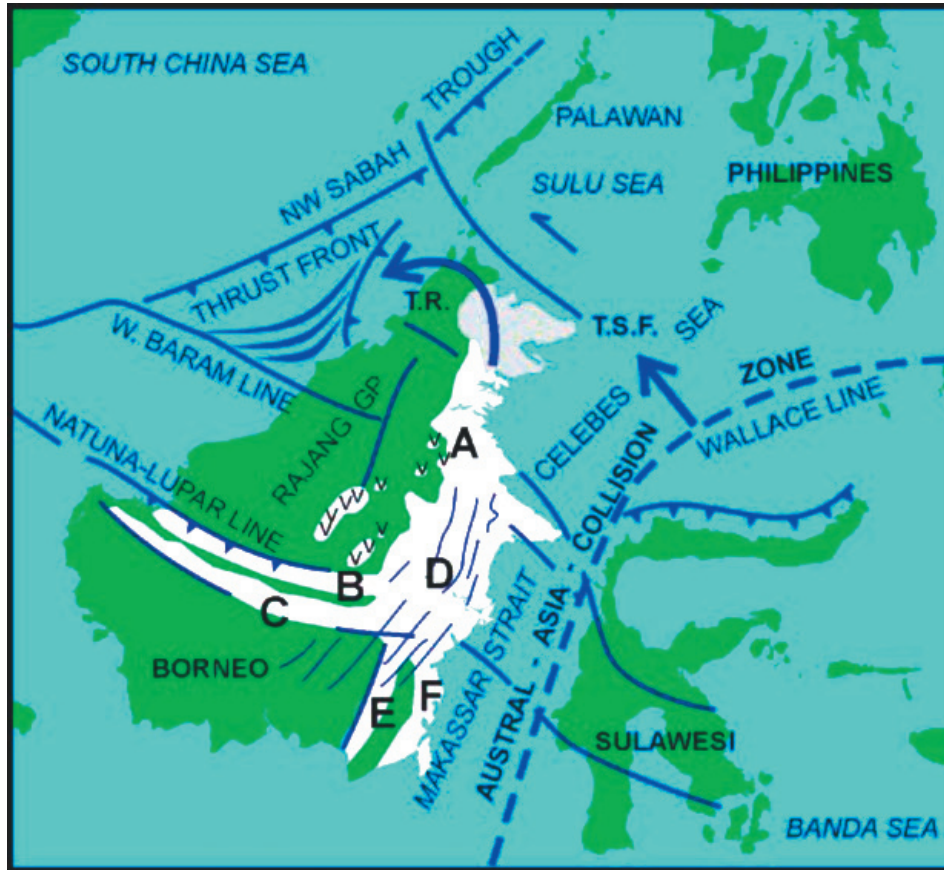


図 19 図はボルネオの新第三紀の造構フレームの概略を示す。東南アジアに対する周辺を含めたオーストラリアの造構的衝突が造構応力場 (TSF) を作り出し、顕著な北西方向の横ずれ圧縮効果を及ぼした。それはサバ (マレーシア領インドネシアの北部) の反時計回りの回転による覆瓦構造を含むものである。この比較的穏やかな造構性回転 (T.R.) の構造的な影響は、クタイ盆地 (D) 地域を特徴づけている造構軸の慣性による反時計回りの変形、ボルネオ東部周辺の北向きの曲がり (その延長はナツナールーパール線とその他の島を横断する剪断帯になっている)、内部的に捻れたサバブロックの後ろ側に現れている横ずれ引張条件が明らかな引き金になった NE 方向に連なる酸性から塩基性までの火山活動など、ボルネオの広い地域にわたって見ることができる。第三紀の堆積盆地 (明灰色) は Moss et al. (1997) による。A: タラカン (Tarakan) 盆地, B: ケトゥンガ・マンダイ (Ketungau-Mandai) 盆地, C: マラウィ (Malawi) 盆地, D: クタイ (Kutai) 盆地, E: バリト (Barito) 盆地, F: パシール / アセム (Pasir/Asem) 盆地。サバ盆地は暗灰色の影をつけてある。

の捻れに関連づけるのは理にかなっていると思われる。ボルネオの北西端ではラジャン層群の方向 (図 19 参照) が WNW-ESE のスルー方向に鋭く変化し、この構造的な犬の足形の西のテクトニクスは北西サバの大陸縁辺の残りの部分よりもっと複雑である (Hazebroek and Tan, 1993; Tongkul, 1993; Hutchison, 1996 参照)。このように、オーストラリアと東南アジアの横ずれ圧縮的な衝突によって生み出された東南アジア島嶼地域北東部の新第三紀における造構変形は南シナ海の北東縁辺に大きな影響を及ぼした。しかし、SCS の主部では北半球のリソスフェアの捻れ運動によって生み出された NE-SW 方向の造構的な木目が卓越している (Storetvedt, 2003; Storetvedt et al., 2003)。このように、SCS 地域には断層で規制された大部分は狭い NE-SW 及び NW-SE 走向の大陸性海盆が多数発達し (図 5 参照)、それらは地塁と傾斜した基盤ブロック (後にハーフグラベンになる) の複雑なシステムを含んでいる。弧状で長さが 1000 km 以上の西ボルネオのラジャン盆地 (図 19 参照) はおそらくこのようにして白亜紀

後期～中新世中期に形成されたのであろう。

中新世初期までに、深い断層で規制され薄化した地殻を基底に持ったラジャン盆地は機械的に脆弱な地帯となったに違いない。そして、中新世中期から NW 方向の造構力がサバと北ボルネオに影響を及ぼしたとき、地殻のラジャン部分とその上位の堆積体は再活性化された。このようにして、北部に対する北西方向の造構圧力は、ラジャンの一連のタービダイトと半遠洋性堆積物を顕著な造構フロントをもつ構造的なウェッジに変えたと考えられる。これが正しければ、北ボルネオの西向き捻れは構造的な変形とマグマ活動を伴う地域的な伸張地形となっははっきり現れたに違いない。カリマンタン (インドネシア領ボルネオ) の北部と中央部はそのような造構マグマ性の証拠を見つけるには格好の地域であろう。中央カリマンタンの深いクタイ (Kutai) 盆地を仕切る明瞭な断層帯は存在しない (Moss et al., 1997) が、大規模なケタング (Ketungau) / マンダイ (Mandai) 盆地の東方延長であると考えるのが

合理的であろう。これらの堆積中心は、白亜紀後期～第三紀前期に出現したが、ここではボルネオを横断する断裂帯に沿って地殻下層が薄化したことで生じたとみなされる。図 19 は、ボルネオ地域の一次オーダーの構造的概観とともに、カリマンタン盆地群の構成を模式的に示した図である。

上で論じたように、特徴的な東南アジアの断裂／断層帯システムは、走向方向が NE-SW と NW-SE の通常の直交パターンをなしている。しかし、カリマンタンではこの規則性から系統的にはずれている。第一に、断層で仕切られたボルネオ堆積帯自体の方向は NW-SE よりむしろ WNW-ESE である。第二に、クタイ盆地では、鮮新世のサマリンド (Samarinda) 複地背斜の延長地域で中新統中～上部の一連の厚い地層が曲線状の断層と褶曲からなる大規模なシステムで切られ、起源が謎とされている剪断性の木目を示している (Moss et al., 1997)。図 19 から分かるように、(ボルネオ) 南部の走向方向は広域的な (スンダランド / インドシナ / 中国) 走向方向の 1 つに対応する NE-SW である。しかしながら、さらに北では構造方向は徐々に NNE-SSW に変わる。言い換えると、褶曲と断層の方向は明らかに反時計回りに曲がっている。概して言えば、東南アジア北東部に沿って作用した新第三紀の造構力は、サバ / 北西ボルネオ沖の造構的形状に加えて、バンダ海・セレベス海・スルー海における強い造構的擾乱を作り出してきたのであるが、ボルネオ東部及び中央部の大部分にもまた、この島が一定程度構造的に曲がることでこうした変形過程の影響を受けた。

終わりにあたって

オーストラレーシアは、隣接する西太平洋の縁海とともに、疑いもなく地球上の造構的に最も複雑な地域の 1 つである。しかし、50 年以上にわたるプレートテクトニクスの空論の後、適正な解決と真の理解がこれまで以上に遠くなったように思えるようなスケールの小さい場当たりの提案が花開いた。最近数 10 年で多数の重要な新しい観察が蓄積されてきたが、大洋だけでなく大陸における多くの湾曲し捻れた地質構造から、剛体を基本としたプレートテクトニクスは信頼できる解を与えないということが明らかになってきた。見かけ上終わりのない複雑化となることも気かけずに、研究者は、プレートテクトニクスの思考が造構的現実から遠ざかる可能性があると分かりながら、そのジレンマから抜け出す一つの方法が地域的なひとまとまりのデータの大幅な改善であると思い続けている。しかし、大量の質の高いデータがすでに手元にあるという見方では、マッピング活動を続ければ信頼性のある地域的な造構的理解が飛躍的に進むとは思えない。それゆえ、オーストラレーシアの第三紀の発達を理解するために新しいタイプのグローバルテクトニクスシステムが明らかに必要とされていることを認めるべき時期に

きた。本論で著者らは、北東インド洋と西太平洋の縁海盆の研究からの重要なデータを含む一連の '一次オーダー' の構造的事実をとりまとめた。そうすることによって、著者らはオーストラレーシア地域に対する筋の通った造構発達の図式を確立することができたように思う。

謝辞 著者らは David Lindley の本論に関する細心で建設的なレビューに深く感謝する。素晴らしい図を作成してくれた Frank Cleveland (Bergen), Srinikumar Roy (UNIS) 及び Sarathprasanth V. S. (Trivandrum) に心より感謝する。

文 献

- Audley-Charles, M.G., 1981. Geological history of the region of Wallace's Line. In: Wallace's line and plate tectonics. Oxford, Clarendon Press, p. 24-35.
- Austrheim, H., 1998. Influence of fluid and deformation on metamorphism of the deep crust and consequences for the geodynamics of collision zones. In: Geodynamics and Geochemistry of Ultrahigh-Pressure Rocks, Dordrecht, Kluwer Academic, p. 297-323.
- Bapat, A. et al., 2013. Thermal seismo-electromagnetic signals appeared in late 2013 in NW Australia and their relation to cyclone. NCGT Journal, v. 1, no. 4, p. 34-45.
- Ben-Avraham, Z., Nur, A. and Cox, A., 1981. Continental Accretion: From Oceanic Plateaus to Allochthonous Terranes. Science, v. 213, p. 47-54.
- Bevis, M. et al., 1995. Geodetic observations of very rapid convergence and back-arc extension at the Tonga arc. Nature, v. 374, p. 249-251.
- Binns, R.A. and Scott, S.D., 1993. Actively forming polymetallic sulfide deposits associated with felsic volcanic rocks in the eastern Manus back-arc basin, Papua New Guinea. Econ. Geol., v. 88, p. 2226-2236.
- Braitenberg, C. et al., 2006. Basement structures from satellite-derived gravity field: South China Sea ridge. Jour. Geophys. Res., v. 111, doi: 10.1029/2005JB003938
- Briaies, A. et al., 1993. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: implications for the Tertiary tectonics of Southwest Asia. Jour. Geophys. Res., v. 98, p. 6299-6328.
- Bucher, W.H., 1921. The mechanical interpretation of joints. Jour. Geol., v. 29, p. 1-28.
- Bui, H. et al., 2011. Yinggehai (Red River) Strike-Slip Fault Zone Displacements and the Tectonic Evolution of the Yinggehai Basin, South China Sea – Insights from Numerical Simulations. Poster presentation at AAPG Convention, Houston (TX), April, 10-13, 2011.
- Bull, J.M. and Scrutton, R.A., 1992. Seismic reflection

- images of intraplate deformation, Central Indian Ocean. *Jour. Geol. Soc. London*, v. 149, p. 955-966.
- Cardwell, R.K. et al., 1980. The spatial distribution of earthquakes, focal mechanism solutions and subducted lithosphere in the Philippines and northeastern Indonesian islands. *AGU Geophysical Monograph*, No 23, p. 1-35.
- Carey, S.W., 1958. A tectonic approach to continental drift. *Symposium on Continental Drift*, Hobart, p. 177-355. Carey, S.W., 1976. *The Expanding Earth*. Amsterdam, Elsevier Publ. Company, 488p.
- Chamot-Rooke, N. et al., 1987. Magnetic anomalies in the Shikoku Basin: a new interpretation. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 83, p. 214-228.
- Choi, D.R., 1984. The Japan Basin – a tectonic trough. *Jour. Petrol. Geol.*, v. 7, p. 437-450.
- Choi, D.R., Vasil'yev and Bhat, M.I., 1992. Paleoland, crustal structure, and composition under the northwestern Pacific Ocean. In: *New Concepts in Global Tectonics*. Lubbock, Texas Tech University Press, p. 179-192.
- Choi, D.R., 2007. Borneo-Vanuatu Geanticline and the Tectonic Framework of Southeast Asia and the Indian Ocean. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 42, p. 18-25.
- Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1985. *Geodynamic map of the Circum-Pacific region, SW quadrant*. AAPG, Tulsa OK.
- 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. 293-317.
- Curray, J.R. et al., 1979. Tectonics of the Andaman Sea and Burma. *Am. Ass. Petrol. Geol. Mem.*, No. 29, p. 189-198.
- Curry, J.R. and Munasinghe, T., 1989. Timing of intraplate deformation, northeastern Indian Ocean. *Earth Planet. Sci. Letters*, v. 94, p. 71-77.
- Davidson, J.K., 1980. Rotational displacements in southeastern Australia and their influence on hydrocarbon occurrence. *Tectonophysics*, v. 63, p. 139-153.
- Deng, J. et al., 1998. Mantle plumes and lithospheric motion in east Asia. In: *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia*, Washington D.C., AGU Geodyn. Ser. No 27, p. 59-66.
- Diament, M. et al., 1992. Mentawai fault zone off Sumatra: a new key to the geodynamics of western Indonesia. *Geology*, v. 20, p. 259-262.
- Dickins, J.M., Choi D.R. and Yeates, A.N., 1992. Past distribution of oceans and continents. In: *New Concepts in Global Tectonics*. Lubbock, Texas Tech University Press, p. 193-202.
- Dongdong, D. et al., 2009. Tectonic Evolution and Dynamics of Deepwater Area of Pearl River Mouth Basin, Northern South China Sea. *J. Earth Sciences*, v. 1, p. 147-159.
- Dupré, B. and Allègre, C.J., 1983. Pb-Sr isotope variation in Indian Ocean basalts and mixing phenomena. *Nature*, v. 303, p. 142-146.
- Fouquet, Y. et al., 1991. Hydrothermal activity and metallogenesis in the Lau back-arc basin. *Nature*, v. 349, p. 778-781.
- Froidevaux, C.M., 1974. Geology of Misool Island (Irian Jaya). *Proc. Indonesian Petrol. Ass.*, (3rd Annual Convention, Jakarta, June 1974), p. 189-196.
- Galgana, G. et al., 2007. Analysis of crustal deformation in Luzon, Philippines using geodetic observations and earthquake focal mechanisms. *Tectonophysics*, v. 432, p. 63-87.
- Gold, T., 1999. *The Deep Hot Biosphere*. New York, Springer, 235p.
- Goleby B.R. et al., 1998. The Mount Isa Geodynamic Transect – Crustal Implications. In: *Structure and Evolution of the Australian continent – Geodynamics Monograph Series*. No. 26, p. 109-117.
- Goldstein, S.L., et al., 2008. Origin of a 'Southern Hemisphere' geochemical signature in the Arctic upper mantle. *Nature*, v. 453, p. 89-93.
- Goncharov, A.G., 2001. Crustal structure of continental Australia; intra-crustal seismic isostasy and crustal composition: a review. *Proc. Int. Workshop on Global Wrench Tectonics*, Oslo 9-11 May, 2001.
- Hall, R., 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: computer-based reconstructions, model and animations. *J. Asian Earth Science*, v. 20, p. 353-431.
- Hamburger, M.W. and Isacks, B.I., 1988. Diffuse back-arc deformation in the southwestern Pacific. *Nature*, v. 332, p. 599- 604.
- Hamilton, W.B., 1979. Tectonics of the Indonesian region. *US Geol. Surv. Prof. Paper* 1078, 345p.
- Hancock, P.L., 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. *Jour. Struct. Geol.*, v. 7, p. 437-458.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. and Vail, P.R., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, v. 235, p. 1156-1167.
- Hart, S.R., 1984. A large-scale isotopic anomaly in the Southern Hemisphere mantle. *Nature*, v. 309, p. 753-757.
- Hatherton, T. and Dickinson, W.R., 1969. The relationship between andesitic volcanisms and seismicity in Indonesia. *Jour. Geophys. Res.*, v. 74, p. 5301-5310.
- Hazebroek, H.P. and Tan, D.N.K., 1993. Tertiary tectonic evolution of the NW Sabah continental

- margin. *Bull. Geol. Soc. Malaysia*, v. 33, p. 195-210.
- Hegarty, K.A. and Weissel, J.K., 1988. Complexities in the development of the Caroline Plate region, western equatorial Pacific. In: *The Ocean Basins and Margins*, v. 7B, p. 277-301.
- Hinz, K. and Schlüter, H.U., 1985. Geology of the dangerous grounds, South China Sea, and the continental margin off Southwest Palawan: Results of SONNE cruises SO23 and SO27. *Energy*, v. 10, p. 297-315.
- Hinz, K. et al., 1989. Thrust Tectonics along the continental margin of Sabah, Northwest Borneo. *Geologische Rundschau*, v. 78, p. 705-730.
- Houseman, G. and England, P., 1993. Crustal thickening versus lateral expulsion in the Indian-Asian continental collision. *Jour. Geophys. Res.*, v. 98, p. 12233-12249.
- Hsu, S.-K. et al., 2004. New bathymetric and magnetic lineations identifications in the northernmost South China Sea and their tectonic implications. *Marine Geophysical Researches*, v. 25, p. 29-44.
- Huang, C. et al., 2005. Deep crustal structure of Baiyun Sag, northern South China Sea revealed from deep seismic reflection profile. *Chinese Science Bull.*, v. 50, p. 1131-1138.
- Huchon, P. et al., 1994. Indochina peninsula and the collision of India and Eurasia. *Geology*, v. 22, p. 27-30.
- Hutchison, C.S., 1996. Geological Evolution of South-East Asia. *Geol. Soc. Malaysia, Kuala Lumpur*, 368 p.
- Huxley, T.H., 1868. On the classification and distribution of the Alectoromorphae and Heteromorphae. *Proc. of the Zool. Soc. London*, v. 1868, p. 294-319.
- Ingram, G.M. et al., 2004. Deepwater North West Borneo: hydrocarbon accumulation in an active fold and thrust belt. *Marine and Petroleum Geology*, v. 21, p. 879-887.
- Inokuchi, H. et al., 1992. Clockwise and anticlockwise rotations of Viti Levi, Fiji, in relation to the tectonic development of the North and South Fiji basins. *Geophys. Jour. Int.*, v. 110, p. 225-237.
- Irving, E., 1964. Palaeomagnetism and its application to geological and geophysical problems. Wiley, New York, 399 p.
- Karig, D.E. et al., 1975. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, US Govt. Print. Off., Washington DC.
- Karig, D.E. et al., 1980. Structural framework of the forearc basin, NW Sumatra. *Jour. Geol. Soc. London*, v. 137, p. 77-91.
- Kundig, E., 1956. Geology and ophiolite problems of East Celebes. *Verhandelingen van het nederlandsch Geologisch-Mijnbouwkundig Genootschap*, v. 16, p. 210-235.
- Köppen, W. and Wegener, A., 1924. Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin, Gebrüder Bornträger, 255 p.
- Lacassin, R. et al., 1997. Tertiary diachronic extrusion and deformation of western Indochina: Structural and Ar-40/Ar-39 evidence from NW Thailand. *Jour. Geophys. Res.*, v. 102, p. 10013-10037.
- Lagabrielle, Y. et al., 1997. Multiple active spreading centres in the hot North Fiji Basin (Southwest Pacific): A possible model for Archaean seafloor dynamics? *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 149, p. 1-13.
- Lebedev, S. and Nolet, G., 2003. Upper mantle beneath Southeast Asia from S velocity tomography. *Jour. Geophys. Res.*, v. 108, NO. B1, 2048, doi: 10.1029/2000JB000073.
- Lee, G.H. et al., 1999. Crustal structure, volcanism, and opening mode of the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Tectonophysics*, v. 308, p. 503-525.
- Leech, M.L., 2001. Arrested orogenic development: eclogitization, delamination, and tectonic collapse. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 185, p. 149-159.
- Li, L. et al., 2013. The sedimentary, magmatic and tectonic evolution of the southwestern South China Sea revealed by seismic stratigraphic analysis. *Mar. Geophys. Res.* DOI 10.1007/s11001-013-9171-y.
- Mason, D.R. and Heaslip, J.E., 1980. Tectonic setting and origin of intrusive rocks and related porphyry copper deposits in the western highlands of Papua New Guinea. *Tectonophysics*, v. 63, p. 125-137.
- McAdoo, D.C. and Sandwell, D.T., 1995. Folding of oceanic lithosphere. *Jour. Geophys. Res.*, v. 90, p. 8563-8569.
- McCaffrey, R., 1992. Oblique plate convergence, slip vectors and forearc deformation. *Jour. Geophys. Res.*, v. 97, p. 8905-8915.
- McCarthy, A.J. and Elders, C.F., 1997. Cenozoic deformation in Sumatra: Oblique subduction and the development of Sumatran Fault System. *Geological Soc. Lond, Special Publication 126*, p. 355-363.
- McCourt, W.J. et al., 1996. Mesozoic and Cenozoic plutonic evolution of SE Asia: evidence from Sumatra, Indonesia. *Geological Soc. London, Special Publication 106*, p. 321-335.
- Meyzen, C.M. et al., 2005. New insights into the origin and distribution of the DUPAL isotopic anomaly in the Indian Ocean mantle from MORB of the Southwest Indian Ridge. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, v. 6, doi: 10.1029/2005GC000979
- Michel, G.W. et al., 2000. Crustal motion in E- and SE-Asia from GPS measurements. *Earth Planets Space*, v. 52, p. 713-720.
- Moss, S.J. et al., 1997. New observations on the sedimentary and tectonic evolution of the Tertiary Kutai Basin. In: *Petroleum Geology of Southeast Asia*. London, Geol Soc London, Spec. Publ., v. 126, p.

- 395-416.
- Mühlberger, W.R., 1961. Conjugate joint sets of small dihedral angle. *J. Geology*, v. 69, p. 211-218.
- Neprochnov, Y.P. et al., 1988. The structure and tectonics of the intraplate deformation area in the Indian Ocean. *Tectonophysics*, v. 156, p. 89-106.
- Nichols, G.J. et al., 1990. Depositional history of the Sulu Sea from ODP Sites 768, 769 and 771. *Geophys. Res. Lett.*, v. 17, p. 2065-2068.
- O'Driscoll, E.S.T., 1980. The Double Helix in Global Tectonics. *Tectonophysics*, v. 63, p. 397-417.
- Oliver, J. and Isacks, B.I., 1967. Deep earthquake zones, anomalous structures in the upper mantle, and the lithosphere. *Jour. Geophys. Res.*, v. 72, p. 4259-4275.
- Parson, L.M. et al, 1992. Initial Reports ODP Leg 135. College Station, TX: Ocean Drilling Program.
- Piper, J.D.A., 1988. Palaeomagnetic Database. Milton Keynes, Open University Press, 264 p.
- Puntodewo, S.S.O., et al., 1994. GPS measurements of crustal deformation within the Pacific-Australia plate boundary zone in Irian Jaya. *Tectonophysics*, v. 237, p. 141-153.
- QuanShu, Y. et al., 2008. Major element, trace element, and Sr, Nd and Pb isotope studies of Cenozoic basalts from the South China Sea. *Science in China, Series D: Earth Sciences*, v. 51, p. 550-566.
- Rangin, C. et al., 1990. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Leg 124, Initial Reports, College Station TX.
- Rangin, C. et al., 1999. Plate convergence measured by GPS across the Sundaland/Philippine Sea plate deformed boundary: the Philippines and eastern Indonesia. *Geophys. Jour. Int.*, v. 139, p. 296-316.
- Regelous, M. et al., 2009. Shallow origin for South Atlantic Dupal Anomaly from lower continental crust: Geochemical evidence from the Mid-Atlantic Ridge at 26 °S. *Lithos*, v. 112, p. 57-72.
- Ru, K. and Pigott, J.D., 1986. Episodic rifting and subsidence in the South China Sea. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, v. 70, p. 1136-1155.
- Ruellan, E. et al., 1996. Study yields surprises about seafloor spreading in back arc basins. *EOS: Trans. Am. Geophys. Un.*, v. 77, p. 365, 368-369.
- Samuel, A. and Harbury, N.A., 1996. The Mentawai Fault zone and deformation of the Sumatran Forearc in the Nias Area. *Geol. Soc. London Special Publication*, v. 106, p. 337-351.
- Scheidegger, A.E., 1980. Joint orientation measurements in Australia. *Geol. Applicata e Idrogeologia (Bari)*, v. 15, p. 121-146.
- Scheidegger, A.E., 1982. Principles of Geodynamics. Springer-Verlag, Berlin, 3rd ed, 395p.
- Segall, P. and Pollard, D.D., 1983. Joint formation in granite rock of Sierra Nevada. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 94, p. 563-575.
- Shor, G.G, Kirk, H.K. and Menard, H.W., 1971. Crustal Structure of the Melanesian Area. *Jour. Geophys. Res.*, v. 76, p. 2562-2586.
- Silver, E.A. and Rangin, C., 1991. Development of the Celebes Basin in the context of western Pacific marginal basin history. In: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, College Station, v. 124, p. 39-49.
- Smith, R. et al., 1990. Depositional history of the Celebes Sea from ODP Sites 767 and 770. *Geophysical Res. Lett.*, v. 17, p. 2061-2064.
- Stark, M. and Forsyth, D.W., 1983. The geoid, small-scale convection, and differential travel time anomalies of shear waves in the central Indian Ocean. *Jour. Geophys. Res.*, v. 83, p. 2273-2288.
- Stein, S. and Okal, E.A., 1978. Seismicity and tectonics of the Ninety-East Ridge area: evidence for internal deformation of Indian plate. *J. Geophys. Res.*, v. 83, p. 2233-2245.
- Storetvedt, K.M., 1985. The pre-drift Central Atlantic; a model based on tectono-magmatic and sedimentological evidence. *Jour. Geodyn.*, v. 2, p. 275-290.
- 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*. Alma Mater (Fagbokforlaget), Bergen, 456p.
- Storetvedt, K.M., 2003. *Global Wrench Tectonics*. Fagbokforlaget, Bergen, 397p.
- Storetvedt, K.M., 2007. Global Wrench Tectonics and Evolution of the Tethys. In: *Proceedings Second International Conference on the Geology of the Tethys*. Cairo University, March 2007, p. 1-26.
- Storetvedt, K.M. et al., 2003. New structural framework for SE Asia, and its implications for the tectonic evolution of NW Borneo. *Geol. Soc. Malaysia, Bull.* 47, p. 7-26.
- Storetvedt, K.M., 2010. World Magnetic Anomaly Map and Global Tectonics. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 57, p. 27-53.
- Storetvedt, K., 2010b. A Caribbean Case: Agitation of ingrained views. *NCGT Newsletter*, no. 54, p. 3-9.
- Storetvedt, K.M., 2013. Global theories and standards of judgment: knowledge versus groundless speculation. *NCGT Journal*, v. 1, no. 3, p. 55-101.
- Sugimura, A. and Uyeda, S., 1973. Island Arcs: Japan and its environs. Amsterdam, Elsevier, 247p.
- Summerhayes, C.P., 1969. Marine Geology of the New Zealand Subantarctic Sea Floor. *Bull. N.Z. Dep. Scient. Ind. Res. Bull.*, v. 190, 92 p.
- Taylor, B., 1992. Rifting and the volcano-tectonic

- evolution of the Izu-Bonin-Mariana arc. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, v. 126, p. 627-651.
- Taylor, G.K. et al., 2000. Rapid rotation of Fiji: Palaeomagnetic evidence and tectonic implications. *Jour. Geophys. Res.*, v. 105, p. 5771-5781.
- Tarling, D.H., 1983. *Palaeomagnetism, Principles and Applications in Geology, Geophysics and Archaeology*. London, Chapman and Hall, 379p.
- Tatsumoto, M. and Nakamura, Y., 1991. DUPAL anomaly in the Sea of Japan: Pb, Nd, and Sr isotopic variations at the eastern Eurasian continental margin. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 55, p. 3697-3708.
- Thompson, J.E., 1967. A geological history of eastern New Guinea. *J. Australasian Petrol. Expl.*, v. 7, p. 83-93.
- Tongkul, F., 1993. Tectonic control on the development of the Neogene basins in Sabah. *Bull. Geol. Soc. Malaysia, Special Publication 33*, p. 95-103.
- Tsai, C.-H. et al., 2004. Crustal thinning of the northern continental margin of the South China Sea. *Marine Geophysical Researches*, v. 25, p. 63-78.
- Tu, K. et al., 1992. Magmatism in the South China Sea basin I. Isotopic and trace-element evidence for an endogeneous Dupal mantle component. *Chem. Geol.*, v. 97, p. 47-63.
- Udintsev, G.B. et al., 1989/90. *International Geological-Geophysical Atlas of the Atlantic Ocean*. Intergovernmental Oceanographic Commission, Moscow 1989-1990.
- Van Bemmelen, R.W., 1970. *The Geology of Indonesia*. The Hague, Martinus Nijhoff, 2 volumes, 1094p.
- Van den Linden, W.J.M., 1977. How much continent under the ocean? *Mar. Geophys. Res.*, v. 3, p. 209-224.
- Van Orman, J. et al., 1995. Distribution of shortening between the Indian and Australian plates in the central Indian Ocean. *Earth Planet. Sci. Letters*, v. 133, p. 35-46.
- Veevers, J.J. et al., 1974. *Initial Reports of the DSDP Leg 27*. Washington D.C., US Govt. Printing Office.
- Wang, E. and Burchfield, B.C., 1997. Interpretation of Cenozoic tectonics in the right-lateral accommodation zone between the Ailao shear zone and the eastern Himalayan syntaxis. *Int. Geol. Rev.*, v. 39, p. 191-219.
- Weis, D. et al., 1989. Dupal anomaly in existence 115 Ma ago: Evidence from isotopic study of the Kerguelen Plateau (South Atlantic Ocean). *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 53, p. 2125-2131.
- Weissel, J.K. et al., 1980. Deformation of the Indo-Australian plate. *Nature*, v. 287, p. 284-291.
- Whelan, P.M. et al., 1985. Radiometric dating of magmatic stages in Fiji. In: *Geology and Offshore Resources of Pacific Island Arcs, Tonga Region*, Earth Science, Ser. 2. Houston TX, Circum-Pacific Res. Council, p. 415-440.
- Whitmore, T.C.(ed.), 1981. *Wallace's Line and Plate Tectonics*. Oxford, Clarendon Press, 90p.
- Widiyantoro, S. and van der Hilst, R., 1996. Structure and evolution of lithospheric slab beneath the Sunda Arc, Indonesia. *Science*, v. 271, p. 1566-1570.
- Widiyantoro, S. et al., 2011. Complex structure of the lithospheric slab beneath the Banda arc, eastern Indonesia depicted by a seismic tomographic model. *Research in Geophysics*, v. 1. Doi: 10.4081/rg.2011.e1.
- Wilcox, R.E., Harding, T.P. and Seely, D.R., 1973. Basic Wrench Tectonics. *AAPG Bull.*, v. 57, p. 74-96.
- Williams, Q. and Revenaugh, J., 2005. Ancient subduction, mantle eclogite, and the 300 km seismic discontinuity. *Geology*, v. 33, p. 1-4.
- Wilson, J.T., 1954. The development and structure of the crust. In: *The Earth as a Planet*, Chicago, Chicago Univ. Press, p. 138-214.
- Wood, B.G.M., 1985. The mechanics of progressive deformation in crustal plates – a working model for Southeast Asia. *Bull. Geol. Soc. Malaysia*, v. 18, p. 55-99.
- Zheng, Y. and Lay, T., 2006. Low VP/VS ratios in the crust and upper mantle beneath the Sea of Okhotsk inferred from teleseismic pMP, sMP, sMS underside reflections from the Moho. *J. Geophys. Res.*, v. 111, Issue B1. DOI: 10.1029/2005B003724.

討 論

DISCUSSION

全地球テクトニクス：予測と証明 Global Tectonics: Prediction and Confirmation

Peter M. JAMES

P.O. Box 95, Dunalley, Tasmania, 7177. petermjames35@gmail.com

(矢野 孝雄 [訳])

Karsten Storetvedt 教授はレンチテクトニクスとサージテクトニクスの論争について、そして、グローバルテクトニクスに関するその他の問題について、見識深く、また興味をそそる長い論説を寄稿してきた。氏の最新の議論 (NCGT 1-4, 49-60) では、グローバルテクトニクスに関するいかなる学説（および、おそらくは仮説）も、“予測と証明の長い連鎖を、特別な弁明や場当たりの調整を行うことなく提示すべきである”と論じた。それには、みんなが賛成するほかはない。

誰かが次のことがらに気づいているかどうか、私にはわからない—誰もそれにコメントしたことがないことは確かだが—が、過去数年にわたって NCGT に投稿しつづけてきた“ジオイドテクトニクス”に関する私のいくつかの論述はいずれも、仮定-解釈-予測-証明をくりかえしてきた。このくりかえしは、次のように要約されるだろう：

仮定 1. 古気候データ、化石、および古地磁気データ（データがえられる大陸にかぎって適用した）は、地球が地質時代をつうじて多数の真の極移動を経験してきたを示している。

仮定 2. 地球の今日の形状—現在の赤道方向の膨らみと極方向の扁平性、など—は、今日の惑星自転にかかわる諸力の結果である。これは、広く認められている。地質学的過去において、極移動のために地球はしばしばその形状を調整せざるをえなかった。

解釈 1. 地球の地殻要素は、それゆえに、ジオイド変化への適合史をたどらざるをえなかった。すなわち、赤道の新たな膨らみに位置すると“伸長し”，また、ジオイド移動によって地殻要素が極方向の扁平化領域に入った場合には“圧縮される”，など。（注意：同様の変化は可動的プレートテクトニクスの影響下にある大陸でも起きるだろうが、移動論者たちはこれまで、このような問題を追求してこなかった。）

仮定 3. 歪由来の（ジオイド）変化は地球の地殻に影響し、それらは観測可能な規模をもつ。

解釈 2. 緯度方向の移動によって発生する応力は、確立された地球計測原理を利用して定量化される。適切な解析は、それらが最大値に達した場合にジオイド応力は次のような影響をもたらすだろう：

- ・大陸あるいは海洋地殻のいずれにおいても、それらは圧縮性破壊をひきおこすほどは大きくない。
- ・大陸地殻（あるいは楕状地）において、それらは引張性破壊をひきおこすほどは大きくない。
- ・しかし、それらは十分に、海洋地殻に引張

性破壊をひきおこすことができ、そのような破壊／変形が、海洋要素と大陸／楕状地要素との境界のあらゆるところで激しくなるだろう。

解釈 3. 地殻境界における赤道変形は、リフティング、トランスフォーム断層運動、そして、おそらくは沈降運動を起こし、つづいて、急速な堆積物による埋積、いいかえると地向斜状況がうみだされるだろう。

仮定 4.（真の極移動によって）最終的に赤道が到来すると、圧縮応力が地向斜堆積物に加わるだろう。

解釈 4. 地球力学の知識にもとづくと、最近堆積した堆積物の強度を推定することができる。圧縮性ジオイド応力（最大値よりは小さい）は、最近堆積した地向斜堆積物を褶曲させ、それらを衝上運動によって隆起させることができる。

予測. すべての地向斜／褶曲山脈系は赤道に由来し、さらに、海洋地殻と大陸／楕状地地殻の境界帯に分布する。（ちなみに、この予測の前半部は、早期の大陸移動論者—AGS 会長を務めた Sam Carey—によってまったく独立に同様の提案がなされた。）

証明. コルディレラのロッキー山脈は前期カンブリア紀の赤道で形成され、現在では北米西岸をほぼ南北にのび、海洋と楕状地の境界となっている。いっぽうアパラチア山脈は同じ北米の東岸に沿って北東-南西方向にのび、古生代中頃の赤道にほぼ平行して形成された。アルプス-ヒマラヤ山脈はより複雑な履歴をもっているが、南北両側の楕状地域に挟まれ、始新世まではしばしば赤道（テチス海）に配置していた。アンデス山脈はいっそう複雑に見えるが、この褶曲山脈は南米楕状地の西側に密着する。PNG [パプアニューギニア] の高原は、南側のオーストラリア卓状地と北側の海洋地殻の間に沿ったジュラ紀／白亜紀の赤道地向斜で形成され、漸新世に隆起して地形が一変した。

解釈 4. 喧伝される沈み込み作用のかなり根本的に解析した結果、この作用は開始することも、継続することもなかったであろう。

証明. これは、地震学的考察—たとえば Choi, D. (2000) NCGT #15: 9-14—によってくりかえし確認された。

解釈 5. 深海扇状地の地質工学的解析によると、もし、それらが載っているプレートが移動していて、それらの喧伝されている移動に対していかなる側方拘束もなければ、深海扇状地は座屈し、そして／または、衝上運動を被るだろう。しかし、北東太平洋

の深海扇状地はまったく水平に保たれている。たとえば、Juan de Fuca プレートの一部を覆っていて、鮮新世まで遡る Cascadia 扇状地のように。

予測：その基盤をなすリソスフェアプレートは、運動していない。

証明：北米深部での地震データは、Juan de Fuca のようなプレートが沈み込んでいるという兆候はまったくみられない。Molokai 断裂のような、同じ北東太平洋に存在する断裂帯で両側の磁気縞模様年代をみると、同一プレート内で拡大速度に 2cm/ 年に達する違いがあることを示唆する。しかし、地震活動が静穏で、断裂帯は運動していないことを示す。

無償の予測：極移動環境における遠心的付加パターンの変化は、世界海洋の分布に直接影響するだろう。すなわち、海水準は、いくつかの場所で劇的に上昇し、他の場所では下降するだろう。

証明：海水準が地質学的にいったく最近に上昇し

たことが、南米 altiplano の海成岩塩と海生動物化石群 (Titicaca 湖) によって証拠づけられる。その時の高海水準を示すこれらの証拠は、一般に誤って理解され、津波に起因する考えられている。劇的に低い海水準は、硬岩を侵食する多数の海底谷 (典型的なものでは、陸上水系の延長部) および、それらから深海平原を横切ってひろがる大規模な堆積扇状地 (現在水深は約 4km) によって証明される。

無償の予測：大規模な海水準変動は、まれな隕石衝突に比べて、はるかに効果的な絶滅メカニズムである。

希望 1：地球科学は、主要な地質作用の解析のために地質工学的研究が適切であることを、最終的には認めるだろう。

希望 2：大陸移動論者たちは、喧伝される大陸漂移の唯一解を求める試みが極移動によってすべて打ち砕かれてしまうために、彼らのモデルから (真の) 極移動が排除されてきたことを、いずれは認めるだろう。

出版物 PUBLICATIONS

地震発生の危険性を市民に伝えること：ラクイラの 7 人の裁判 Communicating earthquake risk to the public: the trial of the "L'Aquila Seven"

David E. ALEXANDER
david.alexander@ucl.ac.uk

David E. Alexander, 2014. Natural Hazards. Springer, January 2014. DOI 10.1007/s11069-014-1062-2.

(山内 靖喜 [訳])

要旨：2009 年 4 月 6 日の地震^{*1} 前に市民を誤解させる間違った情報を発表したという申立てによる、中部イタリアのラクイラにおける 7 人の公務員の裁判と判決は、科学と減災における現時点の最も重要な発展の 1 つであり、また最悪の誤解の 1 つである。しばしば不確実さで特徴づけられる地球科学における発見を、一般市民を守るために使うことができる情報に変換させることの困難さを、それは浮き彫りにした。本論はラクイラの災害にかかわるこれらの要因と、それらがその後の裁判と訴訟手続きに適切であることを記述する。本論は裁判の政治的、社会的及び科学的環境、ならびに、イタリアとその他の国々における科学者と彼等が所属する機関の反応を分析している。被告人達は科学者としてではなく、責任ある公務員として審理された。イタリアとその

他の国々のマスメディアは裁判で審理されるのは地震予知の可能性であると強調し、このことが多くのさまざまな地域における科学者の意見に大きく影響した。しかしながら、検察官が提起したように、実際の裁判は " 不完全で、不正確で、矛盾した情報 " をもって市民を迷わせたという明らかに致命的な結果に終わった。この裁判に対する国際的な反応の多くは、この結果についての不完全な伝聞情報に基づくものであり、的外れであった。もし、科学者がこのような外面的な方法で彼ら自身の仕事を審査したならば、その結果は極めて信頼性に欠け、科学にたいする国民一般の信頼は急落したであろう。

^{*1}：ラクイラ地震の予知とその後の経緯 (ウィキペディアより、訳者注)

2009 年 1 月から 4 月にかけてイタリア中部のラクイラ付近で群発地震が発生し、その終盤の 4 月 6 日に発生した M6.3 の地震をラクイラ地震という。現在までに 300 人以上の死亡が確認されており、6 万人以上が家を失って避難生活を強いられている。アブルッツォ・ラーツィオ地震とも呼ばれ、日本のマスメディアでは専らイタリア中部地震の呼称を用いている。

地震発生の数週間前、グラン・サッソ国立研究所の技師ジャンパオロ・ジュリアーニは、自身のラドンガスの放射の研究に基づいた地震予測の推定方法により、近々に地震がイタリア国内で発生することを何度か予告していた。市民保護局長はジュリアーニの調査に対して、技師を煽動者とし、罰則を与えた。地震発生前のローカル TV 局のインタビューで「3 月の終わりに群発地震が減りつつあったので私の同郷人たちを安心させる事ができると思う」と表明したために、ジュリアーニの地震予測は技術的に実際には信頼できないとされた。結果的に大地震が発生

したが、ジュリアーニの予測は「時間・場所・規模」という 3 要素がそろっていないため、非常にあいまいなものであった。

2010 年 6 月 3 日までに、ラクイラの検察当局は、地震の危険度を判定する国の委員会が地震発生前の 3 月 31 日に、大地震の兆候がないと判断し、それが記者会見で発表されたことが被害拡大につながったとして、過失致死の疑いで捜査を始めた、と発表した。委員会側は「地震予知は極めて困難」「当時は大地震発生の可能性はとても少なかった」と反論している。

安全宣言を出した委員会メンバー 7 人(行政官 2 人、科学者 5 人)は過失致死でラクイラ地方裁判所に起訴された。2012 年 9 月 25 日に 7 人全員に禁錮 4 年が求刑され、10 月 22 日に求刑を上回る 6 年の実刑判決が出された。地裁は判決理由で、学者が「メディア操作」を図る政府に癒着し、従ったと批判した。

地震予知研究の最前線 The frontier of earthquake prediction studies

編集：早川正士， hayakawa@hi-seismo-em.jp.

出版：日本専門図書出版社，東京．2012 年．794 頁．ISBN-978-4-931507-16-6.

論文は英語と日本語（英文要旨付），本書を購入希望者は編者まで連絡されたし。

（山内 靖喜 [訳]）

要旨：この数 10 年間にわたって、地震に関連する電磁気学現象の研究は著しく発展した。本書は、主に 1995 年神戸地震以降のこれらの業績を掲載している。

本書は地震電磁気学と地震予知に関する世界中のいろいろなグループによる総括論文(または活動報告)を集めたものである。本書は、日本、台湾、インド、アメリカ、フランス、イタリア、ギリシャ、ロシア、ウクライナを含む多くの国々の科学者グループによって執筆された 31 章からなる。本書は次の研

究分野をカバーしている：(1) リソスフェア効果（地表からの直接放射，DC/ULF^{*1}，ELF/VLF など），(2) 大気効果（VHF 放射を含む，水平線を超える VHF 伝播など），(3) 電離層署名（亜電離層の VLF/LF 伝播異常，プラズマの衛星観測，電磁気波など）及びリソスフェア - 大気圏 - 電離層カップリング機構。とくに地震電磁気学と地震予知の分野において本書が聖書になることが期待されている。

^{*1}: ULF (超短波), ELF (極超長波), VLF (超長波), VHF (超短波), LF (長波) (訳者注)

福島：科学に関するコンセンサスの影に隠れてしまった地震予知 Fukushima: Earthquake Prediction in the Shadow of Consensus Science

Julian GRESSER, John CASEY, and Dong R. CHOI

（小泉 潔 [訳]）

次の M7.9⁺ の地震津波がいつ福島を襲うのか？ これは、世界にとっての応用問題であろう。優れた意

見によれば、原子炉 1～4 号機の沸騰した使用済み燃料プールは、この限度まで安全であるという。し

かし閾値が限度を超えると, " 臨界 " が起こりうる. 原子力産業に通じた者によると, 閾値は, 単独で, あるいは, 同時もしくは共に発生する次の事象を意味する: 使用済み核燃料プールの崩壊, 放射性同位体(ストロンチウム 90, セシウム 134/137, 微量の " できたての " プルトニウム, および, 他の致命的な同位体) の大気中への放出; " デフラグレーション " **あるいはもっとも不吉な爆発 / デトネーション, あるいは4つの反応すべてを巻き込むデトネーションの連鎖反応. あなたが三次元地形図を見れば, 福島が, より巨大な都市東京にどれくらい近接しているかがわかるだろう. 次の巨大地震は, 数百万人以上の大惨事となる.

米国合衆国政府関係機関として責任のある合衆国地質調査所 (USGS) および世界中の地震学者の大多数によって奉じられている支配的パラダイムは, 20世紀前半に始まるプレートテクトニクスの科学的知識に基づいている. プレートテクトニクスは, 地球のリソスフェアの大規模運動を示す学説である. リソスフェアは, 我々の惑星のもっとも外側の堅い殻, すなわち地殻であり, その力学的性質に基づいて定義されている. それは, 地殻と数千年あるいはそれ以上の時間スケールで弾性的に振る舞う上部マントルの一部によって形成されている. プレートテクトニクス学説の信奉者によると, 世界の地震は地球表面に不規則に分布しているわけではなく, むしろ幅狭い地帯に集中する傾向がある. プレートテクトニクス学説は, 大陸漂移 (もともとドイツの Alfred Wegener によって 1912 年に提唱された) と海洋底拡大 (もともとプリンストン大学の Harry Hess によって提唱された) にかかわる多くのアイデアを組み合わせたものである.

地球のリソスフェアがモザイク状の海洋プレートと大陸プレートに分割されていて, 塑性的なアセノスフェア (マントルの最上部層) の上を滑らかに動いている, とプレートテクトニクスは主張する. プレートは, 一定の速度で動く. それらが相互作用するところで, 山脈や地震・火山の発生など, 重要な地質作用をもたらす.

地震の予知に関連している今日のプレート造構モデルには, いくつかの中核的仮定が含まれている. それらのうち, もっとも重要なものは次のとおりである.

- (1) 確実な前兆はほとんどない — 現在のプレート造構モデルは, わずか 2, 3 の前兆の解析に終始している.
- (2) プレートテクトニクスによる地震の発生は, 力学的な力に基づいている — プレートの沈み込み / 衝突, 押しとその結果として発生する摩擦と

熱, 応力集中, および断層線沿いの滑り.

- (3) 発生時期と規模 — 主要なプレート境界に沿う地震の発生場所が通常観測されているにもかかわらず, 地震発生の時期と規模はそうではない. 造構モデルは, これらの要素が厳密な考察とは無関係あるいは無効であると仮定するように推測される.
- (4) 他の影響 — 造構モデルは, 狭い意味の地震現象に焦点を合わせていて, それゆえ, 他の要素 (例えば, 火山活動や太陽の活動) は地震と無関係であり, 相関性をもたないことを前提としているようだ.

今日のプレート造構モデルは, 地震予知のためのツールとして有効ではない. 最も重要な失敗は, カリフォルニアのパークフィールドにおける大地震を予知しようとした 1980 年代後半の USGS の計画である. このモデルしたがって 1994 年に発生するとした USGS による予知の失敗は, 数 10 年間にわたって深く記憶に刻まれてきた. 同様なアプローチを踏襲し, 2つの前兆にしたがった中国の地震学者は, 1975 年の海城地震を正確に予知したが, その後, その成功を繰り返すことができなかった. 数十年間にたくさんの研究者が理論と技術を前進させてきたが, 客観的で精密な検証には耐えなかった. これらの過去の失敗から, USGS と著名な地震研究者は, 地震は**本来的に予知不能**と結論し, この基本的信念を科学的公理にまで高めている. 事実, 何人かの著名な地震研究者は, 地震予知が " 愚か者とペテン師 " の最後の駆け込み寺である, と戒めている. これは, 地震学分野における現在と過去の指導者が地震を予知できなければ, 誰にも絶対に予知できるわけがない!, と言っているのである.

しかし, 福島での状況はあまりにも危険すぎ, 代償はあまりにも大きく, 偏見に満ちていて, 未開発なもっともらしい方法から撤退しているのではないだろうか? 優れた科学の基本は, 他の専門家が広く刈り取ったあとを調査し, 中心的仮定に挑戦することではないか? 我々がそれらの仮定を生みだしたとき, 我々は " 新鮮な目 " に気付いた Marcel Proust のように世界を見, その時に我々は発見するのである. この公理は, 科学・技術に関する別の共著者 (JC・DC) の研究分野と同様, 共著者の一人 (JG) の見解である話し合いと新しいアイデアの分野では本当のようである.

フロリダのオーランドの国際地震火山予知センター (IEVPC) は, ロシア・日本・インド・イタリア・オーストラリアおよび合衆国 (合衆国はほとんど部外者) から一流の専門家の一団を集めている. 彼らは, " 破壊的地球物理的事件 (CGE) 監視と警報システム

(CMWS)"と名付けられた別のモデル (<http://ievpc.org/id64.html>) を公表した。それは、主流の地震学者の武器庫にさまざまな見方や潜在的に強力な武器を準備している。IEVPCは現在の造構モデルに対立的なものではなく、むしろ公平な"探検家の心"の精神をもって取り組んでいる。基本的アイデアは次のようなものである：

- (1) 1) 地震と火山を引き起こす原因は、コアに生じ、地表に上昇してくる熱-電磁氣的エネルギーの増大に起因する；2) 熱-電磁氣的エネルギーは、マントルでは深部断裂帯に沿って一定の速度で上昇し、その結果、構造的に高いところに集まる。それは、石油やガスの挙動に非常によく似ている；3) 加熱され膨張した地殻とマントルは、大きな破碎帯を通じて地震と火山噴火という方法でエネルギーを解放する。このパターンは、2011年3月11日に福島を襲ったM9.0の東北地震津波で特に明白である。
- (2) IEVPCのCMWSは、従来の造構モデルを次のように拡張し、精緻化する：
 - 多数の前兆は、時間と共に段階的に進行する — IEVPCのCMWSが地震の前兆信号を監視している。予知データのうち最も長い期間のものから暫定的に監視を始め、2～3年前から地震予知のカウントダウンを進め、そして予知時刻から本震まで1時間以内に迫った本震震(M6.5+)を予知することができる前兆信号で終了する。時間毎の過程が開始すると、それぞれ一連の前兆が通常はより確実なものになっていく。もっとも長期間の前兆は予測精度がもっとも低く、もっとも短期間の前兆は最高の精度をもつ。それらは、最も有効な結果を生じるわかりやすい枠組み内で、すべての前兆が統合されている。
 - データの増強 — CMWSは内省的であり、新しい前兆を連続的に情報更新し、照合・統合し、その計測技術を改善しつつけている。前兆のセットが単純である、なし、に左右されない。我々が信じるところによると、それが多くの過去の予知失敗の根本的原因になってきた。
 - 補強された解析 — IEVPCの戦略は"新しいアイデアの統一"の視点から地震解析に挑戦するために、従来型の地震解析と他分野との"潮間帯の"繋がりに興味がある。海と陸地との間の潮間帯—そこは潮流が出たり入ったりしている—は、生物学的にもっとも肥沃なところである。私たち(JG)の調査は、同様なことが調査・考案及び新技法の過程に関して真実であることを示している。それは調査の一部のもっとも有望な線が確立された領域の交点、あるいは専門家の考えと実践のやり方に横たわっている。例えば、IEVPCの科学者は、地震発生と逆相関するように見える太陽の11年周期を見抜いた。言い換えると、モデルは活発になった地震活動と太陽の

休止期との間の高度の相関関係に気付いた。太陽周期に加えて、さらなる火山活動がまた、とくに日本や太平洋の火の環で収集された監視データに基づいて、大地震と高い相関があることが観測されてきた。IEVPCによって集められたデータは、地球の同様な熱力学的過程とパターンが地震と火山の両方に密接に関連していることを示している。

- CMWSは、ワシントン州沖合の巨大断層であるカスケード沈み込み帯(CSZ)のような遠隔地に発生する関連性のある地震活動を監視し、統合することを目的としている。

事例1：CSZはすでに起きていた太陽休止期の結果として、地震がさらに弱くなっているかもしれない。CSZが活動しはじめると抑制がなくなるという驚異的な力の史実がある。1700年1月6日の太平洋標準時午後9時に、巨大地震が太平洋北西海岸沖60～70マイルのCSZで発生した。震動は3～5分間にわたって大地を強烈に震動させ、太平洋北西の海岸に沿って感じられた。海岸に沿って高さ約33フィートに達する津波が形成され、それが太平洋を数10時間にわたって伝播し、日本の東岸に到達した。日本では、相当な損害が記録されている。

事例2：ハワイにある太平洋津波警報センターと国際津波情報センターは、これまで事後に太平洋の至るところの緊急対応に使われる豊富なデータベースを率先して集めてきた。しかし、これらのデータセット—アラスカ大学や世界中の他の機関や地震調査センターによって集められてきたこれまでの実際のデータ—の潜在的用途は、これまで地震予知の目的には利用されていない。それは、地震が本質的に予知できないと仮定しているためである。CMWSを統合することは、緊急性のある好機であり、大局的な全地球的地震・火山や津波の予知や早期警報システムの範囲では、最良の対応方法である。

- (3) IEVPCの過去の記録が予備的で、その進展が不十分な財源によって制約されてきたにもかかわらず、CMWSモデルはM6.5+の大地震を含む多様な状況下でうまく機能してきた。例えば、2012年後半の6ヶ月間に、IEVPCは地震の発生間隔・マグニチュードや震源を正確に確認した：(i) 8日間にわたってM4.6～5.8の群発地震を生じたカムチャッカ半島沖、(ii) セレベス海における6.0の深海地震、および(iii) 高精度で予知されたミャンマーのM6.8地震。カムチャッカのものは、従来の沖合沈み込み帯で起こった。セレベス海のものは深海盆の中心部で発生した。ミャンマー地震は内陸で生じた。これら3つの予知は離れた場所の多様なさまざまな地質に関わっていることがとくに重要であり、複数の予知CMWSモデルが世界中の地震の発生しやすい地域に広く応用できることを示している。

発見の収穫

新ルイジアナ州とそのさらに西方を調査し始めたとき、Thomas Jefferson 大統領は " 発見部隊 " を任命し、この危険だが胸躍る新しいフロンティアに最良の科学的調査をもたらすよう指令した。似たような冒険と勇敢な精神で地震予知分野に取り組むリスクは何なのか？古い科学的常識は地球は平坦であると主張し、この信念にあえて疑問を持つのはほんの僅かだった。18 世紀に、イギリスの船乗りは戦闘よりも壊血病が原因で死亡することが多かった。現在では、壊血病はビタミン C の不足に起因することが知られている。身体はコラーゲンをつくる能力を失い、歯ぐきやほかの組織が出血し、崩壊する。壊血病は、予防可能な悲劇だった。多くの船長や一部の医者は、新鮮な野菜や柑橘類が壊血病を治したという観察を知っていた。それにもかかわらず、内部腐敗による腐敗が原因であり、壊血病は新鮮な空気・運動や薬で効果的に治るという通説に合わないという理由で、イギリス海軍の科学者と内科医で構成された「病気と健康委員会」は、50 年以上にわたって証拠を却下しつづけてきた。***

不注意による代償の最近の事例が、1986 年 1 月 28 日のスペースシャトルチャレンジャー号の爆発である。Roger 委員会以前のテレビの公開ヒアリングで、ノーベル賞受賞者 Richard P. Feynman が、シャトルの O リングに使われたクランプ内の材質が圧縮されて氷水中に浸かり、低温環境のなかで弾力性が劣化したことを明示した。委員会は、最終的に、この事故は準備が不適切でケーブルカナベラルにおける異常な寒冷環境に耐えるように密閉されていなかった O リングによって第一義的に引き起こされた、と結論した。**** チャレンジャー号の大失敗は予測でき、回避できた。国家宇宙計画に大きな後退をもたらしたにもかかわらず、政府の不注意の代償は、主に宇宙飛行士とその仲間の勇敢なチームに降りかかった。福島は非常に難しい。地震が本質的に予知できないとした現在の政府科学機関による強い主張は、もはや科学的前提ではなく、むしろ広い領域のデータを集め、検討した結果を国民に情報として伝えることさえ行わなかったことは、頑固で不本意なイデオロギー的姿勢の結末である。このような消極性や無活動は、重大な過失の深刻な法律上・倫理上の問題や政治上の職権乱用を引き起こす。これらの問題はラクイラの M6.3 の地震に関連して、2009 年にイタリアのラクイラでの少なくとも一つの裁判で取り組まれてきた。その場合、訴訟はラクイラ市に対し、それらが彼ら自身を守るために十分な警告をラクイラ市民に提供しなかったという不手際が刑法上の過失にあたるという理由で地震研究者と役人を訴追した。ラクイラの事件は、今日の福島が被っている事態よりも、強制や緊急性のはるかに少ない

状況下で発生した。

逆襲や自己防衛や偏見無しに、調査と発見を同様な精神で世界中の専門の地震学者と市民科学者が力を合わせて多彩な規律を示すのは、多くの立場のまじめな研究者にとって、今まさに必要なことではないか？福島は世界中一現代の発見部隊一のもっとも想像力に富んだ考えをまとめるための唯一の機会を提供し、核心となる問題に焦点を合わせている：もう一つの巨大地震が福島を襲うかどうかではなく、いつどのように、そして、もしそうならば我々自身の備えとして何をすればいいのか？

不確実さに立ち向かう

筆者の一人 (JG) は、福島の影の下で彼女の子どもたちをどのように生かし、対処し、守り続けるのかということについて、日本の親友と最近話をした。" 私たちはいつものように毎日をすごしている " と彼女は答え、そして私たちができるように生活を楽しんでいる。私は日本政府が最善を尽くし、そして世界各国からの最高の技術的科学的専門的知識と能力を結集し続けていると確信している。やはり、日本の高級官僚はリスクを理解しているし、彼らとは心中したくない。我々の世界は福島とともに決定的に変わるかもしれないが、我々はそれとともに生き、適応しなくてはならない。ほかに何ができるか？、と。

現実のこの説明で、2011 年の激変の後、福島の状況は安定してきており、もはや不安定になるようなことはない。しかし、この仮定もまた鎮静剤にすぎないのではないだろうか？次の M7.9+ の地震に続く巨大なリスクと悲劇的なシナリオを考えれば、その価値は代換手段や新鮮な視点をもたらさないだろうか？我々は今日何をすることが賢いことだろうか、我々が前もって警告することができれば、今どうするだろうか？

.....

* M7.9 は、東京電力株式会社 (TEPCO) 自身による " 第一原子力発電所の安全性についての概要 " から引用している数字である < http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu12_e/images/121214e0204.pdf >。その " 地震時挙動評価のまとめ " 曰く：" 福島第一 NPP に関して基本的に想定される地動 Ss の設定をした際、我々は M7.9 としてプレート内地震の規模を仮定した。その規模は、政府の地震調査本部によって提供された福島沖に関する見積もり (M7.4) を超えていた。しかし、3.11 地震の規模は M9.0 だった。それは多数の領域が連動したためであり、それ故我々の地震危険度の見積もりが不十分

であったことを証明した", と、特定の原子炉 1-4 で、福島原子力発電所は時々刻々と状況を悪化させているので、福島の施設の安全性と備えの程度を評価することは、難しい技術工学とシステム分析的課題ばかりでなく、日本と国際法や社会政策の複雑な論点がそこにはある。系統的視点から、M7.9 の安全基準にはいくつかのレベルの懸念がある: 1) もし M7.9 を超える地震が設備を襲ったらどうなるだろうか? (2011 年 3 月の地震は USGS によって M9.0 と報告された) 2) もし一連のより小さい地震が発生し、その累積の規模が M7.9 を超えるとどうなるか? 3) 弱い繋がりはいくら弱いのか? 原子炉 3 は、TEPCO の技術者でさえ脆弱性の程度を十分に把握できておらず、見くびっているように見える。M7.9 以下の地震は、原子炉 3 の使用済み燃料プールを破壊するのに十分である可能性がある。4) カスケード効果 (影響が連鎖的に伝わる効果) とは何か? 言い換えると、原子炉の一つ (原子炉 3 あるいは 4) がさらに危険になれば、崩壊または自然発火性の (酸素にさらされたとき自然に引火する) 火一別なものが引き金を引いているかもしれないになる。M7.9 という数字をさておいても、原子炉 1-4 の使用済み燃料プールの不安定な状態を考えると、本質的な問題は次のようなものだろう: 1 つだけの、あるいは相乗的 / 累積的な地震やそれに関連した事象のどのレベルでどの原子炉が臨界に達するのか? 5) 安全な関連のある計画対象時間あるいは時間帯とは何か? 日本政府は、福島第一原発を廃炉するには 40 年程度かかると公表した。日本政府は現実の時間帯にわたって安全であるということに、1 年ほどの検討でどうして自信を持っていえるのか? (<http://www.theguardian.com/environment/2013/dec/03/fukushima-daiichi-tsunami-nuclear-cleanup-japan>; <http://www.bloomberg.com/news/2011-12-21/tepcos-sets-plans-to-dismantle-fukushima-reactors.html> 参照)

法的視点から、また、日本やその周りの地震の明らかな予見可能性やとくに原子炉 1-4 の使用済み燃料プールを含む福島複合施設の脆弱性を考えると、合理的な心配の基準が東京電力株式会社と日本政府のほかの機関は少なくとも次の要素に基づいた地震の許容評価を実施することが必要になるだろう: (i) 2011 年 3 月の M9.0 の地震以前のオリジナルな電力会社の設計図の慎重な解析, (ii) 巨大地震に続く設備の状態, および (iii) それぞれの原子炉の耐性ととくに特定の原子炉 1-4 において以下に定義したようにデフラグレーション (爆発的燃焼) あるいはデトネーション (異常燃焼) のどちらかを引き起こす臨界に密接に関連したシステム (Charles Perrow, *Normal Accidents*, 1999 参照). 2013 年 12 月 7 日に国会を通過した現在の国家機密法による日本国民や公共メディアをだます秘密のバールを考えると、福島全体で安全保障の程度を正確に確認することは極めて難しい。概要は [\[youtube.com/watch?v=jPpFp0GNa0c\]\(http://youtube.com/watch?v=jPpFp0GNa0c\); 参照; また、地震かどうかの問題についてディプロマ溪谷原子力発電所の同様な状況下での緊急時対応計画を含む必要がある: \[http://www.huffingtonpost.com/2011/03/16/california-nuclear-emergency-response_n_836751.html\]\(http://www.huffingtonpost.com/2011/03/16/california-nuclear-emergency-response_n_836751.html\). 福島原子炉 1-4 の高い脆弱性を考えると、議定書・方法論・データセットと科学技術を含む "最も有効な機能" を実行に移すためにもっとも高度の肯定的配慮義務を日本政府にもたせるために、日本はまた国際裁判を期待するかもしれない。日本における地震と軍国主義の歴史的平行性は、Joshua Hammer の『横浜大火—第二次世界大戦への道に向かわせた壊滅的 1923 年の地震と火災』\(2006\) によって興味深く議論された。](http://www.</p>
</div>
<div data-bbox=)

** "デフラグレーション (爆発的燃焼)" は、熱の移動によりもたらされた超音速でのガスまたは爆発物質を伝播させる急激なエネルギー放出に伴う燃焼現象である。"デトネーション (異常燃焼)" は衝撃波によって超音速で伝播する爆発である。(Arnie Gundersen 参照: (<http://www.youtube.com/watch?v=5GA1ewum370>) 少なくとも設備の 1 つで発生する "自然発火性の" 火が、54.55°C (130.19°F) 以下の空気に触れて自然におきる。デトネーションの衝撃波は、原子炉 3 で発生し (<http://www.youtube.com/watch?v=5GA1ewum370>), 原子炉 1 と 4 を含む少なくとも 2 つの別なデフラグレーションがあった。2011 年 3 月の福島での最初の被害を引き起こした原因を巡って相当な論争があった。公式見解は、津波が第一原因であるというものだった。しかし元バブコップー日立株式会社の田中光彦のような科学記者は、M9.0 地震が第一原因であると異議をとなえた。田中は、4 号炉の圧力容器を設計した主要な技術者の一人である。(参照: <http://www.japantimes.co.jp/opinion/2011/12/13/commentary/real-cause-of-nuclear-crisis/#.Ux0lceNdWKx>)

*** Richard McNider and John Christy 著『なぜ Kerry は気候変化を完全に間違ったのか』WSJ, February 20, 2014, A 15. 参照

**** この論文の共著者の一人 (JC) はスペースシャトル事故の研究を委任された NASA のチームの一員である。

***** David E. Alexander 著『国民への地震のリスクの伝達: L'Aquila の 7 人の審判』Nat. Hazards, Springer Science and Business Media, Dordrecht, January 2014.

.....

Julian Gresser は Alliances for Discovery の議長であり、『Piloting Through Chaos—The

Explorer's Mind (www.explorerswheel.com), and Environmental Law in Japan (カオスを導く一日本の探検家精神と環境法)』(MIT 出版 1981, 藤川幸一郎と森下昭夫と共著)の著者である。彼はハーバード大学法学大学院で日本法の三菱教授に二度にわたって就任し、多くのほかの専門的協議を行った米国国務省と日本の内閣総理大臣室への助言者である。

John Casey は、フロリダのオーランドにある国際地震火山予知センター (IEVPC) の共同創立者である (<http://www.ievpc.org/>)。彼は元ホワイトハウスとNASA 本部の助言者で、スペースシャトル技術者を務めた経験豊かな気象研究者である。

Dong R. Choi は IEVPC の経験豊かな地質学者で、共同創立者である。Dong R. Choi による既刊の東北地震に関するより専門的な論文として、New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 59 (June, 2011) に掲載された Dong R. Choi 著 "2011 年 3 月の巨大東日本地震の地質学的解析" www.ncgt.org がある。

筆者らは、同僚の Dick Wullaerd 博士の評論と提案に関して彼に感謝する。

© 2014 年 4 月 1 日著作権, Julian Gresser, John Casey, Dong R. Choi, 2104 年 2 月. 無断転載禁止. この論文は筆者らに厳密帰属し, 自由に引用され, コピーされ, 再発行することができるだろう.

地球規模気候状況報告 (GCSR) The Global Climate Status Report (GCSR)

(山内 靖喜 [訳])

発行元：宇宙科学研究所 (SSRC). アメリカ合衆国, フロリダ州オーランド.

発行日：2014 年 3 月 10 日 (第 1 版). 34p.

www.spaceandscience.net:mail@spaceandscience.net

編集者からの注釈："2014 年の地球規模気候状況報告の第 1 版を歓迎する".

北半球の寒い冬を示すもう 1 つの記録, 及び地球規模で温暖な時代が新たな寒冷気候の時代へ自然に変わりつつあって, このような変化は以前から進行していることが, 測定された気候係数から追加的に確認された, という観点からも, 時宜を得た報告書が出版された.

逆に, 圧倒的な証拠にも関わらず, 今やまったく信用されていない温室効果ガス説と人為的工業活動による CO₂ の大気圏でのささいな役割に基づいた合衆国政府の政策を私たちは見続けている. 認識の不一致の全国規模の適応として分類することができるものにおいて, 大統領, 国務長官そして報道関係者を含む私たちの指導者の多くは, 地球の気候状況についての奇妙な主張とあからさまな嘘を伴って, 地球規模の人為的温暖化という今や過ちが立証された神話を補充することに頼ってきたし, 今もそれは進行している. 気候変化の政治ではなく, 事実を信頼する人々の信用を害するためのあからさまでよく知られた手段において, 同じこれらの指導者はパソコン版気候科学を拒否する人々を "地球平面協会^{*1}のメンバー" とか "否定者" と呼ぶような個人攻撃や名指しを行い, これらの気候の事実を探す人々たちをナチスによる大虐殺の事実に疑いをさしはさむ人のようにみなすことを企ててきた.

^{*1}: 地球平面協会とは, 地球が球体ではなく, 平面体であるという信仰を支持するキリスト教非主流派の一派 (ウィキペディアより, 訳者注).

この最後の頑張りとは 2013 年 6 月 25 日ジョージタウン大学での大統領演説で始まり, その場で彼は気候活動計画を発表した. それは最近 6 ヶ月間に政治的強制という不可抗力的なものになった合図を送り, 好機の窓が一斉に閉じられる前に人々から最後の一かけらの政治力 (及び金) を絞り出すために, マスコミは人為的地球温暖化 (別名 "気候変動") 宣伝を散布した. 人為的気候のジェスチャーを終わらせようとしている数少ない不変な事実があることを, 大統領と気候変動に関する政府間パネル^{*2} (UN-IPCC) は十分に理解している.

^{*2}: 国際的な専門家をつくる, 地球温暖化についての科学的な研究の収集, 整理のための政府間機構である. 学術的な機関であり, 地球温暖化に関する最新の知見の評価を行い, 対策技術や政策の実現性やその効果, それが無い場合の被害想定結果などに関する科学的知見の評価を提供している. 数年おきに発行される「評価報告書」は地球温暖化に関する世界中の数千人の専門家の科

学的知見を集約した報告書であり、国際政治および各国の政策に強い影響を与えつつある。国際連合環境計画と国際連合の専門機関にあたる世界気象機関が1988年に共同で設立。本機構が各国への政策提言等を行うことはしないが、国際的な地球温暖化問題への対応策を科学的に裏付ける組織として、間接的に大きな影響力を持つ。アル・ゴアとともに2007年ノーベル平和賞を受賞。(ウィキペディアより、訳者注)。

1. 気候変動は投票者数を増やすのに単に重要でないという増大している信念

ピュー研究センター^{*3}及びウォールストリート・ジャーナル/NBC^{*4}の両方の世論調査によれば、人々は気候変動を彼等の関心事の最下位にみなしている。彼等はまったくそれを脅しとは考えていない。それは文字通りに彼等の日々の生活に影響を与えないこと、彼等が扱わなければならない当面の重要なことが多くあること、やはり人為的気候神話全体を彼等は受け入れないこと、あるいは多くの重要な政治問題のように彼らはとにかくその結果を支配できないと感じていることなど、いくつかの理由が考えられる。

^{*3}: ピュー研究センター (Pew Research Center) は、アメリカ合衆国や世界における人々の問題意識や意見、傾向に関する情報を調査するシンクタンクである (ウィキペディアより、訳者注)。

^{*4}: NBC はアメリカ三大メディアの一つ (訳者注)。

2. 気候に起きている大きな変化は、人類が気候を支配するという考えに対する支援をすでにやめている。たとえば、この17年間地球規模の温暖化はまったくなかった。この期間の大半において人類のCO₂と地球温暖化の脅威について私たちはおどしつけられていた一なにもなかったのだ！ さらに、最近11年間の大半において海洋と大気圏は実際に寒化していることを地球規模の気温傾向の実際の記録は示している。その最終結果：地球温暖化は終わっており、新しい寒冷気候が始まった！ 大統領とUN-IPCC が地球温暖化は " 加速している " と言ったり、あるいは人類は地球温暖化を起こしていることを今もってより強く確信 (確率95%) しているが、彼等の主張にもかかわらず、地球気候の現状に基づいたこの根本的で避けられない結論が飛び回っている。

3. " 地球規模の寒化 " を支持する科学者のグループは発展しつつあり、重大な気候警報を発しており、人々は彼らに耳を傾けはじめている。人間による気候変動論争の賛否を戦っている上記の

2つのグループに、気候論争でのこの第3のグループが加わる。地球規模で破滅的な新しい寒冷な時代への準備をする貴重な時間が減っているときに、主に国際的な科学者からなり、私もそれに属しているこのグループは、私たちが無意味な論争に大切な時間を浪費していることを心配している。新しい " 小氷期 " が今年から始まるだろうと公言しているロシア科学アカデミーのメンバーたちを今や私たちは迎え入れている。

4. 合衆国における政治的な不安定状態を転換させることができれば、ひびが入った温室効果ガス説と取るに足らない量の工業によるCO₂の政治的な道具としての使用をやめさせることができるだろう。

2014年に合衆国政府の政治力が追加される現実的な見通しは、アメリカ環境保護局を通して新たな規則やその他の気候に関係した法律をビジネスや個人に負わせるためにどんな将来計画も外すかもしれない。11月^{*5}に上院において多数派が変わり、下院が共和党の支配下にあり続けたならば、アメリカを新しいヨーロッパ流社会主義型の政府に変えるため、そして人為的気候変化という詐欺によって手に入れた道具でもって地球規模での富の再分配に着手するための道具として気候変化を使うという大統領の計画は事実上終わってしまうだろうし、おそらくこれが最後になるだろう。

^{*5}: アメリカ大統領の任期 (4年間) の2年が過ぎた今年の11月に中間選挙で上院議員の3分の1と下院議員全員が改選される。現在は、上院では与党民主党が、下院では共和党が多数派を占めている (訳者注)。

5. UN-IPCC と合衆国政府による気候変動に関しての温室効果ガス説の使用は、今や歴史的にみじめな大失敗とみられている。

温室効果ガス説がうまくいくようにとの試みたほぼ25年間の努力と100億ドルの消費の後に気候論争において真に解決されたことは、この質の悪いものを上質のものに作り直すことはできないということである。この説は哀れな失敗である。過去の気候の動きを説明し、将来の地球規模の気温傾向を予測するために展開された多くの気候モデル (70以上) はかなり間違っており、現実世界から大きくずれた予測を生み出している。温室効果ガス気候の全過程の評価を政策目的のために使用できないものにするに関して、それらのモデルは信頼できない。これに比べて、太陽の挙動に基づいた気候モデルははるかに正確で、証明されており、高い信頼性があるが、国際連合と合衆国政府の指導者たちからは単純に無視されている。残念なことに、" クライメートゲート (Climategate) " ^{*6}での電子メールと科学的不適切行為の多くの暴露によって、まずもって " 解決済の " 科学は決して科学ではないことを今

や私たちはよく知っている.

*6: 2009 年 11 月にイギリスのイースト・アン
グリア大学気候研究ユニット (CRU: Climate
Research Unit) のネットワークが不正に侵
入され, 地球温暖化の研究に関連した電子
メールと文書が流出された. これによって
発生した一連の事件 (ウィキペディアより,
訳者注) (ウィキペディアより, 訳者注).

気候変動の問題に関する政治的な観点から, 2014
年はアメリカ合衆国にとって重要な年になりうるで
あろう. けれども, 現実の全地球的気候状態の観点
から, どのような政治的組織がワシントンあるいは
国際連合, あるいはその他の国々においてきちんと
していても, 宇宙科学研究所は地球の気候に関して
正確で, 公平な状況報告をアメリカ合衆国内でみら

れるように季刊発行を続けるであろう. 私たちもま
た, 気候変動に関する最も信頼できて証明されたモ
デルー太陽活動に基づいたモデルーに基づいて現在
進展している気候の評価を出し続けるだろう.

宇宙科学研究所はこれらの信頼性の高いモデルを使
うことによって, UN-IPCC の業績, 合衆国政府のい
かなる科学研究施設の業績, あるいは政府の資金に
よる気候研究を行っているいかなる大学院大学の業
績をはるかに上回る業績をもって合衆国内の気候研
究機関の中で最も成功するであろう. この取り組み
方は有効で, 私たちはそれに忠誠であるであろう.

John L. Casey
地球規模気候状態報告座長, 編集者
宇宙科学研究所

電子宇宙ウェブサイト Electric Universe websites

(矢野 孝雄 [訳])

Louis Hissink は, 次の興味深いウェブサイトを紹介し
ている.

<http://www.youtube.com/watch?v=A6FbKyFYcQ>. この
サイトは, ジャワ島南方における 1200m の海底隆起と,
それが最近の熱帯性サイクロンの減衰・消滅に一致す
ることを報告している.

U-Yen, Kongpop space weather induced natural
disasters NASA. Kongpop は NASA に勤務していて,
造構作用や自然災害—地震との関連を含む—が太陽活
動に関連することを解明した. メカニズムは現時点で
は不明ながら, 太陽のコロナ孔が地震に関連するよう
である.

ニ ュ ー ス NEWS

(矢野 孝雄 [訳])

ヨーロッパ地球科学連合全体会議 2014

オーストリア | ウィーン | 2012 年 4 月 27 日 ~ 5 月 2 日

オーストラリアのウィーンで開催されるヨーロッパ地球科学連合全体会議 2014 では, グローバルテクト
ニクスの新しい見方が議論される. このセッションは, T.S. 1.3 および PSD 16.27 として, 2014 年 5 月
2 日に開催される.

口頭発表 **TS1.3 PSD 16.27** の **T.S. 1.3**: グローバルテクトニクスの新しい考え方 [Alternative Thoughts
in Global Tectonics] — 5 月 2 日 (金), B5 会場, 議長: Biju Longhinos • Vladimir Anokhin

15:30–15:45 EGU2014–1189. 大西洋の起源: アルプス時相のレンチテクトニクスの重なりによる中–新
生代の海盆沈降 [Origin of the Atlantic: Meso-Cenozoic basin subsidence with superimposed

- Alpine age wrench deformation]. Karsten Storetvedt and Biju Longhinos
15:45–16:00 EGU2014-1299. 超大陸サイクルという虚構 [Fictitious Supercontinent Cycles]. J. Marvin Herndon
16:00–16:15 EGU2014-1879. 密度変化：構造形成と地球の造構－力学進化の根本要因 [Density variability-fundamental basis of structure formation and tectonic-geodynamic evolution of the Earth] Hatam Guliyev, Ibrahim Guliyev, and Gurban Yetirmishli
16:15–16:30 EGU2014-7985. 地球スポットと渦学説 [Geo Spots and Vortex Theory]. Valentino Straser
16:30–16:45 EGU2014-1358. グローバルテクトニクスにおける地球脱ガス（コアからの拡散）の役割 [Role of the Earth degassing (the core emission) for the global tectonics]. Nina Pavlenkova
16:45–17:00 EGU2014-1153. 陸棚における内因的地球生態作用への造構的条件の形成 [Tectonic conditionality endogenic geoecological processes on a shelf]. Mikhail Kholmiansky, Vladimir Anokhin, and Galina Kholmianskaia

ポスター要旨と討論

- PSD 16.27-T.S. 1.3: グローバルテクトニクスの新しい考え方 [Alternative Thoughts in Global Tectonics] — 5月2日(金) 08:30 ~ 09:15, B7 会場, 議長: Karsten M Storetvedt • J. Marvin Hendron
- B537 EGU2014-82. EGUにおける科学的真実をめぐる激しい論争 [Hard fight for scientific truth in EGU]. Lubor Ostrihansky
- B538 EGU2014-1152. 震源帯と大洋中央海嶺—プレートパラダイム以外の視点を求めて [Seismofocal zones and mid-ocean ridges - look outside of the plate paradigm]. Vladimir Anokhin and Mikhail Kholmianskii
- B539 EGU2014-1177. 地殻磁場異常とグローバルテクトニクス [Crustal Magnetic Field Anomalies and Global Tectonics]. Karsten Storetvedt
- B540 EGU2014-2581. GIS ENDDB デジタルモデルで認定された地震活動と衝突クレーターの典型的構造要素 [Typical structural elements of seismicity and impact crater morphology identified in GIS ENDDB digital models]. Anna Mikheeva
- B541 EGU2014-3235. 巨大重力天体の地球表面への影響 [Gravitational large bolides influence on the Earth's surface]. Anna Mikheeva and Konstantin Khazanovitch-Wulff
- B542 EGU2014-4327. ダイアトリームの領域や地帯にみられる関連性のない造構的位置について [About independent tectonic position of diatrema fields and zones]. Konstantin Khazanovitch-Wulff
- B543 EGU2014-7604. アイスランドの地殻 — 再評価 [The crust of Iceland- a reassessment]. Biju Longhinos
- B544 EGU2014-11270. 地球造構学分野で展開される議論の知識工学的研究 [Knowledge Engineering Approach to the Geotectonic Discourse]. Cyril Pshenichny
- B545 EGU2014-11510. 地球と月における放射性鉱物分布の相違がもたらす造構活動への影響 [Implications of the differences in radioactive mineral distributions in earth and moon on tectonic activity]. Girish T Easwaraiyer, Varnana Mohana Kumar, Thara Nalini Sathyan, Anjana Panicker, and Biju Longhinos
- B546 EGU2014-16736. 全世界的な環状造構渦帯—地球流の再考: 南半球環状電流 EM プラズマと西太平洋周縁の造構的結合 [World Encircling Tectonic Vortex Street - Geostreams Revisited: The Southern Ring Current EM Plasma-Tectonic Coupling in the Western Pacific Rim]. Bruce Leybourne, Christian Smoot, and Biju Longhinos
- B547 EGU2014-1155. グローバルテクトニクスの新概念を創造する基礎 [Bases of creation of new concept in global tectonics]. Vladimir Anokhin
- B548 EGU2014-6964. インド洋西部における Iles Rodrigues 諸島と Chagos-Maldives 諸島との間の海底地形 [Ocean bottom characteristics between Iles Rodrigues and Chagos-Maldives Archipelago in western Indian Ocean]. Biju Longhinos, Radhakrishnan Thanu Iyer, and Karthika Mohan

|||||

造構作用委員会の“CTOD WG4: 造構－火成活動活性化 (DIWA) グループ”

期日：2014年8月19～22日

“CTOD WG4：造構－火成活動活性化（DIWA）”専門委員会の候補者リストは次のとおりである。公式委員メンバーは、昆明会議で選出される予定である。

Prof. Takao Yano, Department of Environmental Science, Tottori University, Japan. yano@rstu.jp

会議前ワークショップ・ショートコース	2014 年 8 月 17 ～ 18 日
登録開始, 展示会場開会	2014 年 8 月 18 日
レセプション Ice Breaker	2014 年 8 月 18 日夕刻
開会式	2014 年 8 月 19 日午前
第 14 回 IAGOD 会議歓迎夕食会	2014 年 8 月 19 日夕刻
学術プログラム	2014 年 8 月 19 ～ 22 日
閉会式	2014 年 8 月 22 日
会議後野外見学旅行	2014 年 8 月 23 ～ 27 日

詳細 www.14iagod.org

財政的支援について FINANCIAL SUPPORT

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

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

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

■ 送金方法

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

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

口座名 : New Concepts in Global Tectonics

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

■ 銀行振替あるいは小切手でお支払いの場合は

宛名 : New Concepts in Global Tectonics

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

■ 現金で銀行送金する際の銀行口座の詳細

銀行名 : Commonwealth Bank (Swift Code: CTBAAU25),

Belconnen Mall ACT Branch (BSB 06 2913)

口座番号 : 06 2913 10524718

口座名義 : New Concepts in Global Tectonics

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. 組織の照準を、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。