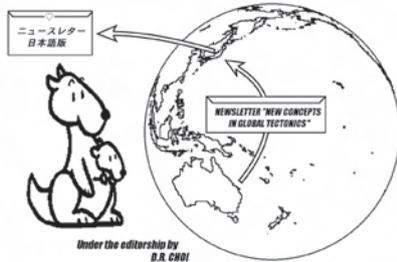


ニュースレター グローバルテクトニクスの新概念



NEWSLETTER New Concepts in Global Tectonics

No. 43 2007年6月 ISSN: 1833-2560 編集: D.R. Choi (日本語版 2007年10月)



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

も く じ

■ 編集者から	2
■ 編集者への手紙	2
■ 原著論文	
大洋底でみつかると大陸性岩石と古期古期岩石 B.I. VASILIEV AND YANO T.	3
ANCIENT AND CONTINENTAL ROCKS DISCOVERED IN THE OCEAN FLOORS	
地球へ接近する巨大隕石の地質学的帰結 I. D. LINDLEY	15
GLOBAL CONSEQUENCES OF LARGE METEORIC BODIES APPROACHING THE EARTH	
千島弧で2006年後期と2007年前期に起こった巨大2連地震 C. BLOT, D.R. CHOI AND B.I. VASILIEV	18
THE GREAT TWIN EARTHQUAKES IN LATE 2006 TO EARLY 2007 IN THE KURIL ARC	
電磁気学的方法方法などによる最近の地震先駆先駆現象 A. BAPAT	29
SEISMO-ELECTRO-MAGNETIC AND OTHER PRECURSORY OBSAVATION FROM RECENT EARTHQUAKES	
固体惑星惑星の潮汐と深層の差動運動 L. A. MASLOV AND V.A. ANOKHIN	32
SOLID PLANETARY TIDES AND DIFFERNETIAL MOTION OF DEEP LAYERS	
気候へのテクトニクスの支配 TECTONIC CONTROL OF CLIMATE C. OLLIER	38
■ 短報	
全地球的剪断変形 GLOBAL SHEAR DEFORMATION H.F. DE KALB	47
地球科学と一般教養の重要な研究対象としての南米太平洋縁 Giancarlo SCALERA	43
SOUTH AMERICAN PACIFIC MARGIN AS KEY TRARGET FOR GEOSCIENCES AND GENERAL CULTURE	
■ コメントコメントと回答 ISOSTASY, EARTHQUAKE VAPOR THEORY	58
■ 出版物 太平洋地質学-地球物理学アトラス B.I. VASILIEV	63
INTERNATIONAL GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL ATLAS OF THE PACIFIC OCEAN	
■ 本の紹介 恐竜絶滅に関する大論争 THE GREAT DINOSAUR EXTINCTION CONTROVERSY C. SMOOT	65
■ ニュース	67
■ 財政的財政的支援・ニュースレターについて	68

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(優先順に記述)の中からお選び下さい: NEW CONCEPTS IN GLOBAL TCTONICS 1) Eメール: editor@ncgt.org, ncgt@ozemail.com.au, または ncgt@hotmail.com ; 1ファイルは5MB(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 NEWS LETTER 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)。年間購読料; 電子版一人 U\$30, 図書館 U\$50, 印刷版一人 U\$50, 図書館 U\$70 (詳細は p.68)

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

翻訳・編集: NCGT ニュースレター翻訳グループ

赤松 陽 岩本広志 川辺孝幸 国末彰司 窪田安打 久保田喜裕 小泉 潔 小坂共栄
小松宏昭 佐々木拓郎 柴 正博 角田史雄 宮川武史 宮城晴耕 山内靖喜・輝子 矢野孝雄

編集者から FROM THE EDITOR

(赤松 陽 [訳])

私たちは、専門家の手で構成された NCGT のウェブページが本号から発行されたことを喜んでいますが、読者のみなさまは、ニュース誌面の段組が1段になったことともに、ロゴのついた表紙デザインが一新されたことに気づかれたでしょう。この改良のための財政的支援は、イタリアの INGV からいただきました。また、ロゴは、キャンベラでウェブサイトデザイナー兼経営者である Encode Polymedia によってデザインされました。私たちは、魅力的なデザインのロゴのコンペに参加された方々に感謝します。

新しいウェブサイトは、いっそう手軽にそして機能的に利用できるになっています。私たちは、読者の便宜をはかるために、近い将来、サイト内のいくつかの不十分な部分を改善しようと考えています。NCGT グループの新サイトについて、何なりとご感想やご意見をお寄せくださることを歓迎いたします。

本号は、NCGT のこれまでの歴史のなかで、もっとも厚いものとなりました。興味深い、刺激的な、質の高い論文で満ち溢れています。Vasiliev 氏・矢野氏の論文はグローバルテクトニクスにかかわっている地質学や地球物理学界のすべての人々によって読まれるにちがいありません。彼らは、世界の大洋底で、現在までに発見されている古い時代の大陸性岩石を報告しています。それらが広い範囲に存在することは、まったく圧倒されることです。

ジオダイナミクス (地球力学) のいかなる仮説を構築する上でも、この論文で述べられている明白な事実は、考慮すべきことがらとして優先権が与えられるにちがいありません。Blot 氏らは、地震と地質構造の関係—現在は、2006 年末～2007 年はじめの千島弧沖の双子地震—の分析を続けています。主に地震電磁気的前兆に基礎を置いている Bapat 氏は、権威ある地震研究機関のほとんどが、他の方法で考えている (造構モデルとしてプレート説を採用している) という事実にもかかわらず、強い地震は予測できると考えています。これは、NCGT の何人かのメンバーによってなされている和達-ベニオフ帯の地質学的、地球物理学的検討と同様に、Shou 氏の地震雲や Blot 氏のエネルギー伝播概念とたいへん調和的です。

以上に加えて、地球の構造運動の諸現象へのあり得べき隕石体の接近による電気的な影響についての Khazanovitch-Wulff 氏によるたいへん勇気づけられる論文を、私たちは手にしております。Maslov 氏と Anokhinski 氏は、惑星の潮汐とその地球深部層への影響を分析しています。他に、気候と構造の問題に関する重要な論文が掲載されています。その1つが Ollier 氏の論文です。本号は、また、地球規模のせん断変形に関する De Kalb 氏の論文の前半の部分と、南米太平洋沿岸の系統的な地球物理的研究についての Scalera 氏の提案が含まれています。

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

(赤松 陽 [訳])

Cliff Ollier 教授へ

あなたは、何よりも、私が 86 歳という年齢に達して、10 年以上前にすべての地質学の活動から退いたこと、そして、地質学は、私にとっては、多くの趣味の中の単なる1つになってしまったということをご存知にちがいありません。このように、私は、もはや、現代のわれわれの科学の最近の発展に時代遅れとなっています。とはいえ、私は今でも、私の頭をよぎるこの問題 (グローバルテクトニクス) に関する論文を折にふれて読むことによって、グローバルテクトニクスに関連している新しい考えに興味をそそられています。私の注意は、『地球物理年報』の最新号のあなたの寄稿 (C. Ollier, 2003. 造山とネオテクトニクス時代. v. 49, p. 437-450) に引

き付けられました。

私はまた、あなたの手紙への2つの印刷された添付ファイルを読みました。あなたは、私が、昔、ネパールの地質の論文の中で、ヒマラヤ主境界衝上断層 (MBT) の急傾斜の状態に関連して述べたことに興味をもたれたようです。私は、次の一節を引用します (J. Geol. Soc. London, v. 137, 1980 の 26 ページから)。

“.....MBT の急傾斜化はマハバラート複向斜の地層に付随するものであった。それはおそらく連続的な水平応力によるとともに、提案されているように、上方への衝上運動と侵食作用によって分離したマハバラート山脈のアイススタシ的応答のような地殻のダウンウォーピン

グ（曲窪）によって形成されたのであろう。”（マハバラート複向斜は、カトマンドゥ地区にある低ヒマラヤマハバラート山脈の最も高い部分を形成する侵食を受けて分離した結晶質の衝上地塊と同一空間を占めている）。

このことから、また、侵食/クリープ/アイソスタシーによる上昇の相関関係は、あなたの造山運動についての考え方の基本的な見方であるように思いますが、私に

は、それがあなたの本をひじょうにおもしろくしていると思います。これには、あなたも理解を示されることでしょう。

Jovan Stoecklin
jo.stoecklin@bluewin.ch
5 January, 2007

原著論文 ARTICLES

大洋底でみつかると大陸性岩石と古期岩石 ANCIENT AND CONTINENTAL ROCKS DISCOVERED IN THE OCEAN FLOORS

B.I. Vasiliev

ロシア科学アカデミー、極東支部、V.I. Il'ichev 太平洋海洋学研究所、Vladivostok, 690041, ロシア
telsa@poi.dvo.ru

矢野 孝雄

鳥取大学地域学部地域環学科、鳥取、680-8551, 日本 yano@rstu.jp

（矢野 孝雄 [訳]）

編集者注：この論文は、『理科教室』（49 巻 7 号 p. 25-41）に掲載された上記著者らの論文の翻訳であり、「星の環会」から転載許可を得た。要旨は、著者たちによって加えられた。日本語から英語への翻訳は、Dong R. Choi と David Pratt による。

要 旨：海洋底拡大説によると、海洋地殻には、200Ma よりも古い岩石や大陸起源岩石が含まれることはない。しかしながら、大西洋、インド洋および太平洋には、2.55Ga まで遡る岩石や、花崗岩類・片麻岩・結晶片岩・グラニュライト・陸源粗粒砕屑岩のような大陸構成岩石が存在する。これらの岩石は、この仮説に場当たりの [ad hoc] な修正（たとえば、海嶺ジャンプ、トランスフォーム断層移動、振動的海洋底拡大、伝播性海嶺、拡大軸下のアセノスフェアにおける小規模でロール状の扁平な低速度対流、非拡大領域、など）を余儀なくした。その結果、この仮説は、当初の単純明快さと論理的な一貫性を失いつつある。さらに、これらの古期大陸性岩石は、海洋底拡大説の、そして同様に、プレートテクトニクスの前提命題が再検証されなければならないことを示唆している、と理解されるべきである。というのは、これまでに採取された古期大陸性岩石は偶然に発見されたものであり、将来の掘削やドレッジによって、世界中の海洋には古期大陸性岩石が系統的に実在していることが証明されるだろうからである。太平洋で、今後の深海掘削の対象とすべきいくつかの地域が提案される。

キーワード：古期岩石、大陸性岩石、大西洋、インド洋、太平洋

1 まえがき

地球表層部の運動は、プレートテクトニクスによって説明されるのが一般的である。この学説は、研究機関のみならず、高等学校の教科書、さらには大学入学試験においても、「証明された学説」であるかのようにあつかわれている。

プレートテクトニクスによれば、地球表層は 10 数枚の岩板（プレート）に覆われていて、それらは 1~10cm/年の速度で、剛体のように変形しないで相対運動する。プレート境界における相対運動には、「はなれる」、「ぶ

つかる」、「片方が」しずみこむ」、そして、「すれちがう」、という 4 つの様式がある。

このような単純明快な主張から出発したにもかかわらず、プレートテクトニクスは、それと矛盾する事象を説明するために複雑化の一途をたどってきた。プレートはどんどん細分されて、いくつかのものはわずか数 100km サイズになった。また、プレート運動に、局所的な特異運動をつけくわえざるをえなくなった。また、世界中の歴大な研究が時代を追って集大成されることがあるならば、それは、惑星の運動を説明するために周転円や離心円などを組み合わせたプトレマイオスの惑星運動よりも

複雑なものになるう。

野外の事実は、じつに複雑で、おもしろい。それらのすべてを包摂する総合的学説の成立には、まだまだ時間がかかりそうである。私たちは、この論文で、生まれつつある新しい地球観のかすかな足音をお伝えしたい。

2 海洋プレートのおいたち

プレートテクトニクスは、海洋プレートのできかたを次のように説明する (図1) : 中央海嶺は2つのプレートが「はなれる」境界であり、そこでは、プレート間に生じる空間に深部からマグマが上昇する。それらが冷却・固化して、新たな海洋地殻が生まれる。このプロセスがくりかえされて、海洋底が生成・拡大する。古い海洋地殻は、「しずみこむ」境界、すなわち海溝で、大陸や島弧の下にもぐりこんでいく。こうして、海洋底は、全体としてみるとたえず更新されていて、現在の海洋底には2億年よりも古い岩石は存在しない。

多くの中央海嶺には中軸谷があり、断裂帯によって変位している (図1)。中央海嶺の下では、断熱上昇するマントル物質が部分溶融して、20~30%ほどのメルトを生じる。メルトが集まってできたマグマは、さらに上昇して、中央海嶺直下に玄武岩質マグマだまりをつくる。マグマは上方へ貫入・噴出して玄武岩となる。この過程でマグマから晶出した結晶は、マグマだまりの底に沈積して、はんれい岩やかんらん岩をつくる。玄武岩の表面は、やがて深海堆積物 (平均粒径 $5 \mu\text{m}$ 以下、遠洋性粘土、あるいは、浮遊性生物遺骸からなる軟泥) に覆われていく。このように、海洋地殻は深海堆積物と玄武岩質岩石でできていて、花崗岩・変成岩・陸源粗粒砕屑物のような大陸性岩石を含まない。

ところが、研究の現場では、いくつもの不可解な事実が知られている。たとえば、上田 (1983) は、プレートテクトニクスにとって「.....一番困るのは中央海嶺をはじめ、海底のあちこちで採集される古い岩石や大陸性の岩石の問題であろう。氷山の運んできたものといって全部が説明できるなら問題はないのだが.....」という。もし、古期岩石や大陸性岩石が実在するとすると、プレートテクトニクスの論理は、深刻な矛盾に直面する。

以下では、大西洋、インド洋および太平洋で発見された大陸性岩石や古期岩石について紹介する。

3 大西洋

大西洋は、パンゲアの西部が東西に分裂してできたという。ところが、実際には、40あまりの地点で大陸性岩石や古期岩石が発見されている (図2)。

これらの岩石の一部は、氷山によって運搬された可能性や、船舶バラストの可能性をもつ。しかし、図2に示された17地点では、海底掘削や海底岩盤のドレッジによって得られた大陸性岩石を産し、それらは、疑いもなく、その場に存在する現地性岩石である。

(1) 北部北大西洋

北大西洋の北部には、ところどころに、大陸性岩石が存在する (図3) : ヨーロッパ側のロッコール海台 (R : 先カンブリア系 [紅色]), ボーリング海台 (V : 新生代層 [黄色]) におおわれた中-古生界, および、その南方の上部白亜系 [黄緑色] のほか、大西洋の中軸部にヤンマイエン海嶺 (J) の中-古生界 [緑色 - 緑褐色]。

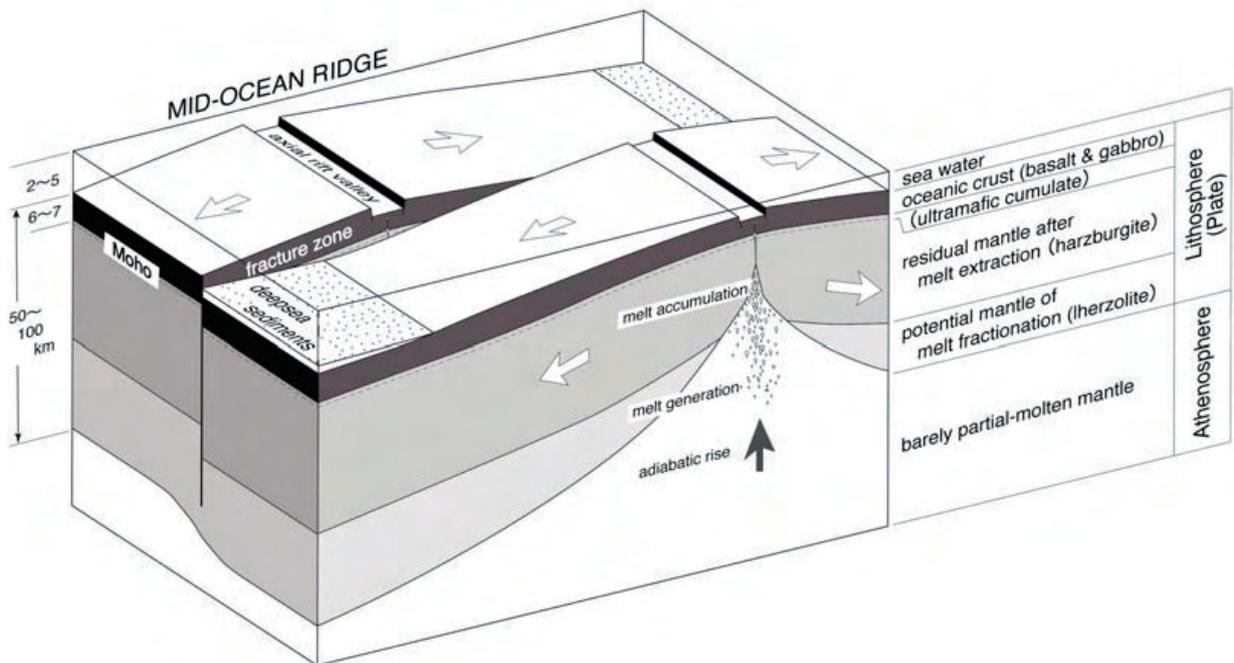


図1 中央海嶺における海洋プレートの形成モデル (Dewey and Bird, 1970 を修正).

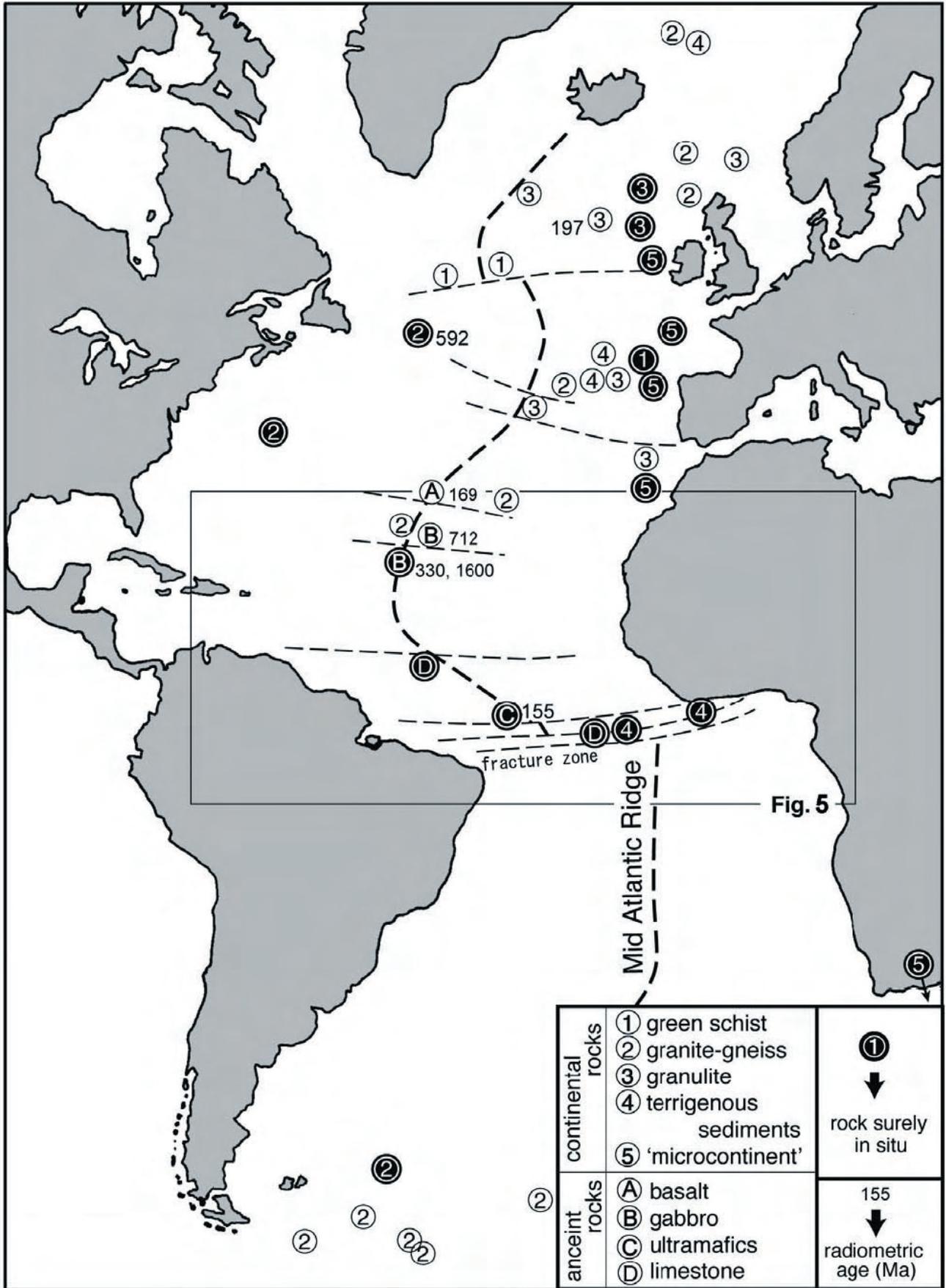


図2 大西洋における古期・大陸性岩石 (Rezanov, 2002, および, 多くのデータから編図).

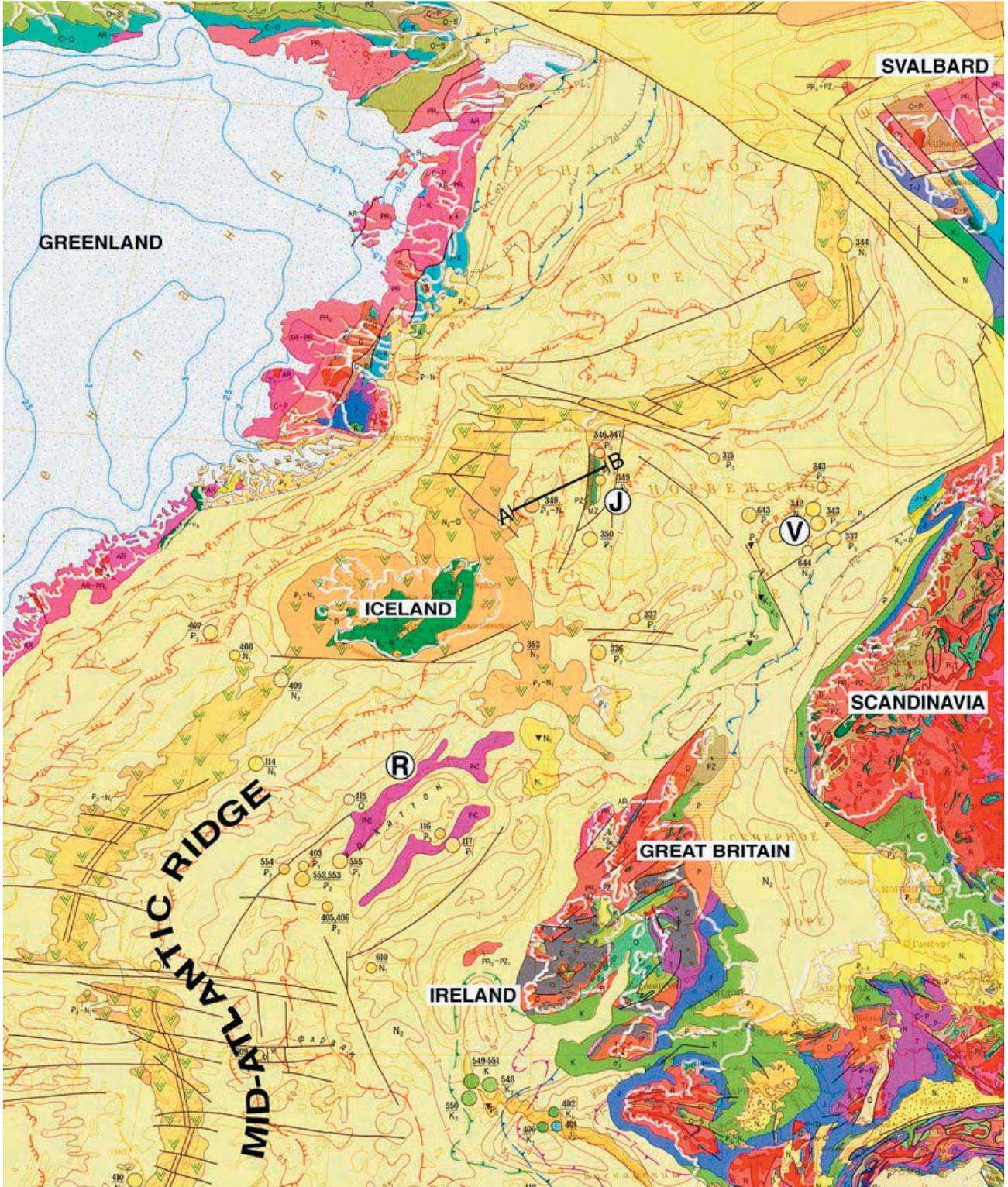


図3 世界地質図 (B.A. Jatskevich 編集, 2000 年刊) の北大西洋域. J: ヤンマイエン海嶺, V: ボーリング海台, R: ロックール海台, A-B: 図4の探査測線.

ヤンマイエン海嶺は、幅 100 ~ 150km・長さ 500km ほどの断層地塊である (図 4: Talwani and Udintsev, 1976). 海嶺表面は、遠洋性堆積物 (層厚 120m, 薄いために音波探査断面では判別できない) におおわれている. 表層の遠洋性堆積物の下には、東へ傾斜した堆積層が存在し、より深部の地震波速度構造とも調和的である. 遠

洋性堆積物基底の傾斜不整合は陸上浸食によって形成されたものであり、不整合の直下では後期始新世~前期漸新世の陸源碎屑岩 (砂質泥岩・砂岩) が掘削された. それゆえに、下位の厚い堆積層は中生界~古生界であると推論されている.

海嶺の構造探査結果によると、この海嶺は大陸性である.

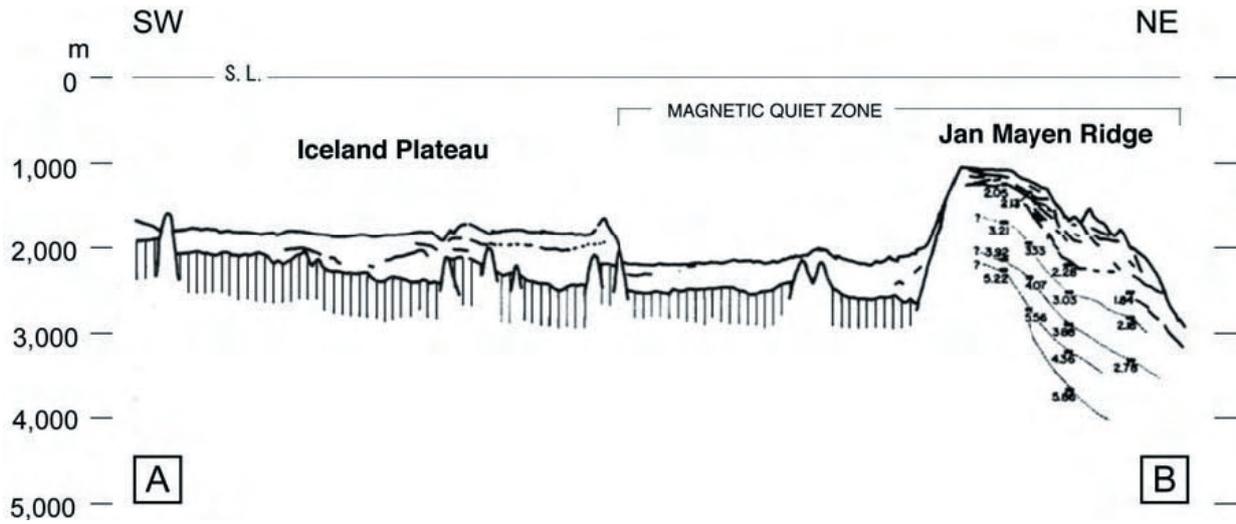


図4 北大西洋のヤンマイエン海嶺を横切る音波探査断面のスケッチ (Talwani and Udintsev, 1976). 測線位置は図3.

最近出版された地質図・断面図 (Sigmond, 2002) は、東傾斜の中生界 (白亜系～三畳系) と古生界 (二畳系～デボン系) および先デボン紀大陸地殻の存在を明示した。

ヤンマイエン海嶺をつくる微小大陸について、Talwani and Udintsev (1976) および Gudlaugsson et al. (1988) は次のように説明した。この微小大陸は、前期漸新世まではグリーンランドの沿岸海域の一部であって、そこには隣接する陸域から陸源堆積物が供給されていた。当時の中央海嶺は、この沿岸海域とヨーロッパ大陸のあいだにあった。ところが、後期漸新世になると、中央海嶺が西へジャンプ [ridge jump] し、グリーンランドの海岸線付近で大陸分裂がおり、微小大陸 (幅 100～150km x 長さ 500km) が形成された。この分裂による間隙に大西洋中央海嶺が生じ、それにつづく海洋底拡大によって、微小大陸が東へ移動した。

ヤンマイエン海嶺の起源は、中央海嶺のジャンプによって説明されたが、そのメカニズムについて、明瞭な説明はされていない。さらに、このジャンプは、大西洋中央海嶺の全長のうち、1,000kmの区間に限って発生したのである。これは、新しく微小大陸が発見されるたびに、プレート運動がより複雑化することを示す1つの典型である。

(2) 赤道大西洋

赤道大西洋には、多くの大規模な断裂帯が存在するため、中央海嶺が不連続になり、海底地形も複雑になる。そこには、次のような現地性の古期岩石や大陸性岩石が分布する (図5)。

1) 古い年代のジルコンを含むはんれい岩 (図5-a)

ケイン断裂帯の南方5～35kmでは、中央海嶺中軸谷の西壁に、かんらん岩やはんれい岩が露出する。深海掘削によってえられたはんれい岩には、多数のジルコン結晶

が含まれていた。Pilot et al. (1998) は、3つの年代測定法にもとづいて、これらのジルコンから2グループの生成年代をえた：3.3億年前 (古生代) および16億年前 (原生代)。

彼らは、これらのジルコンの古い年代を、次のように説明した：およそ2億年前に Gondwana 大陸が分裂し、大西洋が開口しはじめたときに、原生代～古生代の岩石を含む大陸地殻の破片が、中央海嶺両側のマントル浅部に発達する小規模な扁平対流に、もしくは、断裂帯下の最上部マントルにできる非漂流域にとらえられて、長時間にわたって中央海嶺の近傍にとどまった。大陸地殻の破片は、マントル中で暖められて、溶融した。しかし、融け残った部分が、中央海嶺のマグマだまりで固化しつつあるはんれい岩に包有された。はんれい岩は、その後、断層運動によって隆起し、中軸谷の西壁を構成した。

中央海嶺で発見された古い年代の岩石を説明するために、プレートテクトニクス論者は、「小規模扁平対流」や「非漂流域」という新しい概念を導入せざるをえなかった。しかし、すべてが新生し、移動しつづける造構環境の中で、そのような停滞あるいは非拡大をいかなるメカニズムがうみだすのか、また、玄武岩よりも融点が高い大陸の破片が長期間にわたって融け残ったのか、いずれも、よくわかっていない。

2) 古期石灰岩 (図5-b)

ヴェマ断裂帯の南側には、断裂帯に沿う線状隆起帯 (幅 20km, 長さ 400km 以上) が存在し、ヴェマ横断海嶺とよばれる (Bonatti and Cane, 1982)。この海嶺は白亜紀～前期漸新世の遠洋性石灰岩に覆われていて、予測される海洋底年代 (中新世) に比べて3,000万年以上も古い。海嶺の水深は、海洋底の理論的沈降曲線に比べて、最大で4,000mも浅い。さらに、海嶺頂部は浅海性石灰岩におおわれていて、後期中新世～鮮新世中頃に陸上に露出していた。

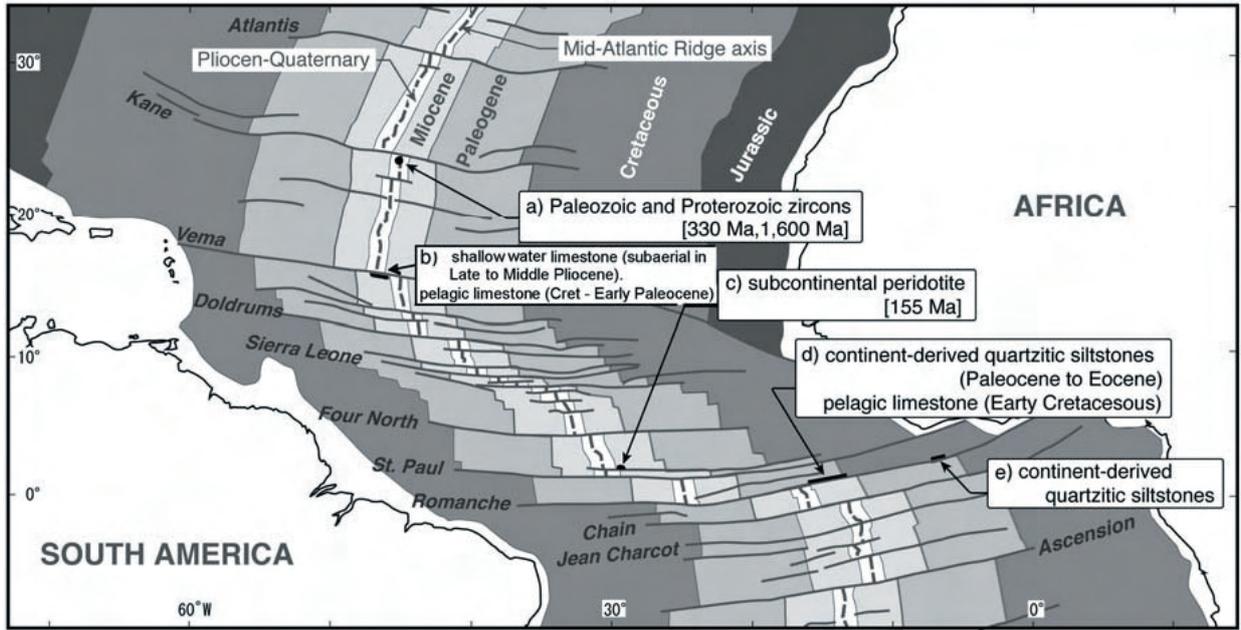


図5 赤道大西洋における古期・大陸性岩石. 図の位置は, 図2参照. 海洋底年代はDercourt (2000).

ヴェマ横断海嶺の形成について, Bonatti and Crane (1982) は, 後期中新世に中央海嶺軸が左回転 ($10^{\circ} \sim 15^{\circ}$) と, それにともう地殻変動 (断裂帯の移動と方向転換, 地殻スライスの移動方向の逆転 [振動的海洋底拡大], 局所的圧縮応力による地殻スライスの隆起, など) によって説明を試みた. しかし, 彼らは, 海嶺軸の局所回転や複雑な変動メカニズムには, 具体的データと詳細な評価が必要であることを自認している.

3) 大陸性かんらん岩 (図5-c)

セントポール岩は, 赤道のすぐ北にある小さな岩礁である. この岩礁は, セントポール断裂帯の北側に位置する. それは, 断裂帯の隆起部が海面上にあらわれたものである. チャールズ・ダーウィンは, ビーグル号航海の途上, 1831年にこの岩礁に上陸し, この岩礁がふつうの火山島ではないことに気づいた.

この岩礁と海底隆起は, おもにかんらん岩・角閃岩でできている. 不思議なことに, これらの岩石は中央海嶺から200km未満の距離にありながら, およそ1.55億年前に交代変成作用をこうむったことを示す放射年代がえられた (Roden et al., 1984). さらに, かんらん岩の化学組成, 同位体組成および平衡温度などは, 中央海嶺下のマントルとは大きく異なり, 大陸リフト下のマントルに類似する (Bonatti, 1990).

これらの事実にもとづいて, セントポール岩礁は, 大陸下の上部マントルが, 赤道大西洋のリフティングにもなって断片化し, 1億年以上にわたって中央海嶺付近に残留したものだ, と説明された. しかし, 提案されたメカニズム—トランスフォーム断層の移動, 振動的海洋底拡大—は, 十分に信頼に足るものにはなっていない.

4) 古期堆積岩層 (図5-d, -e)

Bonatti et al. (1996) によると, ロマンシェ断裂帯の北縁には, 厚い堆積岩層 (層厚4km以上) が分布する (図5-d). 堆積岩層の下部は前期白亜紀 (約140 Ma) の遠洋性石灰岩で構成され, 近傍の古第三紀海洋地殻 (55 Ma) に比べて著しく古い. 堆積岩層の上部は, 石英シルト岩とバイオミクライト (砂粒サイズの生物片 + 石灰泥基質) からなる. 角ばった石英粒子 ($100 \sim 200 \mu\text{m}$) は, この掘削地点の近傍に, 花崗岩質大陸が存在したことを示す. 同様のシルト岩は, アフリカ沖にも分布する (図5-e).

ロマンシェ断裂帯には, これらの「謎めいた」堆積岩層が存在する. Bonatti et al. (1996) は, これらの説明には, プレートテクトニクスの単純な運動に, 中央海嶺ジャンプ, 振動的海洋底拡大, 鉛直運動などをはじめ複雑なメカニズムを追加する必要がある, という.

4 インド洋

インド洋は, 超大陸パンゲアの南半部をつくらせていたゴンドワナ大陸が白亜紀に分裂し, それにつづく海洋底拡大によってできた, とひろく信じられている. その過程で, インドとオーストラリアが南極大陸から分離した. インドは, ユーラシア大陸に「ぶつかる」ことによって, アジアの一部になった. オーストラリアは, 現在もお北上中であるという.

インド洋には, 3つの中央海嶺—インド洋中央海嶺, 南東インド洋海嶺および南西インド洋海嶺—が存在し, それらはインド洋中央部で接合する (図6). さらに, 海台や海嶺 (あるいは海膨) とよばれる多くの隆起地形に

よって、海洋底の起伏は複雑化している。

(1) 海台・海嶺

水深 4,000 ~ 5,000m の海洋底から隆起している海台・海嶺は断層ブロック化し、頂部水深はさまざまである。いくつかの断層の落差は、1,000m 以上に達する。

これらの隆起部では、一般に、地殻が厚く (15 ~ 25km)、通常の海洋地殻の 2 ~ 3 倍に達する。セイシェル海台北部の地殻は 33km で、通常の大陸地域に匹敵する。これらの海台や海嶺の表層は、白亜紀以降の玄武岩類によって広くおおわれているため、多くの場合、玄武岩類が厚

く累重した火山体であるのか、あるいは、火山岩におおわれた微小大陸であるのか、判断が困難である。ただし、インド洋北西部の海台・海嶺の多くは、マダガスカル島と同様に、大陸地殻をもつと考えられている。

(2) 大陸性岩石

インド洋では、海台・海嶺の 6 地点で大陸性岩石が、12 地点で地球化学異常 (大陸性物質の混入) を示す火山岩類が、そして、3 地点で粗粒な陸源堆積物が報告されている。

1) 花崗岩 - 片麻岩類 (図 6, 星印)

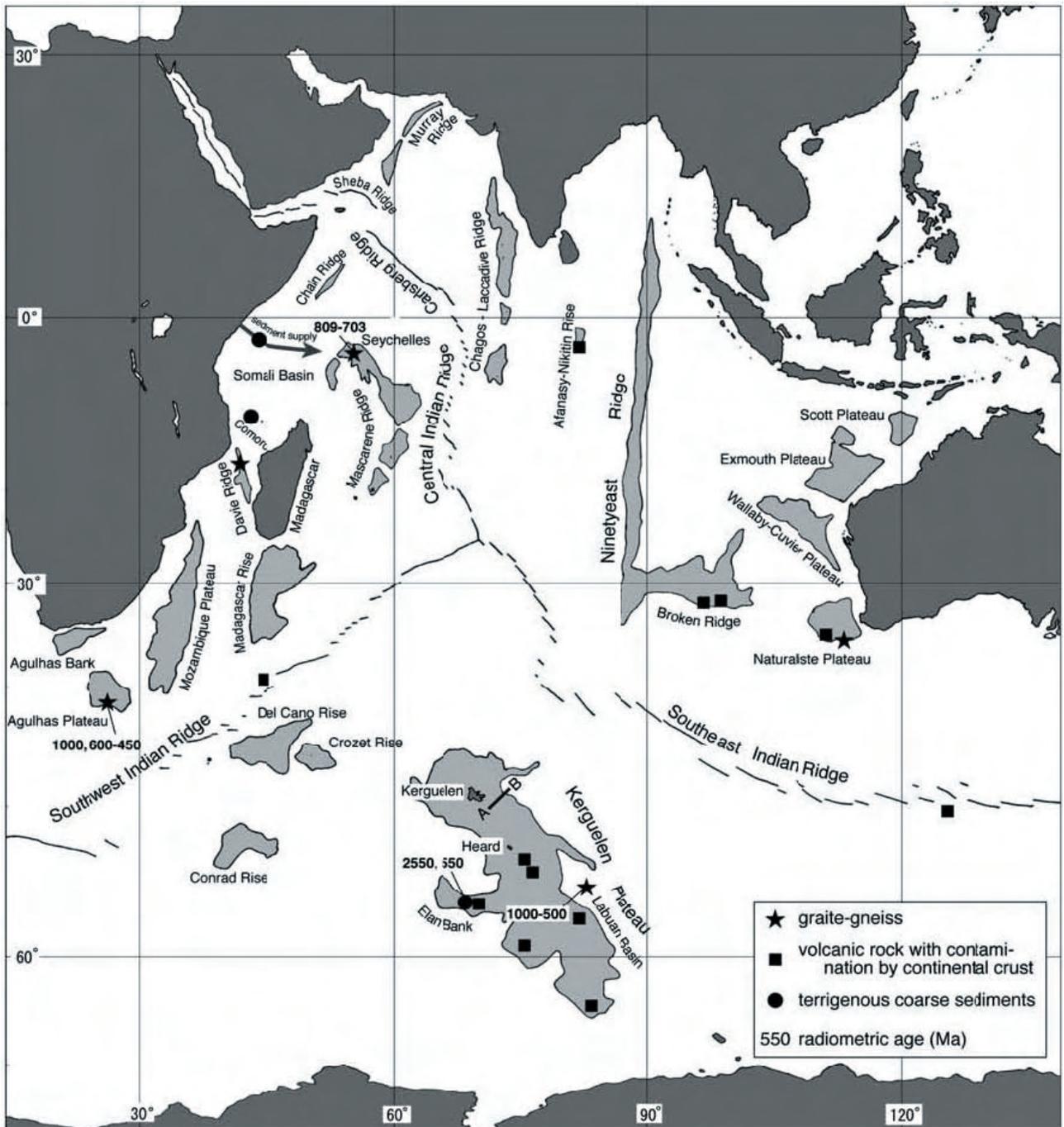


図 6 インド洋における古期・大陸性岩石 (多くの資料から編図)。

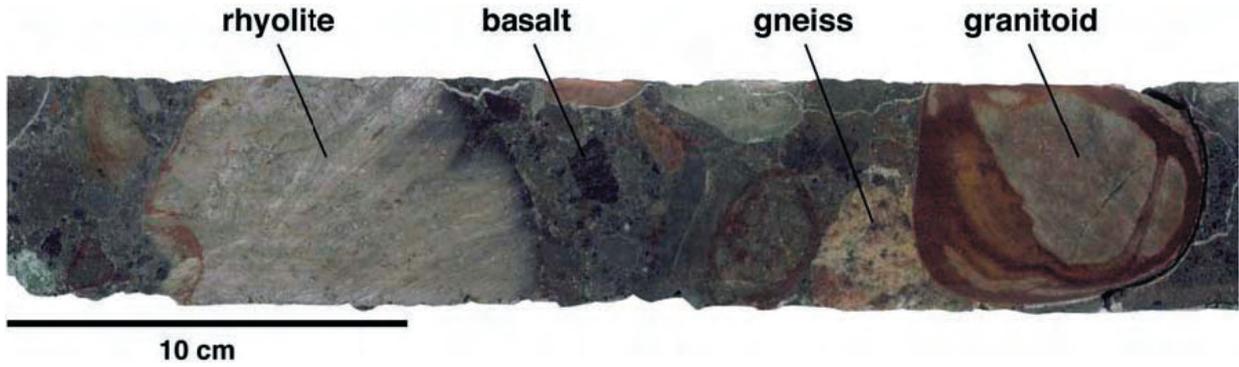


図7 ケルグレン海台のエラン堆 (ODP Site 1137A) で掘削された礫岩 (Frey et al., 2003) .

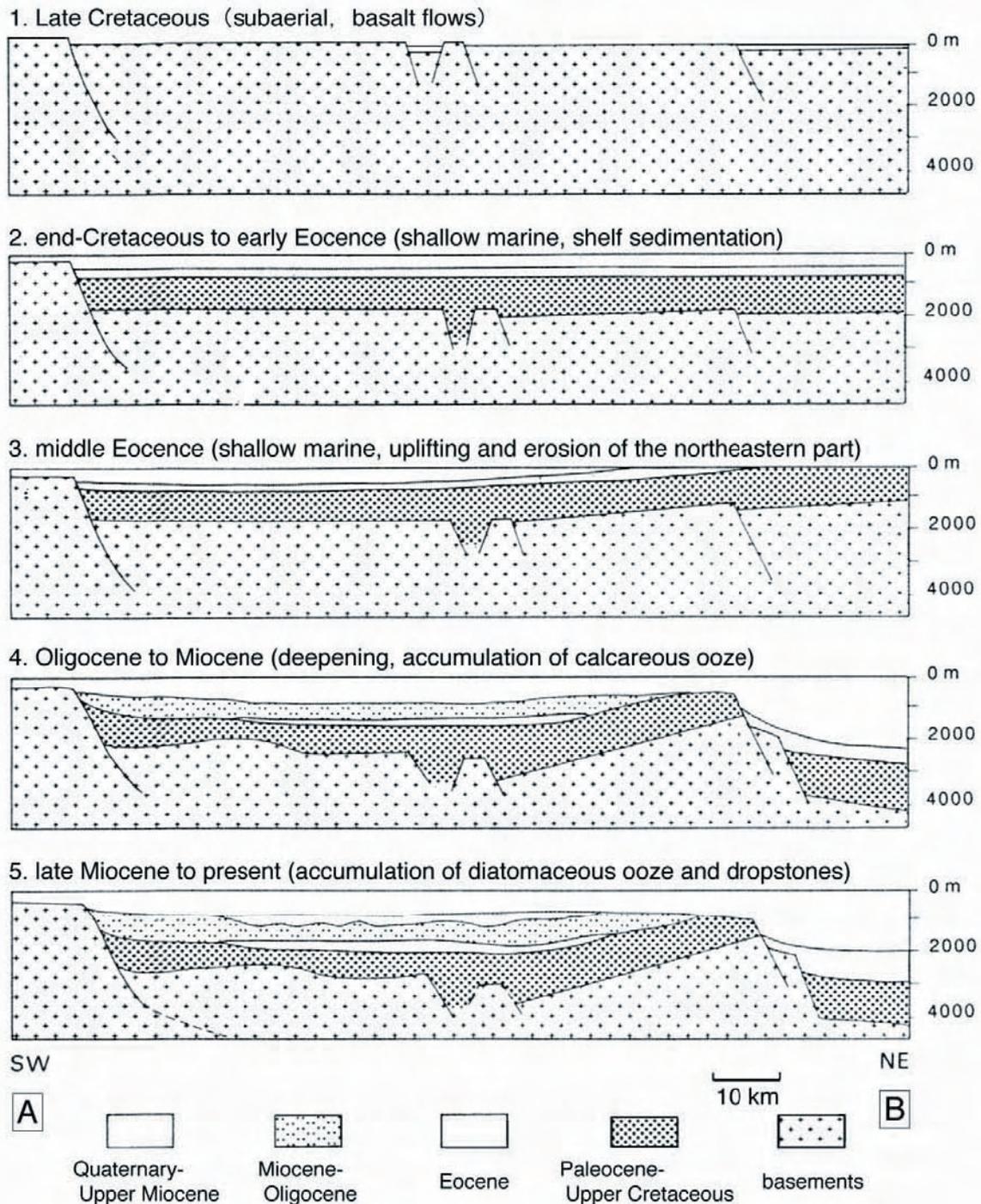


図8 ケルグレン海台の沈降プロセス (Shipboard Scientific Party, 1989 を修正) . 後期白亜紀前半の古環境については, 新しい深海掘削 (Frey et al., 2003) によって, 浅海環境というかつての解釈を陸上環境に修正された. 断面位置は図7.

セイシェル諸島は、サンゴ礁の島々である。ところが25の島では、その下位に、原生代末期の花崗岩類 (800 ~ 700 Ma) が存在する (Ashwal et al., 2002)。

アフリカ沖のアグラス海台では、大陸地殻に特有な変成岩類 (結晶片岩, 片麻岩, グラニュライトなど) がドレッジされた (ウージェンチェフ, 1990)。それらの同位体年代は、これらの岩石が1,000 ~ 600-450 Maに生成したことを示す。

オーストラリア南西方のナチュラルステ海台では、花崗岩-片麻岩がドレッジされた (Frey et al., 2003)。

インド洋南部中央のケルゲレン海台では、その北東を縁どるラブアン海盆の基盤岩隆起部で、10 ~ 5億年前の変成岩・花崗岩類がドレッジされた (Gladczenko, 2001)。

2) 地球化学的異常を示す火山岩類 (図6, 四角印)

インド洋玄武岩類の同位体組成 (ストロンチウム, ネオジウム, 鉛など) は、大西洋や太平洋のものとは比べて、著しく異なる (Weis et al., 2001)。その原因は、玄武岩マグマの給源マントルにさまざまな割合で混入した大陸地殻あるいは大陸リソスフェア由来の物質に求められる。同位体異常は、海台・海嶺のほか、中央海嶺でもみとめられる。Weis et al. (2001) は、インド洋下のリソスフェアおよびアセノスフェアの中には、大陸性物質が広く分散して存在していると考えた。

ちなみに、ケルゲレン海台から南西へのびるエラン堆では、礫岩が掘削された (図7)。この礫岩は、流紋岩礫と粗面岩礫を含む。これらの火山岩礫の同位体組成は、火山岩マグマが大陸地殻の部分溶融によってできたことを示す (Ingle et al., 2002)。

3) 陸源粗粒堆積物 (図6, 黒丸印)

インド洋北西部のソマリ海盆の屈折法地震探査は、厚さ数kmに達する堆積層がひろく分布することを明らかにした。深海掘削の結果、始新世~後期白亜紀の石英砂岩 (ざくろ石・電気石などを含む) と泥岩が掘削された (The Shipboard Scientific Party, 1977)。この堆積層は、西方へ厚くなることから、アフリカ大陸から供給された深海タービダイトであり、未掘削の最下層はジュラ紀まで遡ると推論されている。ソマリ海盆南縁のコモロ諸島の玄武岩溶岩から多数の石英砂岩ゼノリス (最大径30cm) が発見され (Flower and Strong, 1969)、玄武岩の下位に陸源粗粒堆積物が存在することを示す。

インド洋南部ケルゲレン海台での深海掘削によって、この海台を広くおおむね後期白亜紀~始新世の玄武岩溶岩のほとんどが陸上を流れた溶岩であることが明らかになった (Frey et al., 2002)。溶岩流に挟在する堆積層から、木片やシダ類化石も発見された。海台から南東へ突出す

るエラン堆では、白亜紀の陸上玄武岩溶岩流にはさまれた河川性礫岩 (層厚26m) が掘削された。構成礫は直径数cmで、アルカリ玄武岩、流紋岩、花崗岩類、ざくろ石片麻岩などからなる (図7: Ingle et al., 2002)。礫の間を埋める砂粒子中のジルコン・モナザイトは、2.55 Ga (始生代末) および550 Ma (原生代末) の放射年代を示す。これらの礫岩は、白亜紀のエラン堆に礫質河川が存在し、礫質堆積物は花崗岩・片麻岩でできた先カンブリア系山地に由来したことを証拠づける。

(3) 海台・海嶺の沈降

ウージェンチェフ (1990) によると、インド洋の被覆堆積層は、多くの海台・海嶺が、白亜紀~中新世に、とくに古第三紀を中心に比較的急速に深海化したことを記録している。この深海化プロセスでは、断層地塊運動が優勢であった。個々のブロックごとに、沈降水量・沈降時期・傾斜などが少しずつ異なっていたため、現在の海台・海嶺にみられる複雑な地塊状地形ができあがった。

たとえば、ケルゲレン海台の深海化のプロセスは、図8のA-B断面で示されるように復元される (Shipboard Scientific Party, 1989): (1) 後期白亜紀前半に、陸上での断層ブロック運動がはじまった。玄武岩溶岩がくりかえし流出し、海台をおおった。(2) 後期白亜紀末~始新世には海進があり、沈降ブロックは海水におおわれ、当時の幅広い大陸棚には浅海性堆積物が堆積した。(3) 中新世以降、気候の寒冷化にともなって、珪藻軟泥が堆積し、やがて、氷山がはこんできた角礫も堆積した。

ケルゲレン海台では、このようにして、かつての広大な陸地 (2,000 x 400km) がの現水深-1,000 ~ -2,000mまで沈降した。もっとも大きく沈降したのは海台南東縁のラブアン海盆であり、現在では水深4,500mになっている。この海盆には変成岩・花崗岩類 (1 ~ 0.5Ga) が露出して (Gladczenko, 2001)、大陸地殻が伏在していることを証拠づける。この事実は、Belousov (1960) が提唱した大陸の海洋化が起こったことを示唆する。

インド洋の他の海台・海嶺の沈降~深海化のメカニズムはよくわかっていない。もし、それらが、かつての大陸のなごりであるとする、激しい玄武岩質火山活動ともなって進行した沈降~深海化が、Weis et al. (2001) が想定したとおり、大陸性物質の混入に特徴づけられる地球化学的異常をひきおこした可能性がある。

5 太平洋

プレートテクトニクスによると、太平洋は、3 ~ 2億年前に合体したパンゲア (300 ~ 200 Ma) よりも一世代古い600 ~ 700Maのゴンドワナの分裂にともなって発生した。分裂後の地史は、海洋底拡大と沈み込みによって特徴づけられ、海洋プレートを常に更新してきた。それゆえ、太平洋底には、2億年よりも古い岩石や大陸性岩石

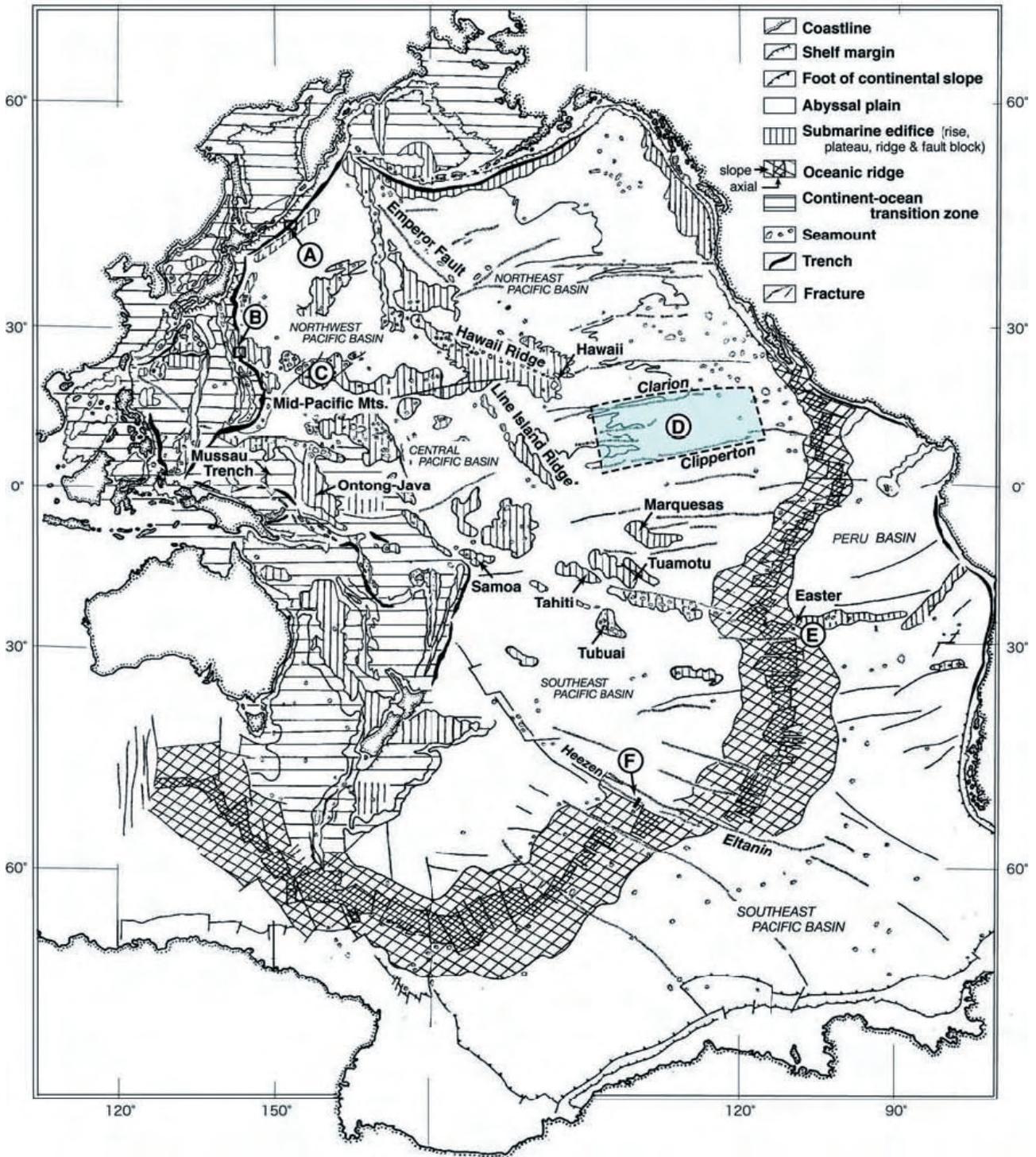


図9 太平洋の海底地形構造

は存在しないはずである。

ところが、実際には、太平洋底でも古期岩石や大陸性岩石が発見されている (図9)。以下に、いくつかの代表的事例を紹介しよう：

(1) 千島-カムチャッカ海溝の海側斜面 (図9-A)

この海域は、音波探査とドレッジ調査によって、もっとも詳細な研究が行なわれた領域の1つである。この海域に広く分布するのは枕状玄武岩溶岩であり、粗粒玄武

岩・はんれい岩が貫入する。海溝近くには隆起断層地塊が存在し、ドレッジ調査によって、多量のざくろ石-白雲母結晶片岩や千枚岩質粘板岩が採取された。このように、千島-カムチャッカ海溝の海側斜面は、枕状玄武岩類におおわれた変成岩-堆積岩類で構成されている (Vasiliev, 1977)。

(2) 小笠原海嶺と小笠原海台の鞍部 (図9-B)

東西方向の隆起部 (最大水深3,000m) が、北方の小笠原海溝と南方のマリアナ海溝北部 (火山海溝) を隔ててい

る。この隆起部では、Vasiliev (1988) によって、たいへん詳細なドレッジ調査が行なわれた。氏は、玄武岩質(枕状)溶岩、塩基性～超塩基性岩貫入岩のほか、緑れん石-角閃岩相の結晶片岩類を採取した。結晶片岩類は、塩基性結晶片岩(玄武岩起源)と含ざくろ石珪質片岩(酸性火山岩起源)で、いずれも大陸～大陸縁という造構場の産物である。

(3) 東赤道太平洋 (図9-D, 陰影部)

赤道太平洋東部のクラリオン断裂帯とクリッパートン断裂帯にはさまれた広大な海域では、Tabunov et al. (1989) によって詳細な音波探査とドレッジ調査が行われた。この研究は、この海域の海洋底が、次の3つの岩石グループで構成されていることを解明した。

1) 花崗岩 - 変成岩類

片麻岩、花崗片麻岩、グラニュライト、結晶片岩および角閃岩。これらの年代は未確定であるが、それらの一部は先カンブリア紀であろう。

2) 地向斜性堆積岩類

礫岩、凝灰岩、砂岩および粘土岩で、花崗閃緑岩・閃緑岩に貫入されている。これらの岩石の年代は、おそらく中生代であろう。

3) 火山岩類

先始新世の玄武岩、始新世～中新世の玄武岩・安山岩・流紋岩。

以上の岩石グループは、この海域では、厚い陸源堆積層の下位に古期大陸性基盤が広く伏在することを証明する。

(4) エルターニン断裂帯 (図9-d)

南西太平洋のエルターニン断裂帯は、東太平洋海膨と太平洋南極海嶺の境界部に位置する。その総延長は7,200 kmに達し、地球上でもっとも長い断裂の1つである。こ

の断裂帯を構成するヒーズン断裂は太平洋南極海嶺軸の北端近くに位置し、北東向きの巨大斜面を形成する。

海嶺軸の北東端から300 km北西では、この巨大斜面の平均勾配は40°、比高は5,500 mに達する(図10)。斜面を横断する7地点のドレッジは、そこに海洋地殻断面が露出することを解明した。海洋地殻は、結晶片岩類と塩基性～超塩基性岩類で構成され、下位から角閃片岩、輝石-斜長石片岩、かんらん岩類、はんれい岩類、玄武岩・ドレイイトが累重する。巨大斜面の頂部は、白亜紀の礁性石灰岩によって不整合に覆われている。

以上のように、ドレッジ調査によって解明されたエルターニン断裂帯の地質は、太平洋南極海嶺軸の近傍でありながら、①先白亜紀の古期基盤岩類が存在し、②大陸性の結晶片岩類を含むことを示す。

6 太平洋における優先的掘削地点の提案

以上、大西洋・インド洋・太平洋で発見された古期岩石と大陸性岩石を概観した。古期・大陸性岩石が採取されているのは、おおくの場合、断裂帯、中央海嶺、海台・海嶺の側斜面などである。これらの領域は、一般に、海洋地殻の深部が海洋底に露出しているところである。したがって、深海堆積物や玄武岩溶岩によって厚く覆われた大洋底や海台・海嶺上でも、より深くまで掘削できるようになると、古期・大陸性岩石が発見されるであろう。

古期岩石や大陸性岩石が発見されるたびに、海洋底拡大説はより複雑になり、最終的には科学的に擁護できなくなり、やがて、新しい、より包括的な全地球テクトニクス学説(海洋底における古期大陸性岩石の存在を包摂する)が誕生することになる。いずれにしても、固体地球の客観的な運動法則をみいだすには、地球表面の2/3を占める海底の地質について十分な理解が不可欠である。

今後の深海掘削における主要課題の1つは、基盤岩類の岩石構成と地質構造、および形成年代を解明することで

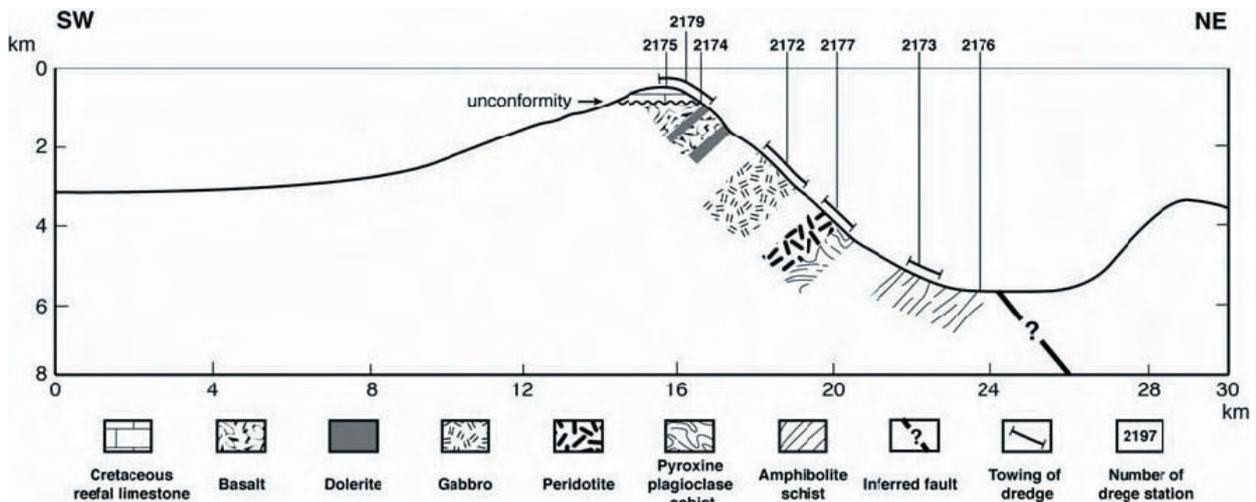


図10 エルターニン断裂帯(ヒーズン断裂)の地質断面図。

ある。太平洋域では、そのために、次の5つの海域の深海掘削が高い優先度をもつ。

1) 赤道東太平洋 (図9-D)

クラリオン断裂とクリッパートン断裂にはさまれた海域では、前述したとおり、多数の古期・大陸性岩石が発見された (Tabunov et al., 1989)。これらの岩石は、海底下の比較的浅い深度に存在することが予測される。掘削に適しているのは北緯 18° ~ 19°・東経 145° と北緯 19° ~ 20°・東経 140° を対角とする矩形の海域で、3 ~ 5 地点における海底下 800 ~ 1,000m の深度までの掘削が望まれる。

2) イースター島付近の東太平洋海膨東斜面 (図9-E)

ドレッジ資料にもとづくと、この海域には、著しくアルカリに富む火山岩類 (パンテライト質流紋岩や高カリウム玄武岩) が広く分布し、それらの地球化学特性は大陸洪水玄武岩に類似する (Krendelelev, 1976)。この海域には、大陸性岩石の残存が期待され、2 ~ 3 地点で、深度 800 ~ 1,000m までの掘削が推奨される。

3) 中央太平洋海山群 (図9-C)

海山群のドレッジおよび掘削データによると、この海域には、アンカラマイト-粗面玄武岩系列の岩石が広く分布する。この岩石組み合わせは、古い大陸地殻に特徴的である (Govorov et al., 1993)。掘削は、平頂海山や環礁上の2 ~ 3 地点で、深度 800 ~ 1,000m まで行なわれるべきである。

4) 火山海溝 (図9-B)

ドレッジ調査によると、火山海溝の海側斜面は、分化のすすんだ2種の岩石群-玄武岩類と粗面岩-粗面流紋岩-で構成されている。SiO₂含有率が72%にたつする酸性岩は、大陸地殻の存在を意味する (Vassiliev, 1988)。ここで大陸性岩石を掘削するには、北緯 24° 30′, 東経 144°, 水深 5,500m の地点で、海底下 1,000m までのボーリングが必要である。

5) 千島-カummチャツカ海溝

詳細な地質学的-地球物理学的データ (Vassiliev, 1997) にもとづくと、次の2地点での掘削が推奨される。

第1地点北緯 (42° 00′・東経 146° 45′, 水深 7,000m, 掘削深度 1,000 ~ 1,500m) : この地点は、海溝底に位置する。掘削目的は、海洋と大陸の接合帯の基本的特徴を解明することである。

第2地点 (北緯 44° 50′・東経 148° 58′, 水深 550m, 掘削深度 1,000m) : この地点は、海溝の陸側斜面にある小規模背斜に位置する。この海域におけるドレッジ調査

によって、古期変成岩類、火山岩およびアルカリ質貫入岩が採取された。ここでの掘削は、大陸-海洋境界地帯における地質構造発達史を解明するであろう。

謝辞 私たちは、この論文の転載を許可くださった栗山佑子氏 (星の環会) に、翻訳と投稿のお励ましをいただいた Dong R. Choi と David Pratt の両氏に、そして、諸手続きにご援助をいただいた佐藤完二氏ならびに Ivan V. Yugov 氏に、厚く御礼申し上げます。いくつかの図面は、包括的許可システムにしたがって転載させていただきました。

文 献

Ashwal, L.D., Demaiffe, D. and Torsvik, T.H. (2002) Petrogenesis of Neoproterozoic granitoids and related rocks from the Seychelles: the case for an Andean-type arc origin. *Jour. Petrol.*, 43, 45-83.

Belousov, V.V. (1960) Tectonic map of the Earth. *Geol. Rundschau*, 50, 316-324.

Bonatti, E. (1990) Subcontinental mantle exposed in the Atlantic Ocean on St. Peter-Paul islets. *Nature*, 345, 800-802.

Bonatti, E. and Crane, K. (1982) Oscillatory spreading explanation of anomalously old uplifted crust near oceanic transforms. *Nature*, 300, 343-345.

Bonatti, E., Ligi, M., Borsetti, A.M., Gasperini L., Negri, A. and Sartori R. (1996) Lower Cretaceous deposits trapped near the equatorial Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 380, 518-520.

Dercourt, J. [ed] (2000) Geological map of the World, Scale 1:25,000,000. Commission for the Geological Map of the World and UNESCO.

Dewey, J.F. and Bird J.M. (1970) Mountain belts and the new global Tectonics. *Jour. Geophys. Res.*, 75, 2625-2646.

Flower, M.F.J. and Strong, D.F. (1969) The significance of sandstone inclusions in lavas of the Comores archipelago. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7, 47-50.

Frey, F.A., Coffin, M.F., Wallace, P.J. and Weis, D. (2003) Leg 183 Synthesis: Kerguelen plateau-Broken ridge-a large igneous province. *Proc. ODP, Sci. Results*, 183, 1-40.

Gladchenko, T.P. (2001) Kerguelen plateau crustal structure and basin formation from seismic and gravity data. *Jour. Geophys. Res.*, 106, 16,583-16,601.

Govorov, I.N., Govorov, G.N., Simanenko, V.P. and Martynov Yu.A. (1993) Ankaramite association of Markus-Wake mountains (Pacific Ocean) as indicator of berried structures. *Geotectonics*, 4, 87-96.

Gudlaugsson, S.T., Gunnarsson, K., Sand, M. and Skogseid, J. (1988) Tectonic and volcanic events at the Jan Mayen Ridge microcontinent. *Geol. Soc. Spec. Publ. London*, 39, 85-94.

Ingle, S., Weis, D., Scoates, J. and Frey, F. (2002) Indian continental crust sampled as pebbles within Elan Bank, Kerguelen Plateau (ODP Leg 183, Site 1137). *Jour. Petrol.*, 43, 1241-1258.

- Jatskevich, B.A. [ed] (2000) Geologic map of the World (Scale 1:15,000,000. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation.
- Krendel, F.L. (1979) Easter Island (geology and problems). 136 p. Science, Novosibirsk.
- Rezanov, I.A. (2002) Origin of oceanic crust. Bulletin of Moscow Society for Experiment of Nature, Section of Geology, 77, 24-31 (in Russian with English abstract).
- Roden, M.K., Hart, S.R., Frey, F.A. and Melson, W.G. (1984) Sr, Nd and Pb isotopic and REE geochemistry of St. Paul's Rocks: the metamorphic and metasomatic development of an alkali basalt mantle source. Contr. Mineral. Petrol., 85, 376-390.
- Sigmond, E. M.-O. (2002) Geological Map, Land and Sea Areas of Northern Europe, Scale 1:4 million. Geological Survey of Norway.
- Tabunov, S.M., Tomanovskaya, Yu.I. and Staritsyna, G.N. (1989) Rock complex of the Pacific Ocean bed in the area of Clarion and Clipperton faults. Pacific Geology, 4, 11-20.
- Talwani, M. and Udintsev, G. (1976) Tectonic synthesis. Init. Repts. DSDP, 38 1213-1242.
- The Shipboard Scientific Party (1977) Site 241.DSDP Init. Repts., 25, 87-107.
- Udintsev, G.B. (1990) Geomorphology and geologic structure of ocean floor. Translated and edited by Oshide, K., Hanada, M. and Ishida, M., GRC-publication/3, 143 p., Research Center of Geo-science, Tsurugashima. [in Japanese]
- Uyeda, S. (1983) Examination of arguments against plate tectonics. Earth Science and Education, 12, 67-73. [in Japanese]
- Vassiliev, B.I. [Responsible Executor] (1988) Results of geological-geophysical researches for the choice of boreholes drilling sites in the Kurile-Kamchatka Trench. The report on Theme 05.03.1.
- Vassiliev, B.I. (1988) Basic features of the geological structure of the NW Pacific. 192 p., Vladivostok.

地球へ接近する巨大隕石の地質学的帰結—電気的要因

**GEOLOGICAL CONSEQUENCES OF LARGE METEORIC BODIES
APPROACHING THE EARTH — THE ELECTRIC FACTOR**

Konstantin K.KHAZANOVITCH-WULFF

Planetology Branch of the Russian Geographical Society
10 Gritsov Per., St.Petersburg, 191000, RUSSIA
E-mail : oib@rol.ru

(赤松 陽 [訳])

要旨 : キンバーライトの起源は、巨大隕石の地球との機械的衝突はもちろんのこと、それらの接近による地球電場内における破裂に関連する。過去の研究は、地下の放電は、地震を発生させるだけでなく、キンバーライト噴出の引き金になると述べている。この論文では、このような地球内部の電場の破裂が、巨大隕石の最接近のような、地球電場に影響を与える外部電気要因の結果であると提案する。また、潜在リング構造は、キンバーライト火道を伴う空間的広がりに関連があるように見えるので、おそらく同様の起源をもつことを述べる。

キーワード : キンバーライト, 隕石, 電場, 火道, リング構造

地球の近圏へ飛来した小天体との相互作用によるキンバーライトの起源についての著者が提案したモデルは、4つの別々のデータグループに基づいている。各グループは、最近まで互いに他の3つのグループとの論理的関係は明らかでなかった。しかし、総合的に考えたとき、すべては関連していることが明らかになる。

グループ1. 地下放電

Fjnkkelstein and Powell [1] は、地下放電 (“地表下の雷雨”) は、いくつかの地震の真の原因となっていると

いうことを最初に提案した。ダイヤモンド地質学のスペシャリストである Alekseevsky and Nikolaeva [2] は、この考えを拡げて、キンバーライト火道の空洞は、地表とマントル間の “巨大なコンデンサー” が崩壊したチャンネルであろうと初めて主張した。これら2説がともに、Vorob'yev [3] によって支持された。彼は、強い電場と地殻内の非伝導性岩石中での放電の実在を主張した。火道 (地球内部から通じるチャンネル) は、地表下の放電と爆発、噴火の影響、強い電場 ($> 10^4$ V/cm) での岩石破壊による機械的動揺、および、チャンネル壁の溶融の結果である。岩石の溶融は、高温ガス (おそらくプラ

ズマ)を生み出す。それらは地球の上部マントルから、チャンネル上部を破壊し、爆発によって漏斗状クレータを作りながら、高速で逃出する。その後、プラズマに続いて、溶融したマグマがチャンネルを上昇する。

Vorob'yev [上記引用書]によれば、これらの電気的作用と電気的爆発は、管状部や、ある種のリング構造の形成についての可能な解釈である。この探求は、Stepanov [4]とBalasanyan [5]によって続けられた。彼らは、小部分へのエネルギー集中による地殻内放電に由来する力は、爆発構造を形成するのに十分であると主張した。Balasanyan [5]によって煮詰められた結論は注目に値する。すなわち、地殻内放電の引き金になる必要条件是、大気中に生じる電気的作用を受けた地球表面のマイナス電気充電の急激な増加である。

グループ2. 電場の原因としての隕石 (MBs)

Aastapovitch and Solyanik [6, 7]は、地球大気中を通過するMBs表面での正電荷の集積過程を考えた。MBsは、地表の“起電点”と呼ばれる影響範囲に、雷雲と同じ方法で負電荷を誘導する。Solyanik [7]、後にNevskiy [8]の計算は、MBsと地表の間で放電が起こりうることを示した。彼らは2人とも、例えば、有名なツングースカ隕石の爆発は、電気放電に由来すると述べた。この説明は、長い間、科学界では支持が得られなかった。そして最近になって初めて、注目されはじめた。

これらのデータは、電気音響学的火球分野の専門家によく知られているが、地質学たちによって認められる必要がある。収集蓄積されたデータは、次のことを含め、MBsによる地球上の物体へのエネルギー効果を示す。

(i) 人間や動物は、(MBsを見る前に)恐怖感と危機感を示す。

(ii) テレビや電気・通信機器へのダメージ、スイッチが切られている電気回路網での電球の発火、セントエルモの火の発生(例えば、1984年2月と2002年2月に、それぞれチュリム [Chulyim] 火球とヴィティム [Vitim] 火球がシベリア上空を通過する期間)

(iii) 地震作用の活発化

上の(ii)で確認された結果は、エネルギー効果の主な原因が電場(電磁場)であることを推定する論拠になっている。これらの影響はすべて、大気中で燃えつきたり砕かれたりした小さいMBs(直径がおよそ1~40m)の出現と同時に観察された。もし地球大気中に進入しているMBが直径1km以上の巨大小惑星である場合に起こりうる大きな影響を想されたい。

グループ3. 火道地帯と火道領域の構造的独立性

火道(ダイアトリーム: diatreme)の分布様式の分析によると、地殻の構造(多くの著者[9-13そのほか]が述べているマグマを制御する断層を含む)にはあまり関係しないことが一般的である。例えば、詳しく研究され

た750kmの長さのMarkha-Olenek キンバーライト地帯は、北東シベリア卓状地の主要構造(先ヴェンド紀の断層、結晶質基盤の起伏、被覆層の大規模褶曲構造、およびベアサイト制御帯)と空間的-成因的關係を示さない[9]。この構造的独立性の認識が、“ホットスポット”にそれらの起源を求めるZhitkov [14]の独創的考え方をもたらした。この仮説は、今や、アメリカ合衆国東部で、Heaman and Kjarsgaard [15]によって、しっかりと認知されている。しかし、引用された著者の注釈のように、それは全世界に通じるものではなく、北アメリカ以外のキンバーライト地域に適用できるものではない。さらに、それは、これらの構造の主要特性である火道内のマグマ溶融物の不足を説明できない。

グループ4. 火道領域地帯の環状爆発構造の時空関係

Bucher [16]は、まず、いくつかの環状爆発(“地下火山”)構造の時空関係に、次に、火道の領域や地帯に着目した。彼は、アメリカとドイツのいくつかの例を図示した。彼の考え方は、後にVaganov他[17]、Nicolayesan and Fergusson [18]、その他の多くの研究者の出版物で発展させられた。これらの構造の關係について最も納得できる議論は、南ドイツのリースRies(直径24km)とスタインハイムSteinheim(3km)の環状爆発構造についてのものである。これらの構造は、爆発管地帯のウラッハ(Urach)が示す長さ100kmの直線に沿う。構造形成のK-Ar年代は14.8Maであり、いずれの地域もまったく同じである。

Khazanovitch-Wulff [19a]は、火道地帯と環状構造との空間的關係について、他の例を示した。とくに、上に述べたMarkha-Olenek キンバーライト帯(~365Ma)は、直径250km(D3)の大きなOlenek環状構造の“行列”をつくる。著者はまた、北アメリカの8例、ヨーロッパの3例、アジアの5例(隕石痕にアルカリ岩体をとまなう3例を含む)、アフリカの3例、そしてオーストラリアの4例—合計23例をこれまでに認めている。大陸の地質構造のより詳細な分析によって、このようなタイプの構造がさらに発見されるであろう。

Bucherと彼の弟子たちは、環状爆発構造が内部(非隕石的)起源である証拠とした。しかし、これらの構造のいくつかは隕石起源であることの確実な証拠があるので、前述の例にいくつかを用いた。これらは、どのように説明できるのだろうか?

[19a]によって最初に提案された次のメカニズムは、データとして提示された4つの主要グループを、1つ特殊な要因—電気によって、一貫した1つの論理で説明する。

表面に蓄電された巨大なMBsが地球大気へ突入し、地球表面に“対面充電mirror charge”あるいは起電力点の地帯を発生させる場合を考えていただきたい。この起電力点はMBとともに放出線軌道に沿って移動しながら、

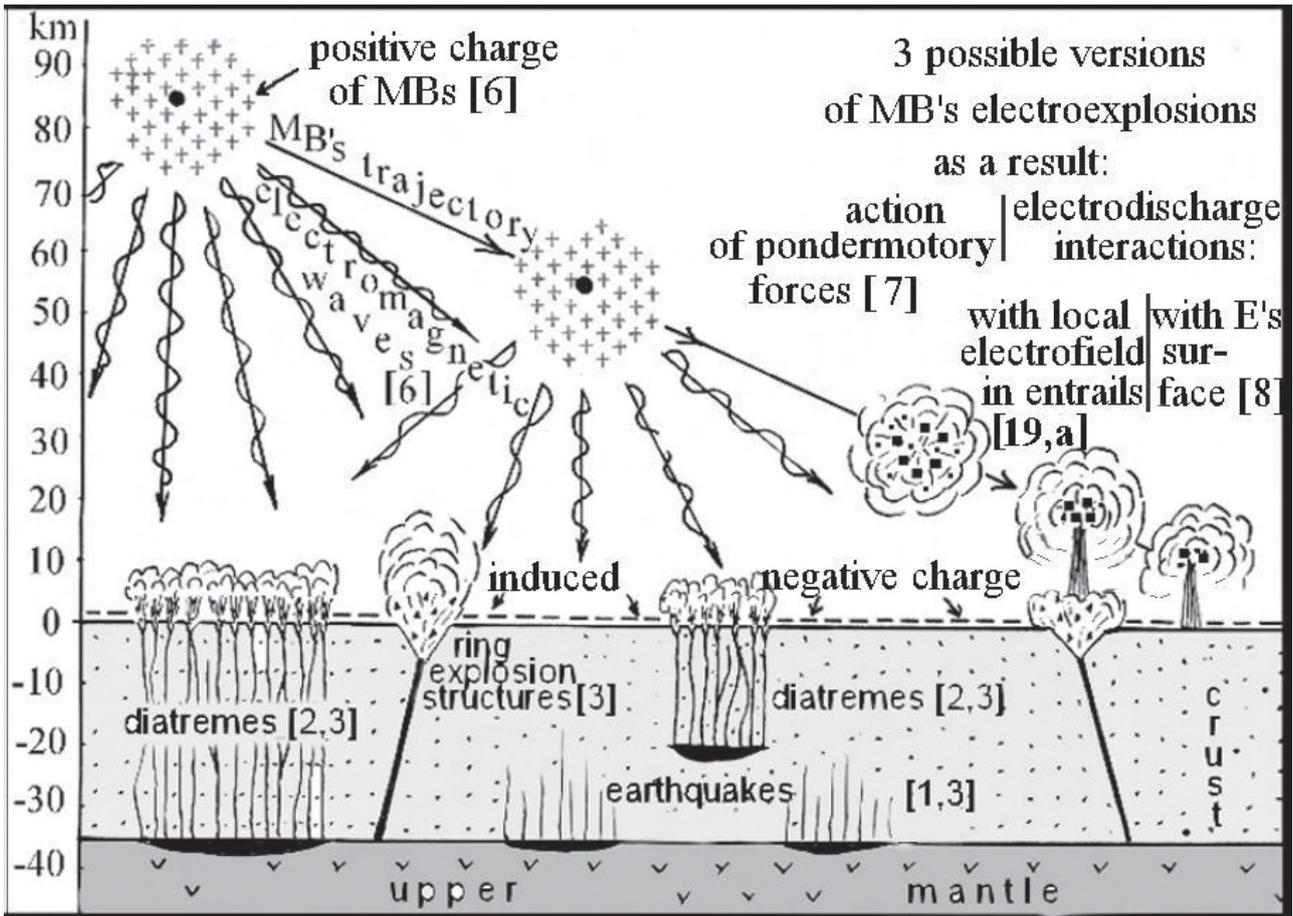


図1 大きなMBs (直径> 1km?) の侵入にともなって地球の気とリソスフェアにおきる主要事象。黒色レンズ: 強い局所的電荷帯。地殻中の黒太線: 強い電場をもつ断層。縦方向の細線: 地表へ達する断裂からのマグマ (火道, ダイアトリーム) または内部的短絡 (地震) にもなる放電チャネル。

つぎつぎに発生する。

この起電力点は、地殻と上部マントル内の地球電氣的活動の駆動力になる。

地殻と上部マントル内に強い電場がある地域では、火道帯あるいは地震は、放電が地表に達しようと達しまいと、それぞれ誘発されるであろう (図1)。いずれの場合も、もし、MB が極端に大きな充電あるいは地球との電氣的相互作用を行う場合には、思いがけない遭遇によって発生した電荷によってMB は破壊されるはずである。

したがって、ウラーハ火道地帯は、電荷により2つの部分に分裂した巨大MB の“火道列”と解釈できる。分裂した小さい方の断片はスタインハイムクレーターを、大きい方はリースクレーターを形成した。

当然のことながら、MB の地球大気中の飛行経路は、その地域の地質構造とは無関係である。そして、地殻の火道地域や地質的位置がランダムであることを説明できるだろう

環状爆発構造は、少なくとも2つの方法で形成であろう。1つは、MB によって誘発された高電氣領域と地殻内の充電による蓄電地帯との相互作用による。これらの構造の例

は、ツァマンシン (カザフスタン) とテルノフスカヤ (ウクライナ) にあり、天体との衝突断裂とは考えられない深部断層沿いに集中する [19b]。

2番目は、MB の地殻との衝突による場合である。いずれの場合も、火道“列”と環状爆発構造との間の時空間関係の説明が、MB との電氣的関連によって明確に与えられている。

すべての火道地域が隕石痕に関係したり、しなかったりするわけではない。これには、いくつかの説明方法が考えられる。

(i) 地表が広く氷河堆積物に覆われていたいくつかの地方 (例えば、カナダやロシア北西部) では、地質学的知識が不十分なために、現存する火道地域と関連付けられた隕石痕は、まだ確認されないのだろう。

(ii) いくつかの場合、地殻下部と地殻表面の間で放電は起こらなかったかもしれない。例えば、もしMB が鉛直に近い軌道をとったとすると、蓄電のための大きな充電時間はなかったかもしれないし、地表への放電を起こすのに十分強く荷電したMB の起電力の範囲内では、地殻には特定の地帯はできなかったのかもしれない。この場合“必要な程度まで発達しなかった”爆発構造はこの地域の内部に形成されたはずである。例えば、リー

スクレーター北東にあるストップペンハイムドーム、ナミビアのギベオンキンバーライトと隕石の内側にあるハツィウムドーム [19c] などがある。

(iii) 関連付けられた隕石痕がない火道地帯は、衝突前に最大限に充電されながら、内部の起電力によって大気中で破壊されてしまったMBによるものであろう。

(iv) 隆起地域では、隕石痕が関連する火道の根を残したとはいえ、完全に削剥されてしまったはずである。

新しい追加情報は、MBsだけでなく航空機でさえ、ある地方に地震を発生させるらしいことを教えている。1992年のスペースシャトルの地球大気圏への再挑戦は地震のシグナルを発生させ、ワシントン RSN によって記録され、Qamar [20] によって論じられた。

結論

このように、巨大MBsと地球との間の相互作用の地質学的影響は、機械的衝突に限定されない。しかし、大気圏内そして地殻での荷電、地震の発生、マンツルの局所点溶解、そして地表へのキンバーライトの噴出、などを起こすだろう。

文献

- [1] Finkelstein, D. and Powell, J. (1971) XV Gen. Assembly Int. Union of Geodesy and Geophysics, Moscow, part 8, 35. [2] Alekseevsky, K. and Nikolaeva, T. (1972) Journal "Znaniye-Sila", N. 4, 30. [3] Vorob'yev, A.A. (1975) Physical Factors Governing the Occurrence and Properties of Plutonic Material: Strong Electrical Fields in the Earth's Interior (in Russ.), Tomsk University Press, 296p. [4] Stepanov, O. (1989) Sov. Geol., No. 12, p. 95-104. [5] Balasanyan, S. (1990) Dynamic Geoelectric Theory (in Russ.), Nauka Press, Novosibirsk, 232p. [6] Astapovitch, I.S. (1958) Meteoric phenomena in the Earth's atmosphere (in Russ.), Fismatgiz, 640p. [7] Solyanik, V.: a) (1959) Yuniy Tehnik, N. 3, p. 64-65; b) (1980) Vzaimodeystviye meteoritnogo veschestva s Zemlyoy. Novosibirsk: Nayka, 178-188. [8] Nevskiy, A. (1978) Astronom. Vestn., No. 5, p. 206-215. [9] Brakhfogel', F.F. (1984) Geological Aspects of Kimberlite-Igneous Activity in the Northeast of the Siberian Craton (in Russ.), Yakutsk, 128p. [10] Milashev, V. (1984) Explosion pipes (in Russ.), Nedra Press, 284p. [11] Vladimirov, B.M., et al. (1990) Kimberlites and Kimberlite-Like Rocks (in Russ.), Novosibirsk: Nauka, 264p. [12] Mitchell, R.H. (1986) Kimberlites: mineralogy, geochemistry, and petrology. NY, 442p. [13] Skinner, E.M., et al. (1992) Geol. and Geophys., No. 10, p. 33-40 (in Russ.). [14] Zhitkov, A.N. (1995) Extended Abstracts of 6-th International Kimberlite Conference. Russia, p. 692-694. [15] Heaman, L.M., Kjarsgaard, B.A. // EPSL, 178 (2000), p. 253-268. [16] Bucher, W.H. (1963) Am. J. Sci., vol. 261, No. 7, p. 567-649. [17] Vaganov, V.I., Ivankin, P.F., Kropotkin, P.N., et al. (1985) Explosive Ring Structures of Shields and Cratons (in Russ.). Nedra Press, 200p. [18] Nicolayesen, L. and Fergusson, J. (1990) Tectonophysics, vol. 171, No. 1/4, p. 303-335. [19] Khazanovitch-Wulff, K.K.: a) (1991) Transactions of USSR Academy of Sci., Earth Sci. Sections, vol. 320, No. 7, p. 127-131; b) (1994) Doklady Akad. Nauk, vol. 337, No. 1, p. 83-87; c) (2001) Abstracts of the 64-th Annual Meteor. Soc. Meeting, 78. [20] Qamar, A. (1993) Seismol. Research Lett., vol. 64, No. 1, p. 46.

千島弧で2006年後期と2007年前期に起こった巨大2連地震： それらの前兆と地震性テクトニクスとの関係

THE GREAT TWIN EARTHQUAKES IN LATE 2006 TO EARLY 2007 IN THE KURIL ARC: THEIR FORERUNNERS AND THE SEISMICITY-TECTONICS RELATIONSHIP

Claude BLOT

Villa Mariette, 112 Impasse des Mesanges, 83210 La Farlede, France
claude.blot@wanadoo.fr

Dong R. CHOI

Raax Australia Pty Ltd, 6 Mann Place, Higgins, ACT 2615, Australia
raax@ozemail.com.au; www.raax.com.au

Boris I. VASILIEV

V.I. Il'chev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences
Vladivostok, 690041, Russia
tesla@poi.dov.ru

(柴 正博・久保田 喜裕 [訳])

要 旨 : 千島列島中央部で2006年11月15日と2007年1月13日に起こった巨大な2連地震は、この論文の筆頭著者によって確立された地震のエネルギー伝播 (ET) 法則にしたがうと、2002～2004年にオホーツク海で発生した深部前兆に関連する。地質学および構造学的情報の解析によると、深部前兆が千島弧中央部のシムシル Simushir 島とシャシコタン Shishikotan 島の間に位置するNW-SE方向の明瞭な構造的高まりをつくるブロック (シムシル-シャシコタン高ブロック = SSHB) の北縁で発生したことを示す: オホーツク海中央部に位置するSSHBの北縁は、直交するNE-SW方向の大規模な深部構造帯 (朝鮮-カムチャッカ構造帯) に一致する。浅発の本震・余震は、千島海溝断層帯に接するこの構造的高まりに起こった。地震テクトニクスの同様な関係は、インドネシア、カシミールおよび日本で発生した破壊的地震でも認められ、ET法則は、地震蒸気雲概念、地震電磁効果、そして動物の振舞いを含む他の様々な前兆信号といった短期的予知方法と組み合わせることによって、科学的地震予知への扉を開く。

キーワード : *Great Kuril earthquakes of November 2006 and January 2007, deep forerunners, energy transmigration, Simushir-Shishikotan high block, structural control of earthquakes, earthquake prediction*

1. はじめに

中央千島列島中央部で2006年11月15日と2007年1月13日に起きた地震 (図1～4) は、20世紀前半以降にこの地域に起こった最大の地震である。1915年の千島列島中央部地震のマグニチュードは、およそ8と見積もられる。他の2つの巨大地震が千島-カムチャッカ地域で記録されている; ひとつは1963年に千島列島南部で起きたもの (マグニチュード8.5), そしてもうひとつは1952年にカムチャッカ沖で起きたもの (マグニチュード9)。

これらの顕著な地震の発生は、オホーツク海の下の深部における多数の大きな地震からの上向きに伝播されたエネルギーが並はずれて集中した結果であると考えられる。この論文の筆頭著者は、彼のET公式に基づき、最新の2連地震を、以前にオホーツク海で発生した2002～2004年の深部前兆に関連させた。その結果は、地質学および構造学的情報との比較のために、第2著者 (DRC) に手渡された。地質学的分析には、地質データの提供と議論のために、最後の著者 (BIV) がチームに加わった。

この研究地域において利用可能な詳細な地質情報にもとづいたひとつの包括的な解析は、日本、カシミール、インドネシア (Blotほか, 2003; Blot and Choi, 2004, 2005 and 2006) を含む他の世界各地の地震 (それらの発生/移動) および地質構造についてのよく確立された関係と、強い相関を示した。我々は、地震とテクトニクスとの関係性、ならびに、科学的地震予知の研究にさらなる光明をもたらす規則性と新発見のいくつかをここで紹介するつもりである。

2. 2006年と2007年の巨大2連地震

2連地震は、千島列島の中で100kmも離れずにお互いが2ヶ月以内に起こった (図1, 図2, 表1; EMSCとNEICのウェブサイトと他の機関):

2006年10月15日: 北緯46度62分 東経153度22分; 深度, 7-28.5 km; マグニチュード, Mw: 7.9-8.3.

2007年1月13日: 北緯46度27分 東経154度46分;

深度, 10-15 km; マグニチュード, Mw: 7.0-8.2.

これらの出来事は無人の地帯で起こった。そのため死傷者がなく、太平洋岸で発生した津波も弱かった。それらは、シムシル島の東方の海溝の近くで発生した。千島-カムチャッカ海溝の両側に発生した余震は、明瞭な2つの線状に分布した。

ET法則 (Blot, 1976; Grover, 1992) によって、オホーツク海 (図4) 下の2つの領域で起こった深部地震が、これらの2つの巨大浅発地震の前兆であることを見いだした: 図4の西部グループ (nos. I, 1 and 1') - 146° E ~ 147° E, 48° N; 東部グループ (nos. II, a, 2 & 4) - 148.5° E ~ 151° E, 51.5° N ~ 51.3° N. ほとんどの前兆地震のモーメントテンソル解 (特に引張方向一連鎖効果) は、エネルギー伝播方向にほぼ調和的である。

Shouは、地震の発生以前に、これらの2回の地震に関わって発生したであろう前兆地震雲に気づいていた。しかし彼は、衛星画像の品質の問題のために、この発見を正式な予知情報として発表しなかった (2007年5月17日の <http://quake.exit.com>, pers. comm. の30ページ): 地震雲である可能性のある雲は2006年11月11日に認められ、それは2006年11月15日の最初の大地震の900時間 [訳者注: (4日前であれば) 90時間], すなわち4日前である; そして、2006年12月12日には2番目の可能性のある雲が見られ、それは2007年1月13日の2番目の大地震の1200時間 [訳者注: これだと50日前になる], 32日前である。

3. 地質学および構造解析と地震イベントの比較

関係する地震が起こった研究地域は、主にソ連時代の多くのロシア人の科学者によってたいへん詳細に研究されていた; いくつか引用すると、Sergeev et al. (1983), Shilo & Tuezov (1985), Vasiliev (1986) など。すべての結果が「世界地質図」 (図5; Jatskevich ed., 2000) と「太平洋の国際地質-地球物理学アトラス」 (Udintsev ed., 2003) に編集されている。世界においてこれほど詳細な海底地質図があるところは稀であり、我々にとつ

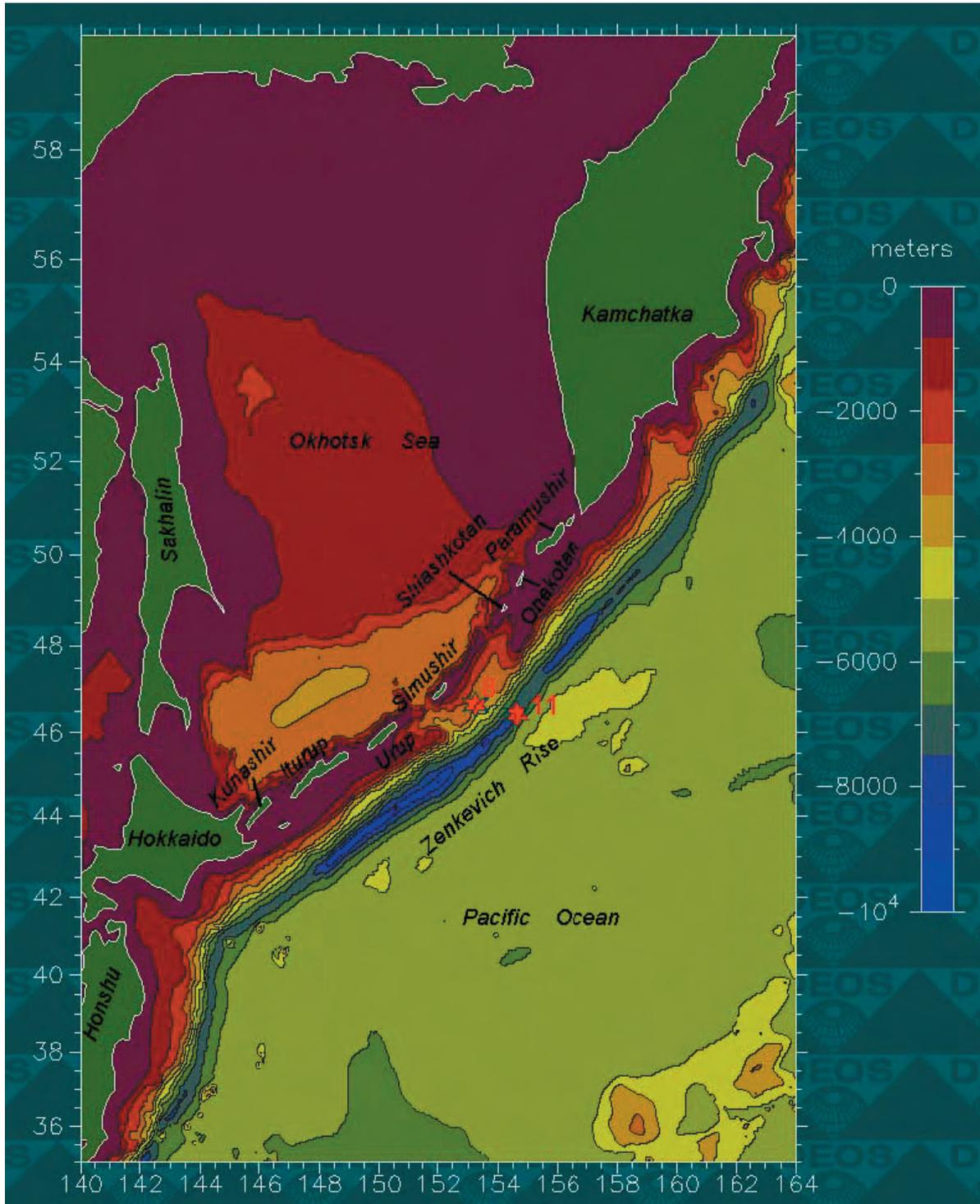


図1 研究地域の海底地形. シムシル島とオネコタン島の間には島がないか、ほとんどないこと、ゼンケビッチ海膨の北部に目立った凸地形があることに注目せよ。また、海溝をみると、この地域では相対的膨らみになっている。1つのはっきりとしたNW-SE方向の構造的な高まりが、この地域に存在する。この論文で議論する2つの地震事件は、No. 8 = 2006年11月15日；No. 11 = 2007年1月13日。

て地震と地質構造との関係を正確に分析することができる。

1) シムシル-シャシコタン高ブロックと一般的地質構造

地質図 (図5) は、研究地域が2つのグループの構造方向に支配されていることを明確に示す: 1) 千島弧と平行なNE-SW方向、および2) 列島と海溝を多数のブロッ

クに分けているNW-NE方向。千島海溝は大きな断層帯に沿って存在し(図5と7を参照)、海溝の両側は基盤ブロック(先カンブリア界-古生界-中生界)に占められている。

それらの中の最もはっきりしている構造的特徴のひとつは、我々がシムシル-シャシコタン高ブロック (SSHB; 図6) と新たに名づけたNW-SE方向の構造的に高いブロックである。それは海底地形 (図1) に明確に示される: ゼンケビッチ海膨の北部海嶺をつくる深部太平洋下の地

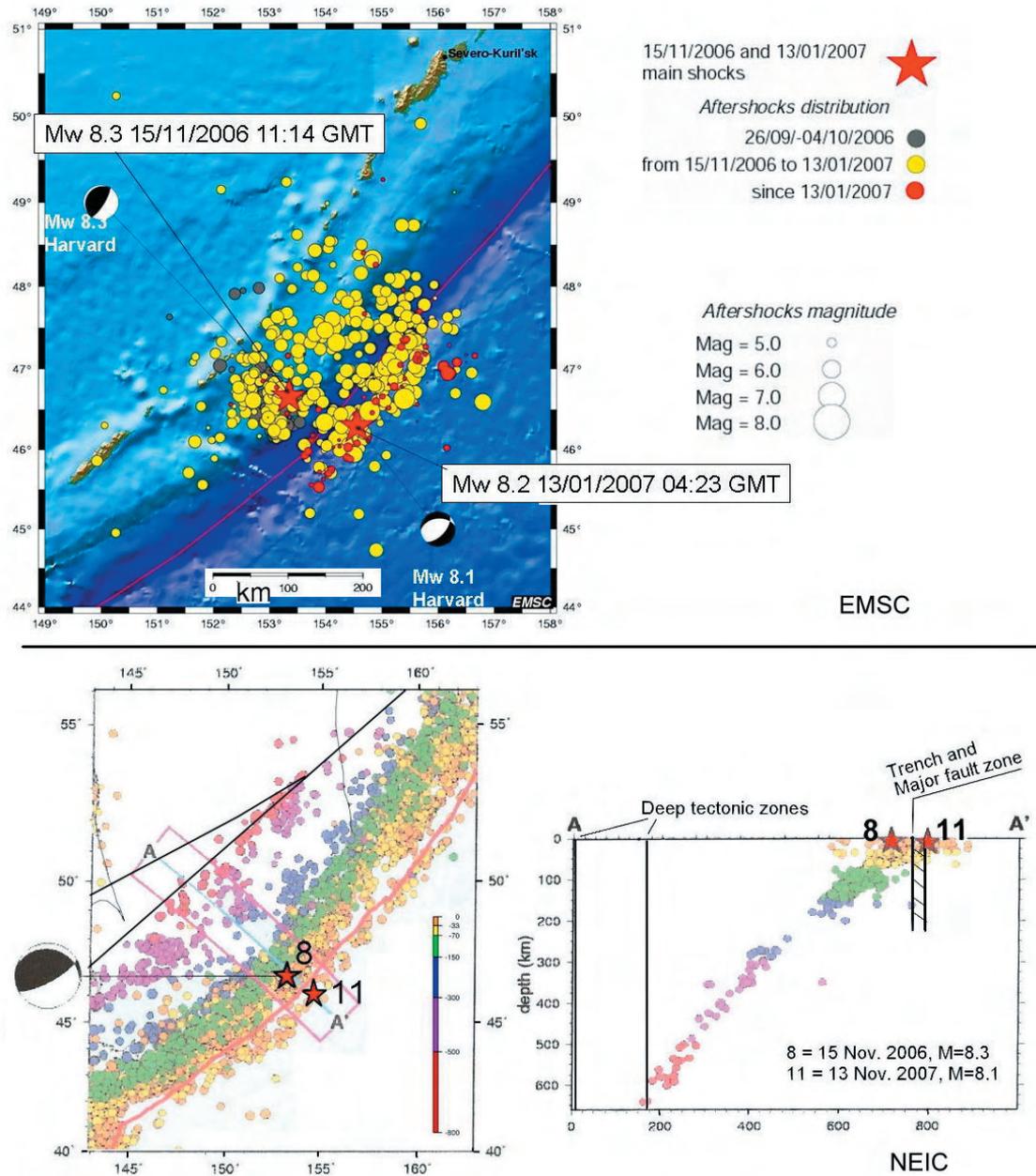


図2 上は巨大千島地震のEMSC地図 (www.emsc-csem.org). 下はNEICによる2006年11月15日の地震位置. 2007年1月13日の震源と深部構造帯 (Choi, 2005) は、著者の加筆. 本震は、大規模な断層帯が走る千島海溝の両側に起こった.

形の高まりである. 千島-カムチャッカ海溝はこの高まりによって2つの部分に分けられている—この高ブロックが交差するところの海溝水深はより浅い. また、この高まりのうち、海溝の列島側斜面は (特に3000mよりも浅い地域で) 不規則な地形を示す—おそらく高まりの不安定性と浸食によるのだろう. SSHBはオホーツク海の下では若い堆積物に覆われるため、海底地形 (図1) として、それをたどることは難しい. しかし、それは地質図 (図5) と重力図 (図6) で明確に追跡される: 地質図では、海底に、より古い岩石 (上部古生界-中生界) がNW-SE方向にひろく伸びて分布することが示されている.

上に加えて、ある地質学的に重要な情報がここで強調されなければならない. それは、特に「海洋地殻」の構成に関すること、ならびに、この地域に古い大陸性岩石が

広く存在することである. Vasiliev (1986) は、シムシル島南方の太平洋の深海底で広くドレッジを行った (図7). 彼は海溝の下を走る大規模な断層帯を発見した. そしてそれは、海溝を横断する震探断面でも確認された (Choi and Vasiliev, 準備中). この大規模な断層帯はO'Driscoll (1980) のLauratian-2方向に一致する. そしてそれは、著者のひとりが最近東南アジアとインド洋のテクトニクス (Choi, 2007) に関連して言及した. ドレッジでは、北西太平洋における「海洋地殻」のほとんどが、先カンブリア時代の大陸性岩石—ざくろ石結晶片岩、輝岩、斑レイ岩と他の変成岩 (Vasiliev and Yano, 2007: NCGT ニュースレター本号, p. 3-17) で構成されていることを明確に立証した.

すべての地震研究所とそれらのウェブサイト (例えば

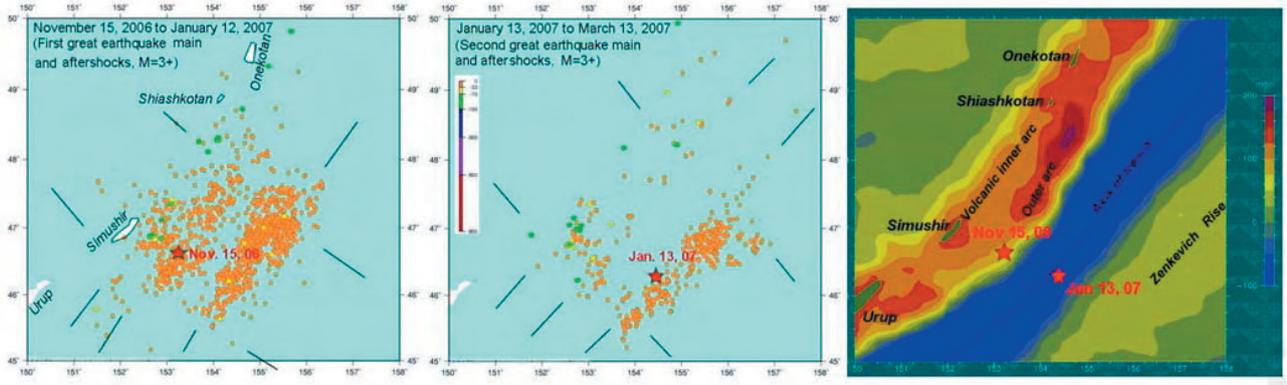


図3 2つの巨大地震(左図と中央図)；それらの本震と余震(NEIC ウェブサイトから出力)とDEOSの重力異常図(右図)との比較。両地震グループには、明瞭な線方向(NE-SW方向と小規模なNW-SE方向)が認められる。地質図(図5)と比較すると、その方向性は基盤の高まり(古生界-中生界)に一致することを示す。本震と同様、余震のほとんどすべてがシムシル-シャシコタン高ブロック(図6)に分布する。

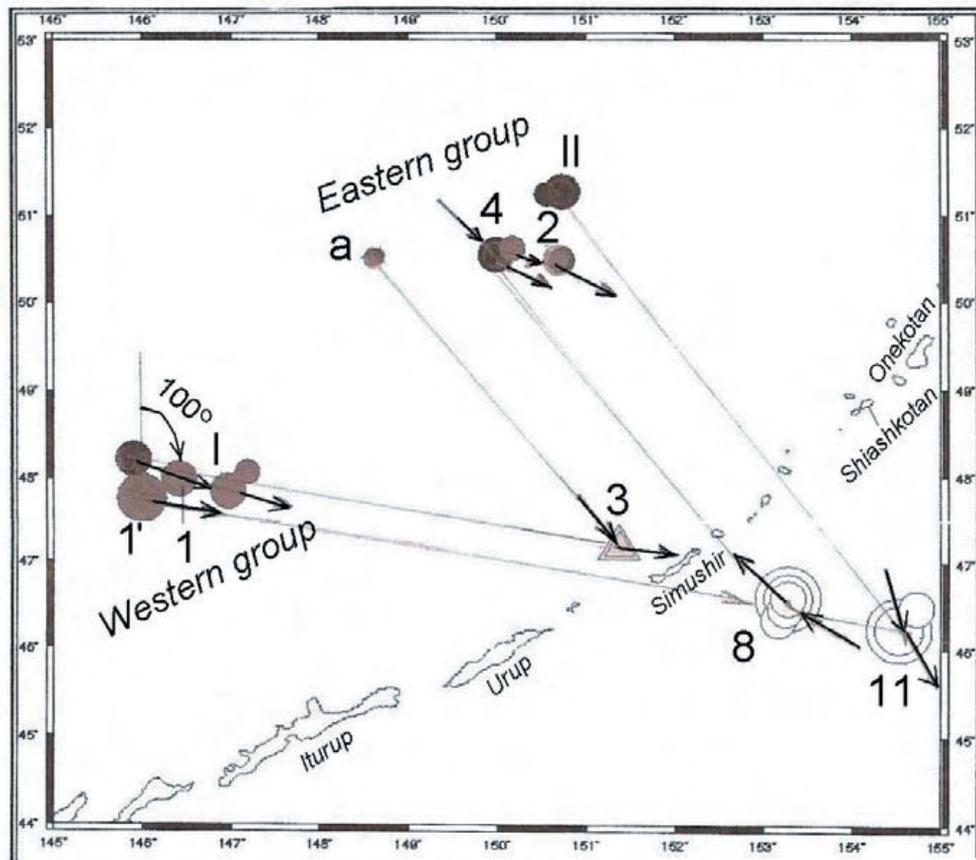


図4 深発地震と浅発地震との関係を示す図。これは、地質学的または構造学的な考察なしに、筆頭著者(CB)がET公式に基づいて単独で作成した。これらの関係は、この地域のすべての構造的特徴と完全に調和する。図6参照。一般的に、モーメントテンソル解も伝播方向に調和的である。各地震についての詳細は、表1を参照。

NEIC と EMSC) は、今回の2連地震を太平洋プレートの沈み込みのせいにした。しかし、これまで簡潔に述べてきた地質学のおよび構造学的データは、プレートテクトニクスをこの研究地域に適用することをきっぱりと否定する。

2) 地震と地質構造との関係

(1) 本震と余震

2連地震の本震と余震を地質図/地質構造図と断面図に

プロットしてみると(図3, 図5~7), 両地震がSSHBのなかで、NE-SW方向の一連の基盤の高まりで発生していることが明らかになる。ふたつのNE-SW方向の余震群(図3)は海溝両側の構造的高まりにぴったり一致する(図5・7): 大陸斜面の外弧の高まり(2006年11月の本震・余震)および海溝東側の構造的高まり(2006年11月の余震, 2007年1月の本震と余震)。第2の地震が海側の構造的高まりに集中したにもかかわらず、最初の地震が両方の高まりで発生したことは留意する必要がある(図3)。そのあまりははっきりしない、狭長で、直交

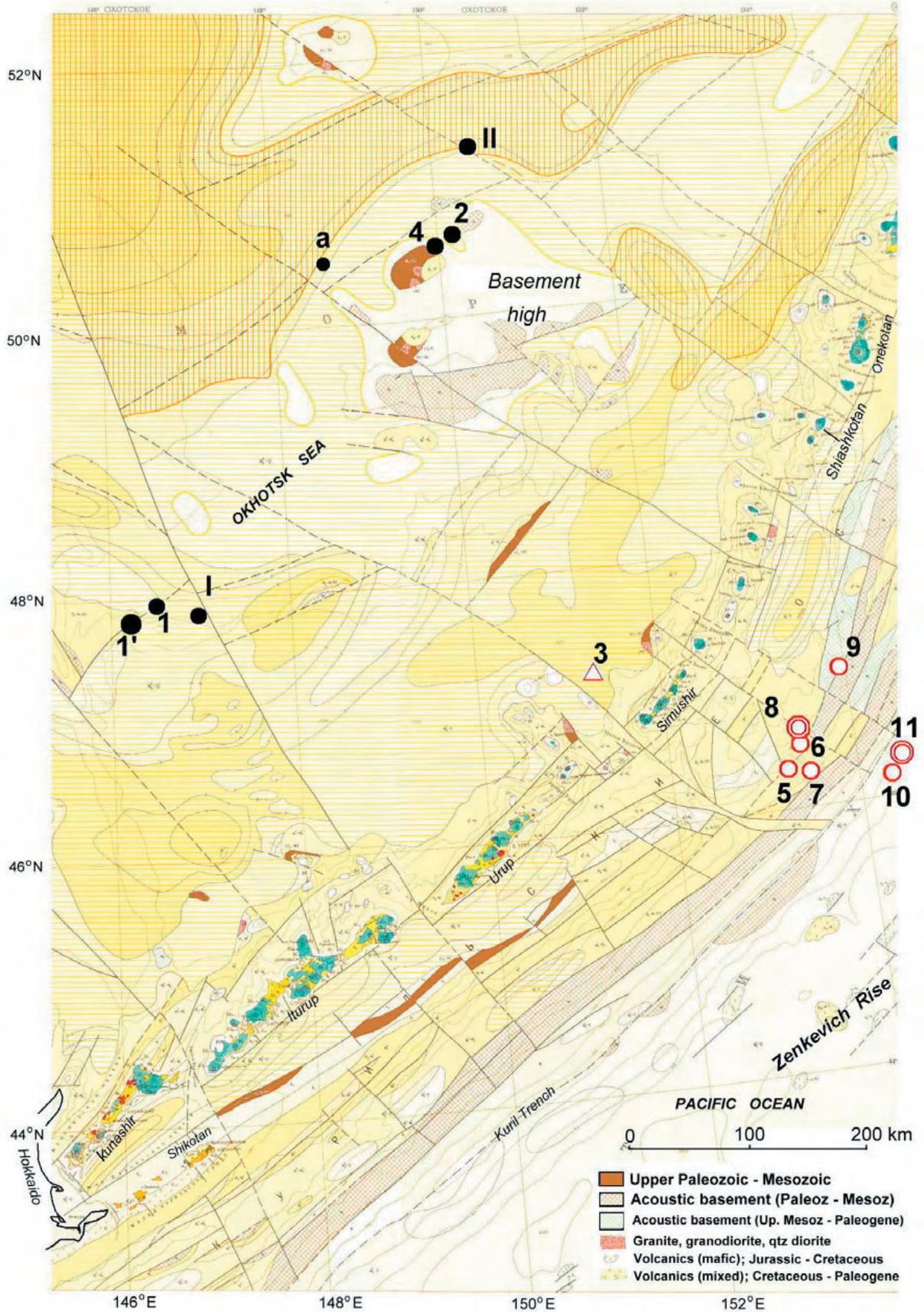


図5 調査地域の地質図 (Jatskevich[ed.], 2000). 関連地震が重ね書きされている。本論で議論されるこれらの地震は、表1に掲載。浅発地震には2つのグループがある：ひとつは海溝の陸側で、もうひとつは海側である。前北地震群の2つのグループはオホーツク海にみられる。千島海溝あるいはその近傍に、中-古生代の基盤が存在すること、およびシムシル島とシャシコタン島間のNW-SE方向の構造的高まりに注意。すべての地震は、この構造的高ブロックに関連して発生した。

するNW-SEの直線方向(図3)は、断層帯に一致している(図5)。これらの事実は、外弧外側の高まりの再活動とSSH Bセグメント内の千島・カムチャツカ海溝直下の断層帯が、千島の2連地震の動きのカギであることを意味する。それが海溝と北西太平洋の活発な継続的沈降

に由来することは明らかである。

(2) 深部前兆

双子の巨大地震に関連する深発地震(図4)は、SSH Bの北端付近に位置する(図5・6): 東の一群は、NE-SW

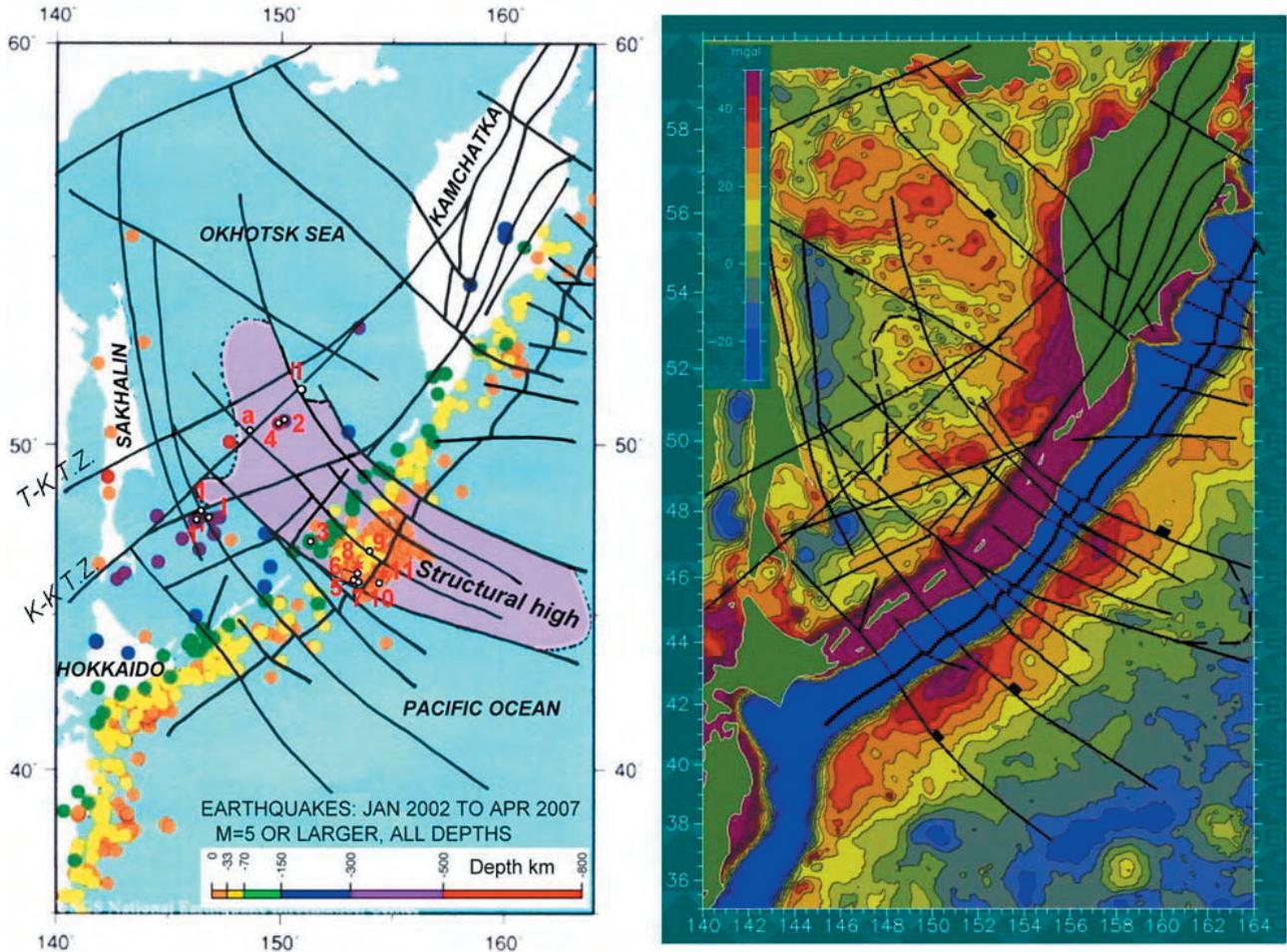


図6 右: DEOS ウェブサイトから作成した重力異常図, 左: 震源を入れた構造図 (Jatskevich[ed.], 2000 による)。数字を付した地震は表1に示される。数字を付したすべての地震は、NW-SE 方向の大規模な構造的高まり=シムシルーシャニコタン高ブロック (SSH B) に関連する。海溝に沿う膨大なオフセットを伴う大規模断層帯 (スラストや逆断層を含む) は、Jatskevich[ed.] (2000) のネオテクトニクス図による。海溝を横断する地震探査断面 (Udintsev[ed.], 2003) は、海溝下のより深部の断面に、大規模な広域断層帯が存在することを明らかにした (Choi and Vasiliev, 印刷中)。

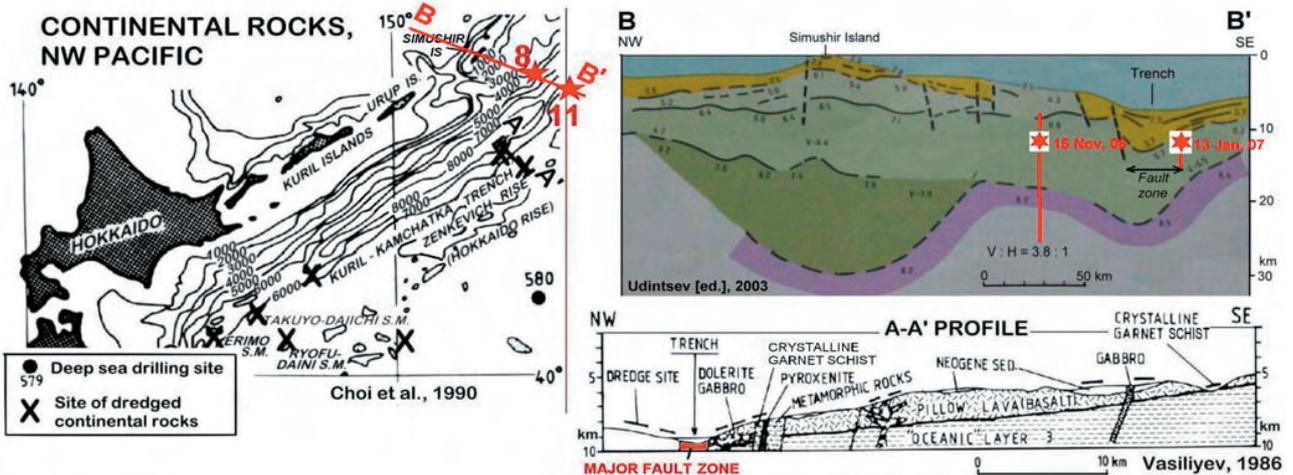


図7 北西太平洋における地質断面とドレッジされた大陸性岩石の産地。2連の大規模地震が、地殻断面に投影された(右上)。海溝を横断する地震断面 (Udintsev[ed.], 2003 ; Choi and Vasiliev, 印刷中) は、海溝下の大規模断層帯を示している。

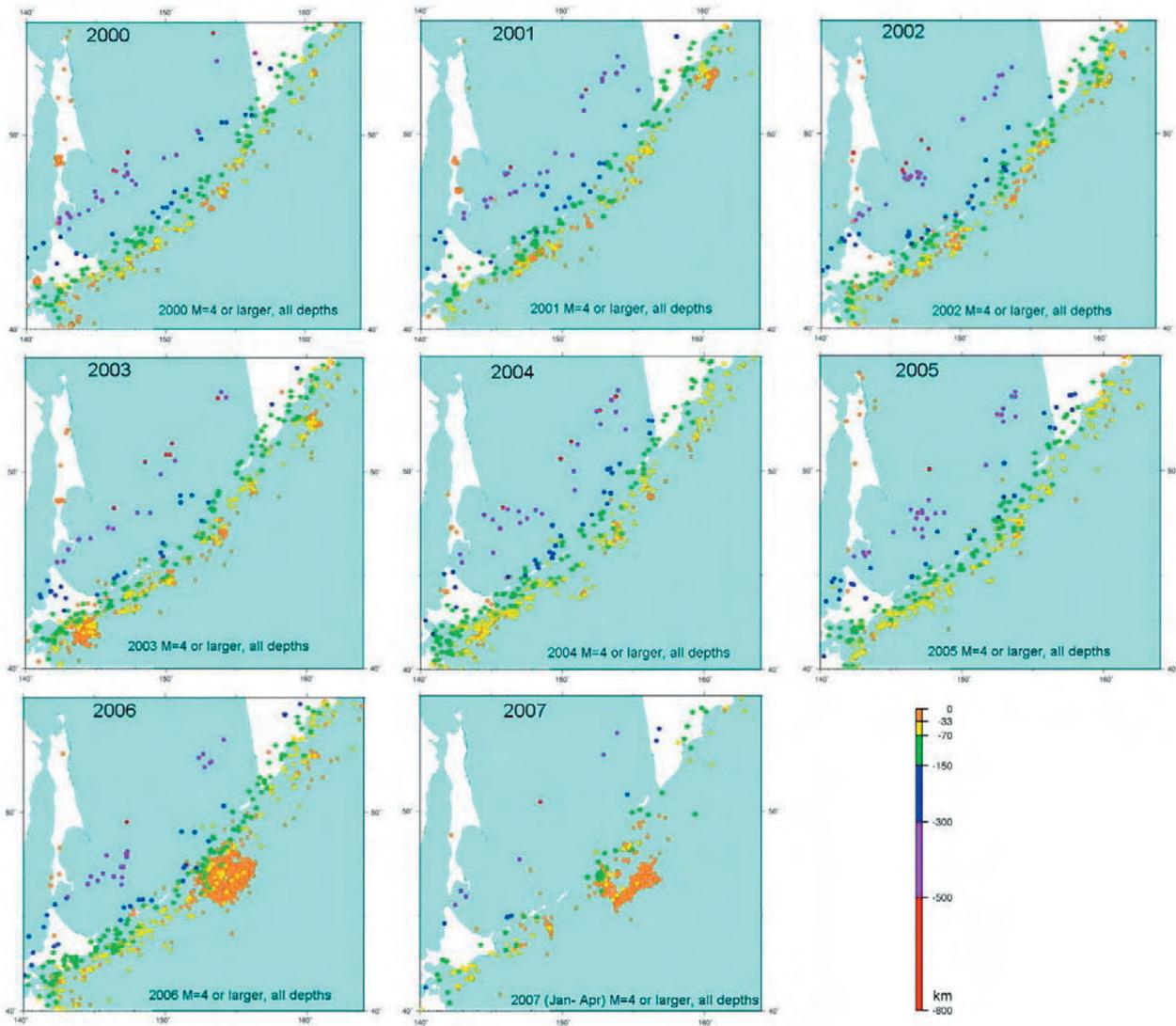


図7 北西太平洋における地質断面とドレッジされた大陸性岩石の産地。2連の大規模地震が、地殻断面に投影された(右上)。海溝を
 図8 NEIC ウェブサイトから作成した2002年～2007年4月の地震分布。マグニチュード4ないしはそれ以上の地震だけをプロットした。2002～2005年の深発地震は、オホーツク海のSSHB域にみられることに注意。爆発的浅発地震がシムシルとシャシコタン列島沖の大陸縁で発生した2006～2007年には、オホーツク海の深発地震(300kmないしはそれ以深)がほとんど発生していない。

方向の深部構造帯(朝鮮-カムチャツカ構造帯; Choi, 2005)との交差部に形成された最大規模の基盤隆起の北に位置する。東の一群は、2002年遅くから2004年の早い時期に発生した。西の一群は、SSHBの北西縁に沿って発達した断層帯沿いに位置している。3つの深発地震はすべて2002年(3月と11月)に記録された。シムシル島の背後のある中発地震(no.3, 図4・5)は、深部前兆地震no.8および後続の浅発本震no.8(図5)に関連している。これ(no.3)は、深部から浅部へのエネルギー伝播の通り道と考えられる重要な地震である。そして、これらすべてが、SSHBの上か縁で発生している。

(3) 時空分布

2000-2007年(4月まで)のオホーツク海と千島弧におけるマグニチュード4ないしはそれ以上の地震に関連するすべての地震が、その深度に関わらず図8にプロットされた。SSHBが横たわるシムシル島(オホーツク海)の北方では、2005～2007年の間、深部地震活動がほとんどないことが非常に明白である。それとは対照的に、同

じ地域で2002～2004年にはきわめて多くの深発地震が記録されている。深発地震と浅発地震の間には数年の差があることが、ET概念で確認されている。

4. 討論

この研究は、地震活動とテクトニクスのもうひとつの重要な関係を記述する。著者らは最近の破壊的地震をずっと追っている(Blot et al., 2002; Blot and Choi, 2004, 2005, 2006a & 2006b)。さらに詳細な研究が必要ではあるが、我々は地震活動とテクトニクスの関係のさまざまな側面に対して、重大な事例をつかんでいるように思える。

- 深部の前兆地震の震源
- エネルギー伝播の通り道
- 本震・余震の震源

1) 前兆深部地震が発生する震源域
 Choi (2005) はすでに、環太平洋と東南アジアにおいて、

表1 千島列島における 2006. 11. 15 と 2007. 1. 13 の巨大地震群.

Table 1 The Great Earthquakes of 15/11/2006 and 13/01/2007 in the KURIL ISLANDS

N°	Ref.	Date			Epicenter		Depth		mb	Mw	ref	t	depts		K	d°	a°	k	MTS
		y	m	d	°N	°E	h	km					days	h1 / h2					
1	neic	2002	11	17	47.95	146.42	470	5.8	5.8				Precursory deep earthquakes						
	isc	4 h 53 ' 48 "			47.99	146.40	456												
1'	neic	2002	11	17	47.82	146.21	459		7.3										t = 95 p = 285
	isc	4 h 53 ' 55 "			47.77	145.99	484	6.1											t = 115 p = 280
	hrvd				47.81	146.50	462		7.3										
2	neic	2002	12	01	50.66	150.18	494	5.0	5.4										
	isc				50.62	150.17	496	5.0											
	hrvd				50.79	150.64	496		5.3										t = 117 p = 278
a	neic	2003	05	02	50.46	148.50	615	4.1											
	isc				50.41	148.57	611	4.3											
3	neic	2004	07	08	47.20	151.30	125	5.9	6.4	/a	433	611 / 125	628	3.5	35	515			t = 96 p = 322
	isc				47.16	151.37	123	5.9											
	hrvd				47.12	151.69	133		6.3										t = 86 p = 323
4	neic	2004	02	20	50.58	149.97	531	5.0											
	isc				50.55	149.98	538	5.0											
	hrvd				50.44	149.93	545		5.2										t = 113 p = 312
Forerunner shallow Earthquakes																			
5	neic	2006	09	30	46.35	153.17	11		6.6										
	mos				46.31	153.13	31	6.3	6.5										
6	neic	2006	10	01	46.47	153.24	19		6.6										
	mos				46.45	153.23	31	6.5	6.6										
7	neic	2006	10	13	46.26	153.28	8		6.3										
	bjj				46.33	153.14	7	6.2	6.3										
The first great earthquake Mw = 8.3																			
8	neic	2006	11	15	46.62	153.22	28.5	7.4	8.3	/1'	1459	484 / 7	793	5.0	48	530			t = 316 p = 155
	mts				46.68	153.22	7.0		7.9										
	hrvd				46.75	154.32	13.4		8.3	/2	1442	495 / 7	780	4.7	47	532			t = 302 p = 123
	bjj				4.6.69	153.27	9.0	7.2	8.0										
										/3	860	125 / 10	784	1.5	48	525			
										/4	999	531/28.5	786	4.6	48	526			
I	neic	2002	03	07	47.88	146.96	440	5.1	5.6										t = 108 p = 287
	isc				47.85	146.96	442	5.1											
	hrvd				47.97	146.93	453		5.6										t = 130 p = 299
II	neic	2003	08	02	51.30	150.41	542		5.1										
	isc				51.24	150.56	"	4.6	5.6										
Forerunner shallow earthquakes																			
9	neic	2005	08	01	47.00	153.91	17	5.4	5.7										t = 297 p = 140
	hrvd				47.09	154.22	19		5.6	/I	1243	442 / 17	878	4.8	53	528			t = 286 p = 121
10	neic	2006	12	07	46.15	154.39	16	6.3											
The second great earthquake Mw= 8.1																			
11	neic	2007	01	13	46.27	154.46	10.0		8.1	/1	1518	484 / 10	901	5.8	55	530			t = 197 p = 347
	mts				46.34	154.43	15		7.9										
	hrvd				46.18	154.80	12.0		8.1	/II	1260	322 / 15	809	5.5	50	520			t = 150 p = 264

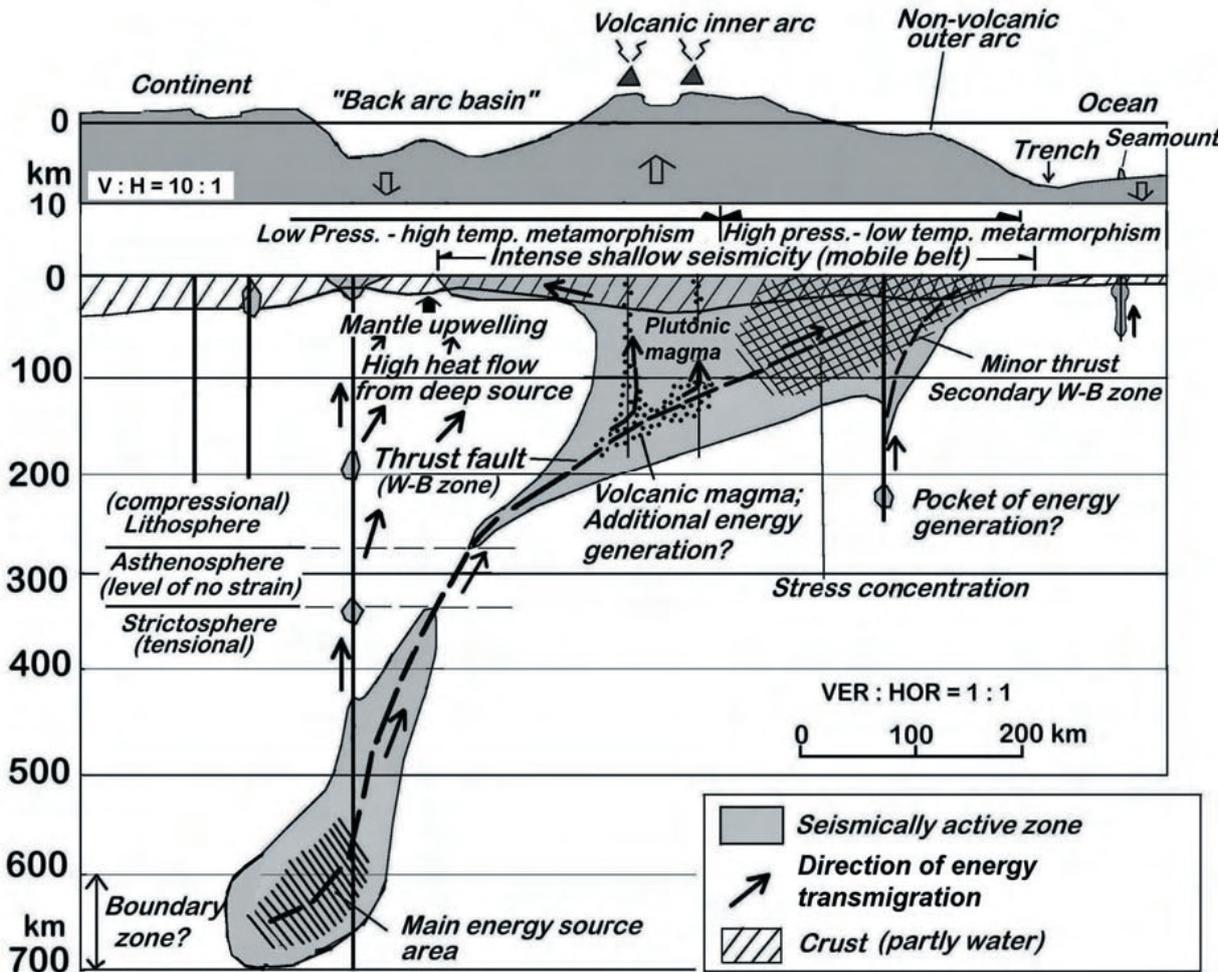


図9 和達-ベニオフ帯を示した上部マントルの概念断面 (Choi, 2005 をやや修正). 和達-ベニオフ帯は、初的には、大規模な深部構造帯の沈降側に発達した衝上断層ないしは逆断層であり、現在ではほとんどの場合、深海の縁辺を形成している。断層帯は、地球表層へ移動する深部エネルギーの通り道になっている。深部地球物質は、断層帯によって形成された弱く通りやすい地帯に沿って上昇しながら、さまざまな深度でエネルギーを放出する：最初は主に熱を、それから流体/ガス？(火山/深成マグマをつくる)、さらに表層では蒸気/ガス？(地震を誘発)。この断面と NCGT 本号 p. 65 の Scalera のそれを比較せよ。

すべての深発地震と深部構造帯の解析に基づき、深発地震(350km以上)が深部の構造帯に関係することを述べた。この一般性は、著者ら (Blot and Choi) によって研究されてきた日本、カシミール、インドネシア (スマトラとジャワ) のほとんどの深発地震に当てはまる。

2) エネルギー伝播の通り道

地震エネルギーは、上方へ伝播するために、当然のことながら、マントルや地殻の弱く通りやすい地帯—海洋/大陸境界に発達した大規模なスラスト・逆断層系(和達-ベニオフ帯・ベニオフ帯; 図9)を伝わっていく。それらは地殻浅部では震源集中スラスト帯に沿うが、その変動はもっと複雑なように思える。おそらく、局所的な断裂系やブロック構造に規制されるのであろう。

3) 本震・余震

研究の結果、ほとんどの本震・余震は、構造的高まりの上ないしは境界でみられた。地震活動が活発なこれらの構造的高まりは、ふつう、活発に沈降している構造系(regime)に位置する。これは、大陸斜面の外弧での浅発地震を説明できる。本震は構造的高まり内にある

断層帯に沿って発生し、余震は構造的高まりの周辺に広く分布する傾向がある。この事実は、基盤リッジテクトニクス (Anfiloff, 1992) として提唱されたが、基盤のリッジ(尾根部)が圧縮力を伝えるネットワークであることを示している。さらに、この応力解放は地球深部から伝播してくるエネルギーに由来するという事実を示している。

5. 地震予知への応用

Blot の ET 概念や著者らによって確立された地震とテクトニクスの関係は、地震は初元的には、浅部の地質的・地球物理的状態と相互作用する地球深部からのエネルギー上昇によって引き起こされるという、疑う余地のない事実を示す。Scalera (2004) は、地震波トモグラフィーの解析により、地中海地域の和達-ベニオフ帯を説明するために、上方移動する (upducting) マントル物質を提唱した。

唯一この論理こそが、高分解能の衛星画像が入手できる地域ならどこでも、大規模地震をほぼ 100% の正確さで

文 献

予知できる, Shou (2006) の地震蒸気雲概念の理解を可能にすることができる. NCGT 論文 (p. 34-38) の Bapat によって議論された地震 - 電磁気現象やその他の地震の前兆現象などの短期予知は, 上方へ移動するマントルエネルギーによってのみ説明できる. 下方へ沈み込むスラブのもぐり込みが地震を引き起こすというプレートテクトニクスの説明は, 地震予知における存在意義を失ってしまっている.

ET 概念は中期的の予知方法である. 深部の前兆信号や地質・地質構造状況に基づいているため, 発生可能な場所, マグニチュード, 時刻を予知することができる (Grover, 1998 ; Blot et al., 2003). しかし, 伝播速度が浅部では遅くなることや, 本震が起こる正確な場所や深度を予知することが困難なため, その時間枠は数ヶ月から半年である. そのため, さらに正確な短期予知のためには, ほかの適切な方法と融合する必要がある. 科学的地震予知には, 他に入手できるすべての情報 (詳細な地質学 - 地球物理学的情報によって支えられた雲, 気温, 地磁気, 重力, 地電流, 動物の行動など) に加えて, 高分解能の衛星情報を完璧に利用することによって, 多方面のチームによる総合的な検討が必要である (Shou, 2006 ; Bapat, 2007 ; Freund, 2006 ; ほか).

6. おわりに

千島弧でのこの研究は, 地震とテクトニクスとの関係についての我々の当初からの主張を, 多くの側面から補強するものである. 研究結果によると, 地震は次の4つの要因に関係している: 1) 大規模断層帯, 2) 構造的高まり, 3) 活発に上昇ないしは沈降しているテクトニクス系 (regime), 4) 上方へ移動する地球深部のエネルギー. 我々は, 巨大地震を生み出す作用について, 心の底からともに研究することによって, これらの要因すべてを見つけてきた. それらのなかでも特に重要なことは, エネルギー放出 / 地震活動とマントルの高まり, および活発な沈降帯との密接な関連である: 東南アジア (Choi, 2007 によるボルネオ - バヌアツ地背斜地帯), 地中海, カリブ海に注意. 太平洋とインド洋の大陸縁における外弧下の浅発地震が最も集中している地域は, 大陸縁と構造的高まり (外弧) における活発な沈降が重複したところである.

ET 概念は千島弧の地質データによって確証された. これは, 換言すれば, 地震の発生が広く信じられている海洋プレートのもぐり込みではなく, 浅部における地質的・地球物理的状態と相互作用するマントル物質の上昇に起因することを証明する.

最近の地震とテクトニクスに関する一連の研究にもとづいて, 我々は破壊地震を予知できる, と確信をもって断言できる. これを現実的なものにするために, ET 概念と地質的・地球物理的データを, 地震蒸気雲の概念および他のすべての前兆信号を伴う地震 - 電磁気現象を含む短期地震予知と融合しなければならない.

Anfiloff, V., 1992. The tectonic framework of Australia. In, Chatterjee, S & Hotton, N., III. (eds.), "New Concepts in Global Tectonics", p. 75-109. Texas Tech Univ. Press, Lubbock.

Bapat, A., 2007. Seismo-electro-magnetic and other precursory observations from recent earthquakes. NCGT Newsletter, no. 43, p. 34-38.

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

Blot, C., Choi, D.R. and Grover, J.C., 2003. Energy transmigration from deep to shallow earthquakes: a phenomenon applied to Japan - toward scientific earthquake prediction. NCGT Newsletter, no. 29, p. 3-16.

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. 12.

Blot, C. and Choi, D.R., 2005. Forerunners of the catastrophic Kashmir Earthquake (8 October, 2005) and their geological significance. NCGT Newsletter, no. 37, p. 4-16.

Blot, C. and Choi, D.R., 2006a. On the recent catastrophic Java earthquake (May 26, 2006) and Merapi volcano eruption: their forerunners. NCGT Newsletter, no. 39, p. 31-36.

Blot, C. and Choi, D.R., 2006b. The Great Southern Java Earthquake on July 17, 2006 and its tectonic perspective. NCGT Newsletter, no. 40, p. 19-26.

Choi, D.R., 2005. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones: a new interpretation of the Wadati-Benioff Zone. Boll. Soc. It., spec. vol. no. 5, p. 79-118. (www.uniurb.it/ISDA/guestdata/Volume_speciale_5.zip)

Choi, D.R., 2007. Borneo-Vanuatu Geanticline and the tectonic framework of Southeast Asia and the Indian Ocean. NCGT Newsletter, no. 42, p. 18-25.

Choi, D.R., Vasiliev, B.I. and Tuzov, I.K., 1990. The Great Oyasio Paleoland: a Paleozoic-Mesozoic landmass in the northwestern Pacific. In, "Critical aspects of the plate tectonics theory", v. 1 (Criticism on the plate tectonics theory). Theophrastus Publications, S.A., Athens, p. 197-213.

Freund, F., 2006. When the earth speaks: understanding pre-earthquake signals. First European Conf. earthquake Engineering, Geneva. 3-8 Sept. 2006, p. 1-10.

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

Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. Geological Map of the World. 1:15,000,000. Ministry of Natural Resources of Russian Federation, Russian Academy of Sciences.

O'Driscoll, E.S.T., 1980. The double helix in global tectonics. Tectonophysics, v. 63, p. 397-417.

Scalera, G., 2004. A new interpretation of the origin of the Wadati-Benioff zones in the Mediterranean region. NCGT Newsletter, no. 32, p. 15-24.

Sergeev, K.F., Krasny, M.L., Neverov, Yu.L., and Ostapenko, V.F., 1983. Substance of crystalline basement of the Zenkevich Rampart southeast flanks. *Tikhookeanskaya Geologiya (Pacific Geology)*, no. 2, p. 3-8.

Udintsev, G.B. [ed.], 2003. *International Geological-Geophysical Atlas of the Pacific Ocean*. Scale, 1:10,000,000. Size, 70 x 100 cm. Moscow-St. Petersburg, Russia. 172p.

International Oceanographic Commission (in English and Russian)

Vasiliev, B.I., 1986. The result of dredging of some submarine mountains in Japan marginal oceanic rampart. *Tikhookeanskaya Geologiya (Pacific Geology)*, no. 5, p. 35-42.

電磁気学的方法などによる最近の地震先駆現象の観測

SEISMO-ELECTRO-MAGNETIC AND OTHER PRECURSORY OBSAVATIONS FROM RECENT EARTHQUAKES

Arun BAPAT

1/11, Tera Residency, 20/2, Kothrud, Pune -411038, India
E-mail: arun_bapat@vsnl.com

(角田 史雄 [訳])

要 旨 : 2001 年以降の地震による死者数は 30 万人を超えた。死者数を減らすために、なんとか地震の予兆を知る手だてを探さないといけない。Bhuji (2001), Andamann (2004), Kashmir (2005) の地震観測で、地震の予兆を知る有力な手がかりが得られた。それは、震央域における地磁気の伝播異常である。これは「地震の電磁気効果」ともいわれるもので、信頼性があり、有効な手だてになりそうだ。その「効果」などの地震の予兆現象について述べる。

キーワード : *earthquake prediction, seismo-electro-magnetic effect, geomagnetic fields*

まえがき

インドと近隣諸国では、地震や津波によるたいへんな数の死者がでている。政府の発表では、その数が 30 万人にたつする。逆説的にいえば、あらゆる自然災害による死者数をひくくても、1つの地震による死者数に及ばない。人が造った建物が死を招いたのである。漠とした哲学的で格言的な見方からすれば、「どんな地震でも倒れないビルがあれば、もっと死者数を減らせる」とも言えるだろう。さらに、地震がやってくる数分から数時間前に、住民へ広く警戒を呼びかけられれば、多くの住民が予防措置をとれる。これがあれば、地震の最中の死者数をわずかでも減らせるだろう。技術者、科学者、研究者、行政関係者の多くは「地震予知は無理」と強く思っている。筆者も、そう考えていた一人だった。そんな折りに、2001年1月26日の Bhuji, 2004年12月26日の Sumatora 沖, 2005年10月8日の Kashmir の各地震の調査をする機会があった。そこで筆者の考えが変わった。もしかしたら、数年前の地震予知はできるかも知れないと思ったのである。

地震学者、地質学者、地震技術者は、地震とそれともなう歪の解放を力学過程と見なしてきた。多くの地震予知研究はいまだに、今昔の地震学的データをを用いて、統計的な予測解析とその処理を繰り返している。こうした研究の拠りどころは、地殻歪や水準点変動などの測地

データなどである。一般的な見方からすれば、地震の予知は、地震学、測地学、地質学などの手法では無理、ということになる。しかし、地震の予知は、地震学でもなく測地学でもない手法で可能である。地震を含めて、あらゆる自然現象には、たくさんの前兆現象がつきものである。そうしたもののうち、地震学的でもなく測地学的でもないものがある。面白いことに、これらのシグナルは実に幅がひろい。それらは動物や敏感な人にも見られるし、あるいは、人工衛星やハイテクを使った測地でも認められる。しかしながら、多くの研究者は、こうした本物の地震予知論にも懐疑的である (Bernard ほか, 1997; Hough, 2002; Keilis-Borok, 2002; Uyeda, 1998)。なかには、「地震予知はできない」と断言する研究者もいる (Campbell, 1998; Geller ほか, 1997)。地球の電氣的なポテンシャルや電磁的な場とそれに関連する問題については、ジュネーブの European Conference on Earthquake Engineering and Seismology で討議された (Freund, 2006)。

いくつかのはっきりした予兆現象 : 磁場、重力場、電気ポテンシャル、井戸の水位上昇、湧き水の出現などの変化はよく知られている (Plastino et al., 2002; Sano et al., 1998)。1995年兵庫県南部地震直前の1月16日には、発光現象があった (Tsukuda, 1997)。同じような現象がメキシコや他の地震でも知られている (King, 1983; Lomnitz, 1994)。地盤、地表、気温の上昇なども

報告されている。通常だと、地震の150～200日前から気温の上昇が始まるケースが多い。その上昇のしかたは「ランプ型」をした気温変化図になる。地震発生の1～5日前ごろから、気温曲線が急上昇しはじめ、地震当日がそのピークになる。当日の温度の上昇幅は6～10℃にたつすることがある。2005年10月8日のKashmir地震のときは、平均気温に比べて10℃も高かった。人工衛星からの赤外線輻射データでも、予兆がわかる (Qiang et al., 1990)。すなわち、その放射量が少なく、放射量が極端に少ない場合が地震の予兆になっているらしい、と議論されている (Gershenson and Bambakidis, 2001; Yoshida et al., 1994; Yen et al., 2004)。動物の異常行動の報告は有り余るほど在る (Rikitake, 1984)。何か敏感な人が予兆を当てた例も報告されている (Bapat, 2005)。これは病院での事例である。地震前に出産数と外来患者数とが増える例が、5～7回もあった (Bapat, 2005)。

地震 - 電気 - 磁気効果 : いかなる磁性体でも温度が上がれば、その磁力が失われていく。つまり、温度上昇によって磁力が減るのである。キュリー温度、つまりキュリー点を超えれば磁力はゼロになる。逆断層型の地震では、一方の盤が他方の盤の上に全部あるいは部分的にのし上がる。最初、摩擦を伴う動きはきわめてわずかである。その効果で地温は急上昇する。地震前のわずかな期間 (およそ150～200日) で地温は猛烈な勢いで上昇し、地震当日に最高になる。この地温の急上昇によって、震源域における磁場は弱まる。磁場が弱まれば、電氣的、電磁氣的な信号が伝わりにくくなり、伝播しにくくなる。Bapat (2003) はこれを「地震 - 電気 - 磁気効果」と呼んだ。その効果はラジオ、電話、テレビにも影響が現れる。かりにラジオ放送局が周波数1,000kHzの電波を送っているとすると、それが地震の10～12時間前から1,000, 1,200, 1,300・・・・・1,700, 1,800, 1,900, 2,000へと変化する。テレビの場合、オーディオ、画像、スペクトルなどの乱れとなって現れる。この乱れが地震発生時まで増えていく。これらの影響が地震の数日前からきわめて顕著になってきて、10～12時間前には非常に強く表れたのである。

理論的問題 ; なぜ、周波数が増えるのか? ラジオの送受信の場合、(a) 送信機と (b) 受信機に問題がある。つまり、送信機はあらゆる方向に発信する。しかし、受信機はアンテナを通して受信するが、その電波は、次式のような変換式で変えられたものである :

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

- f ; 受信機が受信した周波数
- L ; 誘導係数
- C ; 蓄電量 (受信機によってそれぞれ異なる)
- 2, π ; 定数

送信周波数は変わらないように見える。上の式は、受信機がコイル電磁式か、それともフェライト式であるのか

で変化する。周波数は、受信した時点で増加しなくなる。Lは分母に含まれ、かつ、√の中にある。Lのわずかな変化 (これは元々は地磁気磁場の変化) があれば、すぐに周波数に影響する。こうしたことから式 (1) は、地震 - 電気 - 磁気効果を示しているのである。この説明が理解できれば、地質学でいう断層に沿っての2つの岩塊のうごきおよび地温の上昇がすぐに理解できるはずである。このような周波数の増加がはじめて見つかったのは、1966年のタシュケント地震が起きる前だった。それに続いて、いくつかの場所で観測された。地震の前に受信した周波数が増加した例は、インド、イラン、日本、アメリカ合衆国、ロシア、インドネシア、パキスタンその他で認められた。いくつかの国々では、公共放送の電波のモニターに現れた。これらの放送局では、送信されてきた周波数をモニターしている。受信波が許容範囲内のものだったら、磁場の変化はまったく無いはずである。雷とか電をともなった嵐などでも、電磁波の乱れはある。しかし、その場合は、ごく短時間の乱れである。

電話の場合、その影響は地震が発生する数ヶ月前に現れる。1993年9月29日のLatur地震がおきた後、何人かの研究者は、なんの科学的なデータも出てこないことに苛立っていた。そこで、電磁波に関するデータをとってみることになった。Laturの地磁気の変化は微弱で、他のデータの陰に隠れやすい。そこで、それだけを取り出すような方法が採られた。筆者らは1993年1月から9月までの電話に関するデータをとってみた。多くの電話回線から、この期間内の1ヶ月あたりの電話に関する苦情件数についてのデータが採取された。回線ごとの採取データ数はほぼ一定だった。その結果はつぎのようになった : 地震は1993年9月29日に発生した。1月から4月までの苦情件数はおよそ3,000だったが、それ以後の件数は増えている。調査した通話回数はほぼ同じで変化はなかった。苦情件数は後になるほど増えた (表1)。

表1 Latur局の1993年5月から9月までの通話記録から得られた電話の苦情件数。地震後は救急回線と臨時回線の通話記録が増えた。

1993年	患者数
5月	3200
6月	3400
7月	3700
8月	4000
9月	4600

表1から、磁場の変化は1993年の5月あたりに起こり始め、それ以後もずっと続いたことがわかる。表1のデータ解析をした後に判明した苦情件数は、もっと多くなった。その数は、最初に得られた苦情件数 (表1のおよそ5ヶ月間の苦情件数) の53%にあたる。地殻応力は5月から9月の間に増大していき、1993年9月29日に地震が起こった。地震活動が続く中で、いくつかの臨時回線が設けら

れたが、これによって、通話回数が増えたのだろう。こうした事情があるので、地震活動継続期間中のデータは加えなかった。

Latur, Bhuj, Andaman, Kashmir などの地震後の調査では、テレビが繰り返し不具合を起こしたのを非常に多くの人々が目撃している。これらはオーディオ、画像、ゴーストなどの障害である。

2001年1月26日のBhuj地震では、興味深い事態が知られている。この地震はマグニチュード7.8で、現地時間の午前8時46分に発生した。この前の午前6時から午前6時半までの間、非常にたくさんの携帯電話が作動しにくくなった。この現象が、携帯電話の電氣的あるいは機械的トラブルで無いことは確認済みである。パキスタンでは、2005年8月8日のMuzaffarabad地震でも、同様なことがあったのは確かである。

その他の信頼できる地震の予兆：もっとも有用で、信頼性があり、科学的に納得で、理論的に説明され、適切に理解された地震-電気-磁気効果を考察したので、次には、いくつかの大地震で観察された、これ以外の予兆現象についても触れておくべきだろう。

(a) 動物の予兆現象；

この種の予兆は実によく知られていて、非常に多くの事例が報告されている。実在する動物の予兆については、ここでは議論しない。しかし、新しく見いだされた事例の中には役立つようなものがある。マグニチュード6.5より大きな中規模地震ならいずれも、発生の10~12時間前から、ほとんどの動物種が、いつもと違って、ほえたり、楯突くような行動をする。もっとも古い記録はLahore動物園での事例である。1905年4月4日にM8.25のKangra地震が起こったが、震央距離190kmにあったLahore動物園では、すべての動物がいつもと違う動きをみせ、甲高い声で鳴いたという。もっとも最近の例はAndamann島からのもので、その事例は、地震ばかりでなく、津波の予兆に役立つものだった。アンダマン・ニコバル諸島には、Hut Bayと呼ばれる島がある。2004年12月25日に、大勢の人々が長さ100mの堤防でパーティーをしようと集まっていた。人々は午後堤防に集まり、パーティーの準備で忙しく動き回っていた。午後3時ごろ1匹の蛇が堤防に出てきた。30分後には5~6匹の蛇が現れた。夕方には、堤防全部がヘビ、ヒキガエル、カニ、ある種の魚、そのほかの海生生物でうまった。パーティーをしようとしていた人々は準備をあきらめ、堤防から逃げ出した。このほかにも興味深い事例がある。ふつう、アリはまっすぐに列をつくって進む。ところが、地震の数日前に、まるく固まりあって、飛び上がっているアリの集団が観察されている。動物が堤防にひしめき合った12時間後に、地震と津波が起こった。Hut Bayは、2004年12月26日のスマトラ地震からおおよそ700km離れた場所にある。これが津波で新しく分かったことである。

(b) 人間の予兆

敏感な人は地震が来るのを感じることができるという報告がある。病院の医者がそうした予兆事例を観察している。Latur と Andamann では、地震の2、3日前から妊婦と眼病患者的の来院数が増え、地震が起こった当日がもっとも多かった。データによるその数は、通常の来院数の5~7倍になる。表2がそれを示している；

表2 Latur と Andamann における地震前に来院した妊婦の数。地震後に、通常の値にもどる。

病院への来院者数	Latur	Andamann
1日ごとの平均来院者数	3~4人	1~2人
地震の3日前	7人	5人
地震の2日前	12人	9人
地震の1日前	16人	10人
地震の当日	21人	10人

妊婦の来院者数は5~7倍に増えている。眼病の人の来院者数も同じようにして得られている。

まとめ

4つの大きな地震を調べた結果、M6.5以上の地震が発生を予測できそうであることが分かった。母なる自然は、たくさんの予兆現象を示してくれている。それらのうちで最も重要なのは地震-電気-磁気効果で、一般の人々が、自宅のラジオ、テレビ、電話などで観測できる。通話自体が、装備された電磁気研究室として利用できる；このために必要な新しい観測機器などは何も要らないのである。電話回線や携帯電話も、地震の前兆を知るのに役立つ。人間や動物の予兆現象もまた、同じくらいに重要である。人々の暮らしを守るためにわれわれは、いくらでも予告できるようにしたい。予告は、限られた時間内に、隅々まで行き渡るようにすべきである。この5年間で地震のために亡くなった人はおよそ30万人もいる。地震は予知できないというたぐいの、昔からの絵空事を本気にする必要はない。かりに、現在の進んだ工学技術によっても地震予知ができなかったとしても、すでに紹介したような予兆現象の数々を、おおらかに受け入れれば良いのである。犬が吠え、カラスがうるさく鳴き、たくさんの妊婦が病院に行くような、信頼すべき予兆の情報が入ったら、われわれは何の先入観ももたずに、それらを受け入れるべきである。地震-電気-磁気効果は、的確な予測技術開発への多くの道を約束してくれるものである。

文 献

Bapat, A., 2003. Role of Telecom in Seismic Surveillance. Proc. Nat. Sym. On Developments in Geophys. Banaras Hindu Univ., Varanasi, p. 129-132.
 Bapat, A., 2005. Learning from Seismic Precursors. The Dawn (Pakistan), 22 Oct. 2005.

Bernard, P. et al., 1997. From precursors to prediction: a few recent cases from Greece. *Geophys. J. Internatl.*, p. 131, p. 467-477.

Campbell, N.H., 1998. A misuse of public funds: UN support for geomagnetic forecasting of earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.*, v. 70, p. 2251-2253.

Freund F., 2006. When the earth speaks: Understanding pre-earthquake signals, First European Conf. Earthq. Engg. Geneva, Switzerland, 3-8 Sept 2006 paper no. 6, p. 1-10

Geller, R.J., Jackson, D.D., Kagan, Y.Y. and Mulargia, F., 1997. Earthquake cannot be predicted. *Science*, v. 275, p. 1616-1617.

Gershenzon, N. and Bambakidis, G., 2001. Modelling of seismoelectromagnetic phenomenon. *Russ. J. Earth. Sci.*, v. 3, p. 247-275.

Keilis-Borok, V., 2002. Earthquake prediction; State of the art and emerging possibilities, *Annual Rev. of Earth and Planetary Sci.*, v. 30, p. 1-33.

King, C.Y., 1983. Electromagnetic emission before earthquake. *Nature*, v. 301, p. 377.

Lomnitz, C., 1994. Fundamentals of earthquake prediction, 326p. New York, N.Y.

Plastino, W., Bella, F., Catalano, P.G. and Giovambattista, R.D., 2002. Radon groundwater anomalies related to the Umbria-Marche Sept. 19, 1997 earthquake. *Geophysics International*, v. 41, p. 369-375.

Qiang, Z.J., Xu, X.D. and Dian, C.D., 1990. Abnormal infrared thermal of satellite forewarning of earthquake. *Chinese Sci. Bull.*, v. 35, p. 1324-1327.

Rikitake, T., 1984. Earthquake forecasting and warning. D. Riedel Pub. Co., Dordrecht, Boston and London.

Tsukuda, T., 1992. Sizes and some features of luminous sources associated with the 1995 Hyogo-Ken Nanbu earthquake. *J. Phy. Earth*, v. 45, p. 73-82.

Uyeda, S., 1998. VAN method of short-term earthquake prediction shows promise. *EOS Trans*, v. 79, p. 573-578.

Yen, H.Y. et al., 2004. Geomagnetic fluctuations during the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan. *Earth Planet Space*, v.

56, p. 39-45.

Yoshida, S. et al., 1994. Electromagnetic emission associated with frictional sliding of rock. In, "Electromagnetic phenomena related to earthquake prediction". Hayakawa, M. and Fujinawa, Y. (eds.), p. 307-322. Terra Scientific, Tokyo, Japan.

著者の横顔：Arun Bapat 博士は、Pune にある中央水圏・動力研究所（CWPRS）の地震工学研究部門の主任研究官。彼の主な仕事はインドの地震カタログの編集。この本はインド地震工学協会（ISET）から出版された。彼はこれからのテーマとして「地震堆積学」に取り組んでいる。川の集水域で被害地震が起きると、川やその他の地域で堆積物が増え、これを彼は「地震堆積物」と呼んでいる。彼は、この堆積物の量を数式で計算して求めた。彼は、カナダの津波研究者・Tad Wurty との共著で、「インド沿岸の津波」をまとめた。これは、インドの津波についての最初の本である。彼は、2004年のスマトラ沖地震の4ヶ月前に、アンダマン海とスマトラ地域で起こった被害地震のおりの発生予測に関する事情にくわしい。彼は155編の論文とおよそ550の地震に関連した記事を書いている。彼は現在、インドばかりでなく、その近隣のネパール、パキスタン、インドネシア、モザンビーク、セイシェル諸島などの諸国でも、地震に関する調査や研究をすすめている。彼の最近のテーマは、地震の予測と都市の地震に対する脆弱性などに関するものである。

編集者からのコメント：この論文は、2006年11月29日にニューデリーで行われた第1回インドの自然災害に関する経営者会議で発表された。それが、最近のインドネシアをはじめとする大被害をともなった地震に興味をもって編集者の目にとまった。編集者は、地震-電気-磁気効果とその他多くの予兆現象について述べたこの論文は、地震予知科学に深い関心をもつ人には、きわめて大切なものだろうと考えた。Blot の地震エネルギー伝播と Shou の地震雲に関する論文とともに、この論文は、被害地震を科学的に予測するための先駆けになるものであろう。

固体惑星の潮汐と深層の差動運動

SOLID PLANETARY TIDES AND DIFFERENTIAL MOTION OF DEEP LAYERS

Lev A. MASLOV

Otero Junior College, La Junta, Colorado, USA
Leo.maslov@ojc.edu

Vladimir A. ANOKHIN

Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean, St. Petersburg, Russia
anokhin@vniio.nw.ru

（窪田 安打 [訳]）

要 旨 : 地球の地殻の断層やリニアメントの方位にみられる規則性が、断層とリニアメントの空間的な分布のフラクタル統計と同様に、研究された。この研究にもとづくと、地球の地殻、そして、おそらくリソスフェアは、細かく分割された、スケールに依存しない階層的物質として扱おうと考えられる。我々は、地球の物質を、長期間にわたって、長波荷重 (太陽と月の潮汐作用による変形) をうける loose な (ばらばらの、束ねられていない) 物質として近似的に取り扱うことを提案する。loose な物質の変形に関する数学的・実験的モデルは、放射状の惑星潮汐が、惑星各層の横方向への差動運動に変換されることとして表現される。自転する座標系での差動運動は、各層の運動の相対的遅れとして現われる。この現象は、従来のメカニズムに換言すると「リソスフェアの西方漂移」の説明に用いることができる。惑星層の差動運動は惑星の磁場の発生に関与し、深層では剪断による加熱・溶融をもたらすメカニズムとして働く。

キーワード : 地球, 月, 潮汐, loose な物質, 差動運動, 西方漂移, 磁場

地球と月の間の重力的相互作用は、地球と太陽と同様に、地球の進化において強力かつ、長期間の要因の一つである。地質学的時間スケールにおいて、潮汐変形は、いちじるしい長波 (M_2 と S_2 潮汐) であり、高周期振動と考えることができる。このタイプの荷重は、レオロジーが弾性、粘性、塑性、またはこの組合せでは表現できないことを示す。下層のマントルに対してリソスフェアの相対的な西方漂移は、マントル対流と同様、地球-月潮汐モーメントによるもっとも重要な現象である (Scoppola, Boccaletti, Bevis, et al., 2006)。惑星の磁気的運動と角モーメントの間の強い関係は、回転のエネルギーを惑星磁場エネルギーへ変換するメカニズムが存在することを示す (Arge et al., 1995)。本論文は、潮汐変形を評価した新しいレオロジーモデルを提案し、潮汐変形が惑星深部層の差動運動へどのように変換されるかを研究する。この研究では、これらの2つの現象—いくつかの惑星におけるリソスフェアの西方漂移と強い磁場—が、単一の原因と基本メカニズム、すなわち、惑星深部層の差動運動によって説明される。

断層とリニアメントの方位にみられる規則性

“リニアメントと断層の方位と数” のローズ図が、図1に示される (Maslov and Anokhin, 2006)。この図の解析は、地球の地殻には、断層とリニアメント (F&L) の2つの全地球的系統—系統Iと系統II—が存在することを明らかにした。系統Iは南-北および東-西方向のF&Lで、系統IIは北西-南東および北東-南西方向のF&Lで、それぞれ構成される。系統IとIIのL&Fはロシア卓状地のRiphean地溝から、ウラル褶曲帯、紅海のアルパイン地溝にわたる、さまざまな地質時代の構造を含む。この構造は深い根を持ち、地質学的時間をつうじて安定して存在する。リニアメントと断層の方向のローズ図の概要は、図2aに示される。±10~15°の偏異をもつ、約±45°の対称的方位をもつ系統IIのL&Fは、バイモーダルな (双峰的) 方位分布を示す。

数学モデル

Stovas(1963) が、地球の回転楕円状圧縮力の変化を引き起こす機構的応力をあらわす数学モデルを示した。地球の回転楕円状圧縮の変化を引き起こす主応力は、±45°の方位にあるNE-SWとNW-SE方向に配列する。これは、図1と図2aに示されるF&Lシステムによく一致する。こ

の分布のバイモーダルな構造は、図2 (b & c) に示されるように、クーロンの破壊式を利用して説明することができる。地球の回転楕円状の扁平率の変化は、地球自転の変化に起因し、地球地殻に $A = 45^\circ \pm \phi/2$ の角度で配列した2系統の断層で生みだしている。この角度は、砂では $30^\circ < \phi < 35^\circ$ であり、系統IIの断層とリニアメントのバイモーダルな構造によく一致する (図2d)。

断層とリニアメントの空間的分布の規則性

断層の特徴 (延長-頻度, 延長-断層間距離, 延長-変位量, 断層間距離-地殻の厚さ) の空間的相関性が、Sherman(1977) によって、ユーラシアとバイカル地溝帯において研究された。

断層の延長 (L) とその頻度 (N) の相関は、バイカル地溝帯の単位平方あたり、

$$N = 0.121 \cdot L^{0.42} \quad (1)$$

ユーラシアにおける、断層の延長 (L) とその間の距離 (D) の相関は、

$$D = 4.5 \cdot L^{0.45} \quad (2)$$

相関係数 $r = 0.7 \pm 0.3$

バイカル地溝帯において、断層の延長 (L) と断層沿いの変位の振幅 (A) の相関は、

$$A = 0.08 \cdot L^{0.77} \quad (3)$$

相関係数 $r = 0.77 \pm 0.22$

断層の延長 (L) とその頻度 (N) の相関は、ユーラシアの単位平方あたり、

$$N = 0.052 \cdot L^{0.40} \quad (4)$$

関係式 (1~4) は、両対数座標系のグラフで、断層とリニアメントの統計学的分布のフラクタル次元を反映する傾斜した直線を示す。本研究のLの変動範囲は3桁の規模である。

地震波のばらつきにより明らかになった、リソスフェアの不均質性のフラクタルな性質が研究されており (Wu and Aki, 1985)、リソスフェアの不均質性に関するフラクタルな性質に関する膨大なデータがTurcotte (1995) によって概括された。

地球の地殻の支配的構造

断層とリニアメントの方向の規則性、それらの空間的分

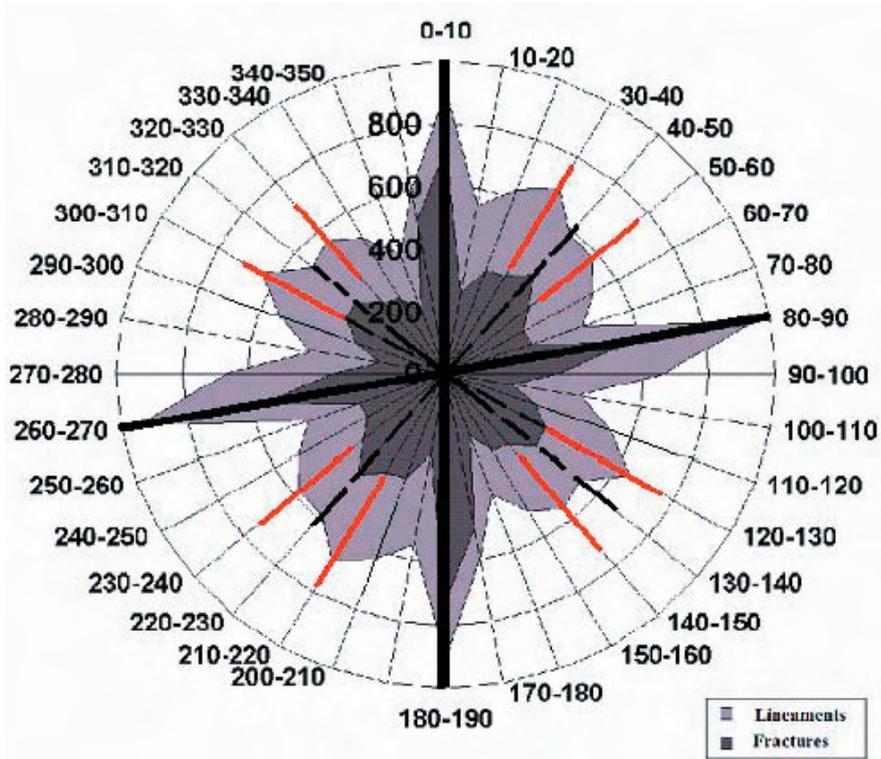


図1 リニアメントと断裂(L&F)の方位ローズ図. 方位は度で示され, 半径方向の座標は, 該当するL&Fの個数である. L&Fの系統Iは実線, 系統II-破線.

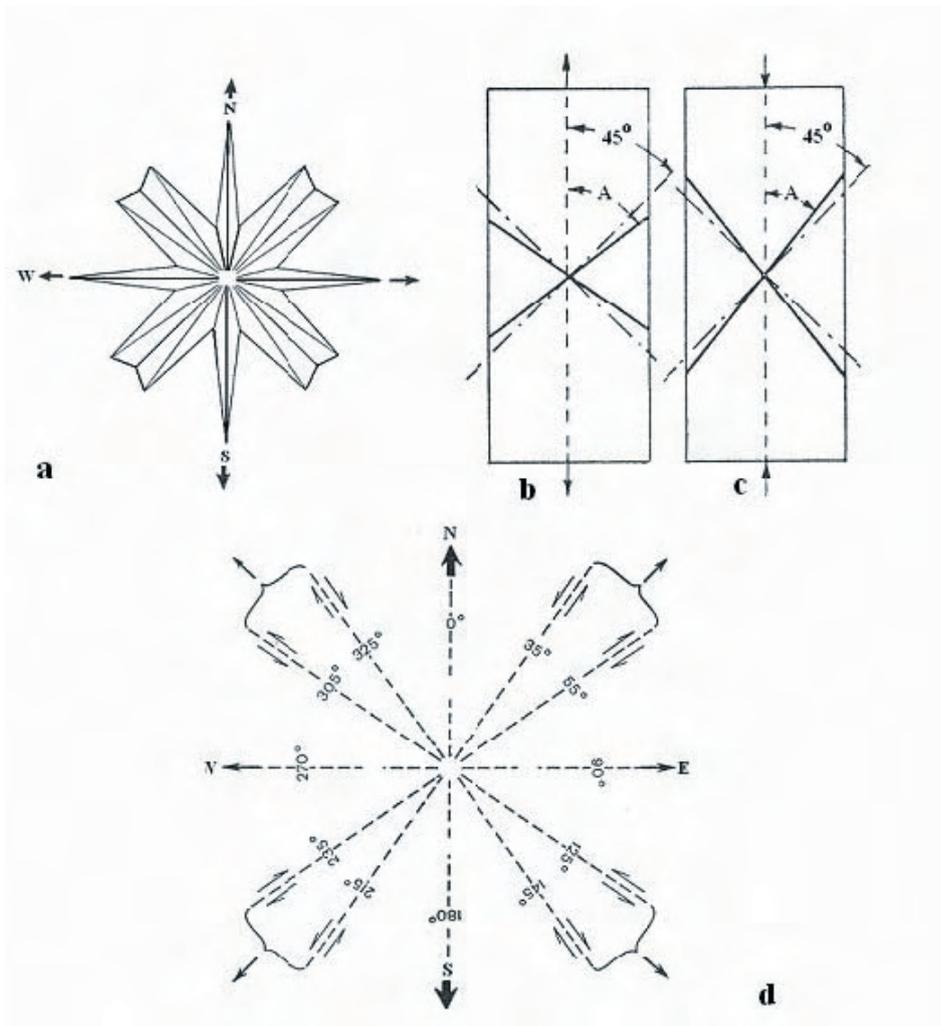


図2 図1の概略図(a, b). 断裂のクーロンの法則による, 伸張(c)と圧縮(d)下で発生する標準的な断裂方位.

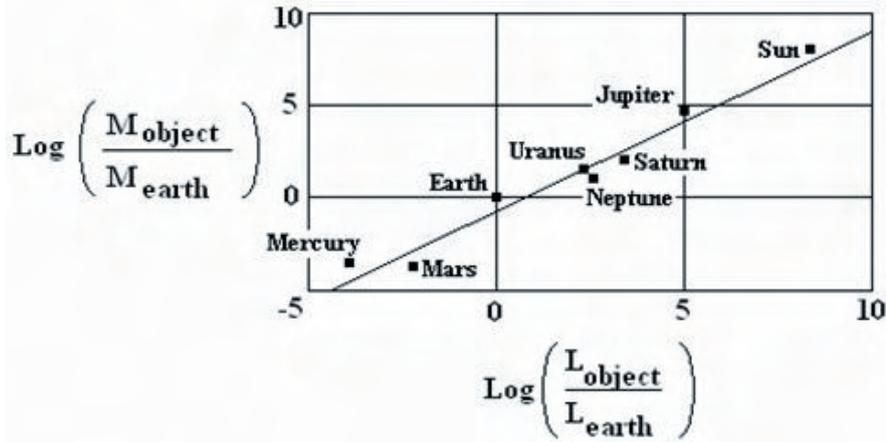


図3 惑星の角モーメント (L) と磁力運動 (M) の間の相関 (Arge, Mullan and Dolginov, 1995)

表 Table

Planet	Factors affecting generation differentiated motion of layers in the model of loose substance				
	Rotation / Revolution	Tidal wave	Density and Consolidation	Differential motion of layers	Magnetic Moment of a Planet / Magnetic Moment of the Earth
Mercury	1.5:1	Very low velocity?	High density and high consolidation	Does not exist?	<6.1e(-4)
Venus	1:1	No tidal wave	High density	Does not exist?	<1.3e(-4)
Earth	366:1	50 cm of the M2 wave	High density and low consolidation	Centimeters/year	1.0e(0)
Moon	1:1 to the Earth	No tidal wave	High density and high consolidation	Does not exist?	1.6e(-8)
Mars	669:1	Low amplitude (<0.02 of the Earth's tide amplitude)	High density and high consolidation	Does not exist?	2.7e(-5)
Jupiter	10476:1	High amplitude?	Low density and low consolidation	Strong?	2.0e(4)
Saturn	24232:1	High amplitude?	Low density and low consolidation	Strong?	5.4e(2)

布の規則性は、地球地殻と、おそらくリソスフェアが、細かく分割された、スケールに依存しない階層の物質として扱われることを示唆する。この物質を構成する粒子の特徴的サイズは、数桁の範囲にわたる。この視点によると、地球の地殻物質は、長期間・長波の近似による loose な物質として扱うことができる。

磁場を発生させる惑星の回転の役割

惑星の角モーメント (L) と磁力運動 (M) の間の相関につ

いては、Arge et al. (1995) が研究した。惑星の回転とその磁場との相関も、議論されている (Kosygin and Maslov, 1990)。図3は、惑星の角モーメント (L) と磁力運動 (M) の間の強い相関が存在することを示している。惑星または星の回転がその磁場にどのように効果を与えるか？ 上の表は、土星や木星 (液体とガスの惑星) のような回転が速くて低凝縮度の惑星、そして月と太陽による潮汐変形のために低凝縮度の唯一の地球型惑星である地球に、強い磁場が観察されることを示す。

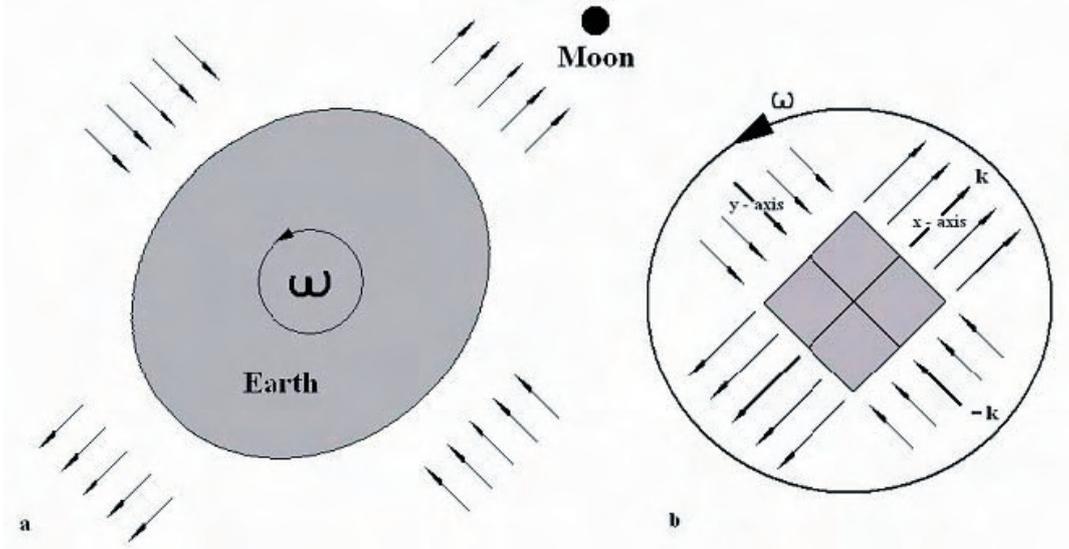


図4 地球の潮汐変形 (a) と loose な物質の '潮汐' 変形モデル (b) のスケッチ

地球層の差動運動の数学モデル

loose な物質の潮汐変形をモデル化する差分連立方程式は、以下の式で与えられる (Revuzhenko, Chanishev and Shemiakin, 1985; Revuzhenko, 2006) :

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= kx - \omega y \\ \frac{dy}{dt} &= \omega x - ky \end{aligned} \tag{5}$$

t は時間, k と -k は x と y 軸に一致する方向の引張, 圧縮率である. ω は荷重の回転角速度であり, 図4に示す.

この系の解は,

$$\begin{aligned} x &= \left(\frac{k}{\lambda} C_1 - \frac{\omega}{\lambda} C_2 \right) \sin \lambda t + C_1 \cos \lambda t \\ y &= \left(\frac{\omega}{\lambda} C_1 - \frac{k}{\lambda} C_2 \right) \sin \lambda t + C_2 \cos \lambda t, \end{aligned} \tag{6}$$

where $\lambda = \sqrt{\omega^2 - k^2}$, $\Delta\omega = \omega - \lambda \approx \frac{k^2}{2\omega}$, $v = 2\pi\lambda\alpha R$, and v is the linear velocity of a particle.

v は微粒子の線速度である.

(6) によると, 微粒子の軌道は, 楕円の離心率 $e = \sqrt{(\omega-k)/(\omega+k)}$, 周期 $P = 2\pi / \omega$ よりも大きな周期 $P = 2\pi / \lambda$. 図5(a) は $k=4.0$, $\omega=10.0$, $t=2\pi / \omega$ として計算した離心率であり, 故に $\Delta\omega = 0.8$ である. 角速度 ω で回転する座標系での微粒子の離心率を, 図5(b) に示す. 図5(a & b) に見られるように, 全体の回転速度に比較して, 微粒子の円運動に遅れがある. 同時に, このモデルには, 層の差動運動は起こらない. つまり, Δω は, どの半径でも同じである. 実際の惑星内部では, 圧縮率 k は, 地球の中心で最小値, 地表付近では最大となり, 半径に依存する. loose な物質の潮汐変形の数学モデルは, 変化する圧縮率 k を等式 (5) で決定する. 図5(c) は, 微粒子の軌道を以下で示す.

$$k = b \cdot \sin(r), \quad r = \sin(\sqrt{x(t)^2 + y(t)^2}) \tag{7}$$

非回転座標系では, $0 \leq r \leq 1$, および $t = 2\pi / \omega$ である. 角速度 ω で回転する座標系の微粒子の軌道を図5(b) に示す. このケースでは, 全体の回転速度に対する微粒

子の回転運動の遅れ, つまり, 層の差動運動が観察される. この結果を地球にあてはめると, 惑星の潮汐変形が, 深層の差動運動とともに, リソスフェアの西方漂移をひきこじうると言える. このメカニズムは, 更に, Scoppola, Boccaletti, Bevis, et al. (2006) が議論した潮汐トルクとマントル対流につけくわえることができる. 地球の回転では, $\omega = 7.27 \cdot 10^{-5} \text{C}^{-1}$, 地球の半径を平均化した係数 k は, $k = 3.63 \cdot 10^{-12} \text{C}^{-1}$ である. このケースでは, リソスフェアの西方漂移速度はおよそ 4mm/年である. もし潮汐変形が全層厚約 600km の単層もしくは複数層に集中すれば, リソスフェアの西方漂移は約 40mm/年になる.

実験モデル

loose な物質の '潮汐' 変形の実験シミュレーションが, Revuzhenko, Chanishev and Shemiakin, (1985) および Revuzhenko (2006) によって行われた. 実験装置は, 図6に示すように, 砂で満たされた撓みやすい円筒のまわりを回転するもので, わずかに楕円状になった堅い円筒できています. 外部の円筒が回転すると, 重力的潮汐による地球の変形に良く類似した状況が生まれる. 初期には, 全微粒子の運動を表現するマーカーとしての黒い砂壁が, 楕円を完全に二等分して, 円筒の底までつづいている. 2, 3回転すると, 砂の黒線が変形する. 多数回転すると, 黒い砂線に螺旋構造が現れる.

まとめ

断層とリニアメントに関する研究は, 地球の地殻やリソスフェアには, 全地球的な2系統の断層とリニアメントが存在し, それが惑星自転の減速とその変化に起因することを明らかにした. 断層とリニアメントの空間分布のフラクタル統計解析は, 細かく分割された, スケールに依存しない, 長期間, 長波長の階層的物質として扱いうることを示した. この種の物質は, 材料学的には loose な物質と認識される. loose な物質の潮汐変形の数学的・

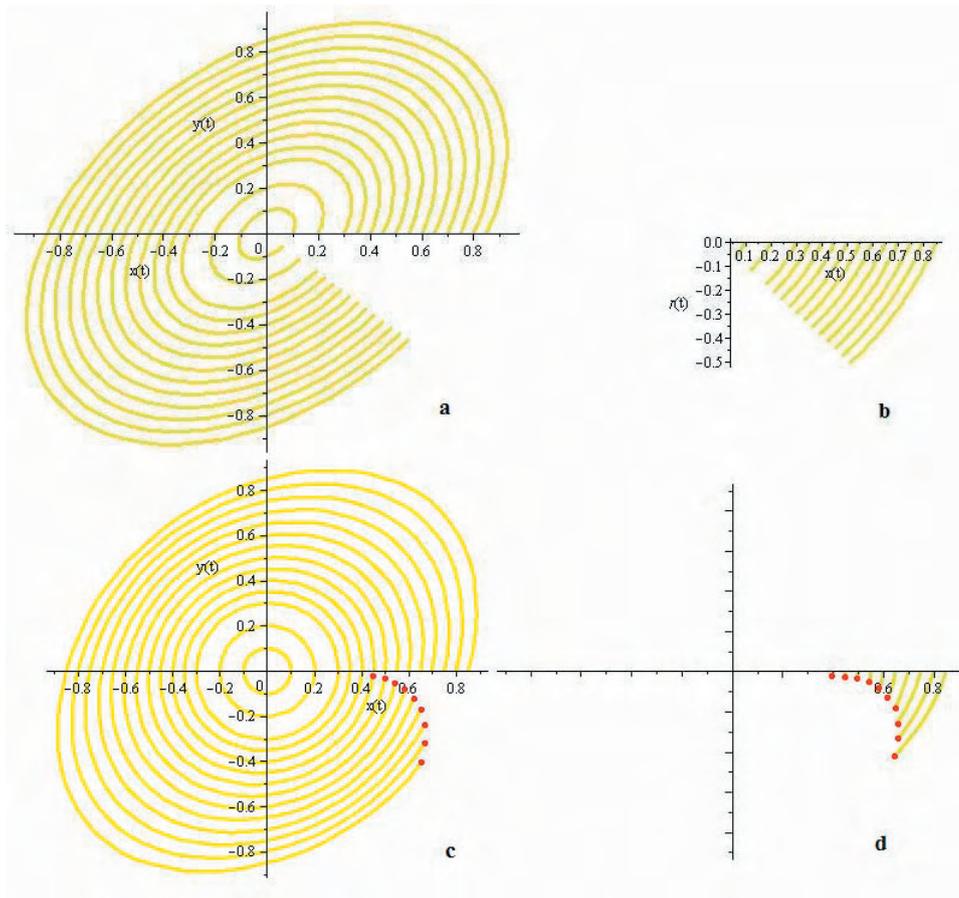


図5 loose な物質の潮汐変形の数学的モデル
 a. 一定の係数 k のモデルにおける x 軸の内部の位置をもった、非回転の座標系での微粒子の軌道；層の特異な運動がない。
 b. 角速度 ω で回転する座標系での微粒子の軌道
 c. 式 (7) に関する、変化する係数 k のモデルにおける x 軸の初期位置の、非回転の座標系での微粒子の軌道
 d. 角速度 ω で回転する関連システムでの微粒子の軌道；層の特異運動がある。

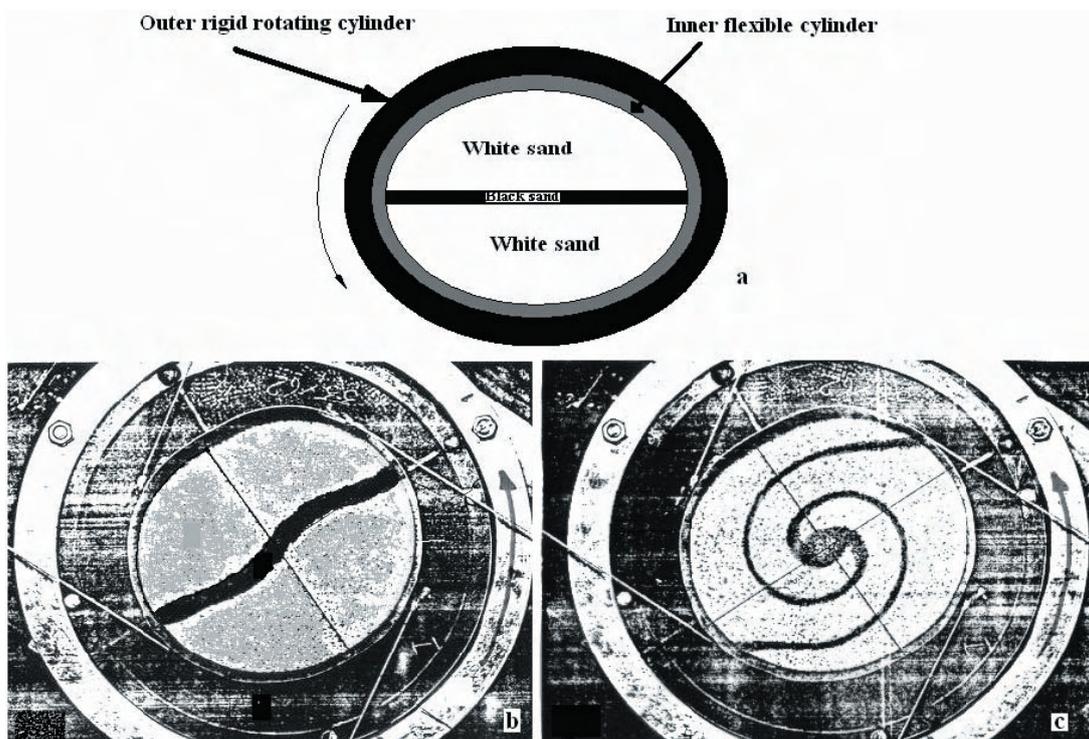


図6 実験装置 (a), loose な物質の潮汐変形についての実験モデル結果 (b, c). 実験の初期ステージ (b). 外部円筒の 500 回以上回転したあとの黒い砂線 (c) (Revuzhenko, Chanishev and Shemiakin, 1985).

実験的モデルは、半径方向の潮汐変形が惑星層の側方への差動運動に変換されることを示した。この運動は、推論されたとおり、リソスフェア全体の西方漂移の重要な一部をなしている。差動運動は、惑星磁場の発生に関与しているマントルおよびコア物質に剪断加熱と熔融を生じさせるメカニズムとして働いている。

謝辞 Sara Grace Burtwell には本稿を詳細に読んでいただき、有益な助言と本研究を仕上げるための真剣なコメントをいただいた。感謝申し上げます。

文 献

- Arge, C.N., Mullan, D.J. and Dolginov, A.Z., 1995. Magnetic moments and angular momenta of stars and planets. *The Astrophysical Journal*, v. 443, p. 795-803.
- Kosygin, Yu.A., Maslov, L.A., 1990. Rotation of planets and their thermal and magnetic fields. *Geotectonica et Metallogenia*, v. 14, p. 109 - 113.
- Maslov, L.A. and Anokhin V., A., 2006. The Earth's decelerated rotation and regularities in orientation of its surface lineaments and faults. *Planetary and Space Science*, v. 54, p. 216-218.
- Revuzhenko, A.F., 2006. *Mechanics of granular media*. Springer-Verlag, Verlin Heidelberg.
- Revuzhenko, A.F., Chanishev, A.I. and Shemiakin E.I., 1985. *Matematicheskie modeli uprugoplasticheskikh tel (Mathematical models of the elasto-plastic materials)*. p. 108-119. In: *Pressing problems of computing mathematics and mathematical modeling*. Russian Academy of Science, Siberian Branch, ComputingCenter. Novosibirsk (In Russian).
- Sherman, S.I., 1977. *Fizicheskie zakonomernosti razvitiya razlomov zemnoi kori (Regularities in the surface distribution of the Earth's crust faults and lineaments)*. Novosibirsk, Nauka, 102 p. (In Russian).
- Scoppola, B., Boccaletti, D. and Bevis, M., et al., 2006. The Westward drift of the lithosphere: A Rotational Drag? *GSA Bull.* v. 118, p. 199-209.
- Stovas, M.F., 1963. *Nekotore voprosi tektogeneza (Some problems of tectogenesis)*. In: *Problemi planetarnoi geologii*. Gosgeoltekhizdat, p. 222-274, Moscow (In Russian).
- Turcotte, D.L., 1995. *Scaling in Geology: Landforms and Earthquakes*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, v. 92, p. 6697-6704.
- Wu, R.S. and Aki, K., 1985. The fractal nature of the inhomogeneities in the lithosphere evidenced from seismic wave scattering. *Pure and Appl. Geophys.*, v. 123, p. 805-818.

気候へのテクトニクスの支配

TECTONIC CONTROLS OF CLIMATE

Cliff OLLIER

Western Australia 大学地球科学・地理科学教室, Crawley, WA6009, Australia
cliffol@cyllene.uwa.edu.au

(山内 靖喜 + 矢野 孝雄 [訳])

要 旨 : 時流に適合した Bhat (2006) の温室 - 地球温暖化のすばらしい考察において、彼は CO₂ 以外の多くの要因が世界の気候に影響を与えていることを指摘し、それにはテクトニクスによるものも含まれているとした。海底噴出の地熱の影響が水温に与える効果、及び、気候と海底の両パターンが一致する可能についても、彼は述べている。同じく、テクトニクスと気候という課題は Leybourne et al. (2006) によっても議論されており、主に海底地震の熱効果に関して論じられている。気候をテーマにした NCGT の別の論文には、テクトニクスよりむしろ宇宙論を強調した Endersbee (2007)、あるいは氷河・氷床とテクトニクスおよび気候との結びつきを議論している Ollier (2007) がある。テクトニクスの気候への影響に関するいろいろな観点の中から、本論では山地の隆起と大陸の再配置に議論をしばる。過去数 100 万年間のネオテクトニクス時代における世界中での山地の隆起は、気候変動を活発に促進した。とくに、チベット高原とそれを取り巻く山地の隆起は、アジアのモンスーン、ジェット気流および両半球間の交換を通して地球規模の効果をもたらした。負の温室効果の仮説は、気候変動の年代決定、あるいは炭酸ガス、風化および侵食の側面から支持されない。パンゲアのような超大陸は、現在の小さな大陸とは著しく異なった気候をもっていた。南極大陸は、周南極海流によって長期間孤立しているために、世界の他の地域と同様なテクトニクスと気候の歴史を経験していない。

キーワード : ネオテクトニクス, 負の温室効果, モンスーン, 大陸移動, 南極の孤立

はじめに

時流に適合適合した Bhat (2006) の温室 - 地球温暖化のすばらしい考察において、彼は CO₂ 以外の多くの要因、それにはテクトニクスも含む多くの要因が世界の気候に影響を与えていることを指摘した。海底噴出の地熱の影響が水温に作用し、気候パターンと海底のパターンがおそらく調和するであろうことを彼は述べている。同じく、テクトニクス - 気候の課題は Leybourne et al. (2006) によっても扱われており、彼等は主に海底地震の熱効果を議論している。

この論文では、テクトニクスと気候との関係、とくに大陸移動と気候および山地形成と気候の結びつきについて、その他のいくつかの考え方を私は論評する。評論に際して、私も、炭酸ガスをテクトニクスや気候に関連づけている流布されたいくつかの考えを論破する。

太陽エネルギーは伝統的に、気候の主要な支配要因とされ、気候変動はミランコビッチ周期や黒点周期のような天文学的事変のよるものと考えられていた。また、テクトニクスや海流のような他の要因の寄与はごく僅かであるとみなされてきた。ガス、塵およびエアロゾルを含む火山噴出、湿地、雨林、宇宙線、などその他のさまざまな要素も、それぞれの役割をもっている。最近の時代にも温室効果ガスによる変化があり、とくに CO₂ が圧倒的な要因とみられている。私は、この過度の強調は、単一の原因という魅力ある科学的誤謬の一例と考えている。

たとえ天文学的原因が短周期の変動に影響を与えたことを是認するにしても、氷期の始まりのような大きな変動の原因は未だ議論の余地がある問題である。ある人達(時流にのった人達)は大気中の CO₂ 濃度変化を支持し、別の人達はプレートテクトニクスに関連した陸海分布の変化を支持し、そしてさらに別の人達は山地形成の効果を支持している。私たちは、この過程を逆に使って、過去の気候の証拠を造構活動を解明するためにどのように使えばよいかを知ることができる。

直接的効果

新しい山地が現れると、それらは局地的な気候に直接的影響を与え、山地の高度と面積が大きくなるに従ってその影響は大きくなる。大火山がよい例である。アフリカでもっとも高いキリマンジェロは氷冠をもつことができ、多くの大火山は雨の陰および類似の気候効果をもたらす。

気候と造構性隆起

かつて低地であったところが隆起して高原になった場合、高原は新しい気候をもたらす。たとえば、Partridge (1998) は次のように述べている：“[南アフリカにおける] 1000m の隆起は、地表気温におよぼす効果の点では、高緯度地域が氷期に経験した寒冷化と同等である”。南アフリカの隆起が 2.8Ma ~ 2.6Ma の世界的寒冷化・乾燥化の時代と極めて良く一致したことが、その効果をより増大させたことと彼は考えている。一般に、雪線は赤道では高い高度にあり、極に向かって次第に低くなる。森林限

界や他の気候指標はより低い高度にある。Fleming(1979) は、南極からニュージーランドを経てニューギニアに至る間の森林限界と雪線の変化について記述している。彼の図は、いろいろな時代における雪線位置を示す (図 1)。

第三紀中頃の海水準高度での気候帯は、主に海の証拠に基づいている。その理由は、この時期のニュージーランドとニューギニアは、ほとんど海面上に現れていなかったからである。鮮新世には、海水準高度での気候帯はほとんど変化しなかったが、ニュージーランドとニューギニアは高くなり、さまざまな気候帯に分化した。最終氷期までに、これらの島々は、現在の高度とほとんど同じ高さまで上昇し、気候帯も移動して、これらの島々に氷河帯と高山帯を広く形成した。ニュージーランドとニューギニアの隆起が、更新世にはこれらの島々の気候に著しい効果を与えたことは明らかである。

ニュージーランドとニューギニアで求められた気候勾配にしたがって、オーストラリアの状況を説明することはできない。もし、Fleming の雪線をオーストラリアを横切るように描くと、オーストラリアは第四紀の寒冷な時代を通して氷河作用を受けるのに足りるほどの高度にあったことになる。オーストラリア本土は、これまでに最終氷河作用だけを経験している。この事実は、オーストラリアは早期の氷河期にはあまり高くなく、第四紀後期にネオテクトニクス隆起を蒙ったという考えを支持する (Ollier, 2007)。

風化と負の温室効果

Ruddiman と彼の研究仲間 (Ruddiman and Kutzbach, 1991; Raymo and Ruddiman, 1992; Ruddiman, 1997) は、山地の形成が負の温室効果によって気候を支配しているという仮説の主な支持者である。彼等の仮説は合衆国で広く教えられており、Hay (1996) のような他の研究者によって、繰り返し述べられてきた。この考えは以下のように要約される：

過去 4000 万年間にわたって造構性隆起が増大しつづけた結果、侵食・風化作用が強化された。岩石の風化は炭酸塩化によるものであり、大気から炭酸ガスを取り除く。炭酸ガスの減少は負の温室効果をもたらす、地球の寒冷化を導き、やがて氷期が到来する。

侵食・風化作用および炭酸ガスの相互関係についての提案には 3 つの大きな誤解がある、と私は信じている。

1. 侵食と化学的風化は、必ずしも一緒に起こるとは限らない 2 つの異なる作用である。しばしば山地で起きているように、分解され、運搬される岩石や鉱物の破片がほとんど化学的変化を受けてなくても、侵食は進行する。事実、多量の未風化の鉱物片や岩石片を含む未熟 (いわゆる labile*) な堆積物は、山地の急速な侵食に起因すると堆積学者は一般に考えている。

* [訳者注] labile : 物理的あるいは化学的に不安定な

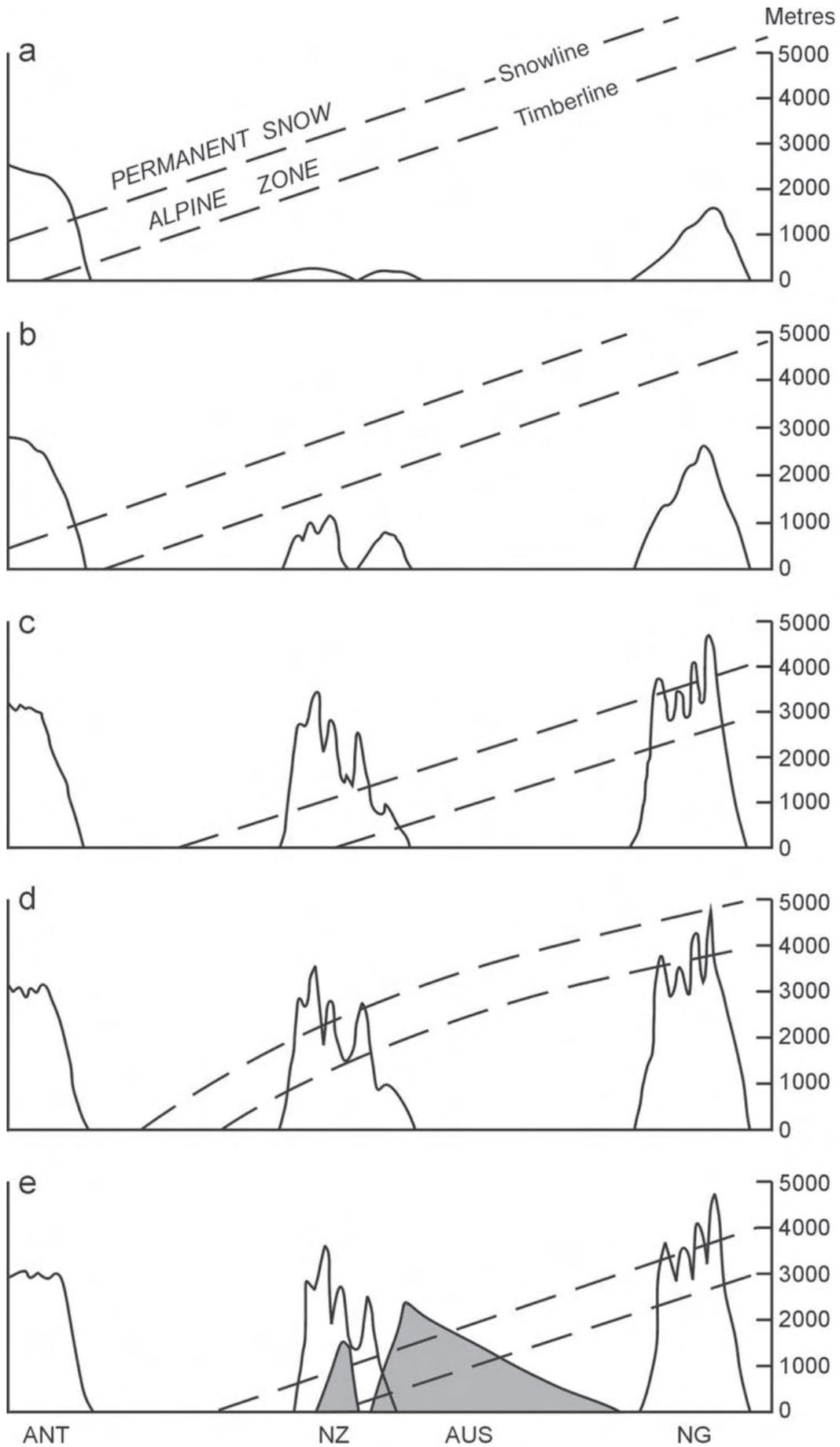
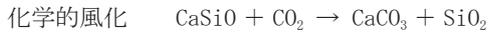


図1 雪線高度と森林限界高度の緯度変化と時代変化 (Fleming, 1979 より). 水平方向の縮尺は模式的である.
 a : 第三紀中頃, b : 鮮新世, c : 最終氷期, d : 現在 [Fleming の雪線に適合するようにオーストラリアの地形断面を記入] (Ollier, 1986 より). 説明は本文参照. ANT : 南極, NZ : ニュージーランド, AUS : オーストラリア, NG : ニューギニア.

鉱物や岩石の総称 (Glossary of Geology より)

2. 風化は、炭酸塩化 (すなわち CO₂ との反応) と同義ではない。Raymo and Ruddiman (1992) は次の単純な式を使っている。

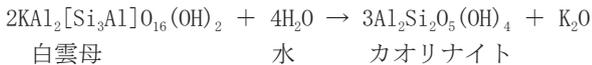


言葉でいえば、珪酸カルシウムを二酸化炭素が反応すると、炭酸カルシウムと珪酸ができる。

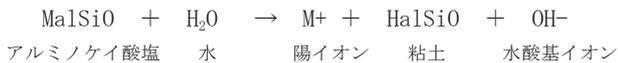
このような過度の単純化は多くの初歩的教科書にみられるが、正しくない。多くの状況において、加水分解は、珪酸塩の風化において他と比べられないほど重要な作用である (Ollier, 1984; Trescases, 1992; Eggleton, 1998)。

Eggleton は次のように述べた。“風化作用を受けている間、その他の陽イオンと酸素は溶液となって失われるために、陽子は固相に加わる”。

次の式は Eggleton によって与えられている式の一つである：



Ollier (1984) はアルミノケイ酸塩鉱物の風化を次のように表した。この式では M は何らかの金属イオンを表し、SiO は珪酸グループを表す。



風化は粘土を作り、炭酸塩を作るのではないことを理解することが重要である。

化学的深層風化作用が示す実際の証拠は、Ruddiman と彼の研究仲間によって仮定されたこととは真に正反対である。世界中の最も深い深層風化断面は、中生代あるいは第三紀初期のものである。この時代は、山地形成がほとんど行われなかった広大な平原の時代である。その後、隆起した高原は、古い表土をはぎ取る作用と結びついてエッチプレーン *etchplain** を形成した (Ollier, 1992; Ollier and Pain, 1996)。一般に、第三紀の中期あるいは初期以降には、化学的風化作用が弱まっているようであり、今日の化学的深層風化は、湿潤な熱帯地方に限られている。

* [訳者注] エッチプレーン：広大な風化基底面が露出した不規則な侵食平坦面で、深層風化の後に比較的細粒な物質が運び去られてしまう食刻作用によって形成されたと考えることができる (現代地形学)。

3. Ruddiman の誤った時間スケールによって、さらなる

問題が生じている。最初、Ruddiman and Kutzbach (1991) は次のように書いている：“4000 万年前より前には、世界の多くの地域は現在よりも暖かく、湿潤であった”。“過去 4000 万年間、とくに過去 1500 万年間にこの暖かく湿潤な気候の大部分が消失した。”そして、“重要なことに、現在水に融解した最大量の化学物質を海洋に運んでいる 3 つの河川……過去 4000 万年間に隆起したすべての集水域”。彼等はくりかえし 4000 万年を強調している。彼等は、チベット、コロラド高原のような北米西部の高地、およびアンデスの隆起が約 4000 万年前に始まったと主張した。しかし、新生代の氷期は本質的に第四紀の出来事であり、新第三紀後期にその前兆があった。北半球での氷河作用はおよそ 300 万年前に始まった (Imbrie and Imbrie, 1979)。40Ma の山地形成あるいは 1500 万年前でさえ、あまりに古く思える。今では彼等が提案したタイミングは間違っているようであり、彼等は世界の多くの場所で起きた若い時代の広汎な隆起に気づいていない。気候の寒冷化と山地形成の間の関係は基本的に正しいが、4000 万年ではなく 500 万年の時間尺度がより妥当であろう。

ネオテクトニクス期と地球規模の気候への影響

Ollier and Pain (2000) は、平原が隆起してできた高原から多くの山地ができたこと、そして、それが広く適用される否かを示す証拠を集めた。このことは、山地内部の岩石構造—水平か褶曲しているか、変成岩か花崗岩か—に関係しない。山あるいは山脈の形成年代は、このように高原の隆起年代であって、岩石の最新の褶曲年代ではない。これに基づく、過去数 100 万年間に隆起が顕著であり、それは全地球規模の現象であると言える。この現象は、いわゆる高山、活動的あるいは非活動的大陸縁の山々、および大陸内部深くの山々に作用した。このような隆起ステージは、ネオテクトニクス期として知られている (Ollier and Pain, 2000)。それ以前に、Mörner (1992) は次のように書いている：“その結果、ネオテクトニクスと古気候との重要な連鎖が主張される”。同じく、Zhu (1997) も、気候とテクトニクスの複合系が存在すると信じている。その理由は、気候変動とネオテクトニクス間に密接な連関があることにある。彼によれば、チベット高原の最初の隆起は約 3.5Ma ~ 2.4Ma の間に起きた。Ollier and Pain (2000) は、新生代の氷期と時代がだまかに一致するネオテクトニクス期以来、恐らく *orographic** 変動が実際に気候変動を起こしたという考え方を提案した。チベット、アンデスおよびその他多くの高地の隆起が主に鮮新世～更新世に起きたならば、隆起と気候変動の一致は、Ruddiman と彼の研究仲間が提案しているよりも、はるかに重要なことである。Ruddiman と彼の研究仲間の 40–20Ma よりも、*orographic* な時間尺度は氷河作用の時間尺度によく一致している。モンスーン気候と黄土の堆積の始まりがチベットの隆起と一致することは、詳細な対比の最良の事例であるので、いくらか詳細に概説しよう。

* [訳者注] *orographic*：現在ではほとんど使われていないが、山の構造や地形に関連した特徴に関する用語。

現在では, diastrophic (地殻変動の), epeirogenic (造陸運動の), orogenic (造山運動の) のように, より明確な形容詞が好まれている. (Glossary of Geology より)

Gansser (1991) は次のように書いている: "... 地形形成時相はヒマラヤ山脈に限らず, チベットブロック全体をも含んでいることを, 私たちは理解しなければならない. この驚くべき事実は, 更新世において 2,500,000 km² の面積が 3,000 ~ 4,000m 隆起させられたことを, そして, この隆起は今も続いていることを示す. 隆起速度は, ところによっては 4.5 mm/y (ヨーロッパアルプスの最大値の 5 倍) に達する."

鮮新世~更新世初期 (5 ~ 1.1Ma) には, チベット高原のクンルン (崑崙) 峠地域はわずか 1500m の標高で, 気候は暖かく, 湿潤であった (Wu et al., 2001). "クンルン峠地域における極端な地形変化は, 更新世前期~中期におけるチベット高原の急激な隆起を反映する. 崑崙-黄河テクトニック変動は, 1.1 ~ 0.6Ma に起きた". Zhen et al. (2000) は 4.5Ma 頃に隆起し始めた崑崙山脈の山麓堆積物から, 以上のように結論した. Gansser は, ヒマラヤ山脈の隆起を更新世とみなした. シワリクを調べた日本人研究者は, ヒマラヤ山脈からの碎屑物質で満たされた堆積盆地の埋積層について, 細粒堆積物が約 100 万年前に巨礫岩に取って代われ, それが主要な隆起時代を示していることを指摘した (小坂教授個人談話).

チベット高原地域は, それに先立って, 始新世中期と中新世初期に 2 回隆起し, 平坦面として記録された. この高原と周辺山地の最も強烈な隆起, いわゆる Qinzang (チベット = 青蔵) 変動は 3.6 ~ 1.7Ma に起き, 下記の時代に始まる 3 つのフェーズからなる.

- A 3.6Ma
- B 2.5Ma
- C 1.7Ma

モンスーンと黄土堆積の引き金となる臨界高度 2,000m までこの高原を隆起させたのは, 2.6Ma の Qinzang 変動 B フェーズである. 1.7Ma の Qinzang 変動 C フェーズは, 大きな地形調節をもたらし, 黄河や長江 (揚子江) のような大河川を含む現在の地形骨格をつくった.

さらに後の変動は, 1.1 ~ 0.6Ma に起きた崑崙-黄河 (または崑黄 Kunhuang) 変動と 0.15Ma 以降に起きた Gonghe 変動である (Li and Fang, 1999). Kunhuang 変動はこの高原を平均標高 3,000m まで隆起させ, さらに, 氷河発達の臨界高度に達する 4,000m 以上の山々をつくった. それ以降, この高原は何回かの氷河作用を経験した. Gonghe 変動は, この高原を現在の高度まで隆起させた. ヒマラヤ山脈は 6,000m 以上上昇し, インドモンスーンがこの高原上空への流れ込むのを妨げる大きな障壁となり, 中国北西部をさらに乾燥させた.

チベット高原とヒマラヤ山脈の第四紀の隆起は, 地球規模の気候パターンに影響をおよぼす強大な地形因子を新たにもたらした. ヒマラヤ山脈の平均高度が約 4,400m であった更新世前期~中期の間氷期堆積物の証拠は, 山脈の北側は, 南側の同じ高度の地域と同程度に暖かであったことを示す. この山脈が現在の平均高度 6,000m に隆起したことによって, ヒマラヤ山脈がより効果的な気候障壁になり, 暖かく湿潤な空気がチベット高原に流入するのを妨げた.

プレートテクトニクスの研究者でさえ, 若い山地の気候への効果を理解している. 私にとっては信じがたいことであるが, 造構力は遠大な距離を伝わるという考え方が広く信じられており, Buslow et al. (2006) もこれを受け入れて, 次のように述べている: "この (中央アジア山脈の) 造構変形の駆動力はインド-ユーラシ衝突帯から長距離を伝わってきたものである." それにもかかわらず, 彼等は次のことを認めている. すなわち, "中央アジアの巨大な内陸山系は広域的な大気循環や, さらに地球規模の循環さえも変化させた. また, 広大な陸地を雪線より高い高度に上昇させたために太陽光の反射を増加させ, ついには気候の寒冷化という結果を招いた. とくに鮮新世後期以降には, 高い山々が, 寒い北部ユーラシアの気流と主にインド洋からくる暖かな南の気流の間の効果的障壁になった" (下線は著者による). 論拠もなく主張されている主要な衝突時期が, 鮮新世よりもはるかに古いことは言うまでもない.

モンスーンの影響

モンスーンは気候タイプの 1 つで, 主要風向の逆転に特徴づけられる. モンスーンタイプの風と季節変化はいくつかの大陸で認められるが, アジアでのモンスーンはもっとも強烈で, 全球的影響をもつ. 文献の多くはインドモンスーンに関するものだが, 東アジアモンスーンはより重要だろう. このモンスーンは中国での風成レスの堆積に関連し, この特異な成層堆積物は傑出した気候変動記録になっている.

均一地球では, 惑星規模の循環は, 両半球において同じになる. しかし, 北半球により多くの陸地があるため, 両半球での循環が異なる. 季節変化は, 北半球でより大きい. いっぽう, 南半球での循環はより強力で, 6-7 月に熱的赤道が北へ移動すると, 南半球の循環が赤道を越境する. 逆に, 赤道収束帯の南半球への季節的移動は限定的である.

モンスーンをもたらす地表近くの風況に加えて, 大気は高高度のジェット気流に大きく影響される. ジェット気流は一般に西から東へ吹くが, その主要気流の位置は, チベット高原および関連山脈の地形によって影響をうける. ジェット気流は, おもに約 10km の高度に発生する. 山地高度はその半分までしかないのだから, 地形の影響は直接的ではなく, おそらくは, ジェット気流を偏向させるチベット高原上空の高温に由来する. 1 つのジェット気流はチベット高原のすぐ南側に位置し, もう 1 つは

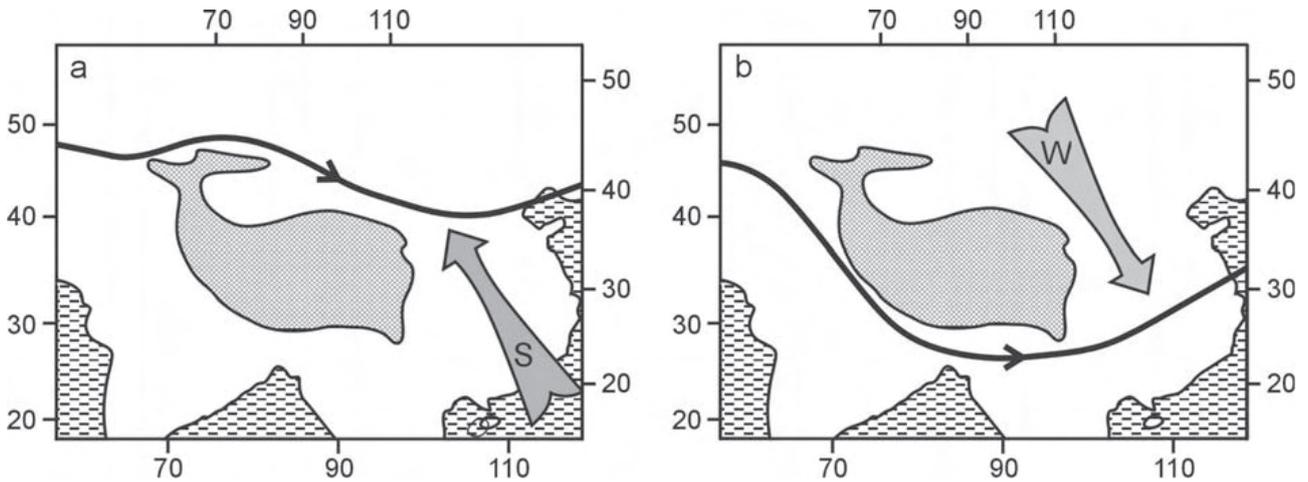


図2 東アジアモンスーンに関わるジェット気流の変化を示すチベット地図 (Fang et al., 1999a による). a: 7月, 夏のモンスーン (北半球), b: 1月, 冬のモンスーン. 陰影部は, 海拔3,000m以上.

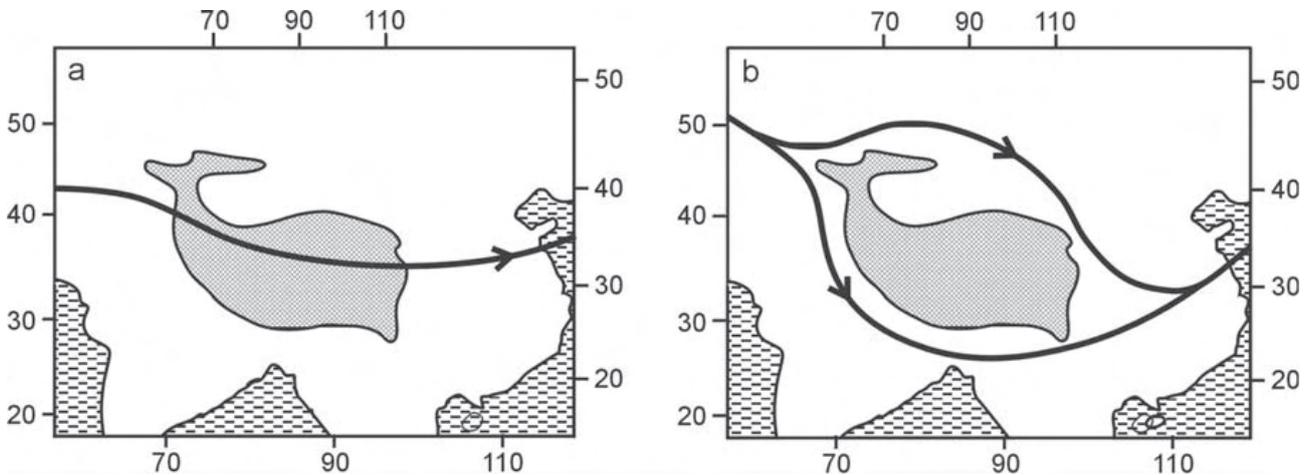


図3 隆起前後のチベットおよび周辺におけるジェット気流 (Fang et al., 1999b による). a: 80万年以前, b: 80万年以降. 陰影部は, 海拔3,000m以上.

チベット高原北部周辺に位置する. これら2つのジェット気流は, 中国領に入ってヒマラヤ山脈の東で合流する. これらの西風は, 春になると北方へ季節移動をはじめ. ヒマラヤ側の気流が衰弱すると, 北寄りのジェット気流が強化されるが, これら両気流は地形に制約されて自らの平均的位置を保持する. 南側のジェット気流は最後には衰えて, 2~3日 [訳者注: 2~3ヶ月?] 以上にわたって消失し, 結局はインドの夏のモンスーンが強まる. 9月下旬または10月になると, 赤道の低気圧帯が衰弱し, 南方へ後退する. 10月半ばには, 高高度を吹くヒマラヤジェット気流が, かなり急激によみがえる.

Fang et al. (1999b) は, モンスーン気候について詳細に説明した. 彼らの図には, 西からのジェット気流の位置が示されている (図2). 彼らによると, チベット高原の隆起は, チベット高原のモンスーンを発生させるだけではなく, 北半球における温度勾配を大きくしている, という. Fang et al. (1999b) は, さらに, チベット高原が隆起する以前には, ちょうど現在の高原の位置を横切って単一のジェット気流が吹いていたことを示唆した (図3). この新しい風況変化 (および, レスの組成変化) をもたらしたチベット高原の最近の隆起は, 約80万年前のブリュンヌ-松山磁場逆転期のころに起こった.

Manabe and Terpstra (1974) は, チベット高原の隆起運動が, 本質的には東および南アジアのモンスーンを発生させた, と主張する. モンスーン条件が整うと, チベット高原の北側はいっそう寒冷化・乾燥化し, それが氷河の成長を妨げる. Liu and Ding (1998) は, レス記録によって決定された古モンスーンを記載した. 過去260万年間における古モンスーン記録は, 166件の事変として記録されている. 更新世の氷期/間氷期サイクルの期間中に, モンスーンによる降水帯は発達と衰退という大きな変化をくりかえし経験した. 第四紀におけるモンスーン・システムの時空変化は, 全地球の氷容積と密接に関連する. チベット高原の隆起は, モンスーンのはじまりと密接に関係するいっぽう, より小規模な変化は, 地球の軌道要素の変化に制御されているのであろう.

モンスーンは, チベット高原上空の低気圧 (インド低気圧) と太平洋およびオーストラリア両高気圧とを結びつけ, 両半球間の熱交換を促進することによって, 一部では, 全地球的気候変化にも影響している. "冬のモンスーンは北半球高緯度地域に生まれ, 気候指標を低緯度地域へ, さらに, 赤道を越えて運搬できるので, 両半球間での気候変化の相互作用に部分的に影響している,

と私たちは推測する。” 両半球間での相互作用は別の様式でも行われると考えられ、幾人かの専門家は、南半球での年間の循環パターンが、基本的には、アジアモンスーンの詳細な時期と程度を決定している、結論した。

いくつかの研究の間で、異なった時期とメカニズムが示唆されていることに、注意する必要がある。Roe et al. (2004) は、「約7~8 Maに中国の蘭州周辺域で風成塵の堆積が著しく増加した」と主張した。彼らは、それを、「ほぼ同時期に起こったグリーンランドにおける氷河作用のはじまり」と地形発達に関連づけた。

大陸移動と気候

すべてではないが、ほとんどの地質研究者は、なんらかの様式の大陸移動を信じている。比較的古い考え方では、大陸は地球上を単純に移動し、分裂したアフリカと南アメリカはしだいに離れていく。ある研究者たちは2つの初原的超大陸—ゴンドワナとローレンシア—を、そして、他の研究者たちは単一の超大陸—パンゲア—を想定する。Carey (1976) やMaxlow (2005) のような地球膨張論者は、初期のより小さい地球全体をおおむね単一のシアル質層を想定し、新しい海洋底が生じて大洋盆が生成するにしたがって、それらが分裂していくという。

大陸移動は、気候にどのような影響をおよぼすのであろうか？

1. 超大陸における気候は現在のより小規模な気候とは違っていた、と実感できるはずである (Ollier, 1992)。海までの平均距離はより大きく、それによって、論理的には、より大陸型の気候が生じたと考えられる。海岸から内陸までの平均勾配を想定すると、より小さな大陸の中心部に比べて、超大陸の中心部はより高高度であったろう。主要河川はより長く、それゆえに、それらの平均勾配はより小さく、浸食力はより小さかったであろう。小さい浸食速度は、歴大な風化生成物を集積する。陸源堆積物が増加するにつれて、生成する粉塵は、現在の小さい大陸におけるよりも、はるかに大量であったろう。

2. 大陸の再配置は海流を変化させ、エネルギー運搬にも根本的変化をもたらした。そして、西ヨーロッパを暖めるメキシコ湾流や南極を孤立させる寒冷な南極還流のように、さまざまな方式で気候に影響を与えたであろう。

3. 大陸の緯度が変わると、気候が変化するかもしれない。アフリカと南アメリカに想定されているように、大陸が東西に移動する場合には気候はそれほど大きな変化しないだろう。しかし、もし、ある大陸が緯度を大きく変えると、その気候は劇的に変化するはずである。もしインドがほんとうに北方へ移動し、アジアと衝突したとすると—これは、プレートテクトニクスの基本的提案の1つである—、それは、南半球の気候から赤道を横切って北半球の気候へ移動したことになる。

オーストラリアはかつて南極に連結していて、その接合

状態はたいへん良いので、大陸移動を否定する人々にとって、この問題は真の難問になっている。これら2つの大陸は移動分離したが、南極はきちんと静止していて、運動のほとんどはオーストラリア (ならびに、オーストラリア—南極海嶺の拡大) によって担われた。運動の軌跡は、海洋底拡大縞と古地磁気解読によって求められる。これにもとづくと、オーストラリアは、赤道へ向かって移動するにつれて、寒冷気候から暖熱気候へと変化したと予測される。実際には、古生物学、古土壌、および、その他の間接的指標から帰納される気候記録は、オーストラリアの気候は期間の大半をつうじて温暖湿潤で、乾燥化は現在の緯度に達したのちにはじめてはじまったことを示唆する。

私たちは、現在の気候にみられるような緯度方向の変化が過去の気候にも生じていた、と想定することすらできない。白亜紀の大部分を通じて、そして、確実なところでは始新世には、全世界が温暖湿潤気候にあった (Walker and Sloan, 1992)。これを説明するのは、とても困難なことである。温室効果は全世界を温暖化させる。それを示す証拠によると、赤道域はほぼ現在と同様の暑さであったが、地球の残りの地帯は温暖化し、地球上に氷冠は存在しなかった。従来のプレートテクトニクスの物語では、すべての大陸が超大陸パンゲアとして集結し、地球のそれ以外の領域は単一の海洋パンサラッサにおおわれていた、という。このような世界に想定される気候は、ほとんど語られることがないが、極端なものであったと考えられる。気候における海洋の影響はパンゲア周縁の比較的狭い範囲にかぎられ、大陸内部は著しく“大陸的”で、おそらくは緯度におおきく依存していただろう。ジュラ紀の古地理と気候に関してわかっている特徴は、このような予想と適合しないようである。当時の海洋底拡大はあまり強力ではなく、世界の気候は著しく均一であった。

地球膨張シナリオについては、より大きな変化が期待できるだろう。地球の気候は、基本的には、赤道で上昇する暖かい空気と両極で下降する空気によって駆動される。現在の地球では、中緯度地帯での大気の逆転によって、ハドレー循環が発生し、今日の気候に著しく重要な役割をはたしている。このため、状況はより複雑になっている。より小さい地球では、ハドレー循環はなく、極気候と赤道気候だけが存在したであろう。そうだとすると、いくつかの先カンブリア紀堆積物にみられる氷河堆積物と温暖気候を指標するドロマイトとの頻繁な互層が説明できるであろう。

南極と気候

南極の気候と造構史は、地球上の他の地域とは大きく異なるので、気候の制御メカニズムに関する全地球的仮説のすべてに重要な制約をあたえる。南極は氷河作用のとても長い歴史をもっている点で、地球の他の地域と異なる。大規模な氷冠を形成するには、大きな降水量が必要である。今日の気候は氷冠を成長させえないだろう。そして、地球上の氷冠は、高緯度における低温と大きな降

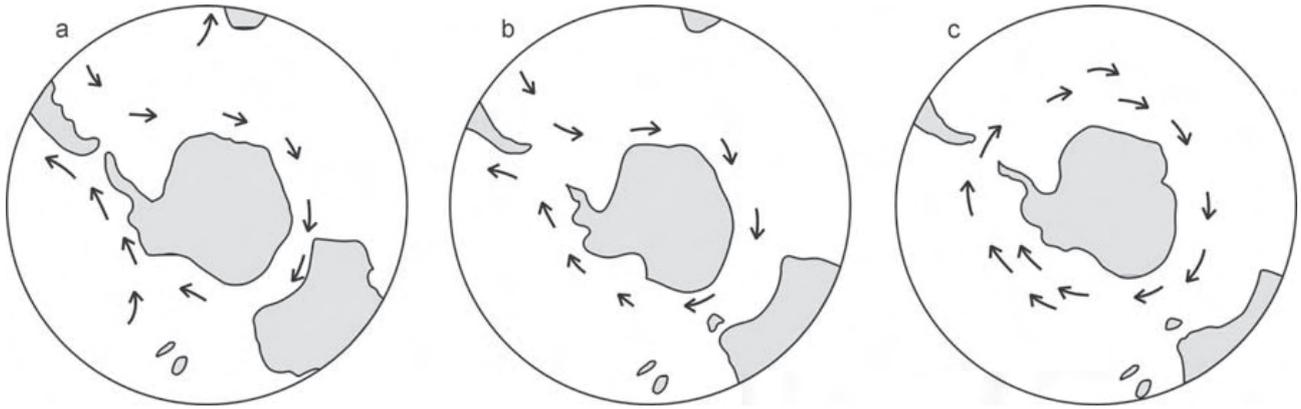


図4 南極環流の進化 (Lawver et al., 1992 をかなり単純化). a: 始新世中頃 (50 Ma), b: 前期暁新世 (30 Ma), c: 前期中新世 (20 Ma).

水量が組み合わさったかつての気候環境の遺産であるに違いない。さらに、海氷がきわめて大きく成長したときに限って、海洋温度に大きな影響をもたらし、そして、氷河期を維持するのに役立つ。氷河期の原因については、その開始期の問題と同様に、議論がわかれるところである。海成堆積物の研究によると、新生代の南極氷床の活動は45Maまで、大陸規模の氷河作用は40-36 Maに遡る (Hambrey et al., 1989; Cooper et al., 1991)。

Deconto and Pollard (2003)によると、氷河作用は、約34Maの始新世-漸新世境界頃にはじまった。気候が寒冷化し、南極環流 Antarctic Circumpolar Current (ACC)が、南半球の海洋における温暖な表層水循環から南極をしないで孤立させたために南極氷床が発達した、とKennettたちが1970年代に提案した (Kennett, 1977 参照)。この海流は、固定された南極大陸から、オーストラリアや他の南半球の大陸が分離・漂移したことに由来する。基本的に重要な分離は、オーストラリアと南極の間のタスマニア水路の開口 (約37-33.5 Maの始新世末: Exon et al., 2000) とドレーク水路の開口 (新第三紀初期: Lawver et al., 1992) であった (図4)。

Deconto and Pollard (2003)は、南極の寒冷化は大気中のCO₂濃度の変化に起因する、との別の仮説を提案した。南極では、3,000万年間にわたって、地球の他の領域とは違う大気を保持する必要があるので、このようなことは起こりそうにもない。主要な論点は、南極横断山脈 (Transantarctic Mountains) が更新世前期あるいは中期から隆起しはじめたか (Behrendt and Cooper, 1991)、あるいは、この山脈は中新世以来その高度を保持してきたか (Kerr et al., 2000)、にある。いずれにしても、南極の氷河作用は、山脈の主要な隆起運動よりもずっと以前にはじまった。そうだとすると南極だけが例外的である、ということに留意すべきである。ニュージーランド、南アメリカ、オーストラリアのような南半球のいずれの場所においても、氷河作用の時代は北半球とほぼ一致する。ただし、およそ漸新世前期のタスマニアにおける山岳氷河作用は別であり、そこは、当時、南極に近接していたためである (Macphail et al., 1993)。

結論

ネオテクトニクス期には、最近の数100万年間に多くの山岳地域が隆起した。これによって、地理的寒冷化やモンスーンの発生をはじめ、いくつものメカニズムによって気候に大きな影響をもたらした。しかし、負の地球温暖化をもたらすことはなかった。海洋底拡大は、南極大陸を孤立させた。そして、南極環流の発達にともなって、南極大陸に地球の他の地域とは異なる造構史と気候史をもたらした。

文 献

Baht, M.I., 2007. Bushy-Blairy about global warming. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, 41: 58-71.

Behrendt J.C. and Cooper, A., 1991. Evidence of rapid Cenozoic uplift of the shoulder escarpment of the Cenozoic West Antarctic rift system and a speculation on possible climatic forcing. *Geology*, 19: 315-319.

Buslow, M., De Grave, J. and Zykm, V., 2006. Cenozoic tectonics and climate of Central Asia. *Geophysical Research Abstracts*, 8: 01084.

Carey, S.W., 1976. *The Expanding Earth*. Elsevier, Amsterdam.

Cooper A.K, Barrett P.J., Hinz K, Traube V., Leitchenkov G. and Stagg J.M.J., 1991. Cainozoic prograding sequences of the Antarctic continental margin: a record of glacio-eustatic and tectonic events. *Marine Geol.*, 102: 175-213.

Deconto R.M. and Pollard D., 2003. Rapid Cenozoic glaciation of Antarctica induced by declining atmospheric CO₂. *Nature*, 421: 245-249 (16 January 2003).

Eggerton R.A., 1998. Weathering. In: Eggerton R.A. (ed.), *The State of the Regolith*. Geol. Soc. Australia Spec. Publ. 20: 126-140.

Endersbee, L. 2007. Climate change is nothing new! *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, 42, 3-17.

Exon N., Kennett J. and Malone M., 2000. The opening of the Tasmanian Gateway drove global Cenozoic paleoclimatic and paleoceanographic changes: results of Leg 189. *Joides Journal*, 26: 11-18.

Fang X-M, LI J-J. and Van Der Voo R., 1999a. Rock-magnetic and grain size evidence for intensified Asian atmospheric circulation since 800,000 years B.P. related to Tibetan

- uplift. *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 165: 129-144.
- Fang X-M, Ono Y., Fukusawa, H., Bao-Tian P., Li, J-J., Dong-Hong, G., Oil K., Tsukamoto, S., Torii, M. and Mishima, T., 1999b. Asian summer monsoon instability during the past 60,000 years: magnetic susceptibility and pedogenic evidence from the western Chinese Loess Plateau. *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 168: 219-232.
- Fleming C.A., 1979. *The Geological History of New Zealand and its Life*. Auckland University Press, Auckland.
- Gansser A., 1991. Facts and theories on the Himalayas. *Ecl. Geol. Helv.*, 84: 33-59.
- Hambrey, M.J., Larsen, B. and Ehrmann, W.U., 1989. ODP LEG 119 SHIPBOARD PARTY 1989 - Forty million years of Antarctic glacial history yielded by leg 119 of the Ocean Drilling Program. *Polar Record*, 25: 99-106.
- Hay, W.W., 1996. Tectonics and Climate. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 85: 409-437.
- Hay, W.W., Söing, E., DeConto, R.M., and Wold, C.N., 2002. The Late Cenozoic uplift - climate change paradox. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 91: 746-774.
- New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 43, June, 2007 55
- Imbrie, J. and Imbrie, K.P., 1979. *Ice Ages*. Macmillan, London.
- Kennett, J.P., 1977. Cenozoic evolution of Antarctic glaciation, the Circum-Antarctic Ocean, and their impact on global paleoceanography. *Journ. Geophys. Res.*, 82: 3843-59.
- Kerr, A., Sugden, D.E. and Summerfield, M.A., 2000. Linking tectonics and landscape development in a passive margin setting: the Transantarctic Mountains. In: Summerfield M.A. (ed.), *Geomorphology and Global Tectonics*. Wiley, Chichester.
- Lawver, L.A., Gahagan, L.M. and Coffin, M.F., 1992. The development of paeoeseaways around Antarctica. In: Kennet J.P. and Warnke D.A. (eds.), *The Antarctic paleoenvironment: A perspective on global change*, I. Antarctic Research Series Washington, DC., 56: 7-30.
- Leybourne, B., Orr, B., Haas, A., Gregori, G.P., Smoot, C. and Bhat, I., 2006. Tectonic forcing function of climate-revisited: four elements of coupled evidence of an electromagnetic driver for global warming. *New Concepts in Global Tectonics*, 40: 27-34.
- Li, J. and Fang, X., 1999. Uplift of the Tibetan Plateau and environmental changes. *Chinese Sci. Bull.*, 44: 484-491.
- Liu, T. and Ding, Z., 1998. Chinese loess and the paleomonsoon. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 26: 111-45.
- Macphail, M.K., Colhoun, E.A., Kiernan, K. and Hannand, D., 1993. Glacial climates in the Antarctic during the late Paleogene: evidence from northwest Tasmania, Australia. *Geology*, 21: 145-148.
- Manabe, S. and Terpstra, T.B., 1974. The effect of mountains on the general circulation of the atmosphere as identified by numerical experiments. *Journ. Atmospheric Sci.*, 31: 3-42.
- Maxlow, J., 2005. *Terra non firma Earth: Plate tectonics is a myth*. One-off Publishing (www.oneoffpublishing.com).
- Möner, N.A., 1992. Neotectonics and Palaeoclimate. In: Morner N.A., Owen L.A., Stewart I. and Finzi C.V. (eds.), *Neotectonics: Recent Advance (Abstract Volume)*. Quaternary Research Association, Cambridge, 39.
- Ollier, C.D., 1984. *Weathering*. 2nd ed. Longman, London.
- Ollier, C.D., 1986. The origin of alpine landforms in Australasia. In: Barlow B.A. (ed.), *Flora and Fauna of Alpine Australasia Ages and Origins*, CSIRO, Melbourne and Australian Systematic Botany Society. 3-26.
- Ollier, C.D., 1992. Global change and long-term geomorphology. *Terra Nova*, 4: 312-319.
- Ollier C.D. and Pain C.F., 1996. *Regolith, Soils and Landforms*. Wiley, Chichester.
- Ollier C.D. and Pain, C.F., 2000. *The Origin of Mountains*, Routledge, London.
- Ollier, C.D. 2007. Glaciers and ice-sheets: modern problems and tectonic associations. *New Concepts in Global Tectonics*, 42, 38-40.
- Partridge, T.C., 1998. Of diamonds, dinosaurs and diastrophism: 150 million years of landscape evolution in southern Africa. *South African Journ. Geol.* 101: 167-184.
- Raymo, M.E. and Ruddiman, W.F., 19920. Tectonic forcing of late Cenozoic climate. *Nature*, 359: 117-122.
- Roe, G.H., Blitz, C. and Molnar, P., 2004. Chinese loess as a paleoenvironmental indicator of tectonics or climate: the role of the Arctic, cold air outbreaks, and lee cyclogenesis? American Geophysical Union, Fall Meeting 2004, abstract #T323D-06.
- Ruddiman, W.F. (ed.), 1997. *Tectonic Uplift and Climatic Change*. Plenum Press, New York.
- Ruddiman, W.F. and Kutzbach, J.E., 1991. Plateau uplift and climatic change. *Scientific American*, March, 42-50.
- Trescases, J.J., 1992. Chemical weathering. In: Butt, C.R.M. and Zeegers, H. (eds.), *Regolith Exploration Geochemistry in Tropical and Subtropical Terrains*. Elsevier, Amsterdam, 25-40.
- Walker, J.G.C. and Sloan, L.C., 1992. Something is wrong with climate theory. *Geotimes*, June, 16-18.
- Wu Y., Cui Z., Liu, G., Ge, D., Yin, J., Xu, Q. and Pang, Q., 2001. Quaternary geomorphological evolution of the Kunlun Pass area and uplift of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. *Geomorphology*, 36: 203-216.
- Zheng, H., Powell, C.M., An, Z., Zhou, J. and Dong, G., 2000. Pliocene uplift of the northern Tibetan Plateau. *Geology*, 28: 715-718.
- Zhu, Z., 1997. A coupled climatic-tectonic system - the Tibetan Plateau and the east Asian continent. In: Jablonski N.G. (ed.), *The Changing Face of East Asia during the Tertiary and Quaternary*. University of Hong Kong Press, Hong Kong. 303-312.

短 報 SHORT NOTES

全地球的剪断変形

GLOBAL SHEAR DEFORMATION

Howard F. DE KALB

15 Hina Street, Hilo, HI 96720, USA

dekalbh001@Hawaii.rr.com

(小松 宏昭 [訳])

要 旨：世界の大陸地域の大半を含む地図一式が、NCGT Newsletter の後続のいくつかの号にわけて公表されるであろう。この号に掲載される最初の2つの地図は太平洋を描いている。これらの地図はメルカトル投影で、海岸線や湖、河川に重ね合わせて、自転による剪断変形線が描かれている。議論は、剪断線（断層）と地球の形状との相関関係を含んでいる。相関関係のいくつかを生み出しうる2・3のメカニズムされる。地図類は剪断変形の概要を示したもので、著者にとっては、賛成・反対双方の意見をいただけるとありがたい。

キーワード：地質学, テクトニクス, 剪断, 線構造

はじめに

地球を含めて、すべての非対称に回転する天体は、剪断力を受ける。「純粋剪断」の古典的定義は、中空の円筒にわずかな「ねじれ twist」をもたらし、そして、広げると平らになる。地表面の単位区画の上辺と下辺は、反対向きのすべりによって変形するであろう。その結果、剪断された菱形ができるが、その対角線の直線性は保持される。もし地球がメルカトル図法によって円柱に変換されると、この純粋剪断の定義は地球にとって実際のものとなる。剪断変形を被った菱形は、繰り返し半分づつに分割され、対角線の交点に中心をもつ。これは、試行錯誤によって地球の形状に適合させたグリッドとして表現され、剪断変形を被った菱形に次のような角度をあたえる。辺は北から東に7.2°、西から北に1.8°、対角線は北から西に40.5°、北から東に50.5° 偏る。議論の目的のために、これらの角度は directionals と呼ばれ、N7E, W2N, N40W, N50E と略記される。このようなグリッドが、アメリカ地質調査所発行の世界地図（メルカトル投影）に重ねて描かれた。それらのうち、本号では、東太平洋と西太平洋について議論される。議論は剪断変形と地球形状とを比較することに限定される。これらの地図は作業中のものであり、読者のコメントがありがたいことに留意いただきたい。世界の他地域の地図は、より改訂されたものが示されるであろう。

東太平洋

東太平洋地域においては、2つの地域が目立っている。それらは、アリューシャン列島北部の北極圏と、中部太平洋におけるアメリカ大陸から中部太平洋に向かって伸びている多数の断層群である。最北端にはロシアとアラスカと分けるベーリング海峡が存在する。その西方にはロシアのチュクチ半島があり、その海岸線はN40W方向と

N50E方向の直交する断裂対角線に沿う。東方にはアラスカのケツプエ湾があり、その海岸性も断裂対角線に沿っている。これら2つの地域は離れているが、ロシア側の半島はアラスカ側の入江と合致するように見える。かつてこれら2つは結合していて、その後、太平洋の西半分は何らかの変動の結果、沈降した可能性はないだろうか。アリューシャン西端からチュクチ半島までの距離とアリューシャン東端からケツプエ湾までの距離がほぼ同じであることは注目に値する。もし2つの場所がかつて結合していたとしたら、その場所はアリューシャン弧の中心であった可能性がある。

さらに南には、アメリカから出るN2W directionalに沿った5条の大きな断層が存在する。それらは等間隔に配列し、西に進むにしたがい目立たなくなる。剪断線 directional はカムチャツカ半島とアリューシャン列島の交点から、天皇トラフに沿って、N40W方向に追跡される。この線は、メンドシノ、マーレー、モロカイの3つの断層の西端を連ね、ハワイ諸島で終る。剪断変形は、断裂の先端に位置するように見える。チュクチ半島の場合のように、太平洋の西半分は沈降していて、おそらく、断層群の西方への延長を断ち切る。ハワイ島列は、階段状に組み合わせさせたN40WとW2Nのdirectional剪断線に沿っている。これは、「よじられた地球 The Twisted Earth」という本でより鮮明に見ることができる。マーレー断層に対するハワイ諸島の上昇運動によって、断層はそこで断ち切られる。ハワイ諸島を斜交して、ネッカー海嶺がN50E directionalに沿って延びる。そして、それはクラリオン断裂帯およびクリッパートン断裂帯の西端を連ねて、すぐ近くで、N40W方向のクリスマス海嶺やライン諸島と合流する。観察事項は剪断変形と地形的特徴の相関性にかざられていることを、再び強調しておき

たい。さらなる研究には、より多くの情報が必要である。

西太平洋

西太平洋は東太平洋とまったく違った特徴を持っている。西太平洋には、地球上で最も規模の大きな島々と、多くの散点的な小さな島々が存在する。そしてそれらは、

しばしば directional 断裂線に沿って連なる。また、そこには多くの海溝と内海が存在する。アラスカのコズブエ湾とロシアのチュクチ半島に始まる地帯は、N50E 方向の広い幅を持った地帯であり、それはカムチャツカ半島での分化の後、多くの島々と内湾を含みながらタイ半島で終る。この地帯のうち、東側には千島列島、南日本、

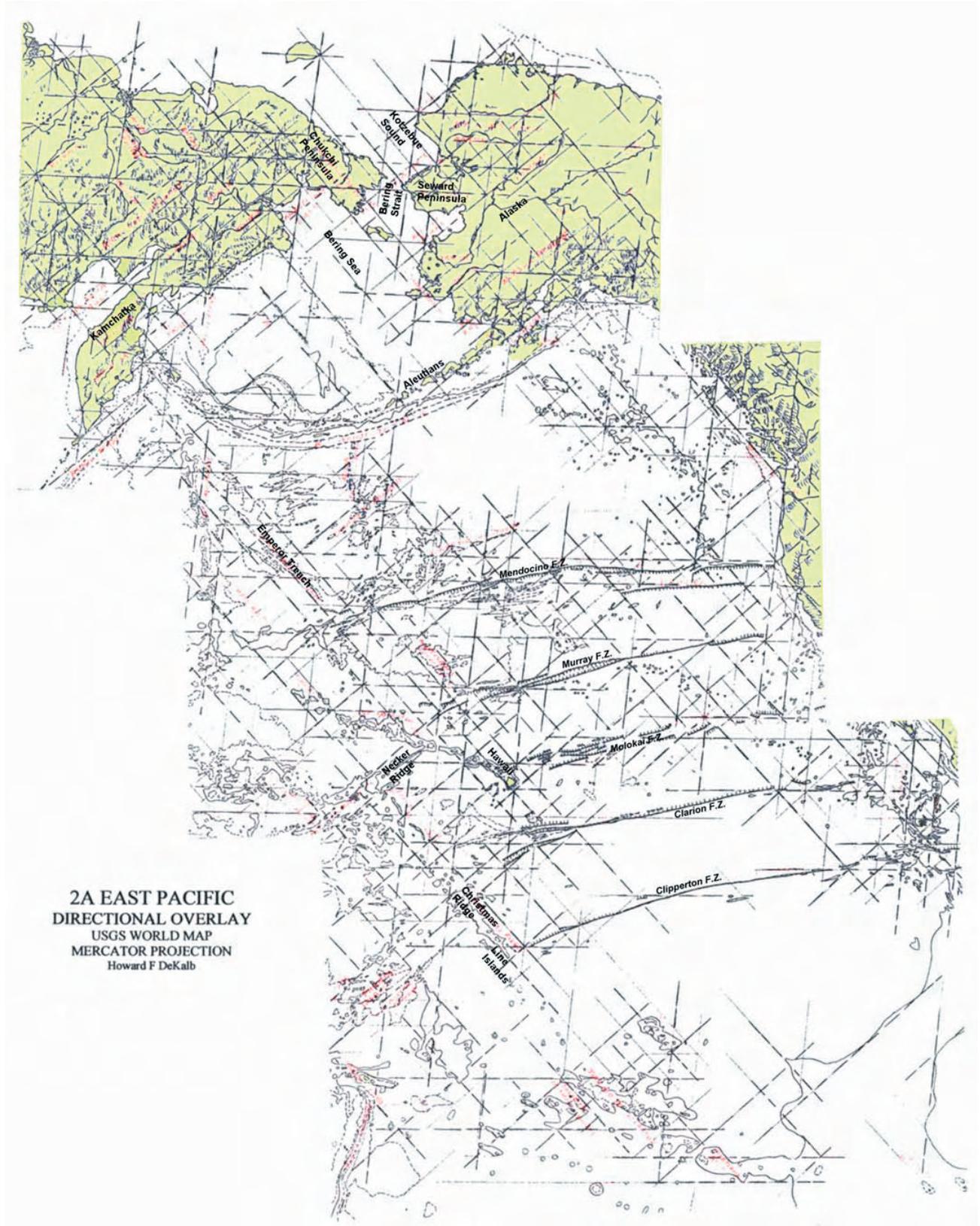


図1 東太平洋

そして台湾がある。西側には、カムチャツカ半島、オホーツク海の一部、日本海、朝鮮半島、そして黄海である。日本のN50E方向の地帯は、サハリンと北日本を含むN7E方向の地帯によって切断されている。南部のタイ半島は、

N50E と N40W の直交する剪断対角線によって区切られ、完璧な長方形をつくる。タイ半島の東～南の地域では、構造方向に乱れがある。東方では、ボルネオの北西の海岸線が N50E 方向である。一方マレー半島とスマトラ島

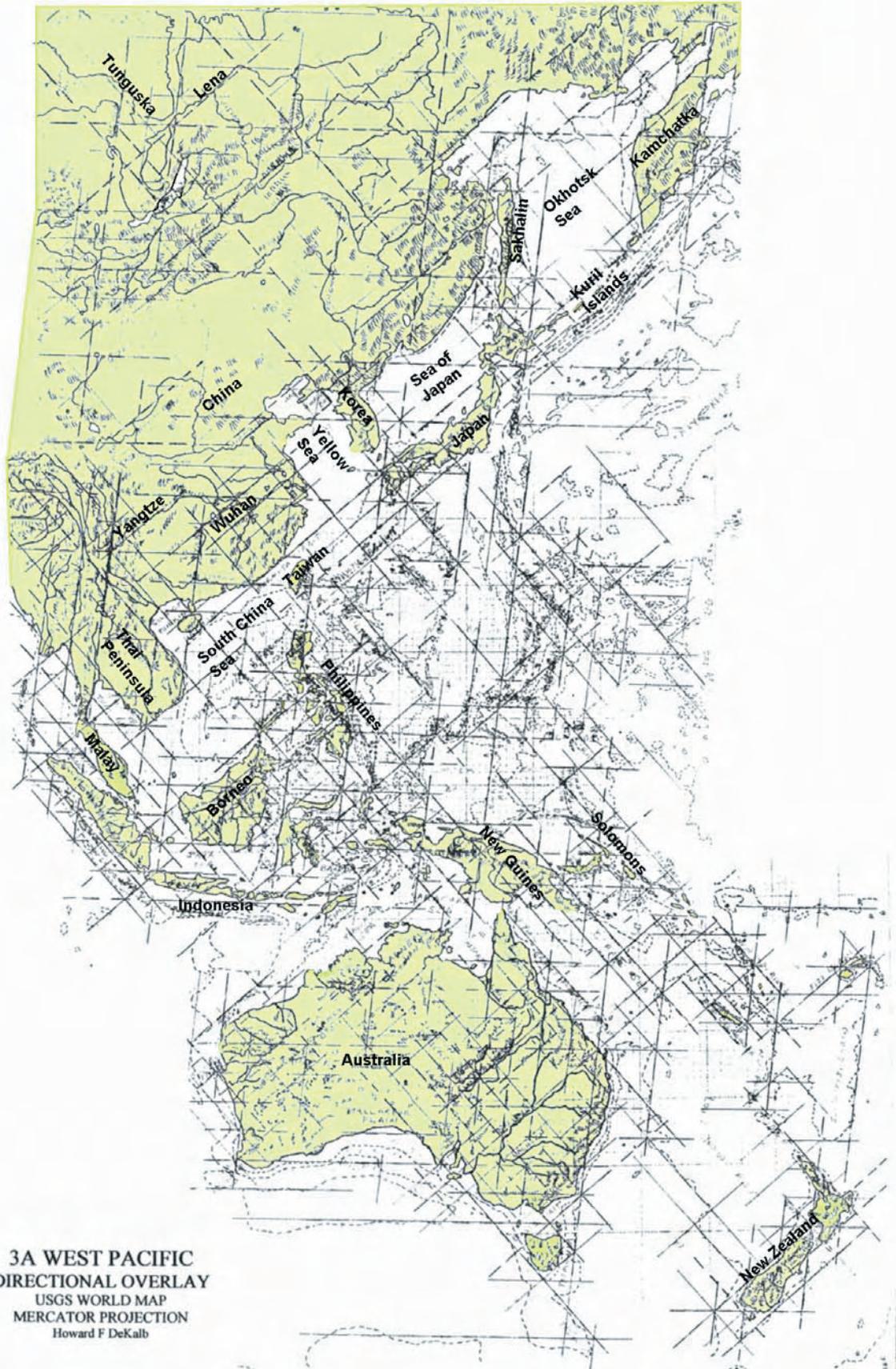


図2 西太平洋

はN40W方向に配列する。東オーストラリアもN40W方向の線で境される。インドネシア東部はW2N方向をとる。タイ半島と同様、ニュージーランドではN40WとN50E方向の直交する剪断directionalsが存在する。フィリピン地域を3つに分割するN50E方向の2つの突端 [horns] が、ボルネオから突き出ている。北方ではN40W方向の中央付近からN7E方向に剪断線が枝分かれする。いっぽう、南方ではN7E方向は一般的である。どのような変動が太平洋の中央部での沈降を引き起こし、そして東南アジアにおける構造の乱れを引き起こすことを可能にしたのであろうか。

南中国は、directional 断裂パターンに適合しない地域である。中国の南東海岸は円弧を描き、弧の長さは半円近くに達する。一方、西側で密に発達する水系は、その

円の残りの半分を占めているようだ。円の中心は、武漢 (Wuhan) と周辺の湖、そして西方の揚子江峡谷 (Yangtze George) の入り口付近に位置する。この地域の地表には、(微惑星) 衝突の特徴が見られる。この南中国の衝突事件は、太平洋を引き裂き、東南アジアでの剪断directionalsの乱れをひき起こしたのだろうか。研究の進展のためには迅速な調査とともに、より多くの情報が必要である。

文 献

DeKalb, H. F, 1990. The Twisted Earth. Lytel Eorthe Press, Hilo, HI, USA. 156p. (See also NCGT Newsletter no. 40,p. 39-41).

地球科学と一般教養の重要な研究対象としての南米太平洋縁

**SOUTH AMERICAN PACIFIC MARGIN
AS KEY TARGET FOR GEOSCIENCES AND GENERAL CULTURE**

Giancarlo SCALERA

INGV - Istituto nazionale de Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italy

E-mail: scalera@ingv.it

(小泉 潔 [訳])

要 旨 : 再決定された震源データベースと世界火山噴火カタログの分析によって、南米大陸の太平洋縁は、特異現象および関連する地球物理学的出来事が起きる場所であることが明らかになった。

すでに知られている深発地震の発生しやすさ、数十年間以内に予想される巨大地震の平均再来期、および、ナスカ三重会合点一すなわち海洋底拡大率をもっとも大きい地域への近接性にもとづくと、アンデス山脈の太平洋縁は、次の巨大地震を予知するために、しっかりと地球物理学的機器を優先的に設置するのにふさわしい所である。その目的は、地震の本性、活動的太平洋縁の真の地球力学、ならびに、世界的な地球力学と造構運動についての我々の理解を増大させることにある。

キーワード : 南米の太平洋縁, 巨大地震, 噴火率, 活動縁の研究, 全世界的な地球力学

歴史的なデータや最近のデータがもたらす多くの手掛かりはいずれも、いわゆる沈み込み帯と関連した造山運動、ならびに、関連する造山性島弧の両者について再解釈が必要であることを示す (Scalera, 2007a, 2007b)。

マントル物質の上方運動が卓越していることが不可避的である証拠が、巨大スマトラ'沈み込み'地震の際の極運動の解析からえられた (Scalera, 2005b, 2006c, 2007b)。同様な証拠が、アンデス地域での噴火と巨大地震との関係からも得られた (図1)。今後長期にわたる補足的観測データが必要であるが、地震と噴火の両方に共通する原因は、ときどき起きるマントル物質の運動であると予想される。

和達-ベニオフ帯の震源位置の三次元分布を示すたくさん (例えば図3) をみれば、中・深発地震の震源が

平面的あるいはスプーン状の形状が、一般的で特徴的なパターンではないことは明らかである。震源は、空間的に深部ほど細くなるような引き伸ばされた集団あるいはフィラメント状に分布する。'単一のフィラメント'が、メッシーナ海峡 (南チレニア海) と Vrancea 地域の地下に認められる。沈み込み作用は、このようなパターンを作ることはできない。そしてそれは、物質とエネルギー (広義) の上方移動に起因すると考えるのが、より容易である (Scalera, 2005b)。

前述した手掛かりからえられた結果のように、物質の上方移動に調和的な和達-ベニオフ面の再解釈と造山運動モデルが、研究されてきた。地域的および全地球的地震波トモグラフィが示す海溝-島弧帯下の高速度異常 (Van der Voo et al., 1999; Fukao et al., 2001; Piromallo & Morelli, 2003; Spakman & Wortel, 2004;

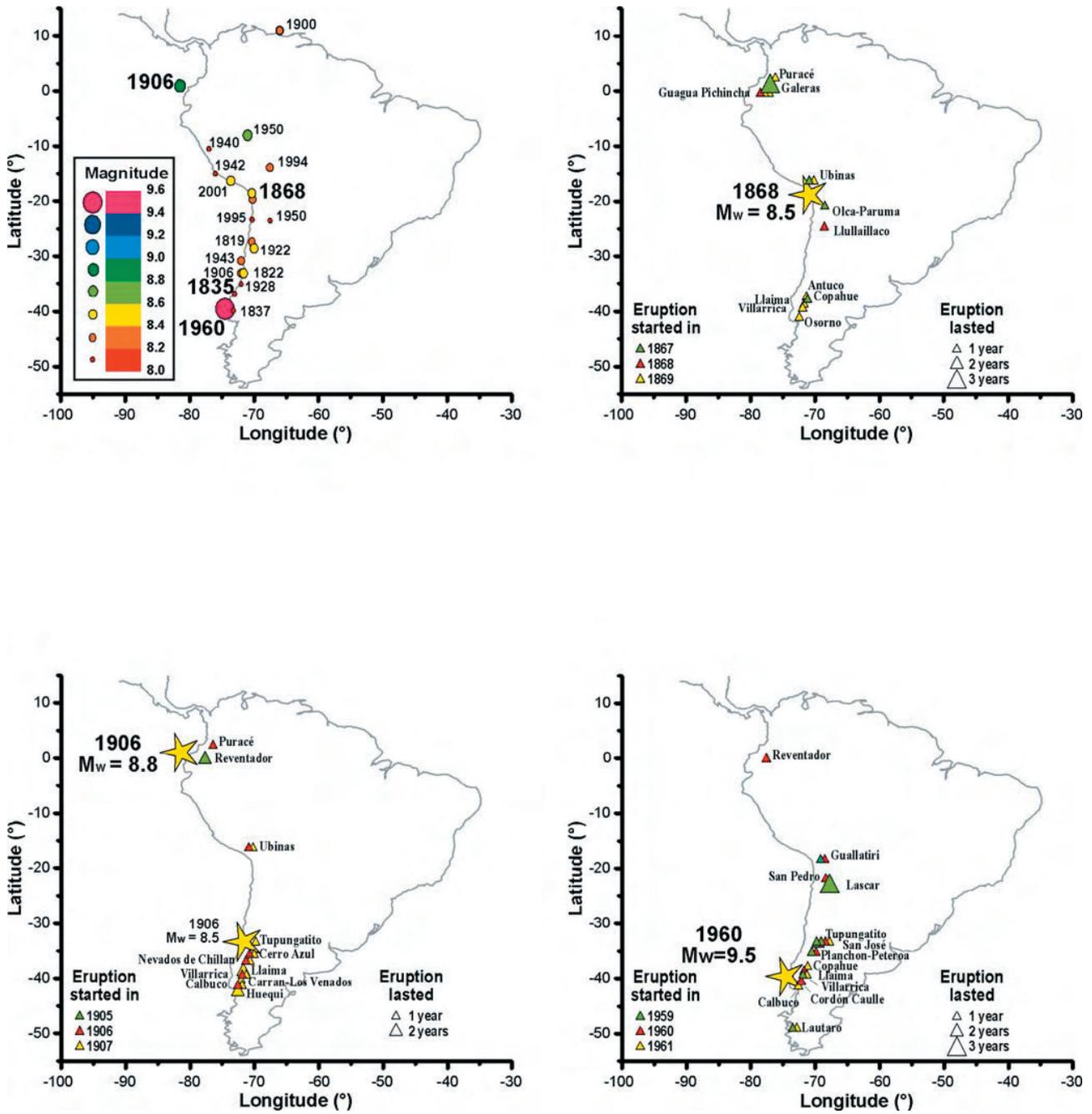


図2 a) 南米太平洋縁における主要地震 (M8.0 以上). b) 1868 年の地震の震央と 1867 ~ 1869 年の 3 年間に噴火した火山. c) 1906 年の 2 つの巨大地震の震央と 1905 ~ 1907 年の 3 年間に起こった噴火. d) 1959-1961 年の三年間の噴火と 1960 年の巨大チリ地震の震央

Cimin & Marchetti, 2006 ; その他) は、分離の 2 つのプレート間に貫入するより高密度マントル物質がアイソスタシーによって上昇する柱として、解釈し直すことができる (Scalera, 2005, 2006b, 2006c, 2007a). 上昇する柱は、ときどき、より低い充填度の結晶構造へ相変化し、中-深発地震を引き起こす。地震の付随的原因は、マントル内に溜まった水の上昇にあり、深部に不安定現象を作り出すことにある (Lawrence & Wysession, 2006). 造山運動に関係する物質流出の原因は、アイソスタシー的に上昇する物質の体積増加と、置き換えられた Clapeyron 相境界で下向きに働く浮力の両者に求められるであろう (図 4, 図 5). 海溝、および、背弧の比較的高い熱流量は、引張応力場および上昇するマントル物質の柱に関係した等温線の表面方向への移動の直接的

な結果として、新たな仮説を導入することなく説明できる。対照的な現象が古い枠組みに存在するいっぽうで、この新解釈が海溝-島弧-背弧帯の表層の特徴を説明できる深部の単純で自然な関係を内包していることは、注目に値する。

その上、統一の見解が、海洋の造山帯—すなわち中央海嶺—と大陸の造山帯に適用される。事実、陸上の褶曲帯への中央海嶺の延長部 (カリフォルニア、トンガ-ケルマディク-ニュージーランド) は、それらの間での応力状態 (膨張対圧縮) が異なるために、プレートテクトニクスと矛盾すると考えられてきた。この枠組みでは、中央海嶺 (海の造山帯) と大陸の褶曲帯との違いは、おそらくはリフティング速度の違いによって維持されている

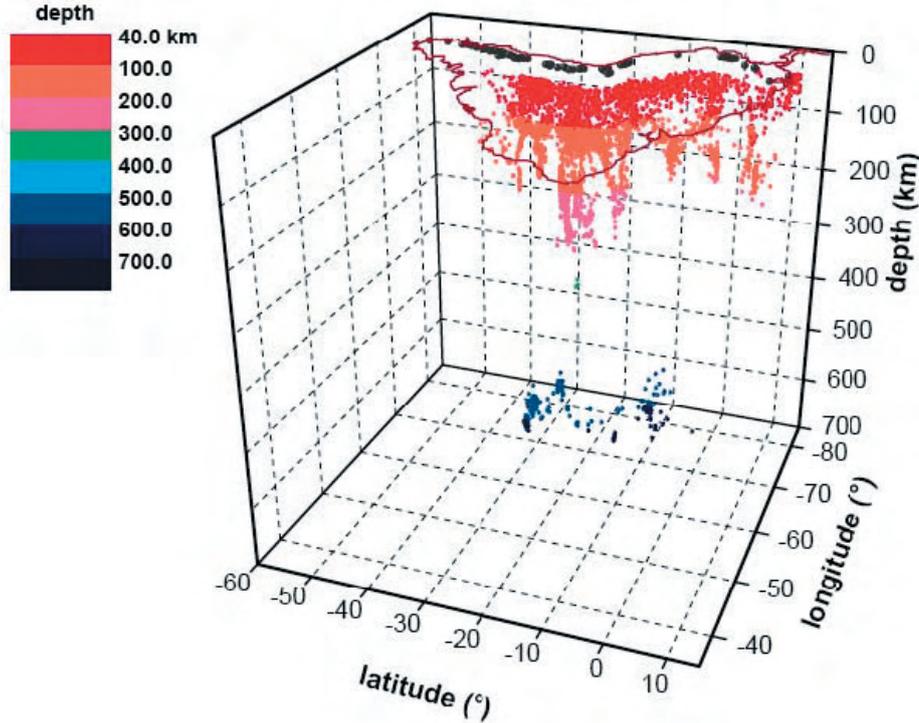


図3 南米太平洋縁下の和達—ベニオフ帯の3次元プロット。震源の板状分布は認められない。下方に次第に細くなる震源の一群が、典型的なパターンである。地震データ(40km以深)は、Engdahl et al. (1998)による再決定震源カタログによる。地表の黒い丸は、歴史時代に噴火した72の火山を示している(スミソニアン研究所カタログのデータ)。中・深発地震(震度100~300km)のない領域と、活火山のない地表領域との相関関係を識別できる。この事実は、他のテクトニックな場で強調したことがある火山活動と地震活動との相関(Scalera, 1997)よりも、より顕著な事例の1つの事例である。

だろうとの暫定的解釈が提案されている。すなわち、中央海嶺は、その体積が増大することによって海面に達したり、海面上まで隆起することを許さないほど速いリフティング速度をもつ、という解釈である。中央海嶺は、大陸の褶曲帯の海洋版と理解することができる。海嶺においては、比較的大きなリフティング速度のために、褶曲や衝上運動が起こらないのであろう。

これは、すでに提案されているより一般化された非衝突造山モデル(Ollier & Pain, 2000; Ollier 2003)—すべてが表層地質と地形の証拠にもとづいて構築されている—の原因の少なくとも一部を説明することができる最初のモデルであり、深部の鉱物相、アイソスタシー、および膨張地球に関連する。かつての概念化では、ダイアピル上昇(Van Bemmelen, 1966 & 1978; Carey, 1976 & 1986)、または浮揚性アセノスの上昇(Krebs, 1975)に注意がはらわれたが、最近の地震波トモグラフィのイメージとは食い違っている。凹地や高地の形成について、マントルにおける相変化、すなわち、前進的あるいは後退的であるかに関わる最初のアイデアが、Subbotin (1970)によって定式化された。

提案された新解釈は、褶曲帯の成長にみられる時間的不均一性を説明することができる。成長が促進される期間—アイソスタシーによって深部から上昇し、妥当なより浅い深度とより低い圧力と温度、そして／あるいは、

適当な流体触媒が存在する環境に到達する—には、より低密度相に徐々に変化する。広範囲にわたる隆起段丘の発達(Darwin, 1840 & 1897; Doglioni et al., 1994; Moretti & Guerra, 1997; Cucci, 2004; Galli & Bosi, 2004; Cucci & Tertulliani, 2006; そのほか)は、深部での相変化の不均一性に関係しているかもしれない。

上昇流に関連する別の現象は、高温溶岩ほど鉄の含有量がより大きいという事実である。これは、より深部の鉄に富むマントル起源物質に関連した等温線の表層への移動によって引き起こされているのであろう。発生しつつある海洋としての地中海の研究において(Scalera, 2005b)、造山運動に組み込まれたHIMUおよびEM-1マントルにみられる別のいくつかの地球化学的特性は、古い大陸と深海堆積物のリサイクル(Gasperini et al., 2000; Hanan, 2000)ではなく、古い大陸地殻の浸食によって説明することが可能である。ゆっくりと拡大しつつある地中海において、玄武岩の付加は、いつも大陸リソフェアに近接して起こっている。この枠組みにおいて容易に説明できるもうひとつの過程は、オフィオライトのオブダクションである。

巨大地震と噴火率の増加との間には固有の相関性が認められるので、南米の調査はより高度な優先的研究対象であると考えべきである。強力な深発地震(=300km以深; Frolich, 2006)がもっともしばしば発生する点で、

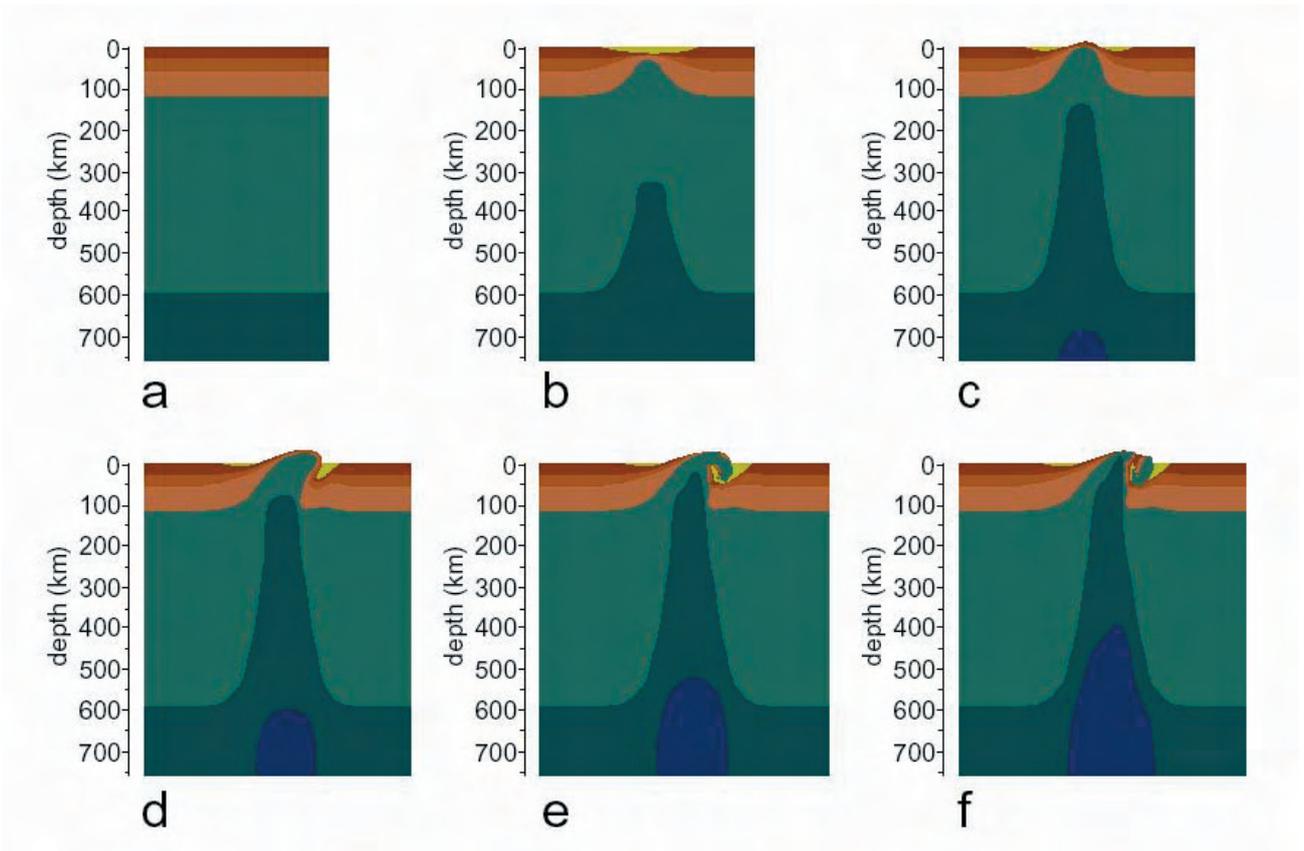


図4 新しく提案された褶曲帯形成モデル。左図から始まり、引張場が地殻、リソスフェアおよびマンツルの水平展張をもたらす。アイソスタシー補償（地表で深さ約10km以上に達することはない：例えばHilgenberg(1974)参照。）によって、より大規模な展張効果がリソスフェアおよびマンツル層の顕著な上昇をもたらす。結晶構造をより多く解凍する方向でマンツル物質がより粗な結晶構造へ相変化するために、上昇柱には余剰な空間が必要になる（Green & Ringwood, 1970 ; Ringwood, 1991）。減圧された物質の体積増加が、鉛直方向に裂けたリソスフェアとマンツルの間の空間を埋めつくすばかりでなく、地殻のドーム状隆起や褶曲作用を引き起こし、その結果、急速な相対的上昇（数cm/年）がおきる。隆起の駆動によって引き続き現れる影響は、Clapeyron curve slope 効果（図5参照）による相変化帯の下方移動である。こうして形成された真の造山帯は、浸食作用、頂部の陥没、重力的拡張（gravity spreading）を受け、最終的には、重力ナップによって埋没して変成作用を被っていた地殻物質と数種類のマンツル物質がともに露出する。リフティング速度の違い—地質時代を通じて速度は進化する—が、さまざまな大陸造山帯や中央海嶺を形成する。

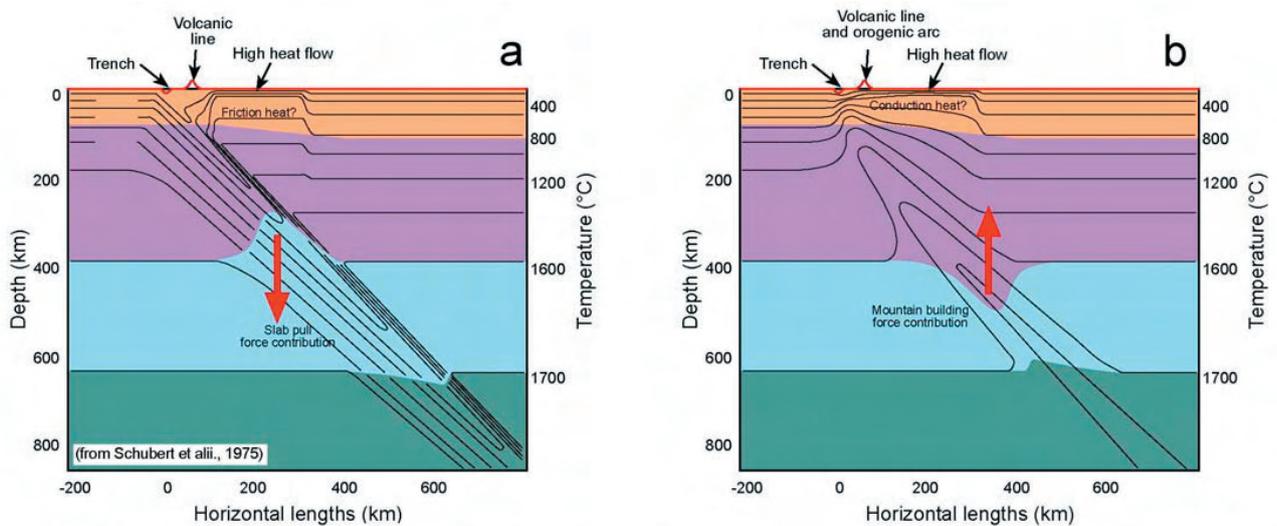
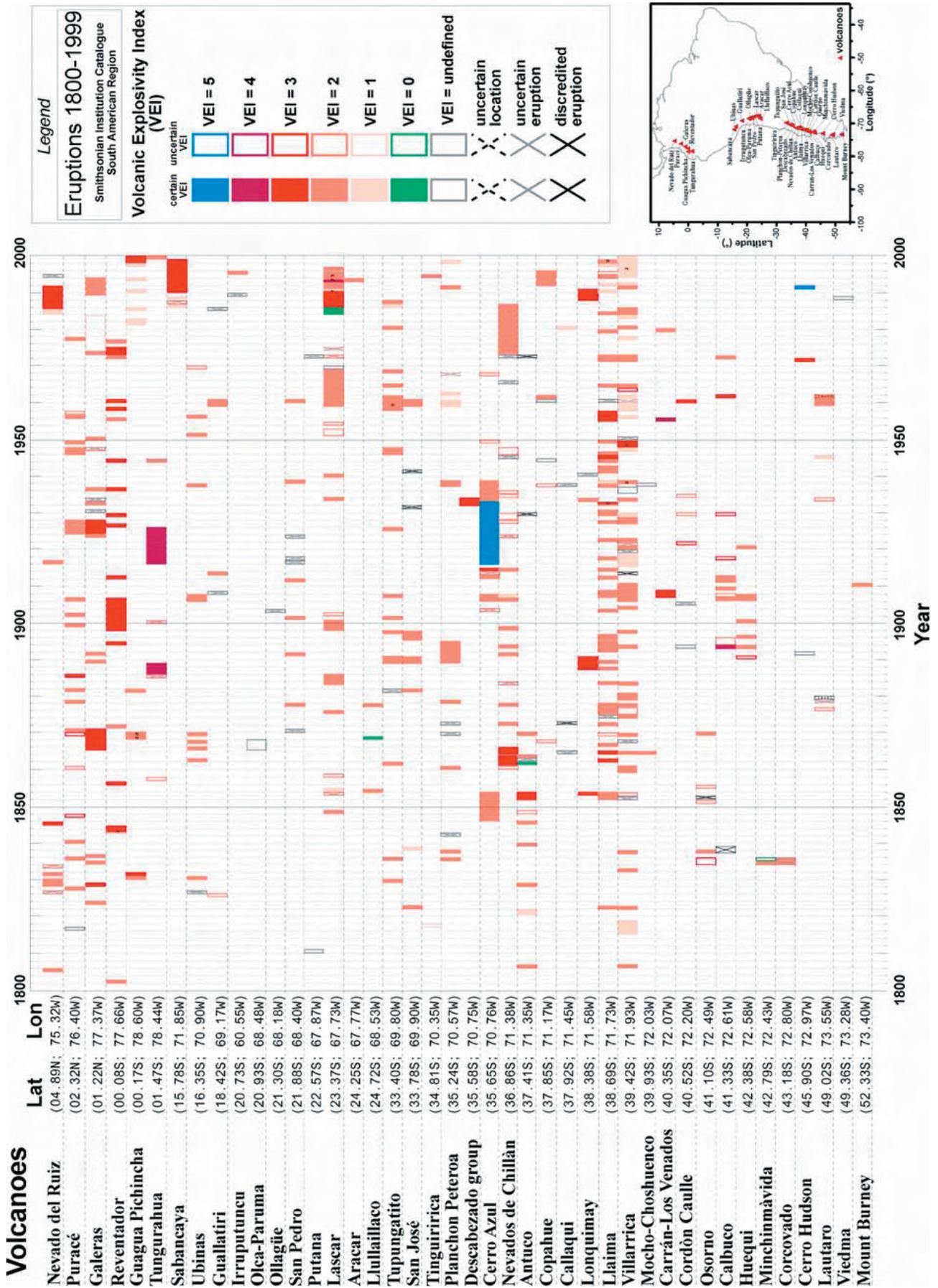


図5 活動的大陸縁の2つの対抗するモデル。a) はサブダクションモデルで、下方への等温線の断熱的運搬の影響を示す。深部ほどより低温で相変化が起きるので、410kmの不連続面で高密度物質が持ち上がっているところが、いわゆる‘slab pull’の力（スラブを引く力）の原因となっている。b) は、トモグラフィで明らかになった海溝-島弧帯下の地震波速度の正異常が、アイソスタシーによって表面方向へ向かって運搬される物質の貫入をひきおこすと解釈される。この場合、等温線が表面方向に移動するので、その影響が局所的には相変化が起きる400kmの深さにまでおよぶ。b)の結果は、a)の結果とは反対であり、低密度物質のでっぱりが高密度への転移帯に生じる。こののでっぱりに働く浮力は、粗充填格子への相変化に伴う過剰体積とともに、表面での物質の噴出、すなわち造山運動をもたらす。

表1



この大陸は特異である。本論の筆者は、ナスカ-南米地域のこの特別な状況は、ナスカ三重会合点周辺に最大拡大速度を示す、惑星全体の非対称膨張 (Scalera, 2002, 2003, 2006a) の結果であると考えている。明らかに、これらの研究はまだ発展途上であり、全ての問題により確固とした解答を用意する前に、大量のデータとより長期間にわたる良質の観測が必要である。したがって、科学界はこの特別な大陸が提供する機会を有効に活用する準備をすべきである。

この地域の特殊性を理解し、地球物理学的情報と展望をえて、活動的大陸縁の真の地球力学ならびに巨大浅発地震の本性について理解を深めるには、南米の太平洋縁に沿って恒久的 OBS と地球物理学的観測機器のネットワークを設置することが強く推奨される (Favali & Beranzoli, 2006)。南米大陸の太平洋縁は、巨大地震とそれに関連した現象の発生が予期される (図 1: 巨大地震の再来と噴火率の脈動を参照)。電離層異常-巨大地震の前兆である可能性がある (Pulinets & Boyarchuk, 2004; Pulinets, 2007; 他にたくさんの文献) については、衛星による連続的観測が必要である。というのは、この新しい方法論の信頼性と限界の評価研究にとって、南米は非常に推奨される地域であり、この方法論は地球の放射活動にもかかわっているからである。獲得した成果のすべては、地球科学の研究や都市防災ためだけでなく、他の分野にも役立つ; その結果として進められる挑戦は、'巨大物理' 企業の科学的・文化的価値にかかわる比較研究であるが、それは、より少ない費用で成し遂げられるであろう。

謝辞: David Pratt 氏の編集によって、英文が大きく改良された。匿名の査読者は、この論文に記述された新しい文献と論題の追加について示唆下さった。両氏に感謝する。

文 献

CAREY, S.W., 1976: *The expanding Earth*. Elsevier, Amsterdam, 488p.
 CAREY, S.W., 1986: Diapiric Krikogenesis. In: Wezel, F.-C. (ed.): *The Origin of Arcs*. Book of invited papers presented at the Internat. Conference 'The origin of arcs', held at the University of Urbino, Urbino, Italy, September 22-25 1986, *Developments in Geotectonics* 21, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, p. 1-40.
 CIMINI G.B. and MARCHETTI A., 2006: Deep structure of peninsular Italy from seismic tomography and subcrustal seismicity. In: Lavecchia G. & Scalera G. (eds.), 2006: *Frontiers in Earth Sciences: New Ideas and Interpretations*. *Annals of Geophysics*, Supplement to v. 49, p. 331-345.
 CUCCI, L., 2004: Raised marine terraces in the Northern Calabrian Arc (Southern Italy): a ~ 600 kyr-long geological record of regional uplift. *Annals of Geophysics*, v. 47, p. 1391-1406.
 CUCCI, L. and TERTULLIANI A., 2006: I terrazzi marini

nell'area di Capo Vaticano (Arco Calabro): solo un record di sollevamento regionale o anche di deformazione cosismica? *Il Quaternario Italian Journal of Quaternary Sciences*, v. 19, p. 89-101.
 DARWIN, C., 1840: On the connexion of certain volcanic phenomena in South America; and on the formation of mountains chains and volcanoes, as the effect of the same power by which continents are elevated. *Transaction of the Geological Society of London*, 2nd ser., pt. 3(5), p. 601-631. (Reprinted in Barrett, P.H. (ed.), "The collected papers of Charles Darwin" [two volumes in one]. The University of Chicago Press, Chicago, 1977, 326p.)
 DARWIN, C., 1897: *Geological observations — on the volcanic islands and parts of South America visited during the voyage of H.M.S. 'Beagle'*. Third edition. Appleton and Co., New York, 603p.
 DOGLIONI, C., MONGELLI, F. and PIERI, P., 1994: The Puglia uplift (SE Italy): An anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere. *Tectonics*, v. 13, p. 1309-1321.
 ENGDAHL E.R., VAN DER HILST R.D. & BULAND R.P., 1998: Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, v. 88, p. 722-743.
 FAVALI, P. and L. BERANZOLI, 2006: Seafloor Observatory Science: a review. *Annals of Geophysics*, v. 49 (2/3), p. 515-567.
 FROHLICH, C., 2006: *Deep Earthquakes*. Cambridge University Press, 588p.
 FUKAO, Y., S. WIDIYANTORO and M. OBAYASHI, 2001: Stagnant slabs in the upper and lower mantle transition region. *Rev. Geophysics*, v. 39, p. 291-323.
 GALLI, P. and BOSI, V. 2004: Catastrophic 1638 earthquakes in Calabria (southern Italy): New insights from paleoseismological investigation. *J. Geophys. Res.*, v. 108 (B1), doi :10.1029/2001JB001713. 1, 1-20.
 GASPERINI, D. BLICHERT-TOFT J., BOSCH D., DEL MORO A., MACERA P., TPOUK P. and ALBAREDE, F., 2000: Evidence from Sardinian basalts geochemistry for recycling of plume heads into the Earths mantle. *Nature*, v. 408, p. 701-704.
 GREEN, D. and RINGWOOD, A. (eds.), 1970: *Phase Transformation & the Earth's Interior*. Proceedings of the symposium held in Canberra, 6-10 January 1969, by the International Upper Mantle Committee and the Australian Academy of Sciences, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 519p.
 HANAN, B.B., 2000: Mantle recycled in Sardinia. *Nature*, v. 408, p. 657-658.
 KREBS, W. 1975: Formation of southwest Pacific island arc-trench and mountain systems: plate or global vertical tectonics. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 59, p. 1639-1666.
 LAWRENCE J.F. and M.E. WYSESSION, 2006: Seismic Evidence for Subduction-Transported Water in the

- Lower Mantle. In: Earth's Deep Water Cycle, American Geophysical Union Geophysical Monograph Series 168, p. 251-261.
- MORETTI, A. and GUERRA, I. 1997: Tettonica dal Messiniano ad oggi in Calabria: Implicazioni sulla geodinamica del sistema Tirreno-Arco Calabro. *Boll. Soc. Geol. It.*, v. 116, p. 125-142.
- OLLIER, C.D., 2003: The origin of mountains on an expanding Earth, and other hypotheses. In: Scalera, G. and Jacob, K.-H. (eds.): *Why Expanding Earth? — A book in Honour of Ott Christoph Hilgenberg*. Proceedings of the 3rd Lautenthaler Montanistisches Colloquium, Mining Industry Museum, Lautenthal (Germany) May 26, 2001, INGV, Rome, p. 129-160.
- OLLIER, C. and PAIN, C., 2000: *The origin of mountains*. Routledge, London and New York, 345 pp.
- PIROMALLO, C. and A. MORELLI (2003): P-wave tomography of the mantle under the Alpine-Mediterranean area. *J. Geophys. Res.*, v. 108 (B2), 2065, doi: 10.1029/2002JB 001757.
- PULINETS, S.A., 2007: Natural radioactivity, earthquakes, and ionosphere. *EOS Transactions AGU*, 88 (20), 217-224.
- PULINETS, S.A. and BOYARCHUK, K.A., 2004: *Ionospheric precursors of earthquakes*. Springer, New York, 315p.
- RINGWOOD, A.E., 1991: Phase transformations and their bearing on the constitution and dynamics of the mantle. Inaugural Ingerson Lecture delivered on May 12 1988 at the Goldschmidt Conference held in Baltimore. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 55, p. 2083-2110.
- SCALERA, G., 1997: The relation among seismic activity, volcanic rock emplacement and Bouguer anomalies in Italy. *Natural Hazards, Kluwer, The Netherlands*, v. 15, p. 165-181.
- SCALERA, G., 2002: Possible relations among expanding Earth, TPW and Polar Motion. In: Maslov, L. (ed.): *Proceedings International Symposium on New Concepts in Global Tectonics*, held in May 2002 in La Junta, Colorado, Otero Junior College Press, La Junta, p. 37-50.
- SCALERA, G., 2005b: the geodynamic meaning of the great Sumatran earthquake: inferences from short time windows. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, No. 35 (June), p. 8-23.
- SCALERA, G., 2005b: A new interpretation of the Mediterranean arcs: Mantle wedge intrusion instead of subduction. *Boll. Soc. Geol. It.*, Volume Speciale n. 5, p. 129-147.
- SCALERA, G., 2006a: TPW and Polar Motion as due to an asymmetrical Earth expansion. *Annals of Geophysics*. In: Lavecchia, G. and G. Scalera (eds.), 2006: *Frontiers in Earth Sciences: New Ideas and Interpretations*. *Annals of Geophysics*, Supplement to v. 49 (1), p. 483-500.
- SCALERA, G., 2006b: The geodynamic meaning of the Wadati-Benioff earthquakes: From Apennines to a global perspective for mountain-building. In D. Slejko and A. Rebez (eds.): *Extended abstracts book of the 25th GNGTS* (National Group for Solid Earth Geophysics) annual Meeting, held in Rome 28-30 November 2006. p. 8-14.
- SCALERA, G., 2006c: The geodynamic meaning of the deep earthquakes: First clues for a global perspective for fold belts? *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 41 (December), p. 45-54.
- SCALERA, G., 2007a: Terremoti, trasformazioni di fase, catene a pieghe: possibile una nuova prospettiva globale? (Earthquakes, phase changes, fold belts: it is possible a new global perspective?) (in Italian). *Rendiconti Soc. Geol. It.*, 4, Nuova Serie, 68 *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 43, June, 2007, p. 296-299.
- SCALERA, G., 2007b: Geodynamics of Wadati-Benioff zone earthquakes: The 2004 Sumatra earthquake and other great earthquakes. *Geofísica Internacional*, v. 46 (1) (in press)
- SCALERA, G. and JACOB, K.-H. (eds.), 2003: *Why Expanding Earth? A book in Honour of Ott Christoph Hilgenberg*. Proceedings of the 3rd Lautenthaler Montanistisches Colloquium, Mining Industry Museum, Lautenthal (Germany) May 26, 2001, INGV, Rome, 465p.
- SMITHSONIAN INSTITUTION, 2006: *Global Volcanism Program* web-site: <http://www.volcano.si.edu>
- SPAKMAN, W. and R. WORTEL, 2004: A tomographic view on Western Mediterranean geodynamics, in "The Transmed Atlas" *The Mediterranean Region from Crust to Mantle*, edited by CAVAZZA, W., ROURE, F.M., SPAKMAN, W., STAMPFLI, G.M. and ZIEGLER, P.A. (Springer, Berlin), p. 32-52.
- SUBBOTIN, S.I., 1970: Phase transformations within the Earth's mantle as a cause of crustal movement and a source of crustal material. In: Green, D. and A. Ringwood (eds.), 1970: *Phase Transformation & the Earth's Interior*. Proceedings of the symposium held in Canberra, 6-10 January 1969, by the International Upper Mantle Committee and the Australian Academy of Sciences, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, p. 499-502.
- USGS, 2006: *Earthquake Hazards Program — Online Earthquakes Global and regional Catalogues Search*. <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>
- VAN BEMMELEN, R.W., 1966: On Mega-Undations: A new model for the Earth's evolution. *Tectonophysics*, v. 3, p. 83-127.
- VAN BEMMELEN, R.W., 1978: The present formulation of the Undation Theory. In: *The Frontiers of Human Knowledge*. *Acta Universitatis Upsaliensis*, p. 255-274.
- VAN DER VOO R., SPAKMAN W. and BIJWAARD H., 1999: Tethyan subducted slabs under India. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 171, p. 7-20.



コメントと回答 COMMENTS AND REPLIED

(矢野 孝雄 [訳])

さらにアイソスタシーについて：定量的評価

MORE ON ISOSTASY: QUANTITATIVE EVALUATION

Peter JAMES

Consulting Engineer

PO Box 95, Dunalley, Tasmania 7177, Australia

pmjgeol@yahoo.com.au

NCGT 最新号 (#42) で、私は、地球科学の文献でひろくうけいれられているアイソスタシー概念（たとえば、喧伝されている、侵食に応答した褶曲山脈の隆起）を最小限のものにした。人々は、確立された物質原理の基本メカニズムに立脚した何らかの解析方法によって自然界の作用への考察を正しいと判断することができるはずである。これを背景に、以下のことがらを提案する。

図1は、褶曲山系を示す合理的な断面図である：隆起した陸地は約8kmの凹凸をもち、30km以深に達する低密度の“根”をもつ。アイソスタシーは、高い山脈は深い根によって平衡状態にあることを意味する。すなわち、山

脈の低密度の根が高密度のリソスフェア物質にはまりこんでいるために、山脈は多かれ少なかれ“浮いている”のである。この状態を、Arthur Holmesの賞賛された類推—すなわち、さまざまな深さで“浮かんでいる”さまざまな高さをもつ一連のブロック（図2）—を使って、分析してみよう。

a) 前提条件

山系のさまざまな構成要素の密度が図示されている。山脈は基本的に低密度 27 kN/m^3 (S.G. 2.7) であり、平均海面以下では $27, 30, 33 \text{ kN/m}^3$ (S.G. 3.3) へと次第に増大する密度断面にはまりこんでいる。隆起ブロックは

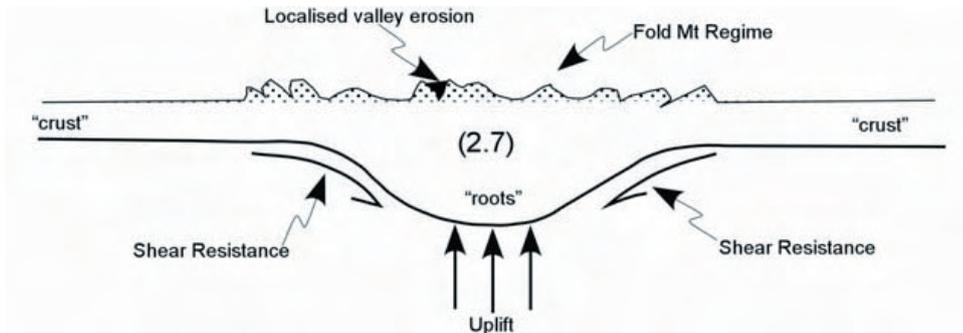


図1 縮尺どおりに褶曲山脈系を描くと、隆起域を深く侵食した河谷が無意味であることがわかる。

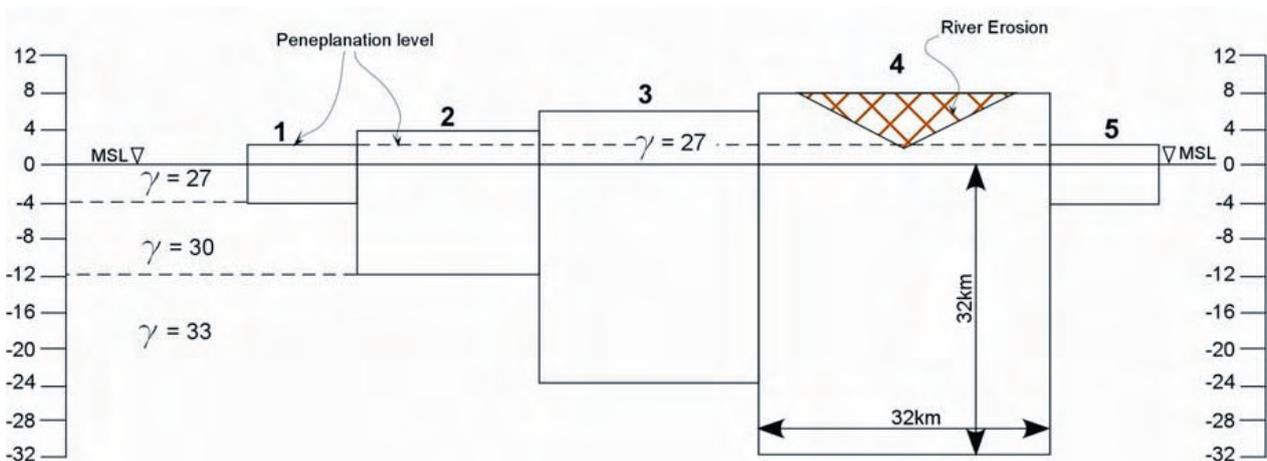


図2 アイソスタシーを分析するための、深い“根”をもつ褶曲山脈モデル

表 A 褶曲山脈下での荷重強度

Loading Intensity Beneath Fold Mountains

Block	Total Load Intensity $h \cdot \gamma$ (kPa x 10 ⁴)	Uplift Intensity $d \cdot \Delta \gamma$ (kPa x 10 ⁴)	Nett Loading (kPa x 10 ⁴)
1	(2 x 10 ³ x 27) 5.4	Nil	5.4
2	(4 x 10 ³ x 27) 10.8	(8 x 10 ³ x 10) 2.4	8.4
3	(6 x 10 ³ x 27) 16.2	(8x10 ³ x3 + 12x10 ³ x 6) 9.6	6.6
4	(8 x 10 ³ x 27) 21.6	(8x10 ³ x3 + 20x10 ³ x6) 14.4	7.2

表 B 山脈系の準平原化

Peneplanation of Mountain Regime

Block	Total Load (kPax10 ⁴)	Uplift	Nett Load (kPax10 ⁴)
1	As before	As before	As before
2	5.4	As before	3.0
3	“	As before	- 4.2
4	“	As before	- 9.0

2kmの増分ごとに上昇していて、それらの根は最大32kmの深さに達する。静岩圧断面は、簡単のために無視され、この図面の全幅にわたって連続的であると仮定される。

各ブロックの海面上にでている部分の質量は、紙面に平行および直交方向で単位距離を考えると、それぞれのブロックの全荷重強度に相当する。それは、高さ (h) x 密度 (γ) で与えられる。各ブロックの隆起強度は、山脈の根と排除される地殻 / リソスフェアとの単位面積あたりの密度差に拠る。全荷重強度と隆起強度との差が、真の、あるいは、有効な荷重となる。その値が表 A にまとめられていて、すべての場合、有効荷重が平衡状態をかなりうわまわっている。浮いているというよりも、山脈は排除されたリソスフェアに接する基底面に正の荷重を与えているのである。

b) 河川侵食

もっとも高いブロックを、河谷 (深さ約6km, 側斜面勾配は水平2 : 鉛直1) が侵食する場合を考えてみよう。このブロックの海面上にある質量の損失は、約1/3、すなわち、7.2 x 10⁴ kPaである。隆起原因はかわらないので、全荷重は、隆起量と同じ値が差し引かれるために実際には変わらない。このように、侵食されたブロックはほぼ平衡状態にありつづけると記述することができる。しかし、このような大規模な河谷侵食の後でさえも、アイソスタシー補償をもたらす過剰な隆起は起きない。さらに、アイソスタシー補償が起きる前に、隆起運動が、侵食ブロックのいずれかの側面における剪断抵抗をうわまわらなくてはならないであろう。

c) 準平原化

山脈系全体が海拔2kmまで侵食されて準平原が形成される、という侵食作用の極端な例を考えてみよう。各ブロックの荷重強度が、表2に示される。

この場合、すくなくとも、かつては、より隆起していたブロックには、過剰の隆起圧がはたらく。しかし、上述したように、アイソスタシー補償が起こるには、各ブロックの側面における剪断抵抗 (ブロック4の右側面、および、ブロック2, 3, 4の左側面それぞれにおけるひきずり成分の合計) を凌駕しなくてはならない。この場合のひきずりは、パイプ中のskin抵抗に類似し、境界面における剪断強度に比例 (> 50%) すると考えられる。理想的には、ブロック4の両側面におけるひきずりは、ほぼ同等の値になる。

この解析では、紙面に直交する単位距離ごとに求められた各ブロックの全荷重と全隆起を用いるべきことがより明瞭になった。すなわち、表Aの隆起強度は、各ブロックの底辺全体にはたらくと考えられ、ブロック2, 3, 4の隆起の和は、紙面に直交方向の単位距離あたり7 x 10⁹ kNになる。これら3つのブロックの全荷重は、海拔高度が2kmになると、紙面に直交方向の単位距離あたり4.1 x 10⁹ kNであたえられる。したがって、山脈系全体の残留隆起は3 x 10⁹ kNになる。アイソスタシーによって運動が起きるには、この隆起が、ブロック2, 3, 4の左側の段階的剪断抵抗とブロック4の右側の全剪断抵抗を凌駕しなくてはならない。

モホ面におけるクリープ強度や剪断強度の平均は、 $1.5 \sim 2.0 \times 10^5$ kPa 程度と見積もられてきた。このうち、ひきずり成分が約 60% を占めるとすると、およそ 1×10^5 kPa の値が得られる。ブロック 4 の右側面に約 30 km にわたって作用すると考えると、紙面に直交方向の単位距離あたり 3×10^9 kN のひきずり成分が想定される。これは、3つの侵食ブロックの全隆起に大きさにほぼ匹敵する。3つの侵食ブロックの両側面を考えると、全ひきずり効果は、山脈系全体を動かす全隆起をうわまわる。

以上の簡易計算は、もっとも極端な侵食作用の場合でさ

えも、アイソスタシー補償が有効なメカニズムではないことを実証する。地殻の隆起沈降をひきおこすには、造構力(引張および圧縮のそれぞれ)が必要であり、重力では足りない。造構力の起源については、極移動による大きな緯度変化がもたらすジオイド応力として、筆者が説明したことがある(たとえば、The Tectonics of Geoid Change: Polar 出版, カルガリー)。ジオイド応力は、解析しうるもので、最大値をとる場合には、(薄い)海洋地殻の引張破壊や、褶曲して衝上断層運動によって隆起する厚い地向斜堆積物を圧縮変形させるのに十分である。

コメント COMMENT と 回答 REPLY

コメント

Arun BAPAT

Consulting seismologist

Pune INDIA Arun_bapat@vsnl.com

Show, Z., 2006. Precursor of the largest earthquake of the last forty years. NCGT Newsletter, no. 41, p. 6-15.

Shou 論文の第 1 ページは、水蒸気にかぎって議論している。水蒸気の以前に水が存在するであろうが、これが議論されなくてはならない。中規模～大規模地震 (M>6.5) の発生 1～2 日前に圧力が増大すると、地下水が噴水あるいは湧水として上昇する。水蒸気は、この水から形成される。氏の論文では、水蒸気が震源に由来すると記述されている。

回答

Zhonghao SHOU

地震予知センター

500E 63rd 19K New York, NY 10021

<http://quake.exit.com/>
earthquake.prediction@gmail.com

水蒸気以前に水が存在するというのは論理的であるが、私はこの問題をすでに論じた。『地震水蒸気説の概要』と題した節で、私は「ここでは、簡潔に記述する。巨大岩体に外力が加わると、その弱部がまず破壊し、小地震が発生する。大地震は大きな変位を発生させるという事実は、小地震は小さな裂罅を発生させ、岩体の剛性を小さくすることを示唆する。次に、地下水が裂罅中に浸透する。その膨張、収縮および化学特性が、剛性をさらに小さくする [1]」と記述した。裂罅の生成という提案を支持するために、私の論文では、参考として 1981 年以降のカリフォルニア南部で発生した震源から 10km 以内の範囲にお

ける大地震と先駆地震のすべてを表に示した [2～4]。

図 1 は、1994 年 1 月 17 日の Northridge 地震とその近傍における先駆地震の深度分布を示す。5つの地震が Northridge 地震の震源よりも深部で発生している。この震源よりも 200m 深いところで、そのうちの 1つが発生した。

「地震蒸気、それは信頼できる先駆現象」[4]のなかで、私は Cox の優れた実証を引用した。いっぽう、人工ダイヤモンドの合成にかかわる化学学説と実験は、ダイヤモンドの形成には 45kbar 以上の高圧が必要であることを示し、それは、自然条件では 150km 以上の深度と 1,000°C の温度が必要であることを意味する。そのいっぽうで、150km 以上の深度から河床礫までダイヤモンドと水を通させたプロセスが実在しなくてはならない [5]。

私は、水蒸気に先行する水に関する証拠のなかで、重要な 2 点をあらためて紹介したい。第 1 は、USGS が 1969 年にコロラド州西部の Rangely 油田で、ある実験 [6] を行なったことである。その実験では、石油井に水を注入して石油を押し出した。臨界流体孔隙圧を越えると、地震活動が劇的に増加することが観察された。この研究は、水に飽和した岩石の降伏強度についての室内実験結果によって支持される。岩石が加熱されるにつれて、降伏強度は、臨界温度に達するまで、大変ゆっくりと変化する。この臨界を越えると、岩石は脱水をおこし、急速に降伏強度が低下する (文献 [7] の図 10)。

著作権によって文献 [7] の図 10 を転載できないため、それに代わって図 2 を示す。私は、7 年間にわたって地震予知の論理および実践にたずさわった後、私の学説が正しいとすると図 2 のような特性曲線が存在するはずであると考えた。私はそれを描いて、ある図書館職員にそのような文献を探してほしいとの援助を依頼し、1997 年に確認した。さまざまな岩石の特性曲線は図 2 に示されるものに類似しているが、「水蒸気噴出」や「地震」という文字はなかった。

表 カリフォルニアの全大地震と近傍の先駆地震 (1981 ~ 2005)

Table. All big earthquakes in Southern California & preceding nearby shocks (1981~2005)

No.	Date	Time UTC	Lat.	Long.	Mag. ML	Dep. km	within 5 km		within 10 km	
							All	Deeper	All	Deeper
1	19871124	1:54	33.09	-115.79	6.2	10.8	25	4	138	10
2	19871124	13:15	33.02	-115.85	6.6	11.1	186	7	558	33
3	19920423	4:50	33.96	-116.32	6.1	12.3	321	3	1602	14
4	19920628	11:57	34.20	-116.44	7.3	0.9	166	146	520	461
5	19920628	15:05	34.20	-116.83	6.3	5.3	141	128	345	256
6	19940117	12:30	34.21	-118.54	6.7	18.4	9	2	79	5
7	19991016	9:46	34.59	-116.27	7.1	0.02	250	226	430	373
8	20031222	19:15	35.71	-121.10	6.5	7.0	12	1	37	7
9	20040928	17:15	35.81	-120.38	6.0	5.5	44	35	90	79

注

1. 上記データのすべては、USGS カリフォルニア南部地震データセンター (SCEC) の新カタログ (<http://www.data.scec.org/ftp/catalogs/SCSN>) による。データは、1981年2月20日以降のもので、32° ~ 37°N, Columns 8 ~ 9および10 ~ 11の時空領域 (各震源から5kmおよび10km以内の先駆地震数) から収録された。
2. Lat. = 緯度, Long. = 経度, Mag. = マグニチュード, Dep. = 深度
3. Deeper は、主震の深度と同じかより深い先駆地震数を示す。たとえば、地震1は、震源から10km以内に138個の先駆地震を随伴するが、そのうち10個が震源M6.2の深度10.8kmと同等またはより大きな深度で発生した。
4. 大きな地震はすべて、それらの震源のまわりに多くの先駆地震をとまなう。

Depths of shocks before & within 10 km of the Northridge earthquake

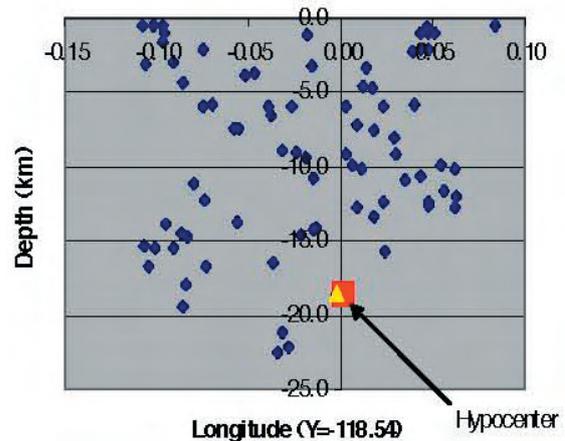


図1 Northridge地震と近傍の先駆地震の深度分布

注

1. 表示された1981年2月20日以降のすべてのデータは、同じSCESカタログからのものである。
2. X軸: 経度. 中心は、Northridge地震と同じ-118.54°におかれている。
3. Y軸: 深度 (km)
4. 赤色四角形: 34.21, -118.54, 深度18.4kmのNorthridge震源
5. 黄色三角形: 1991年3月21日に34.21, -118.54, 深度18.6kmで発生した小地震
6. 青色ダイヤモンド形: Northridge震源から10km以内に発生した78個の地震. 5個はNorthridge震源よりも深い。

これまでの議論は、水蒸気に先行する水について私が実際に議論したことを示す。次に、Bapat氏の第2のコメント「中規模～大規模地震 (M>6.5) の発生1～2日前に圧力が増大すると、地下水が噴水あるいは湧水として上昇する。水蒸気はこの水に由来するのである。この論文は、水蒸気は震源に由来すると述べている。」に移ろう。私は、氏のコメントは正しいと願うので、撤退はたいへん容易になる。

1996年9月8-11日に、私はワイオミング州のイエローストーンの研究を行なった。そこでは、温泉が毎日噴出

する。Bapat氏によると、私は少なくとも1つの中規模地震に遭遇するはずであるが、そのようなことはなかった。図3は高度約8～10mに達した強烈な温泉噴出であるが、それは、いかなる地震雲もつくらなかった。さらに、噴泉は毎日起りながら、衛星画像をみると、そこに地震雲があらわれることはない。Bapat氏によると、ワイオミング州では少なくとも1年間に182の中規模地震が起こるはずであるが、USGSはそれらの多くを報告していない。これらの事実は、氏の主張と矛盾するようである。

震源からの地震雲を証明するために、2つの例をくりか

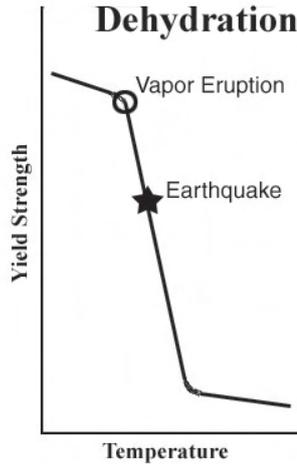


図2 脱水
注:温度と降伏強度に関する文献をさがすためにこの図を描いた。そして、1997年にそれを発見した(文献(7)の図10)。



図3 アメリカ合衆国, ワイオミング州, Yellow Stoneにて著者撮影 (1996年9月10日)

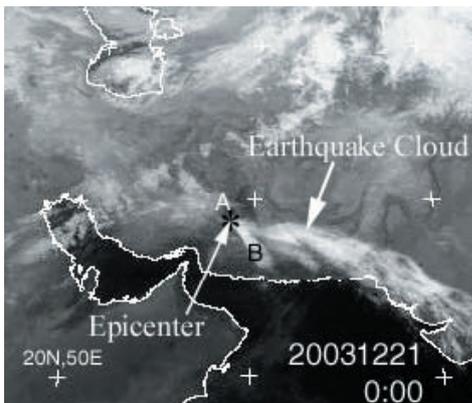


図4 Bam地震雲と予測断層AB. この赤外画像(10.5~12.5 nm)は、EUMETSATのIDOC衛星(<http://www.eumetsat.de/en/index.html>)によるもので、英国Dundee大学(<http://www.sat.dundee.ac.uk/pdus.html>)で変換・提供された。この画像は、白矢印で示されるように、断層ABからたちのぼる地震雲を示す。これにもとづいて、2003年12月21日に私は、60日以内に断層ABにM5.5あるいはそれ以上の地震が起きると公に予報した(<http://quake.exit.com>)。はたして、まさに地震雲がたちのぼったイランのBam(28.99N, 58.29E:*印)で、12月26日にM6.8の地震が発生した。

えして説明しよう。まず、Bam雲は、12月20日の2:00(UTC)にBam断層から出現し、次の動画に示されるとおり、24時間にわたってそこに存在しつづけた: Animation of the Bam Cloud.

気象学はそれを説明できなかったが、2003年12月25日0:58 UTCに私は、次の画像を用いて、60日以内に断層ABでM5.5の地震が発生することを公に予報した。

この地震は、歴史記録上、そこで発生したM5.5ないしそれ以上の地震としては、唯一のものであった。したがって、私の予報は統計的にも重要である。私の学説だけがこの雲を説明することができ、私の予報はこの雲がBam震源に由来することを示す統計的に重要な実証でもある。それにひきかえ、湧水の存在報告はなく、雲の発生からBam地震までの時間は2日ではなかった。

第2に、M9のインドネシア雲と2つの随伴雲が、別の良い事例になる。3つの水蒸気噴出[geoeruptions]1,2および3が2004年11月15日0:00に急に出現し、ながくのびた3つの直線AX, BYおよびCZに沿って発達した。このような大気現象は稀である。プレート説も気象学も、なぜこれらの水蒸気噴出が局所的に急速に現れたのか、これらの3つの雲線がそれほど長く(それぞれ4,790km)、直線的なのか、そして、2004年12月26日にそれぞれA, BおよびCでM6.6, M7.5, およびM9の3つの大地震が発生したという明白な一致を説明できない。その全過程が、次の動画(1)に示される:

<http://quake.exit.com/Animation/20041226King0.2.gif>

この正確な一致を説明する唯一の学説が、水蒸気説である。これらの雲が、対応する震源に由来することをこれらが示す。

以上の2つの例は、『最近40年間の最大規模地震の先駆現象』(1)の中に記されている。Bapat氏がなぜ、これらの雲が地震前の2日以内に湧水から生じたと考えたのか、私は不思議に思っている。湧水という先駆現象に関する私の研究にしたがうと、それは時々起きるが、かならずしも常に起きるわけではない。さらに、その時間差は、正確に2日以内というわけではなく、ある坑井から「石油が20mの高さにまで噴出した」のは唐山地震の11日前であった(8)。1993年10月28日のアイダホ州のBorah Peak(M7.3)では、「水柱が谷底から115フィートの高さにまで噴出し、その量は毎秒400 m³であったと見積もられる」(9)。中規模あるいは大規模地震では2日前以内に湧水が起これり、この湧水は2日後以内に中規模あるいは大規模地震を誘発する、と氏は論じるべきであると私は思う。

読者の興味のために、2,000年2月23日のトルコにおける熱水噴出(文献(3)の図7)に注目することをお奨めしたい。このときには、14:00に地点“X”に黒点があられ、つづいて地点BおよびCへ移動し、まさに地点Bで4月2日に2つの地震(M4)が起き、さらに、正確

に地点Cでは5月7日に別の2つの地震(M4)が発生した。私は、この現象の説明を読者に委ねたい。

謝辞 著者は、さまざまな援助をいただいた Wenying Shou, Darrel Harrington, Lingyan Fang, Frank Mayhar および Yan Fan に、短報の投稿をすすめて下さった Dong R. Choi, 衛星画像を提供いただいたヨーロッパ気象衛星開発機構 (EUMETSAT) および英国の Uundee 大学、および、地震データを提供いただいた合衆国地質調査所 (USGS) に、感謝する。

文 献

1. Shou, Z., 2006. Precursor of the Largest Earthquake in the Last Forty Years. *New Concepts in Global Tectonics* 41, 6-15. <http://quake.exit.com/copies/Ncgt41.pdf>
2. Shou, Z., 1999. Earthquake Clouds, a reliable precursor. *Science & Utopya* 64, 53~57. <http://quake.exit.com/A991003.html>
3. Harrington, D., & Shou, Z., 2005. Bam Earthquake Prediction & Space Technology, SEMINARS of the United Nations Programme on Space Applications 16, 39-63. <http://quake.exit.com/copies/BamSeminars.pdf>
4. Shou, Z., 2006. Earthquake Vapor, a reliable precursor. *Earthquake Prediction*, 21-51 (ed. Mukherjee, Saumitra. Brill Academic Publisher, Leiden-Boston). <http://quake.exit.com/copies/EQVapor.pdf>
5. Cox, K. G., 1978. Kimberlite pipes. *Scientific American* 238, 4.
6. Bolt, B.A., 1988. Stimulation of earthquakes by water. *Earthquakes*, 135-139 (W.H. Freeman and Company, New York).
7. Kirby, S.H & McCormick, J.W., 1990. Inelastic properties of rocks and minerals: strength and rheology. *Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals*, 179-185 (ed. Carmichael, R.S., CRC Press, Boca Raton,

Florida).

8. Shi, H.X. & Cai, Z.H. Case examples of peculiar phenomena of subsurface fluid behavior observed in China preceding earthquakes. *Acta Seismologica Sinica* 2, No. 4, 425-429 (1980).
9. Lane, T. & Waag, C. Ground-water eruptions in the Chilly Buttes area, Central Idaho. *Special Publications* 91, 19 (1985).

SHOU への回答

Arun BAPAT

私が意味したことは、まず水が現れ、次にそれから水蒸気や雲が現れるということである。水蒸気に加えて、水の研究が有用であることを言わんとしたのである。裂隙、微小割れ目および微小断裂を通っても漏れ出た水についての Shou の説明は、訂正されなければならない。いずれの中規模～大規模地震 (M>6.5) の発生にも、それらに先立って、地下水が噴水や湧水となって上昇する。これは、移動する2つの岩体の間の圧力が増大すること起因する。地下水は、圧力の増大によって上昇するのである。これは、いくつもの地震に先立って観察された。私は、アジアの国々における2つの例を知っている。1つは、2001年1月26日の Bhui 地震 (M7.8, インドの Gujarat), もうひとつは、2005年10月8日の Kashmir 地震 (M7.6) である。この地震の発生よりも数日 (最大28日) 前に、噴水 [複数形] がみられた。ワイオミング州の Yellow Stone では182回の地震が起こるはずとの Shou 氏の記述は不適切で、避けるべきであった。私は、あらゆる水塊から地表へ湧水や噴水が生じる、と述べたことはない。地下水は押し上げられてくるのである (ときどきは、地下水が、地表にあらわれる前に地下の岩石を破砕する)。

出版 物 **PUBLICATIONS**

(矢野 孝雄 [訳])

太平洋地質学 - 地球物理学国際アトラス
INTERNATIONAL GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL ATLAS OF THE PACIFIC OCEAN

Udintsev, G.B. [編], 2003. *International geological-geophysical atlas of the Pacific*. 縮尺 1:10,000,000. 本の大きさ 70 x 100 cm, フルカラー, 192 p. 出版: 政府間海図委員会 Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), UNESCO. モスクワ - サンクトペテルブルグ, ロシア.

Boris I. VASILIEV
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
tesla@poi.dvo.ru

UNESCO の政府間海図委員会 Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) の決定にしたがって、2003 年に『太平洋地質学 - 地球物理学国際アトラス』がモスクワ - サンクトペテルブルグで出版された。本書は、このシリーズの第 3 の出版物である：第 1 は、1975 年刊の『インド洋アトラス』、第 2 は 1990 年刊の『大西洋アトラス』である。これら 3 つのアトラスすべての編集長を務めたのは、ロシア科学アカデミー准会員である G. B. Udintsev である。『太平洋アトラス』には、10 ヶ国から計 248 名の科学者、ロシアからは 90 名の科学者が編集にたずさわった。

大きさ 70 x 100 cm, 192 p. におよぶ地図とロシア語 + 英語で表記された文章は、太平洋、特定海域、および縁海の地形、地質および地球物理学を記述していて、2001 年 1 月 1 日までに得られたデータにもとづく。

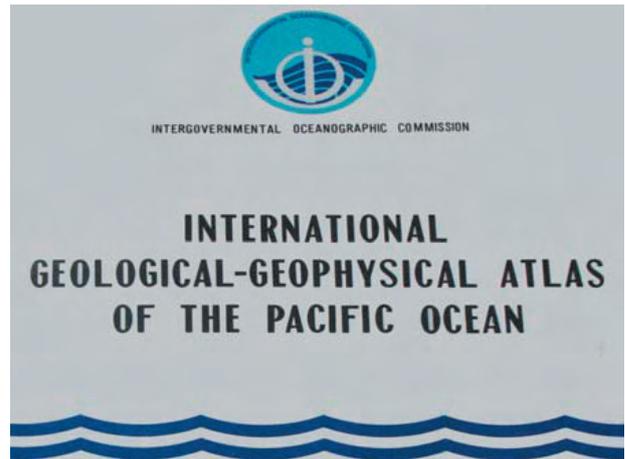
序章には、太平洋の研究および個別地域のこれまでの海図づくりにかかわった調査船の写真と情報が掲げられ、太平洋底の地形調査の歴史を映す。次章では、海洋研究のための新しい技術、ならびに、地質学的 - 地球物理学的方法が説明される。すなわち、潜水調査艇、測位システム、マルチビーム音響探査、サイドスキャンソナー、反射法地震探査、マルチチャネル地震探査、深部地震探査、衛星高度測定、地熱調査、深海掘削、地震トモグラフィである。この章には、これらの技術と方法によって得られた写真、模式図、例示地図、記録や断面図が掲げられている。

このアトラスに用いられている主要図は、北緯 40° に沿う縮尺 1:10,000,000 のメルカトル投影図である。それらは、水深図、磁気および重力異常図、基盤等深線図、堆積層等厚線図、地震図、鉱産図、などである。これら一連の図を補って、詳細図、太平洋のなかでももっとも研究がすすんでいる特定海域の断面や表が示される。特定海域には、トランスフォーム断層、東太平洋海膨、シャツキーおよびオブルチェフ海嶺、海溝、島弧および縁海が含まれる。掘削船「クローマーチャレンジャー」と「ジョイデスリゾリューション」の 148 回におよぶ航海で掘削された坑井断面も含まれる。アトラス末尾には、800 もの文献が掲げられている。

全世界の海洋総括図も、いくつか補足されている。それらは、衛星高度測定にもとづく海洋底地形図、測深図、衛星高度測定にもとづく重力図、線状重力異常図、リソスフェア火山のジオダイナミクスである。

著しく多岐にわたる地質学 - 地球物理学的事実が、歪められることなく、生き活きと表現されている。それらは、私たちが世界地質図 (Jatskevich [ed], 2000) の分析を通じてすでに導き出した主要な結論を確証している。それらの結論は、次のとおりである。

太平洋と周縁の褶曲帯は、今日でも依然として活発に造構運動を行っていて、固有の地球構造をかたちづくって



いる。それは、しばしば、地球の太平洋区と呼ばれる。その特異性は多岐にわたる：太平洋海盆の等軸性、東太平洋海膨の非対称配置と他の中央海嶺との著しい相違、海溝 - 島弧 - 縁海システムからなる活動的西縁帯の選択的配置、地殻と上部マントルの固有の地球物理学的特性、大西洋・インド洋のソレイト組成とは著しく異なる玄武岩組成。太平洋海盆をとりかこむ太平洋帯の環状構造は、鉱床生成作用と放射状 - 同心円状の巨大断層系に、その独自性が表現されている。

太平洋地質学 - 地球物理学国際アトラスの収録データの解析によると、太平洋巨大海盆と周縁造構帯は、地球発達の初期段階で形成された第 1 級の地球幾何構造である。太平洋巨大海盆の地殻は、おもに苦鉄質である。巨大海盆は、ジュラ紀にはじまり現在につづく沈降運動によって形成され、それには、地球全体におよぶ海洋化作用がかかわっている。しかし、周辺の大陸の古生物地理学的解析によると、過去には振幅の大きな隆起と沈降がそこに発生した可能性も十分に考えられる。

先カンブリア紀以来の太平洋巨大海盆の西部と東部の間での地質構造の顕著な相違は、プレートテクトニクスが仮定する“拡大”作用を排除する。海溝における“沈み込み”作用を示す実際の証拠はない。基盤岩類が中央太平洋海膨から遠ざかるにつれて古くなるというデータもない。“リソスフェアプレートテクトニクス”の他の多くの仮定は、いずれも確証されない。これらの事実は、この推測的学説がまったく論拠がないことを証明する。

太平洋巨大海盆とその縁辺の構造解析は、その起源と進化についての合理的推論を可能にする。それは、おそらく、月 - 地球系の出現に関係するきわめてまれな宇宙事件の結果として約 45 億年前に形成された、というのがもっとも確からしい。その事件は、地球からの月の分離、あるいは、大きな惑星との衝突の結果、発生したのであろう。

この事件は、太平洋巨大海盆の固有の特性、すなわち、等軸的形狀、本質的に苦鉄質な地殻組成、活発な造構 - 火成活動、および、等軸的に形成された変動帯の存在 (か

つての周縁卓状地を破壊し、その後の多サイクル地向斜-造山運動が発達)をもたらした。

多サイクル造構-火成活動が、太平洋巨大海盆に発生した。しかし、下位の超苦鉄質伏在層の存在が、周縁変動帯に比べて、巨大海盆の相対的“安定性”をもたらした。このような視点からは、それを、thalassocraton (海の剛塊) とみなすことができる。

45 億年間の歴史を通じて、大量の陸源および火山性の碎屑物が周辺大陸から太平洋巨大海盆へ供給された。超苦鉄質伏在層とともに、これらの堆積物は融解し、変成し、

太平洋の地殻組成を、最終的には酸性岩を生じるほど平均化することになった。このアトラスに集約された地質学的-地球物理学的データは、私が主張するこの仮説を確証するものである。

アトラスがわずかな発行部数—300 部—であったことは、たいへん残念であり、世界中の科学者の必要を満足させることはできない。より充実した改定版の出版が望まれる。第 1 版には、Jatskevich et al. (2000) によって編集された太平洋と縁海の地質図が含まれていなかったが、改定版では補われるべきである。

本の紹介 **BOOK REVIEW**

恐竜絶滅に関する大論争

THE GREAT DINOSAUR EXTINCTION CONTROVERSY

著者： Authors: Charles Officer and Jake Page.

出版社： Addison-Wesley Publishing Company, 1996

Chris SMOOT ncsmoot@yahoo.com

(矢野 孝雄 [訳])

Charles Officer and Jake Page 著『恐竜絶滅に関する大論争』(Addison-Wesley Publishing Company, 1996) について残念なことは、それを読むべき人々によって読まれていないことである。2 名の著者 (Dartmouth College の研究教授、および、スミソニアン書籍の創設者=社長で、雑誌 Natural History の編集長) が、K-T 境界における恐竜絶滅の実際の原因が何であるかを決定するためにこの本を出版した。

地球物理研究者が私たちにプレートテクトニクス説をもたらしたのとちょうど同じように、彼らも私たちに隕石衝突をもたらした。地質研究者 Walter Alvarez は、イタリアの Gubbio でイリジウム層を発見した。彼が、より著名な彼の父 Luis を主役にしたことは明らかである。Luis は多くの名声を博した地球物理学者であったので、1980 年に出版された論文の筆頭著者になった。

その当時、科学者の間での社会的序列に準じる知的序列が、おそらくは物理研究者によって造られていた：一般人よ、帽子の上のせなさい [敬意を払いなさい?], とばかりに。数学者と理論物理学者が頂点に、実験物理学者がその下にいた。さらに下には、化学と天文学が。地質学と古生物学はリストの下辺に、生物学はもっとも下底にあった。誰が力をもっていたか、を推測されたい。

事実、Luis Alvarez は、後に報道機関に次のように述べている。「私は古生物学者の悪口をいいたくはないが、実際に、彼らはたいへんすぐれた科学者というわけではない。彼らは、切手収集家のようなものだ。」

Charlie と Jake は恐竜に関して自らの研究をわずかばかり行い、恐竜絶滅が、デカン玄武岩のような火山活動と連動した汎世界的海退によって起こったことをみいだした。これは、たいへんうまく説明をあたえていた既存の考え方であった。さらには、絶滅の大半は、それ以前に、すでに起きていたのである。

よく知られているように、恐竜たちの最後の避難場所は北アメリカであったことは明らかである：すなわち、それは、ほぼミズリー州中部であり、やがてロッキー山脈へ移動した。これは、間違った風聞である。南アメリカとアジアにおける最後の恐竜は、化石記録によると、それぞれ Campanian (83-71 Ma) と Maastrichtian 中頃 (71-65 Ma) である。ヨーロッパでは、わずか 1, 2 の種が Maastrichtian まで生き延びただけである。北アメリカでのこの過程は、K-T 境界の約 700 万年前、すなわち、約 72Ma に始まった。最終的にその事件のころまで生き延びた種属は、Tyrannosaurus, Triceratops, および、hadrosaurs 類のわずかな種である。

その頃、モサザウルス mosasaurs が西部の内陸水路（the Western Interior Seaway）を支配していて、「海のティラノザウルス」とよばれていた。彼らは、白亜紀末以前に絶滅したプレシオザウルス plesiosaurus の仲間であり、わずかな個体数だけが隕石衝突まで生きのびた。

翼竜は、K-T 境界の約 4,000 万年前まで生存した。その衰滅は、鳥類の誕生と同時期であった。イクチオザウルス ichthyosaurus は、K-T 境界よりも 1,500 万年前に絶滅した。

Alvarez の実話小説によれば、それは不幸にも報道 [press] と Richard Kerr を巻き込んで、絶滅はユカタン半島沖の陸地への隕石衝突によってひきおこされた、と述べた。イリジウムと高圧石英を含む地層が、この大火災による天変地異、過剰二酸化炭素、そして、衝突による地球温暖化の結果なのであるとされた。

軟膏（塗り薬）のなかに 1 匹のハエがいた。地質研究者たちはこの問題を長期間にわたって研究して、海水準低下と過剰火山活動が、恐竜絶滅の場合と同様に、この絶滅をひきおこしたことを見いだした。これは、あなたがしなくてはならない場合になぜ考えるのか、に似ている [It's like, "why think if you don't have to"]. 1980 ~ 1994 年に、雑誌 Science には、この衝突によって絶滅を説明する論文が 15 以上も現れた。同期間に出版されたこの考え方に反対する論文は、2 つだけであった。イギリスの雑誌 Nature も、負けじと、時流にとびのった。

このような急発進とともに、科学における愚かしい側面が優勢になり、Carl Sagan の「核の冬」という考え方ももっとも注目された。

報道と Alvarez の実話小説によってこの問題へ論述が集積した後に、地質学者たちはフィールドへ復帰した。活火山が、“隕石衝突”と等量の過剰イリジウムを供給することがわかった。次に、Alvarez のイリジウム層をはさむ上下位層の試料採集が、この論陣内部にショックをあたえた。しかし、もっとも毛並みのよい報道機関と専門家たちが自制したため、私たちのほとんどは、これについて知るところがなかった。イリジウム層の堆積には 4,000 万年間もかかっているという発見は、地質研究者以外の誰にも知らされなかった。衝突石英粒子もまた、火山活動によって生成したものであった。

1990 年代に、この考え方には動かぬ証拠が必要である、と実感したにちがいない。そこで、約 65Ma 頃のクレータ状構造の搜索が本格的にはじまった。ユカタン海岸沖の Chicxulub が選ばれて、誰もがこの時流に乗った。そして、再び、Science と Nature がこの課題の先兵となった。

Art Meyerhoff は、このクレータの中にある PEMEX 坑

井 #6 を解析し、その層序のいずれにも擾乱がないことを発見した。彼は、その構造が“白亜紀後期の火山層序”であり、そのコアは、“整然と重なった鮮新世、中新世、漸新世、始新世および暁新世の堆積物、そして、その下位の層厚 350 m の最上部白亜系堆積物からなる。最上部白亜系の上部には Maastrichtian の、下部には Campanian 中頃の微化石動物群集が産出し、さらにその下位には、主に安山岩質の火山岩層が厚く発達し、ベントナイトの角礫や後期白亜紀化石層をはさむ”ことを発見した。彼に反対する勢力は、まさに彼の名前によって集まり、彼の研究は無視され、中傷された。後になって、別の地質研究者が別の資料を研究し、彼の正しさを証明することになった。Alvarez の衝突クレータ説は無意味であり、Chicxulub も無意味である。

実際、この本は、Alvarez の論陣の全体、そして、Luis Alvarez 自身がいかなる人にも、そして、すべての人々にぶちまけた多量の憎悪と中傷を示しつつける書籍である。彼らによるコメントは論拠のないものであり、まったくの恥辱に等しい。

確かに、絶滅はあった。しかし、それは、おもに海生微生物、ならびに、海生の貝類と甲殻類に対するものであった。恐竜は、すでに消滅していた。そして、絶滅は、デカン玄武岩の形成のような過剰火山活動と同時期の海水準低下に起因した。西部内陸水路（Western Interior Seaway）の消失も、重要な因子になった。同様な経緯を辿ったまったく同じ筋書きは、より古く、シベリア玄武岩の噴出と海水準低下が二疊紀の絶滅を引き起こした、という形で現出した。

その結果、地球科学部門のセントルイスセンターのために、現在、私は奉仕活動としてある仕事をしている。私の仕事の一部は骨格研究室で行なっていて、triceratops を食べようとしている巨大 T-rex の研究グループに講義をしている。また、西部内陸水路はミズリー州西部にまで拡大し、さらに、カンザス州のような西隣の州にまでおよんだ。私たちのところへ訪れるのは、モサザウルス mosasaur 化石層が発達するカンザス州の人々がほとんどである。私はおのずと K-T に関するたくさんの疑問をいただくようになり、この本はたいへん重宝である。

私が講義で話しているこの表の裏側に描かれた Chicxulub クレータの図を、私たちは持っている。私は、誰かがそれに注目すると、いつもそれを否定せざるを得ない。



ニ ュ ー ス NEWS

(矢野 孝雄 [訳])

AAPG ヨーロッパ会議 AAPG EUROPEAN CONFERENCE

2007年11月18～21日

会場：アテネ国際会議センター Megaron, ギリシア

全地球のおよび大規模な地質における
非伝統的学説と考え方
UN-TRADITIONAL THEORIES AND IDEAS IN GLOBAL
AND LARGE SCALE GEOLOGY

共同議長： S. T. Tassos and K. Storetvedt

プログラム

2007年11月21日午前

- 8:15 -- Introductory Remarks
- 8:30 -- S. T. Tassos: Five Myths and One Comprehensive Proposition in Geology
- 8:50 -- S. T. Tassos: The Solid, Quantified, Growing and Radiating Earth
- 9:10 -- W. J. Sercombe, T. W. Radford: Intra-cratonic Volcanism in the Colorado Plateau and Association with Basin and Range Rifting
- 9:30 -- Y. B. Galant: Three Myths
- 9:50 -- K. M. Storetvedt: Global Wrench Tectonics - Earth History in New Perspective
- 10:30 -- Break
- 11:00 -- P. James: On the Origin of Large Horizontal Stress Variations in the Earth's Crust
- 11:20 -- M. Hovland, H. Rueslåtén, C. Fichler, H. K. Johnsen: A Novel Hydrothermal Salt Theory and its Application to Understanding Deep-Water Salt Accumulations and Piercement Structures
- 11:40 -- A. A. Kitchka: How Abiotic Petroleum Systems Work: Tectonically Driven Deep Fluid Sources
- 12:20 -- C. Hunt: Anhydride Theory, a New Theory of Petroleum and Coal Generation

2007年11月21日午後

- 1:55 -- Introductory Remarks
- 2:00 -- D. R. Choi: Hydrocarbons in Deep Oceans: from a New Global Tectonic Perspective

- 2:20 -- G. Papadopoulos: Was the Minoan Civilization Declined Due to the Attack of the Large Tsunami Caused by the Late Bronze Age Eruption of Thera Volcano?
- 2:40 -- J. Maxlow: Challenging Our Global Tectonic Myths
- 3:00 -- J. G. A. Croll: A New Hypothesis for Earth Lithosphere Evolution
- 3:20 -- D. G. Van der Meer, D. J. J. Van Hinsbergen: Permo-Triassic subducted slabs return from the grave
- 3:40 -- P. Carydis: The Catalytic Importance of the Vertical Component in Earthquake Engineering
- 4:00 -- G. Mirkin: Radioactive Irradiation Factor of Hydrocarbon Source Rock Evaluation

■ 詳細

<http://www.aapg.org> for general information, and <http://aapg.confex.com/aapg/2007int/techprogram/meeting.htm> or <http://www.aapg.org/athens/pdf/technicalprogramme.pdf> for technical programmes.

■ 会議後のショートコース

"Reconsideration of fundamental concepts in geology and geophysics — Practical implication".
<http://www.aapg.org/athens/course4.cfm>.

第33回万国地質学会 オスロ 33rd IGC OSLO

2008年8月6～14日

グローバルテクトニクスの新概念 NEW CONCEPTS IN GLOBAL TECTONICS

招聘者 Conveners

Dong Choi, raax@ozemail.com.au
Karsten Stoetvedt, Karsten.stoetvedt@gf.uib.no
Foese C. Wezel, Wezel@uniurb.it

セカンドサーキュラーが<www.33igc.org>で入手できます。決まりしだい、より詳細を報告します。

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

(赤松 陽 [訳])

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

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

Global Tectonics.

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

もし領収書が必要な場合には、ご送金の際に一言、お知らせ下さい。

ニュースレターについて **ABOUT THE NEWS LETTER**

このニュースレターは、1996 年 8 月に北京で開催された第 30 回万国地質学会のシンポジウム "Alternative Theories to Plate Tectonics" の後でおこなわれた討論にもとづいて生まれた。New Concepts in Global Tectonics というニュースレターのタイトルは、1989 年のワシントンにおける第 28 回万国地質学会に連携して開催された、それ以前のシンポジウムにちなんでいる。

目的は次の事項を含む：

1. 組織的照準を、プレートテクトニクスの観点に即座には適合しない創造的な考え方にあわせる。

2. そのような研究成果の転載および出版を行う。とくに検閲と差別の行われている領域において。
3. 既存の通信網では疎外されているそのような考え方や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。

