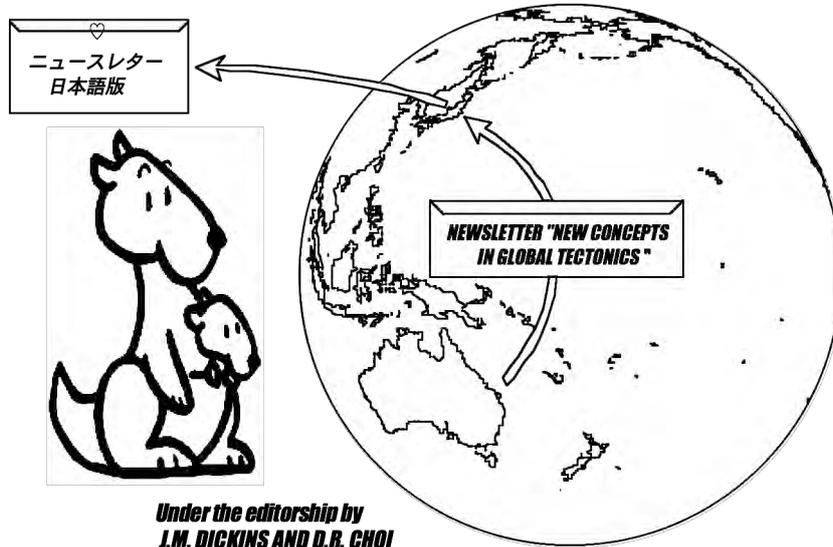

ニュースレター グローバルテクトニクスの新概念

NEWS LETTER New Concepts In Global Tectonics

No. 26 2003年3月(日本語版 2003年7月) 編集者: J. M. Dickins and D. R. Choi



Under the editorship by
J.M. DICKINS AND D.R. CHOI

も く じ

■ 編集者から	2	ソフトプレートと衝突テクトニクス	29
■ 論説		火山噴火と大地震	31
大陸と海洋の歴史	3	日本海・オホーツク海の断裂系	32
地震パターンの解析	7	■ ニュース	32
深発地震と深部構造帯	13	■ ニュースレターへ財政支援を	34
■ 討論		■ ニュースレターについて	34
新生代の地球収縮	28	★ NCGT 日本サブグループのコラム	
■ 出版物		最新の地質年代表	33

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 TECTONICS 1) Eメール: ncgthotmail.com; 2) ファックス(少量の通信原稿): +61-7-3354 4166, 3) 郵便・速達航空便など: 14 Bent Street, Tuner, A.C.T., 2612, Australia (ディスクはMS Word または Word Perfect フォーマット), 4) 電話: +61-2-6248 7638. 次号は2003年6月下旬に発行予定. 投稿原稿は2003年6月上旬までにお送り下さい.

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の責任ではありません. 本号は Mary K. Choi の援助のもと, J. Mac Dickins と Dong R. Choi によって編集されました.

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 <翻訳に関心をおもちの方, ご連絡下さ~い!>

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 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 EDITORS

(赤松 陽 [訳])

このニュースレターは、いくつかのたいへん興味深い寄稿や評論（書評）を掲載しています。これらの記事は、地球の構造とその歴史に関するものであり、地球に関わるいくつかの基本的な問題について議論を喚起することになるでしょう。

これら論文は、地殻およびマントルの状態やそれらの関係、地球の発達に関する新しい理解などについての再評価の必要性を説いています。

Rezanov は、地球の歴史における主要な変遷について述べています。彼は始生代の構造を原生代の構造から区別しました。始生代は、激しい玄武岩質マグマの活動期に始まり、大規模な花崗岩質層（の形成）によって終わっています。その結果、安定地塊（クラトン）と地向斜を分離する広範な断裂が形成されました。この時代には、深海堆積物が欠損しています。私の研究（Dickins, 準備中）によれば、古生代は、成熟した地向斜の時代であるように思われます。そして、広範なフリッシュ（深海）堆積物や、地殻の厚さ・もろさの増加を反映した広範な超塩基性岩の出現がともなわれていました。地向斜によって象徴される急激な地殻収縮期は、白亜紀中期（中～上部 Albian）から始まる最も新しい、最も激しいアルプス～ヒマラヤ変動期になって、強烈さをさらに増加させました。

Rezanov によって述べられている主要な断裂は、多くの研究者たちによって述べられ、このニュースレターでも Choi によってさらに深く研究されています。世界的な線状構造（深層断裂）系と明らかに一致しています。これら（の断裂）やそれらが形成した多角形の構造は、地球の歴史の早期にまで遡るであろうという重要な証拠があります。それら（の断裂）は現在まで作用し続けています。Choi の研究は、深発地震がこれらの断裂と連携していることを示しています。ですから、それらは、我々が前号のニュースレターの“編集者より”で指摘したように、我々の仲間、Suzuki と Pavlenkova の結論を実証する地殻・マントル両方の構造を代表しているのです。

Rezanov は、大洋底の沈降を伴った中生代の大陸地域の崩壊は、2 回目の大規模玄武岩質火成活動の時代に関連すると述べています。我々の研究は、まず第一に、正確で信頼できる古生物学・層位学データを基礎にしていま

す。そして、広範な多くの学問領域にわたる地質学の情報（inter alia Dickins, Choi and Yeates, 1992 ; Dickins, 1993 and 2000; Dickins and Choi, 2001）は、この広域的な玄武岩活動の時代が、三畳紀–ジュラ紀の境界の時期に始まったことを示しています。それは、伸張構造にともなう地殻の広範な沈降と、三畳紀–ジュラ紀の境界における生物の大規模な再構成に連携しています。これは、地球の構造における大きな変化をともなっていたのです。そして、現在の海洋と大陸はまさにこの時から出現しはじめたのです。また、海洋と大陸の測高学的バイモーダリティ（hypso-graphic bimodality）も同様です。大洋海盆には、いたるところに大陸地殻の残骸が含まれています。この時代は、ヒマラヤ–アルプス変動の褶曲時相（Wezel, 1992 参照）の始まりとなった汎世界的な伸張から圧縮への変化があった時期、すなわち白亜紀中期（後期アルプ世中頃）に突然終わりました。現在の大陸棚の形成が始まったのは早くてもこの時代からであり、こうして大陸と海洋が現在の形状になりました。これには、地殻表面の地形起伏の継続的増大をともなっていました（Dickins and Choi, 2001）。地形起伏の増大は、とくに新第三紀になって深海や海溝を形成し、山脈を現在の高度にまで成長させました。Ollier & Pain (2001) は、彼らの最近の著作において、大陸におけるこれらの高さの増加を一覧表にまとめています。

伸張と圧縮の時期は、多くの場合、対をなしています。これらの対は、始生代から現在までの明らかな地球の特徴であり、地球の歴史における主要な脈動を形成しています。

これらの変化の理由は、ニュースレターのこの号の中で議論されています。James は、ジオイドの変化と揮発性物質の影響を、Rezanov は水素の影響を、それぞれ主張し、Choi は深部断裂やサージテクトニクスの影響を論じています。Lyttleton (1982) は、すでに短時間で発生する相変化について論じています。

このニュースレターでは、Grover の著書の書評にみられるように、これらの問題にほかの見方も紹介されています。

J.M.Dickins

文献（抜粋）

- DICKINS, J.M., 1993. The Triassic–Jurassic boundary, sea-level, tectonic and magmatic change and the biological change. In: (三畳紀–ジュラ紀の境界, 海水準, 構造的火成活動的变化そして生物学的変化) In: ARCHANGELSKY, A. (ed.), Comptes Rendu Douzieme Congres International de la Stratigraphie et de Geologie du Carbonifere et Permien (第12回 石炭紀・二畳紀の層位学・地質学国際会議報告書), v.2, p.523–532.
- DICKINS, J.M., 2000. Major global changes in the development of the Earth during the Phanerozoic (顕生代の中の地球の進化における地球規模の大変化). New Concept in Global Tectonics Newsletter, no.16, p.2–4
- DICKINS, J.M., (in prep). The Pulsating Earth (脈動する地球).
- DICKINS, J.M., and CHOI, D.R., 2001. Neogene events and the modern world (新第三紀のできごとと現代の世界). Himalayan Geology, v.22, p.199–206

- DICKINS, J.M., CHOI, D.R., and YEATES, A.N., 1992. Past distribution of oceans and continents (海洋と大陸の古水陸分布), In: CHATTERJEE, S and HOTTON, N. III, (eds), *New Concepts in Global Tectonics*, Texas Tech University Press, Lubbock, p.193-190
- LYTTLETON, R.A., 1982. *The Earth and its Mountains* (地球とその山岳). John Wiley and Sons, 206pp.
- OLLIER, C., and PAIN, C., 2000. *The origin of mountains* (山の起源). Routledge. 368p
- WEZEL, F.C., 1992. Global change: shear dominated geotectonics modulated by rhythmic earth pulsations (地球規模の変化: リズミカルな地球の脈動によって調整(変える)された剪断支配の構造地質学). In: CHATTERJEE, S and HOTTON, N. III, (eds), *New Concepts in Global Tectonics*, Texas Tech University Press, Lubbock, p.75-109.

NCGT AND IGC, FLORENCE, 2004

ニュースレター本号の37ページにあるポスト研究集会に対する告示にご注意ください。研究集会とNCGTのIGCセッションへのアブストラクトは、2003年5月1日から2004年1月10日までが受付期間になっています。アブストラクトは電子形式にさせていただきたいのですが、ペーパーサブミッションは casaitalia@geo.unifi.it から得ることができます。また、セカンドサーキュラーは5月1日から www.32igc.org でご利用いただけます。

論 説 ARTICLES

大陸と海洋の地史

GEOLOGIC HISTORY OF CONTINENTS AND OCEANS

Igor A. REZANOV

Valilov Institute for the History of Natural Sciences and Technology, Russian Academy of Sciences
Staropanskiy pereulok, 1/5, 109012 Moscow, Russia
Tel. (095) 925 99 11; E-mail postmaster@ihst.ru

(小泉 潔 + 小坂共栄 [訳])

要 旨

大陸と海洋のテクトニックな構造がまったく異質なものである、と広く信じられている。しかしながらこの違いは、両者が類似した前史を持っていることを考慮すると、過大視しすぎていることは明らかである。この違いは、中生代～新生代に生じたにすぎない。激しい玄武岩質火山活動が、私たちの惑星の現在は海洋に占められている地域に激しい沈降を引き起こしたのである。

地殻の起源

地殻の起源が議論的的となっている。それは惑星最古の岩石の分析にもとづいて、推論されているだけである。下部始生界(Aldanian)の層序は、アルダン(Aldan)楯状地の地質図を作成することによって最も詳細に研究された。Cherkasov (1979) は、下位から上位へ次の3つのシーケンスを認めた: 珪岩-片麻岩(見かけの厚さ2~2.5km)、片麻岩(2~5km)、および片麻岩-炭酸塩岩(1~1.5km)。L.I. Salop (1983)はAldanianシーケンスがすべての大陸に追跡しうることを示し、この岩石の形成リズムの普遍性を立証した。全地球的に明らかにされた炭酸塩岩(片麻岩-炭酸塩岩シーケンス)は、それらが堆積環境の全地球的变化を記録しているので、層序的鍵層となる。Aldanianシーケンスの大半を構成している片麻岩は、堆積岩を挟む玄武岩溶岩から構成される。Aldanianの岩石は、グラニュライト相に変成していて、さらに花こう岩

化され、角閃岩相の後退変成作用を受けている。Aldanianの最古の年代は、約4 Ga.(グリーンランド, Aldani 楯状地, 南極, カナダなど)である。現在、オーストラリアのJack Hill山脈で発見された花こう岩から抽出されたジルコンが4.4Ga.の年代を示した。

約4.0Ga.の年代は、Aldanianグラニュライトの早期の花こう岩化作用の時代に相当する。Salop (1983)はGadthab変動としてこの事件を認めている。Aldanianのmetabasites(変塩基性岩)の花こう岩化作用が4.0(あるいは4.4) Ga.に始まったことを考えると、地球の最終的なアクリーションの後すぐに、10kmの厚さの玄武岩シーケンスが堆積し、いち早く変成作用を被った。Sm-Nd放射年代は、マンツルの分化と地殻の分離が二つに時期、すなわち4395±98と4281±17 Ma.に生じたことを示している(Balashov, 1999)。地球の形成から4.0Ga.までに、猛烈な玄武岩質火山活動が惑星全体に押し寄せ

た。この最初の地殻は、花こう岩化された状態で、古期楯状地の花崗片麻岩層として現在まで残存している。次に4 Ga.では、最初の地殻の上部が剝削され、平均1.5~2kmが浸食によって除去された。これは、陥没地を埋積した堆積岩の体積から判断される。Aldanianの岩石が20~30kmの深さに沈むとグラニュライト相の変成作用を受ける、というアイデアに根拠がないことは明らかだ。Aldanianが3.8~3.2Ga.の年代を示すグリーンストーン帯の充填物によって被覆され、わずかに変成作用を受けていることに留意されたい。Aldanianの岩石は常に表面付近を占めており、それらの深い(グラニュライト相)変成作用(8±2 kbarの条件下)は岩石に圧力を与える初期地球の超高密度水素大気の影響を仮定とすると、うまく説明される(Rezanov, 1996)。約4.0Ga.以降、グラニュライトがすべての大陸上で強く花こう岩化作用を受けていて、その結果、灰色片麻岩地殻が3.5Ga.までに広大な楯状地地域に形成された。つづいて、花こう岩化作用と後退変成作用(角閃岩相)が繰り返しておこった。もっとも強い花こう岩化作用を受けた地帯は、花こう岩ダイアピルとして、徐々に浮き上がってきた。ダイアピルの上昇は、周辺地域おける相補的な下方撓曲を伴い、初期の凹地(グリーンストーン帯)が火山岩や碎屑物で埋積された。最古のリング状凹地がグリーンランド(Isua)で発見された。それは3.8~3.7Ga.に形成された。凹地によって囲まれている花こう岩ダイアピルは、その後も成長をつづけた(2.6Ga.まで)。一つの例が、西オーストラリアの太古のピルバラ地塊である。そこでは直径20~40kmの花こう岩ドームがグリーンストーン凹地によって囲まれている。同様な構造は、アフリカやほかの大陸においてもひろくみられる。

地向斜とクラトンの発展

始生代の後期、地球はその全史でもっとも猛烈な花こう岩化作用を受けた。Aldanian地域に影響を与えているばかりでなく、同様にグリーンストーン帯にも広がっている。地殻はほとんど可塑性がなくなっており、大規模な断裂によってブロック化され、それに沿って深い凹地が形成されている。惑星は、安定地塊および地向斜的褶曲帯(断裂に沿って発達)に分化した。

約2.0~1.9Ga.には、沈降が、褶曲と強い花こう岩化作用およびはんれい岩の貫入に取って代わった。地殻は強固になったが、1750Ma.には、別方向の一連の深部断層によって再びブロック化された。G. Stilleは、Algonkian期として、この全地球的構造の再編事件を認めた。

新第三紀を通じて、北アメリカ・東ヨーロッパ・シベリヤと(南半球の) Gondwanaクラトンが形成され、それらは萌芽的なウラル-モンゴル・地中海・大西洋および太平洋地向斜褶曲帯によって分離されていた。現在の太平洋地域には、褶曲帯によって囲まれたもう一つの巨大なクラトンが存在していた。

構造パターンは、時代(Baikalian・Caledonian・Hercynian)とともに変化をしてきた。しかし大きくみると、新第三紀の早期に形成された地球の基本的な構造骨格は、現在まで存続している。

始生代・原生代および古生代のシーケンスは、現在の海洋におけるものと同様な深海堆積物を含んでいない。P.P.

Timofeyev, V.N. Kholodov and I.V. Khovorova (1983)は、「海洋のおもな岩石学的特徴はシーケンスに現代の深海-遠洋性堆積物に相同する堆積物の存在である」と信じている[p. 8]。それらは「遅い堆積速度、OMの不足、FeとMnの顕著な過剰な状況」で堆積する。「きまって、これらの深海-遠洋性堆積物は、細粒な泥質成分が卓越している」[p. 8]。たとえば、「遠洋性赤色粘土だけで、太平洋・大西洋およびインド洋の海洋底では1億500万km²の面積を占めていて、3つの海洋の総面積の約1/3を占める」[p. 8~9]。始生代のシーケンスは、浅海性海浜堆積物を含んでいる。最古の堆積シーケンス(Isua, 3.8Ga)は層間礫岩を含んでいて、それは堆積時の水流の影響と、おそらくはデルタの環境を示す。始生代グリーンストーン帯を埋積しているシーケンス(3.5-2.8Ga)は、超塩基性および玄武岩質溶岩から始まっていて、その上位には斜交葉理とリップルマークを伴う多源礫岩とグレイワックが累重する。それらが浅海海浜環境を示すことは確定的である。当時の海域は大きな陸塊によって隔てられる(Salop, 1983)。同様な環境が、前期~中期原生界に保存されている(Salop, 1983)。後期原生代堆積物は、赤色で多様な多源アルコズ質砂岩・礫岩に代表される(Salop, 1983)。これらは、大陸棚上で劣地向斜的盆地内に堆積した海洋性頁岩と炭酸塩岩とが互層する大陸性環境で堆積した。これは、海洋がこの時代に欠如していたことを示している。それは、広く分布する単源または少源性石英砂岩または珪岩に記録されていて、保存のよい砂質構造-斜交葉理・リップルマークやほかの浅海環境を示す構造-をときどき伴うことに証拠づけられる。以上のことがらは、その当時には大洋が存在していなくて、惑星には水量が少なかった(現在の体積の数%であった)ことを示唆する。すべての堆積物が、そして、しばしば伏在する火山岩類も、大陸に典型的な花こう岩化されたグラニュライトまたは斜長石質花こう岩の上ののっている。

古生代の堆積環境については、ユーラシアに関わってP.T. Timofeyev et al. (1983)が解析している。いちじるしい岩相変化、浸食帯と堆積帯の繰り返し、浅海環境を示す堆積相、現在の海洋より10倍も速い堆積速度変化をとまなう急速な層厚変化などを考慮して、筆者たちは次のような結論に達している。「海洋堆積盆は地球の中生代~新生代の進化の産物である。逆に、古生代と先カンブリア紀を通じて、浅海性の【discharge, 排出??】盆地が通じて広く存在していた.....」[p.21]。

現在の海洋の形成史

大陸地域の陥没、それにとって代わって出現した海洋の形成は、中生代を通じて進行した。大規模な海洋底の陥没が、広域的な玄武岩の噴出に先行した。最早期のトラップ火成活動がペルム紀末~三畳紀に生じた(シベリヤ・中国南部・南極)。このデータは、地球上での海洋形成のはじまりであるとみなされる。太平洋の深海掘削によって貫かれた中期ジュラ紀の堆積物から明らかのように、深海盆そのものは、トラップ火成活動につづく次の段階(三畳紀末~ジュラ紀)になって形成された。ジュラ紀~白亜紀を通じた猛烈なトラップ火成活動によって、南部および中央大西洋、南部インド洋および太平洋の大部分が出現した。白亜紀~古第三紀の玄武岩質火成活動は、海洋形成の最終段階のできごとであり、そのときには北部インド洋と北部大西洋が沈降しはじめた。それら

の中には、古第三紀の浅海堆積物、さらには中新世の浅海堆積物さえもが広くみとめられる。これらの地域での沈降は遅れて、中新世と鮮新世に始まった。大規模な沈降につづく深海盆の遠心性の拡大は、インド洋と大西洋でも確認された。Rudich (1984)は、大西洋とインド洋でいろいろな時代の浅海性堆積物の空間的な分布が、海洋底拡大モデルに基づいて予想される分布とは全く逆になっていることを示した。それは、浅海性堆積物が中央海嶺から離れるに従って段々と古くなることを意味している。深海掘削データの解析は、次のような一連のイベントを示している。(1)玄武岩の噴出(陸上であることもしばしば)、(2)浅海性堆積物による被覆、(3)堆積相の浅海性から遠洋性への遷移。

海洋地殻の組成と構造

プレートテクトニクス理論によれば、海洋地殻は中央海嶺軸に沿って形成され、蛇紋岩とその上位に重なる玄武岩からなるとされる。海洋地殻の第3層が蛇紋岩(ないし斑レイ岩)質であるとする考えは、中央海嶺やその外側で蛇紋岩や斑レイ岩が見つかるということを根拠にしている。Savelyeva (1990)は、海洋底で見つかる蛇紋岩や斑レイ岩を分析し、それらの岩石が地殻の断裂部ではさまざまな層準から産出し、しばしば玄武岩と同一層準か場合によってはその上位でも見つかるものだと結論を得た。ドレッチされた蛇紋岩や斑レイ岩が地殻の第3層のものであることを示す根拠は何もなく、また海洋地殻の第3層がほとんどオフィオライトからなることを示す根拠もない。海洋底での断裂帯における蛇紋岩や斑レイ岩は(大陸地域と同様に)マンツルの突出や貫入によるものである。海洋地殻はむしろ、主として(花崗岩や片麻岩などの)酸性岩からなっており、そのことは物理学的特徴と同様に海洋底掘削やドレッチなどのデータによっても明らかである。西大西洋(北緯33°46.87'西経9°21')におけるno.547の井戸では、遠洋性の中新統と岩塩を含むレーチアン[三疊系最上部]を貫いて花崗片麻岩の基盤に達している。ここは水深3700mである。中央~北部大西洋の各地で花崗岩・花崗片麻岩・グラニュライトなどの大陸性の岩石が見つまっている。Silantyev (1984)は、大西洋では、大陸性岩石が陸棚のみならず海洋中央部にも存在すると述べている。それらの現地性岩石は、Flemish Cap, Porapiue, Iberian, Gaban Spur, Magazan, Burdwood bank, Rockall, Blake, Bahama, Falkland Plateau, Newfoundland, Jan Mayan Ridgeなどで発見された。花崗岩もまた大西洋中央海嶺から見つまっている。ピストンコア中には新鮮な破断面をもった微斜長石花崗岩がとらえられている。Ascension, Tristan da Cunha 諸島の玄武岩溶岩からは、花崗岩や片麻岩の岩片が見つまっている。インド洋の Agulhas Plateau では、緑色片岩相~グラニュライト相までの変成相をもった石英-長石片麻岩や結晶片岩が発見されている。太平洋地域では、ベーリング海・オホーツク海・日本海・フィリピン海などの海洋底が、花崗岩質~片麻岩質岩石からなっている。酸性マグマ起源の岩石(花崗岩質片麻岩、角閃石-斜長石片岩・ザクロ石片岩、など)が、Clarion と Clipperton 断裂帯の間の北東太平洋海盆でトロール漁船によって引き上げられている。この海域ではSiO₂が66.2%のplagiogneissもドレッチされている。海洋底からグラニュライトがしばしば引き上げられる。D. Robert とその共同研究者たちは海底のRockall Plateau からそれらの岩石を引き上げた。その後

G.Pateau とその共同研究者たちは北緯48°、西経12°のArmorican大陸の縁辺にある深度4000mの海山からグラニュライトや花崗岩質岩石の破片を採集した。このグラニュライト類にはシャルノッカイト(charnockites)が含まれていて、調査船Mikhail Lomonosovの第2回航海の際、Reykjanes Ridgeの東端1660mの海底から引き上げられた。第22回航海の際には、Faeroe-Iceland Ridgeの水深1000mの東側斜面からは角閃岩が引き上げられた。第6回航海ではグラニュライトやシャルノッカイトが北緯43°、東経35°の水深5950mの太平洋中央海嶺から引き上げられた。北太平洋の水深4000mの海底からもグラニュライトが見つまっている。インド洋ではグラニュライトはAgulhas Plateauで見つまっている。

グラニュライトは大陸の花崗片麻岩質基盤岩を代表するものである。グラニュライト変成作用は10kbの圧力と700~1000°Cの温度条件下で進行する。このような高温・高圧条件は海洋地殻では発生しない。花崗岩化したグラニュライトとともに多くのグラニュライトが見つかるということは、海洋地域での玄武岩層の下位層が、組成および起源からみて、大陸地域でのクラトンの基盤に似ていることを示している。

大陸地域と海洋地域での現在の熱流量はともに同じで50 mW/m²である。シールド内の地殻熱流量は、平均6.3kmの厚さの花崗片麻岩層内に含まれる放射性物質から供給されている。このことは、海洋地殻内での高い熱流量も玄武岩層の下に存在する同じような厚さの花崗片麻岩層から供給されていることを示す。

海洋地殻第3層が花崗岩-片麻岩組成であるとの見解は、第2層の玄武岩層中に豊富に存在するBa, Rb, K, SrなどのKグループ元素が、下位の花崗岩-片麻岩層からもたらされたと考えられることから支持される。海洋域で実施された地震反射法探査の結果は、海洋地殻の第3層が古いクラトン内の基盤と同じように同斜褶曲をつくって急傾斜していることを示す。このことは、第3層が蛇紋岩からなるという仮説を否定するものである。反射法から得られた第3層の速度(6.3-6.7km/s)も第3層が花崗片麻岩からなるという考えを否定していない。この値は、大陸地域で得られた花崗片麻岩層の速度よりも0.2-0.3km/sほど大きい。シベリア玄武岩下のArcheanの花崗片麻岩のP波速度は6.6-6.8km/sで特徴づけられ、それは海洋地殻のそれとほぼ同じである。

記載岩石学・地球化学・地球物理学的データも、海洋地殻第3層が蛇紋岩ないし斑レイ岩でできているとする仮説を支持しない。第3層は、古期の花崗片麻岩からできていて、多量の玄武岩岩脈・シルに貫入されているのである。

海洋の形成をひきおこした原因

これまでの地質学的なデータは、深海性海洋が2次的な構造であること、すなわちそれは、以前には大陸性地殻に覆われていた地域が中生代~新生代に深海化したことを示している。このようなアイデアは、E. Suess, G. de Guerre, G.E. Hauge, L. Kober, A.D. Arkhangelskiy その他の研究者によって主張されてきた。ドレッチや掘削のデータがこの考えを支持している。それでは、200Maほどの地質学的には短時間のあいだにこの惑星のかなり

広範囲を4-5kmもの深さまで沈降させ、また地殻を薄化させた原因は何であったのか？ 海洋を生むこととなった広範囲の沈降が、かつてのクラトンに起こった。クラトニック地殻の構造やその組成については、Rezanov (1999)が議論している。過去の地質学的データとクラトニック地殻に関する地球物理学的なモデルとの比較にもとづいて、地殻の地質学的モデルが提唱される。深度10kmに存在する地震学的境界 K_1 は、マンツルの蛇紋岩化した超塩基性岩をおおう古い花崗岩-斑レイ岩（花崗岩化したグラニュライト）の基底である。このことは、放射性物質に富む花崗岩は6-8km以深にはないとする熱学的モデルによっても支持される。 K_1 境界下の低速度-低熱流量層は蛇紋岩化した超塩基性岩に固有のものである。地殻下部の高い電気伝導性は蛇紋岩の再溶解とそれによる水の発生によるものである。水の放出は酸化環境の発生をもたらす、その結果として下部地殻への大量の磁鉄鉱の注入とそこでの強い磁化を説明する。以上のことから、クラトン下のモホ面までの下部地殻は大規模に蛇紋岩化した超塩基性岩からなっていると結論づけられる。中間的な地殻構造部分でもこのことはあてはまる。たとえば、古期地向斜が発達した地域の地殻上部10-20kmは、Archeanの花崗岩質片麻岩の上にあるRiphean-Phanerozoicの堆積岩や火山岩からなっている。このような地域では蛇紋岩層の上面は、地下20-30kmの深さにある。

海洋の形成に先立って、広域的な玄武岩質マグマの活動があった。上昇する玄武岩質マグマは中間部にマグマだまりを形成する。岩石学的・地震学的データによれば、玄武岩質マグマだまりの深さは、30-40kmほどの大陸地殻の基底部付近である。マグマだまりは地殻の蛇紋岩をあたため、その結果蛇紋岩からは水が放出されて堅固になり、温度は500℃以上となる。その結果、トラップ下のモホ面は上方の地殻へ向かって膨らみ、その部分の地殻は薄くなる。また、海洋地殻化したブロックは重くなり、地表部ではアイソスタティックな沈降が生ずる。もし、地殻が玄武岩によって長時間熱せられると、蛇紋岩からは完全に水が抜け去ってしまう。その上位の花崗片麻岩層だけが変化しないまま存続する。このようなところでは、当初30-40kmであった地殻の厚さは5-10kmへと薄くなり、噴出した玄武岩におおわれる。凹地となった海洋盆は、やがて蛇紋岩から放出された水、もちろん蛇紋岩中に含まれていた塩素・ナトリウムその他のミネラルを含んだ水によって満たされる。

それでは、中生代~古第三紀にかけてこの惑星表層部にあふれ出た広域的な玄武岩質火山活動の原因はなんだろうか？ 地球がその内部から大量の水素を放出していることは確かなことである。溶融した外核からの水素はマンツルへ入り、酸化して水になる。水の存在によって、上部マンツルは低い温度で溶融する。水素の浸出場所は重要である。そこは玄武岩質の溶融体やそれに伴った熱量を供給するマグマだまりを発生させる。このマグマだまりが下部地殻での蛇紋岩からの水の放出や海洋の形成

の原因となったのである。

中生代の玄武岩質火山活動は、線的というよりは面的に生じている。浸透性の高い水素がこの惑星の広い範囲に放出された。白亜紀~古代三紀の火山活動だけが線状に生じ、玄武岩帯を形成している。海洋部分での玄武岩帯が大西洋・太平洋あるいはインド洋中央海嶺などで形成された。西太平洋地域のように地向斜の褶曲帯に重なった火山活動帯では、島弧系によって隔てられた縁海システムが形成された。この地域では火山活動は新第三紀~第四紀まで続いている。北部大西洋の中軸部やコルディレラ山脈には、新第三紀の間、ずっと玄武岩質火成活動がづついた。

結 論

地球は、これまで2回の大規模な玄武岩質火成活動を経験してきた。第1回目は地殻をつくり、花崗片麻岩層を形成した。2回目のそれは、最近の200-250百万年間に起きた。花崗片麻岩層の下位の蛇紋岩の脱水による水の浸入によって海洋が出現した。海洋底はアイソスタティックに沈降し、下部地殻は硬くなり重くなった。インド洋や大西洋の沈降は中央部ではじまり、周辺へ拡大した。太平洋の15000万 km^2 の領域が白亜紀の間に4km沈降した。その結果、60000万 km^3 の量の地殻がマンツル内に沈降した。この量の地殻を受け入れるため、マンツルも沈降し、一部は横に広がった。沈降帯の外縁に沿ってその接線方向に応力が生じた。太平洋クラトンは周辺の褶曲帯と断層によって境された。この断層は再活動性の断層である。アンデス、アリューシャン、千島-カムチャツカ、日本、伊豆-小笠原、トンガ-ケルマディックなどの諸島弧のベニオフ帯はこの再活動性断層に沿っている。新期に形成されたベニオフ帯とそれ以前のそれとの間の断層の深さや傾斜角の違いは、太平洋クラトンからのマンツル反転流の方向の違いによる。縁海をもつ太平洋盆西部は新期の火山活動帯に関係しているため、古第三紀~新第三紀の新しい沈降を経験している。古第三紀~新第三紀の再活動性の断層に沿って形成されているトレンチは、太平洋クラトンと褶曲帯との境界部における典型的な構造である。

インド洋東縁部のベニオフ帯も同様である。これは白亜紀における東部インド洋底の沈降に関係している。ヒマラヤ-インドネシア褶曲帯とインドクラトンを分ける断層が再活動したものである。全地球的な断層系がアジアに延長したところだけにベニオフ帯が形成され、そこは大洋性深海海盆の縁になっている。

中央海嶺は玄武岩質火山活動の最終ステージを示している。玄武岩の噴出は上部マンツルを熱し、その密度を小さくした。そして海洋底を押し上げた。リフトといわれる中央海嶺の断層による落ち込み帯は、実際は局所的な構造であり、海洋盆の成因にはなんらの働きもしていない。

文 献

- CHERKASOV, R.F., 1979. Arkhey Aldanskogo shchita (The Archaean of the Aldan Shield). Nauka, Moscow.
BALASHOV, Yu.A., 1999. The age of the earth's initial differentiation. Dokl. Akad. Nauk, v. 336, p. 799-802.
REZANOV, I.A., 1996. The origin and early evolution of the earth according to geological data. Geol. Of Pacific Ocean, v. 12, p.385-394.
REZANOV, I.A., 1999. Crust composition defines its motion. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 3, p. 8-10.
RUDICH, Ye.M., 1984. Rasshiryayushchiyesya okeany: Fakty i gipotezy (Expanding oceans: Facts and hypotheses). Nedra, Moscow.

- SALOP, L., 1983. Geological evolution of the earth during the Precambrian. Springer Verl., Berlin.
- SAVELYEVA, G.N., 1990. Ocean-floor gabbro-ultramafic suites, Magmatism i tektonika okeanov (Oceanic magmatism and tectonics). Nauka, Moscow.
- SILANTYEV, S.L., 1984. Metamord-fisheskbiye porodny dno Atlanticheskogo okeana (Metamorphic rocks from the Atlantic Ocean floor). Nauka, Moscow.
- TIMOFEYEV, P.P., KHOLODOV, V.N. and KHVOROVA, I.V., 1983. Evolution of sediment accumulation processes on continents and in oceans, Litol. Polezn. Iskop., no. 5, p.135-145.

地震パターンの解析 AN ANALYSIS OF EARTHQUAKE PATTERNS

Peter M. JAMES
P.O. Box 1079, Fortitude Valley, QLD 4006, Australia

(窪田安打 + 角田史雄 [訳])

注： 以下は、詳細な解析を実施した個所の地震に関する研究論文の要約である。

1. はじめに

Hubbert and Rubey (1959)は、初めて間隙水圧の作用を考慮して地震解析を行った。Jaeger (1964)を除いて、これに関する研究はそれまでに無かった。このような解析の必要性は、地質的観察や関係する解析に代わってもちはやされているプレートテクトニクスによって、不幸にもうろ消されてきた。海溝やベニオフ帯と非常に深い地震の空間的關係の一例が、沈み込みの概念をもたらした。本論の始めに、James (2000)がまとめた沈み込みのメカニズムが粗略な調査に基づくものではない、ということ概説する。詳細な地震パターンは、プレート概念が無効であることを示す。Choi (2000)とSmoot et al. (2001)によると、海溝とベニオフ帯は厳密に連続的な現象として生じている。ベニオフ帯は2つのセグメント、浅部の緩傾斜帯と深部の急傾斜帯に分けることができる。ベニオフ帯はオフセットしたり、オーバーラップしたりしている。いくつかの地域では、深いベニオフ帯の下に、深さ657 kmに達する深発地震帯として表現される一種の割れ目系が存在する。

それゆえ、地殻の下には、地震パターンで示される3つの区分可能な領域があり、その形成について、それぞれの異なる状況の下で議論する。

深発地震については、短く記す。図1のように、地震帯は数百キロにもおよぶcurvilinearなほぼ鉛直な面として環太平洋にみとめられる。これらは海溝近くで平行し、直線状に分布する。例えばインドネシア、カムチャッカ、南アメリカである。しかしながら、他の場所ではこの関係は成り立たない。図2aのように南フィリピンからスラウェシの間では、深い地震帯と海溝は明瞭に分かれる。そのような分離が適用される沈み込みリソスフェアプレートにおいて、法則を考えることができる。同様な分離はトンガ地域のdoyen沈み込み帯でも生じている。近い海溝と平行に分布するニューブリテンのBougainville深発地震帯において、両者は中間点近くでほぼ90°に屈曲する。曲解したり明確な証拠もなく、沈み込み帯をどのように理解するのか？ 深発地震の議論は後述する。

沈み込みに関する他の要素について記述する。南フィリ

ピンにおいて、図2bに示すように地震パターンが地表から2方向に分岐する。2つの沈み込み帯があるようにみえるべきなのか？ 同時に、両者の地震帯が海溝から分岐している。最終的に、ここで議論した地域の沈み込み帯では、深い地震帯やベニオフ帯が全く存在しない。例えばファンデューカプレートは60 kmよりも深い位置では地震が発生していない。この深さのパターンは明瞭でなく、水平方向に散らばる。

このようなパラドックスは地震パターンによる沈み込み帯よりも、他の解釈を探る動機を与える。

2. ベニオフ帯の推定

地球力学でいくども経験したことは、圧縮と伸張場において天然物質の破壊が明らかに2つに区分されることを示す。それは、図3に示すように、単純な砂箱実験で示すことができる。箱の端は押ししたり、ゆっくり引いたりして、砂の中に割れ目を造ることができる。伸張では断層面は正断層であり、傾斜角度は、 $\beta = 45 + \phi/2 = 60^\circ$ で、とくに砂は $\phi = 30^\circ$ である。圧縮では、断層面は逆断層であり、傾斜角度は $\beta = 45 - \phi/2 = 30^\circ$ で、およそその物質にあてはまる。

Barton (1976)は、塑性帯の中で硬岩に約30°の初生的な割れ目角度を持つ場合は、ベニオフ帯の2セットと一致することを示した。基礎の構成物の確立したメカニズムにおいて、伸張と圧縮によってベニオフ帯は形成した。それゆえ、この帯は同時に形成されたようである。(すでに存在する帯に沿って発生する地震は他の法則があるが、ベニオフ帯は後者の圧力場か揮発性圧力が利用できる地下で弱い面として表現できる)。

起源の二重性について、次のような疑問がでるはずである。「ベニオフ帯は最初どのように形成されたのか？」Heim's Ruleは、深部では、鉛直、水平方向の圧力は深さ方向へ均等化されている。その場合は、地震は起こらない。実際は、鉛直圧力は深さと密度の積として与えられ、水平圧力は鉛直よりも大きい場合や小さい場合がある。地球の浅部で代替圧力場をもたらすメカニズムは、ジオイド圧力の概念による。地球楕円帯の地殻とアセノスフ

エアの境界は、楕円体の半径が変化するために地表の変化の結果を受ける。

赤道上のふくらみによるマイグレーションは、地表で伸張を生じさせ、赤道から軸へ向かう圧縮を生じさせる。大陸漂移による地殻のエレメントは、この種の圧力についてまぬがれることはできない。しかし、James (1994) が示すように、モバイルプレートテクトニクス概念はこれを受け入れることができない。地球収縮や膨張の物理的な現象を忘れた上で、この圧力の原因として軸振動と大きなジオイドのマイグレーションのメカニズムによるものである。多くの地球科学者にとって、軸振動は大きな現象である。空間は判断させるが、法則は他の場所でも扱われる。

Heiskanen and Meinesz (1958)による現在の自転速度の下での地球形状において、緯度の大きな変化による地殻での最大圧力は、弾性理論によって 1.3×10^5 kPa程度と計算される。硬岩の変形率を用いて、軸から赤道のマイグレーションを含めた歪みを用いることでより単純に同じ様な値を得ることができる。均一な地殻の状態を適用した圧力レベル（花崗岩中の断層によるおよその荷重など）としなければならない。圧力は2つの地殻のタイプの間で大きく増大するだろう。ジオイドの圧力は、自転が高速である地質時間には、大きな値をとる。その上、進行する軸振動は、圧縮・伸張両方のジオイド変化する地球の上部層全体をまきこむ。

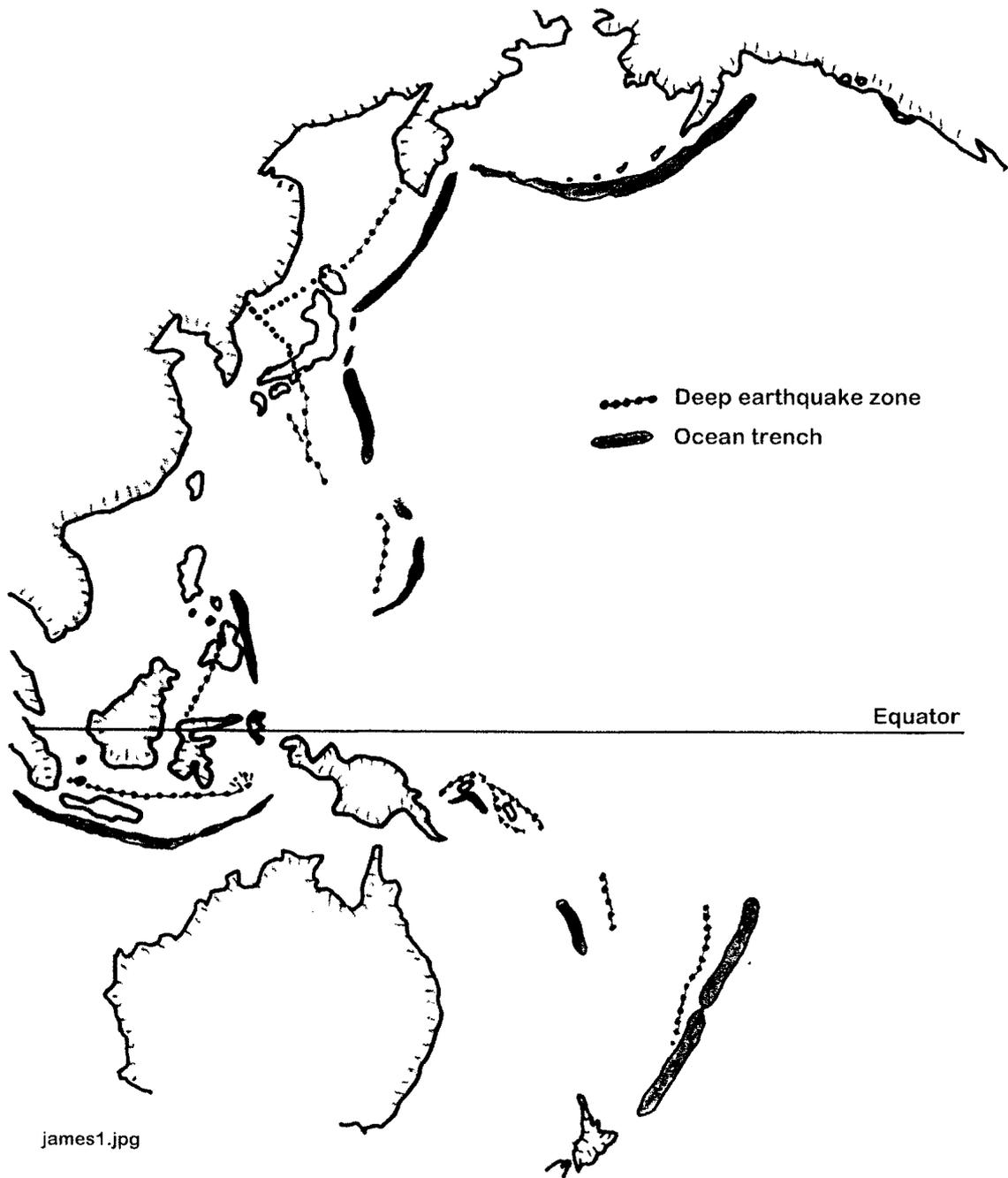


図1 西太平洋の海洋性海溝と深発地震帯

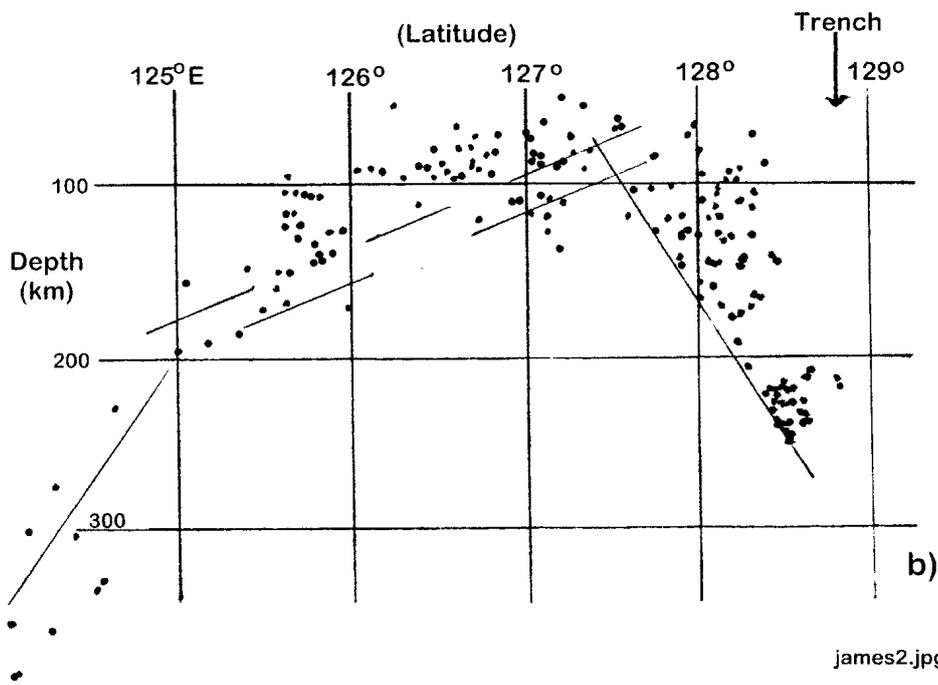
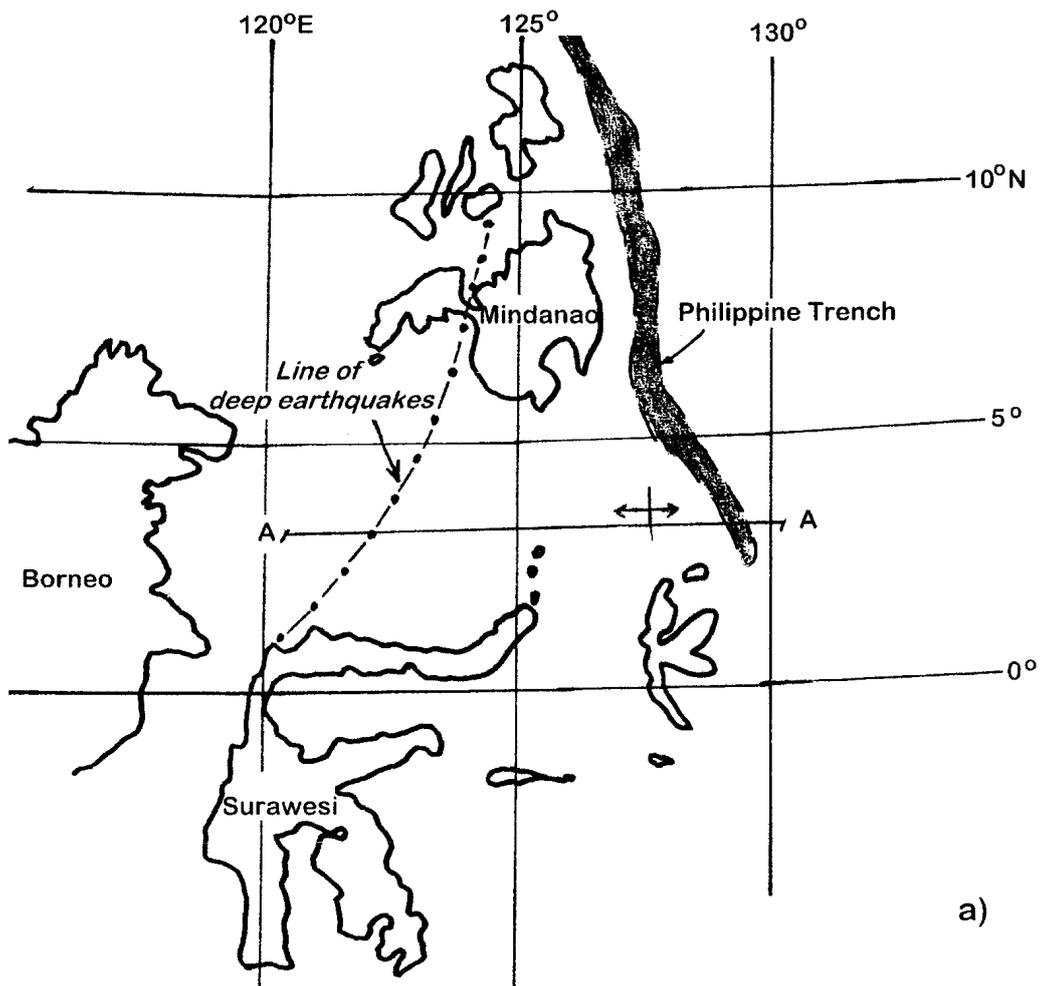


図2 フィリピン南部～スラウェシ a) 深発地震の配列 b) 北緯3°の断面における地震パターン

ジオイド圧力は水平の σ_h と上載荷重の σ_v でまとめることができる。2つの基本的な圧力をもつ地殻のなかでは剪断圧力が発生する。つまり、実際の圧力レベルや各深度の物質強度に応じて、断層発生の発端の状況が決まる。

積極的にも、消極的にもさまざまな深度で間隙水圧を用いて、最大ジオイド圧力を見込むことができる。図4に示すように、2次元モール円解析が用いられる。この解析は、少なくとも技術者の中では、試行や証明の際にメカニズム解明に用いられる。解析で用いられる基本的な圧力は、例えば地下数百キロの深度を考慮したものに基づいていることを、議論は示している。

3. 地震解析

3.1 地震エネルギーの蓄積 (RIS) から分かること

James (2000)が指摘した RIS の主な事柄は次のようなことである：

- ・地震エネルギーが蓄積されて母岩の間隙水圧を上昇させると、深部での有効応力（訳者注；岩盤などの破壊への抵抗応力）が小さくなる
- ・もし、有効応力が小さくなれば、既存の応力レベルは地震を発生させるのに十分なものになる
- ・もともとの場所にあった応力は引張力にも圧縮力にもなり得る
- ・地震の起こるところは、断層とかその他の不連続面に限られている
- ・不連続部分とか弱化面などはどこにでも在るが、實際上、地殻を構成する岩石中のどの方向にも分布している。そのため、応力状態が変化して破壊面ができるようなとき、破壊面になりやすい方向を向いている不連続面はたくさん在るはずである

このようなことから、エネルギーの蓄積後に地震が起きるような場（ダム）が出来る前に、すでに、地殻はきわめて高い応力状態になっているに違いない。多くの研究で明らかなように、地震を引き起こすエネルギーの蓄積（の場）は、まったくびっくりするような仕方で移動する。このことは、小地震がある場所のある不連続面で起こると、地震エネルギーの蓄積場がほかのところへ移れるところでしか応力低下が発生しない、ことで推定できる。言い換えれば、エネルギーの移ったところで、新しい地震が発生するのである。RISが見つかったことで、地殻やアセノスフェアなどの内部状態を推定できるようになった。

3.2 浅発地震

ここで、地殻中の間隙水圧の勾配の条件を変えながら、地質学的に安定した地域において期待されるある種の全体像を描いてみよう。任意の深さ d 、間隙水圧 u から

$$u = \delta w \cdot d \quad (\delta w \text{ は水の密度})$$

この深さでの全応力は上からの荷重 δv （密度に相当する深さに等しい）とすると、有効応力はつぎのようになる。

$$\delta v' = \delta v - u = d(\delta - \delta w)$$

任意の深さ d における任意の方向に向いている不連続面上の剪断応力はつぎのように与えられる。

$$\tau = c' + \delta v' \tan \phi_r$$

ここで ϕ_r は破壊面になりやすい方向を向いた不連続

面にそった残存内部摩擦角である。筆者は、不連続強度 $\phi_r = 12-16^\circ$ を全岩石種で測定した（結晶質岩、変成岩、堆積岩）が、高圧下におけるある種の陶土質岩ではこれ以下の低い値になることがある。この場合は、パラメーター c' （結合力）がきわめて小さくなるのが典型例であり、ほぼ精度よく無視できているものである。剪断力とか破壊については $\phi = 12^\circ$ の包絡線によって図4で示した。

荷重による応力を垂直、ジオイドの応力を水平（圧縮と引張の両方）としたとき、モール円は図のように示される。これらの円は間隙水圧にしたがって左側へ移動していくが、その円が破壊曲線に接したときに地震の発生する条件が整う。圧縮条件下と引張条件下における間隙水圧の相対的な効果を比較すると、最大ジオイド応力と間隙水圧の圧力勾配は、地震が物理的に起こりそうにない限界の深さにある。その限界は、

- ・圧縮状態（衝上断層運動）ではほぼ 25 km
- ・引っ張り状態（垂直ないし高角走向断層）ではほぼ 35 km

記録に残る地震のほとんどがこれらの限界内で起こっており、もっとも数が多いのは 15 km かそこらの深さである。15 km かそこらの浅発地震はもちろん、上で用いた最大値より小さいジオイド応力値で発生する。

したがって、ジオイドの応力が地殻内の地震の起震力となっても、なんの問題もない。これは当然の帰結である：もし、安定的で静水圧状態において地震を起こす限界の深さがあるとしても、そのときは、地震の発生深度を大きくとるように説明すればよい。

3.3 中深発地震

ジオイド応力モデルでは、上のようならまし説明した最大値より剪断力が大きくなった場合の対応はできない。不連続面にそった剪断力は高応力状態でわずかに小さくなるがこれは第二義的な問題である。上記のようなシナリオのなかで、ポテンシャルに対応するパラメーターは間隙水圧だけである。

変わりやすく、非常に高い間隙水圧は、ときどき深層ボーリングの孔井で記録されている。これらは元来、ガスの問題として提起されたもので、Gold (1987) や Hunt ほか (1992) などによって報告された。これに基づいて、上部マントルから抜け出した揮発性物質が上に移動していく、という仮定がなされるようになった。そうしたことが行われるなかで、静水圧下で破壊が起ったり、あるいは、その後地震が起こるまで、揮発性物質はそのままの流体圧の大部分を失わないで保っている。このように、ガスの圧力は非常に高くなる。しかし、ガスが上に移動していく過程で、自然にガス圧は下がっていく。こ

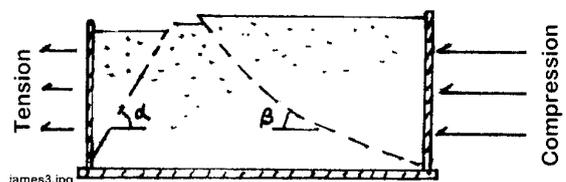


図3 砂箱実験：ベニオフ帯の傾斜に沿う断層面

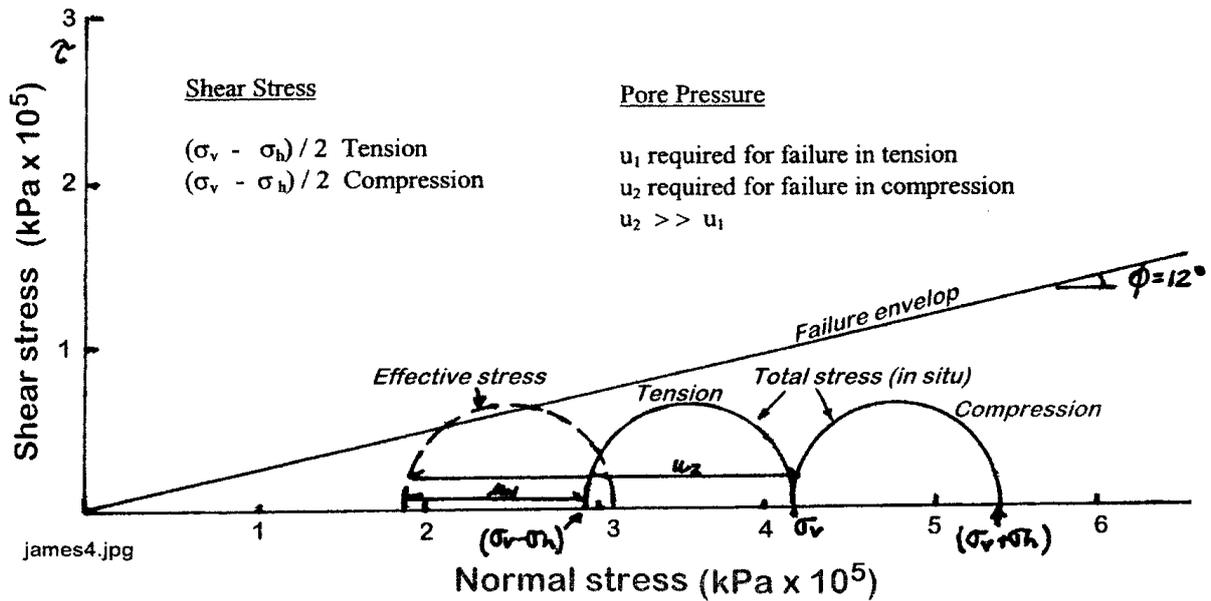


図4 引張および圧縮にかかわる現地性応力状態ならびに間隙水圧の効果を示すモール円

うしたガスと何らかの関係がある地域では、ガス圧には、ある限界が在るであろう。局部的にでも、このガス圧が上からの荷重を上回まわれれば、静水圧的な条件下での破壊とか岩床の交代作用などが起きることになる。しかし、もし、このようなことが非常に広い範囲で生じたら、ガス圧で、広い地域にわたる岩体が全体的にもり上げられるようなことが起きる。解析の目的からすれば、いかなる深さの荷重にたいしても、この全域的なもり上がりを生じさせたガス圧の上限を考えてみよう。それは $u < \delta \cdot d$ と求められる。

この値は、間隙水圧が、浅発地震で求めた静水圧の値の3倍までは作用できることを示している。このケースを再度モール円で確かめることができる。そして、もっと間隙水圧が高ければ、モール円はもっと左に移動して、作用する応力が小さいものであっても、破壊曲線を切ることができる。これを別な言い方をすれば、有意のジオイドの応力が作用するなかで、不連続面にそってはたらくガス圧の大きさに応じたもっと深いところで、地震が発生できる。図5にあるように、間隙水圧は、垂直方向（上からの荷重）にはたらく応力と、ジオイドの応力が最大という条件のもとで地震を発生させる深さとの比として求められる。グラフは、間隙水圧が全荷重の90~95%あたりまで上がると、破壊型の地震を起こすジオイド剪断応力が有効に作用するためのもう一つの限界に近づいている。その限界はつぎのようなものである：

- ・ 圧縮状態ではほぼ 125~150 km
- ・ 引張状態ではほぼ 300~350 km

このように算定された深さは、ベニオフ帯において実際の限界、つまり、圧縮状態（緩い角度）と引張状態（急傾斜）に、それぞれ良く対応している。

3.4 深発地震

ふつう、300 km から 350km の深さでよく発生し、500 km までのびていることもあるベニオフ帯の下では、地震

がまったく起こらない。こうした深さは、場所によって大きく変化しているが、深発地震は、こうした無地震域より深いところで発生する。すでに述べたように、深発地震はふつうの地震と異なり、その大部分は図1のように環太平洋地域で発生している。しかし、一言いわなければならないが、こうしたコメントは30年間ほどのデータだけに基いているもので、今では、地球上の他の地域で深発地震帯が見つかったにしても、驚くには至らなくなっている。今日の深発地震の典型例でいえば、こうした地震帯はほぼ垂直になっていて、やや曲がっているものの、ほとんど直線状で、図1、図2で示されるように数百キロメートル以上にわたって分布している。そのゾーンは、突然はじまり、いきなり終わる。そのゾーン内での地震活動は、びっくりするほど簡単に移動する。たった数日間くらいの期間で、弾性板の端に載せられたボールのように、縦方向にも横方向にも100kmほどの距離を行き来する。ジオイドモデルでの水平応力は、上記のようなゾーンにおける深さでは、いかなる剪断応力も生まれぬ。それだから、つぎのような前提条件を受け入れる以外、筆者の選ぶ道はない。その選択肢とは、上部マントルから代わる代わる揮発性物質が抜け出し、それによって水圧破碎が地震を発生させると考えるのである。水圧破碎は、最小主応力に直角な方向で起こる。そしてここでは、垂直傾斜の場合、水圧破碎が生じたときの水平応力は垂直応力より小さかった、と指摘しておくのが良さそうである。相対的に小さいとはいえ、低角の水平応力状態によって赤道に膨らみが生じたことが期待できたからである。こうしたことが過伸張（over-stretching）で起こるのか否かは、広く議論すべきではある。しかし、深発地震帯がベニオフゾーンと深い関係にあることははっきりしている。無地震発生域でギャップがあるにしても、なんらかの原因となる関係のあることが予想され、そのほかにも、いくつかの推定材料がある。

かりに、マントルからの揮発性物質の逸脱が深発地震で生ずるとすれば、こうしたことは本源的に（訳者注；地

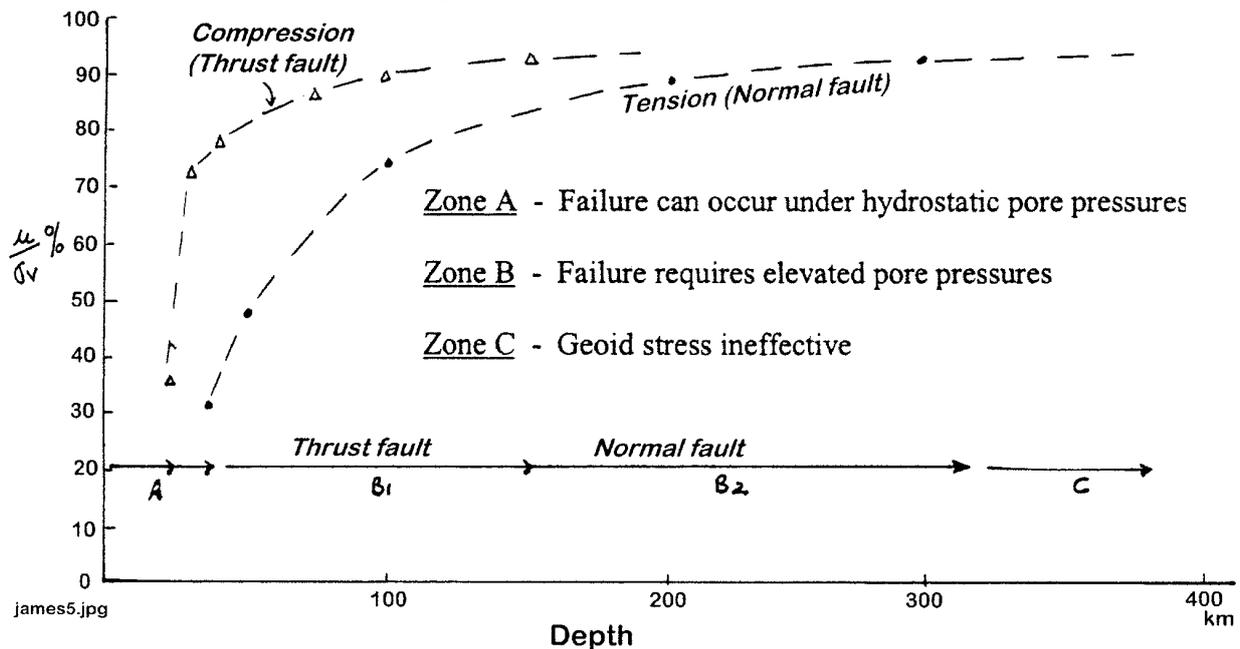


図5 深部における地震を発生させる最題ジオイド応力能力にたいする間隙（流体）圧の影響

球の創生期に) 起こったものであろうから、海溝の拡大ということとはまったく無関係なことである。海溝という事象は、表層的な現象であり、海洋地殻の「プラグ」がモホ面より下に押し下げられ、そこに中生代の地層があるというものである (Bogdanov, 1973)。

フランスの地震学者・Charles Blot Grover (1998) の研究によれば、そうした一連のできごととは、深発地震にはじまり、ベニオフゾーンを経て、地表にたっしているという。さらに、深部における高エネルギー現象 (> 6 mag.) は、数日間の遅延期間を経て、火山噴火の予兆として現れるという事例もある。こうしたことは理論的帰結として導き出せるが、筆者はこうした関係をもっと深く追求していくつもりである (これまでに Blot から正確さに欠けるという批判をうけたが、この点については認めがたい。しかし、メカニズムとか、地震の研究のあり方をもっと十分に検討しよう、という点については了承している)。

4. 結 語

ジオイドテクトニクスで求められる剪断応力を用いると、やや異質なものはあるが、地震の分類はつぎのように行える。

- i) 浅発地震. ジオイドモデルで想定される水平応力の作用する区域において、浅発地震が発生するのは、深くなるほど大きくなる間隙水圧の流体圧と関係している：
- ・ 浅発地震の発生深度は、圧縮応力（衝上性の断層運動の発生条件）下では 25km 以浅。
 - ・ 引張応力（正断層あるいは走向断層の発生条件）

下では 35km 以浅。

ii) 中深発地震. (揮発性物質にからんだ) きわめて大きい高間隙水圧条件のもとで、ジオイドモデルで求められる水平応力で発生する。これらは上部マントルに起源をもち、その発生ルートは、ずっと前から存在しているベニオフ帯にある。このタイプの地震の発生深度はつぎのようになる：

- ・ (ベニオフ帯の緩傾斜部分) である圧縮応力域では、125~150 km 以浅。
- ・ (ベニオフ帯がつたっている部分) にある引張場では 300~350 km。

iii) 深発地震. 無地震発生域をはさんで地下 650 km より深いところで起こる。マントルから逸脱した揮発性物質が発生にからんでいる。

これからの段階は、圧縮応力場あるいは引張応力場における初動の分布パターンが、いままで予見してきたことと合致しているかどうかをチェックすることである。

この段階では、深発地震帯とベニオフ帯との間にある無地震発生域をどう説明するかが難問題として残された。この区域は Gold (本書) が指摘するように、“流体”であるからであろうか？ Hunt ほか (本書) は、この区域の上部がオリビンスピネルの遷移帯であるという。一方、Larin (1993) は、地球の珪酸塩殻は地下 300~350 km 以深では存在せず、金属あるいは金属性の水酸化物に変わっているからである、と説明する。彼は、これ以深の深度では (大きさを 4 あるいは 5 のオーダーで) 熱伝導度が急激に上がると述べている。これ以外にデータはあるのだろうか？

文 献

- BARTON, N.R., (1976). The shear strength of rocks and rock joints. Internal. Jour. Rock Mech. & Min. Sci. v. 13, p. 255-279.
 BOGDANOV, N.A., (1973). Tectonic development of trenches in the Western Pacific. The Western Pacific Conf. Ed. P.J. COLEMAN. Univ. of W.A. Press.

- CHOI, D.R., (2000). Subduction does not exist. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 15, p. 9-14.
- GOLD, T., (1987). *Power from the Earth*. J.M. Dent & Sons, London.
- GROVER, J.C., (1998). *Volcanic eruptions & great earthquakes*. Copyright Publ., Brisbane.
- HEISKANEN, W.A. and MEINESZ, V., (1958). *The earth and its gravity field*. McGraw Hill.
- HUNT, W.C., COLLINS L.G., and SKOBELIN E.A., (1992). *Expanding geospheres*. Polar Publ., Calgary.
- JAEGAR, J.C., (1964). *Elasticity, fracture & flow*. Methuen, London.
- JAMES, P.M., (1994). *The tectonics of geoid changes*. Polar Publ., Calgary.
- JAMES, P.M., (2000). Analysis of the alleged process of subduction. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 16, p. 5-7.
- JAMES, P.M., (2000). Mechanisms of reservoir induced seismicity. *GEOENG 2000, Internat. Conf. on Geotech. & Geol. Engin.*, Melbourne.
- LARIN, V.N., (1993). *Hydritic Earth*. Polar Publ., Calgary.
- MARTIN, B.D., (1992). Constraints to major right lateral movements, San Andreas fault system. *New Concepts in Global Tectonics*. Texas Tech University Press, Texas, USA.
- SMOOT, N.A., CHOI, D.R., and BHAT, B.I., (2001). *Marine geomorphology and global tectonics*. Publ. Xlibris Corp. (www.xlibris.com)

Earthquake Data: Obtained through USGS

Earthquake Hazards Program, NEIC Earthquake Search, targeting specific regions. Records are available for the years 1973 - present.

深発地震と深部に存在する構造帯 その4 南西太平洋 DEEP EARTHQUAKES AND DEEP-SEATED TECTONIC ZONES PART 4 SOUTHWEST ASIA

Dong R. CHOI

6 Mann Place, Higgins, ACT 2615, Australia E-mail: choiraax@hotmail.com

(久保田喜裕 + 川辺孝幸 + 岩本広志 [訳])

1. はじめに

深発地震とテクトニクスのシリーズ第4作にあたるこの研究は、南西太平洋に及ぶ。この地域は地質学的・地球物理学的情報が少ない。使用データは、衛星高度計から作成された精密な海底地形図 (Smith・Sabdwil, 1997)、海洋底の重力・磁気データ、散在する諸島の地質/地球物理学的文書、地震の研究 (Benioff, 1954 ほか多数) のほか、オーストラリア大陸 (O'Driscoll, 1986) と海洋底 (Smoot・Leybourn, 2001 ほか) のリニアメント情報がある。

幸いにもこの研究では、私は USGS 国際地震情報センターによって目録が作られた 1973~2003 をカバーする世界的規模の地震データベースを彼らのインターネット (<http://neic.usgs.gov/neis/epic/epir.html>; ウェブサイトは Peter James の好意) から利用することができた。データは私のコンピュータにダウンロードされたが、それらは一覧表形式と膨大な地震断面で、それぞれ緯度ないし経度が 1° の範囲で、E-W ないし N-S の直交方向をカバーしており (図 2 の no.8 断面では緯度幅 0.5° をカバー)、Surfer プログラムを使用して作られた。

2. 研究地域における地域地質、テクトニクス、地球物理データと地形学的背景

深発地震帯の地域的な造構的背景を探るために、私はまず研究地域のいくつかの基本的な深部地質構造を注意深く調べた。

その地域は、オーストラリア大陸の北東に位置しており、海水に覆われた水深 3000~4000m の台地を含んでいる (図 1, 2)。東縁は NNE-SSW 方向の深い海溝によって境されている。それはケルマデック-トンガ海溝で、最深部は 8000-10000m に達する。さらに、断続的で、湾曲

し、不明瞭な WNW-SSE の海溝とトラフによって北縁が境されている。それは Vityaz 海溝, Solomon トラフ, Lyra トラフと西メラネシア海溝である (図 2)。両線状の凹地は、いずれも併走する火山島と海嶺をそれぞれ西側と南側に伴っている。

この地域でもっともめだつ地球物理学的特徴のひとつは、北部フィジー海盆の広範囲における異常な高熱流量である。それは、 100 mW/m^2 、地域によっては 200 mW/m^2 あるいはそれ以上に達する (Tuezov・Lipina, 1988)。同様の高熱流量はパプアニューギニアの Bismarck 海でも観察される。

研究地域の多くの島嶼では、超塩基性の貫入が激しい。とくに、ソロモン諸島とパプアニューギニアで著しい (Davies, 1971; Matheieu-Dande, 1992; 英国政府海外開発省, 1975)。比較的薄い地殻 (7-10km) に沿って、とくに中央地域 (北部・南部フィジー海盆とタスマニア海, 図 3; 環太平洋エネルギー・鉱物資源局, 1985) は、中-新生代の海洋化作用を広く受けたに違いない。

研究地域は、巨大な NW-SE 方向に線状に湾曲した深部の高重力域 (10 度まで) に位置する。それは、ボルネオ-パプアニューギニア-北部フィジー海盆-ケルマデック諸島を占め、総延長は約 12,000km に達する (図 4; 環太平洋エネルギー・鉱物資源局, 1985)。この地背斜構造の西側部分は、以前の拙著 (Choi, 2002c) に記載されたインドネシア-ボルネオ-ニューギニア地背斜である。その地域の地震トモグラフィ (Kawakami ほか, 1994) は、この地背斜は 500-1500km 間の“冷たい”マントル (速い P 波速度を伴う) の上に横たわると記されている。偶然にも、南米と南西大西洋のギアナ楕状地-ブラジル楕状地-リオグランデリッジ地背斜 (Choi, 2002b) もまた、ちょうど同じ深度範囲の冷たいマントルの上に位置している。しかし、この論文の準備に間にあわなかったため、私は

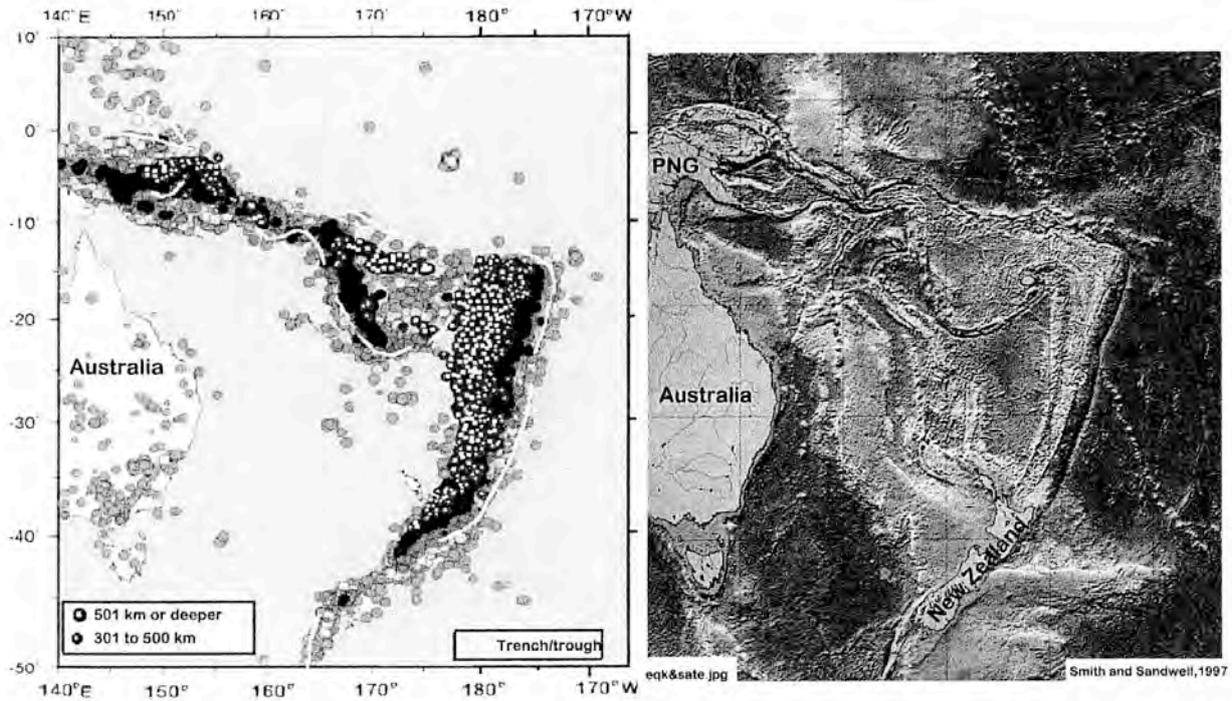


図1. 南西太平洋に分布する地震（左図；USGS 地震被害プログラム，国際地震情報センター，2003）および衛星高度計による海洋底地形（右図；Smith・Sandwell, 1997）. Sloss (2000) の高精度地球表層図もこの地域の地質構造の解析に使用された。

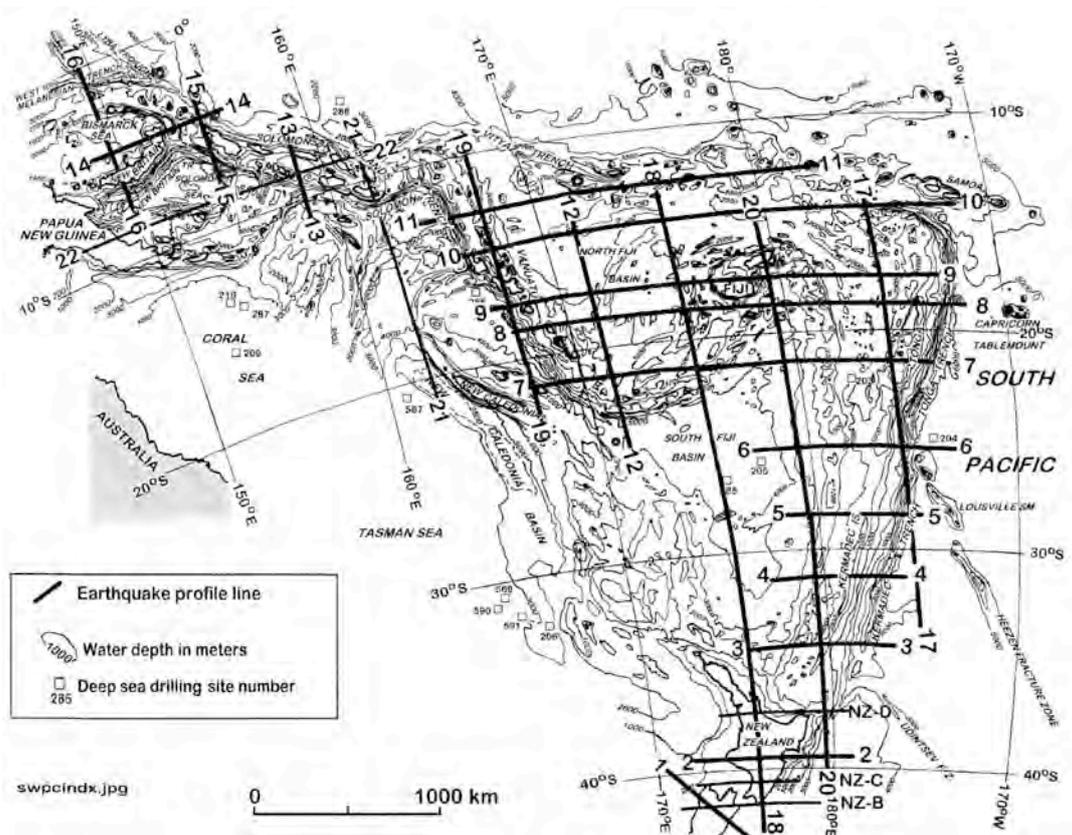


図2. 研究地域の海底地形（環太平洋エネルギー鉱物資源局，1985）および地震断面線。それぞれの断面は，1°の緯度ないしは経度幅で直交方向に展開されている（緯度0.5°幅のライン8を除く）。

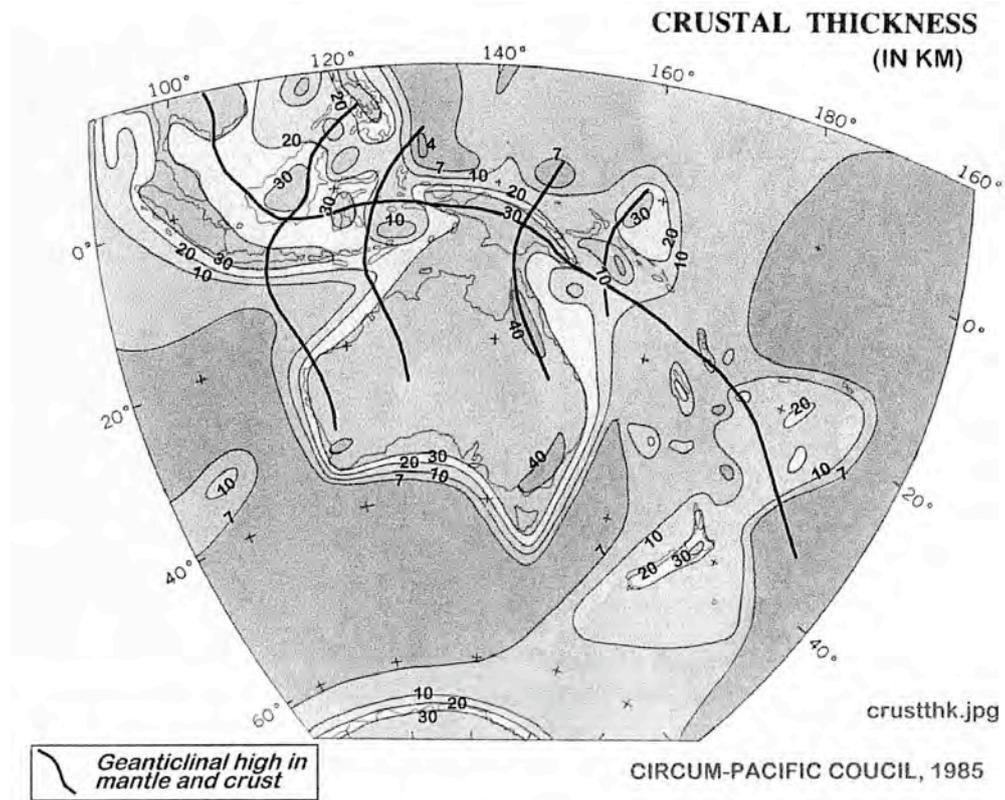


図3. 研究地域と周辺の地殻の厚さ（環太平洋エネルギー鉱物資源局，1985）。地球表層にみられる地背斜方向を加筆。地殻は地背斜の軸部に沿って一般的に厚くなる。

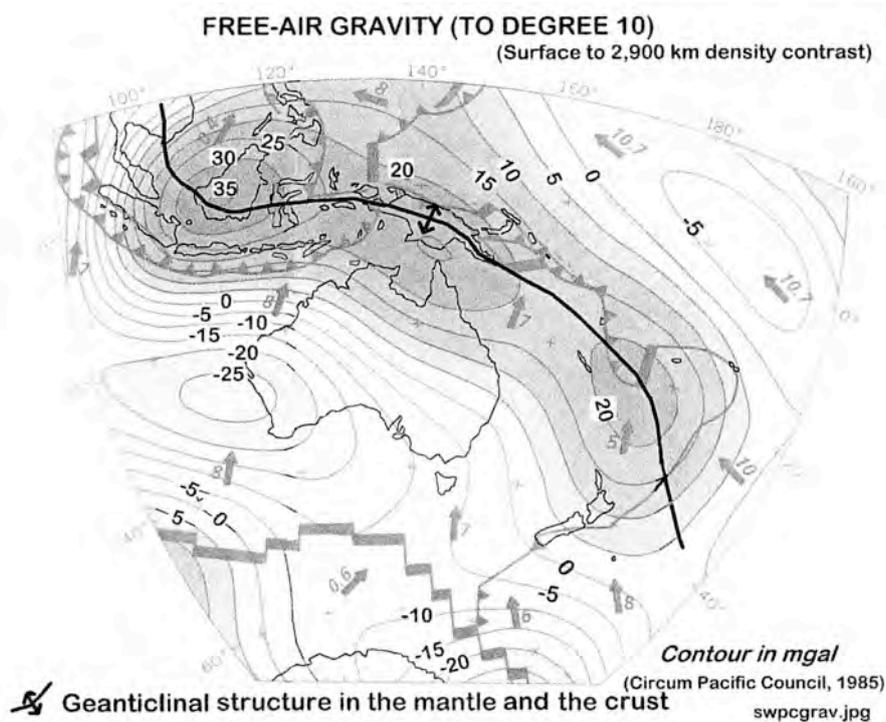


図4. オーストラリア大陸の周辺における10度のフリーエア重力。この図は、地表からコア-マントル境界面（2900km；環太平洋エネルギー鉱物資源局，1985）までの密度差を示しているものと考えられる。本文で述べたように、この構造の根は、地震トモグラフィデータから判断すると、少なくとも1500kmに達すると思われる。それゆえ、この図に示されたプレート運動の拡大軸や拡大速度（cm/年）および方向は支持されない。プレート運動を決定するためのGPS利用の妥当性についてはSmoot（2001）を参照。

深部重力データを吟味していない。これらの事実は、主要な地表地質構造の根は中部マントルである 1500km に匹敵する深さへと続いていることを示している。

3 地質構造と地震

1) ニュージーランド、ケルマデク諸島、トンガ

ニュージーランドのテクトニクスの概略(第5図)は、近年、Dickins and Choi (2001)によって発表された。ここでは、ベニオフ帯が古第三紀後期以降もっとも活発な圧縮応力場におかれているグラーベンと主要な断層構造と関連している(第6図)、と説明された。ニュージーランドの深発地震と直接的に密接な関係にある、最も顕著な地質要素は、南島の有名な Alpine 断層である(第5図)。この断層は、Meyerhoff et al. (1992)によって、飲み込み帯 Verschlusszone (engulfment zone : 飲み込まれたゾーン、または、swallowing zone : 飲み込んでいるゾーン)として記述された。そして、この断層に沿うサージチャンネルが、中期白亜紀の Rangitata 造山運動期に、現在の南島の幅 100~200km の地域を飲み込んだ、と論ぜられている、それゆえに、プレートテクトニクスに立脚する多くの研究が拠って立つ巨大な走行ずれ運動の必要性に根拠がないことは明らかである。この断層は、Puysegur トレンチに沿って南に連続すると考えられているが、北側の北島への連続は、議論のあるところである(New Zealand Geological Survey, 1958, 1972; Cullen, 1970; Beanland and Haines, 1998; Townsend and Little, 1998; CircumPacific Council for Energy and Mineral Resources, 1988; Eusden et al., 2000; Wood et al., 2000)。

しかしながら私の分析によると、Alpine 断層は、南島の北部にある Marborough 断層帯の中で二股に分かれる。すなわち、1) 中央構造線に沿って走る主断層は、北島の Egmont 山の東側にそってのび、Plenty 湾中の Mayor 島を通り、Havre トラフと Colville リッジの間を北に向かって連続し、最終的にはフィジーの東に到達して Heezen 断層帯(ニュージーランド-フィジー構造帯; 新称)に合流する、いっぽう、2) 東側の分枝は南島の Clarence または Awatere 断層から始まり、北島の Wairarapa 断層に接続し(Townsend and Little, 1998)、そして、Kermadec-Tonga リッジの東側境界(Kermadec-Tonga 断層と新称)にそって北方向に連続する(図5)。前者は、ネオテクトニクス的には最近の地殻変動をほとんど伴わないで安定しているが、後者は、活発な浅発~中発地震活動を伴って、リッジに沿って強烈な構造運動と火山活動をひきおこしている(図1、図5~9; Krsnsny, 1970; New Zealand Geological Survey, 1972; Lensen, 1977; Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1985; Tuzov and Lipina, 1988)。

Alpine 断層と主要な地質構造は、図5、図7~9に示す地震分布に対比できる。これらの図に見られるように、301km 以深の深発地震のグループは Egmont 山と Mayor 島(火山島)を結ぶ線上に位置しているが、これは、Alpine 断層の北側への連続である。図5の挿図によっても明瞭に見られるとおり、これはまた、Alpine 断層上にほとんど完全に重なる 151~300km の地震グループの西縁に位置する。地震の空間分布に影響をおよぼしているのは、Vening Meinesz 断層帯(Gamble et al.,

1993)と Udintsev 断層帯の分枝など横断方向のリニアメントである。

図7の地震断面分布に示す一般的傾向をまとめると、

- 1) 断面1および2に表現されるように、深い震源は Alpine 断層に並んでいる。これは断層がほとんど鉛直であることを示す。
- 2) 地震の震源面は、地表近くでは 30~40° の低角度である。しかし、深くなるにつれて高角度になり、Alpine 断層付近では 70~80° である。
- 3) ほとんどの場合、浅所から中深度の地震は 250~300km 以浅で起き、深い地震は 350~400km 以深で起きていて、両者の間には地震の空白域が存在している(Smoot, 1997; Smoot et al., 2001も参照)、そして、4) 浅所地震活動(50km 以浅)はすべての断面において、トラフの中でもっとも集中的に起こっている。

このような一般的傾向は、Kermadec~Tonga を含むニュージーランドの北部地域に基本的に適用できる(図8~9)。ただし、Wadati-Benioff 帯が図8の第6断面のように、いくつかの断面でそこそこ直線的な部分、そして、図8の第3~4断面のように、震源が広くばらつく傾向を示す部分を除く(これらの状況が、海洋部における観測ステーションの密度が小さく、震源決定の精度が低いためかどうかはわからない)。これらの部分を除いて、Benioff (1954)もまた、彼の言う”海洋構造”の支配的な Kermadec~Tonga 地域における急角度(58~64°)の直線的な震源面を報告している。

500km 以深では、和達-ベニオフ帯は、特に Lau リッジ/東部南フィジー盆地、そして北部北フィジー盆地の下では、広範囲の分布を示して、ほぼ水平に近い。ソロモンおよびブーゲンビリア諸島の下には深発地震が多発している。ニュージーランドの Egmont 山の下とビスマルク海、バプアニューギニアの下では、いくつかの非常に深い地震が記録されている。比較のために、より浅い地震については図1を参照のこと。この図からは、すべての深発地震が深い部分の構造帯に関係して起こっていることは明白である。Krsnsny (1970)によるカルクアルカリ系とソライト系の地域は、また、深部構造帯に規制されている。わずかな不一致が Krsnsny (1970)と Gamble et al., (1993)との間に見られる。すなわち、後者はニュージーランド北島の Vening Meinesz 断層帯の延長部に大陸-海洋遷移帯をおいている。

2) フィジー-バヌアツ-ソロモン諸島

これらの島々は太平洋中央メガトレンド(Smoot and Leybourne, 2001)の西側部分として線状に連なる島弧に形成されている。

ソロモン諸島は超塩基性岩の貫入が豊富で、主要深部断層系の影響を含み、これらはマントルからの注入に関係している(地質調査局、英国ソロモン諸島保護国、1968 & 1969; Haokman, 1968)。線状に連なった島列と浅発および深発地震の発生が線状に表れるのは、主要深部断層系に伴った地震と強く関係し、主として太平洋中央メガトレンドを含んでいる(図6)。この主張は Grover (1998)における Blot の調査によって支持され、ソロモンにおける深層部での地震は、通常、浅層部における地震や火山噴火に先立ち、これらの深部断層系が、地震と火山活動の両方の統合された場所であることが証明さ

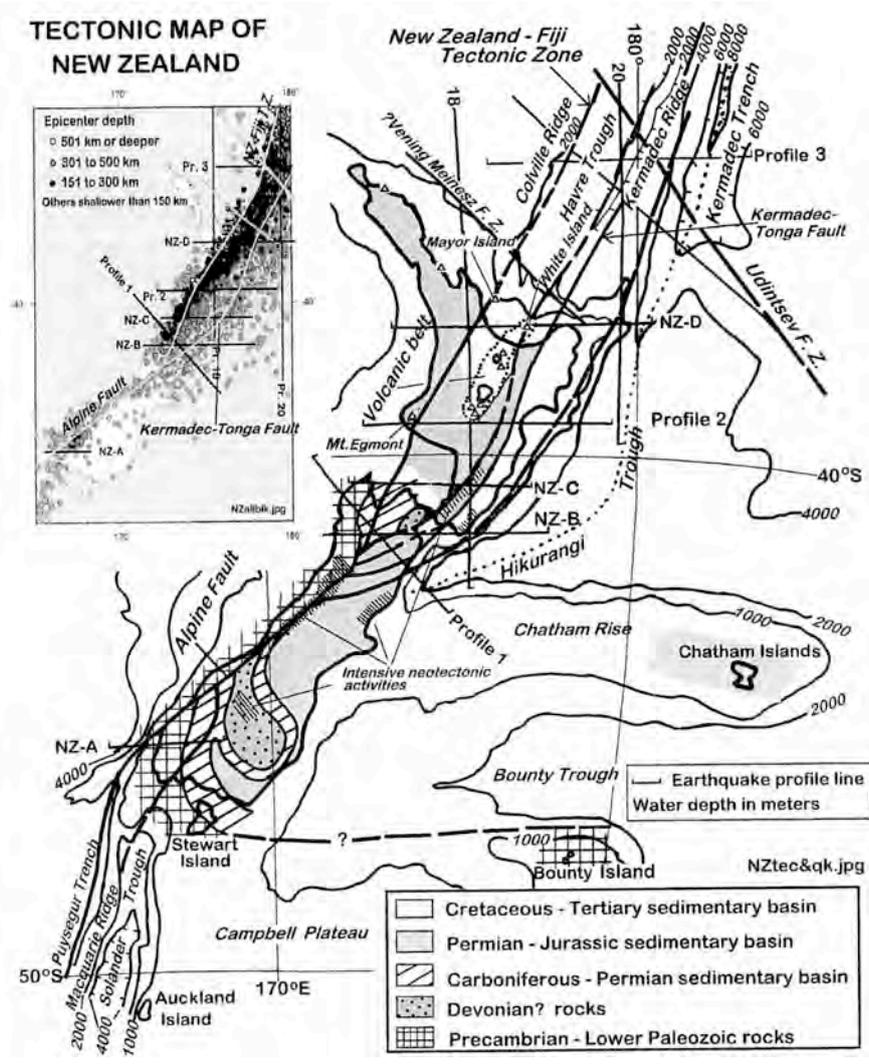


図5 ニューゼーランドの構造図 Cullen(1970), New Zealand Geological Survey (1958, 1972), Reyners (1989), Meyerhoff et al. (1992), Gamble et al. (1993), Anderson (1994), そして Smith and Sandwell (1997) を含む多くの文献から編図。図7の地震断面の位置や、主図の主要な造構帯に重ねて示された深発地震分布を示す挿入図も示されている。地震分布に対する明瞭な構造支配が存在する。深部地震活動は、ニューゼーランド-フィジー構造線(=Alpine 断層)に沿って集中する。いくぶんかの効果をおよぼしている。深発地震活動は、Vening Meinesz 断層帯や Udintsev 断層帯の分枝などの横断断層も、何らかの影響をおよぼしていると感じられる。浅発/中発地震と火山活動は、Kermadec-Tonga 断層と海嶺帯にそって集中している(図1, 図7)。

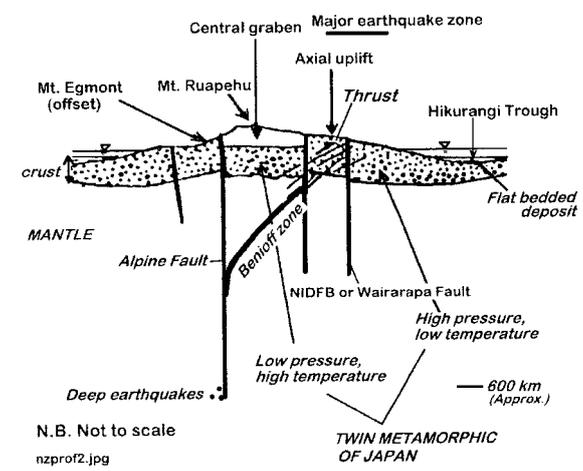


図6 ニューゼーランドの模式断面。Lingen (1982)のモデルを改変した Dickins and Choi (2001) から修正して引用。NIDFB = North Island Dextral Fault Belt (Beanland and Haines, 1998)。東海岸のスラストについては、Laing (2001)を参照。

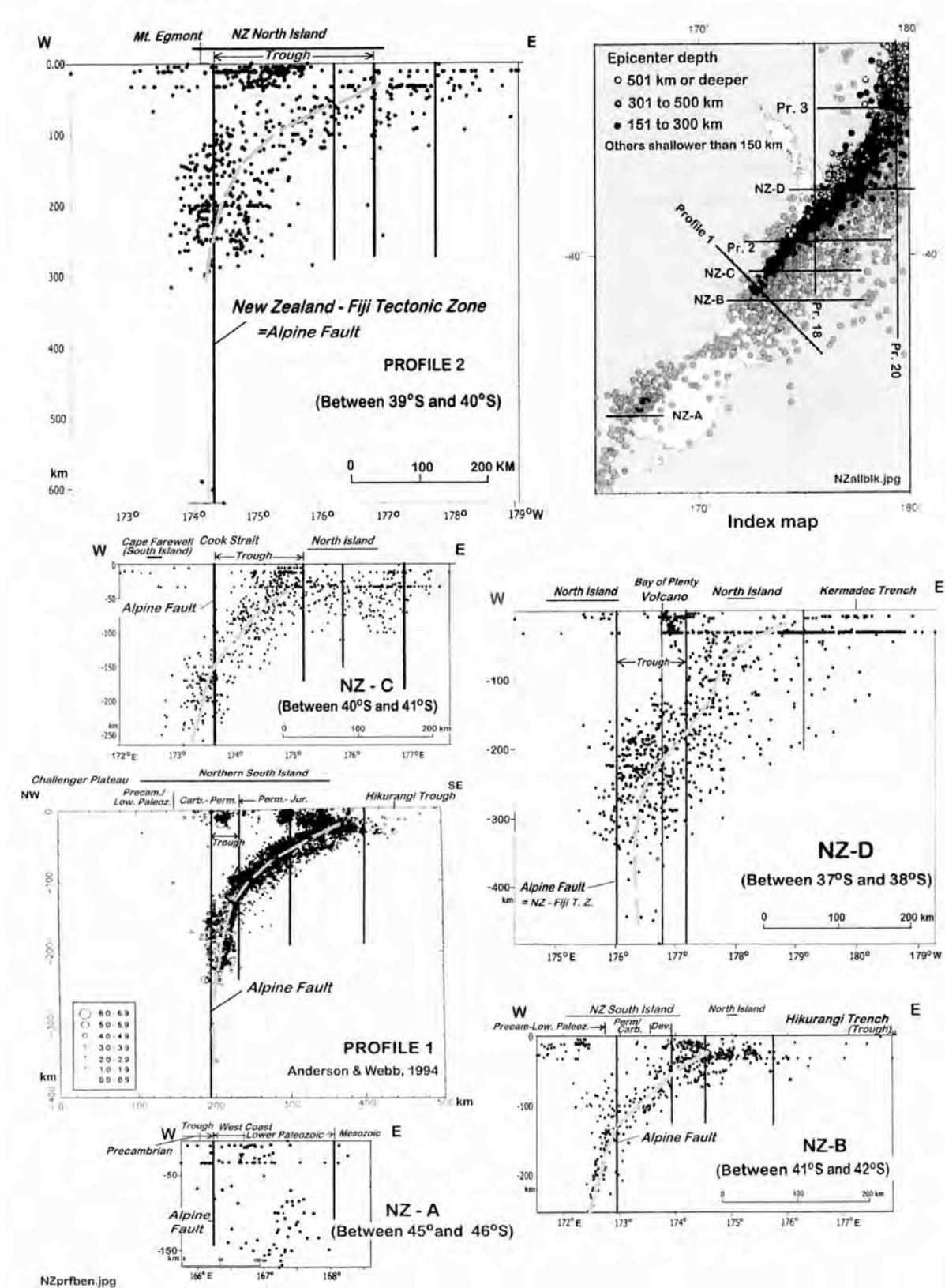


図7 ニュージーランドの地震断面。右上の位置図は、個々の断面の位置と USGS NEIC による地震分布を示す。地質については図5を参照。左下付近の第2番目の、北西-南東の断面は Anderson and Webb (1994) をもとに改変した。その他のすべては、USGS NEIC のデータをもとに筆者が作成したものであり、東西方向の断面である。鉛直水平比は1:1にとっている。比較のために、地質情報が重ねて示されている。浅発/中発震源の集中は深度250-300kmまで伸び、深発グループが散発的に始まるまでの間に地震の空白帯がある(断面1・2とNZ-D)。この傾向は、以下の図に示される研究対象地域のすべてに当てはまる。Alpine断層は鉛直である。地震は、ほぼ鉛直の傾斜をもつ達-ベニオフ帯をつくっている Alpine断層に沿って発生し、この断層が深い部分の地震の発生を支配していることを明瞭に示している。

NEW ZEALAND - TONGA EARTHQUAKE PROFILES (E-W)

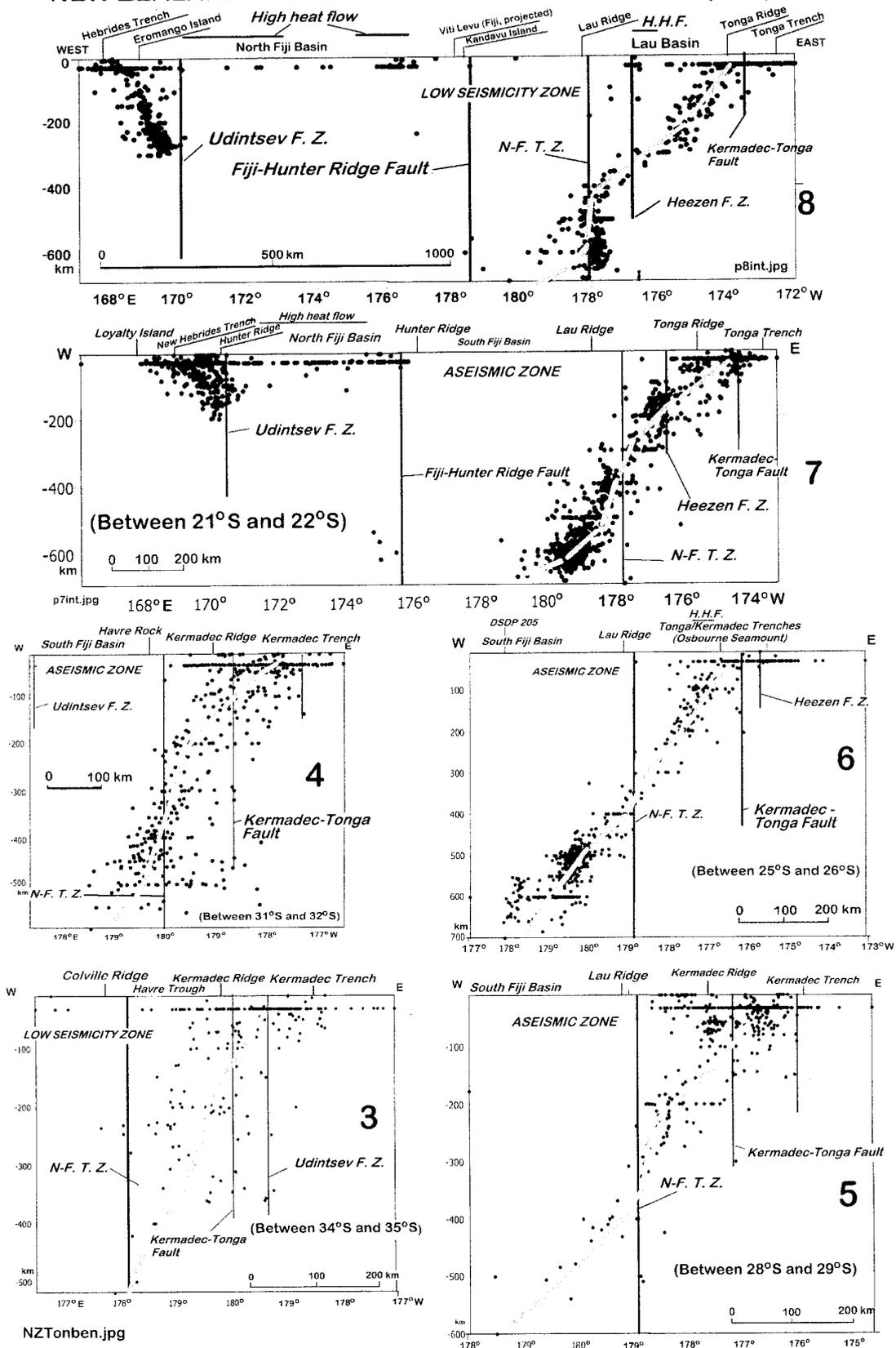


図8 ニュージーランド～トンガの地震断面（すべて東西方向）。断面位置は、図2参照。断面にみられる地震分布と主要な造構帯との間に密接な関係があることに注目されたい。Kermadec海嶺とTonga海嶺にはともに第四紀火山が発達しその地下には浅発地震が分布する。高熱流量が北フィジー海盆（図10）で観測され、そこで観測される浅発地震（40km以浅）はほんのわずかか中程度である。“High heat flow”との表示は、熱流量が100mW/m²以上の地域を示す（Tuezov and Lipina, 1988 による）。

NEW ZEALAND - FIJI - VANUATU EARTHQUAKE PROFILES (N-S)

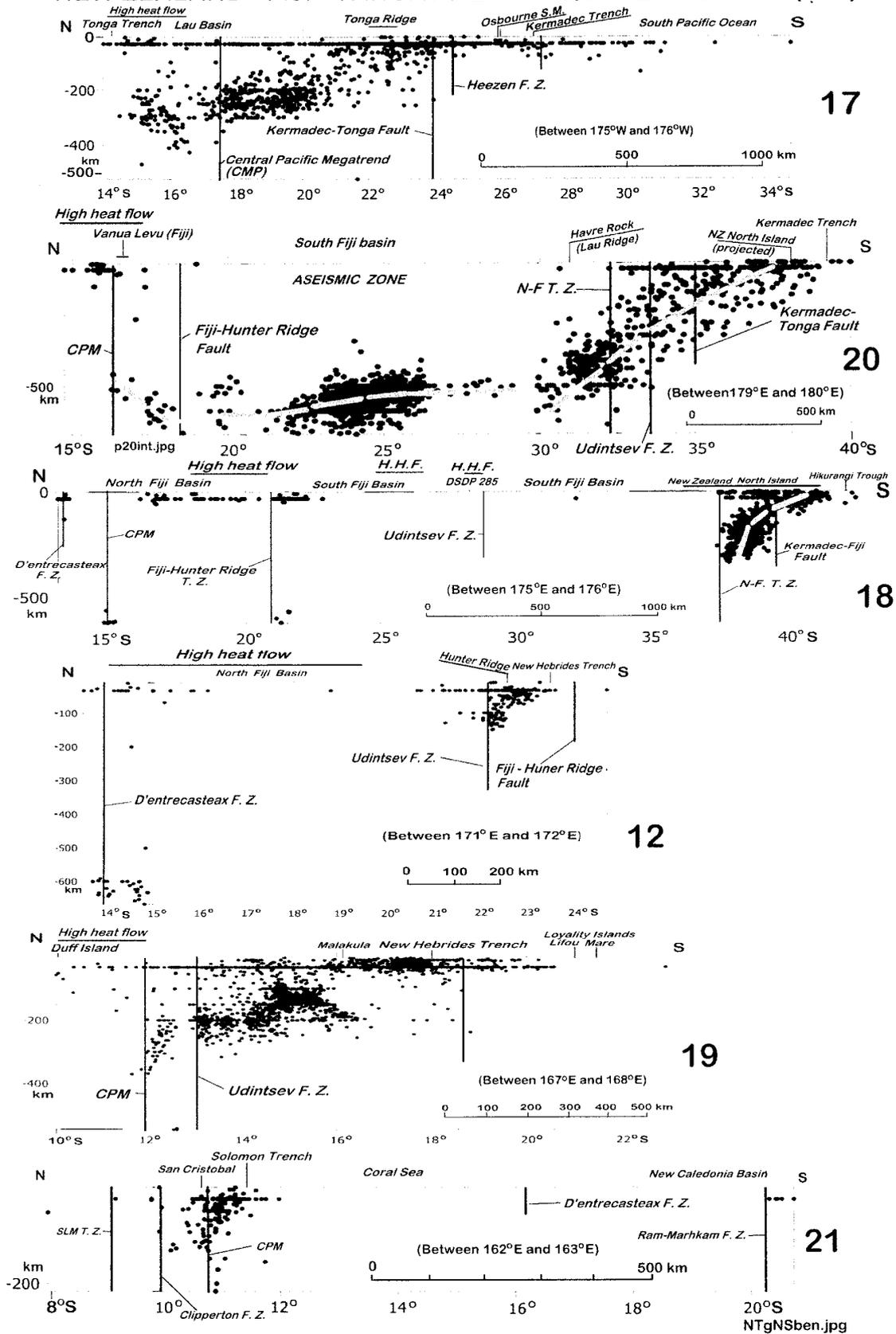


図9 Kermadec-Tonga-Fiji-Vanuatu 地域の南北方向の地震断面. 各断面の位置は図2を参照. 主要な断層が地震の発生を支配していることに注目. CPM = Central Pacific Megatrend (Smoot and Leybourne, 2001); SLM T.Z. = Susongchon-Lake Biwa-Mariana Islands Tectonic Zone (Choi, 2002a)

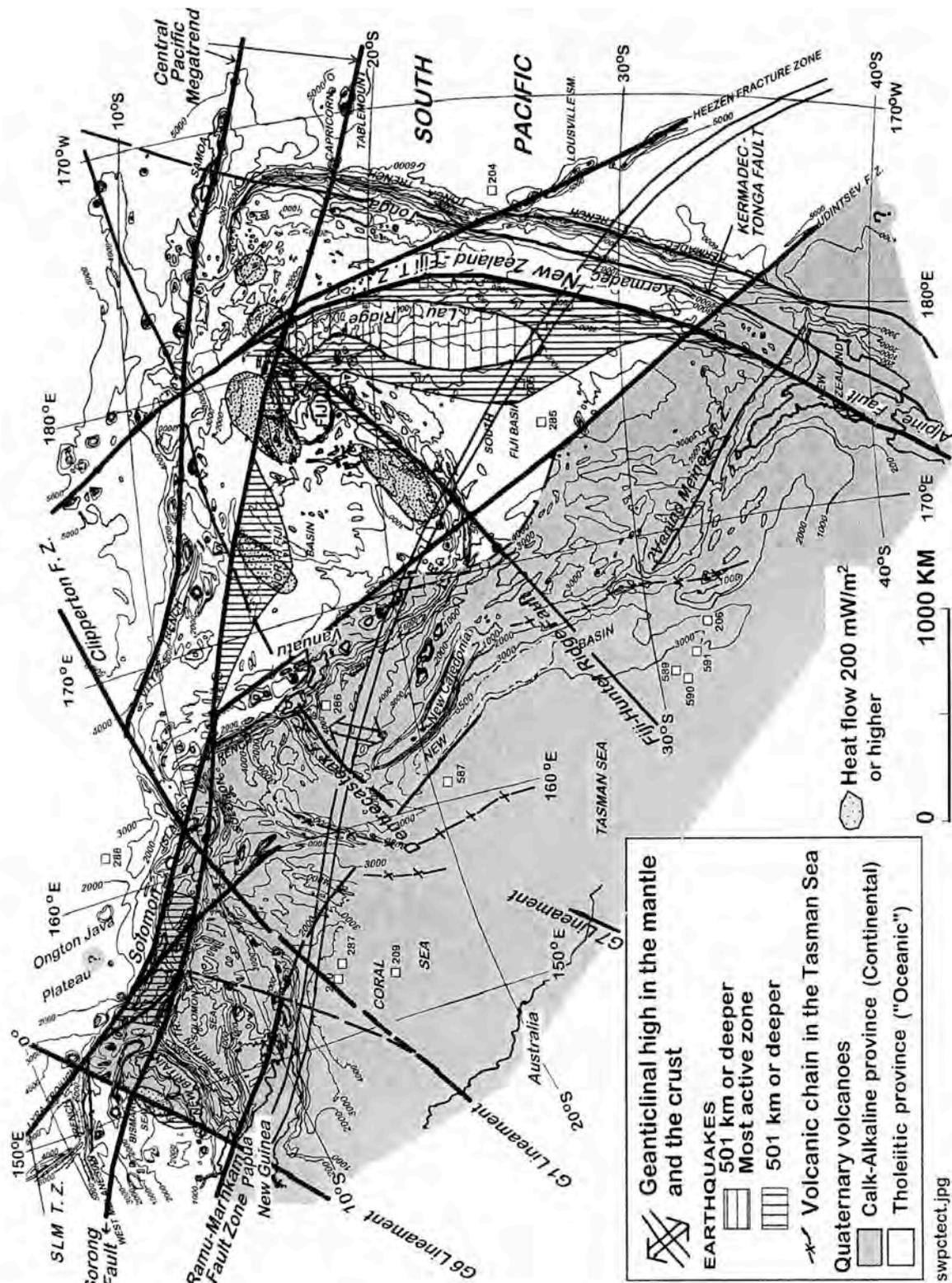


図 10 南西太平洋における深発地震 (501km 以深), 超高熱流量 (>200mW/m²) および主要構造要素の分布. 地域的地震研究 (Sykes, 1966; Wojtczak-Gadomska, 1972, Isack and Barazangi, 1977) を含む多く資料からコンパイルした. 熱流量の資料は, Tuezov and Lipina (1988)による. 高熱流量地域の下には, 主要な深部断層に関連した深発地震帯がある (北フィジー盆地および Bismarck 海). 深度 500km 以下では, 和達-ベニオフ帯はほぼ水平になり, 水平方向のひろがりも大きくなる (とくに, ラウ海嶺, 南フィジー海盆東部および北フィジー海盆北部において). ソロモン群島およびプーゲンビル諸島の下には, 深発地震網が存在する. ニューゼーランドのエグモント山, ビスマルク海およびパプアニューギニアの下では, 著しく深い地震が記録された. 比較のために, 図 1 のより浅部の震源分布を参照. この図に示されるように, すべての深発地震が深部造構帯に関連していることは明瞭である. Krasny (1970)に由来するカルクアルカリ区およびソレーアイト区も, 深部造構帯に支配されている. Krasny (1970)と Gamble et al. (1993)の間には, わずかな違いがある. すなわち, 後者は大陸-海洋遷移をニューゼーランド北島の北方に位置する Vening Meinesz 断層帯の延長上においている.

TONGA - FIJI - VANUATU EARTHQUAKE PROFILES (E-W)

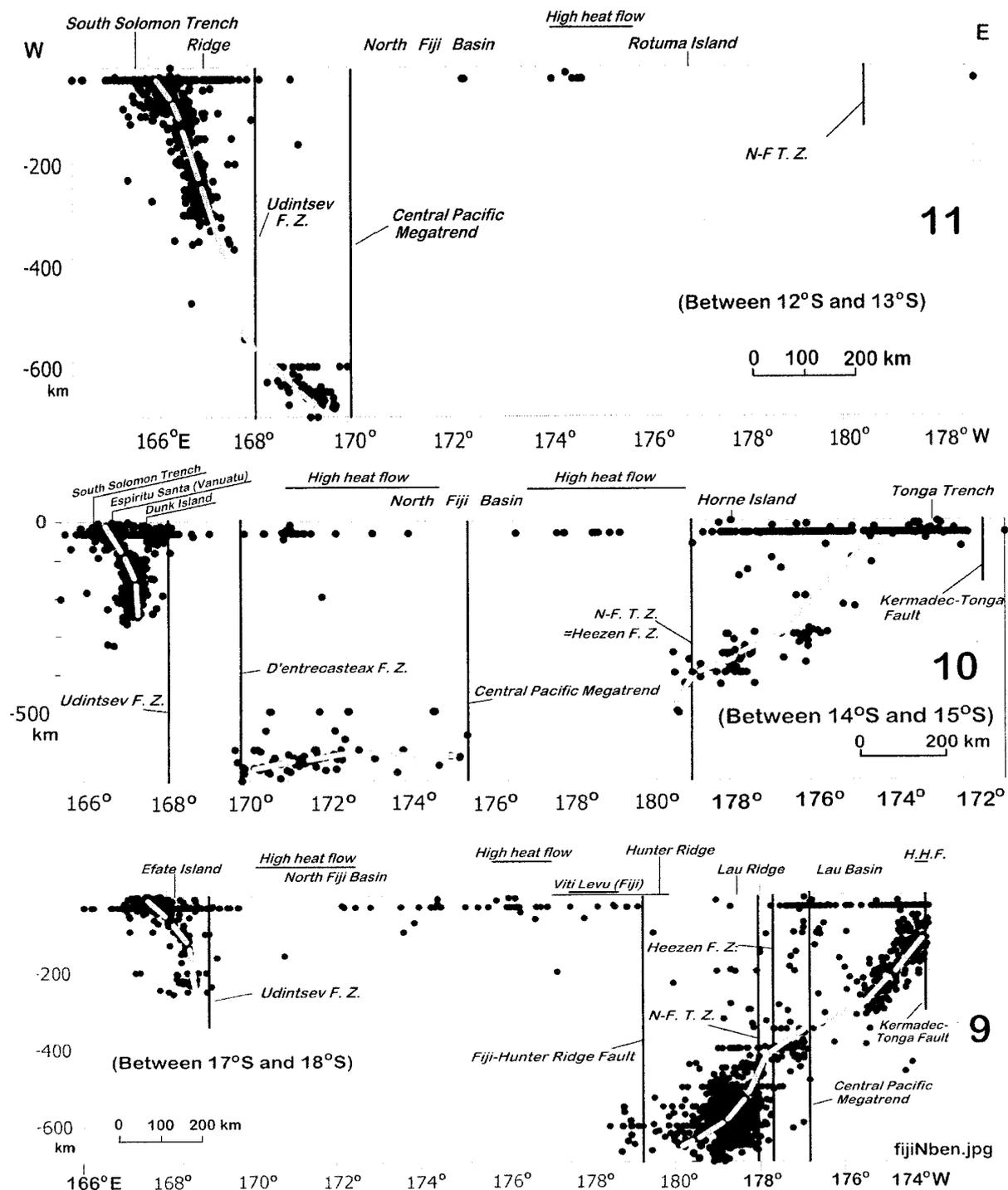


図 11 トンガ-フィジー-バヌアツの地震断面（東-西方向）。次の 2 点に留意されたい。1) 500km 以深の深部断面にみられる低角～ほぼ水平の地震帯。2) 北フィジー海盆の高熱流量帯の先発地震がきわめてわずかであること。これは、両側の海溝域とはきわめて対照的である。東のトンガ海溝および西の南ソロモン海溝では、地震活動がたいへん活発で、熱流量は一般に平均 (25～75mW/m²) 以下である (火山性海嶺上での局所的異常を除く: Tuzov and Lipman, 1988)。

NEW BRITAIN - SOLOMON ISLANDS EARTHQUAKE PROFILES (E - W)

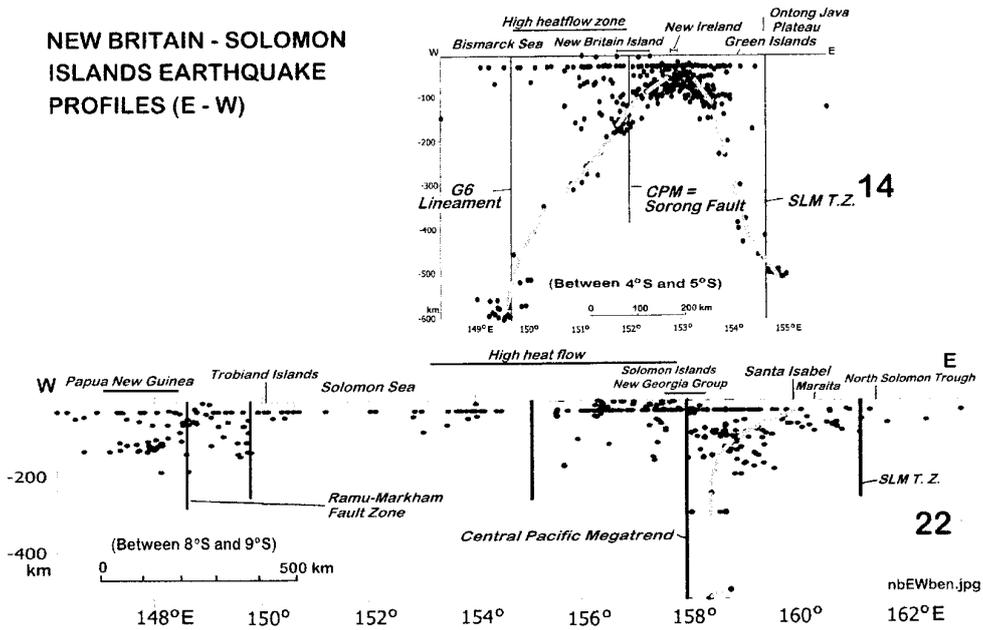


図 12 ニューブリテン島-ソロモン群島における地震断面 (南北方向)

NEW BRITAIN-SOLOMON ISLANDS (N-S)

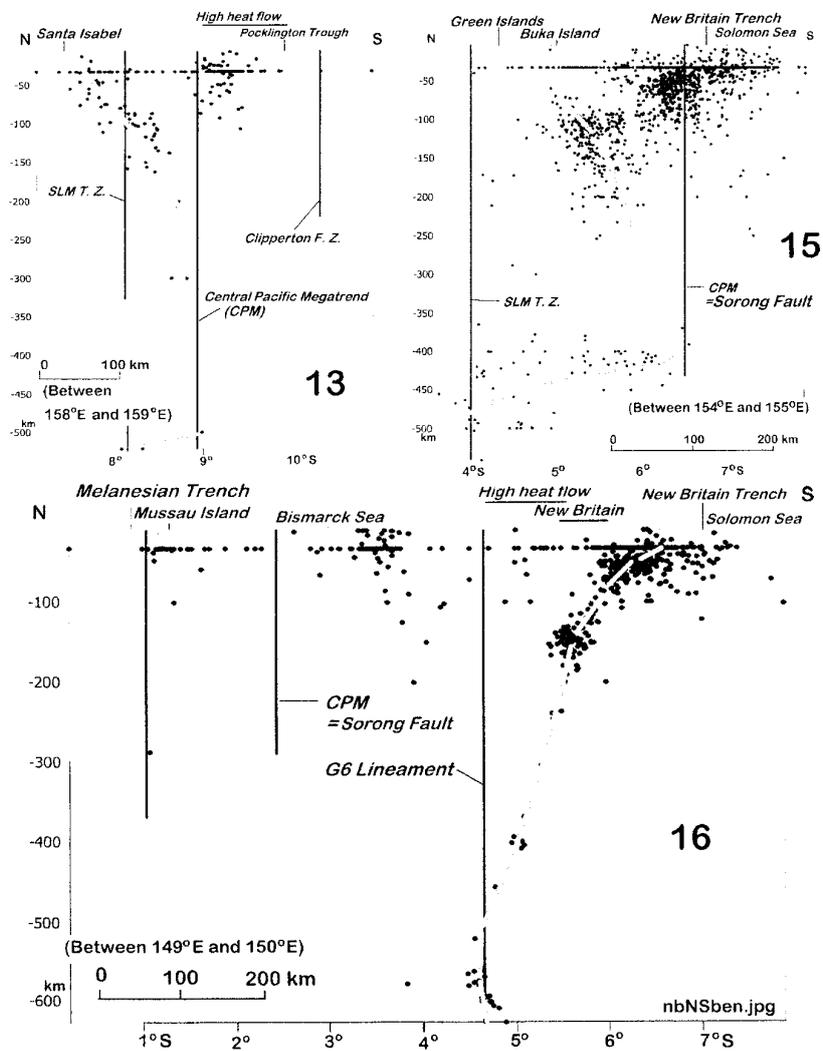


図 13 ニューブリテン島-ソロモン群島における地震断面 (東西方向)

れている（本号の Peter James の書評 p.35-36 を参照）。

幾つかの比較的深い地震活動（301~500km）はニューヘブリジース（バヌアツ）島列で知られている。これらの島々は新生代の玄武岩質火山でできていて（英国，海外開発省，1975），この地域には少量の超塩基性岩が発達し，ソレライト質とカルクアルカリ火山岩類が混在している（Krasny,1970）。Blot はまたニューヘブリジースでの地震と火山噴火の関係を研究した（Grover, 1998）。

深部の地震に関しては，きわめて面白い。深発地震のほとんどが 400km かそれ以上の深度に発生し，太平洋中央メガトレンドに沿った北部フィジーベースン下で最も集中的に発生し，また，幾つかは Fiji-Hunter Ridge Fault（新称，図 10）にみられる。北部フィジーベースンとビスマルク海の最高熱流量(200mW/m² かそれ以上)地帯のほとんどすべてで，深部地震帯が伏在している（図 10）。北部フィジーベースン全体で浅部地震活動が比較的まれであることを考慮すると，高熱流量域の発生源が，深部断裂合部の深度 400~700km における深部地震活動に関連していることは確実である。

もうひとつのみごとな事実は，500km 以深の和達-ベニオフ帯がほとんど水平あるいは非常に低角であることが，東南部フィジーベースン，北部フィジーベースン，ソロモ

ン諸島の諸地域で認められることである；図 9 の断面 12，図 11 の断面 9-11，図 13 の断面 15 参照。このことは我々をして，1994 年のポリビア地震を思い起こさせる。これは，深度 636km に 30 x 50km のひろがりをもつ水平面において発生した（Kerr, 1995）。

3) パプアニューギニア

パプアニューギニアは，深発地震のすぐれた研究条件をそなえている（Davies, 1971; Bain et al., 1972 & 1975; D'Addario et al., 1976; Dow, 1977; 鉱山資源局, 1979; 他多数）。ここでは，深発地震活動はビスマルク海の下に存在し（図 1，図 12 の断面 14，図 13 の断面 16 参照），ブーゲンビル島も同様である。2 つの主要断層系が深発地震に影響を与えている；[記者注：これらの断層・断裂系の位置関係は，他の平面図ではかなり見辛いので図 14 にて参照ください] 1) 北東-南西方向の G6 リニアメント（O'Driscoll, 1986）がニューブリテン島北方，ニューアイランド島北方を横切っている，2) 北西-南東方向の Susongchon-Lake Biwa-Mariana 島構造帯がブーゲンビル島東方に走っている。これら 2 本の断層がソロモン諸島の東側で会合し，中央太平洋メガトレンドに連なっていく（Smoot and Leybourne, 2001）。

すでに述べたとおり，高熱流量域は，深部断層帯に明らかに関係する深部地震帯上に位置する（図 10, 14）。図 12

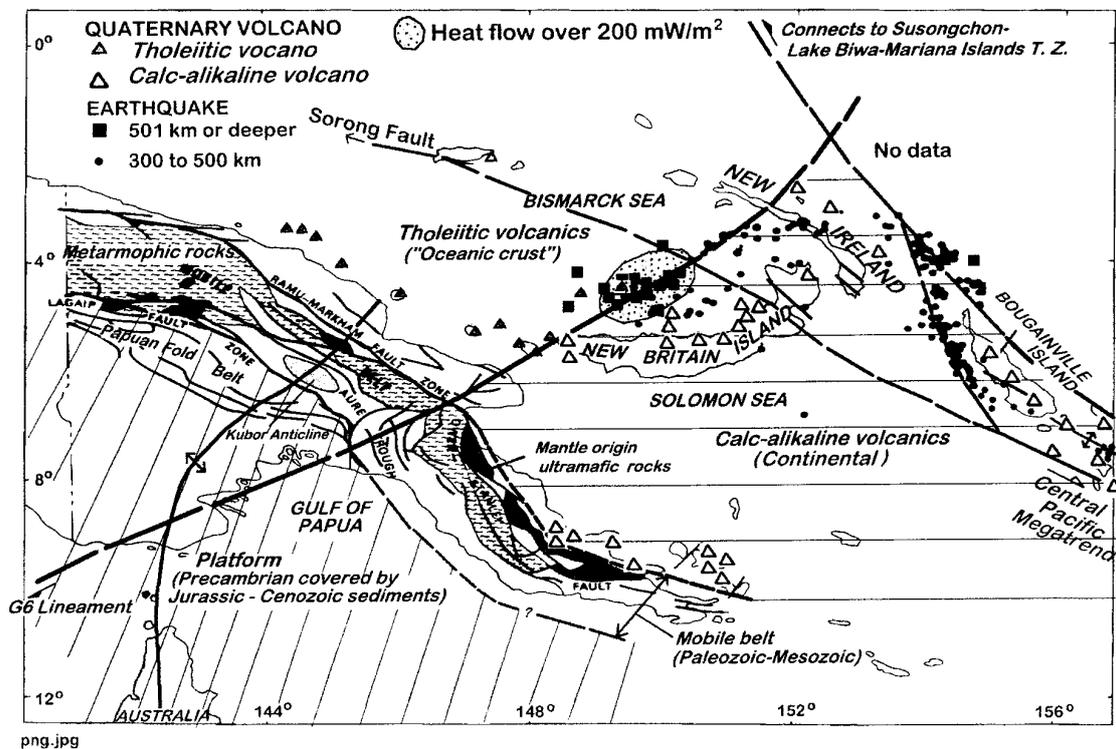


図 14 地震，主要構造および熱流量を示す複合構造図。多くの出版物にもとづく。O'Driscoll (1986)による G6 リニアメントは，深発地震が密集する PNG とビスマルク海を横切っている。このリニアメントは，南側のカルクアルカリ火山区と北側のソレライト火山区を境する。もうひとつのリニアメントである NW-SE 方向の深部断層は，Susongchon-Lake Biwa-Mariana Islands Tectonic Zone の南方延長にあたる。ニューギニア本島の南東端は，マントル由来の超塩基性岩によって知られている（Davies, 1971）。ソロモン海のすくなくとも一部では，この超塩基性岩が伏在している可能性がある。和達-ベニオフ帯がソロモン海北部で両側へ傾斜している（図 12 の断面 14 を参照）ことは興味深い。というのは，同様な地震面パターンがモルッカ海でも観測されていて（Cardwell et al., 1980），そこではマントルの湧昇（Silver and Moore, 1978; McCaffrey and Silver, 1980; Meyerhoff et al., 1992）が想定されているからである。

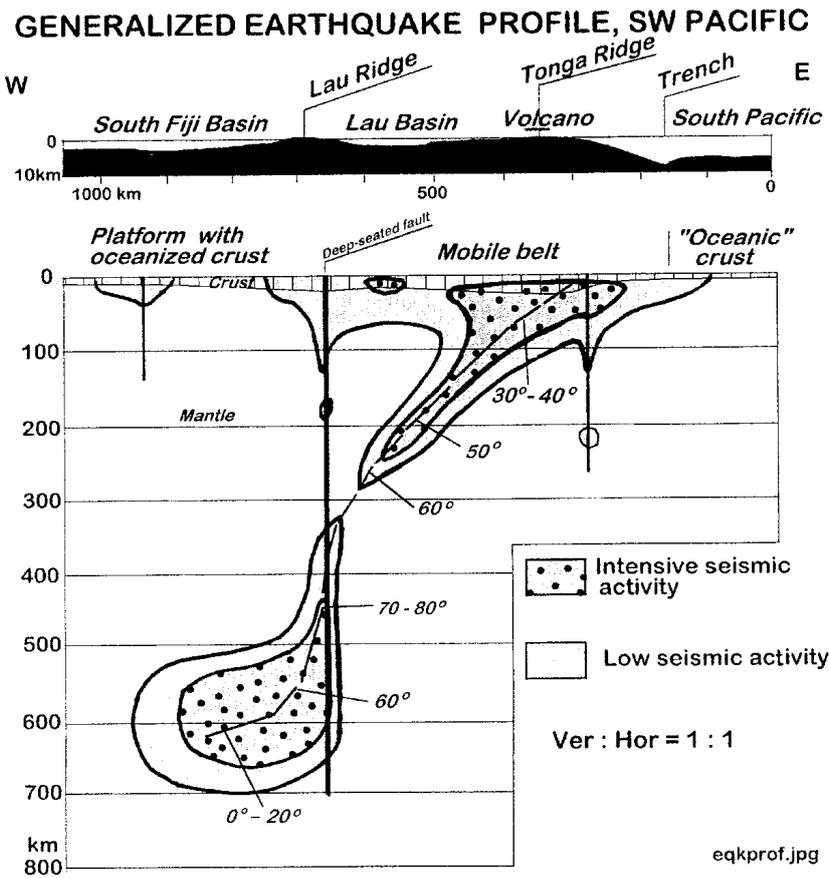


図15 研究地域における一般化された震源断面

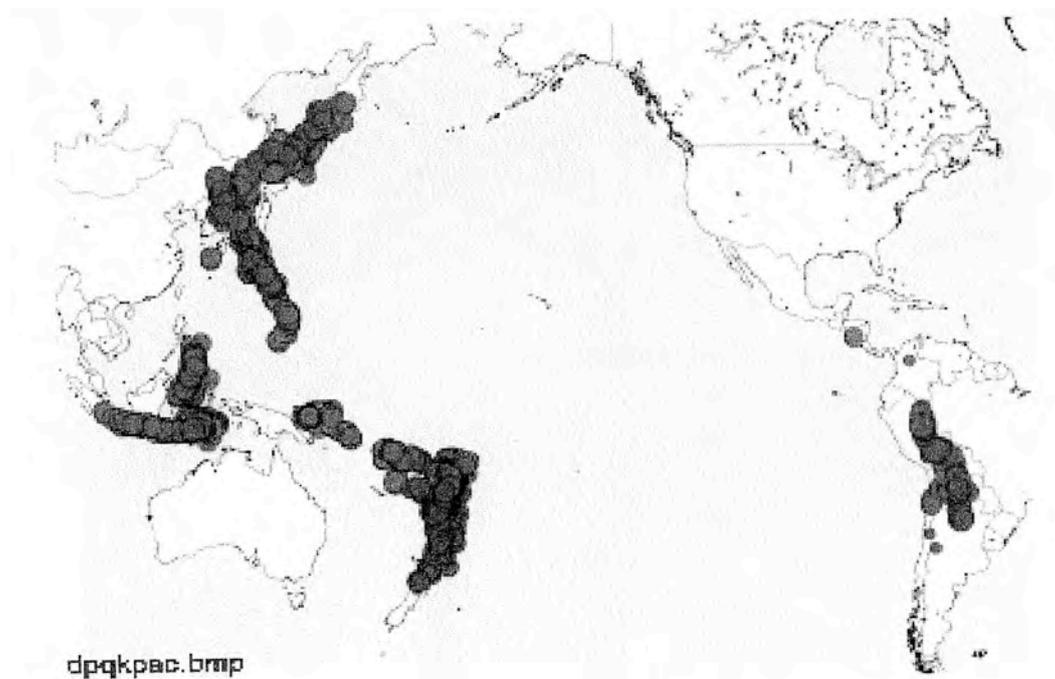


図16 太平洋周縁における深発地震（301km以深）の分布。USGS NEIC データファイルより。これは、1973～2003年の期間を扱ったもっとも総合的な最新情報である。

の断面 14 では、地震面が両側に傾いている。この現象は両側に深部断裂が存在することに起因していることは明白である；すなわち、Susongchon-Lake Biwa-Mariana 島構造帯 (Choi, 2002a) が右側に、G6 リニアメント (O'Driscoll, 1986) が左側に存在する。モルッカ海でも同様な事実が、ダブルサブダクションとして Cardwell 他 (1980) によって報告されている。

4. 南太平洋における和達-ベニオフ帯の一般的特徴、および短い要約

この研究は、幾つかの新しい発見をもたらした。それらは、1) 和達-ベニオフ帯の一般的形状 (図 15)、2) 高熱流量域と深発地震/断層帯の関係、3) 深発地震の発生に関与した深部シート状断裂系の重要性の確認と重要な役割 (図 16 と図 17) である。

1. 地震面の形状は、断面では S 字型をなし、表層付近では 30~40° の低角で、深度 200~300km では徐々に急になり、深部断層では 70~80° の急角となる。さらに 500km 以深では、20° に低角化する。深発地震は 500km を越えると広域に広がる傾向を持ち、西部トンガ (Lau Ridge-北部フィジーベースン) や北部フィジーベースンにおいて証拠づけられる (図 10)。

2. 異常な高熱流量、深発地震活動、深部断裂系は、互いすべてに関係している。500~700km のマンツルの活動は水平に (広域に) 生じ、深部断裂系を通じ地殻表層における地質・地球物理的な性状に関し主要な影響を与える。

3. ほとんどの地震断面では、一般に 300km と 400km 間に無地震間隙が認められる (Meyerhoff et al., 1992; Smoot, 1997; Smoot et al., 2001 も参照)。深発・浅発地震は異なった応力系によって起こっていることは明白である。これは、ベニオフ (1954) によってはじめて推測され、多くの人々によって支持されたことがらである。

4. さらに、地表地質、深部重力データ、地震トモグラフィから判断すると、地質やテクトニクスの主要構造要素の根は、約 1500km かそれ以深にあるのかもしれない。

時間的制約や誌面の限界のために、著者は全面的な議論やまとめを行うことができなかった。次号では太平洋周縁における深発地震や深部構造の研究でえられた知見を総括し、包括的な討論を展開したい。地震とテクトニクスにかかわるこの問題に関して、読者のみなさまにも活発に討論にくわわっていただきたい。第 4 部を終えるに当たり、ニュージーランドと南西太平洋諸島の地質情報を頂いた J.M. Dickins に感謝する。

文 献

- ANDERSON, H., and WEBB, T., 1994. New Zealand seismicity: patterns revealed by the upgraded National Seismograph Network. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 37, p. 477-493.
- BAIN, J. H.C., DAVIES, H.L., HOHNEN, P.D., RYBURN, R.J., SMITH, I.E., GRAINGER, R., TINGEY, R.J., and MOFFAT, M.R., 1972. *Geology of Papua New Guinea*. Bureau of Mineral Resources. Scale 1: 1,000,000. Canberra.
- BAIN, J.H.C., MACKENZIE, D.E., and RYBURN, R.J., 1975. *Geology of Kubor Anticline, Central Highlands of Papua New Guinea*. Bureau of Mineral Resources Bulletin, no. 155, 106p.
- BUREAU OF MINERAL RESOURCES, 1979. *Gravity map of Melanesia*. Scale 1:5,000,000. Canberra.
- CARDWELL, R.K., ISACKS, B.L., and KARIG, D.E., 1980. The spatial distribution of earthquakes, focal mechanisms solutions, and subducted lithosphere in the Philippine and Northwestern Indonesian Island. In Hays, D. E., (ed.), "The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian seas and islands". American Geophysical Union, *Geophysical Monograph* 23, p. 1-35.
- CHOI, D. R., 2002a. Deep-seated faults and deep earthquakes in the northwestern Pacific. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 23, p. 7-14.
- CHOI, D. R., 2002b. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones. Part 2, South America. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 24, p. 2-7.
- CHOI, D. R., 2002c. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones. Part 3, Southeast Asia. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 25, p. 9-21.
- CIRCUM-PACIFIC COUNCIL FOR ENERGY AND MINERAL RESOURCES, 1985. *Geodynamic map of the Circum-Pacific region, southwest Quadrant*. 1: 10,000,000. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Oklahoma.
- CIRCUM-PACIFIC COUNCIL FOR ENERGY AND MINERAL RESOURCES, 1988. *Geological map of the Circum-Pacific region, Southwest Quadrant*. 1:10,000,000. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Oklahoma.
- CULLEN, D.J., 1970. *Tectonic map of the south-west Pacific*. 1: 10,000,000. N.Z. Oceanographical Institute Chart Miscellaneous Series 20.
- D'ADDARIO, G.W., DOW, D.B., and SWOBODA, R., 1976. *Geology of Papua New Guinea*. Scale 1:2,500,000.
- DAVIES, H.L., 1971. Peridotite-gabbro-basalt complex in Eastern Papua: An overthrust plate of oceanic mantle and crust. *Bureau of Mineral Resources Bulletin*, no. 128, 48 p.
- DEPARTMENT OF GEOLOGICAL SURVEYS, BRITISH SOLOMON ISLANDS PROTECTORATE, 1968. *The British Solomon Islands Geological Record*, v. III - 1963-1967. Honiara, Guadalcanal.
- DEPARTMENT OF GEOLOGICAL SURVEYS, BRITISH SOLOMON ISLANDS PROTECTORATE, 1969. *Geological map of British Solomon Islands*, 1:1,000,000. 2nd Edition.
- DICKINS, J.M., and CHOI, D.R., 2001. Neogene events and the modern world. *Himalayan Geology*, v. 22, p. 199-206.
- DOW, D.B., 1977. *Geological synthesis of Papua New Guinea*. Bureau of Mineral Resources Bulletin, no. 201, 41p.
- EUSDEN, J.D., PETTINGA, J.R., and CAMPBELL, J.K., 2000. Structure evolution and landscape development of a collapsed transpressive duplex on the Hope Fault, North Canterbury, New Zealand. *New Zealand Jour. of Geology and Geophysics*, v. 43, p. 391-404.
- GAMBLE, J.A., WRIGHT, I.C., and BAKER, I.A., 1993. Seafloor geology and petrology in the oceanic to continental transition zone of the Kermadec-Havre-Taupo Volcanic Zone arc system, New Zealand. *New Zealand Jour. of Geology and Geophysics*, v. 365, p. 417-435.
- GEOLOGICAL SURVEY DEPARTMENT, FIJI, 1965. *Geology of Fiji*, 1:500,000.
- GROVER, J.C., 1998. *Volcanic eruptions and great earthquakes*. Copyright Publishing Co., Pty Ltd., Brisbane. 272p.
- HAOKMAN, B.D., 1968. *The geology of east and central Guadalcanal*. A preliminary statement, 1966. *The British Solomon Islands Geological Record*, v. III-1963-67, Report no. 72, p. 16-25.
- KAWASAKI, S., FUJII, N., and FUKAO, Y., 1994. *Frontiers of the earth and planetary sciences: a gallery of the planetary worlds*. *Jour. Geol. Soc. Japan*, v. 100, p. I-VIII.

- KERR, R.A., 1995. Biggest deep earthquakes may need help. *Science*, v. 267, p. 329-330.
- KRASNY, L.I., 1970. Geological map of the Pacific mobile belt and Pacific. 1:10,000,000 scale.
- LAING, A.C.M., 2001. Some comments on the structure of the east coast geosyncline, New Zealand. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 19, p. 1720.
- LENSE, G.J., 1977. Quaternary tectonic map of New Zealand. 1:2,000,000 (1st Edition), New Zealand Geological Survey Miscellaneous Series Map 12. Department of Science and Industrial Research, Wellington, New Zealand.
- McCAFFREY, R., and SILVER, E.A., 1980. Crustal structure of the Molucca Sea collision zone, Indonesia. In Hayes, D. E., ed., "The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian seas and islands", *Geophysical Monograph 23*, American Geophysical Union, p. 161-177.
- MATHIEU-DANDE, J. (ed.), 1992. *Atlas de Nouvelle Calédonie*. 91 p., Les Editions du Cagou.
- MEYERHOFF, A.A., TANER, I., MORRIS, A.E.L., MARTIN, B.D., AGOCKS, Q.B., and MEYERHOFF, H.A., 1992. Surge tectonics: A new hypothesis of earth dynamics. In Chattetjee, S., and Hotton, N. III., eds, "New concepts in Global Tectonics". Texas Tech Univ. Press, Lubbock, Texas, p. 309-409.
- MINISTRY OF OVERSEAS DEVELOPMENT, BRITISH GOVERNMENT, 1975. Geological map of the New Hebrides Condominium. Scale 1:1,000,000.
- NEW ZEALAND GEOLOGICAL SURVEY, 1958. Geological map of New Zealand, scale 1:2,000,000 Department of Scientific and Industrial Research, New Zealand.
- NEW ZEALAND GEOLOGICAL SURVEY, 1972. Geological Map of New Zealand, 1:1,000,000. Department of Scientific and Industrial Research, Wellington, New Zealand.
- O'DRISCOLL, E.S.T., 1986. Observations of the lineament-ore relation. *Phil Trans. Royal Soc. London*, A317, p. 195-218.
- REYNERS, M., 1989. New Zealand seismicity 1964-87: an interpretation. *New Zealand Jour. of Geology and Geophysics*, v. 32, p. 307-315.
- SILVER, E.A., and MOORE, J.C., 1978. The Molucca sea collision zone, Indonesia. *Jour. Of GeopJws. Research*, v. 83, no. B4, p. 1681-1691.
- SLOSS, P., 2000. Surface of the Earth. World Data Center for Marine Geology and Geophysics, Boulder. Report MGG-5R. National Geophysical Data Center
- SMITH, W. and SANDWELL, D., 1997. Measured and estimated seafloor topography (version 4.2), World Data Center A for Marine Geology and Geophysics research publication RP- I , poster, 34"x53".
- SMOOT, N.C., 2001. Fingemails, GPS, and Pacific Basin closure. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 21 , p. 24-25.
- SMOOT, N.C., 1997. Earthquakes at convergent margins. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 4, p. 10-12.
- SMOOT, N.C., CHOI, D.R., and BHAT, M.I., 2001. Active margin geomorphology. Xlibris Corporation, 164p.
- SMOOT, N. C. and LEYBOUN, B.A., 2001. The Central Pacific Megatrend. *Intern. Geology Review*, v. 43, p. 341-365.
- SYKES, L.R., 1966. The seismicity and deep structure of Island arcs. *Jour. Geophys. Research*, v. 71, p. 2981-3006.
- TOWNSEND, D.B., and LITTLE, T.A., 1998. Pliocene-Quaternary deformation and mechanisms of near-surface strain close to the eastern tip of the Clarence Fault, northeast Marlborough, New Zealand. *New Zealand Jour. Geology and Geophysics*, v. 41 , p. 401-417.
- TUEZOV, I.K., and LIPINA, E.N., 1988. Heat flow map of the Pacific Ocean and the adjacent Continents. *Inst. Tectonics and Geophysics, Far East Branch of the USSR Academy of Sciences. Khabarovsk*. 1:10,000,000 scale with an explanatory note by TUEZOV, I.K., 33p.
- US Geological Survey Hazards Program, National Earthquake Information Center (NEIC), 2003. World Data Center for Seismology, 1977-2002, Denver. (<http://usgs.gov/neis/eipic/epic/epic.html>).
- WOJTCZAK-GADOMSKA, B., 1972. Relation between distribution of the seismic energy released in the region Tonga-Kermadec-New Zealand and dislocation flow. *Mat. Pr. Zakl. Geofiz. (Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.)*, v. 36, p. 91-115.
- WOOD, R., HERZER, R., SUTHERLAND, R. and MELHUISE, A., 2000. Cretaceous-Tertiary tectonic history of the Fiordland margin, New Zealand. *New Zealand Jour. of Geology and Geophysics*, v. 43, p. 289-302.

討論 DISCUSSION

新生代の地球収縮 CENOZOIC EARTH CONTRACTION

Oaldehy SHIELDS

555 Matmor Road, #108 Wbodland, CA 95776, USA

(柴 正博 [訳])

NCGT Newsletter no. 25において、オーストラリアとニュージーランドを例に、Colin Laingは地球収縮を示すものとして地殻の短縮を持出した。

これに関する意見はさまざまである。すなわち、「地球が収縮を受けた、あるいは、造山運動が何らかの地球の収縮を伴ったという証拠はなにもない」(Cook, 1966, p.103) という意見から「地球が収縮することは造山には必要なことである」(Lyttleton, 1976, p.53)という意見までである。地球の表面は圧縮(山脈、衝上断層など)と拡大(正断層、海底拡大など)を示す多くの特徴をもっ

ている。すなわち、それは短期間の収縮とはるかに長期間の拡大によって構成される脈動する地球を示しているであろう(cf. Ussov, 1937; Milanovsky, 1980, Tuezov, 1985)。少なくとも長期の収縮については、Lyttletonの議論に対してBlake (1977)が有効に反論したことは注目に値する。

Hekiほか(1989)による魅力的なひとつの報告がある。それでは、北半球にある多数のVLBIステーションで下向きに約1.0cm/年の一定の地球収縮が示されている。彼らは、モデルの予測からのこの逸脱を証明するのに

NUVEL-1モデルを使用した。しかし彼らは、増加する重力やまたは一日の長さの測定値の減少といった、それとは独立した別個の証明が必要であると力説した。

グローバルな造構応力系は本来ほとんど圧縮性であり、その平均方位は海嶺の押しや大陸衝突の力と同じ方向をとる (cf. Zoback & Burke, 1993; Coblenz & Richardson, 1995)。水平な圧縮応力は地球面積の95%以上の地殻中で支配的であると言われていて、その結果、地球の半径の減少が進行したかもしれない (Kropotkin, et al., 1987)。海嶺の押し力はアメリカプレートの動きに効果的だっただろうが、太平洋とインド-オーストラリアプレートの動きにおいては、(同じ方向の) スラブの牽引力が海嶺の押し様式よりもおよそ5倍も大きい (cf. Sekiguchi, 1985., Conrad & Lithgow-Bertelloni, 2002)。

地球の表面のおよそ15%は新生代の変形を経験していて、これらの領域は、主に広く拡散したプレート境界に沿っている (Gordon, 1998)。この事実は、プレート境界はす

べて幅が狭く、プレート内部は完全に剛体的であると前提してきたプレートテクトニクス説に矛盾する。それに代わって、この変形ネットワークは新生代の地球収縮の効果のひとつと見なすことができる。主として測地的な速度に基づいて、新しいグローバルな歪速度モデル (拡散変形帯の中にある) が提出された。それによると、アラビア、インドおよびナスカプレートの角速度が遅くなっている。また、以前にはユーラシアユニットの一部と考えられた南ユーラシアに、相対運動をおこなっている5つの別々なマイクロプレートが新しく導入された (cf. Kreemer, et al., 2000; Kreemer and Holt, 2001)。

地球が現在、収縮しているか、拡大しているか、または同じサイズのままであるのか? というテストは、いくつかのグローバルな大円に沿って完全に一周した測地測量から与えられるだろう。もうひとつのテストは、未測定 of Capricorn, Caroline, Scotia, Rivera および Juan de Fun プレートの測地測量が実施された後に no-net-rotation (実回転のない) モデルから与えられるかもしれない。

文 献

- BLAKE, G.M., 1977. Is the Earth contracting? *Geophys. Jour. Royal Astron. Soc.*, v. 51, p. 555-559.
COBLENTZ, D.D., and RICHARDSON, R.M., 1995. Statistical trends in the intraplate stress field. *Jour. Geophys. Res.*, v. 100, p. 20245-20255.
CONRAD, C.P., and LITHGOW-BERTELLONI, C., 2002. How mantle slabs drive plate tectonics. *Science*, v. 298, p. 207-209.
COOK, M.A., 1966. *Prehistory and Earth models*. Max Parrish, London, 353p.
GORDON, R.G., 1998. The plate tectonic approximation: plate nonrigidity, diffuse plate boundaries, and global plate reconstruction. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, v. 26, p. 615-642.
HEKI, K., TAKAHASHI, Y., and KONDO, T., 1989. The baseline length change of circumpacific VLBI networks and their bearing on global tectonics. *IEEE Trans. Instrumentation and Measurement*, v. 38, p. 680-683.
KREEMER, C., et al., 2000. On the determination of a global strain rate model. *Earth Planets Space*, v. 52, p. 765-770.
KREEMER, C., and HOLT, W.E., 2001. A no-net-rotation model of present-day surface motions. *Geophys. Res. Lett.*, v. 28, p. 4407-4410.
KROPOTKIN, P.N., YEFREMOV, V.N., and MAKEYEV, V.M., 1987. The stress state of the Earth's crust and geodynamics. *Geotectonics*, v. 21, p. 1-16.
LYTTLETON, R.A., 1976. Relation of a contracting Earth to the apparent accelerations of the Sun and Moon *The Moon*, v. 16, p. 41-58.
MILANOVSKY, E.E., 1980. Problems of the tectonic development of the Earth in the light of concept on its pulsation and expansion. *Rev. Geol. Dynam. Geogr. Phys.*, v. 22, p. 15-27.
SEKIGUCHI, S., 1985. The magnitude of driving forces of plate motion. *Jour. Phys. of the Earth*, v. 33, p. 369-389.
TUEZOV, I.K., 1985. The expanding earth. *Geol. Pacific Ocean*, v. 3, p. 204-215.
USSOV, M.A., 1939. Compression and expansion in the history of the Earth. *Intern. Geol. Congr. Rept. 17th Session*, v. 2, p. 645-646.
ZOBACK, M.L., and BURKE, K., 1993. Lithospheric stress patterns: a global view. *EOS*, v. 74 p. 609, 615 and 618.

出版物 PUBLICATIONS

柔らかいプレートと衝突テクトニクス SOFT PLATE AND IMPACT TECTONICS

RIBEIRO, A., 2002. *Soft plate and impact tectonics*. Springer, Berlin, 260p. ISBN 3-540-679634. US\$ 69.95

(矢野 孝雄 [訳])

テクトニクス研究の分野では、アイデアのほとんどが雑誌に公表される。これは、アイデアがまずは本として出版される歴史学など、他の分野にはあてはまらない。私自身の専門である構造地質学の分野で新しいアイデアが本として出版された例としては、*Strain Facies* (E. Hansen

著, Springer-Verlag, 1971) だけが思い起こされる。しかし、この本とて、学際的アイデアとしてよりも、哲学的研究や褶曲方位を決定する独特の方法論としてより有意義なものである。

さて『Soft Plate and Impact Tectonics』であるが、この新刊書は地球科学界では非公式に議論されてきたある興味深い仮説を述べたものである。「プレートは剛体である」というプレートテクトニクスの基本的教義は、正しくない。この主張はどの山脈をみても明らかであり、おそらくMolnar (1988)にもっとも明確に述べられている。

もっと最近では、分散した変形があらわれるひどく広大な地域を記述するために「プレート境界地帯」という用語が用いられることに、かなり意味論的な議論が起こっている。Ribeiro は、すべてのプレート、とくに海洋プレートはあらゆる規模の内部変形を起こすと仮定して、この問題を回避している。彼は、この学説に興味深い、そして検証可能な修正を加えながらも、プレートテクトニクスを退けないでいる。

『Soft Plate and Impact Tectonics』の読後、私は、Ribeiro が正しいのか、それとも、少なくとも、プレート説が成立する可能性がきわめてわずかであるに違いないのか、いずれかであることを確信した。

この本の考え方は、海洋プレートの大部分は収縮と拡大を受けつつある、というものである。オレゴン州沖のGorda プレートや提案されたインドプレートの褶曲のように、海洋プレートが変形することを私たちは知っている。しかしながら、Ribeiro は、太平洋プレート全体にわたるかなり大規模で広く行きわたったプレート変形を議論している。それに含まれているのは、ジオイド異常、海洋リソスフェアの褶曲とブーディング化、および海洋プレート上の変形基準、といったものである。さらに彼は、この考え方が正しいか否かを決定するために、検証しうる仮説を提案している。

私は、第1章(わずか2ページしかない)を読まれることをお勧めする。これは、本書がいかなるものであるのかを判断するのにもっとも良い方法である。私は、この本の「まえがき」によっていくぶん興味を失った。さらに、この「まえがき」は本書にいささかも貢献もしていない。全般的にみると、この本の構成はうまくできていて、とくに幅広い話題が組み込まれていることがわかる。本書は測地学から構造地質学、さらに地球物理学にまでおよんでいて、その他の話題では、混沌とした学説や熱水変質についても短くふれられている。叙述はきわめて明瞭である。印刷にはいくぶんの問題があるが、読者の障害になるほどではない。Ribeiro は簡潔で適切な数式を用いているが、それらに力点をおいているわけではない。

最終章は、外来天体の衝突を明瞭に叙述している。この章はみかけ上、新しい課題に見える、たとえば柔らかいプレートテクトニクスに対する硬い衝突テクトニクスのように、歪速度がちがえば海洋地殻の力学的応答も異なることをRibeiro は重視している。彼は、地球が力学システムという意味で解放系であるとの概念をつかって、これら2つを組み立てている。

この最終章は、この本の主題をあつかったものであることは確かである。しかし、本書は全般的に自己撞着的である。

科学的には、いくぶんのコメントしか私はもちあわせていない。個人的にいらいらすることがらは、圧縮と引張は応力にかかわる用語、短縮と展張は歪をあらわす用語、収束と拡大は運動を示す用語である。これらの用語法における混乱は学界に多くの無用の混乱をひきおこすものであり、これらの用語は同じ物理的意味をあらわさない。たとえば単純剪断帯において、応力、歪および運動はすべて異なる方向を示す。この用語の混乱は、本書の全体におよんでいる。

Ribeiro は、また、海洋プレートの変形をおもにあつまっている。アパラチア造山最盛期の北米のように、大陸プレートも全体にわたって内部変形する。正確な測地測量によると現在の北米が剛体であるかのようにふるまうにしても、顕生代をつうじてその2倍の速度をもったことはない。Ribeiro の地質学的な見通しがもたらされたことによって、力学的挙動にみられるこれらの時間的変化をより幅広い人々に伝えることが有用になるだろう。

最後に、西イベリア大陸縁に力点がおかれることは、著書の研究基盤からみて適切であろうが、それはいくぶん偏狭で冗長にみえる。読者が知的いらだちを感じるであれば、それは、おそらくはこれらの章であろう。

『Soft Plate and Impact Tectonics』に贈る私の最高の讃辞は、読書を楽しみ、多くを学び、そしてみなさんに推薦することである。同じ教室に所属する地球物理学者に次期の大学院セミナーでこの著書を輪講テキストとして推薦しようと、私は考えている。もし他に何もなければ、本書の最初の部分は、大規模テクトニクスに関する現代の考え方を紹介した、比較的公平ですぐれた総説となっている。私の知るかぎりでは、それは他書にみられないものである。

本書は、大学院生にはたいへん有用であろう。私は、プレートテクトニクスをかなりよく理解した研究者に本書をお勧めしたい。『Soft Plate and Impact Tectonics』は、プレートテクトニクスが容易に妥当するものではないことを私たちに教えてくれる。事実、私たちの最大の課題が、新しく詳細な測定を実施する必要性に比べてはるかに深刻な問題であることを、本書は私たちに明示する。たとえば言う、私たちの視野を曇らせているやり方をさらに踏襲しようとしている、というわけである。

本書を読み、そして、プレートテクトニクス説に修正が必要であるかどうか、心をひらいてお考えになることを強くお勧めしたい。

文 献

Molnar, P., 1988. Continental tectonics in the aftermath of plate tectonics. *Nature*, v. 335, p. 131-137.

評者 Basil TIKOV
ウィスコンシン大学地質・地球物理学教室
Madison 市, アメリカ合衆国

火山噴火と大地震 VOLCANIC ERUPTIONS AND GREAT EARTHQUAKES

John C. GROVER, 1998. Volcanic eruptions and great earthquakes. Copyrights Publishing Co., P.L.
Brisbane, Australia. ISBN 1 875401 70 9

価格 US\$ 35.50 (A\$ 54.95) 含：梱包料+送料 海外への航輸には US\$ 15.00 を加算。
詳細と注文は出版社のウェブサイト：www.copyright.net.auへ。

(矢野 孝雄 [訳])

John Grover は南西太平洋における地質調査を担当した 1960 年代の責任者であり、1962 年の Lopevi 島の破壊的噴火の後には、地震と火山の関連について興味をいだくようになった。約 20 年間の活動休止期がこの大噴火に先行して、ソロモン諸島の英国系住民やニューヘブリディーズ諸島のフランス系住民は、地震観測所がこの地に設立されているながらも、この噴火事件をなぜ予知できなかったのか、地球科学者に問いたずら気持ちを強くした。Grover がフランス人地震学者 Claude Blot (読者への著者の紹介のように“blow”と発音される) に会ったのは、このような時期であった。Blot は激烈な噴火を予測するなんらかの方法を発見すべくデータを解析する仕事を担当することを申し出て、やがて、それをやってのけた。

Blot は、あきらかに休火山に見える火山の噴火には、マグニチュード 6 かそれ以上の大きな地震が先行し、それらがおよそ 500~300km の深度に発生したことを発見した。このような状況においては、深発地震の深度よりも上方に無地震帯が存在することがふつうで、それは、約 500~300km, あるいはそれ以浅の深度にひろがっている。次には、数ヶ月あるいは数年後になって中深度に現象があらわれ、その後ふたたび適度に時間を置いて、浅部に現象があらわれる。Blot は、これらの大地震の上方移動速度を測定し、その結果、明瞭な傾向を発見した。

これらの発見にもとづいて、Blot は火山活動の発生を、数日あるいは数週間という、かなりの確実度をもって予測できるようになった。彼は、1984 年のラバウル災害のような予兆のない噴火をも予測できるようになった。この噴火は、火道をふさぐほどには先行地震がおおきくなかった例である。これらの発見の結果は、(フランスにおいて) きわめて広く刊行され、刊行された文献は Grover の本に収められている。

それでは、Blot によるこの研究のつづきはどうなったのだろうか？ 彼は、フランス政府によって、地震も火山もないセネガルへ転勤させられた。この種の措置は特例ではなく、官僚たちは個々人の教唆(この場合には、ニューヘブリディーズ諸島に専門家がなくなる、という示唆)にもとづいて決定することを避けたい、という事実由来しているであろう。こうして、おそらく間違った決定がなされたという難事が、危険を生み出して

るように思われる。逆に、科学者集団の評判を悪くすることによって、このような危険な傾向が助長されていく。このように、Blot の予測の有効性をみとめたがらない傾向があり、逆に、地震発生がランダムであるという常識へ逃避しようとしたのである。

ことの正否をご自身で確かめたいという方には、Grover の本が、Blot の方法に関する適切な情報を提供している。ある程度の初歩的研究をするには、この解説者で十分である。Blot によって帰納されたように、地震の上方移動傾向は、確かに存在するよう思われる。さらに、超深発地震が上部マントルからの揮発性物質の離脱によって発生することを認めるならば、これらの移動傾向が一連のできごとと論理的説明を与えることになる。

以上のようにして、この実りある研究領域の意義を考察することができる。しかしながら、その後継者はほとんど、あるいは全くいないのである。実際にも、ニューヘブリディーズ諸島における地震研究のさきがけとなった Blot の研究は、焦眉の研究課題に関するものでありながら、フランスの友人たち (Dubois, J. et al., 1971. “Seismology and structure in the New Hebrides. Western Pacific Conf., Ed. P.J. Coleman, Univ. of W.A.) によって後続の出版物に引用されることさえなかった。

Grover の本は、地震予知の技術的側面にかぎらず、より多くのことがらをあつかっている。そのなかには、地質探査の歴史や開拓時代の南西太平洋の研究者についても記述されていて、火山は海から出現するとの説明も初めて公表される。あらゆる図書館に印象的な所蔵をもたらす書物として、本書は地球科学、そして、あるいは南西太平洋に興味をお持ちのみなさまにはすぐれた読み物になるだろう。

本書は、出版社から 49.50 豪州ドルで入手でき、より詳細はウェブサイト www.copyright.net.au でご覧いただける。

評者 Peter James
コンサルタント地質技術者、オーストラリア

日本海とオホーツク海地域の断層系：地質およびリモートセンシングデータによる比較分析
VOLCANIC ERUPTIONS AND GREAT EARTHQUAKES

GAVRILOV, A., 2002 Fault systems of Japan and Okhotsk Sea regions : Comparative analysis by geological and remote sensing data. Proc. 6th Pan-ocean remote sensing conference

(佐々木 拓郎 [訳])

要 旨：日本海およびオホーツク海にはそれを横断する大断層系が存在する。トランスフォーム断層は、地質ブロックの水平変動の規模を評価するための重要なラインであり、縁海形成の仕組みを制御すると考えられている。この問題を解決するうえで重要な役割をはたすのは、大陸、島弧構造および縁海底の断裂帯の比較分析である。ローズダイアグラムと破碎帯網の比較調査が、Primorye、朝鮮半島、サハリン、Priamuryje 南部、Priokhotje、日本列島地域において実施された。最初のデータには

1/1,000,000 スケールのリモートセンシング画像解読データとさまざまな縮尺の地質図及び地形図が使用された。大量のデータの統計処理値は、大陸地域の断層型と日本列島のいくつか断層の間、および Priokhotje とオホーツク海底との間において類似する要素 (element) の存在を示した。得られたデータは、深部断層の構造システムの実在性、および新生代の縁海形成過程における鉛直変動の卓越性を示す。

ニュース NEWS

(矢野 孝雄 [訳])

ICG フローレンス, イタリア IGC FLORENCE, ITALY

第 32 回万国地質学会セカンドサーキュラー (p. 54) から

POST-CONGRESS WORKSHOP (会議終了後の研究集会) PWO 09

NEW CONCEPTS IN GLOBAL TECTONICS: EMPHASIS ON SOME FUNDAMENTAL QUESTIONS IN GEOLOGY
(グローバルテクトニクスの新概念：地質学における基本問題を中心に)

期 日：2004 年 8 月 29-31 日

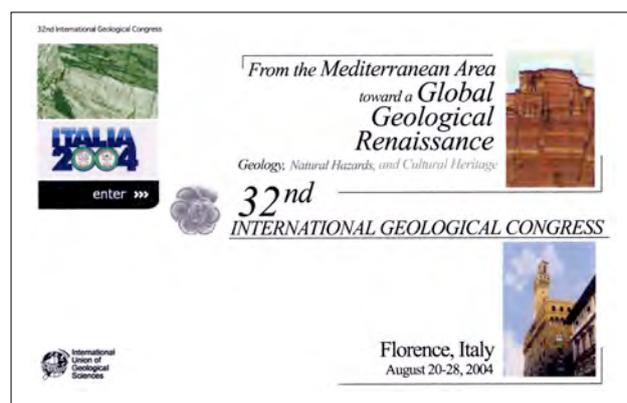
会場：Urbino 大学

コンピーナー：F.C.Wezel (Italy)

募集人数 (最少/最多)：20~40 名,

費用：25 ユーロ (フローレンスからウルビノまでの
交通費を含む, 食費含まず)

主 旨：この多分野的ワークショップは、とらわれな
い心と新しい知見でもって、地球科学の真の根本問題を
理解しようとするさまざまな学派の考え方の間に、直接
的な対決の機会を提供するものである。私たちは具体的
な知識を重視して、古くからの問題を新しい視野からの
検討を試みる。次のような話題について、発表を募集す
る：背弧海盆、リニアメント、地殻の過去・現在の応力
状態、山脈形成の原因、造構運動および火山活動の大き
なうねり (surge)、地質変化にみられる世界的主要事件。



第4回 国際-学際科学シンポジウム
VI INTERNATIONAL INTERDISCIPLINARY SCIENCE SYMPOSIUM

2003年9月23-26日 ロシア ハバロフスク

議長 N.P. Romanovsky 教授 (ロシア科学アカデミー極東支部 Yu. A. Kosygin テクトニクス・地球物理学研究所)
副議長 L.A. Maslov 教授 (ロシア科学アカデミー極東支部コンピュータセンター)
B.A. Voronov 教授 (ロシア科学アカデミー極東支部水・生態系研究所)

シンポジウムのセッション

- 1) 固体地球球殻の構造と進化にみられる規則性
- 2) 水圏：構造，ダイナミクス，進化および規則性
- 3) 地形空間 —最も活発な球殻間相互作用の領域
- 4) 鉱物資源と球殻間相互作用
- 5) 地球生態学：地球球殻への工業による天変的影響
- 6) 球殻間相互作用

登録用紙および原稿は，組織委員会秘書へ提出下さい。締切は2003年5月15日。会議参加に興味をお持ちのかたは，次のところへご連絡下さい。

組織委員会秘書 Margarita Luneva 博士

680000 Khabarovsk, 65, Kim Yu Chen Street Yu. A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics
Tel: (4212) 22-71-89 Fax: (4212) 22-76-84; 22-71-89 e-mail: itig@itig.as.khb.ru

反マントルプルームの新ウェブサイト NEW ANTI-MANTLE PLUME WEBSITE!
www.durham.ac.uk/g.r.foulger/plumes

アイスランドとイエローストーン地域で幅広い研究をおこなってきた地震トモグラフィの専門家 Gillian Foulger は，プルームに反対する議論を展開している。プレートテクトニクスを受け入れているが，いくつかの論文は良質のデータと含んでいて，注目すべき価値がある。

(この情報は，Tata 基礎研究所 [インド，ボンベイ] の Hetu Sheth から寄せられた。)

日本サブグループのコーナー

PDF ファイルでダウンロードできる地質年代表

最新の標準的な地質年代表 (2002 年度版) が，インターネットをつうじて無料で入手できます。手順は，次のとおり。

(日) IUGS 層序委員会 (Commission of Stratigraphy) のホームページ <http://www.micropress.org/stratigraphy/> をひらく。

(月) 左上のメニューから「Time Scale」を選ぶ

(火) 中央の8つのボタンから「downloads」を選ぶ

(水) 下の画面から，2種の層序表 (Stratigraphic Chart) をダウンロードする。

International Commission on Stratigraphy (ICS) Downloads section

International Stratigraphic Chart

- Download a PDF version using the color code according to the United States Geological Survey.
- Download a PDF version using the color code according to the Commission de la Carte Geologique de Monde, Paris.

☐(木) カラーの層序表がPDFファイルで届き，フォトプリント紙などに印刷すると見ばえのする層序表ができあがる。

ニュースレターへ財政上の支援を FINANCIAL SUPPORT FOR NEWSLETTER

(赤松 陽 [訳])

私たちは、個人で可能な方からは 30 米ドルあるいは相当額の、また、図書館に対しては 50 米ドルあるいは相当額の寄付を求めています。少額ですので、ばかにならない銀行手数料を避けるためにも、銀行為替手形か個人小切手を J.M. Dickins 宛にお送りいただくか、オーストラリアのコモンウェルス銀行 (Commonwealth Bank of Australia, Canberra City, A.C.T., Australia, Account No 2900 200 429) 宛、送金下さい。

何通かの小切手、そして／あるいは為替手形が NCGT あるいは New Concepts in Global Tectonics とのみ記した宛先に振り込まれましたが、これらの宛先では支払いがなされず、そのまま振込人に返送されました。

自国通貨が国際的に流通する国の方は、発行国の通貨立で個人小切手を切ってください。たとえば、もしカナダからの場合は、カナダドル立でというように。なぜなら、もし米ドル立で発行されると 40 ドル、豪州ドル立でならそれ以上の手数料がかかってしまいます。銀行為替手形は豪州ドル立で発行して下さい。もし、それらが米ドル立で発行されると、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は、支援金をお送りくださる際に一言、お知らせください。

ニュースレターについて ABOUT THE NEWSLETTER

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

目的は次の事項を含む：

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

2. そのような研究成果の転載および出版を行う。とくに検閲と差別の行われている領域において。

3. 既存の通信網では疎外されているそのような考え方と研究成果に関する討論のためのフォーラム。それは、地球の自転や惑星・銀河の影響、地球の発達に関する主要学説、リニアメント、地震データの解釈、造構的・生物学的変遷の主要ステージ、などの視点から、たいへん広い分野をカバーすべきものである。

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