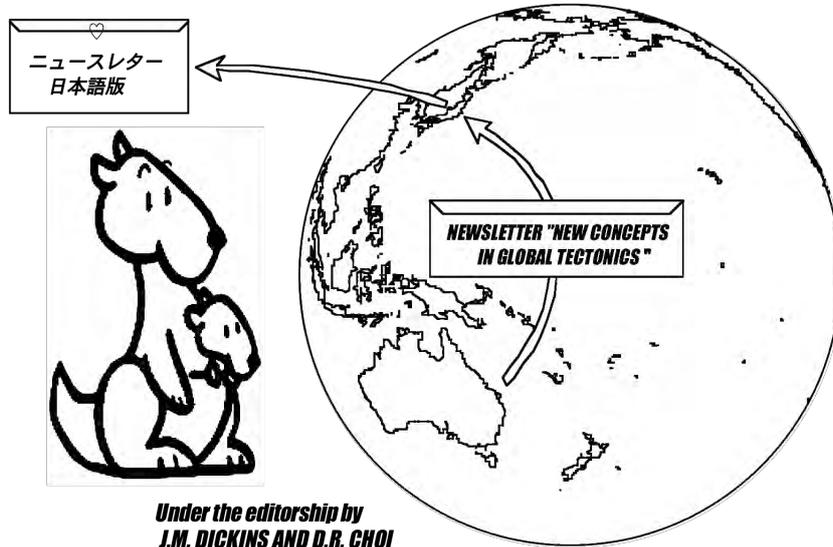

ニュースレター グローバルテクトニクスの新概念

NEWS LETTER New Concepts In Global Tectonics

No. 28 2003年9月(日本語版 2004年1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	中米海溝の構造的浸食	..... 7
■ ニュースレターへ財政支援を	..... 2	■ 論説	
■ 編集者への手紙	..... 2	LSWLB リニアメント	..... 10
■ ニュース		地質サイクルとテクトニクス解釈	..... 20
テクトニック気候学	..... 4	造山帯の深部構造	..... 23
新潟フォーラムレポート	..... 4	■ 出版物	..... 29
■ 討論		■ ニュースレターについて	..... 30
中米海溝 ガテマラ収束縁	..... 6		

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: nsgt@hotmail.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12月下旬に発行予定. 投稿原稿は2003年12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 小坂共栄
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

(矢野 孝雄 [訳])

科学における偉大な発見 Great Discoveries in Science

偉大な発見は、多くの方法でおこなわれる。1つの重要な方法は、知識の積み重ねの結果としてもたらされるものであり、それは、つづいて総合化ならびに以前には不可能であった飛躍的前進をもたらす。新概念グループは、現在、そのような時期の暁にいるのだろうか？ 本号や最近のニュースレター、そして NCGT グループの研究は、地球に関する多くの基本的事実を集積している。それには、増大する地球上の地形起伏 (Gao, Ollier and Pain) が含まれる。これは、現在の海洋と大陸がジュラ紀初期以降に形成される過程 (Dickins, Choi and Yeats, Rezanov, Vasiliyev, ほか) に関係しているのだろうか？ 海洋と大陸の測高的 (hypsographic) 二極性は、ジュラ紀～前期白亜紀の事件および白亜紀中頃にはじまる大陸棚の形成に関連していることは明らかである。これは、地球の脈動にも関連しているのだろうか？ 脈動は、ジュラ紀～白亜紀中頃以降における地殻とその伏在層の膨張および白亜紀中頃～現在の収縮と地球起伏の増大に代

表され、先行するサイクルにも類似する (舟橋, Laing, Wezel and Dickins). さらに、深部構造-隆起運動と地向斜の位置との間の相互関係 (舟橋, 藤田, 鈴木) や、リニアメント (Smoot) ならびに深発地震 (Choi) にも関連する。

原生代～顕生代の地球史に注目すると、地向斜の地理的分布パターンがいかにはげしく変化したかを知ることができる。最新の劇的な変化は、三疊紀/ジュラ紀境界に起こった。Storetvedt と舟橋の研究は、私たちにこの過程の理解をもたらすものであろうか？ 深部マントルとコアについていうと、そこで何が起っているのかは未だ不明瞭であり、私たちの研究から、何か驚くべき発見が導かれるであろうか？

この論説は、全体を包括したもので、また、投稿者を網羅したものでもないとは、もちろんのことである。

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、発行国の通貨立て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、カナダドル立てでというように。なぜなら、もし米ドル立てで発行されると 40 ドル、豪州ドル立て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てで発行して下さい。もし、それらが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は、支援金をお送りくださる際に一言、お知らせください。

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITORS

(矢野 孝雄 [訳])

■ 地震パターンについての追記 MORE ON EARTHQUAKE PATTERNS

Peter JAMES 98 Enoggera Terrace, Paddington, QLD 4064, Australia E-mail: ego5@brisbane.qld.gov.au

私の前回の投稿記事 (NCGT Newsletter no. 17) の図 3 は、深度方向への地震分布をいくぶん概念化して描いたものである。同号の Dong Choi 論文に図示されたよう

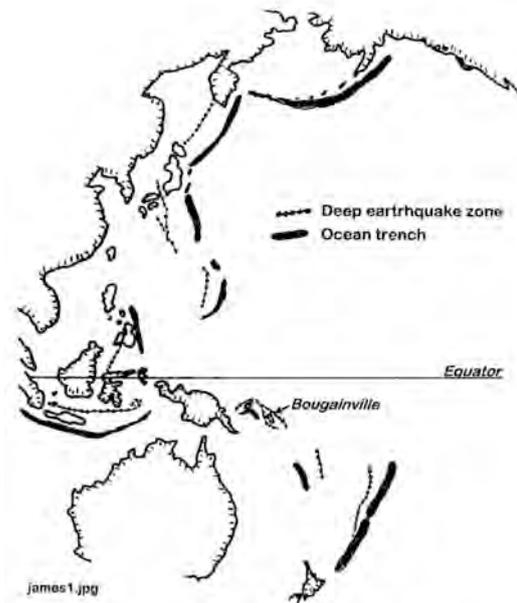
に、地震分布にはさまざまな変異性がある。とくに、その図に示されたベニオフ帯がともに地表付近までは到達しない場合があることに理由は存在しない。この

ようなことが起こっている場所では、2つのタイプの地震を区別することが困難になる。ベニオフ帯の下限は、少なくとも応力起源という前提にしたがうと、これらの帯を識別する指標になる。

もっとも浅層部（30～35km 以浅）では、地震活動は過剰静水圧を必要とせず、活動度はもっとも大きい。このようなところでは、すくなくとも地震波到達モードの解析なしには、いかなるパターンも認識することは不可能である。

これらまでに記述されていない深発地震帯のさらなる特徴の1つは、深発地震帯が陸塊を避けようとする傾向である。これは、Bougainville 諸島で顕著にみられる。日本やフィリピン南部では、深発地震帯は陸塊の下を通るが、ごく狭い部分を通過するだけである(図1)。Dong Choi の研究は、おそらく、この問題に何かの進展をもたらすことになるかもしれない。

前号のニュースレターには、誤植があった。Pp. 28 の最初の句点は、「(トンガ地域における) 火山群の欠落」に訂正する。



■ 地球をむしりとる DEPLUMING THE EARTH

Cliff OLLIER School of Earth and Geographical Sciences, University of Western Australia
E-mail: cliffol@geog.uwa.edu.au

NCGT の 2003 年 6 月号には、熱プルームの問題点、ならびに疑義をいだく人々がそれらを置き換えようとする理由を述べた論文が掲載された。

もうひとつの最近の適切な論文は、Gillian Foulger (2003)によるものである。彼女の指摘によると、全世界のプルーム数はいちじるしく増減した。すなわち、Tuzo Wilson (1963)によるホットスポットの発明と Morgan (1971)によるそれらのプルームへの転換おこなわれた時代には、20 個のプルームがあった。しかし、1999 年までには、その数が 5,200 に達した (Malamud and Turcotte, 1999)。ごく最近になって、Don Anderson (2003)が、プルーム仮説とその基礎をなす仮定について、猛烈な批判をおこなった。2002 年の Science Citation Index には数 100 のプルームに関する論文がリストアップされた。この事実は、プルーム概念が生きていて良好なものであることを示唆するが、おそらく、これらの概念はしだいに危ういものになるだろう。

事実、Gillian Foulger (2003)は、その地位について、いくぶん過言した。Malamud and Turcotte は、熱流量計算にもとづいて自らの結論に達し、彼らが想定した最小の“プルーム”は海山へのマグマ供給路であると考えた。こうして、最小規模のプルームを示す地表での証拠がもたらされた。Anderson (2003)は、「火山を呼称するのに、プルームという用語を用いるのは適切ではない」と指摘

した。いっぽう Courtillot et al. (2003)は、49 のホットスポットを検証し、超深部起源という必要条件を基準すると、わずか 7 個だけが“原初”プルームであると認定した。地球表層のホットスポットは 3 つの明瞭な起源をもつだろう、と彼らは示唆した。それにもかかわらず、さまざまな著者によって仮定された多くのプルームの規模には一桁におよぶちがいがあり、この事実が、私がプルームに興味をもった正当な理由である。

プルームの論理について貴重な論述をしているのは、Anderson (1999)である。彼によると、プルームという語彙には、揺籃プルーム incubating plumes, 原初プルーム starting plumes, 超大プルーム super plumes, 化石プルーム fossil plumes, プルーム頭部 plume heads, 同族プルーム plume families, 枯渇プルーム depleted plumes, 小プルーム plumelets, 偏進プルーム deflected plumes, 受動プルーム passive plumes, 空隙プルーム cavity plumes, 未成熟プルーム immature plumes, ‘真正’プルーム ‘real’ plumes, 熱プルーム thermal plumes, 化学プルーム chemical plumes, などが含まれる。そうだとすると、プルームとは何なのか？

Alice は「疑問は、あまりにも多くの異なったものを示す言葉を、あなたは造りうるのかどうか？、である」という。Humpty Dumpty は「疑問は、いずれが“おおもと”であるのか？、これが問題のすべてである」と述べた。

文 献

- ANDERSON, D.L., 1999. A theory of the Earth: Hutton and Humpty Dumpty and Holmes. In, CRAIG, G.Y. and FULLI, J.H. (eds.), "James Hutton—Present and future". Geological Soc., London. Special Publication 150, p.13-35.
ANDERSON, D.L., 2003. The plume hypothesis. Geoscientist, v. 13, no.8, p. 16-17.
COURTILLOT, V., DAVAILLIE, A., BESSE, J. and STOCK, J., 2003. Earth and Planet. Sci. Letters, v. 205, p. 295-308.
FOULGER, G.R., 2003. Plumes, plates and Popper. Geoscientist, v.13, no.5, p.16-17.

MALAMUD, B.D. and TURCOTTE, D.L. 1999. Three distinct types of hot spots in the Earth's mantle. Earth and Planet. Sci. Letters, v. 174, p. 113-124.
MORGAN, W.J., 1971. Convection plumes in the lower mantle. Nature, v. 230, p. 42-3.
WILSON, J.T., 1963. A possible origin of the Hawaiian Islands. Can. J. Phys., v. 41, p. 863-870.

■ 編集者へ

Chris SMOOT Hawaii, USA E-mail: Smoot001@hawaii.rr.com

私たち (Smoot and Choi) の新しい論文 "North Pacific megatrend" が, International Geological Review, v. 45, no. 4, p. 346-370 に掲載された. この論文は, プルームテクトニクスに対する反論にまさしく適したもので

ある. ニュースレターの最近号に掲載された Choi の地震論文は, ひろく注目されるに値する. 彼の深度分布図に色分けされた震央が何にみえるか, あなたは思い浮かべられますか? 沈み込みよ, さようなら.

ニュース NEWS

(岩本 広志 [訳])

地球気候研究所 新研究イニシアチブ "テクトニック気候力" (Earth Climate Research Institute ; ECRI), USA New Research Initiatives "TECTONIC CLIMATE FORCINGS"

南部エルニーニョ-南方振動 (ENSO) の変化に地震に関係するとの Walker (1988, 1995, 1999) によって示唆されたように, ECRI は気象学, 生物学, 海洋学, テクトニクスおよび太陽活動の間の確かな対応関係を見いだした. これは, 地球規模の気候変動にはこれまで知られていなかった地球物理学的なメカニズムが存在することを示唆している.

現在の ECRI の調査は, 多高度飛行ミッションにもとづく衛星リモートセンシングデータや他の高分解能リモートセンシングデータの間に関連性を実証し, 定量化することをめざしている. 歴史的な気候変化傾向を発生させ, そして, 最近の飛行データを利用した現在の

気候の兆候を研究するための多高度飛行ミッションを比較することによって, ECRI はこれらの間の関連性を実証し, よりよく規定することを期待する.

ECRI チームは 2004 年 8 月のフローレンスでの万国地質会議に参加するプランがあり, 世界的な地質コミュニティでのこれらの研究の予備調査から明らかとなったことを発表する. このプロジェクトの包括的な調査結果の査読誌出版は 2004 年の秋を予定している.

(より多くの情報は www.clinatascience.com, または David Orr か Bruce Leybourne, Earth Climate Research Institute, 2075 S. University Blvd., Suite 240, Denver, CO. 80210, USA へ)

NCGT 新潟フォーラム レポート REPORT OF NCGT NIIGATA FORUM

鈴木 尉元

〒272-0824 市川市菅野 4-4-15 E-mail: yasu-suzuki@vega.oen.ne.jp

NCGT 日本グループは, ボリス I. ワシリエフ博士 (ロシア科学アカデミー太平洋研究所, ウラジボストーク) を招待し, 2003 年 8 月 7 日午後, 新潟大学にて「世界地質図」フォーラムを開催した. 彼は 2000 年に出版された世界地質図の編集者の一人である.

このフォーラムでワシリエフ博士は世界地質図についての招待講演を行った. その時, 私 (鈴木) は日本列島と周辺部の中深度~深部発震機構の地質条件についての講演, 続いて足立久男博士が田山利三郎氏の 1930 年代~40 年代の太平洋西部の地形地質調査について紹介した.

ワシリエフ博士の講義は以下の通り:

地球の陸域は全体的に地質学的調査がおこなわれてきたが, 地球表面の約 70% を占める海域の地質学的調査はここ 30~40 年の間に進行したものである. この期間よりも以前には, 重力, 地磁気, 地震探査や地熱流量など貧弱な地球物理学的なデータが海域に関する情報源であった. このような時に, 大西洋中央海嶺での地磁気異常模様を根拠として, プレートテクトニクス説が提案された. この仮説は, 海底地質学的なデータによって検証されなければならない.

世界地質図は、最近 30 年間に獲得された岩石学的、鉱物学的、構造地質学的、古生物学的なデータに基づいて系統的にコンパイルされた。地質図はすべての海洋と縁海で得られた約 6000 のドレッジ試料と約 3000 の掘削試料に基づいて描かれた。これらのデータは多くの予期せぬ結果—たとえば、先第四系の堆積物や岩石の広域分布—をもたらした。

最初に出版された海底地質図は、1984 年刊行の日本海地質図である。何回かの地質調査航海が大陸棚域で実施されおこなわれ、大陸棚が大陸の性格をもつことが明らかとなった。大和堆も、白亜紀の堆積物と珪長質岩石に覆われた花崗岩からなる大陸の性格をもつことがわかった。

ベーリング海の地質は、周辺の大陸域地質図と対比されながら、極東地質図にまとめられた。ユーラシアプレートと北米プレートとの境界は、どこにも発見されなかった。

世界地質図に示された太平洋は、東部と西部の領域に区分される。西部領域は海嶺、海山、およびギューヨーで構成され、この地域の地質は新第三系を欠いていて、造構運動の側面では楕状地の特性に類似している。マリアナ海溝で噴出した玄武岩とアンカラマイトはプレートテクトニクス説と矛盾する。

東部領域は、多数の断裂帯の存在によって特徴づけられる。白亜紀と考えられる多くのオフィオライトのドレッジ試料は、大陸地域で認められるオフィオライトに類似する。結晶片岩、グラニュライト、蛇紋岩、ドレライト、玄武岩、および白亜紀石灰岩がドレッジされている。Clarion と Clipperton 断裂帯とそれらの周辺地域では、マンガノジュール探査のために、詳細な調査が行われた。ここでは、5km 毎に走っている多くの断裂が発見された。そこでは、グラニュライト、角閃岩および結晶片岩といった先カンブリア紀岩石、中生代の花崗岩、アノーソサイトおよび堆積岩がドレッジされた。これらの岩石はアメリカ大陸の楕状地の残存物であることが示唆される。

ワシリエフ博士は、これらのデータに基づいて、前期ジュラ紀の浅海に大量の玄武岩溶岩流の溢流し、それについて太平洋がジュラ紀末に形成されはじめた、と結論した。

インド洋での調査では、インド洋の地質が、花崗岩年代が 5~6 億年であるマダガスカル島とセイシェル諸島に類似していることが示された。

大西洋は、海嶺と海盆で構成される。古期岩石と古期堆積層は両側の大陸の近くに、新期の岩層は大西洋中央海嶺に分布する。このような地質は、海洋底拡大説に矛盾する。ワシリエフ博士は、これらのデータにもとづいて、大西洋中央海嶺は大陸性で、海面上に隆起していたが、のちに白亜紀になって海洋環境に変化した、と推測した。

北極海は浅海の大陸棚と中央海盆で構成され、大陸棚は 70%の面積を占めている。海嶺は大陸性岩石からなる。

『世界地質図』は、海底地質が陸上地質に比肩して複雑であることを示す。現状の海底地質調査のレベルは、200 年前の陸上地質の段階にあり、多くの問題が未解明である。たとえば、北西太平洋に分布する多くのギューヨーが珊瑚礁を載せていないのは何故か、これが一つの問題である。ワ

シリエフ博士は、海水は堆積物（懸濁物）に満ちていて、中生代には珊瑚礁の成長を阻害した、と暗示した。その後、古第三紀□ 新第三紀に珊瑚礁が形成されたが、それは、島弧の形成によって太平洋への懸濁物質の流入を防いだからである。

私は、数 10km の幅をもつ中-深発地震活動帯が、幅 100km の非活動帯によって分離されているにもかかわらず、中~大規模浅発地震が日本列島の活動帯で起こることを示した。これらの中-深発地震は、北西側のアジア大陸と西側のフィリピン海に向かって深度を深める。深発地震と浅発地震の間の鉛直的な関係は、和達 (1927, 1928) によって指摘済みのことからである。日本海とその周辺域における中-深発地震は、地形境界の一般的方向に並走する幾つかの帯に沿って発生する。P 波発散パターンから推論される断層面は、これらの帯にほぼ平行となり、日本海は数 100km の深さを有する垂直な根を持っていると考えられる。

中-深発地震帯は、上昇するアジア大陸ブロックと沈降する太平洋ブロックとの間の境界に沿って生ずる応力・歪の集中の結果として形成されたにちがいない。これらの運動の営力は、運動のひろがりから判断すると、マントル底部で与えられるものと判断される。日本列島におけるおのおのの地質構造は、発震パターンから判断すると、水平方向のひろがりと同程度の深さの根をもっているにちがいない。

足立博士は、田山利三郎氏による 1930 年代□ 40 年代の太平洋西部の地形地質調査について紹介した。田山氏は地質学および古生物学的証拠をもとに、個々の島の段丘を他の島々のものと対比した。彼はおのおのの島の層序表を示し、他の島々のものと対比した。マリアナ、ヤップ、およびパラオ諸島のような西部諸島では、石灰岩に覆われた始新世の流紋岩と安山岩、漸新世の集塊岩が、先第三系の花崗岩や花崗閃緑岩に累重する。カロリン、マーシャル、中央諸島のような東部諸島では、始新世の玄武岩・粗面岩、中新世□ 鮮新世の玄武岩が石灰岩に覆われている。田山氏は、全体として、西部諸島が隆起し、いっぽう東部諸島が沈降してきた、と主張した。田山氏の報告は、太平洋南西域の地質の鍵を提供し、『世界地質図』にも引用されている。

『世界地質図』と『オホーツク海地質図』が会議場の後の壁に貼り出され、太平洋から採取された 19 個の岩石試料が、これらの地質図の下に展示された。幾つかのサンプルは、水深 8,000~9,000m からドレッジされたものである。13 試料は玄武岩、他はドレライト、ハンレイ岩、フィリピン海北部からの石英閃緑岩。これらの岩石は、新第三紀から後期ジュラ紀-前期白亜紀の年代である。古い岩石は、陸域から採取されたものと同様、新しい岩石と岩相が違っている。水深数 1000m の海底下から採取されたにもかかわらず、ほとんどの玄武岩は多孔質である。ワシリエフ博士は、いくつかの岩石は多孔質で赤色に酸化しているの、凝灰岩と凝灰角礫岩を伴って浅海で流出したに違いないと語った。ほとんどの聴衆は、彼のコメントに同意していたようである。

ワシリエフ博士は、カムチャツカ半島、チュコト半島、シコターリン、サハリン、モンゴルで、彼の人生の半分を通して地質調査に従事した。海洋調査においても、彼は様々な深度で系統的なドレッジをおこない、海山と断裂帯の断面図を示した。このような調査は、地表調査における地質

家を思い出させる。深海でのドレッジ調査は、決して楽な仕事ではない。氏は、深海調査時に遭遇した一つのエピソードを紹介してくれた。彼は、船上ですべてのドレッジバケットを失ったことがあり、船内で簡易ドレッジバケットを調達することにせまられた。彼は、燃料タンクを半分に切り、底に網をくっつけた新しいバケットをつくった。この航海後も、彼は同様のバケットをつくった。こうして廉価で、効率的な新型のバケットができあがった、とワシリエフ博士は語った。

ロシアは、ソヴィエト連邦時代以来、多くの世界的地質図を出版してきた。2000 年に出された『世界地質図』は、陸域と海域を統一的な凡例によって描きだした世界最初

の地質図である。この出版は、今後の地球科学の進歩の礎をなすものとして、高く評価される。

ワシリエフ博士は「地質構造と太平洋の起源」と題する講演を、地学団体研究会新潟総会の学術シンポジウム（8月10日／於：新潟大学）で、「太平洋と縁海の地質図づくり」を8月12日に信州大学で行った。

これらの会合で、イワン・ユーゴフ氏は、ワシリエフ博士の講演を即座にかつ正確に日本語に通訳した。我々は、彼の熱心な努力に対して、心からの謝意を表したい。

討 論 DISCUSSION

— 中米海溝 — ガテマラ収束縁スラスト運動のさまざまな解釈の概観

— MIDDLE AMERICAN TRENCH — OVERVIEW OF DIFFERENCES OF INTERPRETATIONS OF THRUST FAULTING AT THE GUATEMALA CONVERGENT MARGIN

James N. MURDOCK

611 Green Valley Dr. SE, Albuquerque, NM 87123, USA E-mail: j.n.Murdock@att.net

(久保田 喜裕 [訳])

ガテマラ地域の私の解釈は、Choi による別の解釈（たとえば Choi, 1999 参照）と同様、NCGT の読者に知られているかもしれない（Murdock, 1999 参照）。しかし、“典型的な”収束縁のスラスト運動に関する厳格なプレートテクトニクス擁護者—すなわち von Huene (2003) —の議論は、実際にも、啓発されるであろう。この von Huene (2003) の記述は、EOS に掲載された私のコメント（Murdock, 2003）に対する応答である。私のコメントは、von Huene と共著者 (2003) による中央アメリカ地域への試論について、論じたものである。提唱された試論は、プレートテクトニクスモデルの古典的なスラストを想定していると思われる。私は、下記の概観において、von Huene による論点と私のそれとの正当性 (strength) に審判が下されるであろうことを示す。

EOS において私は、あらたに次のように述べた。すなわち、少なくとも過去 100 万年間、ガテマラ沖の海溝埋積物は、一桁のオーダーで古すぎて、型にはまったプレートテクトニクスモデルのいう大規模スラストによる変位を認めることができない。（埋積物の年代は Aubouin ほかに 1982 の DSDP による二つのボーリング地点で報告されている。）型どおりのモデルは、海洋プレートによって海溝埋積物が陸側へ運ばれて、陸側海溝斜面下にアンダースラストし、同時に、陸側海溝斜面が構造的に浸食されることを示す（たとえば、von Huene and Scholl, 1991 参照）。（構造的侵食は、大規模衝上運動の証拠が欠如していることを部分的に説明するために想定されたものである。）報告されているとうりであればプレートは 70-80km/m.y. で収斂しているが、海溝の幅は約 4km 以下である。したがっ

て、型どおりのモデルを適用するにはこの埋積物は若すぎるので、適用は合理的でない、と私は述べた。ボーリング地点 499 の産出化石によると、報告されているとおり、海溝中央部の埋積物（層厚 100m）はほぼ 40 万年前である。ところが、もし型どおりのモデルを適用するとすると、海溝中央部では 3 万年より若くなるはずである。さらに、地点 500 は陸側斜面麓に位置しながら、産出化石にもとづくと、報告されているとおり基底埋積物は 100 万年より古い年代になる（図 9, Leg67 報告書の 324 ページ）。しかし、型どおりのモデルでは 6 万年より若くなるはずであろう！

彼の返答には、von Huene は海溝堆積物の年代から収束速度を試算する手法 (ability) に関する Leg67 研究者たちのコメントが添えられている。このコメントは、その研究者らが一桁のオーダーで古すぎる年代を示す埋積物のモデルを考察していた 1982 年に作られた。（反証なしで私がいくつかの機会に記してきたように、Leg67 報告書の p. 268 にある [プレートの] “滞在時間 residence time” を計算する際に、あきらかに誤った年代がケタ違いのエラーとして算出されている。）しかし、彼の所見の結果、地点 499 と地点 500 の化石の年代は、Leg67 報告書の記載から個別に見積もられることが必要であろう。あるいは、その記載が充分でないならば、化石そのものから見直す必要がある。Leg67 の研究者らも使用しているが (p. 268)、現在いわれている 4 km の代わりに、私が海溝の幅を 2.8km として計算しているのに対する von Huene の反論は、上述したように、まったく私の論点には影響しないであろう。

中米地域の海溝堆積物層は、ほとんど変形することなく、海溝の陸側斜面下に広がっている。このことは、von Huene と私が了解しているように、Leg67の地震断面とコスタリカ沖のODP Leg170の地震波とボーリングデータの両者によって示されている。もし、その埋積物がLeg67地域でアンダースラストしてきたとするなら、私は、地点500で報告されたその年代（私はほぼ正しいと想定している）は過去100万年間の変位総量がたった数kmに限定されるであろう、と主張する。一方、その埋積物は、プレートテクトニクスモデルによって要求された変位（von Huene et al., 1980, p. 431）を説明しないことをのぞいては、von Huene自身が妥当と認めているように、スランプ作用によって埋積されてきたはずだ。（スランプ作用はまた、von Hueneが彼の返答の中で述べているLeg67の浅海性の岩相や動物化石を説明することができるであろうか？）もし、スランプ作用が地層を埋めてしまったなら、よく実証されている陸側地域のスラストタイプの地震が埋没（blind）スラストの影響であるかもしれない、と私は主張する。埋没スラストは海溝地域の顕著な構造的変形の欠如を説明するであろう。しかしながら、それは過去100万年の間、海溝のスラストのように、ほんの数km

の収束には貢献したはずだ。ごくわずかな変位は、今日の急速な収束が過去100万年間にふたつの断層候補のいずれかが作用することができたことを意味している。

対照的に、von Huene (2003)は、中米の火山の溶岩から発見されたベリリウム10（たとえばTera et al., 1986参照）は海溝埋積物と海洋堆積物の長期（何百万年）にわたる急速なサブダクションという画一的なモデルで説明している。おそらく、これらのベリリウム10を取り入れた堆積物は、サブダクションによって約100km陸側に急速に運ばれ、火山のマグマ中に混入した。この主張の強みは、彼が参照している報告書を読むことによって、さらに評価されることができる。

最後に、我々の異なった見解は、Leg67の概観として、とくに、von Hueneが埋没スラストに対する彼の反論を述べている地塁の“サブダクション”（p. 731）に関する所説として、評価されるかもしれない。

文 献

- AUBOUIN, J., VON HUENE, R., et al., (1982). Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj., Leg 67. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
CHOI, D.R., (1999). Geology of the east Pacific: Middle America trench, New Concepts in Global Tectonics, n. 12, p.10-16.
MURDOCK, J.N., (1999). Unrecognized failure of a critical test of strict Plate Tectonics, the trench region offshore of Guatemala, and a comparison to the Aleutians., Part IV, New Concepts in Global Tectonics, n. 12, p. 2-9.
MURDOCK, J.N., (2003). Comment on "Discussions of ODP leg 205 and drilling of Middle America seismogenic zone", Eos, Trans., AGU, v. 84, p. 303.
TERA, F.L., BROWN, L., et al., (1986). Sediment incorporation into island arc magmas: Influences from ¹⁰Be. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 50, p. 535-550.
VON HUENE, R., (2003). Reply to: Comment on "Discussions of ODP Leg 205 and drilling of Middle America seismogenic zone", Eos, Trans., AGU, v. 84, p. 303.
VON HUENE, R., ALVARADO, G., et al. (2003). Discussions of ODP Leg 205 and Drilling of Middle America Seismogenic Zone, Eos, Trans., AGU, v. 84, p. 91.
VON HUENE, R., AUBOUIN, J., et al. (1980). Leg 67: The Deep Sea Drilling Project Mid-America trench transect off Guatemala, Geol. Soc. Am. Bull., Part I, v. 91, p. 421-432.
VON HUENE, R., and SCHOLL, D.W., (1991). Observations at convergent margins concerning sediment subduction, subduction erosion, and the growth of continental crust, Rev. Geophysics, v. 29, p. 279-316.

中米海溝における構造的侵食へのコメント COMMENT ON TECTONIC EROSION IN THE MIDDLE AMERICAN TRENCH

Dong R. CHOI

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

(久保田 喜裕 [訳])

ごく最近の *Eos* における Murdock と von Huene の議論（v. 10, no. 23, p. 303, 2003）では、von Huene が、この地域での多くの地震反射記録で充分描写されたように（Hinz et al., 1996 参照）、次のように記述した。“海溝軸でのプレート境界スラストの存在が明白に実証された（Kimura et al., 1997）”。彼の主張を検証するために、私はコスタリカとニカラグア沖の中米海溝における地震

断面の公表データを再解釈した。紙面の都合で、私はここではコスタリカ沖で記録された Kimura et al. (1997) のひとつの断面だけを紹介する（図1）。

この断面は、1970年代後半に当時の EXXON グループ（たとえば Vail ら, 1977）が提唱したシーケンス層序の手法によってうまく解釈されている。全部で5つの層序単

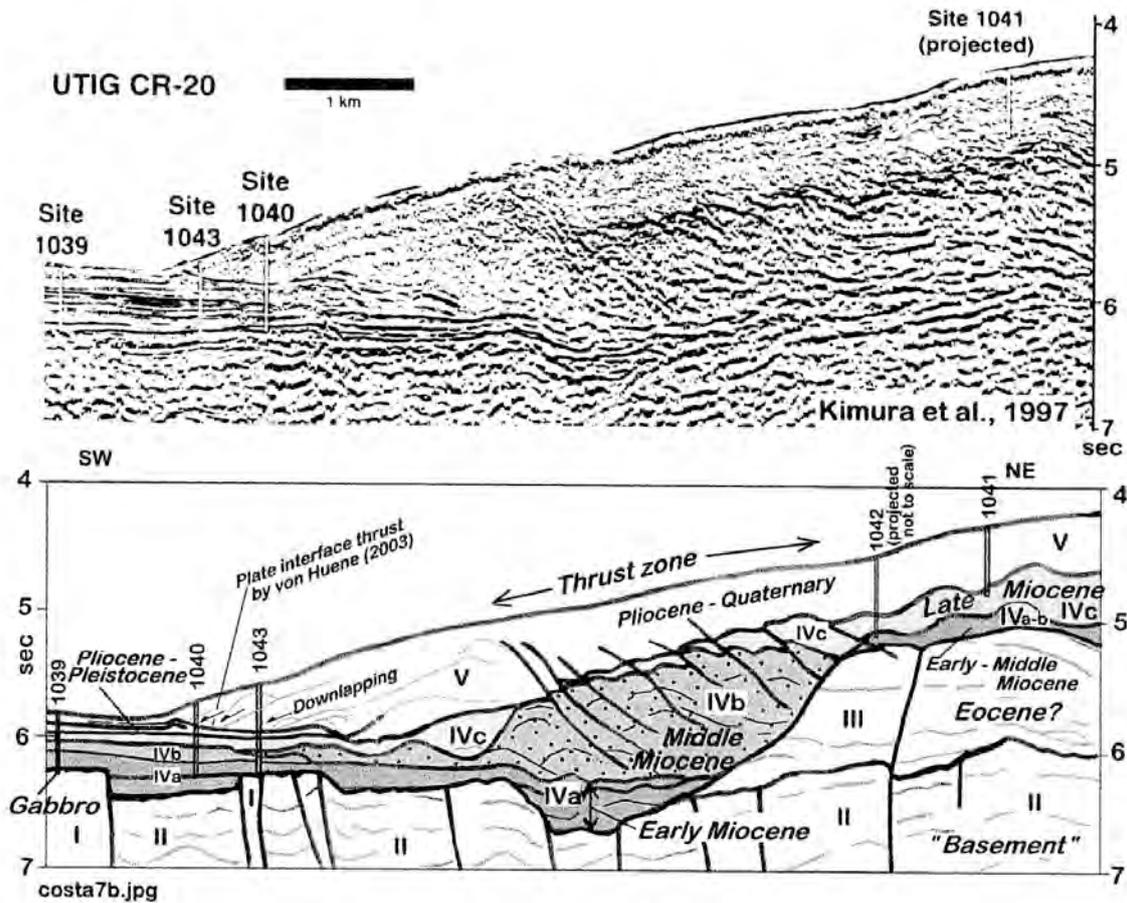


図1 コスタリカ, Nicoya 半島沖の海溝から大陸棚斜面中央にかけての震探断面の再解釈. 上図は YTIG-20 ライン, ODP Leg170 (Kimura et al., 1997). 下図は私の解釈図. 垂直縮尺は往復走時. 陸棚斜面下方にスラスト帯がよく発達しているが, それは大陸斜面の中部から上部の堆積物の過剰荷重が引き金になったと考えられる. 陸棚斜面のつま先部分は, よく発達した海進作用やダウンラッピング作用による堆積パターンによって特徴づけられる. このダウンラッピング作用による陸棚斜面堆積物と水平に堆積している海溝堆積物との間の境界は明らかに堆積関係であり, 構造起源ではない: それは海洋プレートのアンダースラスト面を示しているのではない. 基盤ユニット (ユニット I, II) は地塁-地溝構造を示しているが, それは展張テクトニクス形態を示し, サブダクション-侵食仮説にもとめられるような圧縮形態を示してはいない. シーケンス層序学的方法は, 教科書で説明されているようなこの断面の解釈に簡単に応用できる. それぞれのユニットの年代認定は引用したものである. この断面で明瞭にみられるように, 海洋地殻は, サブダクションもしていないければ, 侵食もされていない. 主張されたプレート境界スラストと構造的侵食は, この地域には存在しない. 現在の海溝地域は, ユニット III (始新世?) の堆積後, 前期中新世の海進の前までに, 地表で侵食されてきたに違いない. 前期中新世の海溝は現在より約 4 km 東方に位置していた.

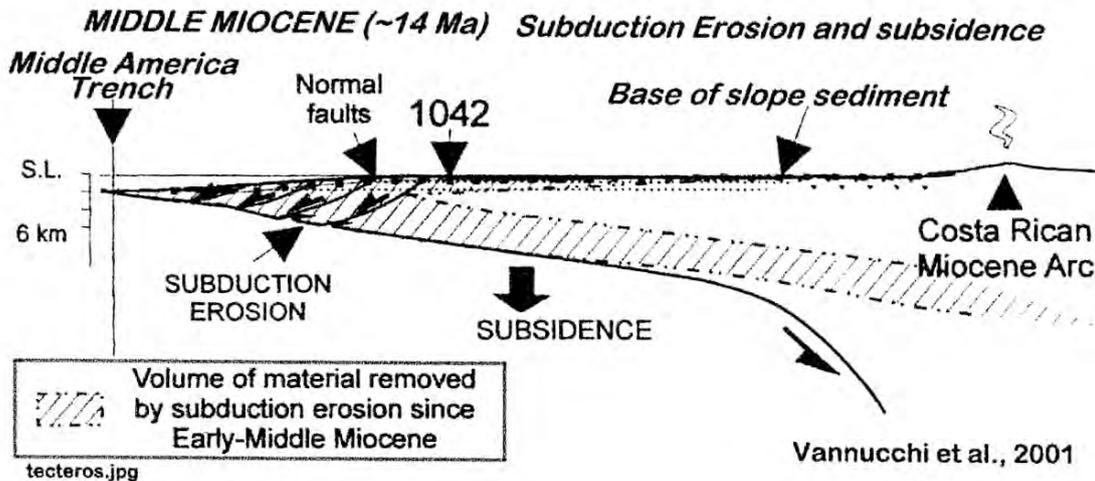


図2. Vannucchi et al. (2001)による中米海溝へ適用されたサブダクション侵食モデル. American Geophysical Unionの許可を得て転写. それらに関して, プレートの上部堆積物は, 巨大な岩塊 (ほぼ厚さ 1-2 km, 長さ数 10km) として縁の基底部から取り除かれることによって, プレート下部へ移動させられた. このモデルと海溝と陸棚斜面の実際の地質を示している図1を比較せよ; サブダクション-侵食モデルはこの確たるデータによって支持されない.

元がその断面で識別できる；上位へ向かって I から V が重なる。ボーリング（地点 1039 と 1040）は、ユニット I の頂部で、輝石斑れい岩に達した（Kimura et al., 1997）。ユニット I は、近隣の陸上では Nicoya 複合岩体に対比されるであろう。ユニット II と III は貫いておらず、それらの年代や組成は不明である。しかし、ユニット II は明らかに堆積岩起源の明瞭な層状構造と褶曲構造を示している。このユニットは、その層準から、図 1 の約 300km 北方のニカラグア太平洋縁で Ranero et al. のいう“基盤岩”に対比することができる。図 1 のユニット III はよく成層することから、おそらくニカラグア沖のユニット I（中部始新統）に対比されることができる。

海溝底下のユニット IVa は、掘削孔 1039 と 1040 で再び現れる下部中新統の遠洋性～半遠洋性堆積物からなる；それらは高海水準期に堆積した。新期の海水準変動サイクルは相対的海水準が低下した中期中新世に始まったことは明らかである。海底地滑り□スランプ堆積物（ユニット IVb）の厚いウェッジ（くさび；wedge）は陸棚斜面に溜まっている。このユニットは低海水準期の典型的な堆積パターンを示している。この時期の浅海堆積物は地点 1042 で確認されている；それは十分な広さの“サブダクションプリズム反射の頂部”（あるいは“陸棚斜面堆積物の基底”；Kimura et al., 1997）を貫いている。その堆積物は角礫であることが明らかにされ、おそらく中□後期中新統の基質支持角礫岩、海緑石砂岩の薄層を伴うシルト質粘土岩、および石灰岩に達している（Kimura et al., 1997；Vannucchi et al., 2001）。後期中新世には、堆積の中心は相対的海水準の上昇により、陸棚斜面上方へ移動した。ユニット IVc は海進堆積物と呼ぶことができる。ユニット V（鮮新統—第四系）は高海水準期のユニットであり、半遠洋性、タービダイト、スランプ、さら

に土石流堆積物の混在したものである（Kimura et al., 1997）。後者の 3 つの堆積物は、通常、陸棚斜面上方に位置する古い堆積物を取り込んでいる。このことは、地点 1040 と 1043 での深度による年代が明らかに逆転していることを示している；更新統の上に鮮新?—更新統。

Leg170 掘削報告書では次のように記している；地点 1040 では“我々は、ウェッジ堆積物の範囲では、ごくわずかの信頼できる地質構造情報しか記録できなかった。残念なことに、このようなことはデコルマン帯でも同様であった”，さらに、地点 1043 では“デコルマン帯（海面下 141.50–150.57m）は、わずかに破碎された初生的で不明瞭なファブリック（incipient scaly fabric）を示すにとどまった... 地点 1043 のデコルマンの底部は、らせんドリルが攪乱の影響を極度に受けたため、観察された構造形態は疑わしい（Kimura et al., 1997）”。これらの緒言は、明らかに次のことを意味している。すなわち、もし、アンダースラスト作用が本当に起きているならば、それはごく小規模なものである。

シーケンス層序の観点からは、von Huene (2003) によって主張された“プレート境界スラスト”は、高海水準期の海進作用や陸棚斜面堆積物のダウンラップ作用に関係した、明瞭な時間間隙やトランケーション（時間間隙を伴う削剥現象）である。それはアンダースラストする海洋プレートにより変形された面ではまったくあり得ない。私が調べた限り、ガテマラ（Choi, 1999）を含む他のすべての中米海溝断面（Hinz et al., 1996；Ranero et al., 2000；von Huene et al., 2000）は同様のシーケンス層序パターンを示している。サブダクションや構造的侵食（tectonic erosion, 図 2）が中米海溝で生じてきた事実はないことは明らかである。

文 献

- CHOI, D. R., 1999. Geology of East Pacific: Middle America trench. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 12, p. 10-16.
- HINZ, K., von HUENE, R. and RANERO, C. R., 1996. Tectonic structure of the convergent Pacific margin offshore Costa Rica from multichannel seismic reflection data. *Tectonics*, v. 15, p. 54-66.
- KIMURA, G., SILVER, E.A. BLUM, P., et al., 1997. *Proceedings of Ocean Drilling Program, Initial Reports*, v. 170. College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- MURDOCK, J. N. and von HUENE, R., 2003. Comment and reply on "Discussion of ODP Leg 205 and drilling of Middle America seismogenic zone". *Eos, Transactions, Amer. Geophys. Union*, v. 84, no. 32, p. 303.
- RANERO, C. and von HUENE, R., and FLUEH, E., 2000. A cross section of the convergent Pacific margin of Nicaragua. *Tectonics*, v. 19, p. 335-357.
- VAIL, P.R., MUTCHUM, R.M., Jr. and THOMPSON, S. III., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In, PAYTON, C. E. (ed.), "Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration". *Amer. Assoc. Petrol. Geologists Memoir* 26, p. 83-97.
- VANNUCCHI, P., SCHOLL, D. W., MESCHUDE, M. and McDOUGAL-REID, K., 2001. Tectonic erosion and consequent collapse of the Pacific margin of Costa Rica: combined implications from ODP Leg 170, seismic offshore data, and regional geology of the Nicoya Peninsula. *Tectonics*, v. 20, p. 649-668.

ラインスターーサウスウェールズーロンドンーブラバント深部断裂もしくはリニアメント：
歴史、鉱化作用、およびいくつかの意義THE LEINSTER-SOUTH WALES-LONDON-BRABANT DEEP FRACTURE OR LINIAMENT: HISTORY,
MINERALIZATION AND SOME IMPLICATIONS

J.M. DICKINS

Innovative Geology, 14 Bent St., Turner ACT 2612, Australia E-mail: jmgad@ozemail.com.au

(川辺孝幸 + 矢野孝雄 + 柴 正博 + 佐々木拓郎 + 小泉 潔 [訳])

地質構造とテクトニクスおよび火成活動など、堆積岩的・地球物理学的資料に基づけば、このリニアメント(図1)は明白に識別でき、シルル紀、デボン紀、石炭紀、三畳紀およびジュラ紀に活動的であったことがわかる。先カンブリア紀、カンブリア紀そしてオルドビス紀の大規模火成活動は、リニアメントと関連性を持っていることを示唆し、また、オルドビス紀の構造軸および堆積軸も関連性を示唆している。白亜系と古第三系は、このリニアメントの影響をこうむっている。ヘルシニア(パリスカン)およびアルプス-ヒマラヤ造山時相に、このリニアメント構造が再活性化した。さらに、カレドニア造山時相はNE-SW方向であったが(より古期の地質構造も)、それはこのリニアメント構造を活性化させ、とくにウェールズ南西部では、リニアメントとの接合部において、この期間のさまざまな時期にくりかえし火成活動をひきおこした。

いつ起こったのかはこの研究の目的ではないが、このリニアメントは、カレドニア、ヘルシニア(パリスカンまたはアモリカン)そして、アルプス-ヒマラヤの3つの地相の発達に重要な特徴を示している。この構造要素に関する古典的な理解、さらに最近30年間大きく息を止められてきた地相の発達史に、これらの意義がつけかわえられた。それらの要点は、次のとおりまとめられる。

1. 周期的な地相発達の構成要素は、前期の引張性の強烈な沈降運動時相(おもに塩基性の大規模火成活動をともなう)と後期の褶曲時相(さわめて広域的な中性・酸性の爆発的・火成活動および花崗岩質マグマの大規模侵入をともなう)からなる。深海タービダイトは前半の引張性沈降期にも存在するかもしれないが、真のフリッシュ堆積物は第2段階(後期)にのみ認識される。これらの段階性は、汎世界的に認められる特徴である。
2. 後期段階での圧縮作用は、引張性地溝(部分的には、“背弧”地溝)の形成によって応力的起伏(stress relief)をもたらす。この地溝には火成活動が集中し、深部地殻断裂がマントルに達すると、部分熔融と塩基性溶岩の噴出をひきおこす。
3. 圧縮性の後期段階には、地相の反転が完成する。

4. 第2時相の対の変成帯：“前弧”に高压低温型，“背弧”に高温低压型がそれぞれ伴われる。

現在の地向斜は第2段階の圧縮時相にあるので、これらの特徴のすべてが認められる。前半期の引張時相は、ジュラ紀初期にはじまり、白亜紀中頃(Albian 中・後期)までつづいた。これらは、地向斜の形成とその発達過程におけるリニアメントとの間の本質的な関係であると考えられ、たとえば、日本の中央構造線(構造帯)とフォッサマグナにみられる。深部地殻構造のようなリニアメントは、流行している考え方とは違って、超塩基性岩帯やオフィオライト層序の形成と関連しているであろう、との示唆がある。しかし、この問題は、本論文の目的からはずれる。

現在稼行中の鉱石生産はこのリニアメントには関係していないが、それは、いくぶんの亜鉛・銅・銀・金および重晶石をともなう主要な鉛・銅・亜鉛床区に位置している。鉱化作用は、いろいろな時期にくりかえし発生し、鉛、銅、重晶石および鉄が、このリニアメントにそって産出する。

多くの文献に、地球規模にひろがるリニアメントのネットワークが記載されていて、それらは多角形構造をつくりだしている。この多角形構造は、原初地殻に形成された。この基本構造により新期の構造が累重したが、多角形構造は、現在にいたるまで活動的でありつづけた。それらは、一般に、南北および東西方向にのび、そして、共役関係にあるNE-SWおよびNW-SE方向のものが卓越する。この研究であつかうリニアメントは、これらの主要構造の1つであることは明らかである。このリニアメントは、最近の文献では、注目されることはなく、しばしば見落とされてきた。しかし、それらは主要な鉱化作用に関連しているため、これらのリニアメントが鉱物探査においてうまく利用されてきた。

序 文

オーストラリア東部の地向斜性二畳系が2つの主要相によって特徴づけられていることは、今日ではひろく知られている(Dickins 1987, 1987b, 1988, 1988b, 1989, 1992, 1997; Collins, 1991; Korsch et al., 1992a and b; Dirks, Offler and Collins, 1993; Veevers, Conaghan and Shaw, 1993; Fielding, Stephens and Holcombe, 1997)。下部

二畳系（基本的にはロシア型の層序にもとづいて二畳系には二分法がもちいられる）は引張性で、特徴的な構造は半地溝である。いっぽう上部二畳系は圧縮性で、場所によっては強く褶曲し、衝上断層運動をとともなう。あまりひろく認識されていないことではあるが、下部二畳系には塩基性火成活動が、上部二畳系は中性□酸性火成活動が優勢である。そして、上部二畳系にかぎって、真のフレッシュ堆積物が認められる。以上は、古典的地向斜サイクル（組み合わせ）である。

同様にあまり認識されていないことであるが、オーストラリア大陸の他の部分では、下部二畳系が引張性の構造をもっている。一般に、下部／上部二畳系境界に関連した一定度の非整合、不整合、あるいは堆積間隙が存在する。しかし、上部二畳系の構造特性は明瞭ではない。ただし、西オーストラリアの Canning 盆地では最下部三畳系以前に褶曲作用が知られる。東オーストラリアでは、褶曲と中性□酸性活動が三畳紀までつづいた。造山運動は、二畳紀中頃にはじまり、三畳紀までつづく。Brown and Carey (1938)は、これを Hunter-Bowen 造山とよび、私がインドシナ造山の代わりに使用してきた Hunter-Bowen (Indosinian) 造山が、同じ造山時相を示すことは明らかである。三畳紀／ジュラ紀境界に関係する主要な造構的变化が、東西オーストラリアでともに見出される。

私は独自にこれらの結論に到達したのだが、オーストラリアで初めてこれらを認識したのは Joplin (1960) である。

これらの結論は、地球の他の地域や別の構造系においても、野外調査や出版された文献で検証されることになった。その結果、同種の様式が認められるかどうか、そして、動物群や植物群とどのような関連があるかを検討する時代が到来した。こうして、すくなくとも原生代初期から現在までの地球発達史において、世界規模の引張および圧縮時相を識別することができるようになった。これらの応力変化は、カレドニアやヘルシニアなどの古典的造山時相に相当するだけでなく、地質時間尺度が立脚する界や系など、国際層序基準尺度の伝統的で広く受け入れられている単位にも関連している。さらに、この変化は、動物群と植物群の主要な危機や、その他の地球の多くの特徴にも密接に関係していた。この研究は独立に発展したものであるが、造山運動の同時性に関する Stille (1936) の研究、Belousov (1962) の海洋化作用、および Lyttleton (1982) の内部相変化など、多くの先行する研究者によって発展させられた考察にも適合することがわかる。

この研究は、①海洋の形成時期が新しいこと、②海洋に大量の大陸地殻が存在すること、③大陸リフト、海洋海嶺および“背弧”の圧縮的特性、④対の変成帯の重要性、⑤地球の基本的直交構造を示す世界規模の深部地殻構造（リニアメント）のネットワーク、⑥後二者が火山-火成活動、変成作用および鉱化作用に関係していること、などに表現される多くの意義をもっている。これらの特徴はすべて、これまでの研究によって確立されてきたものであるが、このような問題の検証に敵対的なイデオロギーをもつプレートテクトニクスの影響によって、最近では無視されることが多い。それらは、Dickins (準備中) ならびに Dickins and Choi (2001) に要約されている。

いよいよ、中-上部 Llandovery 統と三畳系-ジュラ系境界の不整合関係を目的に、ウェールズにおける野外調査結果に話をすすめる段階になった。中-上部 Llandovery 統の不整合について、Lapworth and Watts (1894) は「英国の地質全体にわたって不整合についてこれ以上述べることはないだろう」と記述した。この不整合は、明らかに、カレドニア造山運動の始まりを示すものである。三畳系/ジュラ系境界は顕生代の生物にとってもっとも重要な危機であり、Hunter-Bowen (Indosinian) 造山運動の終焉や、世界的な地質構造と造構-火成活動における大きな変化を画するものである。

この研究からは多くの意義が導きだされ、この論文の基本をなすウェールズ地向斜や南ウェールズリニアメントの特徴に関する情報をもたらす。この論文は、関連した情報を収集するはじめての試みであり、筆者は、読者からいっそうの情報が寄せられ、情報の欠落や誤解をご指摘いただくことを希望する。

リニアメントの位置と名称

アイルランド Ireland

このリニアメントは、カンブリア系・オルドビス系・シルル系の南縁 (Bailey, 1939 の Map of the British Islands と比較せよ) および Leinster 盆地の南限 (Woods, 1969 の Brenchley) を画す。これは旧赤色砂岩の中の強い線構造を形成し、線構造の南側は主要な堆積場となっている。石炭系のなかでは、夾炭層はその北側にあり、パリスカン変動の前線をなす。

南ウェールズ South Wales

アイルランドと同様、このリニアメントは、カンブリア系・オルドビス系およびシルル系の南縁を画す。これは、旧赤色砂岩にかかわる造構運動における重要な線構造である。また、石炭紀のパリスカン変動前線をなし、夾炭層の南限となっている。三畳紀には、この線構造は堆積作用の北縁をなし、ジュラ紀にも堆積作用の北縁となった (British Geological Survey, 1994 の Map of Wales と比較せよ)。

英国 England

この線構造は、ロンドン-Brabant 剛塊の南縁に一致し、Wessex 盆地の南縁に位置する重要な構造線をなす。同時に、ジュラ系下部、白亜系および古第三系の堆積に影響をあたえている。

ヨーロッパ Europe

西部地域についていえば、この線構造はパリスカン前線にあたり、ジュラ系および白亜系における重要な構造線をなす。

ここで使う名称—Leinster-South Wales-London-Brabant 深部断裂 (図 1)—は効果的でないようだが、その位置を示すのに便利で、また、多くの既存の名称があるなかでは、造構性構造に別個の名称を導入することを避けることができる。

先カンブリア系とカンブリア系

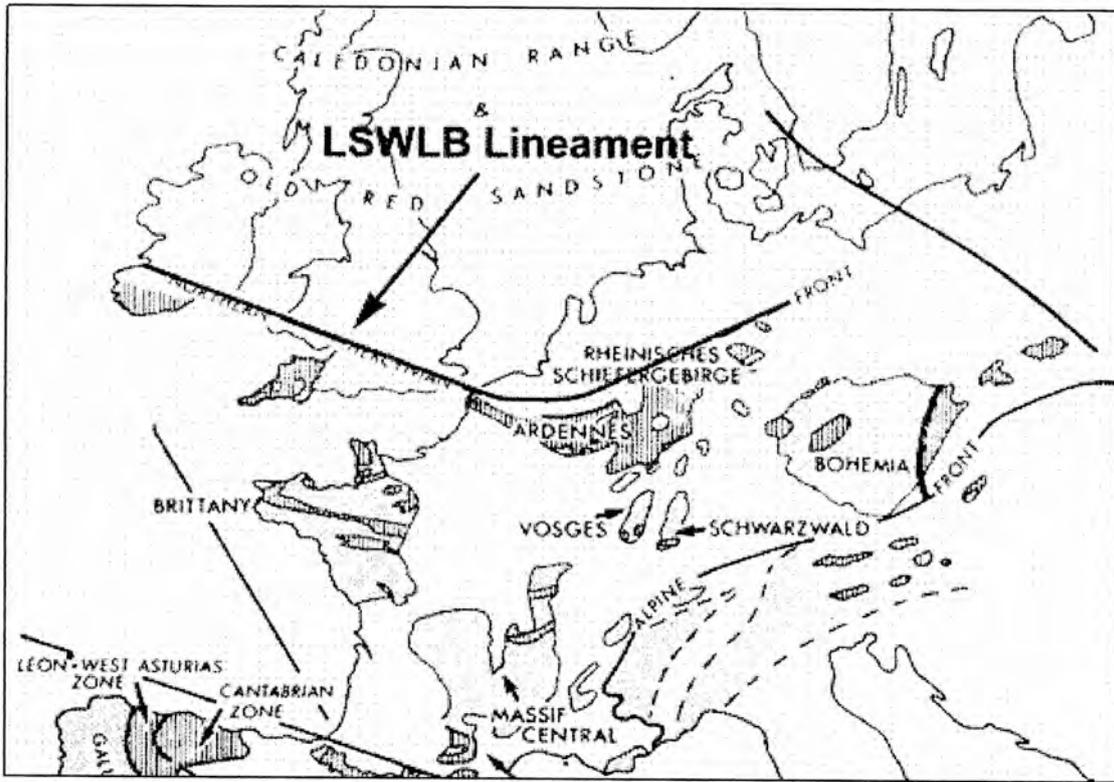


図1 ヘルシニア前線によって示される LSWLB リニアメント (Wallister, 1980 にもとづく)

このリニアメントは、先カンブリア系およびカンブリア系の顕著な北縁に関係していて、Wales 南西部では、その北側にオルドビス系とシルル系が分布する。Bassett and Cope (1993) は、先カンブリア紀とシルル紀には England 南西部 (Pretannia) から Wales 南部を横切る顕著な堆積物供給があったことを強調している。先カンブリア紀の激しい火成活動とカンブリア紀の粗粒な縁辺相堆積物は、重要な造構-火成活動帯と関連していたことを示唆する。この造構-火成活動は、South Wales で Tremadocian を欠如させるほどのものであり、明瞭な隆起域を形成した (George, 1970)。これが LSWLB リニアメント、あるいは他の構造に関係しているかどうか？、現在のデータでは明確に判断することはできそうにない。オルドビス紀以降の岩石にくらべてカンブリア系の変形と硬化が著しいことや構造的な不連続性 (Wood, 1969) は、先カレドニア運動が強烈なものであったことを示す。この運動は、Stille (1958) のカンブリア紀の Assyntian 造山運動と比較される。

オルドビス系

より新期であることが明白でないとしても、オルドビス紀 (Arenig) までには、南側にある堆積物供給源、とくに South Wales (Pembrokeshire and Carmarthenshire) が明瞭に存在し、この供給源は LSWLB リニアメントと南方剛塊に関連していることは疑いない。アイルランドでは、このリニアメントが、オルドビス系とシルル系の南縁をも限っている (たとえば、ブリテン島地質図: Bailey, 1939)。

Wood (1969, p. 96) は、ウェールズ地相斜における褶曲とへき開の屈曲 (ウェールズ中央部における北方向の褶

曲軸が、ウェールズ南部では東向きにかわり、変形度も大きくなる) について議論している。そのなかで、Bassett の説明は次の3点である。

- 1 剛性的な地塊が東側あるいは南側に存在すること (両方とも存在しているようにみえるのだが—JMD)。
- 2 より旧期のカレドニア造山帯に重なるヘルシニア (パリスカン) 造山帯に由来する東—西褶曲の効果
- 3 堆積盆地縁が角張っていて、基盤特性を反映する (この議論は、地相斜の発達期における造構運動と褶曲作用をうまく説明するだろう)

これら3つの説明は、LSWLB リニアメントに関連して、南ウェールズとアイルランドのオルドビス系、シルル系、デボン系および石炭系の発達史のなかで考察されるものである。そして、それらは、日本とニュージーランドおよびそれらの造構-火成活動の特性を、比較されるであろう。

George (1970) は、ウェールズ南西部 (Pembrokeshire) における先オルドビス紀 (Arenig) の褶曲、上昇、隆起および浸食作用について述べている。ウェールズ南西部では、Tremadocian の欠如によって不整合の存在が示される。より直接的には、Whiesand 湾と Ramsey 島において浸食された *Lingula* 板石をおおうオルドビス紀の基底砂岩を観察するとよくわかる。この削り面を詳細にみると、カンブリア系岩石中に下をえぐられた岩棚やオーバーハングした低崖、および、当時 (オルドビス紀) の渚をつくった粗粒な巨礫層が観察される。Arenig 下部は、St David's Head から東の Carmarthen へ連続して分布する。Carmarthen では、しだいに粗粒化-礫質化し、礫の特徴は、先カンブリア系の供給源があまり遠くないことを示唆す

る。このような特徴は、より新期の堆積システムにおいてもくりかえし現れるので、後述される。

ArenigおよびLlanvirn両期に強烈な火山活動がウェールズ南西部 (Pembrokeshire and Carmarthenshire) で起こった。こうして、成層した粗粒礫岩が形成され、そのほとんどは火山岩の中礫と巨礫からなる。この地域は、オルドビス紀後期にも主要な火山活動場として継続し、オルドビス紀の貫入岩が顕著な特徴となっている。大量の塩基性岩がみいだされるほか、中性あるいは、より酸性の岩石も存在する。

Wood (1969) の中で、Rast は、ウェールズのオルドビス紀堆積作用を、鉛直 (すなわち引張性) 運動による地溝の形成に起因するとした。この考え方は、当時の地向斜の性格について主流の考え方であろうが、この見解は限られた知識にもとづくものである。彼は、シルル紀後半には運動が逆転することについても述べている。実際、引張時相が地向斜対の初期相であることは、今日では明らかである。この場合、初期地向斜対は、オルドビス系とシルル系 (下部□ 中部 Llandovery 統) で構成されている。これは、上部 Llandovery 統堆積期にあたるカレドニア造山 (褶曲) 時相以前のことであり、これについては、さらに、シルル系の節で後述される。

地向斜の発達には、歴大な議論と推測をよびおこした。そして、さまざまな幅広い分野のデータの総合化、ならびに、信頼性のある詳細な年代測定との統合とが欠けていた。1つの分かれ目になる問題は、地向斜の発達が連続的であるのか、段階的であるのか?、そして、段階とは何か? ということである。プレートテクトニクスは連続的発達を暗黙の前提としていて、幾人かの支持者 (たとえば Sengor and Burke, 1979) は地向斜の存在をまったく否定する。しかしながら、今日では、初期沈降 (引張あるいは展張) 時相とそれに続く圧縮 (インバージョン, eversion, あるいは逆転) 時相を支持する多量のデータが存在する。これは、古典的描像、すなわち、初期の深いフリッシュ堆積盆とそれにつづくモラッセ堆積盆の形成につながるものであり、この過程にたいして合理的な疑問をいさぐことはもはやほとんど不可能である (たとえば、Joplin, 1960 参照)。

LSWLB リニアメントに関連する構造のなかで、この過程は3つの地向斜—カレドニア (オルドビス紀□ Eifeilian) 地向斜、ヘルシニアあるいはパリスカン地向斜 (Givetian □ 石炭紀)、およびアルプス—ヒマラヤ地向斜 (ジュラ紀 □ 現在) —において認識され、記載されてきた。他にも、2つの場合—Assyntian (下部□ 上部カンブリア系) および Hunter-Bowen (Indosinian: 二畳系□ 三畳系) にも、同様な過程が起こったことを示す何らかの指標が存在する (図2)。

シルル系

下部と中部のランダヴェリー系については、マーチソンの時代から不鮮明なままの問題をまだ残している。それらを理解することは、下位層および上位層と上部ランダヴェリー系の一般的に不調和な野外での関係と、上部シルル系を合成することによって可能である。上部シルル系は、「前弧」海溝を形成して北西から南東まで次第に動いたカレドニア造山の構造的圧縮をうけ、そして結局、旧赤色砂岩の中でそれがめくれあがり、埋積して破壊し、

セントジョージ古陸を形成した。マーチソン自身は、不整合やハイエタスなしに直接上部ランダヴェリー系からオルドビス系に連続すると考えた。

また、混乱させたのは、シルル系の火山活動を認識することが困難だったからである。これはSkomer火山が基盤にあり、上部ランダヴェリー系の基底に挟在するという認識によって一部修正された (Zieglerほか, 1969)。上部ランダヴェリー系の基底ではじまる中性と酸性の火成活動の強いフェーズ (Sedgwicki帯) は、結局中期デボン紀にカレドニア地向斜の最終的な成熟をもたらした強い構造的変化の始まりと関連しているが、今だに適切に認識されていない。私自身の野外研究では、中部と上部ランダヴェリー系の不整合の重要性を認識することにおいて、O. T. Jones, Lapworth, および他の多くの研究者による細心な仕事を追認した。ここで、それについて適切に議論することはできない。それは、カレドニア地向斜の褶曲フェーズの始まりと、東オーストラリアの下部ペルム系の終わりに対応する張力フェーズの終わりを示す。野外では、ウェールズや世界の他の多く地域の断面と同様に、例えばランダヴェリー系の模式断面においてもよく例証されている堆積物の重要な岩相に変化によって示される。下部と中部では明らかでないが堆積物中に大量の酸性の火山砕屑物が入るだけでなく、細粒の珪質火山灰からなる広範囲に分布する級化チャートが確かにある。Pembrokeshireにあるマール質砂岩の上部ランダヴェリー系の露頭では、これはどこよりもはっきりと見られる。Rhayadarの近くのCaban Cochで、Woods (1969) のいうKellingとWoollandsの上部Caban礫岩はほとんど完全に酸性の火成砕屑物から構成され、下部と中部のランダヴェリー系の礫岩を欠く。モンモリナイト質の泥の存在は広がっている。スコットランドの南部高原の上部ランダヴェリー系におけるメタペントナイトの記載について Batchelor (1995 and 1999) は、スコットランドやゴトランド、スウェーデンの上部ランダヴェリー系にみられる他のペントナイトを参照して、上部ランダヴェリー系からの火山物質が「このとき、火山活動の復活を意味する」として注目した。地質学における現在流行の考えが、中部□ 上部ランダヴェリー系の特徴の重要性を重大な問題としてとらえた (e. g. Ziegler, Cocks and McKerrow, 1968)。

堆積パターン全体の全体的変化は、上部ランダヴェリー系が背斜とNE-SW方向の深い向斜トラフとして現れた。そして、そこではトラフが形成されはじめてトラフに沿って Wenlock and Ludlow の時代までまっすぐな混濁流堆積作用 (flysch) が続いた (George, 1970, Smith and Long and Bailey in Woods, 1969, Cave and Loydell, 1997; 図3)。そしてそれは私がDavid LoydellとともにAbberystwythの近くで検証した。シルル紀直前の構造は、最近の地震探査の結果 (Butler, Woodcock and Stewart, 1997) より Cardiffの近くのWoolhope and Usk盆地の中で示されたような半地溝の系列のように思われる。そして、それらは東オーストラリアの下部ペルム紀に発見され、二連の地向斜になるものと類似する。詳細な地震の分析は、下部と中部ランダヴェリー系に形成された半地溝構造と、それが上部ランダヴェリー系の形成前に終わっていたことを示している。それらは、中部と上部ランダヴェリー系の境界に伴われる岩相の変化の原因として示される塩基性火山活動によって同時に形成された。それらはリフト盆地があることを示唆しているとしても、それらには、

真の大陸リフトの構造との共通性が少ししかない。しかし、それらの構造はWelsh盆地のオルドビス系の構造についてのRast (in Wood, 1969) の解析を支持する。それらはまた、東オーストラリアの下部ペルム紀の半地溝 (Fielding Stephens and Holcombe, 1997) や後にこの紙面で議論する南イギリスのBristol チャネルとWessex盆地のジュラ系の半地溝に類似する。これらの半地溝構造は二連の地向斜における初期の拡張部分としての特徴をもっているようだ。

この物質の供給源は、それ自身がSkomer火山岩の大規模な火成活動とマール質砂岩の上部ランダヴェリー系の場合所であるLSWLB 線構造によって南を境される基盤地塊であった。南の地塊に対する海溝の終端は、Chatham 海溝 (van den Lingen, 1982; Houghton et al., 1995; 図4・図5) の地塊に対するニュージーランド南島の北部にあるKermadec 海溝と平行に沿うように見える。また、海溝の終端は、ニュージーランド北島の背弧地溝の終端と現世や現在の火山活動の南限と一致する。

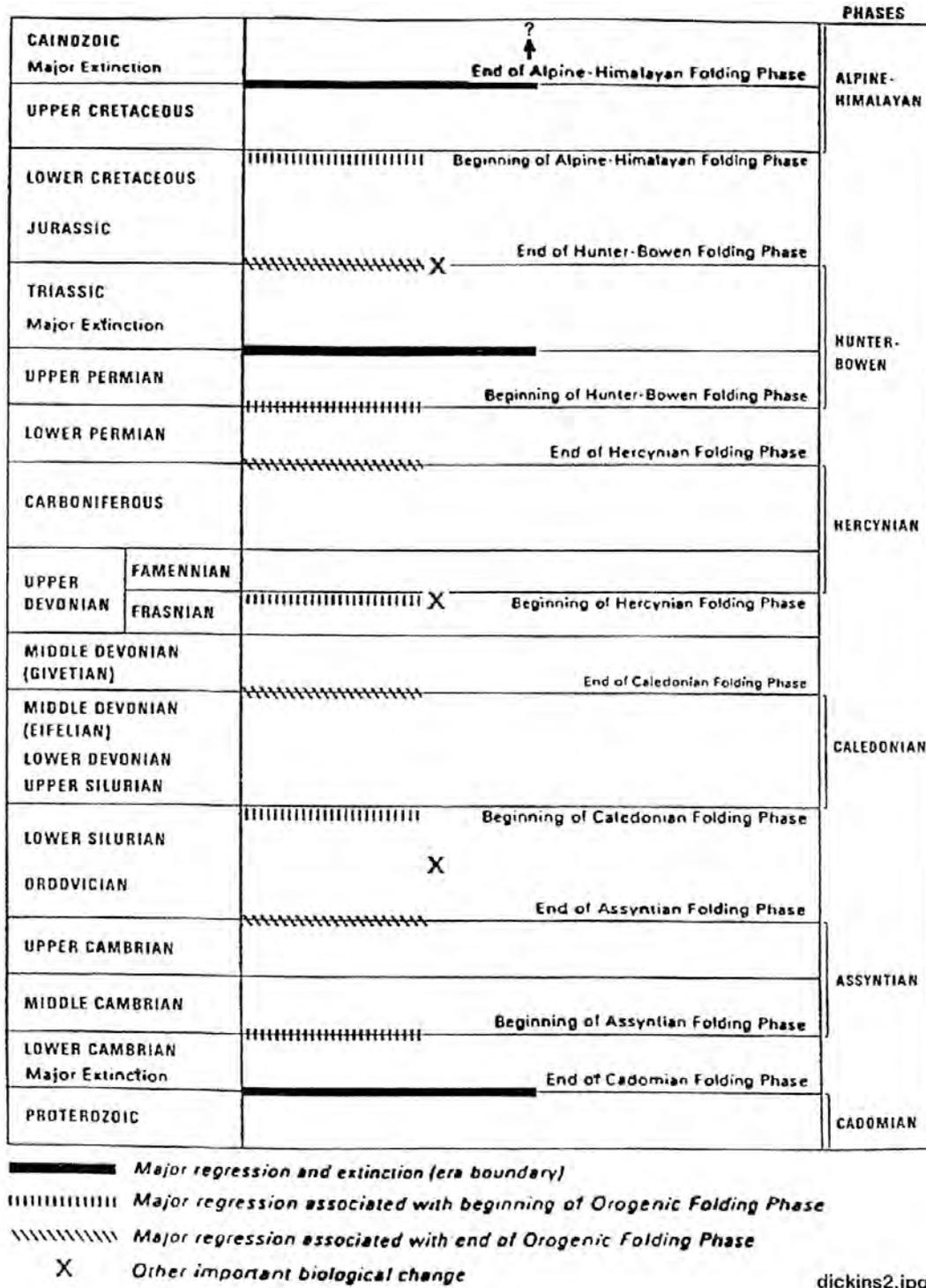


図2 顕生代における造山性圧縮褶曲時相。各時相は地向斜対を形成する引張時相によって区分される。圧縮性時相には、主要海退と重要な生物変化がともなっている (Dickins, 準備中から)。

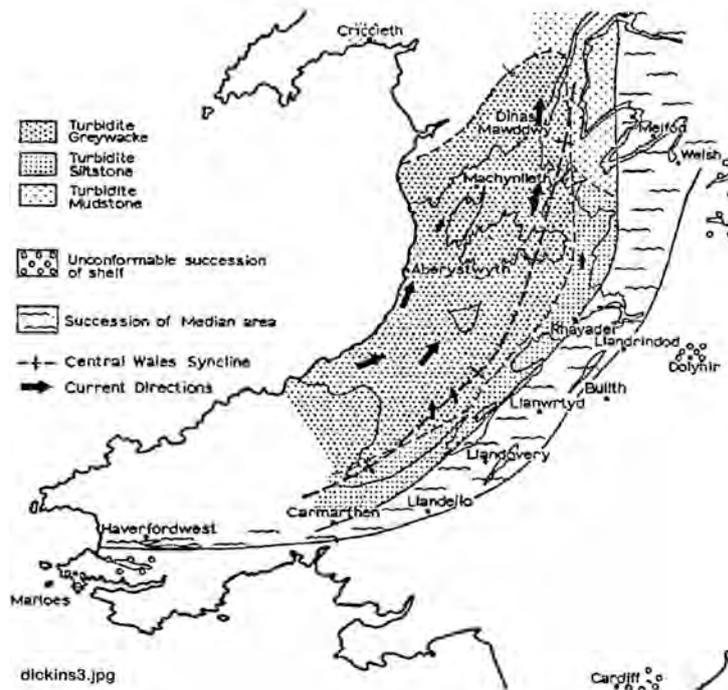


図3 上部ランダヴェリー系における堆積作用の特徴. 南西から北東への圧縮ともなつて褶曲運動が進行するにつれて, 南方の陸塊沖では, フリッシュの堆積が南西から北東へ移動する (Wood, 1969 中の Smith and Long による) .

後上部ランダヴェリー系のシルル系からデボン系の間において, 地向斜トラフ(海溝か前弧)は南東へ前進的に移動し, 弧の背後にめぐり返つた. そして, 上部Ludlowによるトラフにそつた南西から北東までの移動は南東の岬だけでなく後背地の隆起から北西への堆積物を追加した. シルル紀末期とデボン系前期において, トラフは中央ウェールズにおける旧赤色砂岩とセントジョージ古陸を形成するために完全にめぐり返つた. これはWood (ed. 1969) とオーエンの編纂巻 (ed. 1974) の中で詳細に記載されている.

もともと都城 (1973) によって現在の日本の地向斜から記載された対の変成作用は, 海溝をともなう高压低温帯とアイルランド, 北イギリス, およびスコットランドで「背弧」の花崗岩貫入や火山活動をともなう高温低圧帯をもつウェールズやアイルランド, イングランド, スコットランドのカレドニアン地向斜においてもよく示される. これは, その発展の間での地向斜のさまざまな部分の大規模な変位について賛成することは難しい.

同様の特徴は, Cornwallの花崗岩をともなうその後のパリスカン地向斜で示される. 北ウェールズとCornwallの超塩基性岩の説明はじれつたい. これらの地向斜双方に知られている文脈では, たぶんそれらは深部地殻の裂かの位置を表していて, それらを海洋地殻の残りと思ふための基礎はほとんど見られない (Walliser, 1980も参照).

旧赤色砂岩層 (シルル紀前期□ デボン紀中期)

ウェールズ地域における旧赤色砂岩層は, 構造学的ならびに層序学的な2つの明瞭な特徴をもつ. 下部はカレドニア造山最終亜期, デボン系上部はヘルシニア (パリスカン又はアモリカン) 造山の初期を表す. ヘルシニア造山の優勢な走向は東西方向であり, 運動方向は北から南

で, その結果石炭系上部の最終的反転 (final eversion) は南ウェールズ地域の石炭系で発見され, 南アイルランドへ同様に連続する. LSBW リニアメントは主要な制御要因で「パリスカンフロント」として一般的に示されており, 南アイルランドを横切る南ウェールズからロンドンブラバンド台地の南方, および北ヨーロッパにまたがっている. デボン系中部は一般的には貧弱であるか, あるいは, まったく発達していない (Allen in Owen, 1974).

LSBW リニアメントは旧赤色砂岩層下部の沈降に強く影響しており, この影響はデボン紀後期と石炭紀まで継続する. 他の時期でも, 層厚と連続の粗雑から判断するとそれはたびたび強い特徴をもつ運動と地形的起伏の場であった. ペンブルックシアのライティック断層とブリストル断層帯のような他の断層は, 両者ともこの時期のデボン系中部において活動的であり, そのリニアメントは海成沈降の北限を限つた (Allen in Owen, 1981; Tunbridge, 1983 and 1986). これはカンブリア系, オルドビス系, シルル系とは対照的であり, そのとき沈降の南方限界が形成された (たとえば Cope and Bassett, 1987; Bassett and Cope, 1993 を参照). これは, 例として東オーストラリアにおける石炭系とニューサウスウェールズ中部シドニー盆地北東部の境界をなすハンターリニアメント (Dickins, 1987b) 上のペルム紀リニアメント地形としてみられる相対的な運動の逆転を表している. ライティック断層はシルル系上部とデボン系中部と関連しており, 粗粒礫岩と降下火山灰の分布が堆積同時性運動と火成活動を示唆する. 礫岩と火成活動はまた明白にブリストル断層帯に関連している. 他のリニアメントとともに南ウェールズからブリストルチャネルを横切る広いゾーンとして, それは位置していたのだろう.

パリスカン地向斜が発達しはじめるデボン紀後期には, 南方から南ウェールズの方へ海進がすすんだ.

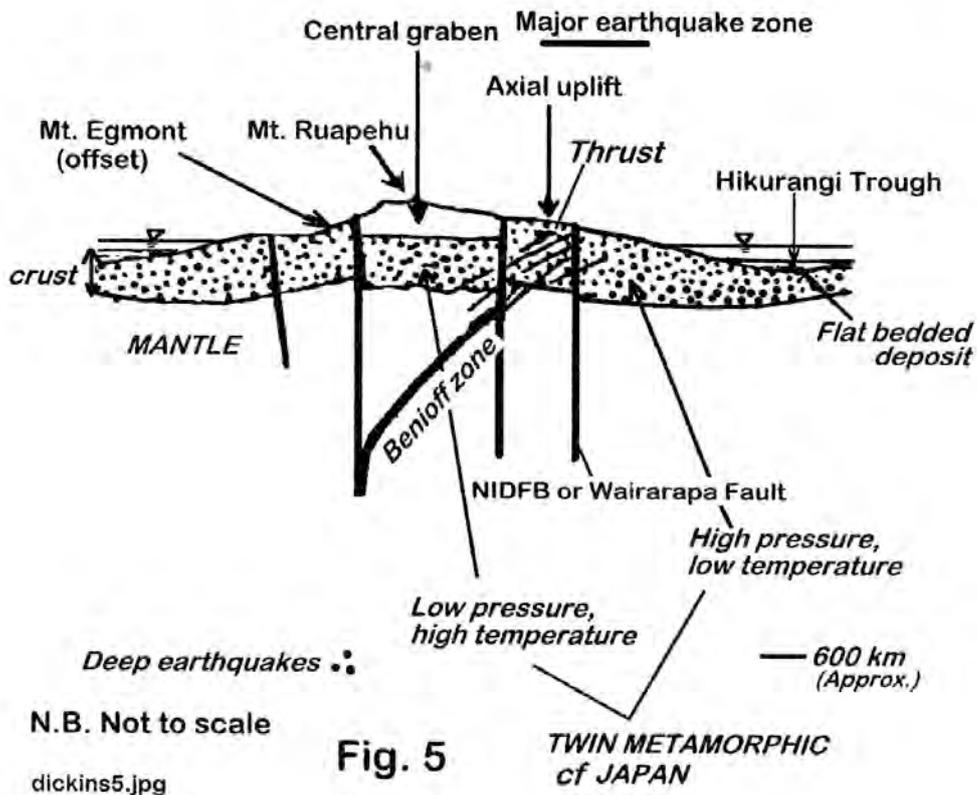
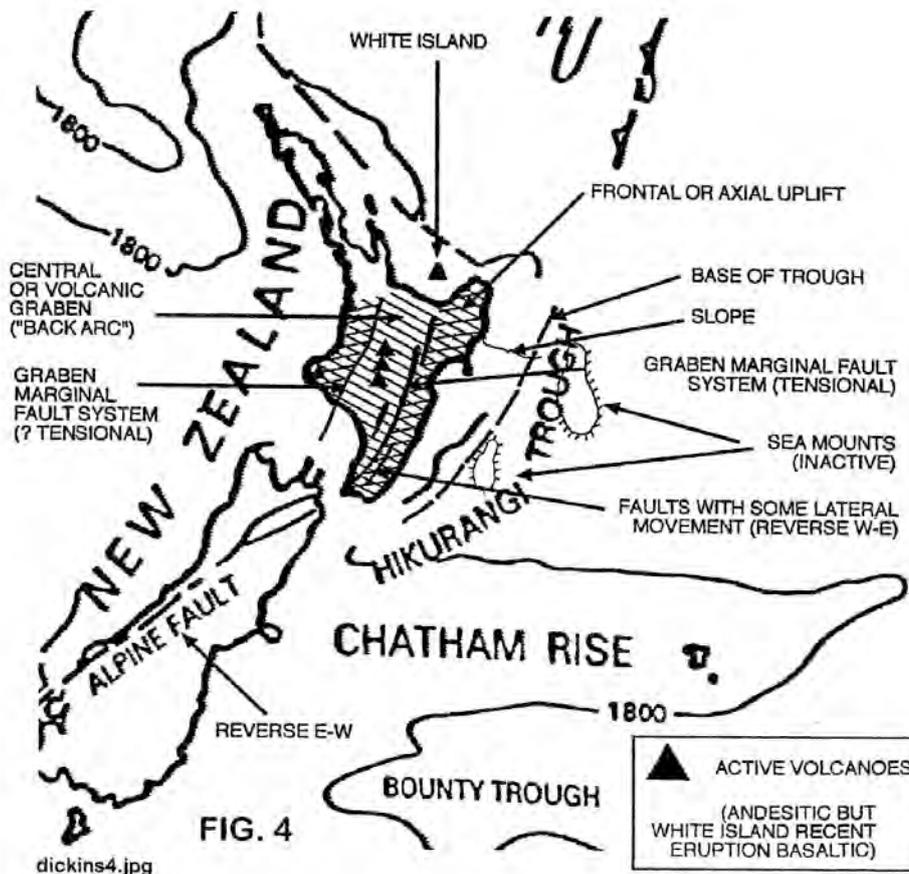


図4・図5 造構-火成作用の特性や地質構造を示す現在のニュージーランド地向斜 (van der Lingen, 地表踏査検査, 他のデータにもとづく)。隆起軸と傾斜に関連する主要地震帯に注目せよ。沈み込みが起こっていると想定されているトラフ基底には、事実上、変形や地震活動は全くない。

石炭系

LSWB リニアメントは、石炭系に重要な影響をもたらした。石炭紀前期の“前縁弧”海溝またはトラフは、ブリストルチャネルの南デボンシアで発達され、その中にクム層フリッシュが堆積された。リニアメントは前縁陸 (foreland) 台地の境界南方に形成され、その上位に石炭紀後期の石灰岩が堆積した。それに沿った玄武岩質火成活動は、圧縮応力の転換のあらわれとして、深部における引張性破砕を反映するものであった。地向斜が南から北へ移動するとともに、石炭紀後期にはリニアメントが、短周期の南方海進を除く海洋から北方トラフを切るリッジとして発達し、それは南ウェールズ挟炭層の南方境界として記されている。トラフが反転するにつれ、おもに北から供給されていた堆積物にくわえて、背斜リッジに由来する南方起源のものが見られはじめた。トラフは最終的に石炭紀後期に埋積されつくした (Kelling in Owen, 1974)。

南西イングランドと南ウエーズで見つけられた石炭系の特徴は、一般的にパリスカンフロントとして記述されるリニアメントに沿って南アイルランドや北ヨーロッパでもみだされる。

三畳紀

三畳紀とは対照的に、ペルム紀は良くわかってなく、その本性はかなり不明瞭なままである。石炭紀末のヘルシニアフェーズが終わると、一般に、ペルム紀と三畳紀のほとんどの時期を通して浸食が卓越した。

上部三畳系において、南ウェールズ炭田地帯はリニアメントの北の境界で、石炭紀の石炭層の南縁に沿って形成された急崖に沿う Glamorgan の谷に排水される高原を形成していた (Tucker, 1977)。上部三畳系は、はじめ非海成層であったが、三畳紀最後期のレート世には、浅海がおそらく Bristol チャネルの輪郭に沿って浸入した。最下部非海成三畳系の堆積物は、一般にやや混沌としており、石炭紀の石灰岩を覆っているところでは、石灰岩上のカルストを形成していたと一般に解釈されてきた。これはありうることであるが、筆者の調査では、その境界が同時期の運動にも影響されていたと考えられる。Barry 島の例では、三畳系と石炭系との境界は、非常に凹凸があり、鉛直節理や小断層 (数mあるいはそれ以上の規模)

に沿ってずれている。沈下側には石炭紀石灰岩の大きなブロックが多数堆積しているが、隆起側の堆積物はよく成層し、節理や断層にそって変位することなく連続して分布する。節理あるいは断層は、銅鉱化作用が風化してできた緑色および青色の充填物を含んでいるが、被覆する三畳系には貫入していない。Bristol チャネルの南側の Pontishead で、三畳系は古赤色砂岩を被覆する。境界は同様な地形を示し、“急崖”の下に混沌としたブロックを伴っているが、銅による鉱化作用は受けてない。これはカルストの形成によってひきおこされることはなく、同時期の運動を示すにちがいない (Kellaway & Welch, 1993 参照)。

ジュラ紀

リニアメントは南ウェールズのジュラ系の北縁にあたり、その東方延長は、南イングランドの Wessex 堆積盆における主要なジュラ系堆積物の北縁をなす。その北側は、ロンドン卓状地であった。この半地溝は、ジュラ系と下部白亜系 (中部オーブ統までを含む) において活動的であり、Penn et al. (1987) に説明されている。地震探査とボーリングにもとづく断面図 (図6) は、当時そうであったように、ロンドン卓状地南縁に沿う半地溝帯境界断層に向かってジュラ系と下部白亜系が厚くなることを示す。Dorset 堆積盆地は、Wessex 堆積盆の南に形成されたもう一つの半地溝帯である。そしてさらに南方に Channel 堆積盆があり、Dorset の南海岸沿いに北側境界断層が存在する。

Penn et al. (1987) は、これらの構造に沿った圧縮と反転は第三紀に生じたが、第三紀にも続いた。それらは、彼らの断面でのアイソパックと地質構造によると、ウィールド階とゴールト階との間の中期白亜紀にはじまったことを示していると、考えている。Owen (1971, p.127 & 148; 1996) はさらに、この非常に大きな構造的転換は中期と後期オーブ階の間、すなわち前期と後期ゴールト階との間、に生じたことを示した。筆者は、たとえば Lulworth Cove に素晴らしい露出がある Dorset の南海岸沿いで、この反転を調査した。

この反転と変化は、世界的に認められる特徴である (Owen, 1971, p.148, Dickins, 1989)。アルプス-ヒマラヤ造山時相あるいは褶曲時相のはじまりを示すが、ここで十分に議論することは不可能であろう。

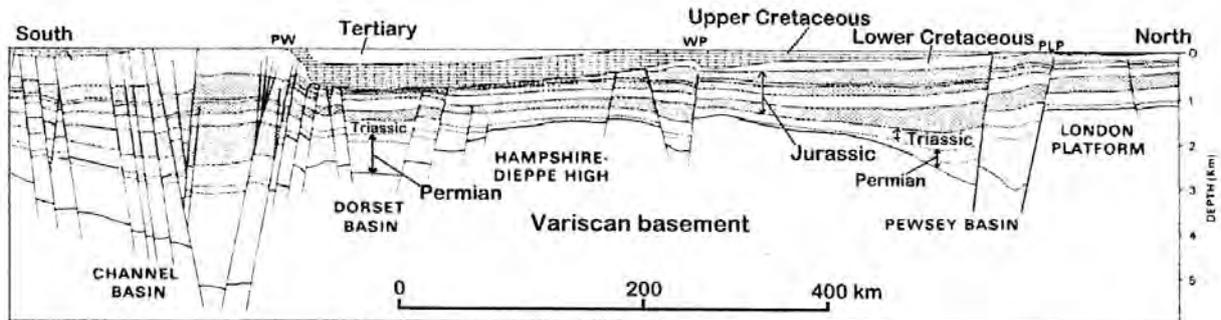


図6 南西イングランドの Wessex-Channel 堆積盆の断面。運動の反転と中部白亜系 (中□ 上部オーブ統) の厚さに注意。(Penn et al., 1987 による)。

地震探査データにもとづいて、Brooks, Trayner & Trimble (1988) は、南ウェールズではジュラ系も北側のLSWLBリニアメントにアバットする境界断層を伴う半地溝を形成していて、半地溝はBristolチャネルに相当することを示した。

Cardiffの西のOgmore-on-Sea-Southerndown地域に、ライアス統の縁辺相が露出している。石炭系をおおうライアス統の不整合面には大きな凹凸があり、Barry島の三畳系のもので類似している。節理または急崖に沿った段差は6mあるいはそれ以上にあたる場合もあり、その基底には、巨大なブロックを含む石炭系からもたらされた角礫が堆積している。その上位には、良く成層した堆積物が急崖をこえて広く堆積していて、ほぼ同時代に構造運動が起こったわけではないことを示す。

地震探査データに基づくと、三畳系に影響をあたえ、ジュラ紀中にも明らかに活動した正断層運動が、北ウェールズにおいてWilliams & Eaton (1993) によって、また、スコットランドのGreat Glen断層帯においてUnderhill & Brodie (1993) によって示されている。Great Glen断層帯のジュラ紀中の正断層運動—おそらくリニアメント—は、むしろ特殊らしく、Underhill & Brodieによって“negative flower構造”と記載された。

最近の文献ではしばしば見落とされているが、レート階とヘタンジュ階(ライアス階)の間の広域な不連続—不整合が長く認められてきており(例えばRichardson, 1911), Hodges (1994, 図1)によって最近指摘された。ライアス階のはじまりは、世界的規模の性格を持ち、非常にハッキリと三畳紀からジュラ紀を区別する大構造の転換のはじまりを記している。南ウェールズのSomersetとDorsetにおいても、ライアス統は岩相のシャープで大きな変化によって記される。ライアス階には玄武岩質供給源からもたらされた大量の岩屑があるにも関わらず、先ライアス階の地層には非常に大量の中性□酸性火山砕屑物があるように見える。例えば、Lavenock Pointでは、転換はある1つの層理面にみられ、ライアス階の風化表面は、雨の後のグリースを塗ったような黒色粘土上で、玄武岩質な土壌起源の粘土である。ここを訪問する人がよく滑ることが、この堆積物の性質を証明する。それに相当する同時代の火山活動はほとんど知られていないので、この大量の岩屑の起源は研究するに値する課題である。

白亜紀と第三紀

第三紀までに構造的逆転が広範囲に見られるにも関わらず、複雑な断層構造と結びついた“雑音”のために、地震探査データのなかでそれを検出するのは容易ではない。前述したように、Owenの研究によると、中部と上部オーブ統の境界で始まるWessex堆積盆でPenn et al. (1987) によって提示されたアイソパックデータに、それが見られる。例えば、南西イングランドでも、より早期の地層の上を上部オーブ統の上部Greensandが非常に顕著なオー場ラップ不整合で覆っている。また、Brooks, Trayner & Trimble (1988)の地震波解析によると、それは、Bristolチャネルにも存在することは明らかである。中・北部ウェールズにおいても同様であるが、それがなぜ第三紀と考えられるのかだけが、難問である。

鉱化作用

リニアメントは、南ウェールズの工業用石炭層の分布や、北部フランスとベルギーの炭田の分布に重要な影響をあたえている。後者の炭田は、当時、上部石炭系の高まりを形成し、同時に主ヴァリスカン衝上断層帯の北縁を形成していたリニアメントの北側に位置する

南ウェールズと南西イングランドが、ウェールズ・Midlandと南イングランドを含む顕著な鉛産出地域を形成しているのも関わらず、現在では鉱業の興味がほとんどもたれていない。南ウェールズの金属鉱山は、Hall (1993) によって非常に詳細に記載されてきたが、ほとんど歴史上のことがらになっている。同様な特徴をもつ鉱化作用は、さまざまな時代に繰返し発生し、鉛・亜鉛・銅・鉄や銀が狭い地域で採掘されている。しかしながら、リニアメントとどの程度関係しているのかは不明である。

Ogmore-on海では、ジュラ系基底が鉛鉱山の無数の浅いくぼみで覆われており、鉛と重晶石が未だ採掘されている。そのジュラ紀という年代は、方鉛鉱の鉛同位体測定によって確かめられている(Jenkins et al., 1990)。Bristolチャネルを直接横切っているMendipsは、ローマ時代には鉛の重要な産地であった(Scullad, 1976)。そこで産出した方鉛鉱は、石炭系石灰岩をおおうジュラ系(ライアス統)基底と関係している(Jenkins et al., 1990)。ジュラ紀の鉛鉱化作用は、リニアメントと密接に関係した特徴のようである。

リニアメントのいくつかの特徴とLSWLBリニアメント

ここでは、リニアメントの特徴を総合的に説明するような提案はしないが、LSWLBによって示されたいくつかの一般の特徴に注目することは興味深い。

1. たいへん長期間にわたって繰り返された造構-火成活動。南ウェールズのLSWLBはたいへん活動的であり、顕生代のほとんどすべての系の堆積物に記録されている。
2. リニアメントがより新しい構造によって上書きされているにも関わらず、リニアメントは活動の跡を残しており、地質の出来事の進行に影響を与えている。例えば、これにもとづいて、複雑な堆積作用や構造発達史を導くことができる。この例は、Bowen堆積盆の東翼に沿う上部ペルム系石炭層に見つかる。そこでは、NE—SWを横切る構造が、堆積物の厚さや石炭の発達に影響を与えている。
3. 現代のような地球の全体的圧縮の時代には、リニアメントが全地球的なパターンを形成したリッジ(高まり)をなすことは明らかである。この理由は多分、きわめてハッキリと重力パターンに表れている。
4. リニアメントは一般に、活動線というよりは、むしろ活動帯を示している。
5. 相対的な鉛直運動センスは時に応じて逆転し、これは、規則性であるといってもよい。その原因は、私にとって地球発達史にかかわる大きな問題である。これは、リニアメントのいずれかの側の運動が顕著に違っていたことを意味する。これは、プレートテクトニクスに次のような疑問を提出する。すなわち、堆積物の供給源から示されるLSWLBのような多くの例は、横方向の変位がわずかしかないか、あるいは、全くないことを示している。

6. 同様なタイプの繰り返された鋳化作用は、多分次の形態に関係している。
7. LSWLBでは、多分あまり明らかにされていないが、リニアメントは部分溶融、高地殻熱流量および地殻溶融の場所であるようである。これは多分、Namarda—Son

リニアメントに関するインドの研究にもっともよく示されている。これらが、圧縮の除去のための深部の引張的な地殻の断裂を示すのであれば、驚くことではない。

文 献

- ALLEN, J.R.L., ELLIOTT, T., and WILLIAMS, B.P.I., 1981. Old Red Sandstone and Carboniferous fluvial sediments in South Wales. In Field Guides to Modern and Ancient Fluvial Systems in Great Britain and Spain (T. Elliott, ed.). University of Keele, England: 1.1-39
- BASSETT, M.G. and COPE, J.C.W., 1993. Discussion on new seismic evidence for a major geological boundary at shallow depth, N Devon. Journal, Vol. 150, 1991, pp. 131-135. Journal of the Geological Society of London 150; 197-199.
- BATCHELOR, R.A., 1995. Metabentonite and tuff occurrence in Silurian greywakes at Grieston Quarry, Innerleithen, Southern Uplands. Scottish Journal of Geology 31: 183-185.
- BATCHELOR, R.A., 1999. Metabentonites from the Silurian inliers of the southern Midland Valley: distribution and geochemistry. Scottish Journal of Geology, 35, 71-77.
- BELOUSSOV, V.V., 1962. The principal problems of Geotectonics. Gosgeotekhpess, Moscow.
- BROOKS, M., TRAYNER, P.M., and TREMBLE, T.J., 1988. Mesozoic reactivation of Variscan thrusting in the Bristol Channel area, U.K. Journal of the Geological Society of London 145: 439-444.
- BUTLER, A.J., WOODCOCK, N.H. and STEWART, D.M., 1997. The Woolhope and Usk Basins: Silurian rift basins revealed by subsurface mapping of the southern Welsh Borderland. Jour. of the Geological Society, of London, 154: 209-233.
- CAREY, S.W. and BROWNE, W.R., 1938. Review of the Carboniferous stratigraphy, tectonics and palaeogeography of New South Wales and Queensland. Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales, 71: 591-614.
- CAVE, R. and LOYDELI, D.K., 1997. The eastern margin of the Aberystwyth Grits Formation. Geological Journal, 32: 37-44.
- COLLINS, W.J., 1991. A reassessment of the 'Hunter-Bowen Orogeny': tectonic implications for the southern New England Fold Belt. Australian Journal of Earth Sciences, 38: 409-423.
- COLLINS, W.J., OFFLER, R., FARRELL, T.R. and LANDENBERGER, B., 1993. A revised Late Palaeozoic-Early Mesozoic tectonic history for the southern New England Fold Belt. New England Orogeny '93 Conference Proceedings. University of New England, Armidale: 69-84.
- COPE, J.C.W. and Bassett, G., 1987. Sediment sources and Palaeozoic history of the Bristol Channel area. Proceedings of the Geologist's Association, 98: 315-330.
- DEJONGHE, L., 1998. Zinc-lead deposits of Belgium. Ore Geology Reviews, 12: 329-354.
- DICKINS, J.M., 1987. Tethys - a geosyncline formed on continental crust? In Shallow Tethys 2 (K.G. MCKENZIE Ed.). A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands: 149-158.
- DICKINS, J.M., 1987b. A history of research on Hunter Fault System or "Lineament". Earth Sciences History, 6 (2): 205-213.
- DICKINS, J.M., 1988. The world significance of the Hunter/Bowen (Indosinian) mid-Permian to Triassic Folding Phase. Memorie Societa Geologica Italiana, 34 (1986): 345-352.
- DICKINS, J.M., 1988b. The world significance of the Hunter-Bowen (Indosinian) Orogenic Phase. Advances in the Study of the Sydney Basin. Proceedings of the Twenty Second Symposium. Department of Geology, University of Newcastle: 69-74.
- DICKINS, J.M., 1989. Major sea level changes, tectonism and extinctions. In Compte Rendu Onzieme Congres International de Stratigraphie et de Geologie du Carbonifere (JIN YUGAN and LI CHUN, Eds.) 4: 135-144.
- DICKINS, J.M., 1992. Permo-Triassic orogenic, paleoclimatic, and eustatic events and their implications for biotic alteration. In Permo-Triassic Events in the Eastern Tethys (W.C. SWEET, YANG ZUNYI, J.M. DICKINS and YIN Hongfu Eds.). Cambridge University Press World and Regional Geology 2: 169-174.
- DICKINS, J.M., 1997. The mid-Permian: major changes in geology, environment, and faunas and some evolutionary implications. In Late Palaeozoic and Early Mesozoic Circum-Pacific events and their global correlation (J.M. DICKINS, YANG Zunyi, YIN Hongfu, S.G. LUCAS and S.K. ACHARRYA, Eds.). World and Regional Geology Series 10: 118-125. Cambridge University Press.
- DICKINS, J.M., in prep. The Pulsating Earth.
- DICKINS, J.M. and CHOI, D.R., 2001. Neogene events and the modern world. Himalayan Geology, 22: 199-206.
- DIRKS, P.H.G.M., OFFLER, R. and COLLINS, W.J., 1993. Timing of emplacement and deformation of the Tia Granodiorite, southern New England Fold Belt, N. S.W.: Implications for the metamorphic history. Australian Journ. Earth Sci., 40: 103-108.
- EAGAR, R.M.C., 1975. Recent work on the Westphalian of Ireland. Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, 9/10: 291-308.
- FIELDING, C.R., STBPHEMS, C.J. and HOLCOMBE, R.J., 1997. Permian stratigraphy and palaeogeography of the eastern Bowen Basin, Gogango Overfolded Zone and the Strathmuir Synclinorium in the Rockhampton-Mackay region, Central Queensland. Tectonics and metallogenesis of the New England Orogen. Geological Society of Australia Special Publication 19: 80-95.
- GEORGE, T.N., 1970. British Regional Geology: South Wales (Third edition), based on previous editions by J. PRINGLE and T.N. GEORGE. Institute of Geological Sciences.
- BALI, G.W., 1993. Metal mines of southern Wales. Griffin Publications, Kingston, England: 97 pp.
- HOUGHTON, B.F., WILSON, C.J.N., MCWILLIAMS, M.O., LANPHERE, M.A., WEAVER, S.D., BRIGGES, R.M. and PRINGLE, M.S., 1995. Chronology and dynamics of a large silicic magmatic system: Central Taupo Volcanic Zone, New Zealand. Geology, 23: 13-16.
- JENKINS, D.G., COPESTAKE, P., CALSTREN, P. van and MCDERMOTT, F., 1990. Correlation of lead isotopes on Lower Jurassic rocks of South Wales. Proceedings of the Geologist's Assoc., 101: 341-343.
- JOPLIN, G.A.L., 1980. On the tectonic environment of basic magma. Geological Magazine, 47: 363-368.
- HODGES, P., 1994. The base of the Jurassic System: new data on the first appearance of *Psiloceras planorbis* in southwest Britain. Geological Magazine 131: 841-844.
- KELLAWAY, G.A. and WELCH, F.B.A., 1993. Geology of the Bristol district. British Geological Survey, Memoir for the 1:63,360 geological special sheet (England and Wales), Triassic: 128-146.
- KORSCH, R.J., WAKE-DYSTER, K.D. and JOHNSTONE, D.W., 1992a. Seismic imaging of Late Palaeozoic-Early Mesozoic extensional and contractional structures in the Bowen and Surat basins, eastern Australia. Tectonophysics, 215: 273-294.
- KORSCH, R.J., WAKE-DYSTER, K.D., O'BRIEN, P.E., FINLAYSON, D.M. and JOHNSTONE, D.W., 1992b. Geometry of Permian to Mesozoic sedimentary basins in eastern Australia and their relationship to the New England Orogen. In Basement Tectonics 9, Australia and Other Regions (M.J. RICKARD, H.J. HARRINGTON and P.R. WILLIAMS, eds.): 85-108. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- LAPWORTH, C. and WATTS, W.W., 1894. The geology of South Shropshire, with special reference to the district to be visited during the long excursion. Proceedings of Geologist's Association, 13: 297-355.
- LINGEN, J. van der, 1982. Development of the North Island subduction system. Geological Society of London Special Publication 10: 259-272.
- LYTTLETON, R.A., 1982. The earth and its mountains. John Wiley & Sons, Chichester, England: 206.

- MIYASHIRO, A., 1973. Metamorphism and metamorphic belts. Allen and Unwin, London.
- OWEN, H.G., 1971. Middle Albian stratigraphy in the Anglo-Paris Basin. Bulletin of the British Museum (Natural History) Geology Supplement, 8: 164 pp.
- OWEN, H.G., 1996. Boreal and Tethyan late Aptian ammonite zonation and palaeobiogeography. Mitteilungen Geologische-Palaontologische Institut, University of Hamburg, 77: 461-481.
- OWEN, T.R. (ed.), 1974. The Upper Palaeozoic and post-Palaeozoic rocks of Wales. University of Wales Press, Cardiff: 426 pp.
- PENN, I.E., CHADWICK, R.A., HOLLOWAY, S., ROBERTS, G., PHARAOH, T.C., ALLSOP, J.M., HULBERT, A.G. and BURNS, I.M., 1987. Principal features of the hydrocarbon prospectivity of the Wessex-Channel Basin, U.K. Petroleum Geology of North West Europe (C.J. BROOKS and K. GLENNIE, eds.). Graham & Trotman.
- RICHARDSON, L., 1911. The Rhaetic and contiguous deposits of west, mid, and part of east Somerset. Quarterly Journal of the Geological Society of London, 67: 1-74.
- SCULLARD, H.H., 1991. Roman Britain. Thames and Hudson, London, 199 pp.
- SENGOR, A.M.C. and BURKE, K., 1979. Comments on V.V. Belousov - Why I do not accept Plate Tectonics?. Eos, 60: 207-211.
- STILLE, H., 1958. Der assyntische Tectonik im geologischen Erdbild. Beihefte zum geologischen Jahrbuch, 22: 255 pp.
- STILLE, H., 1936. The present tectonic state of the Earth. Bulletin of the American Society, of Petroleum Geologists, 20: 849-880.
- TUCKER, M.E., 1977. The marginal Triassic deposits of South Wales: continental facies and palaeogeography. Geological Journal, 12: 169-188.
- TUNBRIDGE, I.P., 1983. The Middle Devonian shoreline in North Devon, England. Journal of the Geological Society, of London, 140, 147-158.
- TUNBRIDGE, I.P., 1986. Mid-Devonian tectonics and sedimentation in the Bristol Channel area. Journal of the Geological Society of London, 143: 107-115.
- TURNER J.P., 1997. Strike-slip fault reactivation in the Cardigan Bay basin. Journal of the Geological Society, of London, 154: 5-8.
- UNDERHILL, J.R. and BRODIE, J.A., 1993. Structural geology of Easter Ross, Scotland: implications for movement on the Great Glen fault zone. Journal of the Geological Society of London; 150: 515-527.
- VEEVERS, J.J., CONAGHAN, P.J. and SHAW S.E., 1993. Permian and Triassic New England Orogen/Bowen-Gunnedah- Sydney Basin in the context of Gondwanaland and Pangea. New England Orogen, eastern Australia (P.G. FLOOD and J.C. AITCHISON, eds.). Department of Geology and Geophysics, University of New England, Armidale, NSW: 31-52.
- WALLISER, O.H., 1980. The geosynclinal development of the Variscides with special regard to the Rhenohercynian zone. Deutsche Forschungsgemeinschaft Report Mobile Earth: 185-195.
- WILLIAMS, G.D. and Eaton, G.P., 1993. Stratigraphic and structural analysis of the Late Paleozoic-Mesozoic of NE Wales and Liverpool Bay: implications for hydrocarbon prospectivity. Journ. of Geol. Soc. of London, 150: 489-499.
- WOODS, A. (ed.), 1969. The Pre-Cambrian and Lower Palaeozoic rocks of Wales. University Press of Wales, Cardiff, 461 pp.
- WOODS, M.A., WILKINSON, I.A. and HOPSON, P.M., 1995. The stratigraphy of the Gault Formation (Middle and Upper Albian) in BGS Arlesey Borehole, Bedfordshire. Proceedings of the Geologist's Association, 106: 271-280.
- ZIEGLER, A.M., COCKS, L.R.M. and MCKERROW, W.S., 1968. The Llandovery transgression of the Welsh Borderland. Palaeontology, 11 (5): 736-782.
- ZIEGLER, A.M., MCKERROW, W.S., BURNE, R.V., and BAKER, P.E., 1969. Correlation and environmental setting of the Skomer Volcanic Group, Pembrokeshire. Proceedings of the Geologist's Association; 80: 409-439.

地質サイクルとテクトニクス解釈 THE GEOLOGICAL CYCLE AND TECTONIC EXPLANATIONS

Cliff D. OLLIER

School of Earth and Geographical Sciences, University of Western Australia, Australia E-mail: cliffol@geog.uwa.edu.au

(国末 彰司 [訳])

“No vestige of a beginning, prospect of an end” (痕跡にはじまり、試掘におわる)といわれていた Hutton の時代からずっと、地質サイクルは、地球科学の基本観念だった。地球は、その内部あるいは外部の熱機関によって動かされる地質学的イベントのサイクルを通して進化している。花こう岩のような、地表面にある岩石は風雨に曝され、そして砕かれた岩片と鉱物が母岩自身を浸食する。これらの岩石は河川、氷結あるいは風、によって輸送されて、そして最終的には海中の堆積層となる。地層は石化して堆積岩を形成する。深い埋没が堆積岩を変成岩に変化させ、そして深部における変成作用によって変成岩を花こう岩に転化させるであろう。造構隆起と被覆岩が浸食されると、花こう岩は地表に露出し、その結果それは風化するだろう。こうしてサイクルが繰り返されることになろう。

このサイクルについては、大した説明も無く、一般的な地質学のほとんどすべての本で述べられている。図 1 は Holmes の「物理地質学の基本」(1965 年)に基づくもの

で、多分今までに出版された最も良い一般的な地質学教科書の一例である。

地質サイクルのこの単純化された記述は、岩塩、石灰石および石炭のような、化学的・生物学的な沈積物のような特徴的な物質を無視している。ただし、それらはずいぶん修正によってサイクルに加えられ、大きい問題となることはない。

いっそう重要なことは、このサイクルが火山岩をも無視している、ということである。Holmes の図の中で、玄武岩が大して重要でない付加として、側面からどのようにサイクルにかかわっているかに注目して下さい。

しかし、玄武岩は循環するものではない。実際、玄武岩が地表に噴出し、風化して、浸食され、さらに変化するのである。けれども、地球物質の循環によって新しい玄武岩を作り出すというプロセスは認められない。

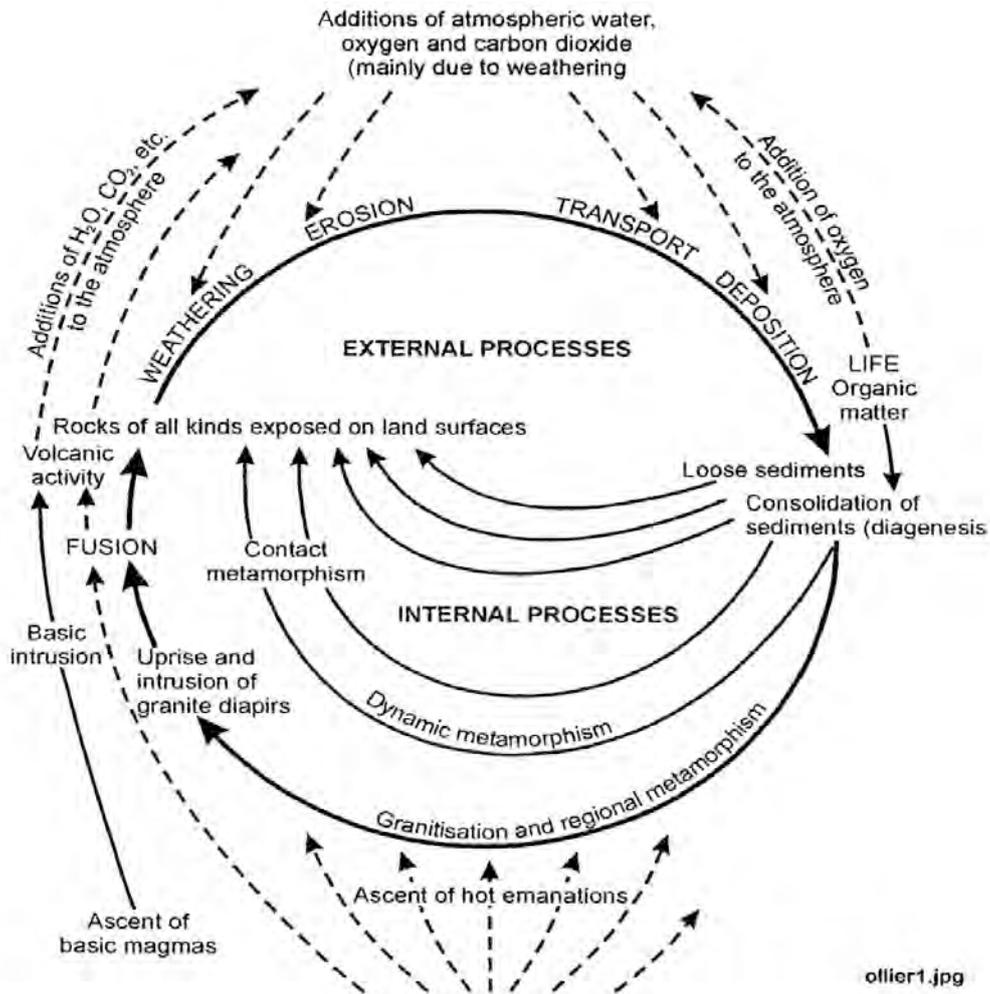


図1 地質サイクル (Holmes, 1965). 玄武岩が地表の約 3/4 を占めているにもかかわらず、ほんとうには、このサイクルに加わっていない。しかし、“縁”からかかわっていることに注意。



図2 対流セル循環の基本的視点 (Issacs et al., 1968 の第1図の一部にもとづく)。この図は、多くの教科書に転載されたが、矢印が閉じた対流セルを示していないことは留意されこなかったようだ！ 中央海嶺から遠ざかる矢印はリソスフェア内に限られていて、アセノスフェア全体が反流のなかにおかれているが、沈み込みスラブは反流の下へのびている。他の著者は、中央海嶺から遠ざかる他の矢印をアセノスフェア上部に描いている (たとえば, Strahler, 1963 第 22.14 図; Tarling 第 4 図)。

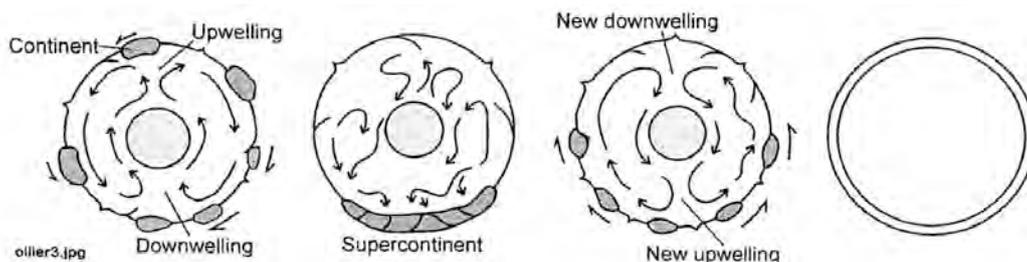


図3 超大陸の形成・分解させる対流セルを示す地球模式図 (Pluijm and Marshak, 1997 第 14・18 図にもとづく)。多くの著者 (たとえば Brown and Mussett, 1993; Stuart et al., 2003) は、660km 不連続面を対流の障壁とみなす。このような場合、対流セルは、右の地球に示される外殻に適合するように、かなり浅くなるはずである。もし玄武岩がただ微小ば要素にすぎなかったなら、この 事実 は 塩 と 石炭 の よう に、無視されるかもしれない、し

かしそれはそうならない。なぜなら、玄武岩が地球の表面のおよそ4分の3を覆う主要な構成要素だからである。したがって、従来の地質サイクルの概念は、最も主要な構成物についての説明がなされていないのである。

さらに、この概念では説明できないもう1つの主要な特徴がある。大部分の玄武岩は大洋の海底下にある。さらに、すべての海底玄武岩ができたのは2億年より新しい。地質サイクルは2億年以前に存在したのだろうか？

プレートテクトニクス的なサイクル

プレートテクトニクスは最も有力な流行パラダイムであるので、私は地質サイクルに若干関係があることについてだけ言及しよう。プレートテクトニクスによれば、大洋は拡大領域で成長する。例えば、大西洋と南半球における中央海嶺がそれらであるが、太平洋では斜めによこぎり、さらに北アメリカでは取り囲むように分布する（ただし、マイクロプレート間の合体は無視する）。海洋底は拡大部から離れるように移動するため、海洋底拡大と呼ばれる。拡大するスピードは年間数センチメートル程度である。地球をある一定の大きさに維持するために、新たに作られた地殻は他の地殻がどこかへ消え去ることによって補償されているに違いない。海洋地殻はどこかに消滅しているに違いない、そしてこれは沈み込みによるものであろう。そこでは乗り上げるプレートの下方へプレートがもぐり込んでいるのであろう。沈み込みは主に大陸と島弧に沿った深海のトレンチで起こると思われる。海洋底物質はその後、それが再度出現する大洋プレートの下に戻る。まさに対流はプレートの動きを促進させている動力となっているのである。対流と関連する海洋底の拡大と沈み込みを図2に示す。このような単純な状況の場所は、この地球上にはほとんどない。例えば、大西洋で、単純かつ対称的な拡大を考えてみる。ヨーロッパ、アフリカ、南北アメリカの周りには沈み込み帯がない、唯一カリブ海と Scotia 島弧のみである。したがって、図3に示されるように、我々はより入念なシナリオに到る。ここで、沈み込みがどこかで起こっているものの、ある拡大する海洋底が大陸と一緒に押す。そして後に超大陸が拡大するリフトバレーにおいて分裂し、そこは新しい海洋底拡大部になることがある。

もっとも単純な場合、海溝が大陸を境する。ここで大陸の浸食によってもたらされる砕屑物が堆積する。沈み込み帯では、Benioff 帯における地震によって示されるスラブの移動によって、砕屑物が大陸の下に引きずられていく。ここでそれらは溶融し、花崗岩やおそらくは大陸上に火山として噴出する安山岩質マグマを形成するのであろう。巨大な対流セルがそれらを海洋底拡大部の下に戻すのである。

この物語には、いくつかの問題がある。

a. 海洋底拡大部の長さは沈み込み帯の長さよりおよそ3倍長い。ということは、もしプレートの運動速度が一定ならば、消滅する玄武岩の約3倍の海洋底を産み出していることになる。沈み込み帯におけるプレート収束の速度は、拡大部の発散の速度よりも大きくなければならない。

b. たくさんの沈み込み帯の多くは、拡大部によって大陸

から分離され、島弧にある、そのため例えば西太平洋プレートのような主要なプレートは大陸の縁辺部に達しないのである。ただ背弧盆は、大陸の浸食による堆積物を大陸側へ再循環させることができる。

c. 沈み込むスラブは、海洋性玄武岩と沖合堆積物（供給源となる大陸性の岩石に依存する化学成分をもつ堆積物：組成はさまざまで、予想不可能）で構成される。スラブは、再溶融、混合、鉱物分離の後、安山岩質火山とバソリスの貫入が発生し、玄武岩は海嶺に戻る。

奇跡的にも、沈み込みに関連するプロセスが玄武岩の汚れをおとすため、大洋中央の海洋底拡大部に現われるのは、沈み込んだ玄武岩そのものではなく、特定のタイプの玄武岩—中央海嶺玄武岩 (MORB)—になる。大陸縁での堆積物に著しい多様性をもたらす大陸構成岩石の大きな多様性、島弧の有無、海溝の有無、急傾斜あるいは緩傾斜の Benioff 帯といった多様性、これらに関わらず、リサイクルされた沈み込み物質が対流セルでリサイクルされ、結局は、著しく均質性を保持した MORB として出現するのである。

d. 中央海嶺玄武岩は、拡大部に特有のものであり、かつ海洋底拡大部の生産物である。プレートテクトニクスの概念では、海洋底拡大部において生産された物質がそれ以前に産み出された海洋底（玄武岩）を、それがどこかへリサイクルされるまで押しつづけるとする。しかし、もしこれがたいへん確かなことであるなら、残りの全ての海洋底玄武岩はそれが噴出した時の MORB 組成を持つであろう。もし海洋底拡大が受け入れられるなら、MORB は組成が異なっているのが事実であり、玄武岩の噴出は自然における1回限りの変化であることを私たちに告げているのではないだろうか？

e. ヘリウムは、他の物質と結合しない不活性ガスである。それは非常に軽く、その脱出速度はそれが空間へ失われるほど速い。それは地質サイクルにおいては循環せず、いかなる生物サイクルにも加わらない。大気中のヘリウム含有量は、固体地球からの解放速度と、大気から宇宙空間への散逸速度によって決定される。世界的な拡大部、すなわち中央海嶺とリフト谷において、新しいヘリウムが生産される。

中央海嶺玄武岩の一定した成分と新しいガスの噴出から導かれる最も明白な結論は、玄武岩が初生的な噴出物であるということだ。全地球規模のサイクルに適合するために唯一必要なことは、ヘリウムガスがリサイクルされているということである。

f. さらに、ヘリウムには2種類の同位体がある。 ^4He は、ウランとトリウム放射性崩壊によって生成されるので、あまり驚くようなものではない。 ^3He はより神秘的で、それは、 ^3He を生成する機構が地球にはないからである。それは初生的で、45億年前の惑星生成時の名残りであろう、と一般には推定されている (Holland, 1984; Gold, 1987; Stuart et al., 2003)。ところが、それはおそらく、地球で実際に生成されているのである。Herndon (2003) は、それが地球深部の核融合によって形成される、と信じている。いずれにしても、 ^3He 値が最高のところは拡大部分に相当することは明らかで、例えばアイスランドやハワイでは $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比が非常に高い。ここでも、

拡大部において生成された物質が循環の証拠にはならないことを、私たちは再び認識した。

解釈と議論

大陸と海洋、海嶺、海溝およびリフトなど、上述した基本単元の多くが、グローバルテクトニクス仮説を擁立して、そして支えようとする人たちの間に共有されている。多くの仮説は、維持可能なシステムを目的とする。そうだとすると、循環が存在しないことを示すこの証拠を、いったいどのようにあつかうのだろうか？

1. 証拠を否定しよう

海洋底が主に玄武岩であることを否定する人もいれば、海洋底拡大説や海洋底の年代データ等を否定する人もいる。Vasilyev (2003) は太平洋海盆が地球発達史の早い段階にできたと信じている。

2. 新しい解釈を考えよう

一定、膨張、縮小あるいは脈動的变化といった、グローバルテクトニクスに関する多くのシナリオがあることは、当然のことである。もしそれぞれのモデルが地球史の循環的および非循環的側面を取り扱うことができるかどうか

か、を試すことができたなら、このような検証が有効であると私は思う。Vasilyev (2003) は、彼のモデルの中に循環を記述していて、一例になる。すなわち「4.5Gaの間に、太平洋巨大盆地を取り巻いている大陸は多量の陸源砕屑物と火山物質を供給した。そしてそれは、超塩基性基盤と共に、融解と変成作用を受け、太平洋の海洋地殻にみられる酸性岩体の出現をもたらした」。個人的に私は陸源砕屑物と超塩基性岩のランダムな混合が比較的均質な太平洋底玄武岩をもたらしているとは信じ難いことに気付いたのである。

循環に関する研究は、地質サイクルに関する適切な定量的検証を可能にする滞留時間と流入速度を用いるものであり、地球科学のなかで重要な位置を占めている。しかし私たちはほとんどのサイクルが地質時代を通して持続することを期待することはできない。結局、進化する地球においては、循環がはたす役割を限定的に信じるのが良いかもしれない。地質サイクルの考え方は、有用な教育的な手段だ、しかし、地球挙動を説明する主な論理として、その有用性が残ったのである。

Colin Pain による製図や役立つコメントに感謝する。

文 献

- BROWN, G.C. and MUSSETT, A.E., 1993. *The inaccessible Earth*. Chapman & Hall, London.
HOLMES, A., 1965. *Principles of Physical Geology*. Nelson, London.
GOLD, T., 1987. *Power from the Earth*. Dent, London.
HERNDON, J.M., 2003. Nuclear georeactor origin of oceanic basalt, $3\text{He}/4\text{He}$, evidence, and implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 100, No. 6, p. 3047-3050.
HOLLAND, H.D., 1984. *The chemical evolution of the atmosphere and oceans*. Princeton University Press, Princeton.
HOLMES, A., 1965. *Principles of Physical Geology*. Nelson, London.
HUTTON, J. 1788. *The Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*. Transactions of the Royal Society, of Edinburgh, Volume 1.
ISAACS, B., OLIVER, J. and SYKES, L., 1968. Seismicity and the new global tectonics. *Journal of Geophysical Research*, v. 73, p. 5855-99.
STRAHLER, A.N., 1963. *The Earth Sciences*. Harper and Row, New York.
STUART, F.M., LASS-EVANS, S., FITTON, J.G. and ELLAM, R.M., 2003. High $3\text{He}/4\text{He}$ ratios in picritic basalts from Baffin Island and the role of a mixed reservoir in mantle plumes. *Nature*, v. 424, p. 57-59.
TARLING, D.H., 1975. *Evolution of the Earth's Crust*. Academic Press, London.
Van der PLUIJM, B.A. and MARSHAK, S., 1997. *Earth Structure*. McGraw-Hill, New York.
VASILYEV, B.I., 2003. Geological structure and origin of the Pacific Ocean. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*. no. 27, p. 4-7.

造山帯の深部構造 DEEP STRUCTURES OF OROGENIC BELTS

Mitsuo HUNAHASHI

Department of Geology and Mineralogy, Hokkaido University, Sapporo, Japan

(角田史雄 + 矢野孝雄 [訳])

編集者注解

この論文は、著者のライフワークである地質学書『地球の形成—その地質発達史—』の一部(第5章 造山運動 p. 174-186)の翻訳である。東海大学出版(東京)1995年刊 [ISBN: 4-486-01340-9. 622p., 15,000円 (=約125U\$)] 原著は日本語と英文要旨] 出版社の許諾のもとに、D.R. Choiが翻訳、およびいくぶんの補筆

舟橋三男教授の略歴

1911年に札幌に生まれる。1941年北海道大学卒。1961-1975年北海道大学理学部地質学鉱物学教室教授。おもな専門分野: 日本の日高(アルプス)および安倍族(パリスカン)造山運動と岩石学。1999年12月14日没(札幌)。氏は、当該教室における訳者の指導者のひとり。

過去50年間に、地中海から中央ヨーロッパまでのびるアルプス造山帯の深部構造は、地震学的方法で研究されてきた。Geise (1978), Geise and Geutter (1978), Reutter and Groscurth (1978), Geise et al. (1981), Geise et al. (1983) などの多くの研究者による地殻とマントルにかかわる問題は、つぎのように要約されてきた。

1. アルプス造山帯の深部構造

弓なりの連続した造山帯は、ユーゴスラビアーオーストリアースイスからイタリアおよびギリシャまで続く。この造山帯の内側には、アドリア海にまでたつするポー平野の非変形帯がある。この造山的(可塑的)なゾーンと非変形の(剛性的な)ゾーンとの構造的対照性が非常にきわだっている。このことから、アルプス造山帯は、アフリカ大陸の北への移動・衝突の結果であるとの考えがでてきた。図1は古典的な構造断面である。この考えは、今日にいたるまで幅広く受け入れられてきた。しかし、個々の地域における構造発達の様式はさまざま、一つの単純な構造モデルでは説明できない。

典型的なアルプス山脈のモホ面の構造は以下のようになっている。台地である中央ヨーロッパのバリスカン造山帯やアルプス造山帯の前縁帯などにおける地殻の厚さは、35□30kmで一定している。アルプス造山帯の中央部にむかっていくと、その厚さは次第に増し、40km□60kmになる。もっとも厚いところは、Insubric 構造線(Periadria 線)の南にある。しかし、さらに南へいき、イタリアのポー平野にはいると、厚さは30km前後に急減する。

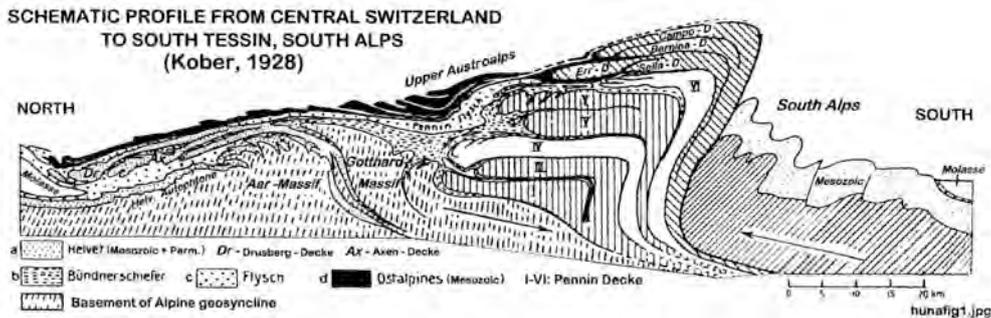
図2の地殻断面では、地下20□25kmに、きわめてはっきりした不連続部分があり、そこが急遷移帯になっている。北イタリアのIvrea 帯に露出する超塩基性岩は、マントル物質と直結している；グラニュライトと接する上面は

南へ深くなっている。ポー平野の地下30kmでモホ面につながっている。図3は、アルプス褶曲帯のたくさんの地殻の断面をコンパイルして創られたモホ面の等深線図である。

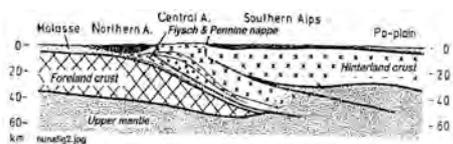
これらの断面(図1と図2)から以下の事がわかる。つまり、この地域で一般的な構造はポー平野の地下でみられ、そこでは、後背地を構成する地殻がヨーロッパの前縁帯へ向かって衝上性の動きをしている。ここで、主要な衝上断層面はマントルに根をもち、かつ、マントルを巻き込んだ動きをしているのである。つまり、後背地の地殻がヨーロッパの前縁帯の地殻上に重なり、地殻の累重が認められる。大きな密度のマントル物質があり、地殻に衝上断層があるということは、構造の遷移帯の地下に、観測された密度異常と構造的不連続帯があることを示している。

さまざまな地域の地球物理学的な測定(Panza ほか, 1980; Mueller and Panza, 1986)によると、地下200kmまでたつする異常マントル構造がアルプス造山帯の下にあることは明らかである(図4)。

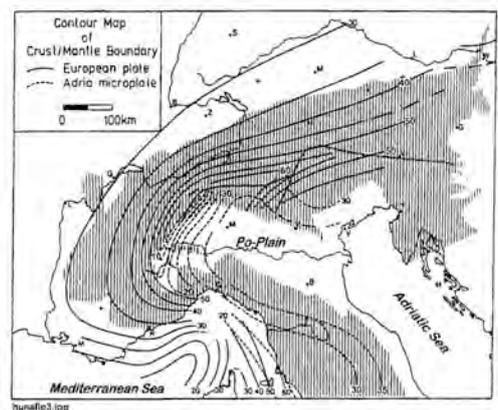
前縁帯と後背地のいずれでも、モホ面下のS波速度は4.35□4.65km/sで、これは典型的なリソスフェアの値である。これらの速度層の下面深度は地下70□120kmにある。しかし、アルプス造山帯の地下では、4.30□4.60km/sのS波速度をもち、幅400□500kmの柱状のリソスフェア塊が、S波速度4.10□4.30km/sのアセノスフェアを貫いている。図4で分かるように、この柱状塊の上の方には、やや遅いP波速度をもつやや柔らかめで滴状のリソスフェア岩塊が認められる。これらの事実は、アルプス褶曲帯が地下200kmの深さの”根”をもっていることを示している。



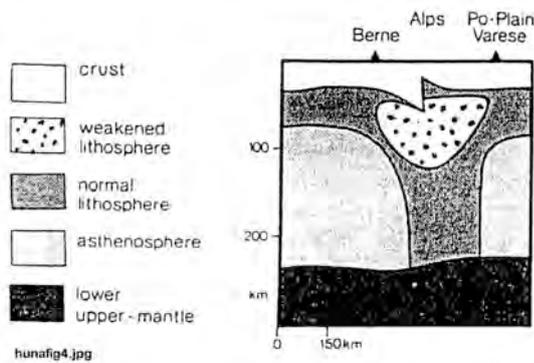
第1図 Kober (1928) によって描かれたスイス中央部から南テッシンまでの西アルプス山脈の地質断面図



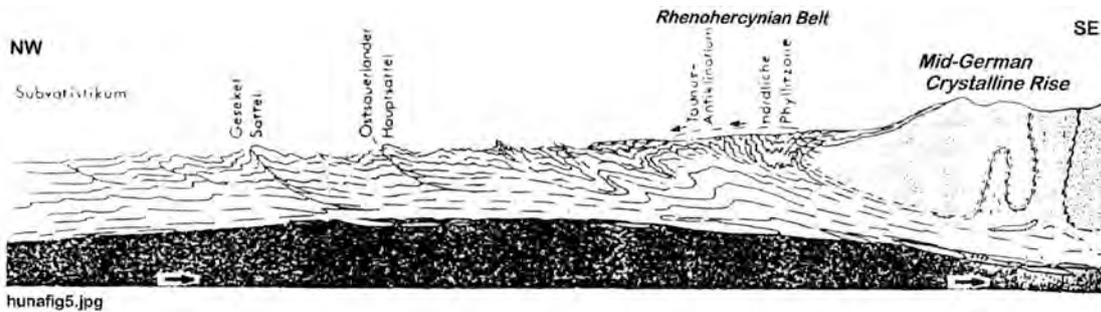
第2図 地震学的資料と地質学的データに基づく深部地殻断面図 (Geise et al., 1981)



第3図 モホ面深度 (Geise et al., 1981) 第2図参照。



第4図 アルプス造山帯のBernからイタリアのポー平野にいたる地殻および 上部マントルの断面図 (Geise et al., 1981). アルプスの下でアセノスフェアが上部マントルにたつする深さまで垂れ下がり、リソスフェアを分離している。山脈の地下に弱いリソスフェアのあることに注意。



第5図 Rheinische Schiefergebirge 東部におけるダイアグラムの構造断面図

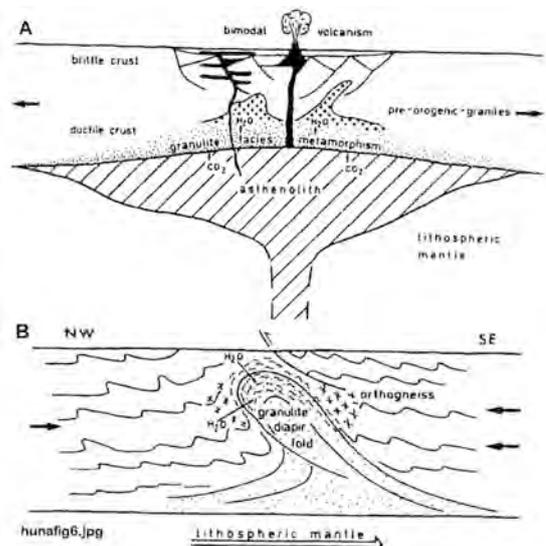
2. パリスカン造山帯の深部構造

地震学的データによれば、モホ面がはっきりしない新生代の火山岩地域をのぞき、ライン地溝帯にある Rhenohercynian 帯の地殻の厚さはほぼ30□ 35kmで一定している。しかし、Geise (1978)によれば、Saxonthuringia 帯の近くでの厚さのようすはもう少し複雑になる。つまり、数kmの厚さをもった、やや高速の速度層 ($V_p=6.5 \square 7.0\text{km/s}$) が、一般的な速度をもつ速度層 ($V_p=6.2 \square 6.4\text{km/s}$) で構成される地殻に突っ込んでいるのである。高速層は明らかに地殻と不調和で、ゆるく南東へ傾き、Saxonthuringia 帯ではおよそ20kmより深く、Moldanubia 帯ではもっと深いところにある。

上記のような事実は、低角衝上断層によって、Rhenohercynian 帯の上にSaxothuringia 帯がのし上げていることを示す。元のRhenohercynian 帯の広さの1/3□ 1/2になってしまった (Weber, 1978 : 図5)。図5にみるような特異な褶曲構造を説明するため、Behr (1978), Weber (1978), Geise ほか (1983), Weber and Behr (1983) などは、Ampferer の提唱した説に影響された概念を打ち出した。

このSubfluence (吸い込み) 概念は1890年頃に生まれたが、その当時の地質学界を支配していたのは収縮説だった。収縮説が拠ってたつところは、水平圧縮力や造山運動を産み出す地球表層の全体的な冷却である。Ampferer (1906) が提唱した吸い込み説は、圧縮説のアンチテーゼとして、アルプスの褶曲構造を説明しようとした。この説で強調されるのは、上載荷重によって形成された流動変形によって、下部地殻はもっと深いところへ飲み込まれる。そして、下部地殻から剥離した (detached) 上部地殻は、転倒褶曲や衝上断層などによって重ね合わされた造山帯構造を形成している。

この新しいパリスカン変動モデルは、Ampferer 仮説を復活させようとした。図5を描いたWeber (1978) は、吸い込み現象が下部Rhenohercynian 帯からより深部を占めるSaxothuringian 帯において発生することを論じた。他の研究者は、この吸い込み帯 (Subfluence) 構造を”Verschlungung Structure” と呼んだ。ここにおける流動は北西から南東へむかっている。上述したような Geise (1978) の指摘する不連続帯は、この衝上断層帯に関係している。Weber and Behr (1983) が第6図に示したような造山運動の早期におこる注入褶曲は、吸い込み帯における一つの活動形態として解釈される。

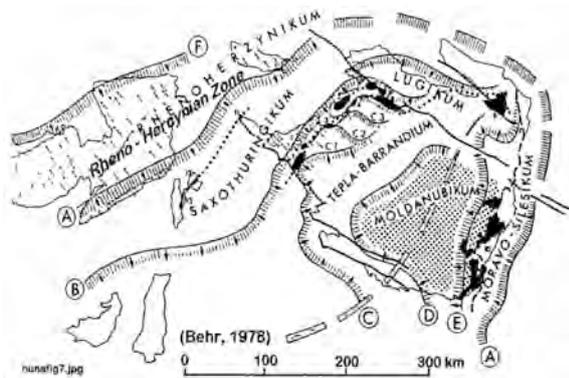


第6図 A) 地向斜の段階。古生代の大陸地殻のリフティングとそれと伴するリフトの変成作用。B) 造山運動期における圧縮ステージ。グラニュライトでできた岩体の注入作用。(Weber and Behr, 1983)

こうした観点にたち、Behr (1978) は図7でみられるようなパリスカン造山帯における吸い込み帯の配置や方向などを示した。この図は、それぞれの構造帯が Moldanubian マシフに向かって、内帯側の構造帯の下へと流動したことを示している。Behr は、吸い込み帯の運動はパリスカン期にもっとも活動的だったが、そのはじまりは後期古生代かそれより古い時代で、活動そのものは古生代末まで続いた、と述べている。

図7の吸い込み帯Aは Renohercynian 帯の上の中央ドイツ結晶岩隆起帯の衝上帯である。この結晶質岩の隆起帯は大きなグラニュライト岩体とそれが混成岩化した片麻岩とを包み込んでおり、どこでも、連続的に起こった変動によって混成岩化した岩相を示している。その岩石学的な特徴からすれば、それに隣接している岩体よりもずっと深いところで、吸い込み帯における深成作用があったことが分かる。したがって、変成作用は先中期デボン紀だった；つまり、3.8□3.7億年の年代値をもつ貫入岩が3.8□3.7億年の変成作用を被っているのである。この変成作用の間、Renohercynian 帯では、堆積作用があった。こうした深部の変成岩類を衝上断層運動で地表面までもち上げ、かつ、Renohercynian 帯をつくった造構作用は、ずっと継続していた吸い込み変動と考えられる。吸い込み帯Bは、いくつかのダイアピル岩体の点在する北西部背斜帯、とくにErzgebirgeやFichtelgebirgeに分布する。その内帯区域における構造は、C、D、Eの各吸い込み帯があるために複雑になっている。これらの構造帯はグラニュライト、ザクロ石カンラン岩、変グラニュライト質片麻岩などの変成岩相でできており、それぞれの変成岩体は長さ60□80km、幅20 kmのひろがりを持ち、北東—南西方向に配列している。厳密に言えば、それらは Moldanubian マシフ と呼ばれ、ヨーロッパのパリスカン変動帯の核をつくっている。

Geise ほか (1983) はパリスカン帯の地殻断面を示したが、それには、いくつかの南東傾斜の平行配列した不連続面が描かれている。これらの不連続面は、たしかに深さ50 kmまで続いている。彼らが強調したいことは、地殻は衝上岩体が重なり合った構造をしていること、その構造は何回にもわたる衝上断層活動によって重なり合った薄い岩層で特徴づけられること、その結果、地殻の厚さが35□45 kmになったこと、などである。



第7図 中央ヨーロッパにおける亜吸い込み帯とその移動方向ならびに流動方向 (Behr, 1978)。これは、Renohercynian 帯の上に重なる中央ドイツ結晶片岩帯の地域である。

ヨーロッパでは、水平運動で特徴づけられるアルプス変動にたいして、パリスカン変動にはそれが認められない、と以前は考えられていた。しかし、最近の研究では、かなりの水平運動があったこと、および、それによって衝上断層運動が生じて重ね合わせ構造がつけられ、地殻が厚くなったり、短縮したことなどが明らかにされた。アルプス変動帯と同じように、パリスカン変動帯でも水平圧縮力が支配的で、地殻は元の長さの1/3□1/2に短縮されたのである。

こうした基本構造—衝上性重合構造—は明らかに吸い込み変動によってもたらされたものである。この構造の発達過程のメカニズムは Behr (1978&1983) と Weber and Behr (1983) によって次のようにまとめられている：

- 1) 最初のステージにおいては、パリスカン変動帯は陸域ばかりで海域はなかった。
- 2) アステノスフェアが浅いところにまで上昇してきたために、リソスフェアが側方に押し分けられた。
- 3) リソスフェアのこのような動きによって、下部地殻は広がって薄くなるとともに、上部地殻が押し割られた；その結果、地表面はしぜん沈降して、地向斜が発達した。
- 4) アセノスフェアが近づいた結果、下部地殻は加熱され、すでに述べたグラニュライトや混成岩などが形成された。
- 5) このような地向斜段階で、地殻は広がるとともに、薄くなった。その地下では、水平圧縮力による動きがあった。こうしたことから、以下のことは確実である。つまり、エネルギーと熱が失われ、アセノスフェアが冷却する新しい局面で造構運動が発生しその結果、密度が大きくなり、沈降段階を迎えた。
- 6) 沈降から生まれた負の応力場では、上位や側方の岩石が下方へ呑み込まれていく。こうして、パリスカン帯の全域で、吸い込みが起こった。きわめて多くの衝上断層や剪断帯ができた。アセノスフェアの上昇による高エネルギー状態が剪断帯にそって運ばれた結果、吸い込み帯がつけられ、深成岩体が貫入してきた。

アセノスフェアの上昇と注入にかんして言えば、きわめて高変成度の変成岩をつくりだし、マンツルの再活動を示唆する高濃度のCO₂を含んだザクロ石カンラン岩様岩石を産み出すこととなった。

3. 深部構造の仮説

造山帯の形成メカニズムは、ながらく議論されてきた。かつての議論は地殻内に限られていたが、最近では、造山帯の形成にはマンツル活動が主要な役割を果たすと考えられるようになった。多くの仮説のなかには、基本的には、2つのグループが存在する。すなわち、1つは可動モデルで、もう1つは固定モデルである。典型例をあげると、アルプステクトニクスは前者、パリスカンテクトニクスは後者に属する。

アルプス褶曲帯の詳細な解析は、たとえ水平に圧縮された地質体であったとしても、さまざまな段階や異なる条件で発生した複合特性をもっていることを示した。このような一連の造構運動をひきおこす力は、よくわかっていない。主要な考え方は、ヨーロッパ大陸に衝突したアフリカ大陸の北方への移動によってアルプス山脈が形成された、というものである。しかし、この仮説は、ア

フリカを北方へ移動させる力の起源については何も述べていない。

最近流行のプレートテクトニクス仮説は、単一の大きな大陸が、地球史のある時期により小さいブロックに分割され、それぞれがアセノスフェアの上を滑り動いて、ばらばらに漂移した、と主張する。アルプス変動は、大西洋の開口による影響をうけてきた。この開口は、 Gondwana大陸の分裂時に、あるいは、南アメリカ大陸から分離するときにアフリカ大陸が反時計回りに大きく回転することによって、ひきおこされた。この回転によって、アフリカとユーラシアの間に位置していたテチス海が圧縮され、隆起した結果、現在のアルプス山脈を形成した。造山運動の究極の力は、実際の運動が起こる場所より遠くへだけあったところにある、というわけだ。このような考え方は、造山運動のもっとも基本的特性、すなわち、造山運動が地向斜から造山隆起にいたる自己制御された地球ダイナミクスシステムであることを無視している。

プレートテクトニクスにも、多くの学派がある。これらの1つは、海洋拡大仮説である。この仮説の仮定によると、海洋地殻が大陸地殻の下に沈み込むところでは、海洋底堆積物や大陸断片のような沈み込みに参加できない岩体が、沈み込み帯の上に積み重なって付加体を形成し、のちに、造山運動と隆起運動を被る。実際にも、多くの科学者がこの種の物語を信じている。彼らは、そのすぐれた例が日本列島で見られる、と主張する。しかし、彼らは、日本列島の地質学的事実を検証しないまま主張しているであり、かれらの考え方は地形的および形態的類似性（これは中世の方法論である）にのみもとづいている。私は、日本で、このようなプレートテクトニクス物語を正当化する証拠はないと考えている。

造山帯研究は、プレートテクトニクス仮説の導入によって、混乱しつづけてきた。しかし、事実にもとづくデータに直面すると、プレートモデルは常に大きく修正され、あるいは、特例に適合させられてきた。

パリスカン造山帯では、いかなる段階においても、海洋地殻が出現したためではない (Weber and Behr, 1983)。アルプス褶曲帯では、海洋地殻が実際に存在することを受け入れたにしても、その出現は少量である。アルプス帯のオフィオライト岩体は海洋地殻の存在を示す、と主張される。しかし、これらの産状は、現在の地中海にみられるようなリフト構造に比較されるものであり、それゆえ、オフィオライトを海洋地殻の証拠として用いることはできない (Hall, 1984)。

アルプステクトニクスの説明において、Giese & Reutter (1978) は、地向斜発達の初期段階において広大な海洋地殻を設定した。これは、拡大と沈み込みに従ったものである。しかし、この物語は、大陸地殻上に形成された幅狭い海洋地殻をもつ地向斜堆積物の発達史と理解したほうがよりすぐれたものになる。つまり、このほうが観察事実により近いのである。

多くの造山帯の発達史における初期段階はリフト形成によって特徴づけられ、全般的沈降をともなった。リフト構造系は地殻の展張によってひきおこされた直線のリフト帯の出現にはじまり、そこは著しい沈降帯となる。これらのリフト構造系は、大陸域に比べると、一般に大き

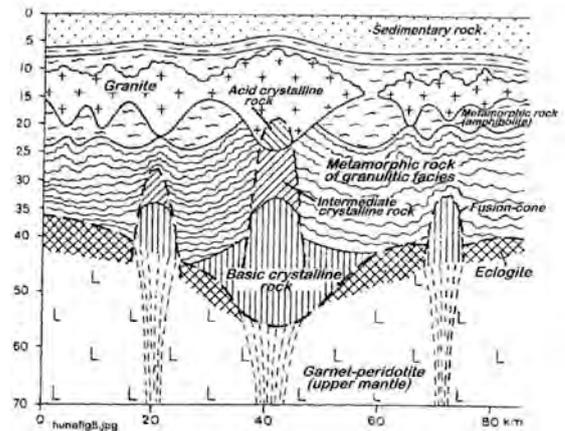


図8 地殻および上部マンテルの構造図解 (Belousov, 1966)

な熱流量によって特徴づけられる。リフト構造系下のマンテルは、つねに低地震波速度帯になっている。この領域は、異常な物理-化学的性質をもつと考えられ、地殻底に近接したアセノスフェアとみなすのが最適である。もうひとつの顕著な特徴は、リフト構造系にともなう苦鉄質火山活動である。それらは、おもに、アルカリ組成のソレーアイト質大陸玄武岩からなる。この事実は、ほとんどの中-新生代リフト系に共通して認められる。しかし、先中生代造山帯には、類似の相当物がスピライト-ケラトファイア火山岩層として存在することも注目される。この点では、グラニュライトとその他の変成岩類の研究が重要である。

グラニュライトはマンテル物質の存在と展張変形のもとで形成されることが知られていて、地向斜初期段階で生成する。それは、リフト構造系が発達する時期であり、地殻下部において、まさにグラニュライトが形成されている時期にあたる。これは、鉍物相平衡実験から導かれる温度-圧力条件からも支持される。とくに重要なのは、すべてのグラニュライト相変成岩類は、ヨーロッパのパリスカン変動帯で見られるように、すべて類似した産状と特徴を示す。造山運動の初期段階において、展張テクトニクス下で、マンテルから直接に物質注入をこうむった下部地殻において重大な変化がおこること、すなわち、再活性化したマンテルが造山運動に強く関係していることは、今日では検証された規則性である。

Ampferer (1906) 以来、造山帯にみられるような造構-深成作用の原因は、造山帯深部における熱対流にもとめられてきた。この問題を初めて指摘したのは、Van Bemmelen (1954) である。水平応力を造山帯形成の主因とする考え方とは逆に、Van Bemmelen のアンダーシェン仮説は、鉛直運動がもっとも基本的であり、水平運動は副次的であると主張する。地殻深部の応力系の変化を反映して地向斜中心部が隆起すると、補償的に隆起帯両側では沈降運動がひきおこされる。この過程で、地形的高所から低所への重力滑動が水平運動をもたらす、ナップ構造などができる。

Van Bemmelen の時代(1950年代)までは、アセノスフェアやマンテル対流の存在は知られていなかった。それゆえ、人々の議論は、地殻内あるいは深さ 50km 以内にかぎられていた。マンテルの深さにおける造構運動は、1966年にBelousovによって初めて議論された。彼の主要な立脚点の1つは、アセノスフェアの存在であった (図8)。

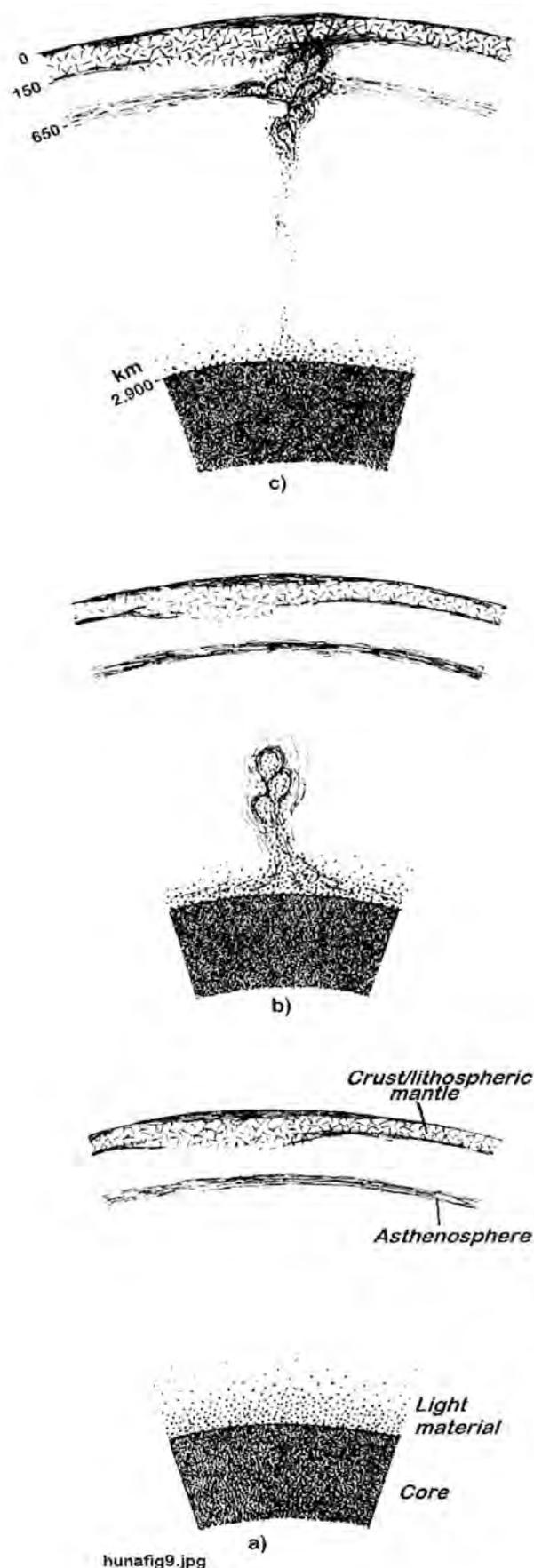


図9 全地球的造構作用を示す模式図

大陸の下には、低速度層が 100□ 250km の間に観測される。これは、マントル物質の部分熔融帯を示すと考えられる。このような熔融が長期にわたって局所的に集中し、ついには大規模な湧昇流を形成する。こうして、分化した玄武岩マグマが地殻中に貫入し、地表に達して火山を形成する。深部から表面へ高い温度が伝達されて、周囲の岩石のエネルギーレベルを高め、エクロジャイト、グラニュライト、そのほかの変成岩、広域的な鉱化作用、そして花崗岩化をもたらし、同時に広範囲に構造的擾乱をひきおこす。Belousov は、このような上昇流をアステノリス asthenoliths とよんだ。

固定学派から提案された造山運動モデルはすべて、エネルギー源として、深部からの熱供給を想定する。最初の頃の熱対流概念は、このような例の1つであった。Belousov (1966) のアステノリスは、造山運動の主要なエネルギー源と考えられていたアセノスフェアに関係している。Artyushkov (1983) は、地球化学データにもとづいて、この深部熱源問題を総合的に分析した。原始地球は、さまざまな密度の物質の混合物であった。高压下で熔融と分化がおこり、その結果、高密度金属物質が分離し、地球にコアを形成しはじめた。その後の長くつづく分化作用は、コアの体積をしだいに増加させた。この作用は、コア物質の沈降後にも存続した。こうして固体部分の密度低下を招き、コアへ排出された結果、密度分化がおこった。Artyushkov は、この作用を密度対流とよんだ。下部マントルは一般に高粘性であるため、コア-マントル境界以外では、ひろく化学対流が起こることはない。しかし、マントル中で高密度コア物質が未分化の領域は、不安定な密度逆転帯をつくりだす。外核は液体で、対流しているため、地球磁場を形成する。この対流は、内核からマントル底部へ熱を運搬する。それゆえ、マントル底部には、膨大な熱量がつねに供給される (Jones, 1977)。下部マントルは、こうして、さらに不安定になる。平衡を回復するために、より低密度物質が湧昇をはじめると、より軽い物質が集積すると、それらは浮力をえて、下部マントル中へ貫入し、最終的には、通路をとって地表に達する。より軽い物質の量は、新しく付け加わったコア物質と等量であると考えられる。外核の容積を考慮すると、湧昇することになるより軽いマントル物質は少なくとも 1,000km の厚さに達し、地表をおおう。これが上部マントル物質であり、未だに未分化な下部マントルとは明瞭に異なる。

より軽い物質の湧昇通路は、低粘性領域に存在する。近年の地震トモグラフィ研究によると、下部マントルに顕著な不均質性が存在することが明らかになった。地表でみられる活動的な造構帯からみると、このような通路は線状の造構系を形成している、と判断される。Artyushkov は、マントル湧昇流が 200 万年ごとに間歇的に発生する、と仮定している。湧昇流は、新しい物質と大量の熱エネルギーをアセノスフェアにもたらす。アセノスフェアの大規模な部分熔融は、深部地球からのエネルギー湧昇が想定された場合にのみ、可能になると考えられる。図9は、上述した議論にもとづいて 1966 年に映画作製のために初めて私たちが準備したものである。これは、巨大造山運動の発生において深部エネルギー源の重要性を直視する Umbgrove (1947)、Van Bemmelen (1954) および Ampferer (1906) と同様の考え方である。この考え方は、エネルギー源を、究極的には不安定なコア-マントル境界部に求めるものである。

文 献

- AMPFERER, O., 1909. Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. *Jahr. d. k. k. geol. Reichsanstalt*, v. 56, p. 539-620.
- ARTYUSHKOV, E.V., 1983. *Geodynamics. Development in Geotectonics 18*. Elsevier, 312p. (Translated by D.A. Brown, 1983).
- BEHR, H.J., 1978. Subfluenz-Prozesse im Grundgebirgs-Stockwerk Mitteleuropas. *Zeits. deut. geol. Gesel.*, v. 129, p. 283-318.
- BEHA, H.J., 1983. Intracrustal and subcrustal thrust-tectonics at the northern margin of Bohemian Massif. In, MARTIN and EDER (eds.), "Intracontinental fold belts." Springer-Verlag, p. 365-403.
- BELOUSSOV, V. V., 1966. Modern concepts of the structure and development of the Earth's crust and the upper mantle of continents. *Quarterly Journal of Geological Society, of London*, v. 122, p. 293-314.
- GIESE, P., 1978. Die Krustenstruktur de Variszikums und das Problem der Kurstenverkürzung. *Zeits. deut. geol. Gesel.*, v. 129, p. 513-520.
- GIESE, P., and REUTTER, K.J., 1978. Crustal and structural features of the margins of the Adria microplate. In, CLOOS, H., et al., (eds.), "Apls, Apenines, Hellenides." Schweizerbart Verlag, p. 565-588.
- GIESE, P., REUTTER, K.J., JACOBESHAGEN, V., and NICOLICH, R., 1981, Explosion seismic crustal studies in the Alpine Mediterranean region and their implications to tectonic processes. In, BERCKHMER, H. and HSU, K, (eds.), "Alpine Mediterranean geodynamics". *Geodynamic series 7*, Geol. Soc. America, p. 39-74.
- GIESE, P., JODICKE, H., PRODEHR C., and WEBER, K., 1983. The crustal structure of the Hercynian mountain systems a model for crustal thickening by stacking. In, MARTIN, H. and EDER, F.W., (eds.), "Intracontinental fold belts." Springer-Verlag, p. 405-426.
- HALI, R., 1984. Ophiolites: figments of oceanic lithosphere? In, GASS, S.J., LIPPARD, S.J. and SHELTON, A W., (eds.) "Ophiolite and oceanic lithosphere." Blackwell Sci. Publ., p. 393-403.
- JONES, G. M., 1977. Thermal interaction of the core and mantle long-term behaviour of he geomagnetic field. *Journ. Geophys. Res.*, v. 82, p. 1703-1709.
- MUELLER, S., and PANZA, G. F., 1986. Evidence of a deep-reaching lithospheric-root under the Alpine arc. In, WEZEL, F.-C., (ed.), "The origin of arc." Elsevier, p. 93-113.
- PANZA, G. F., MULLER, S., and CALCAGNILE, G., 1980. The gross features of the lithosphere - asthenosphere system in Europe from seismic waves and body waves. *Pure and Applied Geophysics*, v. 118, p. 1209-1213.
- REUTTER, K J., and GROSCURTH, J., 1978. The pile of nappes in the northern Apennines, its unravelment and emplacement. In, CLOOS, H., et al., (eds.), "Alps, Apennines, Hellenides." Schweizerbart Verlag, p. 234-243.
- UMBROVE, J.H.F., 1947. *The pulse of the Earth*. Martinus Nighoff, 358p.
- VAN BEMMELEN, R.W., 1954. *Mountain building*. Martinus Nighoff, 177p.
- WEBER, K., 1978. Das Bewegungsbild in Rhenohercynikum-Abbild eineer varistischen Subfluenz. *Zeits. deut. geol. Gesel.*, v. 129, p. 249-281.
- WEBER, K., and BEHR H.J., 1983. Geodynamic interpretation of the Mid-European Variscides. In, MARTIN, H. and EDER, F.W., (eds.), "Intracontinental fold belts". Springer-Verlag, p. 227-272.

出版物 PUBLICATIONS

(矢野 孝雄 [訳])

アンデス山脈の北部火山帯におけるスラブ融解が疑わしい場合 Dubious case for slab melting in the Northern volcanic zone of the Andes

GARRISON, J.M. and DAVIDSON, J.P., 2003

Dubious case for slab melting in the Northern volcanic zone of the Andes. *Geology*, v. 31, p. 565-568.

要旨：アダカイトが沈み込んだスラブの融解物を示すことを初めて示唆したのは、R.W. Key であった。以後、その特異な地球化学指標にもとづいて、アダカイトという用語はスラブ融解物と同義語となった。本研究の目的は、アンデス山脈の北部火山帯を例にとり、(1) 地球化学的指標を成因メカニズムに単純にむすびつけることの弱点をあげ、そして(2) スラブ融解の可能性に対する

評価においてはいくつかの総合化された証拠群を用いることの重要性を示すことにある。いくつかの島弧ではスラブ融解が起きているであろうが、北部火山帯における広域的な地球化学的傾向、および、それらの沈み込み帯の構造との関係はスラブ融解を示唆せず、ウェッジメントル由来の玄武岩マグマにはたらく通常島弧マグマ作用によって説明される、と私たちは結論する。

プルームテクトニクスにかんする2つの論説

プルームテクトニクスに関する2つの興味深い論説が最新の *Geoscientists* (Geological Society of London), volume 13, no. 8, 2003年8月に掲載された。

1) ANDERSON, D.L. "The plume hypothesis", p. 16-17. プルーム仮説は、さまざまなレベルで満足できるものではない。第1に、それは科学的ではなく、

検証されえない。それには、あまりにも多くの変種、例外、屁理屈、特例的な補正、および、予測失敗がある。このことは、この仮説がもっとも基本的なところで不十

分であることを示す。最初は、単純で洗練された検証可能なアイデアであったが、今では検証された結果、虚偽であることが証明された。科学の世界において、虚偽であることを証明するのは、ふつうは困難であるが、この場合には、原著論文における予測が虚偽であることが示された。しかし、もう少し言うと、この提案を支持するのに用いられたももとの証拠が信用を失い、放棄された。プリューム仮説は、今日では、洗練されていない(詭弁を弄した)、そして、醜悪でさえある考え方である。ホットスポットは熱くなく、固定されてもいないが、アイデアとしては生きのびている。Occam は不機嫌であろう。この仮説は、希望的観測であり、自己覚醒的である。それは、プロトマイオス、ピルトダウン、フロジストン phlogiston, ポリウォーター-polywater や低温核融合の類である。

2) SHETH, H., "Deccan claptrap", p. 20.

.....ももとのプリューム仮説は、深部起源で、細く、固定されていて、"エンリッチした", 異常に高温の、などと形容されるプリュームを想定した。非プリュームモデルは有意義でありながら、深く考慮されることもなく、拒絶された。今日のプリュームは、熱くなく、冷たいものさえある。これらは、マントル中で、固定されたり、揺れ動いたりすることができ、細かったり、ひどく広がったりする (superplume)。さらに、円筒状、板状、あるいは、その他の想像できうる (ご希望の) さまざまな形状を示し、マントルのいかなる深度からでも発生しうる。それらは、データを説明するために必要に応じて、まさに好都合に"エンリッチ"したり、"枯渇"したりすることができる。ある火山区における大量の均質なマグマが、"プリューム起源であるとする強力な証拠"になるが、もし重大な化学的不均質性が発見されれば、それは"プリュームが不均一であるという証拠"になる。特異な隘路でのがれることはできない。

膨張する地球：究極の原因 OUR EXPANDING EARTH: THE ULTIMATE CAUSE

著者：L.W. Dan BRIDGES, 出版社：Oran V. Siler Printing, デンバー, コロラド, アメリカ合衆国, 103p.
52 図, 1 図版. 2002 年. ISBN: 0-9724094-0-8.

第 30 章 結論 (p.89-90) から抜き書き
約 150 の円形構造と随伴地形が、隕石衝突起源であると解釈された。しかし、隕石衝突という解釈は、実際に隕石の破片が存在する地形にかぎられるべきである。少数の円形構造と散乱域だけが、この条件を満たす。それらの他の円形地形については、結論づけが困難である。議論の多いところであるので、これらは concentricline (同心構造) とよぶべきである。この用語は、それらの起源を予断するという問題を回避できる。起源問題については、現在、構造的、爆発性、火山性、地下溶解性および鉱化起源性、といったさまざまな組み合わせが提案されている。conentricline は、一般に、その主要成因にもとづいて、構造的、爆発性および火山性という範疇に細分される。構造的 concentricline は、盆地状地域に形成される傾向にあり、そこでは膨張する地球が圧縮場をもたら

した。爆発性および火山性 concentricline は、大断層沿いや先カンブリア区に存在する傾向にあり、そこでは地殻がより剛性的である。爆発性 concentricline に対する適切な解釈を困難にしている主な原因は、これらの爆発事件の多くが今日知られているいかなる現象よりもはるかに強力であった、というアイデアを私たちが受け入れることができないからである。すべての concentricline は、私たちの地球が膨張していることの現れなのである。

この本にかんするさらなる情報が必要な場合には、下記へ連絡してください。

L.W. Dan Bridges, 1925S. Vaughn Way #207, Aurora, Colorado 80014-1336, USA.
E-mail: <Dbrid41775@aol.com>

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。