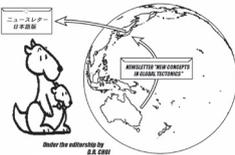




日本語版 Vol. 2, No. 4 (2015 年 4 月) ■ Print edition ISSN 2186-9693

多数のカラー図面は→ ■ Online edition <<http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/ncgt/>>



編集長 : Dong CHOI, 編集委員会 : Ismail BHAT, India (bhatmi@hotmail.com); Giovanni P. GREGORI, Italy (giovanni.gregori@alice.it); Louis HISSINK, Australia (lhisink1947@icloud.com), Leo MASLOV, USA (lev.maslov@unco.edu); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dp@dauidpratt.info); N. Christian SMOOT, USA (christiansmoot532@gmail.com); Karsten STORETVEDT, Norway (Karsten@gfi.uib.no); Boris I. VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru); Takao YANO, Japan (yano@rstu.jp)

も く じ

■ 編集者から	ウラジミール ベロソフが遺したもの	Legacy of Valdimir Belousov	[小松宏昭 訳]	2	
■ 編集者への手紙	地球の高度的二峰性	Earth's altitudinal bimodality	佐藤完二	[佐藤完二 訳]	3
	世界の深海盆 Yu.M. Pushcharovsky の見解	A. SHLEZONGER et al.	[赤松 陽 訳]	4	
	地窪 テクトニクス	Diwa tectonics	Paul BURRELL	[赤松 陽 訳]	6
■ 原著論文	Generalized geotectonic hypothesis of Vladimir V. Belousov	Lidia IOGANSON	[久保田喜裕 訳]	6	
	VLADIMIR V. BELOUSSOV の総合的地体構造論				
	On plate tectonics Vadim GORDIENKO				
	プレートテクトニクスについて		[山内 靖喜・柴 正博・矢野 孝雄 訳]	11	
	Is tectonic tremor a precursor to earthquakes?	Ugo COPPA and Giuseppe LUONGO			
	構造的な微動は地震の前兆か?		[小泉 潔 訳]	36	
	The myth of Early Warning System (EWS): Is it possible to mitigate seismic disaster with the EWS?	Arun BAPAT			
	早期警戒システムの虚構: 早期警戒システムで地震災害を軽減することができるのか?		[岩本広志 訳]	46	
■ 討論	Stephen W. Hurrell: A new method to calculate paleogravity using fossil feathers	Robert Arthur BEATTY			
	Stephen W. HURRELL: 化石羽を用いた古重力計算の新手法		[山内靖喜 訳]	49	
	Reply 回答 Stephen W. HURRELL		[山内靖喜 訳]	49	
	Tectonic framework of the "Darwin Rise" Dong R. CHOI				
	"ダーウィン海膨" の造構的枠組み		[矢野孝雄 訳]	49	
	Late Mesozoic tectono-magmatism in the West Pacific Ocean 矢野孝雄				
	西太平洋における後期中生代の造構 - 火成活動		[矢野孝雄 訳]	53	
■ 随 筆	When global tectonics became a 'pathological science't Karsten M. STORETVEDT				
	グローバルテクトニクスが '不健全な科学' になったとき		[杉山 明 訳]	59	
■ 出版物	Topical issues of geology of oceans and continents Boris A. BLYUMAN				
	海洋と大陸の地質にかかわる重要課題		[矢野孝雄 訳]	72	
	Constant-Scale Natural Boundary mapping to reveal global and cosmic processes Pamela Elizabeth CLARK and Chuck CLARK				
	全地球および宇宙の諸作用を解明するための一定スケールの自然境界調査			73	
	The Global Climate Status Report (GCSR) 気候状況報告 (GCSR)		[矢野孝雄 訳]	74	
■ 日本語版 (v. 2, n. 4) の訂正				75	
■ ニュース [EGU]/ 財政的支援について / ニュースレターについて				75	

連絡・通信・原稿掲載には、次の方法の中からお選び下さい: NEW CONCEPTS IN GLOBAL TONICS 1) Eメール: editor@ncgt.org, ncgt@ozemail.com.au, または, ncgt@hotmail.com (≤10 MB), ncgt@hotmail.com (>10 MB), 2) ファックス (少量の通信原稿): +61-2-6254 4409, 3) 郵便・速達航空便など: 6 Man Place, Higgins, ACT 2615, Australia (ディスクはMS Word フォーマット, 図面はjpg, bmp, またはtif フォーマット), 4) 電話: +61-2-6254 4409. 免責 [DISCLAIMER] このジャーナルに掲載された意見, 記述およびアイデアは投稿者に責任があり, 編集者と編集部には責任はありません. NCGT Journal は 季刊国際オンライン査読誌で, 3月, 6月, 9月, 12月に発行されます. 電子版 ISSN 2202-0039, 印刷版 ISSN 2202-5685.

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

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

[翻訳・編集] NCGT ジャーナル翻訳グループ: 赤松 陽 岩本広志 川辺孝幸 窪田安打 久保田喜裕

小泉 潔 小坂共栄 小松宏昭 佐々木拓郎 杉山 明 柴 正博 角田史雄 宮城晴耕 山内靖喜 矢野孝雄

編集者から FROM THE EDITOR

(小松 宏昭 [訳])

ウラジミール ベローソフが遺したもの Legacy of Vladimir Belousov

今号の NCGT Journal (p. 14 ~ 19) には, Lidia Ioganson によるウラジミール ベローソフの業績についての 3 回目の寄稿文が掲載されている. ベローソフは, アーサー メイアホフと同じくわれわれの時代にあって最も影響力のあった地質学者である. われわれのような西側の世界にいる者にとって, これは, ベローソフの最も近くにいた門人の一人から, 彼についてのことを直接聞くことができる貴重な機会である. Ioganson の論文は本当に歴史的な価値がある. そして私は, NCGT が, 一連の公表論文について討論の場となることをうれしく思う.

ベローソフの重要な業績の一つは, 地殻の鉛直変動と地球深部からの熱流, それらの必然的帰結としての海洋化作用仮説であろう. 海洋化説は歴史の検証に生き残っている. それは 1990 年の彼の死後, 世界中の海洋から発見された疑う余地のない具体的な証拠によって有効な仮説であり続けている. これは Ioganson (2014a) によって広く, 客観的にまとめられている.

われわれは特にこの 30 年間, 地震トモグラフィと深海掘削による地球内部の想像図の急速な進歩を目の当たりにしてきた. 今日では, 地球内部と海洋底の豊富な情報をたやすく入手できるようになった. 地表地質と結びついた地震トモグラフィによって, われわれはより確かな地球深部構造をイメージすることができる. 地球と太陽そして他の惑星との相互作用のよりよい理解は, 上下する深部エネルギーの謎を解くヒントを与えてくれるだろう. 地球表面の地震やマグマ活動の原因となっている地球深部からの熱エネルギーの流れは, その存在が実証されつつあり, 今日では地震や火山活動の予測に使われている. NCGT に継続的に投稿されたわれわれの多くの研究は, ベローソフの基本概念を支持するものである.

私はベローソフの仕事, 特に 1975 年に発表された「Principle of Geotectonics」に大きな影響を受けた. この本は, 藤田至則氏を代表者とする日本の地質学者のグループによって日本語に翻訳された. 藤

田氏の構造運動に関する考え方は, 大陸の広範な地質学的データに基づいており, 私の興味を引き付けるものであった. というのは, 氏のいくつかのアイデアは, 私自身の地質学データを説明する支えとなっていたからである. 私は 1980 年代を通じて彼としばしば連絡を取り合った. 私と彼との最初で唯一の面会は, 1989 年 7 月に NCGT シンポジウムが行われたスミソニアンでの学会の直前であった. 場所はアメリカ合衆国ワシントン DC のレストランで, ハバロフスクから (学会に) 参加した Innokenti Tuezov が同席した. われわれの議論は海洋化のプロセスに集中した. 藤田氏との最後の接触は 1990 年代の終わりごろ電報によって行われた. 氏は私に対してこの問題に関する見解を求め, 早急な返事が依頼された. というのは, 彼にはあまり時間が残されていなかったからである. 数か月後, 私は彼の訃報を受け取った. 藤田氏は今日まで, 私の地質学の仕事や思想を (ここまで) 導いてくれた指導者の一人であった.

ベローソフは自分のアイデアを主張することに控えめで, (時には) 厳格でさえあった. 地質学的なプロセスは, 密集した個々の乱れが併合された様々なオーダーの無数の構成要素からなること, そして複雑な地質学的なプロセスは, しばしばそれが (地質学の) 本質的な要素になりうることを認めていた. 1991 年に公表された彼の最後の仕事での主張には, 注目すべきものがある. :「著者は, 地球科学の普遍的法則を創造するというわれわれの努力のなかで, 現在は地球の, そして地殻に関してさえも, 根拠のある理論の発展をまとめるのは不可能であるということを確認する必要がある. われわれは, 徐々にではあるが地球内部全体の運動理論を構築しつつあるということを確認している. しかしながら, その確かな理論が構築される前に, 多くの世代の研究者たちがこの世を去るであろう」(ベローソフ, 1991 — Ioganson, 2004c から引用).

われわれは確実に全地球的変動理論の確立に近づいている. しかし, その完成への道のりはまだ程遠い.

文献

- Belousov, V.V., 1991. Plate tectonics and tectonic generalization. *Geotectonics*, no. 2, p. 3-12. (in Russian).
 Belousov, V.V., 1975. *Principles of Geotectonics*. M: Nedra, 262p. Translated from Russian into Japanese by Kishimoto, F., Aoki, B. and Kanemitsu, F. (edited by Fujita, Y.). 368p. 1979. Kyoritsu Shuppan, Tokyo.
 Ioganson, L., 2014a. Belousov's view of the origin of oceans. *NCGT Journal*, v. 2, no. 2, p. 7-12.
 Ioganson, L., 2014b. The 1977 Vladimir V. Belousov letter to Victor E. Khain. *NCGT Journal*, v. 2, no. 3, p. 3-6.
 Ioganson, L., 2014c. Generalized geotectonic hypothesis of Vladimir V. Belousov. *NCGT Journal*, v. 2, no. 4, p. 14-19.

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

地球の高度的二峰性 Earth's altitudinal bimodality

(佐藤 完二 [訳])

編集者様

私は退職した日本の教員で、NCGT ジャーナルに掲載された記事を読むことを楽しみにしています。このジャーナルでは、プレートテクトニクス、海洋化、レンジテクトニクス、サージテクトニクス、地球膨張などのグローバルテクトニクスの学説について、各号で議論が続いています。しかし私は、どの理論においても、「地球の表面地形の歴史」について十分な注意がはらわれてこなかったように思います。そこで、私は、地球の高度的二峰性にかんする私の見解をここに述べ、みなさまからのコメントをいただければと思います。

地球は地球型惑星の1つとして誕生しました。地球だけが特殊なメカニズムで誕生したとは考えられないので、初期地球は地球型惑星に共通する特徴をもっていたと考えられます。

地球をはじめ、地球型惑星は、高地と低地からなる地形的二分性をもちます。いっぽう、高度分布をみると、金星・火星・月が一峰性で、地球だけが二峰性です。

私は、地球型惑星の表面地形は、高地と低地からなる地形的二分性ととともに、高度分布の一峰性という共通する特徴を持っていた、と考えます。これは、地球の地形高度の二峰分布は、その後の地球史のなかで形成されたことを意味します。したがって、グローバルテクトニクス学説は、地形的二分性の起源のみならず、地球が高度的二峰性を獲得したプロセスをも説明する必要があります。

地球史の理解には、この二峰性の形成プロセスの解明が重要課題の1つになります。私は、次のようなプロセスをへて二峰性が形成されたと考えています(年代は概略)：

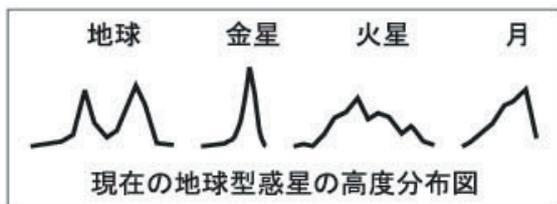


図1 地球型惑星の高度分布図 (Masursky, H. et al., 1980. Pioneer Venus radar results: Geology from images and altimetry. Jour. Geophys. Res., v. 85, no. A13, p. 8232-8260 から編入)。

1) 冥王代 (46 億～40 億年前)：海の形成

地球は46億年前に形成された。初期地球の地形的特徴は、地球型惑星に共通して、高地と低地からなる地形的二分性を示し、高度分布は一峰性であった。

初期地球が冷えてくると雨が降りはじめ、低地に海が形成された。高地の浸食によって砕屑物が供給され、海に運ばれた。

2) 始生代 (40 億～25 億年前)：花こう岩の形成

高地が浸食されるにつれて、砕屑物が海底に厚く堆積した。厚い砕屑物は、マントルから上昇してきた玄武岩質マグマによって融解し、最初の大陸地殻を形成した。

3) 原生代 (25 億～5.4 億年前)：高地の消失

高地はひきつづき浸食されて低くなり、増大する大陸地殻が海面を上昇させた。高地が侵食された結果、6億年前頃には海水準に準平原が形成され、もはや砕屑物が供給されなくなった。玄武岩質マグマが低地に進入しつづき、元は高地であった準平原上に溢流しはじめた。このようにして、海水が地球表面の全体を覆うようになり、全地球的潮汐が始まった。

4) 顕生代 (約5.4 億年前～現在)：大陸の隆起

マントルからひきつづき供給された玄武岩質マグマが、浅くなった低地を陸上の大陸として隆起させた。3億年前頃には、玄武岩質マグマが海洋底に溢流して、海洋地殻を形成しはじめた。大陸は今日まで隆起しつづき、現在みられる地球の地形的二分性と高度的二峰性が完成した。

上述の地史は、地球の表面地形が2段階の発展を遂げたことを示しています：(1) 始生代～原生代には、地球型惑星に共通にみられる高度的一峰性が地球上から消失しました。(2) 顕生代には、地球に固有な高度的二峰性が形成されました。

大陸と海洋はまったく異なった歴史をもちます。大陸はかつての低地に、海洋底はかつての高地に、それぞれ由来します。地球史を通じて、低地は一貫して容積と高度を増し、今日の大陸地殻を形成しました。一方、高地は始生代～原生代をつうじて容積と高度を減らし、その後、顕生代になって容積と高度を増して今日の海洋地殻を形成しました。

グローバルテクトニクスの諸学説には、地球の表面起伏の歴史が組み込まれる必要があります。大陸と海洋の地史的相違を考慮して、それぞれの地域と時代に適合するように造構作用を復元することが求められています。

私は、この小文を契機にして、NCGT ジャーナルで活発な議論が行われることを期待します。

著者注解

1) 海洋底の古期岩石は、高地における先カンブリア時代の火成

活動と浸食作用の歴史を経て形成された、と考えます。この考え方を支持するデータがより多く集積することが望まれます。

2) 地球型惑星の高地と低地は最初の位置から移動したことがない、と私は考えています。地球上では、初期の低地が大陸に、初期の高地が海洋底になりましたが、これらの変化は原位置で起こったでしょう。

佐藤完二

m2001@ma.kitanet.ne.jp

日本、東京

世界の深海盆についての Yu. M. Pushcharovsky の見解 Yu. M. Pushcharovsky's view on world deep oceanic basins (赤松 陽 [訳])

アカデミー会員 Pushcharovsky によって分類されたいくつかの海洋類型に注目することは読者にとって有益だろう。海盆は世界の海洋のひじょうに広い部分を占めている。それらの海底地形はしっかり研究されてきたが、その構造的な重要性はあまり注目されていない。各海盆の堆積中心にかかわる専門的研究がなかったばかりか、それらは一般的な海洋形成モデルにも組み込まれていない。

これらの重要で、興味深い造構性構造は、2003年に Yu. M. Pushcharovsky によって初めて注目された。彼は、大西洋においてそれらを閉じられた等深線によって区別し、深海盆と呼んだ。その後、同じものが太平洋やインド洋でも、そして北大西洋

においても識別され (Pushcharovsky, 2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2011 and 2012), 合計すると数10もの深海盆が詳細に記述された (図1)。それらを閉じられた等深線によって識別することはひじょうに容易ことであるという事実にもかかわらず、賢明にも、近年まで深海盆のテクトニクスに関する専門的研究がなかったことに、Pushcharovsky は気づいた。ところが、この指摘に誰も注意を払わなかった。しかし、海の深い部分は、深海盆として区分されるだろう。

Pushcharovsky は、深海盆を、intermountain (山間), abyssal (深海性), interfaulting (断層間), thalassosyneclises (深海地向斜), central

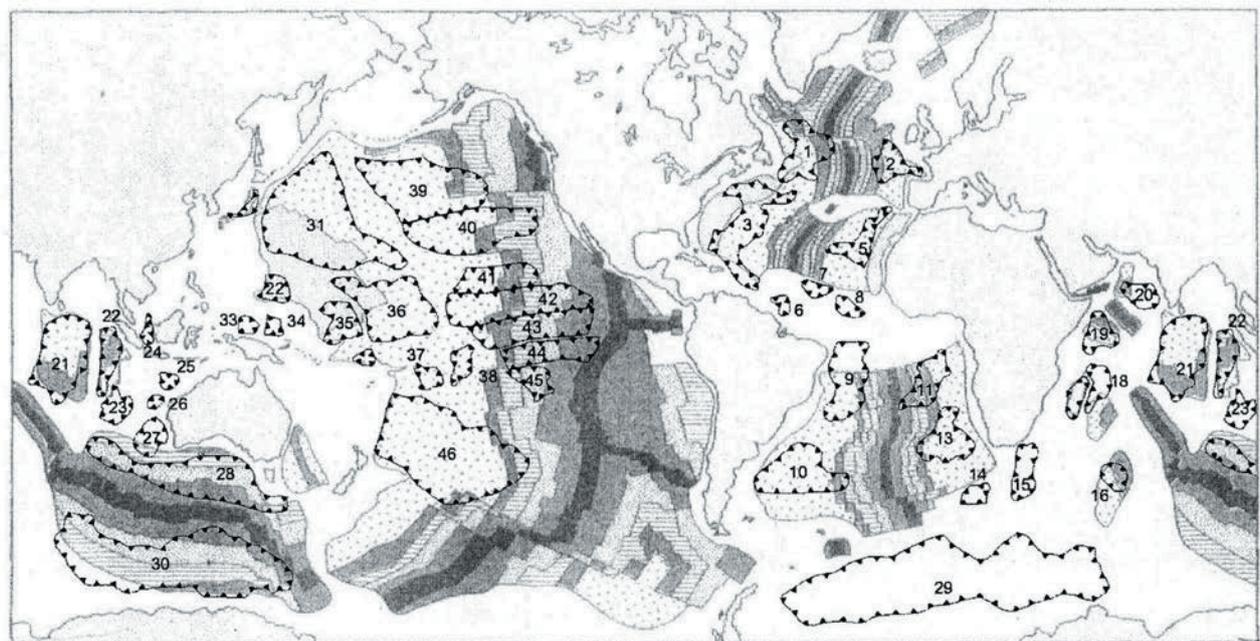


図1 世界海洋の深海海盆 (輪郭: 黒三角線) の模式。陰影部は種々の時代 (世界海洋の外側を占めるジュラ紀~白亜紀から、中央海嶺と隆起部を構成する鮮新世~第四紀まで) を示す。

thalassosyneclises (中央深海地向斜), そして perispreading (縁辺拡大部) に分類している. これらすべての海盆の時代は, 後期三畳紀から新生代後期 (北大西洋のアイスランド海盆, ノルウェー海盆, など) のさまざまである. 興味ある事実は, 大西洋中央海嶺からの距離がさまざまであるにもかかわらず, すべての深海盆は, 共通して, 4.5 ~ 5.5km の海底深度と 5.6 ~ 6.0km (まれに 9 ~ 10km) の音響基盤深度を示す. また, このパターンは太平洋やインド洋でも認められる.

深海盆には, 内部境界—中央海嶺と隆起部, および外部境界—大陸斜面と深海海溝, という2つのタイプの主要境界が認められる. 海盆と境界間の距離は最大数 100km の範囲で変化する. Pushcharovsky は深海海溝と深海盆を合理的に区別している. たとえば, 大西洋の北アメリカ深海盆と同様に, 太平洋の北東, 北西, ココス, 南太平洋などの深海盆は, 海溝の近くに位置しているが, 数 km ほど浅い.

深海盆をとりまいている広大な深海平原を識別することはひじょうに重要である. Pushcharovsky (2011) は, 大西洋の深海盆は地質, 発達史, 深度パラメーターが変化に富むことを立証した. 他の海洋でも同様な結論がえられるだろう (Pushcharovsky, 2006 and 2007). また, 深海盆の構造は不均質である.

上述の事実は, 海洋の構造発達理論を創出するための優れた材料になる. 大西洋や他の海洋の深海盆は, 永続的な歴史をもつ巨大構造形態である. Pushcharovsky (2008 and 2011) は, これらの形態は現在まで形成されつづけている, と信じている. この理論は, 拡大を拒絶してはいないが, 深海盆の形成にかかわる他のプロセス, つまり, 大陸の自動的移動 (傾動をもたらすリソスフェアの伸長) と火山性隆起 (リソスフェア物質の噴出と凹地を形成する相補的流動) を含んでいる.

近代海底地形学において, このような明白な特徴に誰も気づかなかったことは, 注目すべきことである. 世界の海洋テクトニクスに関する優れた専門家の一人である Pushcharovsky による多くの出版物は, 彼の数多くの学生や門人たちの間でさえ 10 年間近く無視されていた. 深海盆は, Mazarovich (2013) による総説モノグラフ「大西洋の鉄-マンガン鉱床形成とテクトニクス (Tectonics and Re-Mn metallogeny of Atlantic Ocean)」において, 初めて取り上げられた.

このモノグラフでは, 最新の構造的隆起を想定する S.G. Skolotnev の論文とともに, 深海盆に関する Pushcharovsky の最後の刊行物の一つを紹介している. Skolotnev 氏に, 氏の論文で Pushcharovsky の考えになぜ言及しないのか, その理由を尋ねてみる

と, 彼の深海盆に関する知識が不十分であるとの由であった.

しかしながら, 本当のところは, 次のような事由であろう. つまり, 最新の造構性隆起は, まちがいなくプリュームテクトニクスに関係するとし, プレートテクトニクスについては議論していないが, 沈降構造はプレート理論の根拠を根こそぎ破棄するからである. Pushcharovsky による深海盆は, ニューグローバルテクトニクス概念には結びつかない. なぜなら, それらが地磁気異常として概括的に示される海洋地殻の年代帯に明瞭に重なるからである (図 1).

もちろん, 世界の深海盆研究は十分ではない. もっとも先入観のない情報は, これまでも識別されていた海底地形 (bottom bathymetry) としてもたらされている. 堆積作用, 音響基盤, 海洋地殻と上部マントルの地震波速度層に関する情報はそれほど信頼できるものではない.

後者の意味で, 太平洋北西深海盆は最高度に吟味されていて, さまざまな地震探査 (反射, 屈折, 音響) が縦横に実施され, ODA 掘削井も多い (Gladnikov and Schlezinger, 2012; Patrikeev, 2009). そこでは, モホ面, 地震波速度層 3B, 3A, 2, そして海洋地震波速度層 1 の堆積物についての情報 (一般に海面下 5 ~ 6km の海洋底から, 最大数 km まで) が得られている.

上部ジュラ系~新生代堆積物の層厚は, とくにシャツキー海台上では 1km に達し, そこは後期ジュラ紀~白亜紀の向斜中軸帯にあたっている. 新生代堆積物の層厚は, 千島深海海溝の東縁をなすゼンケヴィッチ (北海道) 海台縁辺部で 500 ~ 600m に達している. Pushcharovsky は, この海溝を太平洋北西深海盆の西縁と規定し, その東縁を天皇海嶺およびグアム海嶺に設定している.

Pushcharovsky は, 地球の深海盆を現代の海洋海盆の堆積中心とみなした. これらの深海海盆はプレートテクトニクス概念と相容れず, そのため, 誰もそれらを徹底的に研究していない.

図 1 の海洋底に示される深海海盆の無秩序な配置が, 地磁気異常によって知られる海洋地殻年代が成立しないことを明示する. したがって, 世界の海洋は, 大陸地殻の伸長や古海洋のマグマ性岩体によってではなく, 鉛直造構作用による下向きの運動によって生成したのである. 地震断面も, 短期間の下方運動 (あるいは Belousov による塩基性化作用) とよばれる短期間の下方運動 (陥没) を示している. 最も強力なものは, 最近のわずか数 10 万年間に起こった第四紀後期の運動である.

文 献

- Gladenkov, Yu.B. and Schlezinger, A.E., 2013. North-Western border of Pacific Ocean. News of Earth Sciences Dept. of RAS, no. 22, p.72-83. (in Russian)
- Patrikeev, V.N., 2009. Atlas of seismic sections of North-Western plate of Pacific Ocean. Moscow, GEOS, 207p. (in Russian)
- Puscharovskiy, Yu.M., 2003. On formation of deep basins in Atlantic Ocean. RAS reports, v. 389, no. 6, p. 790-794. (in Russian)
- Puscharovskiy, Yu.M., 2004a. Deep basins of Atlantic Ocean as tectonic structures: features, age, mechanics. Rus. Journal of Earth Sciences, v. 6, no. 2, p. 1-15. (in Russian)
- Puscharovskiy, Yu.M., 2004b. Moving continents. Geotectonics, no.3, p.3-12. (in Russian)
- Puscharovskiy, Yu.M., 2006. Tectonic types of deep basins of Pacific Ocean. Geotectonics, no. 5, p. 25-38. (in Russian)
- Puscharovskiy, Yu.M., 2007. Tectonic types of deep basins of Indian Ocean. Geotectonics, no. 5, p. 23-37. (in Russian)
- Puscharovskiy, Yu.M., 2008. Tectonic types of deep basins in oceans and their relation to potential Fe-Mn fields of exploration value.

- Geotectonic, no. 4, p. 3-17. (in Russian)
- Puscharovskiy, Yu.M., 2010. Tectonic structure and geodynamics of junction of Atlantic and Arctic oceans. Geotectonics, no. 3, p. 30-39. (in Russian)
- Puscharovskiy, Yu.M., 2001. Tectonics of deep basins. "Tectonics and Fe-Mn metallogeny of Atlantic ocean". Geological Institute, RAS. GEOS, v. 594, p. 108-140.
- Puscharovskiy, Yu.M., 2012. Tectonic types of deep basins and structural segmentation of North Atlantic. Geotectonics, no. 2, p. 29-41. (in Russian)

謝辞：著者らは、公表原稿の準備に際して、貴重なご援助にくださった NCGT 編集者 Dong Choi 氏に深く感謝いたします。

Alexander E. SHLEZINGER¹, Alexey V. KHORTOV³, Rimma G. KORNEVA¹ and Vladimir N. PATRIKEEV²

1-Geological Institute, RAS. 119017, Moscow, Pyzhevskiy Lane, 7, rima@ginras.ru

2-Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS. 693022 Yuzhno-Sakhalinsk, Nauki St 16

3-Shirhov Institute of Oceanology, RAS. 117997 Moscow, Nakhimovskiy Pr., 36

地窪 テクトニクス Diwa Tectonics

(赤松 陽 [訳])

編集者殿

NCGT 誌に対してたいへん感謝いたします。そして、地窪についてお聞きし、興味をそそられました。NCGT 以外には西欧の地質家にとって学ぶ機会がほとんどない中国やロシアに関する多くの知識に感謝いたします。

よろしく

Paul Burrell

Sepon Exploration Manager

MMG LXML Sepon

Vilabouly District, Savannakhet Province, Lao People's Democratic Republic

T +856 4126 7155 (Desk), M +856 20 2221 3453 (Laos)

M +61 428 885 464 (International)

paul.burrell@mmg.com; www.mmg.com

原著論文

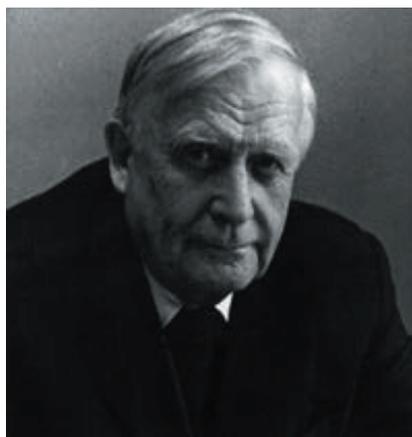
ARTICLES

VLADIMIR V. BELOUSSOV の総合的地体構造論
GENERALIZED GEOTECTONIC HYPOTHESIS OF VLADIMIR V. BELOUSSOV

Lidia IOGANSON

Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, Russia
ioganson@bk.ru; iogan@ifz.ru

(久保田 喜裕 [訳])



要旨 : Vladimir V. Belousov の地体構造論が、真の仮説を創りだそうとする彼の姿勢とともに、議論される。造構作用の主要な駆動力は熱である、とペロウソフは考えた。熱の起源は放射壊変や物質分化に求められる。ペロウソフは、晩年の研究で、脈動的熱供給 (heat impulses) 源の解明からは遠ざかったものの、それらが造構作用をひきおこすエネルギーであると考えていた。彼はまた、それまでに得られていた知識にもとづいて真の造構作用学説を創造することは不可能である、と結論した。

キーワード : 地体構造論, 熱, 分化, 内生的体系 (endogenous regime), 実証的帰納則 (empirical generalization)

ロシアの傑出した地質家ペロウソフは、地球造構作用の基本問題に強い関心をいただいていた。造構作用の問題は、彼の生涯にわたる研究テーマであった。彼はまた、そのテーマに沿って、総合的地球造構作用仮説を創出しようと考えていた。総合的地球造構仮説は地球構造の基本様式—褶曲・海洋・地殻の幾何学のみならず、特定の褶曲がある特定の地域に出現する理由も説明すべきである、と信じていた。

そのためのペロウソフの最初の試みは 1940 年代前半、すなわち、実質的には、彼の科学研究活動の初期に始められた。それは、地球造構概念の歴史に関する研究では常にとりあげられる放射移動仮説 (the Radiomigrating hypothesis) であり、ペロウソフの造構論に特有なものと考えられている。その一方で、ペロウソフは後に地球の造構発達史に関するいくつかの概念を展開したが、彼の豊富な科学的遺産にはこの問題に関するさまざまな視点が含まれていた。こうしたとりくみによって、適切な造構学説を創出するための独自の仮説と原理の両者を探究しようとする姿勢が、時代とともに劇的な変化をとげた。この傑出した科学者は独自の造構概念の基礎をつくり、それに続くほぼ 50 年間にわたる実り多い研究を展開した。晩年の研究では、造構論の納得のいく仮説を創造するには至らなかったことを認めざるをえなかった。他の説を徹底的に排斥し、最も妥当な造構要因論を創り上げようとしたペロウソフの多くの試みによってもたらされたのは、今日の方法論のもつ意義と、本質を探究する科学的な好奇心である。

ペロウソフは造構要因の全般的規則性に早くから興味をいただいていたが、かつてのロシア地質委員

会 (レニングラード、現在は—セントペテルブルグ, A. P. Karpinsky ロシア地質研究所) に所属した著名なロシア人造構論者である故 M. M. Tetiaev によって 1930 年代半ばに組織された特別な地体構造グループにおいて、彼の研究は不可欠なものとなった。Tetiaev は、ロシアの科学研究分野として地球造構論を創設した人物であった。ペロウソフは後に師についてこう記している: “私たちは、この人物の論理力の前にはひざまづくほかはなく、彼は科学のあらゆる分野に強固な枠組みを創造した” (Belousov, 1961, p. 7).

Tetiaev は、創造性に富む研究者であるがゆえに、大多数の地球造構論が地質学に特異な要因物質を想定して考察していることに失望し続けていた。そのため、地球内部における物質の引力と斥力 (いいかえると、圧縮と引張) という弁証法的な考えにもとづいた独自の具体的概念を展開した。この重要な地球造構仮説の創出には、ある造構領域の実際の調査結果にもとづいて入念に検証することが重要であった。そのため、ペロウソフはコーカサス山脈の進化を解明して、Tetiaev の概念を実証することに傾注した。このような研究の結果は、ペロウソフの基礎となった 3 巻の単行本 “The Great Caucasus. Experience of geotectonic researches” (1938-1940) によって、地質学に 1 人の新しい主役を誕生させた (The works and days ..., 2008).

この研究において、若いペロウソフは、地球造構運動の諸作用について全般的考察を進め、方法論的には、次のように、過度の憶測がすぐれた仮説の障害になると考えていた:

地球のさまざまな深度に発生する諸作用は、相互に関連していて、連鎖現象を起こす。その初期過程は著しい深部に発生し、のちに表層へ移動する。造構作用の一般的課題を究明する際に、ある人は“すべての原因をつくりだした原因”を求めてできるだけ深くまでハシゴを下ろす (down the ladder: 解決の糸口を求める) が、別の人は最初のいくつかの関連を調べただけで限界を感じてしまう。後者は今となつては無理のないことに思える。私たちは、地球深部へ向かえば向かうほど、足下の科学的根拠が乏しくなり、いきおい憶測や推測、さらには単なる空想に頼らざるを得なくなることを理解している。私たちがもし事実 (material) にもとづかない仮説を立てることに奔走するなら、それは事実を歪曲する結果をもたらすだろう (Belousov, 1939, p. 62)。

ベロウソフは、1930年代後半～1940年代前半に、ソ連科学アカデミーラジウム研究所 (レニングラード) に所属していた (The works and days..., 2008)。したがって、1940年代以降、彼が造構運動のエネルギー源を放射壊変熱に求める考え方を展開したことは驚くに値しない。その見解は、ちょうど彼の2つの論文、“放射元素の壊変と地球構造の進化” および、地史にまで適用された“放射線移送仮説” に明確に述べられている (Belousov, 1942 and 1943)。放射線移送仮説を唱えたきっかけは、造構運動の駆動力の主要エネルギー源である放射壊変熱が、地球の発展過程において周期的に蓄積された、という推論にあった。この過程におけるもっとも重要な特徴は、地球内部の放射性元素の時空的集積にみられる不規則さにある。放射性元素の集積サイクルごとに、地球深部から地殻への不可逆的な移送が全地球史にわたってくりかえされ、その結果、地殻中の花崗岩物質が増大することになった。地球深部から地殻への放射性元素の周期的ではあるが定向的な移動は造構運動に反映され、その結果、造構運動が次第に衰弱し、卓状地が拡大し、地向斜域が縮小した。

ベロウソフは次のように考えた；

地球造構作用は、地殻の相対的安定化と、かつての地向斜域の地背斜 (卓状地) 化という方向性をもつ。この安定化の過程は不可逆的であり、地球史を過去へたどればたどるほど、地球表層の地向斜はより広範囲に、地背斜 (卓状地) はより小規模になっていくはずである (Belousov, 1943, p. 147)。

もし逆の過程、すなわち卓状地の地向斜への転化が起きるならば、ベロウソフは、たとえ適切なデータが欠けているとしても、次の考え方を提唱したこと

は明白である；

地背斜域が地向斜へ転化を示す明白で疑う余地のない証拠は未だ知られていない... 全地球構造史は、地殻が徐々に安定化へ向かってきたことを示す (Belousov, 1943, p. 151)。

ベロウソフは、彼の仮説を確証するために、地殻上部の放射性物質の量を計算した。彼はその仮説にいくつかの制限を加えた結果、その体系では造構サイクルの周期性の要因を説明できなくなった。そのため、彼は次のように考えた；

我々が導いたものではないが、さまざまな地域の運動を同期させる振り子のような役割をはたし、それらの変動に正しい周期性をもたらす固有な作用が存在する。地殻にみられる大規模な脈動のような地球造構運動の周期性は、広大な領域における振動現象として認識され、それは地球のかなり深部に由来するいくつかの現象に制御されているのだろう (Belousov, 1943, p. 157-158)。

2, 3年後、ベロウソフは本来の地球造構論という課題にたち戻る。彼は、放射線移送説を“忘れ去ってしまった”かのようで、その後の研究では決して言及しなかった。それどころか、1947年の論文では、そのような仮説を創造する必要性があることを明言した；

諸過程や諸現象を体系化するということは、観察によって、それらの時空的相互作用を認識し、すべての現象が時間的、空間的、機能的に相互関連していたこと、さらには、系の一部が変化すると、別の部分を不可避的に変化させたことを整理することを意味する。

ベロウソフは1950年代に、あらたな概念を発展させる。それは、物質分化に由来する地球発達史のエネルギー源にかかわるものである。今では、放射壊変熱は、分化のエネルギー的影響を増大させる副次的要素にすぎない。この概念は第10回国際測地球物理学会議 (1954年、ローマ) で、初めて発表された。そこでの要点は、軽いものを上昇させる地球物質の分化過程であった。この内部矛盾による諸過程は、多くの深度に発生する。その深度や厚度はかなり便宜的で、上層の厚さは少なくとも100kmと想定されていた。

多段階の分化は必然的に、各深度ごとに密度逆転をもたらし、その結果、深層からより表層へ、次のようにより軽い物質を移送する可能性をもたらす；

深部過程には、いちじるしく興味深い矛盾が

存在する：分化はそれぞれの深度ごとに次第に平衡状態に近くなるが、それぞれの“階”の境界では不安定性が増大し、それらが時間とともに解消されると、また新たな不均衡が生ずる。このように述べられた現象を説明する固有メカニズムは、まだよくわからない (Belousov, 1955, p. 58).

ペロウソフは、地球内部の上層と下層におけるこの作用の速度変化は、物質の粘性率の相違に由来すると述べた：

... 深部では物質の粘性がより大きくなり、分化は浅部よりもよりもゆっくり進行するだろう。

この示唆は、卓状地と地向斜における運動特性を考える上で重要である。地向斜の強い運動は上層“レベル”の比較的活発な分化作用に関連し、ゆっくりとした静かな卓状地の運動は大深度で遅れて発生する分化作用に由来する。これらの推測から、ペロウソフは次のように結論づけた：

この観点から、地向斜から卓状地への転化は、上層（地向斜）深度での強い分化作用が終了して、下層（卓状地）深度での低速の分化作用にひきつがれた結果して起こった、と説明されるだろう (Belousov, 1960, p. 20-21).

分化作用に適合する上述のすべての現象は、地殻が玄武岩層と花崗岩層へ分化する過程にも適用される。分化作用は、各球殻へ分離していく地球発達史の全般的傾向の反映である、とペロウソフは考えた。

この概念の枠組みの中で、ペロウソフは、物質の多段階分化作用によって引き起こされる地球進化史に花崗岩時代と玄武岩時代を識別した。彼は、まずもって偏倚が起きたのは表層球殻であり、波状の振動運動を伴う地向斜-卓状地が発達する花崗岩時代の造構運動をもたらし、地殻は酸性（花崗岩質）物質で満たされたという。その後、深部が熔融したため、過熱玄武岩が湧昇し、玄武岩時代における造構作用の活発化、花崗岩地殻の破壊、および海洋化作用をもたらした (Belousov, 1960).

1970年代前半のペロウソフの研究には、次の概念である“熱波仮説”が現れた。まず最初に、地殻の造構運動にみられるさまざまな現象に熱が決定的な役割をはたしていることをまとめた：

さまざまな内因的諸作用にみられる密接な相互関係は、造構・火成・変成作用に共通する初生的要因である深部現象に私たちの目を向けさせる……。それらの一般的要因は、唯一、熱であると結論づけることは容易である。事

実、熱は火成作用や変成作用の直接的な要因である。熱は、造構運動を引き起こすだけでなく、熱の影響のため、地殻やより深部の岩層の物質均衡が乱され、その結果、それらは移動せざるをえなくなる (Belousov, 1973, p. 20-21).

周期的熱波は、上部マントルの熱的な励起と冷却を繰り返しひきおこす内因的周期性の原因である。こうして、テクトノスフェアの熱環境の時空的不均衡が地殻の内成的発展をもたらしてきた。内成的周期性はまさに熱波そのものを示唆し、不規則な周期性の減少をもたらす内成的リズムの生成機構を説明できるかもしれない。その熱波は、上部マントルの熱的励起や、それにつづく冷却期をもたらす。熱的脈動は上部マントルのある部分だけに影響する：

アセノスフェア加熱の周期性は、不連続的で、間欠的な高温深部物質の湧昇に起因する。励起された場が特定の地域に偏在することは、励起がどこでも発生するのではなく、ある限定された場に発生することを示している (Belousov, 1974, p. 52).

深部の加熱物質が湧昇する様式についての彼の考え方は、ある意味でブルームテクトニクスのアイデアに先鞭をつけるものであったが、さまざまな領域で同時に活性化するという重要な観点を含んでいた：

これらはおそらく、まわりの媒質よりも低粘性物質によって充填された下部マントル深度に達するチャンネルであろう。さまざまな大陸で熱的衝撃がほぼ同時に発生するのは、そのようなチャンネルのすべてがほぼ同時に開口した結果として理解される。低粘性の超深度チャンネルが形成され、それらが周期的にほぼ同時開口する理由は、現在もなお明確に説明されていない (Belousov, 1974, p. 52).

ペロウソフがただ一度だけ“熱波という仮説” (Belousov, 1973, p. 35) を論述したことは注目に値する。そして、これは、彼の研究のなかで彼自身の地球造構論についての最後の言及であった。彼はさらに続けて：

著者は一般化されたジオノミー説を自在にもちあわせているわけではない。... さらに地球内部に起きるすべてのことを説明できると言い張るわけでもない。彼は、総括的かつ広範な事象を包含した内因作用仮説をいま提案することはまったく不可能であると確信している。というのは、我々の地球についての知識に巨大な空白があるからである (Belousov, 1975, p. 219).

内因的体系概念 (the concept of the endogenous regimes) は熱波説 (the hypothesis of the heat waves) から導かれ、それはペロウソフの科学思考の真髄であろう。彼は、地殻への熱供給や地殻の浸透率が不規則であり、そのために造構・火成・変成作用が時空的に規則的に組み合わせられていく、とする内因的体系論を主張した。内因的体系とその変化は地球の造構史を調整し、最終的には地球の構造様式を決定する (Belousov, 1978)。ペロウソフは、各々の内因的体系は上部マントルの加熱レベルに反映されることを明示した。この観点によれば、造構作用の周期性は、地球内部における新たなエネルギーの集積期間と、内部エネルギーの“放出” (断裂に沿って加熱物質が地表まで上昇する) 期間が交互に起こることに由来する。

ペロウソフの創造力がもっとも成果をあげたのは、1970年代であったことは明らかである。この期間に、彼は内因的体系の基本的学説を発展させ、地殻、大陸・海洋マントルに関する著書を刊行し、大陸地殻の海洋化作用を実証した。表明された考え方は、全体として、ほぼ完璧な論理性のある造構概念であった。ところが、それ以降、ペロウソフは、彼の研究結果のすべてを”経験的一般化”とみなすようになった。おそらくは、得ることができる知識に熟達したこの科学者の想像力は、地球システムの際限のない複雑さという顕著な描像に直面し、停止してしまっただろう。このような経緯は、満足のいく造構論を創造しようとする努力に比べて、当時の知識がきわめて乏しいことに彼が気づいたことを示唆する。ペロウソフが地球造構学説の創出を主張しなくなった理由はここにあり、彼のライフワークが”造構作用の一般的学説の創造をめざして考察すること”だけに動機づけられていた、と表現された。

上述のとおり、これまで述べたペロウソフの地球造構仮説と経験的一般化のすべてが、造構要因の主要なエネルギー源が熱であるとの認識を基礎にしている。しかし、経験的一般化において、この規定は今日でも、仮説の主要な要素として位置づけられることなく、概念の一部を構成するに留まっている。

地球を熱機関とする J. Hutton の規定は、ペロウソフをつねに魅了してきた。彼は実際にもこの意見を共有し、彼の仮説と経験的一般化において、熱が放射壊変あるいは地球内物質の分化のいずれに由来するにせよ、地球内部熱源を一貫して探究してきた。これは、やや驚くべきことであるが、造構作用の主要因に関する長期にわたる探究をまとめたペロウソフの最後の研究において、熱源の検出の可能性を排除し、衝撃的な認識に至った理由でもあった：

“最も一般化すれば、地球は複雑な熱機関 (a complex heat engine) であるといえる。その

内部から次々と熱が発生し、テクトノスフェアの発達を決定する主因となっている。そのような熱は時空的に不均一に流出する。時間的な熱の変動、その脈動性が、活動期と静穏期を交互にもたらす。熱の脈動性が内因的周期性をもたらす... 放射壊変と地球物質分化の位置エネルギーというほぼ相同な2つの現象は、常に地球内部の熱源であると考えられる。我々はこの問題を深く探求することは出来ない：我々には地球内部から表層への熱流が存在するということだけで充分なのである (ゴチック-本稿の著者)” (Belousov, 1989, p. 334).

ペロウソフは、逝去後の1991年に出版された論文で、一般的地球造構論についての最終的見解を次のように述べている：

“地質過程は、密接不可分な複雑に絡まった事象が融合された、さまざまな階層の無数の構成要素で構成されている。地質過程の複雑さは、しばしばそれらの本質をなしている... 著者は、地球科学の一般化に努める際に、地球の発達、そして、地殻の発達でさえも、合理的な成因論を定式化することは、現段階ではまず不可能であると認識する必要がある... と信じている。我々は、地球内部のグローバルな学説の創造に漸近することができる。しかし、そのような仮説の創造までには、幾世代もの研究者たちの努力が必要であろう” (Belousov, 1991a, p. 12).

最後に、地球外殻の発達について、一般化された学説を装うことなく、本質的基礎を解明した、この傑出した科学者の貢献を述べるのが適切であろう：

テクトノスフェアの発達は次の2つの主要因の組み合わせに集約される：

- a) 上部マントルの地球化学的枯渇
- b) 空間的および時間的 (準周期的) 不均質性に規定された... 深部地球球殻から表層球殻への熱放出...

大陸と海洋の地殻は、熱放出の2つの異なったメカニズムに由来する2段階の地球化学的平衡に対応している、と考えられる (Belousov, 1991b, p. 59).

謝辞：ロシアの卓抜した地質家 V. V. Belousov の思考に関心を寄せることを励ましてくれた編集者 Dong Choi 氏に心から御礼申し上げる。これらの考え方を紹介する機会を与えてくれた今日の科学的動向に強く感謝する。草稿を詳細に校正していただいた編集者に特段の謝意を表したい。

文 献

- Belousov, V.V., 1938-1940. The Greater Caucasus. An experience of the geotectonic research. Part 1-3. Leningrad, 92p.
- Belousov, V.V., 1942. Migration of radioelements and the development of the structure of the Earth. The paper 1. Izvestia (News) of the Acad. Sci. USSR. Geographical and geophysical Series, v. 5/6, p. 298-319. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1943. Migration of radioelements and the development of the structure of the Earth. The paper 2. Izvestia (News) of the Acad. Sci. USSR. Geographical and geophysical Series, v. 3, p. 147-160. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1947. The main stage and current state of Geotectonics. Problem of theoretical and applied Geology. Moscow Geological Prospecting Institute, Collected work, no.1, p. 11-17.
- Belousov, V.V., 1954. The next problem of the general Geotectonics. Soviet Geology, Collected works, no. 41, 1954, p. 3-25. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1955. The internal structure and evolution of the Earth in the light of the geotectonic data. Geophysical Institute, no. 26 (153), p. 51-60. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1960. Development of Earth and tectogenesis. Soviet Geology, no. 7, p. 3-27. (in Russian).
- Belousov, V.V., 1961. The value of works M.M. Tetyaev in the development of Geotectonics. The problem of Geology. M.: Gosgeoltechisdat (State geologic-technical edition), p. 7-17. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1973. The causes of endogenous processes. Reporter of Moscow State University, no. 2, p. 20-35. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1974. On endogenous regimes of the continents. Geotectonics, no. 3, p. 47-54. (in Russian).
- Belousov, V.V., 1975. Principles of Geotectonics. M.: Nedra (Earth's Interior). 262p. (in Russian).
- Belousov, V.V., 1978. Endogenous regimes of the continents. M.: Nedra (Earth's Interior). 232p. (in Russian).
- Belousov, V.V., 1989. Principles of Geotectonics. M.: Nedra (Earth's Interior). 382p. (in Russian).
- Belousov, V.V., 1991a. Plate tectonics and tectonic generalization. Geotectonics, no. 2, p. 3-12. (in Russian).
- Belousov, V.V., 1991b. Tectonosphere of the Earth: the relationship of upper mantle and crust. M.: Interdepartmental Geophysical Committee of Presidium Ac. Science of Soviet Union. 72p. (in Russian)
- The works and days of Vladimir Vladimirovich Belousov (1907-1990). 2008. The documentary biography. Composed by L.I. Ioganson. M.: Institute of the Physics of the Earth. 208p.

プレートテクトニクスについて ON PLATE TECTONICS

Vadim GORDIENKO

Institute of Geophysics, National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine
 tectonos@igph.kiev.ua vgord@inbox.ru

(山内 靖喜・柴 正博・矢野 孝雄 [訳])

要旨: この論文は、プレートテクトニクス仮説の起源と、この概念の大陸、海洋および遷移帯への適用過程を解析する。研究対象とした地域の地史および地球物理学的証拠は、この仮説に矛盾する。

キーワード: プレートテクトニクス, 大陸, 海洋, 地史, 地球物理場の異常

まえがき

約 30 ~ 40 年前に、Belousov が、内因的メカニズムに関する包括的概念を発展させた。この概念は、大陸、海洋、および遷移帯の（検出可能あるいは観察可能な）地下深部で起きる諸事象を 1 つの統一的方法で記述したものである (Belousov, 1975, 1978, 1982, など)。それは、20 世紀の地質科学に集積された膨大な知識 (van Bemmelen, Yeardley, Cloos, Aubouin, Stille, 他) を統合し、発展させ、さらに、Shatsky, Strakhov などによって導入された地質構造にかんする考え方で補完された。ほぼ同

時期に、コアとマントル岩石の地球化学特性、熱流量異常、電気伝導度、および地震波速度にかんする初期の研究成果とともに(重力場と磁場については、それまでに十分に研究されていた)、深部過程に必要なエネルギー供給、ならびに、地球という天体の内部エネルギー源にかんする情報がえられるようになった。こうして、エネルギー保存則にしたがった造構モデルを構築することが可能になった。

プレートテクトニクス仮説 (PTH) が初めて導入され、より発展していく時代には、上述の 2 つの環境は完全に無視された。その中で、内因的条件が " 地球力

学環境”というかなり曖昧な記述に置き換えられた。以下では、PTHにもとづく深部造構作用のモデル化とともに、今日の混乱した研究動向が論述される。

プレートテクトニクス仮説が100%支持されたことはない。BelousovやA. Meyerhoff and H. Meyerhoffがそれを排斥したほどではないが、Sheynmanは強い言葉でそれを批判した。彼は、「ニューグローバルテクトニクスは、本質的に未証明の仮定に依拠している」(Sheynman, 1973, p. 6)と主張した。NCGTジャーナルでは数十名の科学者が、また、それには名前があがっていないオーストラリア、英国、インド、イタリア、デンマーク、ノルウェー、ロシア、合衆国、日本などの数百名の科学者が一緒になって、この仮説に反対している。

最近の20年には、この仮説を承認しない傾向が現われている。その実例は、Khainの見解の変化に示される。1971年に遡ると、彼は、かつての地向斜概念にまだ執着していた。かなり公式的な様式にしたがって地向斜作用を特徴づけ、それが他の諸活動に根本的に相違することを強調することもなかった。彼は、「…発達の前期(地向斜段階)に堆積層・溶岩流・火砕岩類が厚く堆積し、後期(造山時相)に強烈な隆起運動が褶曲山脈構造・花崗岩バソリス・地表火山活動をともなって発生する地向斜変動帯」になることを論じていた(Khain, 1971, p. 6)。PTHが地球造構作用のもっとも確実な論理的基礎であると認識しながらも、彼はPTHには「地向斜の形成、とくに、褶曲-衝上変形作用に対する合理的説明が見いだされない」と指摘した(Khain, 1972, p. 28)。ところが、(PTHはなんら変化しないにもかかわらず)14年後には突然、「地向斜学説の主要仮定—地向斜帯の構造と、それらの進化の段階と傾向—は、プレートテクトニクスによって、即座に、そしてうまく解釈される。プレートテクトニクス学説はもともと、これらの仮定を学説の骨格として包含していた。同時に、古典的な地向斜用語の多くは有用で、不可欠であるように思われる」(Khain, 1986, p. 11)と論述した。さらに10年後に、Khainは、今日では研究地域の下に特定の深部過程が存在しないことが証明されているとの理由で、「地向斜」概念の必要性を放棄した。この長い物語は、地向斜はプレート“縁”におけるテレーンの衝突場である、とを要約される(Khain and Lomize, 1995)。ところが、すぐに「プレートテクトニクスは、James Huttonを始祖とする地質研究者たちが200年にわたって夢見つづけてきた包括的で、真の全地球的な地球学説ではないことが、最近では、しだいに明確になりつつある」に転じる(Khain, 1996, p. 38)。これは穏やかな表現で、実態を反映していないながらも、PTHの不合理性を表明したものである。

Milanovskyは、現状をほぼ同様に記述する。PTH

は「その進化の限界を迎え、造構学説の主導的パラダイムの転換を予告しているようである…」(Milanovsky, 2000, p. 216)。Pushcharovskyの見解では、「プレートテクトニクスは、経験的に構築されものではなく、本質的に概念的である」という(Pushcharovsky, 1999, p. 132)。

事実として、地震研究者たち(たとえば、Gung et al., 2003; 他)によって、大陸と海洋は深度数百kmまでそれぞれに固有な速度断面をもち、大陸と海洋のマントル組成には重要な相違があることが発見された。しかし、幾人も科学者たちが未だに、比較的薄いプレートの運動によって造構作用を説明していて、これは奇怪である。

このような状況にもかかわらず、PTHは現在もなお、造構作用のパラダイムの存在でありつづけている。この異様な状況に動機づけられて、本稿の著者は、この仮説とその適用を批判しようと思いついた次第である。PTHの有効性を喧伝する論拠の検証では、気候・古生物・堆積岩などのデータはすでにくりかえし議論されてきたので(たとえば、A. Meyerhoff and H. Meyerhoff, 1974; 他)、これらは割愛して、ここでは他のデータが論述される。

PTHの歴史に関する2, 3の批評

移動論の起源は、地質科学の成立に先立つFrancis Baconの“Novum Organum”(1620)に遡る、との意見がある。“Novum Organum”の第4章から引用した次の文章は、この意見が誤りであること明示する。「世界の地形の大半が、無視できない整合的存在である。たとえば、アフリカや、マゼラン海峡に伸びる大陸としてのペルーをみると、それらの土地には類似した地峡と岬がそれぞれ存在し、偶然として説明するのは困難である」。

「また、旧世界および新世界が存在し、両者は北へ向かって幅広くなり、南へ狭くなり、尖っている」(Bacon, 1978, p. 131)。この記述は大陸の形状に適用され、それらの運動に適用されないことは確実である。

Hutton(1788)の著書“Theory of the Earth”は、Nicholas Steno(1638-1686)にはじまる水成論的地質学を体系化した。それ以前の18世紀に移動論という考え方が存在したとはとても考えられない。

19世紀には、たとえばLyell(1860)やSuess(1892)—後者は百科全書派の著書“Das Antlitz der Erde(地球の相貌)”であり、ロシアの後継者に大きな影響をあたえた—は、現在の大陸塊の位置に関する仮定を議論した。Suessの見解では、それらの位置は間接的に相対的変位を示唆するだろう、とされる

(しかし、それがゴンドワナ大陸の分裂に由来するとしても、陸橋の消失という考え方が好まれた)。

Wegener は彼の著作 "The Origin of Continents and Oceans" (Wegener, 1984) のなかで、移動論を展開した。彼は、当時入手可能な議論を幅広く利用して、ユーラシア-アフリカと南北アメリカがかつては一体であったことを提起した。そして、地球自転が、アイソスタシー均衡にある大陸塊と大陸と海洋の上部マントル深度 (計算に用いられた物体の厚さから判断された) とに異なる様式で作用したために、大陸分裂を引き起した、と信じた。

この類のメカニズムは、今日におよんでも支持されることはないだろう。また、1920年代あるいは1930年代に、それが地質研究者の中に多くの熱狂的な支持者をうることもなかった。しかし、Holmes (1931) によって、マントル対流が拡大させ (A. Meyerhoff and H. Meyerhoff, 1974)、大陸を移動させる (たとえば、Vening-Meinesz, 1940 が示唆したように) ことが提唱されると、運動のエネルギー源を特定できないにもかかわらず、移動論が流行しはじめた。エネルギー源の問題点については、Jeffreys が次のように適切に論述している。「…熱対流学説について：それは定量化が不十分で、定性的にも受け入れがたい。私たちが説明しようとしていることがらのいずれをも説明しえない」(Jeffreys, 1960, p. 421)。20世紀前半の多くの著名なロシア人地質研究者たちも (Arkhangelsky, Kropotkin, および Shatsky)、移動論を批判した。

しかし、ヨーロッパとアメリカで、とくに大陸移動に関する古地磁気データがえられるようになると、移動論支持者が増加した。この方法を適用した個別事例を次に引用する (古地磁気データのそのような適用が不可能であることを証明した Storetvedt, 1997 の詳細で事実にもとづく解析を参照されたい。本稿の目的を、しばしばとりあげられてきた1つの問題に集約したい)。地球磁場の記載を読むと、すぐに疑問が湧いてくる。これらの観察結果では、"主要な" 磁場が中心双極子 (その軸は地球の自転軸に一致し、常在することが望まれている) 由来とし、残余のすべての磁場を複雑要素とみなすことが求められる。この研究方法は、磁場の解明後にはじめて、求められるモデルの特性を決定することができる、という先験的なものであった。局所的磁場常数 (G) を仮定する際に (Bauer, 1929; Schmidt, 1924)、磁場が地球中心を通る軸をもつ双極子によって発生すると仮定すると、 G は全地球表面で等しくなるはずである。しかし、もしこの仮説がまちがっている場合には、 G の値は、双極子が地表に達するところで大きくなり、いっぽう、それが地表からもっとも離れたところでは系統的に小さくなり、双極子の方位が維持される。地球の G 値分布図を見ると、他

の位置から離れて、 100° を示す極端な場所がある。双極子は単純に移動することはないが、連続的でもなく、また、地球の自転軸にある角度をもって傾いている。一次残留磁化 (J_n) ベクトルは、地球中心を通る双極子がじっさいに存在するとの仮定に人為的に適合させないかぎり、同様なパターンが古地磁気場にも観察されることになるだろう。

上述した (そして、多くの他の) 考え方は、古地磁気学において広域的な中心双極子仮説を用いる必要性を指摘する。「任意の領域の磁場は、現在および過去の両者において、その本質とは無関係に、中心双極子磁場として記述されうる。その方位と磁気モーメントは、その領域全体にわたって同様に変化する」(Semakov, 1988, p. 100)。このような場を記述するための選択の自由を保持するいっぽう、この方法によると、たとえば、現在つかわれている "仮想の地磁気極" の設定にかかわる危険性を回避することができるという。「仮想地磁気極は、地球磁場が中心軸双極子場であるとの仮定にもとづいて、ある地点で (直接、あるいは、岩石の J_n に従って) 測定された地球磁場要素によって決定された地磁気極の位置である」(Pechersky and Didenko, 1995, p. 49)。この方法による一次的解釈は、出現期間における地球の地理極に対するこのような領域の相対的位置を評価するために古地磁気データを利用できず、プレートテクトニクスのような数多くの造構的想像を排除できる。

現在の観測でも、地磁気極の推定位置は、その実際の位置から最大で $1,500 \sim 1,800\text{km}$ ほどずれることが知られていて (Kuznetsov, 1990)、地磁気極自体が地理極から $2,500\text{km}$ 離れる場合があることは重要である。今日の磁場に関して確立されたものに比べて、とくに初生的堆積岩や貫入岩では、 J_n の特性はかなり不正確である (Zavoysky, 1999)。というのは、これらの岩石は、磁化を非等方化する応力と褶曲を被っているからである。さまざまな領域における J_n に関するデータが同時期のものであれば、数十～数百万年 (多くの場合はもっと長い時間) にわたる適用が可能になる。歴史時代および先史時代の磁気データによると、向斜と伏角は、数百～数千年周期の変動を被っていて、約 10° の範囲で変化する。そのため、極位置の決定に最大で $1,000 \sim 2,000\text{km}$ の違いが生じる。それゆえ、古地磁気データにもとづいて大陸のかつての位置を決定する際の誤差は、大陸の大きさや、喧伝されている大陸移動距離に匹敵する (あるいは、それらをうわまわる)。

地球磁場では地球中心を通る単一の軸をもつ双極子要素が卓越するという認識は、磁場源 (とくに、 90° 子午線に沿う) 強度の評価にもとづいて否定される: 中心双極子 = $20\mu\text{T}$, ブラジル, カナダ, シベリア, 南極における異常源 = $4, 6, 9, 4\mu\text{T}$

(Kuznetsov, 1998). この強度において、磁北極 (すなわち、時間とともに強度が変化する広域的磁場源の効果が任意の時刻に均衡を保つ線上の1つの点) の移動にみられる “複雑な” 特性に関する Hope (1959) の仮説は、現実を完全に再現しているようだ. Kuznetsov の仮説は、極位置とそれらの最近の移動のみならず、磁極逆転期間中の極移動軌跡といくつかの磁場源の重ね合わせ効果によって決定される磁極移動速度も説明できる.

磁場の逆転 - 移動期間における磁場挙動の総合的研究によると、確実な証拠にもとづいて、中心軸双極子の再磁化期間に現われるとみられた磁場モーメント強度 = 0 (ゼロ) という状態が存在しないことを解明した (Sergienko and Shashkanov, 1999).

前述した要素は、試料が完全に消磁されるか、Fisher 統計の要請に厳密にしたがう場合でさえも、問題なくこの否定的結果にしたがう.

にもかかわらず、Dietz (1961), Hess (1962) および Vine and Matthews (1963) による古地磁気データや研究成果が公表されると、PTH が流行した. Dietz はこの考え方を次のように短くまとめた. 「中央海嶺は…上昇するマントル流, あるいは, 開口域を示し, 深海海溝は収束域, あるいは下降するマントル流を示す」 (Dietz, 1961, p. 855). 長さ 65,000km の海嶺にみあう 130,000km の海溝が必要であるにもかかわらず, 18,000km の海溝しか発見されていないことに, 彼は悩まなかった. この著者は, まず, 有効性が完全ではないこの仮説は初歩版であるとの留保条件をつけて, 次のように述べた. 「海洋底拡大学説は直感的思考におおきく依存していて…いずれはモデルの現実への適合が求められる. このモデルは概念そのものによって思いついたものであるため, それを実証する術をもたない」 (Dietz, 1961, p. 857). 「筆者の多数の仮定がすべて有効であることが証明されることは, 期待したがいい」 (Hess, 1962, p. 602).

Vine and Matthews は, プレート漂移の年代的論拠として線状磁気異常の役割に関する彼ら自身の仮定でもって, この仮説を補った.

今日の移動論支持者たちは, Morgan (1968) にしたがって, 世界には少数の漂移しつつあるリソスフェアプレートが全部で6個存在すると信じている. しかし, この数はすぐに, とくに PTH が諸大陸に適用されると, 顧客を満足させることができなくなる. その数は, 1969年に9, 1974年に11, 1976年に20, 1978年に25に増えたが, 1975年までにこの描像に気ままに選ばれた微小大陸 (テレーン) が加わりはじめ, 小さなテレーンを含めるとその総数は100近くに達し, 最終的には, もはや数えることさ

えできない. テレーンとホットスポット (それらは, いかにしても, 本来の PTH に適合しない) の導入は, 完全な混沌をもたらした. 不要になった多数の古海洋を閉塞し, 無視することによって描像を単純化しようとする PTH 利用者たちにとって, それらは有用ではない. 今日でも喧伝されている元のプレートテクトニクスは, 海洋の閉塞と両立しない.

地質研究者が大挙して PTH 学説になだれこんだ 1970年代の状況を, A. Meyerhoff と H. Meyerhoff は次のように描写した. 「個人として, かつ, 完全な学者集団として行動する科学者たちは, 漂移が証明済みの事実であるとの信念を共有してきた. 他のあらゆる側面からみると, 彼らの視点は, 3人の視覚障害者が象を記述するのと同様に, 相互に類似ない. 彼らは, 逆の視点を違うことなく排斥するいっぽう, 彼ら自らの考え方を調整する努力すらほとんど行わない. そして, 彼らの全員が, 自らの概念をもって研究していないために, 彼らをイライラさせる事実を (小さな, 不適切な, 重要でない事実であるとして) 否定し, 無視する性癖をもっている」 (A. Meyerhoff and H. Meyerhoff, 1974, p. 444). このような状況は, 現在でも改善されず, 移動論支持者である Borukayev が彼の論文に疑問視される副題 “微小大陸学か, 微小大陸マニアか” (Borukayev, 1998) をつけるような結末が生じている.

50年間にわたって存続した当該の仮説は, 深部過程の駆動エネルギー源を数値的に見積もることができなかった. さらに, 駆動メカニズムに関しては, マントルの流動がプレートを曳行して, 海嶺からすべりださせる, あるいは, プレートは沈み込み帯で沈降する固結端によって曳行される, などの便宜的知見が存在する. プレート運動に必要なエネルギー源が, 地球上で得られるエネルギーよりも桁違いに大きいことに, 今さら驚くことはないのだろう.

解析手順

プレートテクトニクス仮説に拠った解釈のうち, 現在入手できるすべての解釈を個々に議論する必要はない. 地質学的及び地球物理学的証拠に照らし合わせて, この仮説に矛盾がないことを点検するほうが, 合理的であろう.

このような検証のために2つの方法を用いることができる. 筆者は, これまで研究してきた水平対流多形態仮説 advective-polymorphic hypothesis (Gordienko, 1975, 1998, 2007, 2012; Gordienko et al., 1982; Tectonosphere of the Pacific Rim of Asia, 1992; その他) に, その内の一つを使用する. それは, 次の2つで構成される. すなわち, 内的条件 (Belousov — 僅かな付加とともに) ともう1つのエネルギー源 (地殻と上部マントルの岩石

中での放射性壊変)である。解釈された機構は(とくにリフェアン紀^{*1}と顕生代において)構造圏物質の顕著な水平変位(数100 kmにも及ぶ)を含んでいる。前期始生代から現在までのどの時代に関しても、熱と質量の移動パターンを数字を用いて実体化し、内的条件を選び、物性が異なるいろいろな岩石が分布する時代において非静止熱モデルとその変化を組み立てることができる。これらのデータを用いて直接的問題だけを取り扱うことから、物理学分野の過程と異常の地質学的現れを決定することが可能になる。その結果を観察で得られた結果を比較すると、その差は観察と計算の誤差を超えない。

*1: 原生代後期～末期の地質時代の名称(地学事典より, 訳者注)。

このアプローチを、他の仮説、とくにプレートテクトニクス仮説に適用することはできない。このような場合には、次の手順(第二の方法)が制御に適するだろう。地殻とマントル内での物性分布のあるパターンが著者の仮定と一致して作られていると、それは質的レベルで仮説に適合する(数字でもって明示されたエネルギー源を伴わないでそれを批准することは単なる言語的表現である)。そして、その特質は観察された地質学的出来事と物理学分野に調和するように変えられる。なぜこの過程が起きたのか、なぜこの特定の地域において、あるいはなぜこの特定の時期に、というような問題は提起されない。もし、物性が異なるいろいろな岩石の分布の選ばれたパターンが実在のものと同様に酷似していれば、検証手順は成功とみなされる。このタイプの“制御”は成功するように思える。まだ、プレートテクトニクス仮説はどちらにおいてもそれを立証していない。大陸上の広域的なあるいは地域的な地質学上の問題を解決するためにマイクロプレート(テレーン)とプルームを使うことは、最近数10年間にわたって十分に確立されたが、このことは集積した図表のすべての間で整合することを不可能にしている。従って、このタイプの“解析”の事例を単純に記載することは大陸地域の場合には十分であろう、そしてこの解析は正しい結果を得るための道具としてプレートテクトニクス仮説をまったく疑っているわけではない。

伝えられるところでは海洋と遷移帯の物質はプレートテクトニクス仮説の基礎となっているので、それらに関してプレートテクトニクス仮説の基本的な仮定を地質学的及び地球物理学的証拠との比較を次々と行ってみることは良い考えであろう(本著者とその他の方々はすでにこのことをくり返し行ってきている)。

大陸のプレートテクトニクス仮説

よく研究されているユーラシア地域を参照するのが合理的に思える。まず、南部ウクライナ(Scythian^{*2}

プレートと黒海地域)に関してプレートテクトニクス仮説支持者達によって表明されている意見のうち入手可能な範囲のものの結果をユーラシア西部について用いることは論理的であろう。なお、南部ウクライナは地中海帯の一部である(Chekunov, 1976)。“移動論を信奉し、信じている同じ方法論上の基礎を用いた複数の研究は、地中海地域の構造形成中のテクトニックな変位の傾向と特徴について非常に異なる結論に達する傾向にある。特に、a) アフリカとヨーロッパの移動は緯線方向の移動を伴わない(Bullard, Burollet, 及びその他); b) 地中海は大規模な変位—左横ずれ、右横ずれ、または両タイプの横ずれが同時に起きた地帯である(Van-Hilten, Carey, Bird, 及びその他); c) 地中海においてある緯線方向の変位が起きて、“急にやめるか”、いくつかのリソスフェア破片の移動という結果になった(Ritsema, Smith, Vogt); d) アフリカと東部地中海はトルコ、ギリシャ、イタリアの下への沈み込む過程を経験する(Dewey, Bird, Caputo, Ryan, Bowen, その他)”。カルパチア地向斜についてChekunov(1976, p.3)をみてみよう。“沈み込みは…大変雑多な方法の集まりとみなせる。すなわち、リソスフェアからなるプレートは全ての可能な側から山地構造の下へ’押されて’いる。たとえば、北から、すなわち、中央ヨーロッパの後ヘルシニア期の若い台地の側からであり、北東と東から、すなわち、古い東ヨーロッパ台地の側からであり、南と南東から、すなわちMiseanプレートからであり、最後に、西から、Pannonian地塊からである。リソスフェアプレートがたとえどの方向から押されようとも、前述の著者達は利用できる地質学的及び地球物理学的データは彼等の概念と完全に調和していると信じていることは顕著である。”

*2: 紀元前に黒海北岸地域を含めた東ヨーロッパからパミール高原西側あたりまでの地域に存在した部族(ウィキペディアより, 訳者注)。

ドニエプル—ドネツ盆地とドンバス^{*3}に関するプレートテクトニクス仮説の見地から深層の過程について少なくとも2つの解釈がある。その一つはリフト起源(発散型プレートによる地殻薄化)で、その後にはテクトニックな状況の変化を伴わないで冷えつつあるアセノスフェアの台地上で陸向斜の形成(石炭紀から新生代まで)が続いた(Kusznir et al., 1997)。2番目の解釈の著者は石炭紀—ペルム紀のドニエプル—ドネツ縫合の形成を支持した。そして、古リフトの地殻が沈み込み帯に沈み込む場に、あるいはせん断しつつあるプレートによってその地域になんらかの別のタイプの地殻圧縮場に、この縫合が形成された(Istomin and Yevdoshchuk, 2002; Yudin and Artemenko, 1996)。

*3: ドニエプル—ドネツ盆地Dnieper-Donets BasinとドンバスDonbassは共にウクライナ東部の地名。ドンバスは古第三紀の炭田地帯である(ウィキペディア

アより、訳者注)。

この描像を完成させるために、上記の研究に続いて出された論文によれば、沈込み帯は後期デボン紀にドニエプル-ドネツ盆地北西部に存在したが、しかし、Istomin and Yevdoshchuk (2002) と Yudin and Artemenko (1996) の意見とは反対に、それは走向方向ではなく凹地を横切って縫合した (Garetsky et al., 2005)。

この“飛び入り自由”の研究はマイクロプレート(テレーン)の使用によって起きた大混乱の時代になぞられるものは未だになにもない。これらの運動はしばしば古地磁気データから推定されており、それについての注釈は前述のとおりである。手近な例を一つ太平洋帯の後期キンメリアン Cimmerian 地向斜中のオモロン地塊^{*4}を解析してみよう。それは例外ではない。プレートテクトニクス仮説支持者の意見では、この帯のその他の構成要素は複雑なモザイク中の現在の位置を占めるまでに同じく複雑な軌跡を描いて相当な距離移動した。さらに、それらは何らかの理由で沈み込むことなく、いろいろな時代の沈み込み帯を繰り返し横切っている。ベーリング海峡の対岸のテレーン (Parfenov et al., 1999) は全く同じ動きをした。しかし、Belyy (2002) のデータから求められた軌跡は特に印象的である (図1参照)。Zonenshayn et al., (1987) の推定によれば、この地塊はオルドビス紀にガンジス川上流域を離れ、前期石炭紀までにヘス海膨(海台)へ、そして中期石炭紀にベーリング海峡に達した。その後、トリアス紀にアラスカを一時期訪れ、前期白亜紀に Chukotka 海に達し、中期白亜紀に現在の地点を占めた。しかし、その後それは再び北東方向に移動し、中期白亜紀の間にもどった。3年後、同じ著者たち3人の内の2人は、移動は8000万年間持続し、全体的に異なる経路をたどったと結論した (Zonenshayn et al., 1987) (図1)。別の研究者 (Bondarenko et al., 1997) は、前期ジュラ紀

にこの地塊が現在の地点に定置したと述べている。しかし、その後それは北東に移動し、そして中期白亜紀に戻ってきた。この地塊の仮定された旅程のすべてを紙上に描くことは不可能である。例として、Parfenov と彼の共著者 (Parfenov et al., 1999) によれば、シベリア(北アジア)台地と北アメリカ台地の間でこの地塊は幾つかのテレーンとごたごたになり、それらすべては一緒くたになって赤道から北方に向かって移動し、後期ジュラ紀～白亜紀に現在の座標に達した。

*4: オモロン Omolon は東部シベリアの地方都市(北緯 65°16' 東経 160°28') 名で、コリマ川最大の支流の名前でもある (ウィキペディアより、訳者注)。

これらの“テレーンの活動の混乱”は完全に終わることはできなかった。実際に、中期白亜紀にクズネツク盆地と日本の一部は同じ場所に達していた (Irving, 1964)。でも、その後、それらはバラバラに移動してそれらが属する場所に戻った。

ウクライナ地方において、非常に印象深い航海を成し遂げたのは Mountainous Crimea^{*5} である (なかでも特に、幾分異なった経路を旅し、異なった角度で曲がったその構成要素の内の2つについて特に私たちは論じている)。中期ジュラ紀には、それは現位置より 19-20° 南にあって、小コーカサス^{*6} 火山弧と Rhodope^{*7} 地塊の上をこするように通り過ぎた。その後、それは東ヨーロッパ台地から離れるように動き、前述の構造から離れ (前述の構造のそれぞれは現在 Mountainous Crimea から 1000 km 離れている)、これは白亜紀まで継続し、スキタイプレートの南縁を占めた (Pechersky and Safronov, 1993)。

*5: クリミア半島南部の山岳地帯をさすものと判断される (訳者注)。

*6: 小コーカサス Lesser Caucasus, 黒海とカスピ海の間をほぼ東西に走るコーカサス(カフカス)山脈は2列の山並みからなり、北側の長い方が大コーカサス、南側の短い方が小コーカサスと呼ばれる (訳者注)。

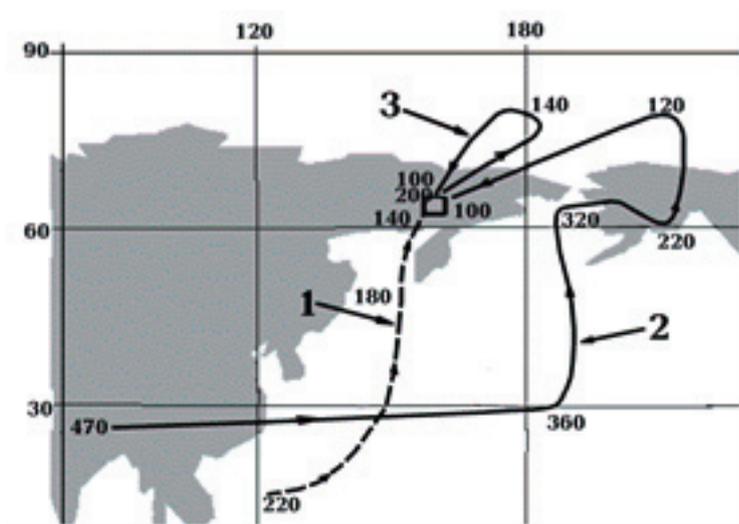


図1 Omolon 地塊の移動軌跡。さまざまな著者のデータにもとづく。軌跡に付された数値は年代(百万年単位)。1: Zonenshayn et al., 1990。2: Zonenshayn et al., 1987。3: Bondarenko et al., 1997。

*7: 地名としての Rhodope には、ブルガリア南縁部の Rhodope 山地とギリシャ北東端のロドピ県とがある (訳者注).

*12: ダキア Dacian はほぼ現在のルーマニアの国土 (より正確には「大ルーマニア」と呼ばれた時代の国土) に該当する古代の地名 (ウィキペディアより, 訳者注).

さらに、このタイプの解釈 (その当時の地球力学について) のもう一つの内容は、すべてのテレーンを現在の場所に固定することであり、同時に適当な場所に舟状海盆、海膨、褶曲運動、衝上断層などの形成を保証する個々のテレーン固有の運動方向をそれぞれ個々に帰している。とくに、これは東ヨーロッパ、西ヨーロッパ、アフリカ及びアラビアの各プレートとカルパチア-ジナル山地^{*8} 地域において巧みに動いたパンノニアン^{*9}-トランシルヴァニア^{*10}、アドリア海、西部黒海、アナトリアの各マイクロプレート (Study of Recent..., 2005) に適用される。しかしながら、このようなタイプの解析のさらにもう一つ別の内容 (Grenerczy et al., 2002) においては、大きなプレートは別にして、アドリア海プレート (いろいろな境界をもつ)、ボヘミアプレート、アルプス-北パンノニアプレート、ティサ^{*11}-ダキア^{*12} プレート、ジナルプレート及びその他のプレートが見つかった。

*8: ジナル山地 Dinarides はアドリア海沿いにバルカン半島西岸にある山脈、ジナルアルプス山脈ともいう (訳者注).

*9: パンノニア Pannonian という地域名は現在のハンガリーのドナウ川西岸、すなわちドゥナーントゥール地方の古称であるが、パンノニア平原という場合はカルパチア (カルパート) 盆地をさす (ウィキペディアより, 訳者注).

*10: トランシルヴァニア Transylvania は、ルーマニア中部・北西部の歴史的地名 (ウィキペディアより, 訳者注).

*11: ティサ Tisza はドナウ (ダニユーブ) 川の支流の河川名。ティサ川はパンノニア平原の中で一番大きいハンガリー大平原を流れている (ウィキペディアより, 訳者注).

近年、GPS 系によって検出された地球表面の測点の鉛直と水平の変位のデータを使うことは一般的になっている。この情報それ自身は現在のテクトニクスの研究にとって大きな励ましである。しかしながら、海嶺から数 100 km から数 1000 km の範囲で起きる地質学的過程 (数百万年~数億年) に対する拡大現象の効果を証明するためにこれを使用することはまったく受け入れられない。1974 年に戻ると、短時間の根拠から得られたデータに基づいて時間をかなり伸ばして地表の鉛直運動の速度を外挿的に推定することは不可能であることを Nikonov は証明した。数年の長さで地質学的に有意義な時間の長さに関して、大きさの等級によって速度は異なり、運動の方向は必ずしも一致するとは限らない。このことは、カルパチア・フリッシュ帯の隆起速度データに例示される (Study of Recent..., 2005) (図 2)。

問題にされているいろいろな時間間隙の長さを示す等級以上のものによって人は速度変化をはっきりと理解することができる。大きさの等級の見地からの現在の場合には、GPS ネットワークの助けのもとで鉛直変位速度との差という形で決められる V とこれらのデータは一致している (Heidbach et al., 2007) (図 3)。言い換えれば、それらはカルパチア地域での変位をはっきりと特徴づけている。水平変位速度は大きさの点で鉛直運動速度と比較できる。

この地域における水平変位の全量 (ヨーロッパ楯状地だけに限らない) は、GPS 観測網で測定されたように、25mm/year である (Grenerczy et al., 2001: 図 4A 参照)。この図は、いくぶん平準化されたデータを示す。30° に達する方位変化を含む同様

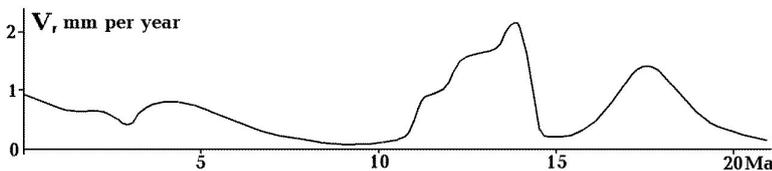


図 2 東部 Carpathia フリッシュ帯における隆起速度 (V) の変化.

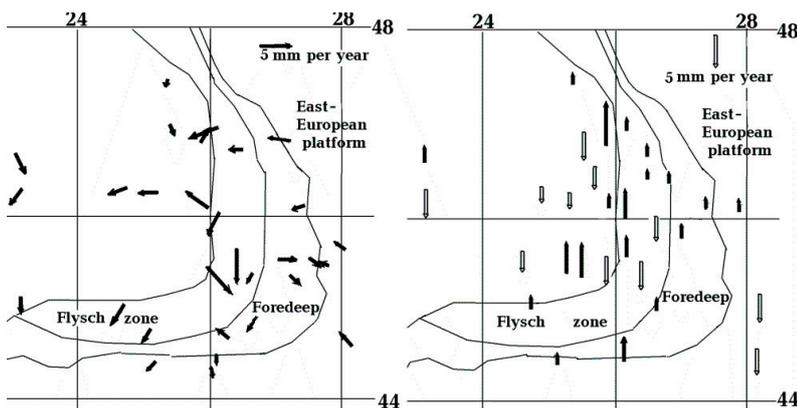


図 3 Carpathia 地域の南部における表層部の水平および鉛直変位速度.

な、あるいは、より密な観測点でのベクトルを示す、より詳細版を見ることもできる。より希薄な SLB (Schlunberger) や DORIS (ドプラー軌道決定および衛星統合電波位置決定) 技術よっても、基本的に類似した結果が得られたが、いくつかの出版物では、太平洋とその沿岸域において 90° 以上の異なったベクトル方位が報告されている。別の技術による VLBI (超長基線干渉計) を使っても顕著な違いはない。

ユーラシアにおける移動方向は北東で、この大陸の東部では東および東南東へ変化している。これは、大西洋中央海嶺とインド洋海嶺での拡大の複合的影響によると信じられている。

しかしながら、ある理由から、ユーラシア北部には拡大している Gakkei 海嶺が存在し Moma リフトのように Yakutia へ連続していることは考慮に入られていないにもかかわらず、ユーラシア東縁の縁海群は PTH 支持者たちによって分散した拡大帯と考えられている。北部インド洋海嶺と東アフリカのほぼ子午線方向の地溝は、複雑な変位分布を示すにちがいない。

変位の全体像は (図 4), 拡大との関連性を示さない。それらの方向は, Mona, Knipovich, Moma, Galapagos, 南インド洋のリフト, および大西洋中

央海嶺の中央部に平行することはない。変位は、インド洋北部, 東アフリカ, Juan de Fuca リフトを横断する方向にあり, 後者はオホーツク海の Moma リフトの延長であると想定される。

南極半島における変位は、リフト海嶺から遠ざかる方向を示さない。北米および南米に (PTH の方法で) 認定された状況に関しては、変位は逆向きである。プレートテクトニクス支持者たちの間に流布している作用, すなわち, 南方からユーラシアへ向かって移動しているアフリカ, アラビアおよびインドプレートからの圧力によってアルプス-地中海-インドネシア変動帯における衝突帯 (褶曲作用と衝上運動) の出現は、図 4 のデータから支持される場所はまったくない。しかし、この仮説の全体的な不合理性は、この変動帯の構造を詳細に検討すれば、ますます明瞭になる (図 5)。

多くの著者が、南側のプレートの北縁を著しく異なった形で描いていて、ここに示した図はいくつもの可能性のある見解のうちの 1 つである。実際、モラッセ沈降帯はいつも南側のプレート上に描かれている。その結果、私たちは衝突について述べるわけではなく、むしろ、大陸プレートの沈み込みについて論じることになる。それには、特別な説明 (苦

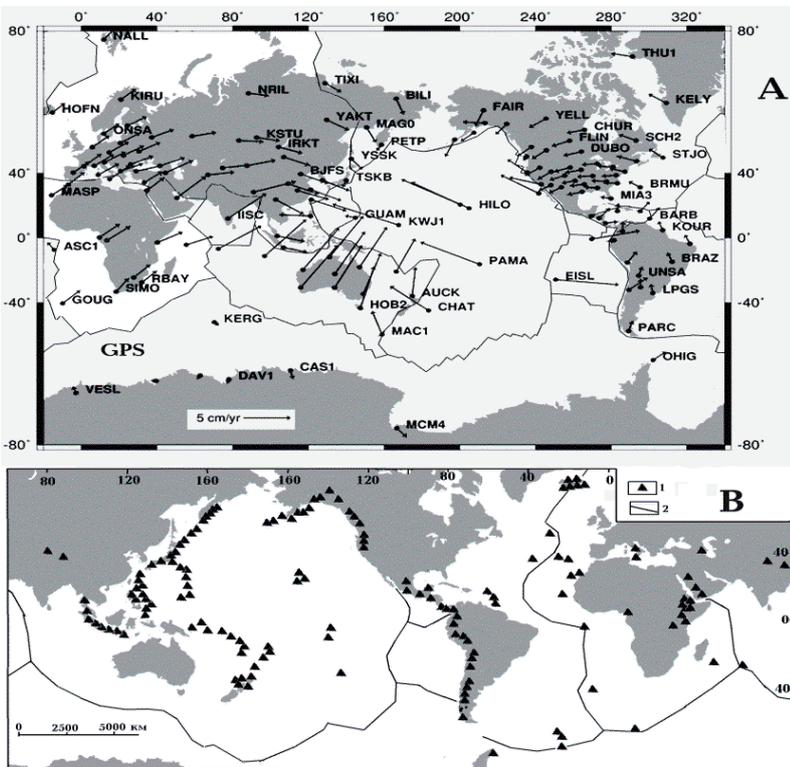


図 4 A: GPS 世界観測点ネットワークのデータにもとづく地殻プレートの絶対的水平運動, B: 活火山 (1) と中央海嶺 MOR (2) の位置。

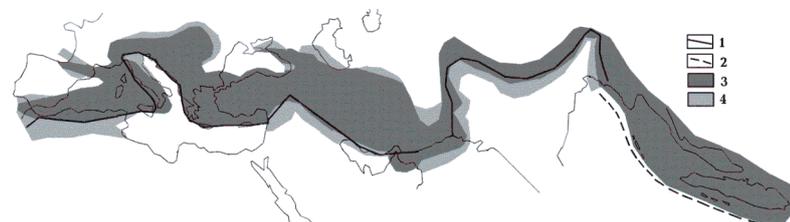


図 5 アルプス-地中海-インドネシア変動帯 (Khain, 1984; 他). 1: アフリカ, アラビアおよびインドプレートの北縁, 2: インドネシア島弧前縁の海溝軸, 3: アルプス地向斜の褶曲帯と中央地塊, 4: モラッセ沈降帯。

鉄質プレート船体の多相的固結、これは低密度の大陸プレートはプレート運動に関する現在ひろく信じられているメカニズムを排斥する)が必要になる。すべての褶曲帯では、plicative 変位の転倒方向 (vergence) は、モラッセ沈降帯が位置する外側へ向かっている。Pyrenees, Betidas, Reef, Tel Atlas 地域では、褶曲帯とモラッセ沈降帯の位置が、南側からの圧力によってこの構造を出現させていない。これと他の複雑性は、PTH に固有の手法、すなわち、海洋の出現と消失の想定 (Panonian, 他)、テレーンの変位と回転、すなわち、最初の地図から何も残さない事象、によって排除することができる。先ヒマラヤ沈降帯は先島弧時代の海溝 (図5) — PTH にとっては余分なもの — に直接移化することも、注視される。

拡大帯での膨大な火成活動という方法で変位 (図4など) を解釈する規定は、そのような事例である: 「海洋リフト火成活動によって、約 1.5km の平均厚度の海洋地殻第2層が形成される。この層に含まれる火山岩類は、その構造の 2/3 を説明する。このリフト帯の両側における海洋地殻拡大速度は、平均 3cm/year である。したがって、中央海嶺 (MOR) の全長が 65,000km と決まれば、リフト帯の火山の全 “生産速度” は平均 4km³/year と計算される」 (Sumarine Volcanism, 2013)。

拡大によって、ちょうど厚さ 1km の近くが形成されるのはなぜだろう? 残り 4km の固結した海洋地殻の厚さはどこから由来するのだろうか? これは依然として矛盾なく説明されるには至っていない。幾人かの人々は、プレート拡大速度と GPS 測定から得られた拡大速度を比較して、2つのデータセットの整合性を図ろうと試みている。

同時に、同学派の人々は、全世界リフト系の全般的火山容積を “決定し”、それによって他の問題を “解消” しようとしている。彼らは実際の火山活動の情報を必要とせず、仮想的なプレートモデルの枠組みのなかで彼らなりの結論を導きだした。Mark Twain は、同様な状況に関して適切な論述を行った: 「科学には魅力的な何かがある。人は、そのような事実の浪費的投資から解放されて、そのような推論の大きな収穫を得る」。これらのすべての生みだされたもの — たとえば、縞状磁気異常から推測された “地殻年代” — の中にただ 1 つだけ事実が存在する。もし、ある人が深部過程を解析すれば、この “地殻年代” が、想定される事実というよりは、取るに足りないことですらない、ということがわかるだろう (下記を参照)。

東太平洋海膨と南太平洋海膨の地殻に形成される火成岩の容積の最大値を見積もってみよう。南海膨および東海膨の一部の海底地形は第四紀後期以降、す

なわち、最近の 14 万年間に形成された (Golubeva, 2009, p. 3)。それは、中軸部における幅 500 ~ 700m の噴出に相当する (Petrological..., 1996)。それらを、地熱、地震、電磁気および岩石データ (Gordienko, 2012; Dmitriev et al., 1990; Udintsev, 1987; 他) によって海底下約 4km に想定されているマグマ溜まりの天井を基底とする長さ 20,000km の単一の岩脈として表現してみよう。その結果として得られる容積増加は 0.3km³/year と見積もられる。これは、変位速度を GPS で測定された変位速度に比べると絶対的不足である。

さらに、図 4B に示されたデータは、PTH 説の熟達者たちが共有しているゆがめられた判断 — 地殻展張帯に限って火成活動が発生すること — を明らかにする。最大展張帯 (海洋中央海嶺 MOR の軸部) には、若い火山はほとんど存在しない。アイスランドが大陸地殻をもつことは明らかで、その 12% が酸性噴出岩で構成されていて (Aprodiv, 1982), MOR とはいえない。火山は沈み込み帯 — 最大圧縮域 — に限られて存在し、地球の火成物質総量の 75 ~ 80% を供給しているとみられる (Ritman, 1964; 他)。

大洋における PTH

一般に知られている Dietz によって提案された PTH の基本的な基礎条件は、上に引用されている。それらの正当性を確かめる試みは、仮説が進歩した直後に始まった。

検証結果への PTH の達人たちの反応は、大西洋底でのドレッジ作業で中生代以前の岩石が発見されたと報告している A. and H. Meyerhoffs の論文に対する回答 (手紙で) に示されている。「私はあなたがこの種のデータにこのような重要性を与えていることに驚いている。結局のところ、そのドレッジ作業は 1960 年以前に行なわれていて、近代地質学に関する限り、そのような古いデータは何も重要性を持っていない。我々はその同じ地域で、2カ月以上を費やして指揮し詳細な [磁気については Gordienko によって] 調査をしたが、カンブリア紀の堆積物がそこに存在していた可能性を示すものは何も発見できなかった」。「我々の調査はそのドレッジ海域…から南東に 200 km にわたり実施された。我々は我々の断面が…であることから、どんなドレッジもサンプリングも必要ない。必要な真実を得ることを可能にするにはまったく十分である」... これらの言葉を書いた人は、ニューグローバルテクトニクス…のリーダーのひとりである。我々は彼の名前に言及しない。我々の目的は、科学者であると主張する人々の、思考態度を示すことである。」 (A. Meyerhoff and H. Meyerhoff, 1974, p. 435)。

先人のすべての業績を「沈黙させる」ための努力

は、地質学だけではなく「革命的な」擬似科学に固有な特徴である。PTH の提案者は、しばしば彼らが地球科学に導入した変化と物理学での量子論革命の間に類似点があると説明する。この点について、Aleksandrov and Ginsburg (1999) は、彼らの論文の「擬似科学とその促進者について」で次のように述べている：「いわゆる今世紀はじめの「物理学の革命」は、アインシュタインとボーアがその最も認められた代表であるが、ニュートンあるいはガリレオを否定するものでなく、人類がまだ経験を蓄積していなかった速度と空間の領域で彼らの仕組みを補完した」(Aleksandrov and Ginsburg, 1999, p. 200). 「地質学百科事典」(2005) の英語版に「著名な地質学者」というセクションがある。この論文のまさしくその始まりで目録に載っている科学者のいずれについても、その仕事やこの著者の意見、近代地質学の基礎の構築について、その中に言及されていない ("Famous Geologists", 2005).

このような「論議」の記述は、出版物や著者自身の印象に基づいて継承されることがある。しかし、我々はむしろ問題の核心に向き合いたい。

1. PTH にしたがえば、海嶺拡大の中央部でまさに形成される地殻の岩石の年代は 0 に近くて、プレートの移動過程の中で次第に年代が増加するべきである。大西洋中央海嶺の中軸線上のさまざまな地点へ上昇した溶岩から得られたジルコンは年齢 1 ~ 200 万年である。しかし、4 億 5700 万 ~ 29 億 7000 万年に及ぶ年齢を持っているジルコン捕獲結晶が同じく発見されている (Kostitsyn et al., 2008). それらは、上位層の基盤をなす古代の地殻から洗われたかもしれない。

大西洋中央海嶺の中軸トラフの中と、それを横切って走る断層に沿ったいくつかの海段の上に、下部地殻岩石の大きな (数 10 km の長さの) 露頭が数多くある。海嶺の伸長方向 (6,000 ~ 6,500 km) に沿って実施された掘削とドレッジによってそのような岩石試料が採取され、地質学者はそれらの年代 (図 6) を決定できた (Pogrebitsky and Trukhalev, 2002; Rudich and Udintsev, 1987; その他). 岩石は超塩基性岩 ~ 斜長花崗岩、緑色片岩 ~ グラニュライトの岩相を示す幅広い多様なタイプからなる。このグループの中には、以下で論じられないマントル岩石が含まれる。それを構成している岩石のいくつかは、大陸地殻にだけ見いだされるものである (Silantsev et al., 1992).

地殻試料の年代に関するデータは表 1 にリストされ、この年代がウクライナ盾状地 (USh) の構成岩石の年代 (それらは、全世界の盾状地岩石の年代と一致する) と比較して、そして水平対流多形態仮説 (APH) (Gordienko, 2012) にしたがった大陸

上の活動イベントの推定年代に一致している。

年齢査定は 3 セットのすべてが、一連の火成 - 変成イベントと密接に関連していることは明白である。MAR は USh よりも詳細に研究されてはいないが、その顕生代の活動の証拠はより豊富である。いくつかのモデル年代を確定できないことは、ひとつのブロックの進化が数値的に調べられた事実の結果であるが、盾状地と海嶺における多くのブロックの年代は、そこでの活動的イベントが時間的に一定の移行をとらなるとして起こるために、正確に決定できない。上の示された年代の等級の連続は、どんな場合でも拡大を反映していない。200 ~ 300 万年, 2700 万年, および約 6000 万年といったいくつかの段階で生じた岩石の変成作用は、MAR 中央での玄武岩第 2 層において決定された。

MAR の基盤変成岩は、長い期間に発達した典型的な厚い地殻とは基本的に異なった条件で形成された (図 7). 言い替えば、下部層は新たに形成された構造ではなく、どちらかと言えば始生代を含めて古代の大陸地殻の遺産である。MAR 外側の古期岩石は、ビスケー湾のロッコール堆とアズレス - ビスケイ海嶺、およびフォークランド海膨で発見された (Blyuman, 2008; Rudich and Udintsev, 1987).

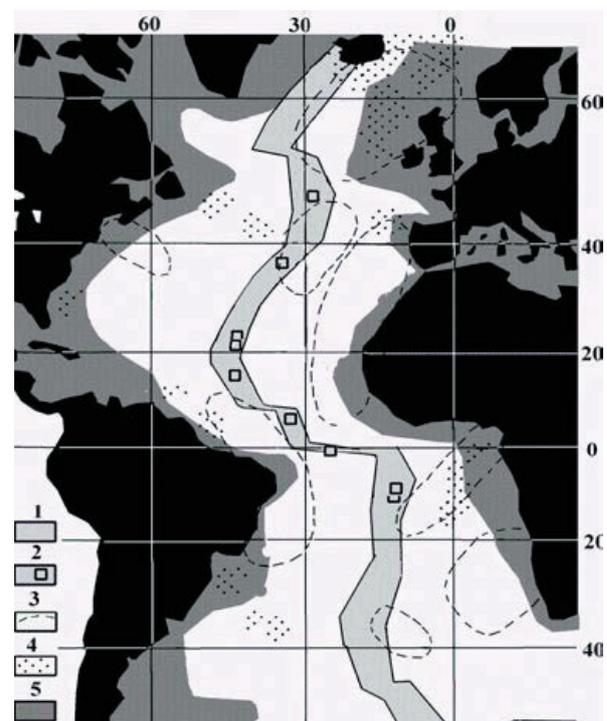


図 6 大西洋海底の基本的構造要素を示す海図. Andreev (2004); Silantsev (1984); 他による. 1: 大西洋中央海嶺の中軸帯, 2: 古期基盤岩が露出する海嶺域 (Pogrebitsky and Trukhalev, 2002; Rudich and Udintsev, 1987; Silantsev et al., 2000; Tectonics..., 1981; 他による), 3: いくつかの火成活動期にわたって特有な火山岩組成を保持している領域 (Kogarko and Asavin, 2007 による), 4: 最近の乾陸域 (Frolova et al., 1989; 他による), 5: 大陸棚, および, 大陸斜面と斜面麓.

表1 APH (モデルMに関する) に従った活動的地質イベントの推定年代と、ウクライナ盾状地 (Ush) および大西洋中央海嶺 (MAR) における活動的地質イベントの 100 万年ごとに試算された推定年代との比較。

M	USh	MAR		M		USh	MAR		M	USh	MAR
2650	2660	2650				1950					840
2600	2600	2580		1850		1880	1860		790	770	780
2550	2550	2520		1800		1800	1800		600	650	650
2500	2500	2490		1750		1750	1740			500	530
2400	2430	2420				1690	1690		400	370	350
2350	2340						1630			250	250
2280	2290					1580	1570		200	180	160
2240	2240			1480		1500	1500				120
2200	2200			1350		1350	1370			70	70
2150	2150			1250		1230					40
2120	2110	2130		1100		1100					20
2060	2060			950		900	990		5	5	1-3
2000	2000	2000									

我々は”ロマンシュ断層帯に接する MAR 東部域において、厚い (4km 以上の) 白亜系 - 古第三系堆積層の上部が暁新世～始新世粗粒石英砂岩で、それは、どこか近くの花崗岩の浸食生成物であるという…発見…” (Pogrebitsky and Trukhalev, 2002, p. 195) を知っている。

このタイプの岩石は、インド洋のカルスバーク海嶺軸 (A. Meyerhoff and H. Meyerhoff, 1974), インド洋に位置する多数の ”マイクロ大陸”, さらに北極海 (Rudich and Udintsev, 1987; Tectonics, 1981) でも発見されている。古第三系 - 新第三系堆積物におおわれた岩石は、太平洋の中央部のクラリオン - クリッパートン断層の断崖の中から発見された。それらの中に 2 つのグループの岩石が識別される: 1) 花崗片麻岩, グラニューライト, 結晶片岩と角閃岩, 石英砂岩とガーネット, 大理石。これらの岩石のいくつかは先カンブリア代の時代である。2) 花崗閃緑岩・閃緑岩に貫入された中生代の碎屑岩・凝灰岩・砂岩・粘土岩—すべてが共存する地向斜の構造のように見える。著者は断層間の海域 (幅約 1,000 km) が古期大陸基盤岩類を覆っている (Geological..., 2005; Tabunov et al., 1989) ことを信じている。

MOR 軸部の古期岩石を氷山由来漂石 (この議論が赤道地域に適用される時は特に滑稽である!) とし

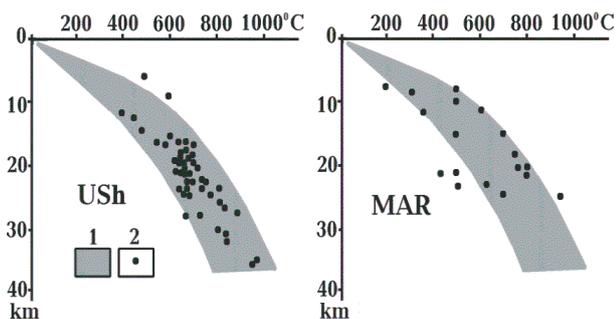


図7 USH および MAR の岩石の変成条件. Gordienko (2009) によってまとめられたデータによる。灰色領域は、APH による変成条件の推定範囲を示す。

て分類していた時期につづいて、PTH 支持者たちは問題の岩石がマントル由来であるという主張が変わった。彼らは、それらの中に含まれる多量のはんれい岩とより少量の斜長花崗岩をまったく無視するか、あるいは口頭でこの現象をなんらかの異常分化に帰した。これらのデータを公平に評価すれば、それらはまさに、根本的に再構成された (海洋化された) 地殻から残留したに違いない岩石組み合わせである。このタイプの編成は、大陸地殻が体験するすべての活動サイクルに出現する。この主張は、東部カムチャツカ地域における地向斜活動後のアルプス地向斜の初期マグマ活動に関するデータによって実証される。次の岩石は、セノニアン階～暁新世に形成された: 1) 少量のはんれい岩をとまなうアルプス型超塩基性岩 (ダンかんらん岩 - 斜方輝石かんらん岩組合せ); 2) アルカリ成分 (カリウム) に富むダンかんらん岩 - 単斜輝石かんらん岩 - 輝岩の陸塊; 3) はんれい岩 - モンゾニ岩 - 閃長岩とかんらん岩 - 輝岩 - ノーライトの陸塊。鮮新世～第四紀に起こった活発な玄武岩質火山活動の過程でいくつかの場所で超塩基性岩が併入した: 1) ダンかんらん岩 - 斜方輝石かんらん岩, 2) ダンかんらん岩 - 単斜輝石かんらん岩 - 輝岩 と 3) 単斜輝石かんらん岩 - 輝岩。これらは、伏在マントルの残留物 [ミグナタイトの可動的成分とそれほど可動的でない成分のすべて: Glossary of Geology] ではなく、白亜紀 - 古第三紀の基盤深成岩 (それらは鉱物学的にも同位体学的にも上記の両者とは異なる) の捕獲岩でもない。それらは、それらといっしょに運ばれた火山岩の深成岩類似物である (Koloskov et al., 2001)。

地殻進化のもう 1 つの時間経過端では、たとえば、Novopavlovsk 苦鉄質 - 超苦鉄質岩構造 (3.67Ga) に遭遇する: ウクライナ楕状地の岩石も、初期火成活動の産物である。それらは、ハルツバーガイト, 輝岩, 蛇紋岩, 角閃岩, 変苦鉄質岩, および結晶片岩で構成されている (Chcherbak et al., 2005)。ウクライナ楕状地の当該域にみられる侵食断面での層厚は約 30km である。

通常の大陸地殻中央部では、苦鉄質岩が約 30%、超苦鉄質岩が 2～3% を占める。地殻基底部では苦鉄質岩が約 70%、超苦鉄質岩が約 30% になる。おそらく海洋化作用を被った非典型的な塩基性地殻では、その含有率はより大きい (Gordienko, 2012: 他)。これらの岩層は、たとえば大西洋中央海嶺軸部にみられるように、P-T パラメータの全体にわたるさまざまな岩石を含む (図 7)。

西太平洋のいくつかの海域 (ポリネシアアーチ、中央太平洋海嶺、マーカス-ウェーク海嶺、など) では、火成岩類はおもに粗面岩、響岩、mugearites、および無人岩でできている。比較的類似した深度に産出する同様な組成の岩層も、地殻の全般的海洋化には至らなかった大陸の活性化期間に形成されたものである。ハワイ海嶺を境に、火山岩類の年代見積もり (精度は不十分) は、少なくとも 2.2 億年に達する。おそらく最も古い年代は 6 億年以上前であり、この海域ではヘルシニア期、あるいはバイカル期の活動が考えられる。そこでの岩石組成は、大陸の厚度の古期苦鉄質地殻の形成にかかわっていたことが確実であろう。その断片は上部マントルかんらん岩の下位に沈降し、深度 50～150km に熔融槽 (melting chambers) を形成した (Petrological ..., 1996; Frolov and Frolova, 2011; 他)。

海洋底拡大が起こっていないことは、MAR の両側で 5～6km の距離にある岩石の年代によって検証される (Silantyev et al., 2000)。2.8 cm/year の拡大速度を想定すると、年代 3.5Ma の岩石は中央海嶺谷軸から 100m のところにあるはずである。ところが、実際には、わずか 5km の距離に存在する。PTH の支持者たちは、そのような海嶺域を“異常低速拡大帯” (この袋詰めめの言葉はまったく無意味であるにもかかわらず) と呼ぶが、隣接する MAR 斜面およびそれに接続する海盆における“海洋地殻年代”は、刊行された地図ではなんらの変化も示さない。

Steno 則 (1671: 1957 年版から引用) の当然の帰結として、最下部層の年代が不明であれば、岩層の全体的年代を決定できない。他の海洋域における下部地殻岩石はいずれの研究によっても解明されていないので (1つの例外があり、本稿で後に考察される)、それゆえ、新しい証拠がえられるまでは海洋地殻は、古期大陸地殻と同様に考えられるべきである。間接的な方法で得られた別の推定年代は、これらの方法の虚偽性を示すにすぎない。もし古期基盤がそのまま残存していれば、これは海洋底拡大がないことを示す。

さらに、MOR の別の特性が、PTH の達人たちによって (誤解ではなく) 無視されている。海嶺の総延長の約 1/3 では顕著な中央リフト凹地を欠いている (それに替わって、そこには縦走性地壘系と、おそらくは断層性地溝が見いだされる)。これらは、太平洋では、

東太平洋海膨のほとんどすべて (Costa Rica および Galapagos 分岐海嶺とともに、カリフォルニア湾のいくぶん南方の海域を除く) と南太平洋海嶺に存在する。縞状磁気異常の間の距離にもとづいて、PTH 論者たちは、それらを異常高速 (約 4～6cm/year) 拡大帯として識別する。しかし、100 万年を超えない海嶺年代の想定 (Golubeva, 2009; Petrological ..., 1996; Udintsev, 1987; Campsie et al., 1983) が無視されている。当該の海嶺は、(火山活動の年代にしたがえば) 始新世～中新世プレート上に形成され、成長をはじめたばかりであり、より古期の海嶺に比べるとその歴史ははるかに浅い (図 8)。

したがって、太平洋が中生代以降ににだいに拡大してきたとの見解は、実態をとまなわない。もし存在したとすれば、その活動期間にわたって、プレートは数千 km ではなく、数十 km 移動したにすぎない。海嶺の下部および軸部の地形は、大陸リフトの形成のごく初期にみられるリフト、たとえば、Dnieper-Donets 盆地を強く連想させる (Geology..., 1989; Petrological ..., 1996; Udintsev, 1987)。大陸域のアルプス期～より古期のリフトは数千万年以上にわたって発達を遂げてきたが、それにもかかわらず、大陸を分裂させていない、つまり、それは拡大の現れでも兆候でもないのである。実際、北米の東太平洋海膨延長部についても同じことが言える。延長部の 1つは、論理的には Great Basin と Rio Grande Rift に代表され、東太平洋海膨に人為的に付加された非地震性の Explorer, Fuan de Fuca および Gorda 海嶺ではないのである。

2. PTH にしたがえば、大陸は若い海洋地殻帯によって分離されている。後者の規定について考えてみよう。若い海洋地殻の典型的な厚度は、図 9 に示される (Kunin, 1989; Semenova, 1987; 他による)。

一連の情報は 2つのデータセットで構成され、その 1つ (より厚い地殻) は、太平洋西部の情報に代表されることは確実である。そこには、亜大陸の地殻ブロックがたくさん存在し、モホ面が深度 10km にあるブロックはより典型的な海洋性地殻であろう。

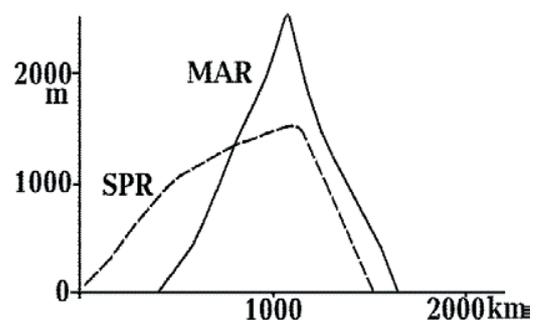


図 8 大西洋中央海嶺および南太平洋海膨の基底面 (bottom surface) を滑らかに結んだ地形断面。高度は、隣接する海盆を基準に計算された。

海洋および大陸の地殻の厚度が, Kunin(1989)のデータにもとづいて, 図 10 に示される.

同時に, 厚度 15km の地殻は, 漸移型岩層と考えざるをえない. プレートテクトニクスの達人たちが, その概念が初めて信じられた時代から解答できていない次の疑問に, 未だ誰も答えていない. すなわち, 大きく異なった速度でひろがる拡大帯は, どのようにして, その両側にほぼ同じ厚さの地殻を形成するのだろうか?

厚度でみると, 北極海の地殻は大陸的である (図 10). モホ面が "海洋" 的深度にあるのは, この海域のわずか 8 ~ 10% にすぎない. とくに Gakkei 海嶺域と Canada 海盆部分では, 地殻厚度が約 14km まで減少している (Artyushkov, 2010). 地中海の地殻の大半は大陸起源であり, Scotia 海底の地殻表面には先カンブリア界および下部古生界岩石が発見されている (Silant'ev, 1984). 北米 - 南米間と同様に, ユーラシア - オーストラリア間に陸橋が存在することは疑いようがない. 拡大帯が薄い海洋地殻を形成したり, 海洋の出現によって大陸が分裂することはなかったのは, 多くの研究から明らかである (Gordienko, 2012 ; Frolov and Frolova, 2010).

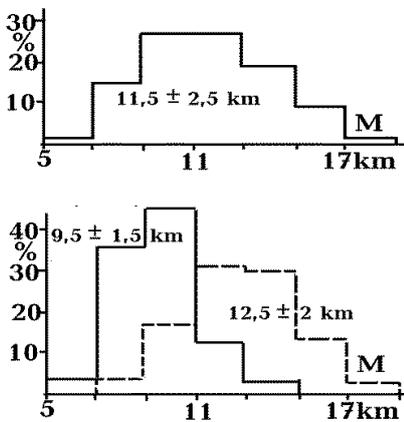


図9 海洋地殻厚度の頻度分布. 上図: 全データによる. 下図: いくぶん, より薄い, あるいは, より厚い地殻.

3. 堆積岩類と火成岩類の量的分布特性が海洋研究によって解明された. それらを PTH の方法で説明することはできない.

3.1 大西洋中央海嶺 (MOR) が存在する大西洋域における浅海性堆積岩類の分布を解明することは, もっとも簡便である (Rudich, 1983, 1984 ; 他). 最古期の岩石は, この海域の縁辺ではなく, 中央部に産出する (図 11). 白亜紀玄武岩地帯は, 実際に MAR の全延長にわたって海洋中央部に連続する. 白亜紀後に膨張を経験した海洋底が存在する海域では, 白亜紀玄武岩地帯が完全な状態で残存することはない. それは, 地殻の塩基性化と沈降をもたらす作用によるもので, 大陸楯状地の溢流玄武岩に組成および分布の点で類似した火成活動の現れである. 同じ様式は, 他の海洋でもみることができる (図 12). インド洋あるいは太平洋で発見された拡大海嶺のために, 白亜紀玄武岩地帯に欠如はない (Blyuman, 2008 ; Makarenko, 1997 ; McDougall, 1988, 他). 注目すべきことは, 「大陸溢流玄武岩類と海洋玄武岩類の相同関係, それらの出現は 1 回の火成活動周期に属する」 (Rudich, 1983, p. 259).

最近まで乾陸域であったところは, さまざまなパラメータによって示される (図 6・図 13 参照: Frolov and Frolova, 2010 ; Frolova et al., 1989 ; 他). その沈水 (結晶質基盤面深度の増大) は突然の陥没といったかたちで発生し, MOR から大陸へ向かって漂移しているプレートの冷却作用と "Scalater 曲線" に示唆される (Artyushkov, 2010 ; Rudich, 1983, 1984 : 図 14).

図 15 は, そのような結論を導くことを可能にした情報データベースの作成理念を示す. それには, 主要海洋の 199 海域における 326 地点に関するデータが用いられている.

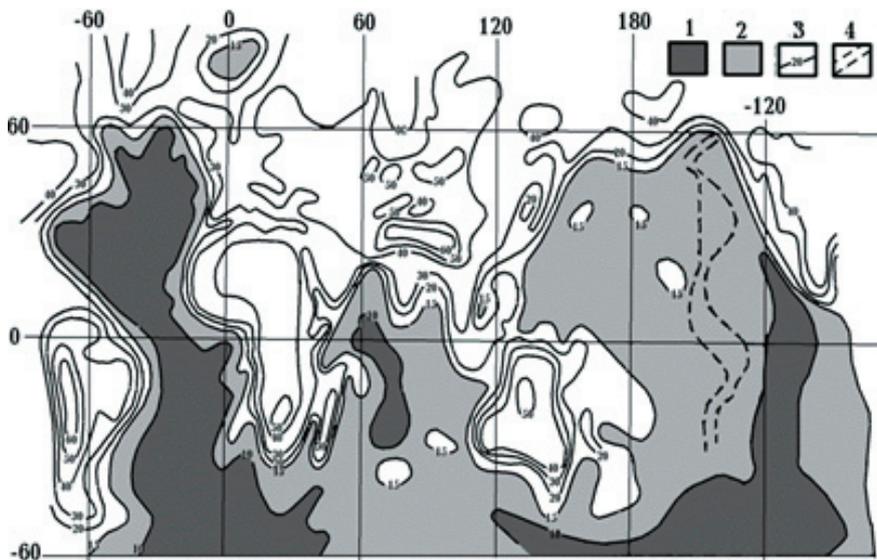


図 10 地殻厚度. 1 および 2 : 海洋地殻 (1 : 薄い, 2 : 厚い), 3 : 地殻厚度, 4 : 地殻厚度が 11km から 12km に増大する撓曲帯.

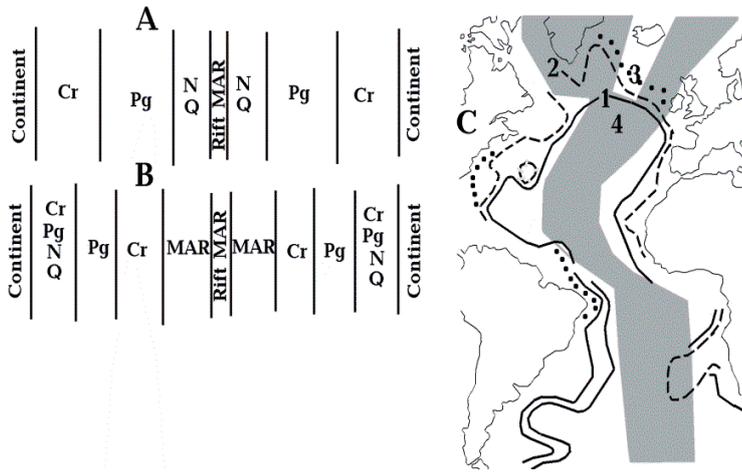


図11 大西洋におけるさまざまな時代の浅海性堆積物の分布 (Rudich, 1983 and 1984) および白亜紀火成活動帯 (Makarenko, 1997; Rudich, 1983; 他). 解説図 A: PTHにしたがう. B: 実際のデータ. C 1~3: 浅海堆積物の分布域の外縁 (1: 白亜系, 2: 古第三系, 3: 新第三系). 4: 白亜紀火成活動帯.

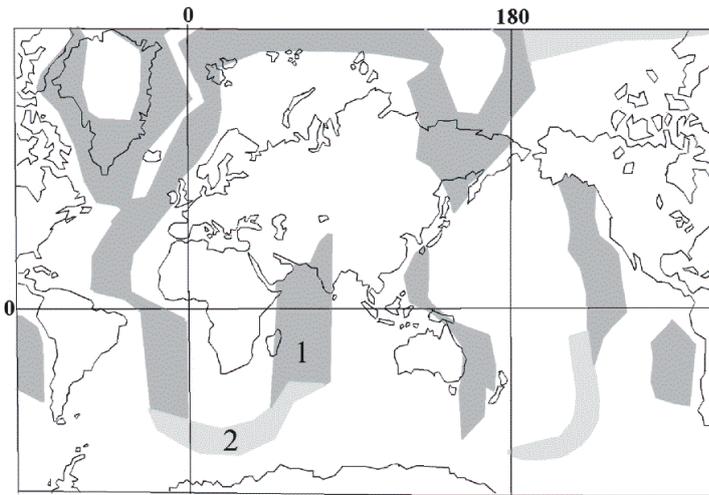


図12 白亜紀玄武岩類の分布 (Makarenko, 1997 による). 1: 証明済み, 2: 推定.



図13 海洋における最近の乾陸 (黒色パッチ) の分布.

このタイプの情報はすべての海洋 (北極海に関するデータはかなり限定されている) で得られていて、海洋周縁の大陸における対応する陥没による沈降と " 拡大海嶺 " の位置の間に関連性がない。「比較的最近、すなわち中生代末と新生代前半には、今日の海域の広大な範囲が表面近くにあり、そのような海洋底の水深は現在 4 ~ 6km に達している。このような沈降はたいへん強力で、短期間のうちに進行した (Rudich, 1983, p.260).

" 深海掘削計画 " (1969 ~ 2007 年) のデータにもとづいて、同様な意味をもつ次の研究結果が報告された。この結果は、深部に存在する海洋地殻第2層表面の玄武岩試料を研究した Blyuman (2008) による。

- ・陸上風化を被った玄武岩類

- ・玄武岩類を覆う粘土は…玄武岩の風化作用の産物である。
- ・粘土は有機質軟泥に覆われ、陸上環境から浅海環境へと明確な変化を記録していて、さらに深海遠洋環境で堆積した遠洋性珪質軟泥に覆われる。
- ・粘土と泥質岩ユニット: 玄武岩類の上位に形成された地表風化型の厚層として明確に認定できる (Blyuman, 2008, p. 80).
- ・海洋地殻の第1層と第2層の境界部は、その大半を火山岩類占め (Gordienko), それぞれの表面に共通して陸上風化作用が認められる溶岩流の重なりによって構成される (Blyuman, 2008, p. 80).

太平洋西部の溶岩化学組成と島嶼部の鉛、ストロンチウムおよびニオブウム同位体にもとづくと、それらが約 30 億年前の大陸性岩石からの融出物であることが確証される (Vasiliev, 1989; Petrological ..., 1996; 他). 太平洋では、海洋化作用開始以前に、少なくとも厚度 10km の地殻があり、0.35GPa/400°C で変成作用を被った結晶質基盤の断片が存在していた (Vasiliev, 1989). この地殻の組成は、おそらく、苦鉄質であったとみられる。

3.3 数ステージの活動期にわたって特有な岩石化学組成が保持された火山区が、海洋域に知られている。それらのいくつかは図6に示され、太平洋とイ

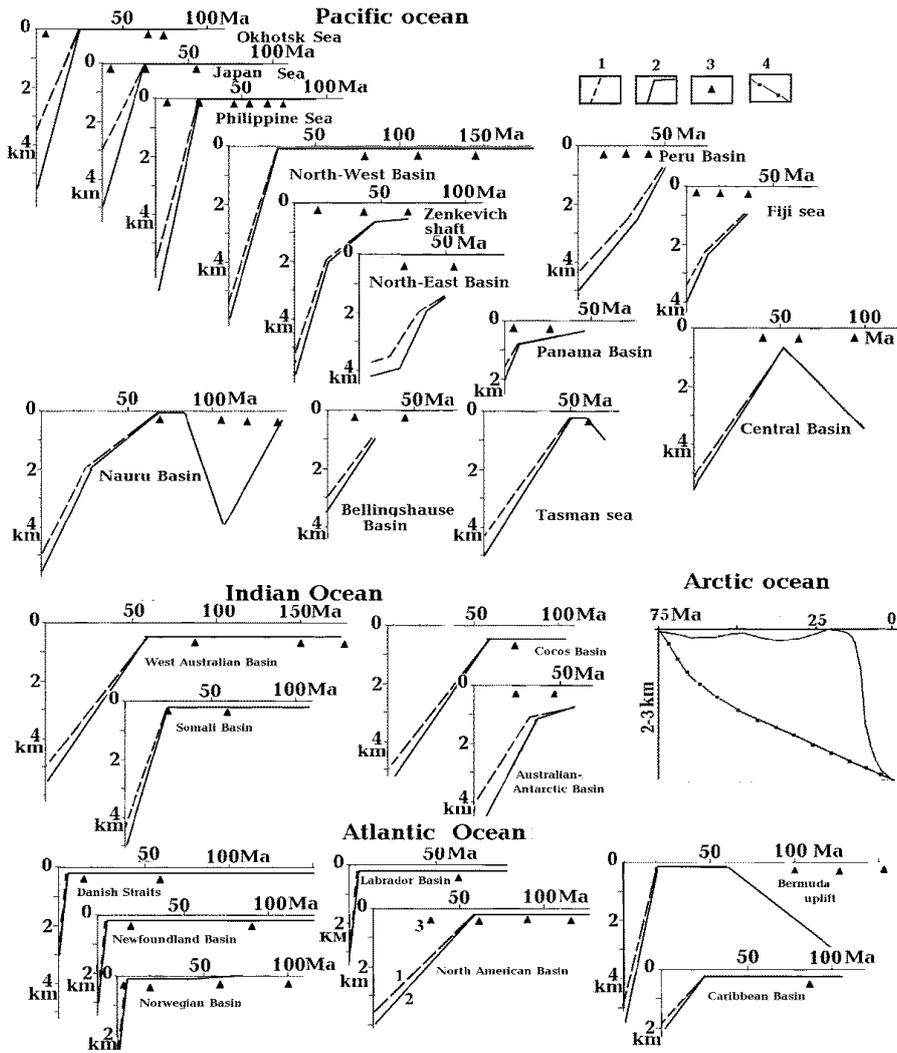


図 14 いくつかの海洋における海洋底深度の変化。1：海洋底深度，2：基盤深度，3：火成活動期，4：北極海の Sclater 曲線。

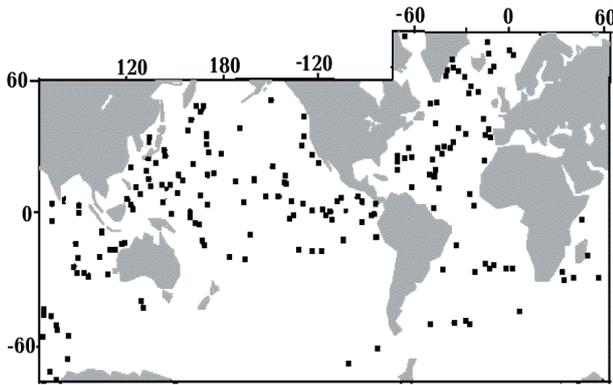


図 15 玄武岩風化殻が識別されたコアの掘削地点 (Blyuman, 2008)。

ンド洋に多い。Kogarko and Asavin (2007) によると、この事実はプレートテクトニクス仮説が示唆するように対流によって上部マントル物質が混合されるといった考え方に矛盾する。

PTH 支持者たちは、“ホットスポット”上のプレート移動の証拠としてハワイ海嶺の若い火成岩類の年代分布についてくりかえし言及してきた (Petrological..., 1996; 他)。もしこの仮定が正しいとすると、速度 10cm/year (拡大速度の 2 倍?)

で 1200 万年間にわたってプレートが北西へ漂移したことになる。この仮定は、全く連続的な Obruchev-天皇-ハワイ海嶺における火成活動年代に関する他のすべてのデータを無視することによって成り立っている。ハワイ海嶺の全長 6,000km のうち、連続的な年代変化が認められるのはわずか 1,200km にすぎない。海嶺の残りの部分では、そのようなパターンはまったく認められない。それらには、より古期の火山構造が存在し、部分的に侵食されていて、さまざまな年代の噴出堆積物が発見され、地殻に対して安定的な位置にある給源マントルから比較的長期間にわたってマグマが供給されたことを示している。ハワイ海嶺の斜面に存在する浅海堆積物の年代は、問題の火成活動が始まるよりもはるか以前にそれらが存在したことを明確に示す (Rudich, 1984)。

太平洋ではさらに、噴出堆積物の年代が、ハワイ諸島の前述した部分と同じ年代範囲で連続的に変化する海域が存在する。“ホットスポット”上を移動するという概念をそれに適用することはできない。なぜならば、そうでなければ、拡大する海嶺が自らの走向に沿って移動することを想定しなくてはならないからである (Petrological..., 1996)。いっぽう、PTH 支持者たちは、拡大帯の鋭角での方向転換、な

らびに、小規模断片（断片間では横ずれ断層に沿う変位が起こる）への分解を主張している。これは、噴出岩類の年代“変化”が北米プレートと相対的な太平洋プレートの移動に関連しているにも関わらず、“ホットスポット”が固定されているとの仮定を擁護してる。このような人為的想定を正当化することは難しい。

3.4 海洋における熱流量は、PTHによって想定された値に適合しない。大陸の熱水域と同様に、すべての中央海嶺の軸部では、熱流量が大きく、急変するが、これらの領域を越えると、短距離のうちに通常値を示すようになる。このパラメータを実際に研究すると、推定値とのいかなる比較も無意味なものになる。この幅狭い地帯の外側では、熱流量はあまり大きく変化せず、全体としては、海嶺軸に関して不規則な変化を示す（表2）。

PTHの方法で熱流量を計算するためには、“海洋底拡大速度”を知ることが必要であり、それは、通常、縞状地磁気異常間の距離にもとづいて決定される。この方法が以下で試みられるが、たとえ、この方法を使うとしても（“Sclater 曲線”，地殻“年代”の関数としての熱流量を適用），得られる数値はまったく適合しない（図16）。

中央海嶺から大西洋型大陸縁をもつ大陸までの距離といった（拡大がなんとか信頼できると仮定して）他の概念を海洋地殻年代として適用したとしても、熱流量の推定値と実測値の対応は、より混乱したものになるだろう。

3.5 PTHにしたがえば、中央海嶺のさまざまな断片の拡大速度は不均等であるために、大規模な水平変位が“トランスフォーム”断層に沿って発生し、とくに海嶺軸が変位を被る。大陸では、リフト軸の

変位に（たとえば、Rhenio-Lybian 系のように、共通して）、一般に、そのような現象は認められない。逆は真にちがいがなく、つまりそれは、変位を伴うリフト断片の不連続な配置をもたらし、とりかこまれた岩体内部における変位を引き起すことになる。

憶測された描像ではなく、真の事実にもとづいて、私たちが断層に関するデータから変位を判断できるようになれば、海洋における同様なパターンを理解できるだろう（図17）。太平洋中部～東部には、中期始新世～第四紀堆積物に充填された巨大トラフが存在する。堆積構造の層序境界と等層厚線には、トランスフォーム断層の影響は認められない。東太平洋海台（East Pacific Ocean Platform）の西側に存在する Clarion, Clipperton および Galapagos 断層に沿った実質的変位は、4,000 万年間にわたって全く起きていないことは明らかである。

大西洋およびインド洋の海洋底における変位方向の解析を行った Lomakin は、次のように結論した。すなわち、それらは単一の古期 regmatic システムであり、顕著な全地球的（大陸にも発生した）水平変位を被ったことがない（Lomakin, 2013）。

4. 縞状磁気異常にもとづく海洋地殻年代の決定は、PTHの主要要素である。

この仮説の著者（Vine and Matthews, 1963, p. 948）は、交互になった符号異常の起源に関する次のモデル、すなわち、「原因となる磁気担体の厚さは、海面からの深度 20km、海嶺中軸部では深度 11km に位置するキュリー一点に制約されている」から始めた。これらの深度設定は、（玄武岩類に対応する）比較的低い磁化強度—約 2～2.5 A/m を使うことによって可能になる。中央海嶺の凹地や斜面における熱流量は、後述するように、磁鉄鉱キュリー一点がはるか

表2 中央海嶺斜面および大洋盆における平均熱流量 (mW/m²). ()内の数値は熱流量測定地点数. Podgornykh and Khutorskoy (2000) による.

Geotraverse	Western slope	Eastern slope	Western Basin	Eastern Basin
Atlantic				
45 ⁰ n.l.	52(18)	58(16)		
Canaries-Bahamas	50(31)	44(28)	52(231)	46(76)
19 ⁰ n.l.	40(21)	43(6)		
2 ⁰ n.l.	55(17)	51(6)	54(13)	59(33)
Angola-Brazil	61(76)	41(67)	60(63)	50(49)
31 ⁰ s.l.	39(13)	34(8)	32(4)	56(8)
Pacific				
12 ⁰ s.l.	115(11)	106(15)	58(27)	58(35)
0 ⁰	74(29)	36(29)		
15 ⁰ s.l.	46(28)	122(105)	54(73)	79(108)
Indian Ocean				
6 ⁰ s.l.	49(19)	76(4)		
10 ⁰ s.l.	40(33)	46(7)		

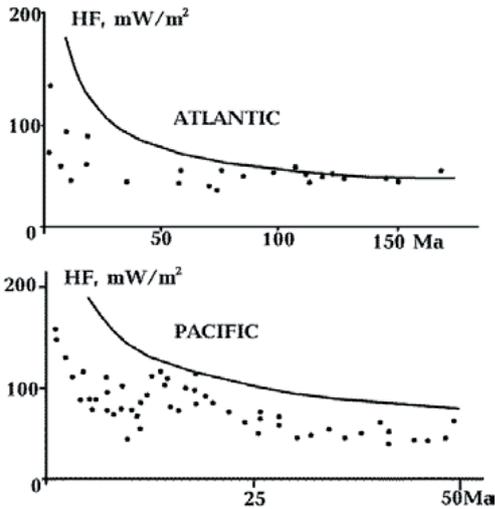


図16 中央海嶺からの距離と大西洋および太平洋における平均熱流量分布 (Popova, 1987). 曲線は、冷却しつつあるプレート上の推定値分布.

に深いことを示す. 著者たちによって適用された幅20kmのブロックを設定すると、磁気担体下限深度を決定することは実際には不可能である. 計算された磁場(および磁化強度)は、深度が5~10kmに変化しても、ほとんど変化しない. モホ面は実際には深度10kmに位置する. それゆえ、中程度の磁化強度を設定する著者たちは磁気源に助けを求めざるをえなくなる. それはマントル中に存在し、地殻年代決定に関係するため、論理全体を無意味なものにしてしまう.

上述した海盆の地殻岩石に関する磁鉄鉱の事例は、まったく正当である. なぜならば、年代に関して、それは、他の含鉄鉱物にも当てはまるからである (Pechersky and Genshaft, 2002 : 図18).

後続の研究によれば、磁気担体の下限深度は海洋地殻の上部(約2km)に対応する. しかし、この場合、Vine and Matthews 仮説を満足させる解釈は成立しないか、非現実的な高磁化率が必要になる (Gordin et al., 1987 ; など).

実際の典型例では、磁気異常を使って地殻年代を決定することを目的とした多くの研究の著者たちは、観測された異常を必ずしも実証していない. たとえば、Johnson (1979) の研究によって、大西洋中央海嶺の斜面での掘削井で採取された玄武岩のチタン磁鉄鉱試料がえられた. より低い磁化率をもつ大量の岩石試料(67%に達する)が逆帯磁層の構成物として識別され、観測された正異常を、より新期の玄武岩層から得られたデータによって説明することができなくなった. 本稿の著者は、より深部の磁気担体を探すべきである、と考えている. そうだとすると、“地殻の年代”が、まったく不確実な手続きにしたがって決定されていたことになる. この手続きは、異常が存在するという単なる事実と慣習的尺度

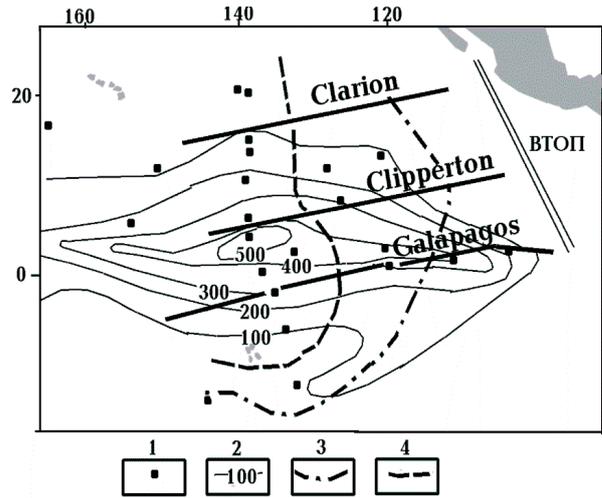


図17 太平洋東部海盆におけるサヤ状 (sheath) 堆積層の構造 (Rudich, 1984). 1 : 掘削井, 2 : 第四系~古第三系中部堆積岩層の等厚線, 3・4 : 岩層境界, 3 : Marquesas (新第三紀前期~古第三紀後期), 4 : Line (古第三紀中期).

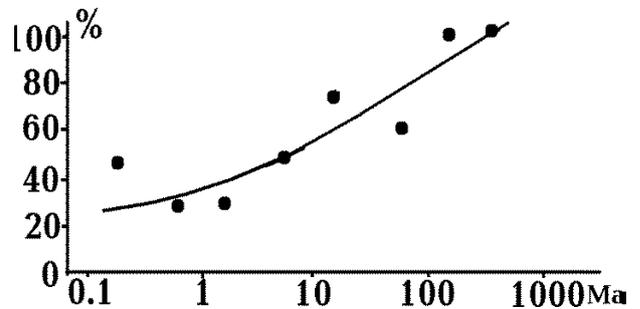


図18 含鉄鉱石の間での磁鉄鉱の相対含有量の変化と陸上顕生代玄武岩 (Pechersky and Genshaft, 2002).

にもとづいて“対応する”正磁化期の位置を比較するというものである.

縞状異常の解釈をめぐる議論は今後もつづくであろうが、それはこの論文の目的ではない. 基本的疑問は、磁気異常にもとづいて地殻年代を決定できるか否か、という点にある. 本稿の著者は、地殻の年代を、その上部層に含まれる火山性物質の年代とすることは、その定義からして不合理である. 本稿で下部層の岩石年代については前述したが、PTHによって想定されている年代にあてはまるどころがない. 図19は、大西洋中央海嶺軸からの距離に対応した大西洋の火成岩類の年代値データをプロットしている(リフト凹地の古期岩石は、当然のことながら、この解析からは除外されている). その分布は、磁気データによって示唆される“海洋地殻年代”の変化と比較されている.

これと同様な検討は、Meyerhoff and Meyerhoff (1974) によっても行われていて、それらの証拠にもとづく年代決定を詳細に議論する必要はほとんどないだろう. むしろ、Gordin の次の意見に合意すれば済むことである. 「…地磁気研究と深海掘削データによって“独立に”決定されたリソスフェア年代

の間の印象的な一致に頼っているが…、実際問題として、この一致は、基準となる掘削井、推定年代の補正による不一致の排除、そして/あるいは、磁気異常の再ナンバーリングによってえられた磁気断面の緯度経度にもとづいて磁気異常同定に用いられた技術的産物にほかならない。“磁気年代”の評価が虚構であることも、さまざまな異常尺度の比較によって検証されている。このような比較は、磁場逆転の標準的尺度が、断層運動、圧縮、および膨張によって、同定される磁極期の長さを超えて歪んでいることを示す。異常尺度を“標準的尺度”と比較すれば、リソスフェアの磁気年代の決定が、すべての結果を変更できるゴムのような基準を使った測定と同類に他ならないだろう」(Gordin, 2002, p. 28)

遷移帯の PTH

大西洋型遷移帯の状況は、プレートテクトニクスの達人たちには、特別の関心を引き起こさない。プレートテクトニクス仮説は、次の簡単な疑問へ何らの解答もあたえていない。いくつかの場所では海洋プレートと大陸縁の境界地帯に沈み込み帯が存在し、他ではなぜ存在しないのか？ 私たちは、観測される状態を考え、テレーンや過去の海洋が振動的に閉塞したとは考えない。PTHに含まれる解析のあいまいさについては、本稿で全面的に検討した。以下では、太平洋型遷移帯、主に本稿の著者がもっともよく知っている千島-カムチャツカに関するデータを利用しよう。

PTHによれば、そこでは、リソスフェアプレートが大陸の下へ沈み込んでいて、島弧（一部は大陸縁）、深海海溝、沈み込むプレート縁部部の周縁アーチのほか、縁海が存在する。これらの海域は、大洋部に比べて研究が進んでいる。いくつかの場合、それらの現在の構造と地史に関する記載は大陸にほぼ匹敵するほど詳細で、このような状況は、プレートテク

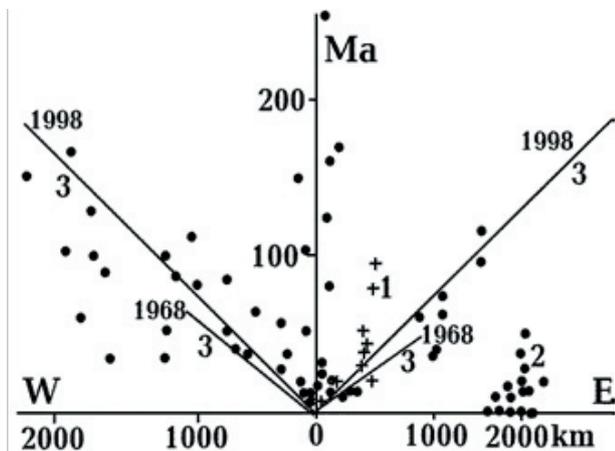


図 19 大西洋中央海嶺からの距離に対する大西洋における火成岩年代 (2) と北極海周縁部の火成岩年代 (1)。それらは、縞状異常にもとづいて推定された“地殻年代” (3) に比較されている。

トニクス仮説の聖典のような枠組みの中で展開される巧妙な想像の幅を狭くする。その結果、この仮説を排斥するのではなく、他の要素を加えて、それを利用することができる。

背弧海には中央海嶺は存在せず、今日の火成活動は島弧近傍で起こっていて、組成的には拡大海嶺の火成活動に類似する (Petrological..., 1996; Frolova et al., 1989; 他)。では、それは何なのか？ PTH を支持する人々はそれを“拡散拡大 dispersion spreading” (沈み込みプレート上での拡大?) と呼ぶ。本稿の著者は、文献に、この“現象”に関するこれ以上の説明を見いだせなかったもので、それは言葉にすぎないだろう。海溝の内部と海側で広く発見されるのは、島弧火成岩と完全に一致する火成岩類である。PTH 支持者たちによる 2 語の説明にしたがうと、それは“拡散拡大 dispersion spreading” (Petrological..., 1996) ということになる。おそらく、本稿の著者以外の誰かは“拡散拡大”のメカニズムを理解できるのであろう。海洋型遷移帯の深部造構作用に関するプレートテクトニクスの標準的解釈は、対流セル内に沈み込んだ物質が拡大帯にもどってくることを想定している。このような特殊な場合を、図解することはほとんど不可能である。問題の緯度には大西洋中央海嶺が存在するだけであり、本稿の著者は、北米の下を通過・移動するスラブが記述された事例を知らない。

しかしながら、PTH 支持者たちの意見では、数百 km の深度に沈んだプレートは東方へ戻ることなく、むしろ、西方へ数千 km にわたって進み、今日の火成活動と、たとえばシベリア～中国卓状地のヘルシニア期の火成活動をもたらした物質を供給してきた、とする (Kovalenko et al., 2010; 他)。(これらの PTH 熟達者たちは、いくつかの島弧に反対側から沈み込むプレートにこのような事象がどのようにして発生するのか、自問して悩むことはない。)しかし、スラブはそれほど遠方へ移動することなく、沈み込み帯から数百 km も離れば、停止するのではないのか？ (Zhao et al., 2010; 他) 最近の傾向として、さまざまな方向への運動が、沈み込み帯にむすびつけられている。モホ面と上部マントルの典型的な変成作用深度に沈み込みが到達すると、かつての大陸地殻ブロックが地表まで隆起する (Gerya, 1999)。

遷移帯とその周辺におけるいくぶん未成熟な挑戦が、それら独自の道筋（それらは、いかにしてもスラブの主要ルートに調和せず、それらの道筋が何であるかを理解できない）に沿って移動している一群のテレーンを補うものであれば（前述）、これはたいへん多彩である。たとえば（前述）、Carpathia 地域において実際に起こっていることがらとは関係なく、入手できるすべての地質-地球物理データは

物語の全体に調和させられる。しかし、これらの調和的事象を詳細に検討すると、地球力学モデルそのものの著者たちによる言葉での承認が行われれば、わずかに2, 3の事実によって彼らのモデルが満足させられてしまうだろう。同時に、沈み込み帯が数十kmの振幅と100万年～数千万年の周期をもって（東方では千島-カムチャツカ帯で）ジャンプすることが提案されると、遷移帯における深部過程に関する前述した概念を支持するすべての事実が無視されてしまう (Avdeyko et al., 2006; 他)。

しかし、確実なことがらについて、なぜそれほどまでに悩み、調整するのだろうか？ それらは、単に、無視されただけであった。

1. プレート内火成活動の産物とみなされてきたある複合岩体 (Volynets, 1994) は、千島-カムチャツカ弧システムとして認定された。その著者は、この事実にかかわるいかなる説明（突然に始まり、“都合よく”消失する“ホットスポット”、あるいは、さらに30～50km西方のかんらん岩ブロックに比べて、何らかの理由で十分に速く融解することができる中央海嶺玄武岩 [MORB] 質かんらん岩ブロック、などについての適当な説明を除いて）にも遭遇したことがなかった。さらに、“島弧複合岩体”（これは、始生代楯状地に遡る“地球力学条件”の解析に改めて利用される）の組成を決定する際に、“プレート内”苦鉄質-超苦鉄質岩類は考慮されていない。これは、あることがらがPTHに適合しない場合には、それを単に無視するという典型的なごまかしてである。

2. 沈み込みは、約150Ma以前 (Kovalenko et al., 2010 の場合) の最古期の海洋地殻年代にくらべて、この作用が十分に長期間にわたって働く場合にのみ有効である。これは、海溝の年代でもあるはずである。古くから行われてきた千島-カムチャツカ、日本、およびマリアナ海溝の堆積岩類についての地震探査と研究は、上述の仮定が妥当でないことを示す。沈み込みの開始年代は、2000～4000万年前とみられている (Rudich and Udintsev, 1987; 他)。より詳細な研究は、海溝堆積物は、海溝が縁辺凹地になる前に堆積したもので、それらはたいへん若い50～100万年前の堆積物であることを示す。この結論は、北西太平洋の海溝における次の研究から引用したものである。

「陸源堆積物は、日本、千島およびカムチャツカ山地から、河谷、深海峡谷、および深海扇状地谷（深海谷）のネットワークを通じてもたらされた。それは、千島-カムチャツカ、日本、およびマリアナ海溝が出現する以前の中-後期中新世～前期更新世に、広大な準平原 (Darwin Rise) に氾濫した太平洋海進を背景に発生した」 (Lomtev et al., 1997, p. 28)。堆積した陸源物質の量と質は、山脈

の“生産力”に整合する。「太平洋の海溝の年代は、それらが最近（50～100万年前、中期更新世）になって出現したことを示す……」 (Lomtev et al., 1997, p. 28)。出現した海溝に比べて海岸からより遠方において、堆積速度と堆積物の組成は、プレート縁辺で急変する。これは、“障壁をもつ沈降 (barrier-depression)”効果が働いていることを示す。

北米大陸縁のOregon-Washington海溝と南米のSouth-Chilean海溝は堆積物によって完全に埋積され、それらを通じてCascadiaおよびHumboldtプレート縁に陸源物質が運搬されはじめている。ここでは、海溝ブロックの沈み込みが始まっている様子が詳細に解明されている (図20)。この海域における海洋底深度は約3kmである。前期更新世～鮮新世の岩石が現在の0.2～0.7kmよりも深いところで形成され、後期更新世よりも古期には沈降していなかったと信じる理由がある。言いかえると、海溝は後期更新世初頭よりも新しい (Udintsev, 1987)。

3. 沈み込み帯におけるリソスフェアプレートの沈降は、絶対的に確実な震源分布（それらは、下降軌道の出発点—そこではプレートと周辺媒質が依然低温で著しい脆性を示す—にもっとも集中しているはずである）と正の地震波速度異常（相対的な高速度は低温プレートに起因するだろう）を示す。この領域の地殻と上部マントルの詳細な地震学的モデルは、この地帯のもつ構造および地震活動にかかわる他の特性をも明らかにする (図21)。海溝軸部の震源集中度は最小であり、陸側へ50～100kmほど離れたところ、すなわち、海溝の外側で最大に達する。そして、そこでの正の速度異常は、予測値に比べてはるかに大きい。

4. PTHの支持者たちは、沈み込み帯における地震発生機構がプレートの沈み込み軌道に一致して引張と圧縮方向を示すことに執着する。とくに、海溝の島列縁での浅部では、それらは低角押しかぶせ断層の形成に対応しているという (Isaacs and Molnar, 1971; 他)。太平洋遷移帯（前述の著者らによってもちいられている領域を含む）、とくに千島-カムチャツカ遷移帯における地震の発震機構に関する多数の研究は、これらの仮定がすべて間違っていることを示す (Balakina, 2002; 他)。「プレートテクトニクス仮説の支持者たちは、彼らの震源メカニズム解として、浅発地震における断層運動の許容範囲を低角節面にだけ限定する。その理由は、そうすることが沈み込み概念により適合するからである。観測および理論地震波形を比較して震源分散パラメータを評価すると、低角押しかぶせ断層の選択性を証明しえない。というのは、逆過程を厳密に解くことができないからである (Balakina, 2002, p. 132)。深度70～100kmでは、とりあげられた発震機構に整合する真の変位はほとんどの場合、鉛直下向きで

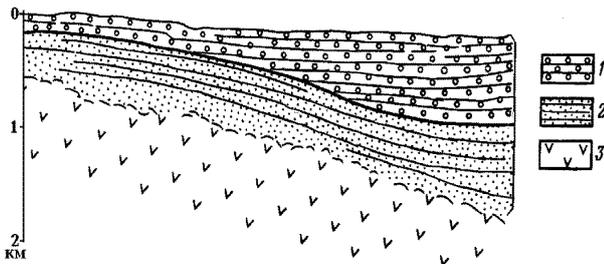


図20 コロンビア川河口域における北米-太平洋遷移帯における海溝の構造 (Udintsev, 1987). 1: 水平に成層した上部更新世 (0-0.5 Ma) タービダイト, 2: 下部更新統 (0.5~1.8 Ma) の平行葉理タービダイトと鮮新世 (1.8~5 Ma) 粗粒堆積物, 3: 音響基盤.

あり, この卓越する鉛直性は大深度まで安定していて, その方向は領域ごとに変化する (Balakina, 2002).

5. Zenkevich Swell (北海道隆起) や Obruchev Rise によって, 縦走断層による階段構造に沿って海溝海側斜面が複雑化され, 典型的な海洋域とは明確に異なった海溝地形を形成している (Vasiliev, 1989; Lomtev, 2008; Lomtev et al., 1997; Petrological... 1996; Rudich and Udintsev, 1987; Sergeyev et al., 1983; Tectonosphere ..., 1992; 他). 「岩石特性やおそらく年代 (年代は後ほど明らかにされる: Gordienko) を異にするいくつかの複合岩体群が, 海溝底から上方へ繰り返し分布することが解明された. それらの最初のもは, 最古期の黒雲母片麻岩, 角閃岩, 大理石岩石, 石英砂岩, および黒雲母-角閃石片麻岩である. より浅部の構成岩石は, 流紋岩, 流紋岩溶岩, イグニンプライト, 凝灰岩などの陸上で形成された岩石や堆積物である. 上述の構成岩石はいずれも, カムチャツカ半島の変成岩, 火成岩および堆積岩類に類似するのみならず, それらの層序関係をも反映している」 (Rudich and Udintsev, 1987, p. 24). これらの, そして他のデータにもとづいて, Lomtev (2008) は, 太平洋北西海盆の当該海域の地殻進化を, 海洋化前に遡って解析した. その初期厚度は約 33km と見積もられた. 言いかえると, 北西太平洋プレート縁辺部は拡大したわけではないのである.

6. 前述したように, 火成活動による太平洋の最大拡大量は $0.3 \text{ km}^3/\text{年}$ と見積もられている. 環太平洋域の火山群の“生産速度”は, それらの表層部に限った見積もり (すなわち, 最小値の見積もり) である. Aprodov (1982), Gushchenko (1979), Nabako (1969), Ritman (1964), 他によると, それは $1.2 \text{ km}^3/\text{年}$ となる. 両者の見積もりは不正確であることにちがいはないが, その相違は偶然とは考えられないほど大きい. PTH は, 拡大をもたらすプレートからどのように物質が溶出し, その容積がプレートそのものよりも数倍に達することを説明していない. 沈み込むプレート由来の流体に影響されて (流体の一部

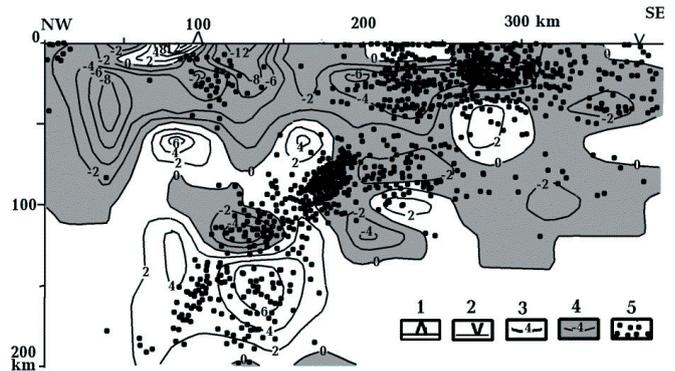


図21 南部カムチャツカと隣接海域の横断断面にみられる圧縮性地震波 (P波) 速度異常分布 (分布域における平均値から計算, BN・0.1km/sec: Nizkous et al., 2006). 1: 火山弧, 2: 深海海溝, 3・4: 速度異常等値線 (3: 正, 4: 負), 5: 震源

はくさび状リソスフェアの超苦鉄質岩類のために不足するにもかかわらず, プレート物質を融解させるには流体が不十分であると仮定), くさび状リソスフェア内での融解がこれを補うとしても (Avdeyko et al., 2006; 他), これらは想像の産物にすぎない. それとは別に, 島弧下で観測される震源深度は, 他の海洋域と実質的に同等である (Gordienko, 2013; 他).

環太平洋域に関するデータによって, 当然ながら, マグマ溜まりの諸パラメータが得られた. 地殻中のマグマ溜まりの諸パラメータは, 深度 20~30km および 3~6km と評価された. それらはマントル中のマグマ溜まりの産物であろうと信じられるので, 表3には示されていない. 島弧下のくさび状リソスフェアは, 30~150km の深度範囲に位置する. 4つのマントル内マグマ溜まりのうち, その1つの位置だけは, くさび状リソスフェアに隣接する部分が融解することによってスラブに影響するという説明が可能である (表3).

結論

本稿でとりあげたプレート仮説に否定的評価をくだすには, 十分なデータを凌駕するほどのデータが存在する. それにもかかわらず, PTH は極端に流行した. Belousov は, 最後の著述の1つで, 論争を決着させるために1つの手がかりを提案した.

「…すべての障壁がとりのぞかれた. 解析の対象になるプレートのあらゆる種類や規模のプレート運動・回転が可能であり…拡大, 沈み込み, あるいは obduction のあらゆる場所と時間は, 融合したり, 消失したりする. 研究者は, プレートの大きさ, 形状, 方向性, そして, 移動あるいは回転の時代を都合よく決定することができる. 同時に, 彼または彼女は, これらのプレートがなぜ, どのようにして形成され, なぜ漂移しているのかについて悩む必要性をまったく感じていない」.

表3 太平洋, 大西洋およびインド洋におけるマントル中のマグマ溜まりの平均的PTパラメータ (5km および 50°C単位).

Region	1st level	2nd level	3d level	4th level
MOR	190km 1650°C	140km 1500°C	80km 1300°C	50km 1250°C
Aseismic ridge	180km 1600°C	140km 1500°C	85km 1350°C	55km 1250°C
Basin	195km 1650°C	140km 1450°C	90km, 1350°C	55km 1250°C
Island arc	205km 1650°C	150km 1550°C	85km 1350°C	50km 1200°C

「これらの全く自由自在な条件は、いかなる構造状況をも”説明できる”理想状態をつくりだすことができる. このような環境は、プレートテクトニクス仮説をたいへん魅力的なものにしている. この場合、ある1つのことがらを仮設することによって、自分の判定の最終結果に満足を感じる. こうして、永遠の探究と持続的不安のために、科学的創造性は標準的前提にしたがった静的で単純化された現象の分類に終始することになる. そして、そのような精神的快適性を自ら否定することは、ひどく困難になる」(Belousov, 1991, p. 10).

上述したことがらに、権威者の力を加えることも可能である. 本稿の著者は、Khain自身がそれを認めているのでPTHは正しい、との弁明をいくども聞いてきた. 『プレートテクトニクスと他の可能性の論争点 Controversial Aspects of Plate Tectonics and Possible Alternatives』という著書のまえがきを書いた Avsyuk は、水星の自転周期がどのように解明されたのかという話題を紹介している. 1889年に Schiaparelli によって、それが88日であり、公転周期に等しいことが初めて解明された. この著名な天文研究者の支持者たちは、ますます洗練された観測機器を利用してえられた新しい観測データにもとづいて75年間にわたって、この結果をくりかえし確証してきた. 電波天文学的手法が使われるようになると、実際の自転周期は55日とされ、これらのデータの再検討結果、50~60日に補正された (Avsyuk, 2002). 権威者の力は巨大であるが、Bacon (1214-1294) にはすでに「知識には、権威者、理性的思考、そして、経験という3つの源がある. しかしながら、権威者は、あなたが論理的な根拠をもたず、理解ではなく信仰によってものごとを受容するようにあなたを導く場合には不十分なものとなる. …そして、理性的思考だけでは、それが、経験によってその結論を正当化しえない場合には、真の証明と詭弁を峻別することはできない」(History ..., 1981, p. 58-59) ことを明らかにしている. Baconは修道会の修道士ならびにオックスフォード大学の神学教授で、彼の友人の邪悪な行為によって懲戒され、12年間の獄中生活を経験し、そのため、教会の権威者を誹るようになった. それから、700年を経た. 私たちの同世代人たちは、PTHに適合する研究結果を取りまとめることが許され、そうしないと資金をうることができず、また”地向斜”概念が記述された論文の掲載を拒否するであろう名門雑

誌に彼らの論文を掲載できなくなることを恐れて、承認された権威者の見解とは別の新しい成果であるかのような弁解を述べる. PTHが支配的な時代に成長した世代の地質研究者は、もっとも簡単な地質学的事実とそれらの解析方法について、彼らの教師から十分な情報を与えられていない. 彼らが専門的レベルに成長するには独学する他に術がないが(現代地質学が急速に、そして成功裏に発展してきた多くのことがらを解決する個人の問題を論じているわけではない)、誰もがそのような着想をもつ状況からはほど遠い.

世界の地質学界では大多数の人々によってプレートテクトニクス細菌への感染が促進されている人間の特性は、理想状態からほど遠い. そのため、快復には長い時間がかかるだろう.

謝辞: 私は、この文章をロシア語から翻訳してくれた Mrs. Rita Schneider に深く感謝する.

著者略歴: Vadim Gordienko は、ウクライナ国立科学アカデミーの地球物理学研究所の部門長. 1961年にキエフ大学を卒業. 専門は、地熱、重力、地震、地質-地球物理データ総合解析、地球テクトスフェアの深部過程など.

文 献

- Avdeyko, G.P., Paluyeva, A.A., 2006. Geodynamic Conditions of Magma Formation and Volcanism of the Kuril-Kamchatka Island Arc System. *Petrology*, v. 3, p. 248-265. (in Russian)
- Aleksandrov, E.B. and Ginzburg, V.L., 1999. About Pseudoscience and Its Propagandists, *Vestnik of the Russian Academy of Sciences (RAS)*, v. 69, no. 3, p. 199-202. (in Russian)
- Avsyuk, Yu.N., 2002. Foreword. *Controversial Aspects of Plate Tectonics and Possible Alternatives*. Moscow: Institute of Physics of the Earth, RAS. p. 3-4. (in Russian)
- Andreev, S.I., 2004. Geological-Tectonic Map of the World's Oceans. 1 : 15, 000, 000. Research Institute of Oceanology. (in Russian)
- Aprodov, V.A., 1982. *Volcanoes*. Moscow: Mysl. 348p. (in Russian)
- Artyushkov, E.V., 2010. Continental Crust of the

- Lomonosov Ridge, Mendeleev Rise, and Makarov Basin. Formation of Deep Sea Basins in the Neogene. *Geology and Geophysics*, v. 11, p. 1515-1530. (in Russian) Bacon, F., 1978. Works. v. 2. New Organon. Moscow: Mysl. 214p. (in Russian)
- Balakina, L.M., 2002. Subduction and Mechanisms of Earthquakes. *Controversial Aspects of Plate Tectonics and Possible Alternatives*. Moscow: Institute of Physics of the Earth RAS. p. 120-141. (in Russian)
- Bauer, L., 1920. On Vertical Electrical Currents and Relation Between Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity. *Terrestrial magnetism*, v. 25, no. 4, p. 145-162.
- Belousov, V.V., 1975. *Fundamentals of Geotectonics*. Moscow: Nedra. 262p. (in Russian) Belousov, V.V., 1978. *Endogenous Continental Regimes*. Moscow: Nedra. 232p. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1982. *Transition Zones Between Continents and Oceans*. Moscow: Nedra. 152p. (in Russian)
- Belousov, V.V., 1991. *Plate Tectonics and Tectonic Generalizations*. *Geotectonics*, v. 2, p. 3-12 (in Russian)
- Belyy, B.F., 2002. *The Theory of geosynclines, Terrainology and Topical Issues of northeastern Asia. Controversial Aspects of Plate Tectonics and Possible Alternatives*. Moscow: Institute of Physics of the Earth RAS. p. 142-157. (in Russian)
- Blyuman, B.A., 2008. *Basalt Weathering and Unconformities in the Crust of Oceans: Possible Geodynamic Consequences*. *Regional Geology and Metallogeny*, v. 35, p. 72-86. (in Russian)
- Bondarenko, G.E. and Didenko, A.N., 1997. *New Geological and Paleomagnetic Data on the Jurassic-Cretaceous History of the Omolon Massif*. *Geotectonics*, v. 2, p. 14-27. (in Russian)
- Borukayev, Ch.B., 1998. *Fundamental Questions on Terrain Analysis (Terrainology or Terrain Mania?)*. *Geology and Geophysics*, v. 10, p. 1329-1334. (in Russian)
- Boyd, F.R., 1989. *Compositional Distinction Between Oceanic and Cratonic Lithosphere*. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 96, 1/2, p. 16-26.
- Campsie, J., Neumann, E., Johnson, L., 1983. *Dredged Volcanic Rocks from the Southern Oceans: the Eltanin Collection*. *N.Z. Jour. Geol. and Geophys.*, v. 26, p. 31-45.
- Chekunov, A.V., 1976. *Geology of Ukraine, Adjacent Areas of the Tethys, and New Global Tectonics*. *Geological Journal*, v. 3, p. 3-19. (in Russian)
- Deep Sea Drilling Project. *Ocean Drilling Project*. 1969–2007. <http://www-odp.tamu.edu/publications>.
- Dietz, R., 1961. *Continent and Ocean Basin Evolution by Spreading of the Sea Floor*. *Nature*, v. 190, 4779. p. 854-857.
- Dmitriyev, L.V., Sobolev, A.V., Reysner, M.G. and Melson, V.D., 1990. *Petrochemical Groups of Quenched Glasses in TOR (Tholeiites of Oceanic Rifts) and their Distribution in the Atlantic and Pacific Oceans. Magmatism and Tectonics of the Ocean (the "Litos" Project)*. Moscow: Nauka. p. 43-107. (in Russian)
- Famous Geologists. *Encyclopedia of Geology*. v. 2. 2005. Elsevier Ltd. p. 153-174.
- Frolov, V.T. and Frolova, T.I., 2011. *Origin of the Pacific Ocean*. Moscow: Maks Press. 52p. (in Russian)
- Frolova, T.I., Perchuk, L.L., Burikova I.A., 1989. *Magmatism and the Transformation of the Crust of Active Margins*. Moscow: Nedra. 262p. (in Russian)
- Garetsky, R.G., Karatayev, G.I., Dankevich, V.I., 2005. *Assessment of the Prospects for Diamond Exploration in Belarus -According to Data of Deep Geophysical Research-. Lithosphere*. 2. p. 102-114. (in Russian)
- Geological Structure and Origin of the Pacific Ocean*, 2005. Ed. B.I. Vasilyev. Vladivostok: DalNauka. 167p. (in Russian) *Geology and Oil and Gas Potential in the Dnieper-Donets Basin. Deep Structure and Geotectonic Evolution*. 1989. Ed. V.K. Gavrish. Kiev: Naukova Dumka. 206p. (in Russian)
- Gerya, T.V., 1999. *PT - Trends and Model of Formation of Precambrian Granulite Complexes*. Doctoral Thesis. Moscow: Moscow State University. 282p. (in Russian)
- Golubeva, E.D., 2009. *Evolution of Magmatism in the Pacific Ocean*. Vladivostok: DalNauka. 132p. (in Russian) Gordienko, V.V., 1975. *Thermal Anomalies in Geosynclines*. Kiev: Naukova Dumka. 142p. (in Russian)
- Gordienko, V.V., 1998. *Deep-Seated Processes in the Earth's Tectonosphere*. Kiev: Institute of Geophysics, National Academy of Sciences Ukraine. 85p. (in Russian)
- Gordienko, V.V., 2007. *Advection-Polymorphous Hypothesis for Processes in the Earth's Tectonosphere*. Kiev: Korvin Press. 172p. (in Russian)
- Gordienko, V.V., 2009. *On Precambrian Deep-Seated Processes in the Tectonosphere of Continents*. *Geophysical Journal*, v. 5, p. 85-102. (in Russian)
- Gordienko, V.V., 2012. *Processes in the Earth's Tectonosphere (Advection-Polymorphous Hypothesis)*. Saarbrücken: LAP. 256 p. (in Russian)
- Gordienko, V.V. and Gordienko, L.Ya., 2013. *PT-Conditions in Mantle Magma Chambers Beneath the Atlantic Ocean. Geology and Mineral Resources of the World Ocean*, no. 4, p. 63-78. (in Russian)
- Gordienko, V.V., Zavgorodnyaya, O.V. and Jakobi, N.M., 1982. *Heat Flow of Continents*. Kiev: Naukova

- Dumka. 184p. (in Russian)
- Gordin, V.M., Mikhaylov, V.O. and Trebina, E.S., 1987. Magnetic Field and Magnetically Active Layer of the South Atlantic Ridge. *Comparative Tectonics of Continents and Oceans*. Moscow: Interdepartmental Geophysical Committee. p. 430-451. (in Russian)
- Gordin, V.M., 2002. An Interpretation of the Magnetic Field Anomalies in Oceans by Vine Matthews. *Controversial Aspects of Plate Tectonics and Possible Alternatives*. Moscow: Institute of Physics of the Earth RAS. p. 27-29. (in Russian)
- Grenerczy, G., Fejes, L. and Kenyeres, A., 2002. Present Crustal Deformation Pattern in the Pancardi Region: Constraints from Space Geodesy. *EGU Stephan Mueller Special Publication Series*. 3, p. 65-77.
- Gung, Y., Panning, M. and Romanowicz, B., 2003. Global Anisotropy and the Thickness of Continents. *Nature*, v. 422, p. 707-711.
- Gushchenko, I.I., 1979. Eruptions of Volcanoes of the World (Catalog). Moscow: Nauka. 475p. (in Russian)
- Heidbach, O., Ledermann, P., Kurfe, D., Peters, G., Buchmann, T., Matenco, L., Negut, M., Sperner, B., Muller, B., Nuckelt, A. and Schmitt, G., 2007. Attached or Not Attached: Slab Dynamics Beneath Vrancea, Romania. *Papers of the International Symposium on Strong Vrancea Earthquakes and Risk Mitigation*. Bucharest. p. 3-20.
- Hess, H., 1962. History of Ocean Basins. New York: Petr. Stud. Geol. Soc. Am.. N.-Y., p. 599-620. History of the Middle Ages. Reader. Part II. 1981. Moscow: Education. 287p. (in Russian)
- Hope, E., 1959. Geotectonics of the Arctic Ocean and the Great Arctic Magnetic Anomaly. *Jour. Geophys. Res.*, v. 4, p. 407-427.
- Hutton, J., 1788. Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws Observable in the Composition, Dissolution and Restoration of Land Upon the Globe. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, v. 1, no. 2, p. 209-304.
- Irving, E., 1964. Paleomagnetism and its Application to Geological and Geophysical Problems. New York: J. Wiley & Sons. 399p.
- Isaacs, B., Molnar, P., 1971. Distribution of Stresses in the Descending Lithosphere from a Global Survey of Focal-Mechanism Solutions of Mantle Earthquakes. *Rev. Geoph. and Space Phys.*, v. 9, no. 1, p. 103-174.
- Istomin, A.N., Yevdoshchuk, N.I., 2002. Geodynamic Conditions of Formation of the Dnieper-Donets Basin. *Geophysical journal*, v. 6, p. 143-155. (in Russian)
- Jeffreys, H., 1960. Earth, Its Origin, History, and Structure. Moscow: Foreign Literature. 484 p (in Russian)
- Johnson, H., 1979. Paleomagnetism of Igneous Rock Samples. *Magnetic Properties of Igneous Rock Samples*. Leg 45 doi:10.2973/dsdp.proc.45.115. doi:10.2973/dsdp.proc. 45.116. 1979.
- Khain, V.E., 1971. Regional Geotectonics. North and South America, Antarctica, Africa. Moscow: Nedra. 548p. (in Russian)
- Khain, V.E., 1984. Regional Geotectonics. Alpine Mediterranean Belt. Moscow: Nedra. 344p. (in Russian)
- Khain, V.E., 1972. Current Situation in Theoretical Geotectonics and Ensuing Tasks. *Geotectonics*, v. 4, p. 3-34. (in Russian)
- Khain, V.E., 1986. Geosynclines and Plate Tectonics Doctrine. *Geotectonics*, v. 5, p. 3-12. (in Russian)
- Khain, V.E., 1996. Geotectonics: a New Turning Point in Its Development. *Geotectonics*, v. 6, p. 8-42. (in Russian)
- Khain, V.E., Lomize, M.G., 1995. Geotectonics and Basics of Geodynamics. Moscow: Moscow State University. 476p. (in Russian)
- Kogarko, L.N. and Asavin, A.M., 2007. Regional Features of Primary Alkaline Magmas of the Atlantic Ocean. *Geochemistry*, v. 9, p. 915-932. (in Russian)
- Koloskov, A.V., Puzankov, M.Yu., Pirozhkova, E.S., 2001. Ultramaphite Inclusions in Basaltoids of Island Arcs: the Problem of Composition and Origin of the "Crust-Mantle Mixture" Transition Layer in Island Arc Systems. *Geodynamics and Volcanism of the Kuril-Kamchatka Island-Arc System*. Petropavlovsk Kamchatsky: Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. p. 123 – 152. (in Russian)
- Kostitsyn, Yu.A., Belousova, E.A., Bortnikov, N.S., Zinger, T.F. and Sharkov, E.V., 2008. U-Pb Age and Hf Isotopic Composition of Zircons from the Intrusive Rocks of the Mid-Atlantic Ridge Axial Zone. The LA-ICP-MS Method. Presented at the Seminar on Geochemistry of Alkaline Rocks within the Framework of the Alkaline Magmatism of the Earth. Moscow: Institute Geochemistry, Russian Academy of Sciences. (in Russian)
- Kovalenko, V.I., Yarmolyuk, V.V. and Bogatkov, V.A., 2010. Contemporary Volcanism and Its Association with Processes of Plume-Lithosphere Interaction and Deep-Seated Geodynamics. *Geology and Geophysics*, v. 9, p. 1204-1221. (in Russian)
- Kuznetsov, V.V., 1990. Physics of the Earth and of the Solar System. Novosibirsk: Institute of Geology and Geophysics, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. 216p (in Russian)
- Kuznetsov, V.V., 1998. A Model of the Drift of Virtual Geomagnetic Poles During Inversion. *Geophysical Methods for the Earth's Crust*. Novosibirsk: Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. p. 84-91. (in Russian)
- Kunin, N.Ja., 1989. Structure of the Lithosphere of

- Continents and Oceans. Moscow: Nedra. 288p. (in Russian)
- Kusznir, N.I., Stovba, S.N. and Stephenson, R.A., 1997. Formation of the Northwestern Dnieper-Donets Basin: 2-D Forward and Reverse Syn-Rift and Post-Rift Modeling. *Geophysical Journal*, v. 1. p. 14-21. (in Russian)
- Lomakin, I.E., 2013. Topography of Seamounts and Rises and Tectonics of the Atlantic and Indian Ocean Floors. Synopsis of the Doctoral Thesis in Geology. Kiev: Institute of Geological Science, National Academy of Sciences, Ukraine. 39 p. (in Russian)
- Lomtev, V.L., Patrikeyev, V.L. and Demchenko, G.S., 1997. Seismic Stratigraphy of the Cenozoic Sedimentary Cover of the North-West Pacific Ocean Plate. *Tectonosphere Geodynamics in the Junction Zone Between the Pacific Ocean and Eurasia*. v. 4. Structure and Composition of the North-West Pacific Ocean Sedimentary Sheath. - Yuzhno-Sakhalinsk: Institute of Marine Geology and Geophysics, Russian Academy of Sciences Far Eastern Branch, p. 21-41. (in Russian)
- Lomtev, V.L., 2008. New Data on the Tectonics and Magmatism of the NW Pacific Region. *Geology and Mineral Resources of the World Ocean*, 4, p. 93-105. (in Russian)
- Macdougall, J., 1988. *Continental Flood Basalts*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 356p.
- Makarenko, G.F., 1997. Periodicity in Basalts, Biocrises, and the Earth's Structural Symmetry. Moscow: Geoinformark. 98p. (in Russian)
- Meyerhoff A. and Meyerhoff H., 1974. *The New Global Tectonics - the Basic Contradictions*. New Global Tectonics. Moscow: Mir Publishers. p. 377-445. (in Russian)
- Milanovsky, E.E., 2000. *Alfred Wegener*. Moscow: Nauka. 239p. (in Russian)
- Morgan, W., 1968. Rises, Trenches, great Faults and Crustal blocks. *J.G.R.* v. 73, no. 6, p.1959-1982.
- Naboko, S.I., 1967. *Soviet Volcanology*. On Kamchatka's Geography 5. p. 22-28 (in Russian)
- Nizkous, I.V., Kissling, E., Sanina, I.A., Gontovaya, L.I., 2006. Velocity Properties of the Lithosphere in the Ocean-Continent Transition Zone of Kamchatka Proceeding from Seismic Tomography Data. *Physics of the Earth*, v. 4. p. 18-29. (in Russian)
- Nikonov, A. A., 1977. *Holocene and Recent Crustal Movements* Moscow: Nauka. 240p. (in Russian)
- Parfenov, L.M., Nokleberg, W.J., Monger, J.W.H., Norton, I.O., Stone, D.B., Fujita, K., Khanchuk, A.I., and Scholl, D.W., 1999. Formation of a Collage of Orogenic Belts' Terrains in the North of the Pacific Ocean Rim. *Geology and Geophysics*, v. 11, p. 1563-1574. (in Russian)
- Petrological Provinces of the Pacific Ocean. Edited by I.N. Govorov, 1996. Moscow: Nauka, 439p.
- Pechersky, D.M. and Genshaft, Yu.S., 2002. *Petromagnetism of the Continental Crust: Achievements of the 20th century*. *Physics of the Earth*, v. 1, p. 4-36. (in Russian)
- Pechersky, D.M. and Didenko, A.N., 1995. *Paleoasian Ocean: Petromagnetic and Paleomagnetic Information on Its Lithosphere*. Moscow: Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences. 296p. (in Russian)
- Pechersky, D.M. and Safonov, V.A, 1993. Palinspastic Reconstruction of the Position of the Mountainous Crimea in the Middle Jurassic - Early Cretaceous Based on Paleomagnetic Data. *Geotectonics*, v. 1, p. 96-105. (in Russian)
- Podgornykh, L.V. and Khutorskoy, M.D., 2000. *Geothermal Asymmetry of Mid-Ocean Ridges. The Earth's Thermal Field and Methods for Its Study*. Moscow. Russian University of People's Friendship, p. 164-172. (in Russian)
- Pogrebitsky, Yu.E. and Truhalev, A.P., 2002. On the Formation of the Mid-Atlantic Ridge in Connection with the Composition and Age of Rocks in Its Metamorphic Complex. *Controversial Aspects of Plate Tectonics and Possible Alternatives*. Moscow: Institute of Physics of the Earth, the Russian Academy of Sciences. p. 189-203. (in Russian)
- Popova, A.K., 1987. Heat Flow in Water Bodies. *Comparative Tectonics of Continents and Oceans*. Moscow: Interdepartmental Geophysical Committee. p. 34-42. (in Russian)
- Pushcharovsky, Yu.M., 1994. On "Subductology" in the Light of Nonlinear Geodynamics. *Geology of the Pacific Ocean*, no. 4, p. 3-13.
- Ritman, A., 1964. *Volcanoes and Their Activity*. Moscow: Mir Publishers. 438p. (in Russian)
- Rudich, E.M., 1983. *Moving Continents and Evolution of the Ocean Floor*. Moscow: Nedra. 272 p (in Russian)
- Rudich, E.M., 1984. *Expanding Oceans: Facts and Hypotheses*. Moscow: Nedra. 252 p (in Russian)
- Rudich, E.M. and Udintsev, G.B., 1987. On the Unity of the Principles for Tectonic Mapping of Oceans and Continents. *Comparative Tectonics of Continents and Oceans*. Moscow: Interdepartmental Geophysical Committee. p. 10-33 (in Russian)
- Schmidt, A., 1924. Zur Frage der Elektrischen Vertikalströme. *Zeitschrift für Geophysik*, v. 1, p. 281-284.
- Semakov, N.N., 1998. *Problems of Paleomagnetic Terminology*. *Geophysical Methods for the Earth's Crust*. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. p. 98-101. (in Russian)
- Semenova, G.I., 1987. *Structure of the Earth's Crust*

- in the Pacific Ocean. Comparative Tectonics of Continents and Oceans. Moscow: Interdepartmental Geophysical Committee. p. 85-94 (in Russian)
- Sergeyev, K.F., Krasnyy, M.L., Neverov, Yu.L. and Ostapenko, V.F., 1983. Material Composition of the Crystalline Basement of the South-Western Limb of the Zenkevich Swell. Pacific Ocean Geology, v. 2, p. 3-8. (in Russian)
- Sergienko, E.S. and Shashkanov, V.A., 1999. Paleointensity of the Geomagnetic Field During Cenozoic Inversion. Physics of the Earth, v. 6, p. 66-75. (in Russian)
- Sheynman, Yu.M., 1973. New Global Tectonics and Reality. Bulletin of Moscow Society of Nature's investigators. Geology, v. 5, p. 5-28. (in Russian)
- Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M. and Ponomarenko, A.N., 2005. Geochronology of the Ukrainian Shield Early Precambrian. The Archean. Kiev: Naukova Dumka. 246p. (in Russian)
- Silantyev, S.A., 1984. Metamorphic Rocks of the Atlantic Ocean. Moscow: Nauka. 103p. (in Russian)
- Silantyev, S.A., Bazylev, V.A., Klitgord, K., Casey, J., Kuzmin, M.I., Lomakin, I.E. and Sborshchikov, I.D., 1992. Material Composition of the Third Layer of the North Atlantic Ocean Crust (40-51 degrees north latitude.). Geochemistry, v. 12. p. 1415-1435. (in Russian)
- Silantyev, S.A., Levsky, L.K., Arakelyants, M.M., Lebedev, V.A., Bougault, N. and Cannat, M., 2000. The Age of Magmatic and Metamorphic Episodes in the Mid-Atlantic Ridge: Interpretation of K-Ar Isotopic Dating. Russian Journal of Earth Sciences, v. 2, no. 3. (in Russian)
- Steno, N., 1957. Concerning a Solid Body Enclosed by Process of Nature Within a Solid. Moscow – Leningrad: USSR Academy of Sciences. 153p. (in Russian)
- Storretvedt, K., 1997. Our Evolving Planet. Our Evolving Planet: Earth's History in New Perspective. Bergen, Norway: Alma Mater. 456p.
- Study of Recent Geodynamics of the Ukrainian Carpathians. 2005. Edited by V.I. Starostenko. Kiev: Naukova Dumka. 256p. (In Ukrainian)
- Submarine Volcanism. <http://makvak.com/maldivy/150-sovremenny-podvodnyj-vulkanizm>
- Suess, E., 1892. Das Antlitz der Erde. Praha- Wien-Leipzig: F. Tempsky. Zweite auflag. 779p.
- Tabunov, S.M., Tomanovskaya, Yu.I. and Staritsyna, T.N., 1989. Rock Complexes on the Pacific Ocean Bed in the Area of the Clarion-Clipperton Faults. Pacific Ocean Geology, no. 4. p. 11-20 (in Russian)
- Tectonics and Problems of Potential Oil and Gas Reserves in the North Atlantic. Leningrad: Nedra. 1981. 200p. (in Russian)
- Tectonosphere of the Asian Pacific Rim. 1992. V.V. Gordienko, A.A. Andreev, S.K. Bikkenina, et al., Vladivostok: Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. 238p. (in Russian)
- Udintsev, G.B., 1987. Topography and Structure of the Ocean Floor. Moscow: Nedra. 240p. (in Russian)
- Vasilyev, B.I., 1989. Questions Concerning the Structure and Development of the Pacific Ocean Bed. Pacific Ocean Geology, no. 4, p. 3-10. (in Russian)
- Vening-Meinesz, F., 1940. Gravity Expeditions at Sea. Theory and Practice. Moscow: Gosgeoltopizdat. 211 p (in Russian)
- Vine, F., Matthews, D., 1963. Magnetic Anomalies Over Oceanic Ridges. Nature, v. 199, no. 4897, p. 947-949.
- Volynets, O.N., 1994. Geochemical Types, Petrology and Genesis of Late Cenozoic Volcanic Rocks from the Kurile-Kamchatka Island-Arc System. International Geological Review, v. 36, p. 373-405.
- Wegener, A., 1984. Origin of Continents and Oceans. Leningrad: Science. 285p. (in Russian)
- Yudin, V.V. and Artemenko, V.M., 1996. New Balanced Model for Folded Donbass. Mineral Resources of Ukraine, v. 2, p. 14-17. (In Ukrainian)
- Zavoysky, V.M., 1999. Magnetic Anisotropy of Rocks and Its Use for Resolving Structural Problems. Doctoral Thesis Abstract. Physico-Mathematical Sciences. Kiev: Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences, Ukraine. 34p. (In Ukrainian)
- Zhao, D., Pirajno, F. and Liu, L., 2010. Structure and Dynamics of the Earth's Mantle Beneath Eastern Russia and Adjacent Regions. Geology and Geophysics, v. 9, p. 1188-1203. (in Russian)
- Zonenshayn, L.P., Kuzmin, M.I. and Kononov, M.V., 1987. Absolute Reconstruction of Continental Positions in the Paleozoic and Early Mesozoic. Geotectonics, v. 3, p. 16-27. (in Russian)
- Zonenshayn, L.P., Kuzmin, M.I., and Natapov, L.M., 1990. Plate Tectonics in the USSR. v. 2. Moscow: Nedra. 334p. (in Russian)

構造的な微動は地震の前兆か？ IS TECTONIC TREMOR A PRECURSOR TO EARTHQUAKES?

Ugo COPPA¹ and Giuseppe LUONGO²

¹ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sez. Osservatorio Vesuviano, Via Diocleziano 329– Naples (Italy). mail: ugo.coppa@ov.ingv.it

² Università degli Studi Federico II, 80123 Naples (Italy)

(小泉 潔 [訳])

要旨: 南イタリアを襲った1980年9月23日の地震(M_L=6.9)の数ヶ月前に、震源域に位置するToppo di Castelgrandeの天体物理観測所に地震計が設置された。その記録が正確に分析され、本震が発生する前の活動が研究された。その記録は地震が近づくにつれて微動が増えたことを示している。しかし、微動が連続して発生するのではなく、それは時々発生し、振幅と振動数が変化していることに十分に注意しなくてはならない。微動の存在は応力パルスを被った岩体の振動に起因すると推定された。岩石試料の室内実験では、応力負荷が断裂の強度に近くなると振動が発生することが立証されており、その振動周期が振動する物体の大きさに関連していることが明らかにされている。すなわち、この現象の原因は原子あるいは分子の構造に求められる。Toppo di Castelgrande地震計の記録では、本震の前に微動の平均振動数は長さ約40kmの震源断層に相当する0.08Hzだった。それ故、微動は多くのほかの公式に認められている前兆現象に加えるべき、もう一つの地震前兆と見られる。

キーワード: 震源域, 応力, 造構的微動, 前兆現象

1. はじめに

地震研究者のもっとも重要な目標は地震災害の軽減であり、そのために、将来起きるであろう地震の確率的予測あるいは地震の現実的予測に提供するためのハザードマップの構築が精力的に続けられている。地震工学からのアプローチは震央域における安全性を高めるための重要な手段であるが、安全性は、地盤運動の加速度評価としてだけ扱うことはできず、浅層の軟弱土壌と固結岩石の動きや裂罅を考慮に入れるべきである。一方、この問題は人口密集地域や歴史都市では特に重要であると感じられ、そこに存在する建造物は地震の負荷にとくに脆弱である。重要な遺産がアペニン山脈の地震発生域に位置しているイタリアのような地域における住民保護のためには、補修工事による荷重そのものによってより脆弱化することがしばしば起こるために、補修工事を行うことによって古い建物の崩壊を回避するのは容易ではない。この場合、建造物の構造的補強では十分な効果がえられないために、予防措置はその目的を十分に達成することができない。このような状況なので、科学的研究は危険なビルから速やかに人々を待避させるために、短時間で地震を予測しなくてはならない。

地震現象は乗則に従うので、その予測は本質的に不可能であるので、室内と野外の両方での岩石破壊メカニズムのより詳細な研究、ならびに、地震史と造構史にもとづいて地震が発生すると判断された地域の観測強化が、このような地域での安全性を高めるといふ目標を達成するための十分な経験則をもたらさだろう。予測の試みはよく知られていて、

実際にも1960年代に、合衆国、日本、かつてのソビエト連邦に、地震前兆とみられる兆候の研究にもとづく予知計画があった(Brace, 1978; Scholz et al 1973; Ulomov and Mavashev, 1971; Fujita, 1965)。これらのモデル(Nur 1972; Aggarwal et al., 1973; Mjachkin et al., 1975)は、現象の複雑さに比べるとあまりにも単純で、さらに、短期間観測にもとづく予知であったために、失敗した。この失敗は、もっぱら構造工学的(Richter, 1958)改善だけによる地震災害予防の研究に重点をおくよう、地震学界を決断させた。歴史地震や過去の地震活動を基にした地震の危険防止研究の増加が、地震多発地域の造構運動‘データベース’の内容を豊かなものにした。さらに、地震発生過程や局地的増幅過程についての研究も加わった。しかし被災地での経験は、市街地住民の安全性の確保からはほど遠い状況にあることを示している。なぜならば、耐震のための基本的建築技術の地震学的モデルでは、地震波の伝播とエネルギーを放出する震源機構の解明に線形関係を想定しているが、それらは現実を再現できていないからである。こうして優れた地震工学的選択も、震央域における経験に示されるとおり、失敗に帰しているのである。地震現象の理解において昔から無視されるか、十分に生かされてこなかった工学的に興味ある露出岩石についての室内実験から、興味ある結果を得ることができる。最近ではエネルギー現象の重要な影響についての多くの研究が行われ、地震の引き金機構に関するたくさんの成果をもたらしている(Freed, 2005)。これらの研究の目的は、本震の震源から離れたとことで頻繁に起きるより低エネルギーの地震現象を解明することにある(Gomberg and Johnson, 2005; Hill et al.,

1993). それらの作用に関連する解釈では、余震発生域へ伝わった低エネルギー現象が考慮されていないようである。それは、本震により強調された地域に作用する高レベルの応力場を考慮するよりも、はるかに信憑性が高い仮説である。このような地域では、本震によって弱められたより低レベルのエネルギーによって‘応力を被った’岩石を断裂させると考えられ、それゆえに余震は本震と同様な地質構造のところに発生する。

震央域の防災問題は、岩石の応力状態の変化を示す信頼性のあるシグナルを認定することである。普通、地震学者は中規模地震の時空分布に注目している。それらの震央は、ある場所から別の場所に移動することがしばしばあるが、それらの発生を単純な法則で説明できるようなものではない。そのような状況では、これらの地震を単一の震源(断層)に関連づけることは難しく、すべての地震が本震に集約され、本震後に、そのような地震は前震と呼ばれることになる。逆に、地震学者は、地震活動が活発な地域に記録される地震前兆としての造構的微動にほとんど注目しない(Shelly, 2009 and 2010; Barbot et al., 2012)。かつては、その理由の一つとして、一過性地震(前震)と比べるとその原因は低レベルの微動であり、全世界的な地震網の設置以前には、計測精度が悪く、また、機器増幅率や観測点密度が小さいために、微動を検知できる地震観測点がほとん

どないからだとされてきた。1980年9月23日に発生した南アペニン地震の際に記録された前震の研究が、最近になって再解析され、地震前兆としての造構的微動の発生についての確実な成果がえられた。

震源域(図1)に位置するToppo di Castelgrande地震計の記録に示されているように、地震の微動の振幅は本震発生前の4ヶ月間が特に大きいものに対して、ほぼ30km離れた地震計では同じレベルの微動としては記録されない。この結果は、微動発生源の活動範囲が狭かったため、南イタリアに展開された大きなメッシュの地震観測網では検出できなかったことを示している。この微動は当時、前兆として分析されなかったが、それらのシグナルが市民防災にかかわる監視及び警告態勢を喚起すべき変形作用の判定に有効な基準であったのかもしれない。この微動を発生をさせる作用は、地質体の一時的な低エネルギー事件あるいはほぼ連続的する振動だった可能性がある。記録されたデータでは、微動がほとんどゼロに減衰したときに微小地震のエネルギーが著しく増加している。これらの一過性地震は岩石の破壊によって発生し、岩石の空間格子のなかで原子の相対的位置が一時的に変化したことに起因するものではない。ただし、そのような地震が媒質の不均質性と関連している可能性を排除することはできない(Orowan, 1934; Scholz, 1968)。

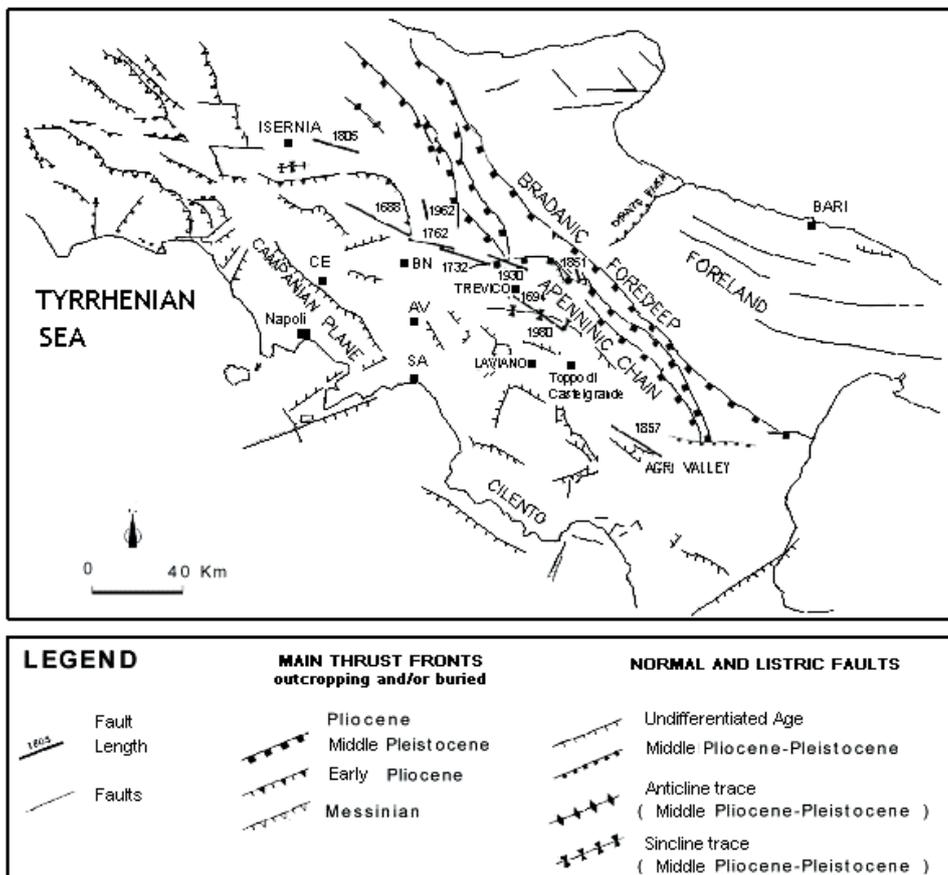


図1 南アペニンの地質構造図. 17世紀以降の震源分布から同定された主要震源断層が示されている (Esposito et al., 1992を修正).

2. 地震データの分析

1980年9月23日に、マグニチュードMw=6.9の大地震が南イタリアを襲い、IrpinaとBasilicata地域を廃墟に化し、約3000人の命が奪われ、被災した自治体は628に及んだ。地震はアペニン山脈の大構造の影響下にある地域を破壊した (Esposito et al., 1992)。本震と余震の加速度計記録による研究 (Deschamps and King, 1984) は、少なくとも三つの重要な地震イベントが0秒、20秒後及び40秒後に破壊モードをもたらしたことを解明し、破断の複雑性 (Bernard and Zollo, 1989) を明確に示した。Westaway and Jackson (1987) は、岩石の破断あるいは滑動の始まる最初の10秒間に、Laviano町付近の深さ約12kmに想定される破壊核生成の場から3つの地域へ合計約30kmにわたって断裂が発達したことを示唆している。Pantosti and Valensise (1990) は地質調査によって、1980年の地震を発生させた可能性のある3~4つの断層系断片を確認している。地震の数ヶ月前に、ヴェスヴィアス観測所がその後の震央域の中心になるToppo di Castelgrande天文物理観測所に地震計を設置した (図1)。地震計は、記録速度1mm/秒の記録紙システムに繋がった3つの短周期(1秒)S13ジオテック地震計セットで構成される。

1980年9月23日以前の地震記録の分析では、地震には微動の振幅の増加を伴う前兆があったことを示している。その前兆とは、最初は短時間の背景レベルながらも明確な兆候を示し、次にエネルギーがしだいに大きくなり、これらの現象の最後に大地震が

起きた、というものである。同時期に、記録された地震性微動の増加に示される活動度と気象との関係を検証するために、地震計からほぼ30km離れたTrevicoとPotenza観測点の気象データが解析された。それらの解析結果には、何らの関係性も見られない。さらに、この地域における当時の人々の活動にはいささかの变化も観察されず、そのため人為的微動は一定水準と判断された。7月に地震性微動が増加しはじめ、わずかな時間継続した。最初のもっとも重要な微動現象が8月3日に起こり、数日間継続した；その最大微動振動数はほぼ20Hzだった (図2)。増加した微動の終了から約1時間後に小さな局地的な地震が観測された。微動の振幅はその後増加したが、そのレベルは非常に軽微だった。それに代わって、最初の大きな地震性微動現象が10月に始まった。10月7日 (図3)には、振動数2Hzの微動の振幅が数時間にわたって急激に増加した；それが減少したのは、10月8日にマグニチュードM1=4.2の地震が記録された直後である。

非常に強く長時間続く振動数約2Hzの地震性微動が、10月16日~22日に観測された (図4)；これらの記録の最後に、大地震が発生した。地震性微動と一過性地震が、10月30日まで断続的に発生した。微動のレベルは低いままだったが、大振幅・小振動数(0.08Hz)地震が現れる9月9日までに消失し (図5)、その後わずかな時間、活動度の低い状態が続いた；その後、振動数がより大きくなり(0.5Hz)、振幅も増大した。地震性微動の振幅がたいへん小さい段階では、局地的な小エネルギー地震が常に観測された。9月11日には微動は非常に活発になり (図

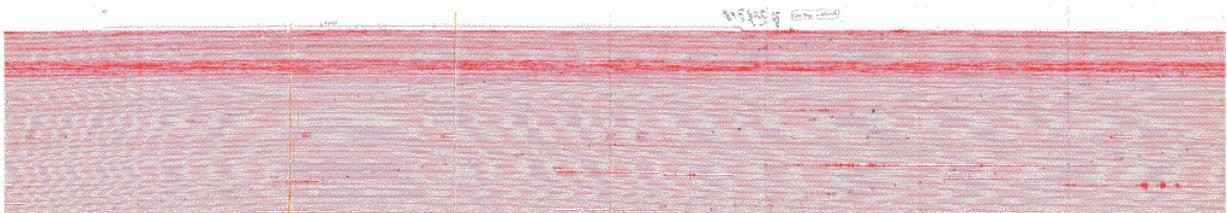


図2 1980年8月3日にToppo di Castelgrandeで初めて記録された20Hz地震性微動；数日継続した。この現象が終息し、約1時間後に局地的な微小地震が発生した。

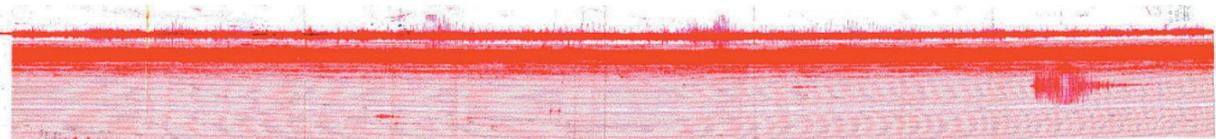


図3 1980年10月7日、地震性微動の振幅に有意な増幅があった。このシグナルの平均振動数は2Hzである。マグニチュードM1=4.2の局地的地震後、この現象は10月8日までの短時間で終わった。

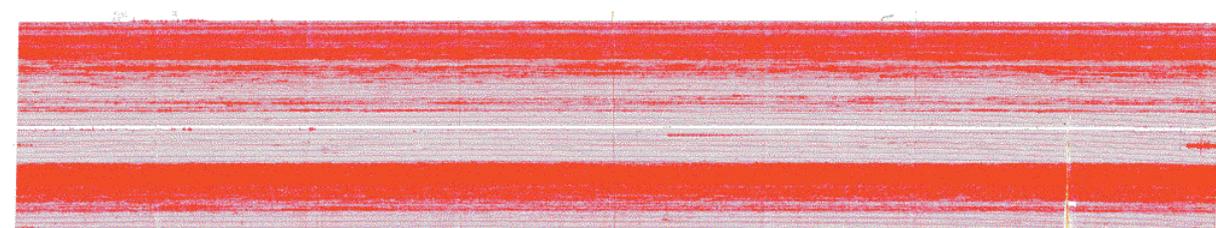


図4 強く長時間続いた地震性微動が1980年10月16日~22日に観測された；その振動周期は2Hzだった。この現象の最後に、小さな局地的な地震が記録された。



図5 比較的地震の少ない期間の後、突然振幅が大きく非常に振動数の低い(0.08Hz)地震性微動が再び発生した。それらの微動の後に、振動数0.5Hzをもつ別の顕著な振動が起きた。

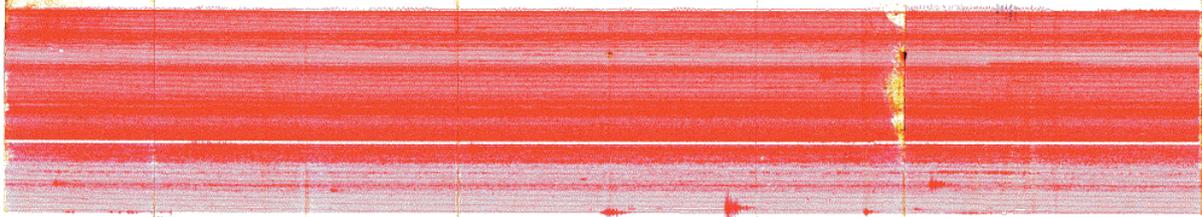


図6 1980年9月11日～21日の微動の振幅は非常に大きかった。背景微動から小さな地震を見分けるのは不可能である。

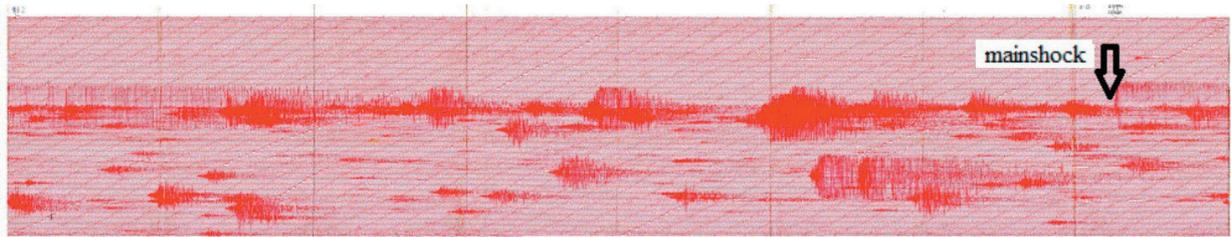


図7 1980年9月23日現地時間19時34分にMw=6.9地震が発生する前の2日間、すなわち1980年9月21日以降は微動が見られなくなった。

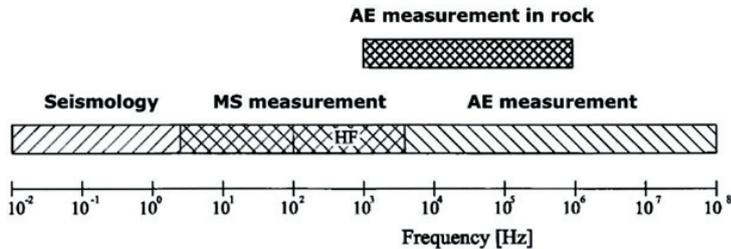


図8 地震学とMS測定に比較された岩石中のAE測定
の振動数範囲 (Manthei et al., 2000; Manthei and
Eisenblätter, 2008)

6), この状態が9月21日まで続き, この頃には低エネルギー地震と微動が区別できなくなった。翌日, 振幅と振動数(0.5~1Hz)は特に低いままで, 地震性微動は時々完全に消失した;最後に, 9月23日の現地時間午後7時に発生したマグニチュード6.9の本震に先立つ午前9時に微小地震が発生した。

3. 地球振動と微小地震

変形係数や限界強度のような岩石の物性を決めることは, 応力を受けた地殻の挙動を理解するためには不可欠な要素であり, そして, おそらくは震源特性のような脆弱構造の位置を知るためにも必要な要素であろう。岩石は, 原因は何れであれ, 局所的に働く顕微鏡的あるいは超顕微鏡的なスケールの応力に応じて変形する。応力を受けた岩石から放出されたエネルギーの一部は, 音響放射(AE)・微小地震(MS)及び地震と称する振動を生じさせることが知られている。それらの区分が図8に示される。微小地震にかかわる範囲では, 記録場所ごとにそれぞれ異なったスペクトルで特徴づけられる。微小地震は, 普通, 地球上に普く存在する背景地震性微動を示すた

めに使われた。普通, 微小地震は4~30秒の周期範囲をもつ外洋のうねりに関係するという。それらは, 約16秒と8秒の二つの主要ピークを特徴とする。SFとDF微小地震という名称が, それぞれ”単振動”と”二重振動”のように使われている。微小地震のスペクトルは, 大まかには二つの振動数帯に区分することができる:(i)0.05~0.1Hzの第一のピーク(SF)と(ii)主として0.1~0.5Hzの第二のピーク(DF)で, DFが優勢である。これらの区別は, 海洋の波ならびに海洋底と大気との間の相互作用で発生する別個の機構に由来する(例えば, Bromirski and Duennebier, 2002; Bromirski, 2009)。

地球内部は絶えず振動している。風・潮汐・外洋うねり・交通またはその他の振動に起因する波や造構的振動と微小地震からなる背景雑音が観測され, それらの波は地球表面のあちこちに伝わっている。地震のエネルギーに注目しようとする地震学者は, かつて, これらを不要な背景雑音と考えていた。

現在, この感覚は逆転していて, これらの背景波は”仮想”の地震によって生じる地震象象として変換され

ている。地震記象はモデル化が可能であるとはいえ、地震が実際には発生しないので、“仮想”であり、このようにして適切なグリーン関数が得られる。それは土壤中を伝わる機械的振動の伝播の異方性について重要な情報をもたらす。これは、地殻の不均質性についての詳細な情報を知る中間段階として、地震災害の解析に重要である。地球“振動”は、3～50mHzの周波数帯における背景雑音のある種のうねりである。

地殻の活動性能の制御機構や最終的に地震大災害につながる機構を理解するためには、地殻の機械的振動の系統的で長期間にわたる監視活動が急務である。サイレント地震あるいはゆっくり地震、微動、スティック/スリップとクリープ作用、一時的微動と滑り(ETS)、ゆっくり滑り現象(SSE)、非火山性微動(NVT)、低振動地震(LFE)、超低振動地震(VLF)などはほぼ同義語であるが、それぞれの最初の駆動機構またはメカニズムについて、微妙な違いに注目すれば異なった現象である。

いわゆる“ゆっくり”地震は、典型的な地震のように秒から分というより、むしろ時間から月単位以上の時間でエネルギーを解放するものの、地震を想起させる不連続現象でもある。“ゆっくり”地震は、ひずみ計で検知することができ、液体の流れとそれに付随する1～5Hzの特性振動数帯の微動にともなって発生しているのであろう。

それらはおそらく、スティック/スリップとクリープ過程のような、あるいはいわゆるサブダクション域のような、いくつかの種類の初生的機構に関連している。あるいは“多孔質な”地盤中を進むある種の液体と関連している可能性もあり、それ故、最終的には火山噴火を伴わない活動に関連するかもしれない。または氷床の溶融やそれに対応する除荷に起因する可能性もある。

それらは一時的なものであり、この現象は時に“一時的微動と滑り”(ETS)といわれる。それらは前兆か余震のどちらかである。公表論文が一般的に着実に増えているにもかかわらず、この巨大な分野の現象の研究は散発的にしか行われてこなかった。

4. 実験データ

我々は、破断の状態まで歪ませた岩石の挙動を調べることによって、1980年の地震以前に野外で観測された現象を実験室内で再現することを試みた。歪ませた岩石試料の状態は、小型の圧電型加速度計PCBモデル352C68によって記録された。加速度計の検出周波数は0～20Hzで、感度は10mV/m/s²である。それらは検出周波数0.15～100Hzの多チャンネル増幅器PCBモデル480B21に接続され、10桁まで増幅される。出力信号が、ラップトップ型コ

ンピュータにUSBを経由して繋がれた4チャンネル24ビットNational計器のデータ収集カード(モデル9234)に送信される。信号は50kHzで抽出され、ハードディスクチャンネルに保存される。抽出された周波数は、偽信号の影響を減らし加速度計(20kHz)のものより高くし、ナイキスト周波数(25kHz)にする必要に制約される。加速度計は、垂直成分(N)と接線成分、それぞれ垂直(VT)と水平(HT)を記録するために、岩石試料の上に設置される。

負荷能力3000kNのControls MC88シリーズの一軸荷重システムで、計測を行った。応力試験は、異なった組成の岩石試料を用いて実施された。岩石試料は7cm角の立方体および長さ7cm/直径2.5cmの円柱のカラーラ大理石・トラニ石灰岩とエトナ溶岩である。これらの岩石は、地震発生源の近傍に分布する岩石に類似したいくつかのタイプの岩石について実験する必要性から選択された。これらの試料の密度(ρ)とP波速度(V_p)が測定された。

4.1 実験手順

室内実験では、じかに断裂された試料が高レベルの応力を示すことに気づいた。狙いは、岩石の真の状態をよりよく再現して、“応力を受けた”試料を研究することである。それ故、解析は毎秒1.33kNの負荷で行われ、61kNで終了した；完全に荷重を除去し、5分後に同じ速度で負荷し、試料が破壊されるまで実験を続けた。図9～11は、破壊点での各試料の一軸圧縮強度である。

4.2 結果

応力をかけなかった試料とかけたものとの挙動比較から、破断までの負荷はあらかじめ応力をかけた試料では小さく、また、剛性が低いときは大きいという結果となった。試料が破壊点に到達するまでの時

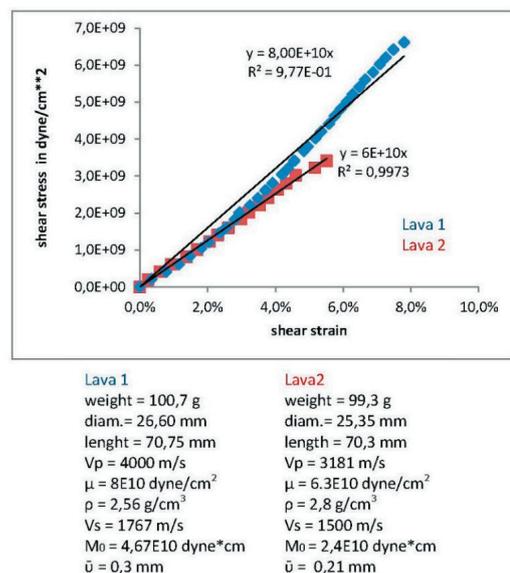
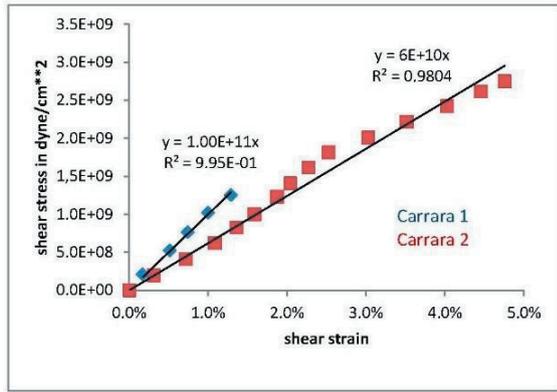
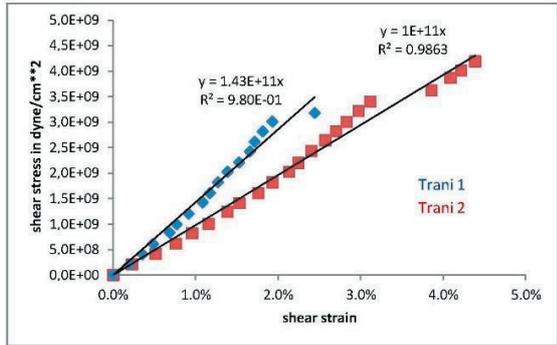


図9 トラニ石灰岩試料の応力-ひずみ曲線 < 訳者注 ; エトナ火山岩試料の応力-ひずみ曲線の間違いか? >



Carrara 1	Carrara 2
weight = 96.48 g	weight = 95.00 g
diam. = 25.30 mm	diam. = 25.38 mm
length = 70.58 mm	length = 70.27 mm
Vp = 4253 m/s	Vp = 4181 m/s
$\mu = 1.00E11$ dyne/cm ²	$\mu = 6E10$ dyne/cm ²
$\rho = 2.72$ g/cm ³	$\rho = 2.67$ g/cm ³
Vs = 1917.2 m/s	Vs = 1498 m/s
M0 = 1.1E10 dyne cm	M0 = 1.92E10 dyne cm
$\bar{u} = 0.06$ mm	$\bar{u} = 0.2$ mm

図 10 カラーラ大理石試料の応力-ひずみ曲線



Trani 1	Trani 2
weight = 93.6 g	weight = 93.6 g
diam. = 25.30 mm	diam. = 25.30 mm
length = 70.53 mm	length = 70.53 mm
Vp = 4562 m/s	Vp = 4562 m/s
$\mu = 1.43E11$ dyne/cm ²	$\mu = 9.82E10$ dyne/cm ²
$\rho = 2.64$ g/cm ³	$\rho = 2.64$ g/cm ³
Vs = 2327.4 m/s	Vs = 1928.6 m/s
M0 = 2.26E10 dyne cm	M0 = 2.96E10 dyne cm
$\bar{u} = 0.09$ mm	$\bar{u} = 0.17$ mm

図 11 トラニ石灰岩試料の応力-ひずみ曲線

間によるが、記録の継続時間は5～10分である(図12～14)。実験のはじめに、試料を圧縮測定器に取り付けたときに、振動スパイクが記録に表れた。実験中、負荷が250～300kNより小さいときには、試料は連続振動やスパイクなどいかなるシグナルも発生しない。負荷が380～450kNを超えると、グラフが変化し、スパイクと連続振動が現れる。破断に近づくと、振動数と振幅にシグナルが増え、負荷がカラーラの立方体で530kN、円柱で51kN、トラニの立方体で663.5kN、円柱で37kN、エトナの立方体で860kN、円柱で21kNの値に到達すると、それぞれシグナルが発生する。シグナルのスペクトル特性は、試料毎に異なっており、三成分(法線、垂直と水平方向)でも異なっている(図15～17)。特に、エトナ溶岩試料に関するパワースペクトル密度(PSD)ピークはほぼ400Hzで発生し(法線成分)で、同時にカラーラ大理石とトラニ石灰岩でのピークはそれ

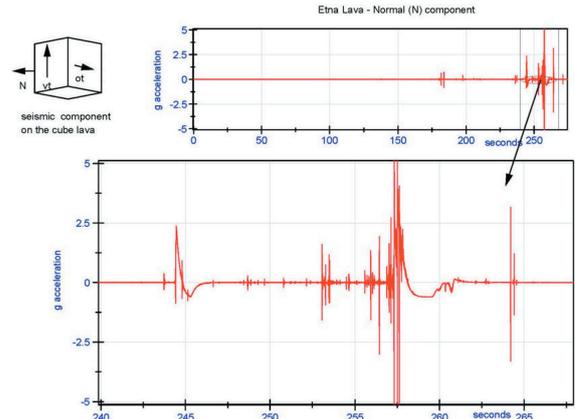


図 12 エトナ溶岩試料. 微動の振幅は、加えられた力の増大に伴って増加する。この現象のより詳細な描像は拡大図を参照。

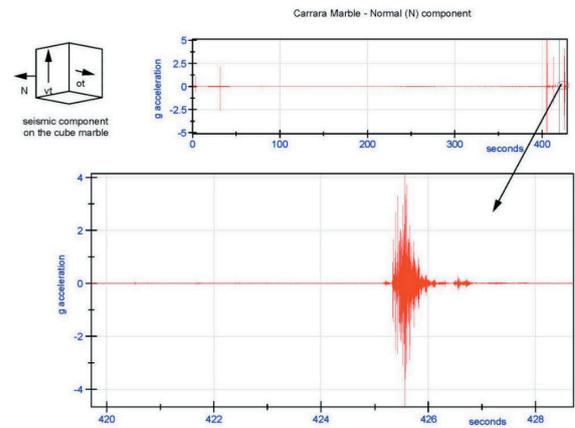


図 13 カラーラ大理石試料. 微動の振幅は、加えられた力の増大に伴って増加する。この現象のより詳細な描像は拡大図を参照。

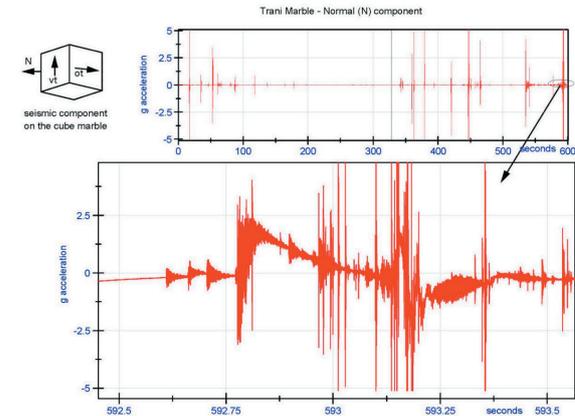


図 14 トラニ石灰岩試料. 微動の振幅は、荷重の増大に伴って増加する。より詳細は、試料破断の直前直後の拡大図参照。

ぞれほぼ400Hz(水平接線成分)とほぼ900Hz(垂直接線成分)を観測した。圧縮計測器に生じた振動と試料からのシグナルとの間の顕著な干渉が感知されると、直接計器によって判別される。記録された微動を慎重に検査した結果、圧縮計測器と試料から解放されたシグナルとの間に相関性がないことが示された。実際、試料に設置された感知器は、試料の破断が近くなると振幅が大きくなるシグナルを検出したが、圧縮計測器に設置した感知器ではそれらは検出されなかった。

岩石試料の破壊前に断裂が発生する過程では、振動数は変化せず振幅が大きくなっていくという結論がえられた;この場合の振動数は音声周波数帯(400 ~ 900Hz)に相当する. 三つすべての試料で微動が観

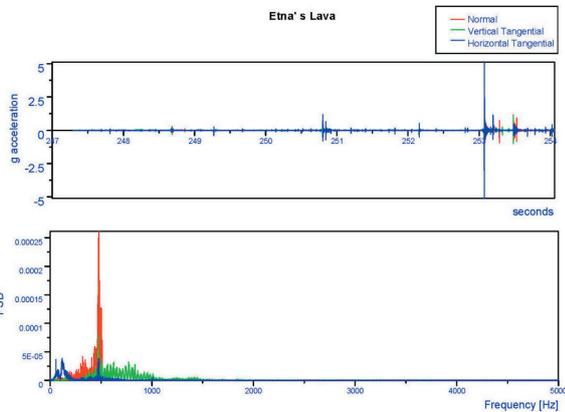


図 15 エトナ溶岩試料のパワースペクトル密度 (PSD).

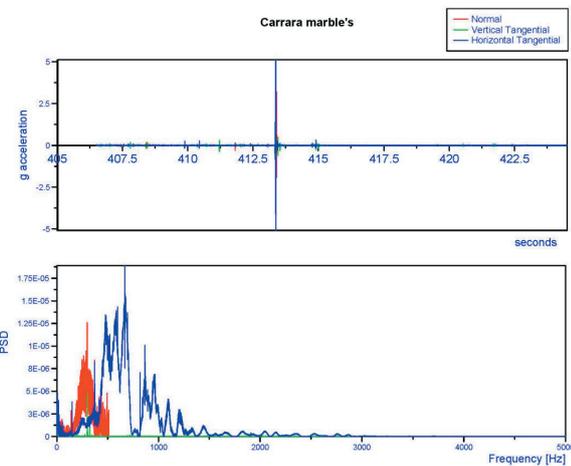


図 16 カラーラ大理石試料とエトナ溶岩試料のパワースペクトル密度 (PSD) 解析. 抽出している振動数は 50kHz である. 正接線, 垂直接線および水平接線 (normal, vertical tangential と horizontal tangential) 成分は, それぞれ赤, 緑, 青である. PSD 振動数のピークは, 300Hz (垂直成分) ~ 700Hz (接線成分) の範囲である.

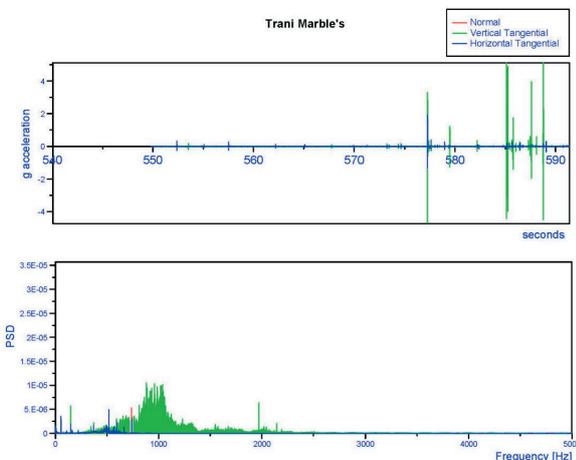


図 17 トラニ石灰岩試料のパワースペクトル密度 (PSD) 解析. 抽出している振動数は 50kHz である. 垂直, 垂直接線および水平接線 (normal, vertical tangential と horizontal tangential) 成分は, それぞれ赤, 緑, 青である. PSD は, 接線 (tangential) 成分に関してほぼ 900Hz にピークがある.

測された;その振幅は荷重の増大に伴って増え, 試料の完全な破断の数秒前に消滅する (図 12 ~ 14). 破断直前の微動の出現とその消滅は, 実験のもっとも重要な特徴である. 岩石が応力を受けると, それらの平衡分離から結晶イオンの強制的変位が生じる;波長帯が長くなろうと短くなろうと, 位置エネルギーの増加が弾性歪エネルギーを作り出す. 原子がそれらの平衡 (応力を受けない) 位置に戻ろうとするとときに, エネルギーが解放される.

いっぽう, 弾性エネルギーは, 降伏応力を上回ると永久変形の接着を壊す局所的エネルギーの源となる. 応力を受けた物質全体に歪みが広がるので, 岩石の体積弾性特性は原子スケールの不規則性に比較的鈍感である. 弾性歪は全ての振動数帯が対照的に寄与する体積特性であり, 局所的な弱線または応力の集中する場所の物質中の不規則性あるいは弱線によって制約された限られた領域に, もっとも永久的な変形が集中する. 降伏応力は弱線に依存する. いっぽう弾性変形は, 接着状態, 結晶構造, 及び岩石中の結晶の定向配列に依存している. 低圧条件では, クラックや粒界も体積弾性特性に影響を与える.

断層形成過程は, 二つの時間で記述される;第一は断層に沿った破壊伝播時間 T_p , 第二は立ち上がり時間で, 断層上のどこかの点でのズレを完了するための粒子運動に関係する. 破断の力学特性 (滑り, 速度, および加速度) は応力降下 $\Delta \sigma$ と線形関係にあり, 応力降下はもっとも基本的なスケーリング変数である. いくつかの方法, たとえば断層発生時の滑り速度にもとづいて, 断裂現象の一部での応力降下を決定することができる. 変位期間における最初の粒子速度 (滑り速度) は $v_0 = (\sigma / \mu) \cdot \beta$ と表され, 応力パルス (σ) が剪断係数 μ の媒質中を剪断速度 (β) で伝播する. 実験データ (たとえば, カラーラ 2) によると, $\sigma = 63\text{MPa}$ (荷重 = 35kN), $\mu = 8 \cdot 10^9 \text{N/m}^2$, $\beta = 1700 \text{m/s}$ で, $v_0 = 134 \text{cm/s}$ がえられる (図 9 ~ 11). さらに滑り振幅は $u_\infty = \text{Tr} \cdot v_0$ である. 破断段階でのシグナルの立ち上がり時間 Tr が, カラーラ大理石・トラニ石灰岩とエトナ溶岩試料の記録 (図 18 ~ 20) から得られた. それらはほぼ 10^{-3} 秒である. 立ち上がり時間がこの値だと, 滑り振幅は $u_\infty = 1.3 \text{mm}$ である. 全試料 ($L=7\text{cm}$) における破断伝播時間 T_p は, $L / \beta = 4 \cdot 10^{-5}$ 秒である. 応力は剪断係数 μ より著しく小さいので, 粒子速度 v_0 は破断伝播速度 β に比べて著しく小さい. 破断段階でのカラーラ大理石の室内実験記録は, 破断の最初のパルスの立ち上がり時間の高周波ピークに続く非常に低い周波数 (1kHz 以下) の数十の短いパルスで構成されている.

この結果は, 破断段階にかかわる全シグナルを全地球的に考える場合には, 低振動数シグナルによって特徴づけられる過程が高振動数によって隠され

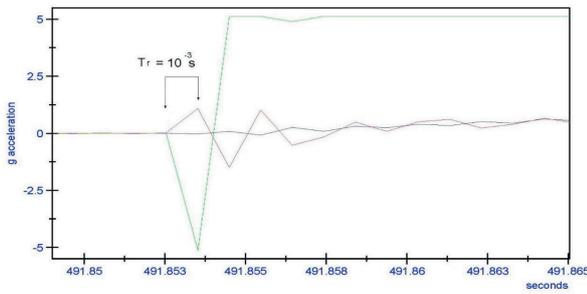


図 18 エトナ溶岩試料. 立ち上がり時間 $Tr(10^{-3}$ 秒)

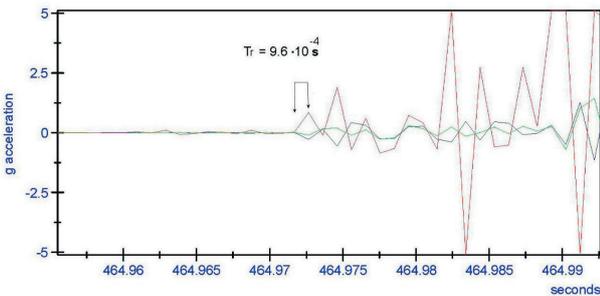


図 19 カラーラ大理石試料. 立ち上がり時間 $Tr(9.6 \times 10^{-4}$ 秒)

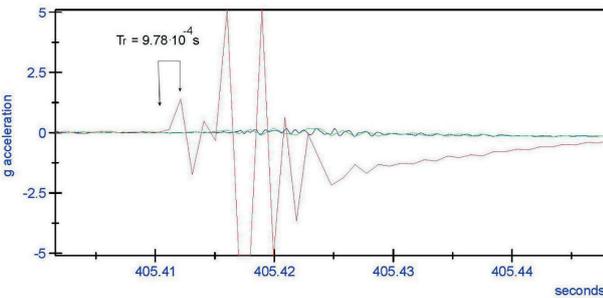


図 20 トラニ石灰岩試料. 立ち上がり時間 $Tr(9.78 \times 10^{-4}$ 秒)

ていることを示している。一過性地震が高振動数なのに、地震性微動が低振動数によって特徴づけられることが、観測されている。同じシナリオが、1980年9月23日の地震が近づくにつれ、Toppo di Castelgrande 観測所の記録に観測された。室内実験の結果に対する考えられる説明として、微動は試料の揺らぎに起因し、一過性地震は破断によって引き起されることを示唆した。原子スケールで見ると、応力荷重が、荷重がなければ平衡状態にある原子を弾性変形させているわけである。そのような強制的伸縮に対応した位置エネルギーの増加が、加えられた荷重に対する物質の応答に起因する弾性的振動（微動）として解放されるか、あるいは永久的な変形（一過性地震）に使われるかのいずれかである。

いずれの場合も、変形力が解放されると、原子は応力のない位置に戻る。岩石の弾性特性は、原子スケールの不規則性に比較的鈍感である。逆に、永久的変形の大半は、物質の不規則性をもつ限定的領域、すなわち、局所的脆弱部や応力集中部に形成される。地震のような一過性事象は、断層面に作用する剪断応力に起因する岩石の突然の破壊に由来する力学的不安定現象である。地震にともなう急激な応力変化

に対して断層近傍の岩石が線形応答すると、断層両側の岩盤の相対運動への抵抗が消失すると考えられる。しかし、断層面に働く垂直応力が存在し、剪断作用に対して摩擦抵抗をもたらしていると考えられるが、より現実的である。

滑動の途中で摩擦抵抗に何らかの変化があると、力学的不安定性が生じ、応力降下をとまなう突然の滑りが発生する。断層周辺の媒質の硬さよりも速い滑りによって摩擦力が減少すると、滑動に加速度（微動、前震、本震）をもたらす力との均衡が失われて、不安定が生じる。摩擦力が媒質の硬さよりも大きくなると、滑動が停止する（余震）。地震の発生源は単一の塊のようなものではないが、塊の連鎖によってもたらされるより複雑なエネルギー解放パターンを示し、それは多くの小さな滑りや、たまに起きる大きな滑りに対応している。実験結果は、実験が実施された時間-速度が圧縮強度のような通常使われている特性に影響することを示す。さらに、粗粒な岩石は、細粒岩石よりも大きな圧縮強度をもつことを示している。

1980年9月23日の地震の先行過程を研究するために、地震と地質構造の記録の解析によって地震発生源の規模と性質の解明に上述の実験結果が適用される。この目的を達成するために、圧縮強度、 V_p および β 速度、地震モーメント M_0 、密度 ρ と剛性率 μ が室内実験にもとづいて計算され、南アペニン山脈における地震造構場が慎重に考察された。

圧縮強度に関する室内実験と弾性波理論から、岩石剛性率 μ を計算することができる。係数 μ の値は、圧縮計測器によって一定速度で荷重をかけて得られたさまざまな試料のひずみ曲線（図9～11）から算出された。試料に断裂が発生することによって解放されたエネルギーが、破断時に試料に加えられた力のモーメントによって、1980年9月23日の地震のモーメントに換算された。これは、式 $M_0 = \mu \bar{u} A$ で示される力のモーメントに等しい。ここで、 μ は剛性率、 \bar{u} は断層面に沿う平均変位、 A はその面積である。すなわち、地震モーメントは試料を破断させる圧力により加えられた力のモーメントと同じ値になる。表1は、岩石試料の地震パラメータ M_0 、 μ および \bar{u} と Tr の値をまとめたものである。さらに、負荷応力の時間速度を速くすると破壊強度が小さくなることを、我々は観測した；この場合、試料の破断にかかわる偶力が小さくなるために、地震モーメントはより小さくなる。破断に時間関係している限り、加速度計の最初のパルスは（図18～20）、試料の破壊開始に一致すると推定できる。破壊と同時に、新しい断裂が拡大して、地震記録にみられる後続波を発生させる。破壊時間の終了前に試料の振動周期の一致が起きると、振動数に2つの値が観測され、第一波が第二波よりも小さくなる。この結果は、振

表1 関係式 $\bar{u}=\mu A/M_0$ (Aki, 1966) から求めた断層面上の地震モーメント M_0 の平均値, 剛性率 μ , おおよび平均変位 \bar{u} , ならびに, 長さ $h(=7\text{cm}) \cdot$ 断面積 A の円柱試料の破断時間 $T_r(L/V_s)$ を示す.

sample	Etna Lava	Trani Limestone	Carrara Marble
$A(10^{-4}\text{m}^2)$	18.31	17.84	17.2
$M_0(=F \cdot h)(\text{Nm})$	$3.53 \cdot 10^{10}$	$2.61 \cdot 10^{10}$	$0.69 \cdot 10^{10}$
$\mu(\text{Pa})$	$7.1 \cdot 10^{10}$	$1.2 \cdot 10^{11}$	$0.8 \cdot 10^{11}$
$\bar{u}(10^{-3}\text{m})$	0.25	0.13	0.13
$T_r(\text{s})$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-4}$

表2 振動数 0.08Hz, および速度 $\beta =1500\text{m/秒}$ (エトナ溶岩), $\beta =1917\text{m/秒}$ (カララ大理石), $\beta =2327\text{m/秒}$ (トラニ石灰岩) の試料の振動は, 波長 (L) 19 ~ 29km に対応している.

	Etna Lava	Carrara Marble	Trani Limestone
L(km)	19	24	29

動源の大きさが, 破断源のそれよりも大きいことを示している. 同じ過程が, 南イタリアの1980年9月23日の地震で解放された地震エネルギー地震エネルギー解放の以前と同時に自然界で発生している. 破壊的地震の発生前に Toppo di Castelgrande 観測点で記録された振動の振動数は, ほぼ 0.08Hz だった; この場合微動発生源の規模は 24 ~ 29km の範囲内であろう (表2). INGV のデータによると, 1980年9月23日の地震における断層面全体の大きさはほぼ $35 \times 18\text{km}^2$ (640km^2) で, 平均変位 $\bar{u} = 2\text{m}$ と見積もられる.

いっぽう, 地震エネルギーの放出時に記録された地震性微動の振動周期は 0.08Hz 以上であった. というのは, Westaway and Jackson(1984) の解析と Pantosti and Valensise(1990) による野外観察によると, 少なくとも三つに分岐した破砕帯がそれぞれ 10km の長さをもっていたからである.

5. 結論

Toppo di Castelgrande 観測点の地震記録は, 1980年9月23日の本震発生以前に, 増減する多くの微動と微小地震が発生したことを示している. さらに, 起震応力が, おそらく不連続的な応力パルスのように飛び飛びに, 小体積の地殻に加わったとみられる. 本震を引き起こすにいたった歪の急増は, 微動が最初に記録される数ヶ月以前に始まったのであろう. 地震静穏期には岩石に荷重がかかっていたはずだが, この状況の後に, 微動やほかの事象を引き起すある荷重が加わるようになった. この荷重が加わったり, 解消したりしていた期間には, エネルギーが岩石中で消費されたために弾性的から延性的挙動に変化し, この状況で岩石中に不可逆的变化が起こった. 突然の断裂が発生すると, 断層面の固着が完全に失われ, 破壊過程がしだいに脆性的状態へ変化した.

た. 実験中に観測されたように, 応力下にある試料が破壊にいたると, 応力速度の増加とともに物質破壊の閾値が減少する. それ以上の大きな力を加えて試料を速やかに壊すと, 同じ試料を破壊する場合よりも長い時間が必要になる; これは地震モーメント M_0 が岩石に加えられた応力パルスの時間推移の関数であることを暗示している. しかしながら, 我々には応力の初期状態が分からない. 応力値が一定であれば, 突然の破断は起こらず, 岩石は褶曲するだろう. 応力が定常的に増大すると, 剛性の低い岩石中に断裂が観測されるようになり, この過程は裂罅の形成によって解放された小~中規模なエネルギー低下をとまなう. 大振幅のパルスのように応力の振幅変化が急激に起きると, 固い岩石は強い地震を発生させる. それは, 岩石試料の室内圧縮実験で経験したことがらである. 前者の場合, 地震の時間分布は群発性になるが, 後者では, それらとは違って, 地震は本震-余震の順に発生する. 相関関係のない地震が発生するのはそれらの中間の状態であり, この場合, 中規模振幅の応力パルスが加わった固い岩石が強い地震を発生させることはない.

Toppo di Castelgrande の地震記録は, 地震性微動が震央域で応力が作用していることを示す確実な指標である. さらに, 微動が始まってから3ヶ月後に本震が発生するまでの期間には, 微動が断続的に変化し, 1980年9月23日の本震が近づくにつれて地震の振動数とそのエネルギーが増加したことが観測された. 微動と負荷応力との相関性が確かなものであれば, 次のようなシナリオを描くことができる; a) 造構性微動の静穏期は, その地域の応力場の活動が低いか減少していることを示す; b) 微動の振幅の増加は加えられた応力値の増大を示す; c) 微動振動数の増加は応力パルスの振動数の増加を示している; d) 微動シグナルの振動数は逆に震源規模に相関しており, それ故, 微動振動数は本震発生までの時間に相関して減少すると予測される.

以上の観測から, それらの挙動を記録し, 破断時の振動の周期や振幅を測定するために, 異なった力学特性を持つ岩石試料について室内実験を行うことが必要である, と我々は感じた. その結果は, 負荷応力の増加に調和して振動の振幅が増大すること, そして, 岩石の剛性の減少に伴って破断の複雑さが増大するカタストロフィックな過程であり, 数やエネルギーが異なる一連の地震に特徴づけられることを示した. 試料の固有振動周期は, 試料の破断にかかわる主要パラメーターであると評価された.

この情報が, Toppo di Castelgrande の地震計記録によって解析された1980年9月23日の地震のデータに適用された. この地震計で平均振動数が 0.08Hz と測定され, それにもとづいて, 20 ~ 30km の距離にある震源の線規模を見積もることができる; これ

らのデータは野外観測で得られたものと一致している (Pantosti and Valensise, 1990).

地震性微動は標準的前兆の一つとして、地震の前兆と考えなければならない; 実際に、それは岩体に加わった応力に直接関係しており、かつて検出されたように、この地域に作用する応力場についての情報をもたらす。これまで観測されてきたように、震源近くの地震計だけが微動を検出しうるので、地震発生地帯では、主要な地質構造のできるだけ近くに地震計を設置することが必要である。地震発生地帯での造構的微動の発生に関する上述の研究が、地震として一過性シグナルを発生させる地震エネルギー解放を予知するのに役立つのであれば、近代の実験室において岩石試料の直接測定を行い、その結果にもとづいて地質構造の実際の状況を解明できる応力場測定をめざすことが必要である。

謝辞: NI EN ISO 9001 に認定された St. Giorgio del Sannio(Benevento) の Sannio Test 有限責任会社に感謝申し上げる。2000年に、本研究に使用した岩石試料破壊強度試験を無料で行わせていただいた。

文 献

- Aggarwal, Y.R., Sykes, R.L., Armbrusten, J. and Sbar, M.L., 1973. Premonitory change in seismic velocity and prediction of earthquakes. *Nature*, v. 241, p. 101-104.
- Aki, K., 1966. "Generation and Propagation of G Waves from the Niigata Earthquake of June 16, 1964, Part 2: Estimation of Earthquake Moment, Released Energy, and Stress-Strain Drop from the G Wave Spectrum." *Bulletin of Earthquake Research. Institute* 44 (1966), p. 73-88.
- Bernard P. and Zollo A., 1989. The Irpinia (Italy) 1980 Earthquake: detailed analysis of a Complex Normal Faulting. *Jour. Geophys. Res.*, v. 94, N. B2, 1631-164.
- Barbot, S., Lapusta, N. and Avouac, J.P., 2012. Under the hood of earthquake machine: toward predictive modeling of the seismic cycle. *Science*, v. 336, p. 707-710.
- Brace, W.F., 1978. Recent laboratory studies of earthquake mechanism and prediction. *Earthquake Precursors*. Kissinger, C. and Suzuki, S. (eds.). Japan Scientific Soc. Press. 85-2002.
- Bromirski, P.D., 2009. Earth vibrations. *Science*, v. 324, p. 1026-1027.
- Bromirski, P.D. and Duennbier, F.K., 2002. The near-coastal microseism spectrum: Spatial and temporal wave climate relationships, *Jour. Geophys. Res.*, v. 107(B8), 2166, doi:10.1029/2001JB000265.
- Deschamps, A. and King, G.C.P., 1984. Aftershocks of the Campania-Lucania (Naples, Italy) earthquake of 23 November 1980. *Bull. Seism. Soc. Am.*, v. 74, p. 2483-2517.
- Esposito, E., Porfido, S., Luongo, G. and Petrazzuoli, S.M., 1992. Damage scenarios induced by the major seismic events from XV to XIX century in Naples city with particular reference to the seismic response, *Earthquake Engineering, Tenth world conference*, 1075-1080.
- Freed, A.M., 2005. Earthquake triggering by static, dynamic and postseismic stress transfer. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, v. 33, p. 335-367.
- Fujita, N., 1965. The magnetic disturbance accompanying the Niigata earthquake. *Jour. Geod. Soc. Japan*, v. 11, p. 8-25.
- Gomberg, J. and Jhonson, P.A., 2005. Dynamic triggering of earthquakes. *Nature*, v. 473, p. 830.
- Hill, D.P. et al., 1993. Seismicity remotely triggered by the magnitude 7.3 Landers, California earthquake. *Science*, v. 260, p. 1617-1623.
- Kanamori, H., 1977. The energy release in great earthquake. *Jour. Geophys. Res.*, v. 82, p. 2981-2987.
- Manthei, G. and Eisenblätter, J., 2008. Acoustic emission in study of rock stability. In Grosse and Ohtsu (eds.), *Acoustic emission testing*, Springer. p. 239-310.
- Manthei, G., Eisenblätter, J. and Spies, T., 2000. Acoustic emission in rock mechanics studies. In Kishi et al. (2000), 127-144. Kishi, T, Ohtsu, M. and Yuyama, S., 2000. Acoustic emission – Beyond the millennium, 233p. Elsevier.
- Mjachkin, V., Brace, N.F., Sobolev, G.A. and Dietrich, J.H., 1975. Two model for earthquakes forerunners. *Pageph.*, v. 113, p. 169-181.
- Nur, A., 1972. Dilatancy, pore fluid and premonitory variation of Ts/Ts travel time. *Bull. Seism. Soc. Am.*, v. 62, p. 1217-1222.
- Orowan, E., 1934. Plasticity of crystals. *Z. Phys.*, v. 89, p. 605-659.
- Pantosti, D. and Valensise, G., 1990. Faulting mechanism and complexity of the November 23, 1980, Campania – Lucania earthquake, inferred from surface observations. *Jour. Geophys. Res.*, v. 95 (15), p. 319-341.
- Richter, C.F., 1958. *Elementary seismology*. W. H. Freeman edition.
- Shelly, D.R., 2009. Possible deep fault slip preceding the 2004 Parkfield earthquake, inferred from detailed observations of tectonic tremor. *Geoph. Res. Letters*, v. 36, L17318, doi 10.1029/2009GL030589.
- Shelly, D.R., 2010. Migrating tremors illuminate complex deformation beneath the seismogenic San Andreas fault. *Nature*, v. 463, p. 648-652.
- Sholz, C.H. and Lynn, R.S., Aggarwal, Y.R., 1973. Earthquake prediction: a physical basis. *Science*, v. 181, p. 808-810.

Sholz, C.H., 1968. The frequency-magnitude relation of microfracturing in the rock and its relation to earthquakes. Bull. Seismol. Soc. Am., v. 58, p. 349-415, Open URL.

Ulomov, V.M. and Mavashev, B.Z., 1971. The Tashkent earthquake of 26 April 1966. Akademia Nat. Uzbeks, Tashkent. 188p.

Westaway, R. and Jackson, J., 1984. Surface faulting in the southern Italian Campania-Basilicata earthquake of 23 November 1980. Nature, v. 312, p. 436-438.

Westaway, R. and Jackson, J., 1987. The earthquake of 1980 November 23 in Campania-Basilicata (southern Italy). Geophys. J. R. Astr. Soc., v. 90, p. 375-443.

**早期警戒システムの虚構：
早期警戒システムで地震災害を軽減することができるのか？
THE MYTH OF EARLY WARNING SYSTEM (EWS): IS IT POSSIBLE TO
MITIGATE SEISMIC DISASTER WITH THE EWS?**

Arun BAPAT

Consulting Seismologist Formerly Head, Earthquake Engineering Research Division, Central Water & Power Research Station, Pune 411024, India arunbapateq@gmail.com

(岩本 広志 [訳])

要旨：最近開発された早期警戒システム（EWS）は地震を予測することができ、地震災害を軽減できる、と何人かのカリフォルニアの科学者が主張している。しかしこの主張は虚構であり、科学的に正確ではないと思われる。EWSは、P波とS波の速度差にもとづいている。地震の発生が瞬時に記録され、地震動は即座に幾つかの場所へ伝わる。場所によっては、人々は警報から数秒間の短い時間を得ることになる。浅発地震の規模にもよるが、通常、地震による破壊は最大で半径40～70km以内の範囲に発生する。その後、地震波の強度、エネルギー、および影響はしだいに減少していく。等最大震度域では、2種類の波の時間差は5秒以下であろう。この時間では、だれも近くの安全な場所に走って避難することはできない。300～500km離れた場所では地震の破壊的影響はほとんど無視できるか、ゼロである。レイリー波が観測されうる場所では、時間差は20～30秒、あるいは、それ以上だろう。これは複数階の建物にいる幾人かの人々にとってはいくぶん有用であるかもしれない。実際問題としては、EWSは誤称である。それは早期アナウンスシステム（EAS）である。警戒は、いかなる事件においても、常にその発生前に報じられるものである。しかしこのケースでは、アナウンスされるだけで、警戒されるわけではない。

キーワード：early warning system, earthquake prediction

導 入

世界は数多くの破壊的地震に見舞われている。これまでの地震による死者数は、2つの世界大戦による死者の合計を上回っているだろう。今世紀だけでも、多くの地震が、日本、中国、インド、パキスタン、インドネシア、ニュージーランド、ギリシャ、イタリア、イラン、チリー、メキシコ等の多くの国々で起きている。これらの地震による犠牲者は百万人以上と推計される。今までのところ、日時、場所およびマグニチュードなどの地震パラメータを効果的に予知できる完璧な科学的手法は存在しない。しかしながら、地震予知の分野での十分な発展がある。

これまでに、地震予知の唯一の成功例が中国にある。1975年2月4日に発生したM=7.3の海城地震が、成功裏に予知された。この予知は、力武（1976, 1982）の報告によれば、多かれ少なかれ動物の異常行動にもとづいて行なわれた。地方の政治指導者が、地震

が起きる1日前に避難を命じた。この成功裏の避難は、多数の人命を救った。しかし、人々はその後も多大な被害を被ってきた。これは大規模地震前の避難に成功した史上唯一の事例となった。この事例では、数年、数ヶ月、および数週間前に、動物の異常行動を含むさまざまな現象が地震の前兆として解釈されたと報告されている。地震予知の助けになる奇妙な動物の行動についての一般人からのレポートが地震予知に役立ったといういくつかの主張があった。これらのレポートの有効性と正確さには疑問がある。というのは、それは、建物の被害や住民の恐怖をもたらした一連の前震であったからである。

しかし、海城地震の予知成功後に、不幸にして中国では幾つもの破壊的な地震が起きている。しかし、中国の科学者は2008年四川地震（M=8.0）を含めて1つの地震も予知できていない。ほとんどの場合、予知のために多くの地質的・地震的な前兆パラメータが用いられている。Bapat（2012）はこの問題を

議論し、地震前兆現象を適切に選択する必要性を主張した。中国の科学者達も、太陽と他の惑星天体の天文学的位置を用いている。付け加えて多くの地質学的、地球物理学的、地震学的、および他のパラメータの測定（ならびに、これらのパラメータの時間的変化）に加えて、高い信頼性をもつ幾つかの非地震学的、非地質学的、非造構造的パラメータが存在する。それは、長波発信異常 [Outgoing Long Wave Radiation: OLR] (Liu et al., 2004; Ouzounov et al., 2007, 2009, 2011a and 2011b を参照) や電子総量 [Total Electron Content: TEC] (Tramutoli et al., 2005; Tronin et al., 2002 を参照) である。沿岸域や海底地震の場合は、海水表面温度 [Sea Surface Temperature SST] も有効である。さらに、地震が発生する数時間前の動物や人間の行動異常も著しく有効である、との報告がある。

しかしながら、多くの災害管理者や科学者として技術者には、これらを信頼できる科学的な前兆現象として受け入れる準備ができてない。この状況は、歪んだ絵を想起させる。幾人かの地震学者は合理的な精度で地震予知は可能であると主張するいっぽう、災害管理者は地震は予知不能であるとの確信にもとづいて救命・避難や救出の計画を作成する。

米国大学の主導的地震学者達は、そのような'魔法の杖'のような解決法を発見したと主張する。それは'早期警戒システム'(EWS)と呼ばれ、地震発生の数秒前に警戒シグナルを発する。EWSはミサイル防衛システムから取られたもので、それは、冷戦時代にソ連から発射されるICBMに対して米国を防御するために開発された。地震のためのEWSはP波とS波の走時速度の違いを利用する。地震が発生した時のP波が直ち感知され記録される。EWSは最初のP波を感知すると、電磁波による警報を送信する。S波の速度はだいたい半分(理論的に補正すると、P波速度の48%)。P波とS波の速度は広域代表値でそれぞれ5.6~5.9 km/sと3.1~3.3 km/sを示し、S波が地震被害の原因となる。

EWSをめぐる議論のなかで明確に言明されていないのは何なのか。米国における公式発表では、大規模被害をもたらす地震を発生させる局所的な揺れを決定するための必要時間は最適条件下で約5秒である。一方、大規模地震の決定にかかる時間がこのように最小で5秒ならば、破壊的なS波は秒速3.4kmで伝播するので、その間に少なくとも17km進んでいるだろう。それ故に、EWSには死角があり、これは実際には"ブラインドゾーン"があらゆる方向に約20kmにわたって存在し、ほんの一瞬うちに無警戒域ができてしまう。韓国のEWSには、20秒のブラインドゾーンがある。

半径17kmの多方面への地震波走時から、有効破壊

範囲もしくは最高等震度域で $17 \times 2 = 34\text{km}$ (約35km)と推定される。数学的に示される破壊の最大領域は、いかなる"警報"も役立たないだろう。すべての地震の最高等震度域はほぼ楕円形で、長軸が図1に示すように断層に沿っている。

EWS スキーム

リチャード アーレン (2013) —米国におけるEWSに関するアイディアの普及者と売買取引者—によると、今世紀に米国西部に襲来が予想される大規模地震の発生確率は高い。カリフォルニアは少なくともマグニチュード6.7(1994年のロサンゼルス近郊のノースリッジ地震の規模)の地震に見舞われる確率は、今後30年間で99%である。サンフランシスコとロサンゼルスでは、ともに2/3の確率でこのようなイベントに見舞われる公算がある。次のビッグベイエリアの地震は50%で、原因となるハイワード断層はリチャード アーレンの勤務するカリフォルニア大学バークレー校の地震研究所から500mの場所に位置している。

北西太平洋地域では、2011年3月に日本で起きた地震と同様なマグニチュード9を超える大規模地震が準備されている。米国を横断する他の場所の災害は小さいとみられるが、2011年にワシントンDCとニューヨークで起きたマグニチュード5.8のバージニア地震のように、東海岸全域でも被害地震の可能性がある。

米国における地震防御の第1線は、構造物を倒壊から守る頑強な建築基準である。しかし、今日では、情報革命によって、人々が災害と犠牲を最小化するための即時対応をすることができるようになった。地震センサーが断層破断による初期震動を感知すると、数秒以内に自動警報が出されて、人々の対応のために最大で5分という時間がもたらされる。日本は、6000人を超える死者を出した1995年の神戸地震(兵庫県南部地震)以来、このようなシステムの開拓者になった。日本政府は地震シグナルを検知するための地震・測地ネットワークに10数億円を投資した。2004年日本の気象庁は限定的に地震警報

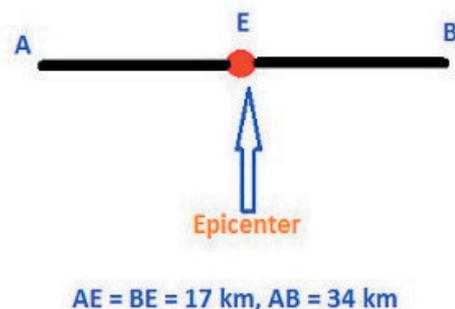


図1 Eは地震の震央。AEとBEは断層に沿った2方向の破壊距離。破壊の総延長は34km(約35km)。

システムをテストした。2005年に最初の警報が発せられ、2007年には国と地方にシステムが整備された。最初の本格的テストケースになったのが東北沖地震で、震央から最も近い大都市一仙台では15秒前に警報を受信した。カリフォルニアのシステム一地震警報2は2011年から用いられているが、公的運用には至っていない。現存の地震センサーを用いて日常的に感知できる地震は $M2.5$ で、警報は警戒応答が可能な交通機関・製造業などの組織に限定されている。情報は公共団体と学術機関（カリフォルニア大学バークレー校、パサデナのカリフォルニア工科大学、米国地質調査所、南カリフォルニア地震センター、チューリッヒのスイス政府工科大学）から提供される。2012年には、シアトルのワシントン大学にもこの制度が拡大され、カリフォルニアのパロ・アルト市の私的助成金提供組織一ゴードン・ベティー ムーア財団から資金援助された。

討 論

様々な国の幾つかの巨大地震のアーカイブによれば、破壊的地震時には、地震のマグニチュードによって半径40～70kmの範囲で破壊が生じる。軽度の被害は70kmを超える領域にも発生する。最大規模の被害域では約5秒（平均4～7秒）の信号送信が可能である。この時間差は、多くの人々にとって室内および室外の安全な場所に避難するには不十分である。リチャード アーレン (2013) は「次のビッグベイエリア地震の原因となるハイワード断層は、カリフォルニア大学バークレー校の地震研究所から500mの場所に位置し」、そこに彼が務める地震研究所がある。EWSは、大企業や高速交通システムなどに有益だろう。日本の時速250kmを超える新幹線も、緊急ブレーキで停止できるだろう。発電所（火力、水力・原子力）などの大規模プラントは閉鎖までに数分間が必要である。

同様に、他の地震活動の活発な国々（アジア・南米など）でも多かれ少なかれ同じことで、地震に脆弱な国々の災害管理機関はEWS技術の導入前にEWSの是非を熟考する必要があるだろう。脆弱な場所は、断層に非常に近いところや、断層の上に位置している。「警報」の意義は突然の災害発生に先だって伝えられる警戒信号であり、地震や予知を考慮して、地震警報は地震発生前に発信しなくてはならない。EWSは発震プロセスに応じて開発されたもので、今後数日間のうちに地震が発生するといった警報信号ではない。誤称のEWSの代わりに、早期アナウンスシステム (EAS) と呼ぶべきだろう。

まとめ

- (1) EWSは地震被害の軽減には十分でないだろう。
- (2) 最高等震度域 ($I=VII$ 以上) では警報から震動

の到達まえの時間がわずか5秒以下である。この時間は、人々の安全な場所への避難には足りない。

(3) 発電所のような大規模な産業単位では、警戒を発するのに役立つかもしれない。しかし、そのような大規模組織では停止に数分を要する。EWSは高速運転の運輸部門において、1分以内に列車を停止させるのに役立つかもしれない。

文 献

- Bapat, A., 2012. Riddle and ridicule of earthquake prediction. *Curr. Sci.*, v. 102, no. 4, p. 554.
- Liu, J.Y., Chuo, Y.J., Shan, S.J., Tsai, Y.B., Chen, Y.I., Pulnits S.A. and Yu, S.B., 2004.
- Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurement. *Ann. Geophysics.*, v. 22, p. 1585-1593.
- Ouzounov D., Liu, D., Kang, C., Cervone, G., Kafatos, M. and Taylor, P., 2007, Outgoing long wave radiation variability from IR satellite data prior to major earthquakes. *Tectonophysics*, v. 431, p. 211-220.
- Ouzounov, D., Pulnits, S.A., Romanov, A., Romanov, A. Jr., Tsybulya, K., Davydenko, D., Kafatos, M. and Taylor, P., 2011a. Atmosphere-Ionosphere response to the M9 Tohoku Earthquake revealed by Joint Satellite and ground observations. *Earthquake Science*, v. 24, p. 557-564.
- Ouzounov, D., Pulnits, S.A., Hattori, K., Kafatos, M. and Taylor, P., 2011b. Atmospheric signals associated with major earthquakes. A multi-sensor approach. *Frontier of Earthquake short-term prediction study*. Ed. Hayakawa, M., Japan, p. 510-531.
- Parrot, M., 2009. Anomalous seismic phenomena: View from space in electromagnetic phenomena associated with earthquakes. Ed. Hayakawa, M., *Transworld Research Network*, p. 205-233.
- Richard, A., 2013. Seconds count. *Nature*, v. 502, p. 30.
- Rikitake, T., 1976. Geomagnetism and earthquake prediction. *Tectonophysics*, v. 6., p. 59 - 68.
- Rikitake, T., 1976. *Earthquake Prediction*. Elsevier. 357p.
- Rikitake, T., 1982. *Earthquake Forecasting and Warning*. Reid Publishing. 402p.
- Tramutoli, V., Cuomo, V., Filizzola, C., Pergola, N. and Pietrapertosa, C., 2005. Assessing the potential of thermal infrared satellite surveys for monitoring seismically active areas. The case of Kocaeli [İzmit] earthquake, August 17th, 1999. *Remote Sensing of Environment*, v. 96, p. 409-426.
- Tronin, A., Hayakawa, M. and Molchanov, O., 2002. Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China. *Jour. Geodynamics*, v. 33, p. 519-534.
- Wu, Y.-M., 2014. Development of Earthquake Early Warning System using low cost accelerometer. *Proc. 15 Symp. Earth. Engg.*, v. 1, p. 225-230. Indian Inst. Tech. Roorkee, India, Dec. 2014.

討 論 DISCUSSION

Stephen W. HURRELL: 化石羽を用いた古重力計算の新手法
NCGT Journal, v. 2, no. 3, p. 29-34.

Stephen W. Hurrell: A new method to calculate paleogravity using fossil feathers
NCGT Journal, v. 2, no. 3, p. 29-34.

(山内 靖喜 [訳])

親愛なる Stephen へ

あなたの興味ある論文「化石羽を用いた古重力計算の新手法」を私は読みました。そこで、120Ma に存在した大気密度が考慮されたのか、と感じました？ というのは、このことが鳥の飛行能力に確実に影響を与えるからです。

その当時の大気中の CO₂ 濃度は約 2,000ppm と報告されている。このレベルの濃度でヘンリーの気体法則を適用すると、平均海面温度は現在より約 11.6°C 高かったことが推定される。次に、このことは空気中の湿度を増加させる。より密度の大きな

CO₂ と水の付加によって、後期中生代に大気密度は今日より著しく大きかったに違なく、あらゆる浮揚する動物はこれが浮力に加わることを経験した。

初期の羽飛行を説明するために地球上の重力が変化したと仮定できるが、その前に、私たちは空気密度の可能な変化を調べてみるべきである。

敬具

Robert Arthur Beatty
abeatty@optusnet.com.au
2014 年 9 月 28 日

.....
[回答] 親愛なる Bob へ

空気密度の変化についてのあなたの指摘は、大変興味ある提案です。もちろん、トンボのように体の大きな古代動物、とくに石炭紀のそれらを説明するために、大気がより重かったことが一般に指摘されています。そこで、重い大気が鳥の飛行をどのくらい変化させたでしょうか？ もし、私たちが揚力を計算するのにベルヌーイの式を用いたならば、鳥たちはより重い空気中でより遅い速度で飛ぶことができたことをそれは示します。もし、あなたがこれにさらなる興味をおもちでしたら、Colin Pennycuick が多くの論文と著書において飛行の力学を議論しています。彼は鳥の飛行を計算する無料プログラムを下記サイトにアップロードしており、空気密度と重力の値を変えられます。 <http://www.bristol.au.uk/biology/people/colin-j-pennycuick/index.html>

しかしながら、鳥が水平飛行を行うためには、羽によって発生する揚力は常に鳥の重量と等しくなければなりません。より高くにある空気の密度は必要とされる揚力を変えません。すなわち、鳥は水平飛行を行うために単にゆっくり飛ぶだけです。従って、どのような空気密度においても翼あるいは特別な羽にかかる力の大きさは常に同じです。このことは、残念ながら、始祖鳥や孔子鳥が飛んでいたときに、鳥の羽にはたらく曲げモーメント力に関する計算は空気密度についてなにも語ることはできないことを意味しています。

ではごきげんよう。

Stephen Hurrell
www.dinox.org
2014 年 10 月 1 日

“ダーウィン海膨”の造構的枠組み Tectonic framework of the “Darwin Rise”

Dong R. CHOI

International Earthquake and Volcano Prediction Center (IEVPC), dchoi@ievpc.org; www.ievpc.org
Raax Australia Pty Ltd., Dong.Choi@raax.com.au; www.raax.com.au

(矢野 孝雄 [訳])

NCGT 最新号で、矢野と Smoot の間で、北西太平洋のダーウィン海膨に関する活発な討論が展開された (NCGT Journal, v. 2, no. 3, p. 41-60). 矢野は地質データを重視し、1964 年に Menard が初めて提唱したダーウィン海膨を支持したが (図 1), Smoot は詳細な海底地形情報にもとづいてそれを退けた. 彼らの議論では、この海膨の全地球的造構像に関する考察が欠けていて、それはダーウィン海膨の本質を理解する上で不可欠な要素である. Vasiliev と本稿の著者は、ダーウィン海膨を含む北西太平洋の中生代海盆の広域的地質 - 造構特性を考察したことがある (2008a および 2008b). 本稿で私は、全地球的造構運動の観点から、ダーウィン海膨に関する私なりの考え方を紹介したい.

1. 北西太平洋中生代堆積盆地の NW-SE 構造方向

北西太平洋の中生代堆積盆地とそれらの線状の構造方向が、図 2 に示される. この構造方向はロシア (サハリン) ~ 日本 (北海道) では N-S 方向で、太平洋に入ると NW-SE 方向に変化する. この中生代堆積盆地の構造方向には、2 つの独立したジュラ紀堆積盆地が含まれる; 1) その北部に、もっとも大きな盆地が分布し、そこでは、E-W 方向の Mendocino 断裂帯と Shatsky 海膨が NW-SE の堆積盆地方向に会合する. そして、2) 南方にもう一つの盆地があり、Ontong Java 海膨の東方に位置する. これらのジュラ紀堆積盆地の現水深は 6,000m 前後で、一般に低重力異常域になっている (図 3).

下部白亜紀堆積盆地 (図 2 では緑色表示) はジュラ紀堆積盆地をとりまいていて、はるかに広く分布する. 上部白亜系堆積盆地 (淡緑色表示) はさらに広く、古第三紀堆積盆地も同様である. この全般的傾向は、ジュラ紀~白亜紀~古第三紀を通じて堆積盆地がしだいに拡大し、その拡大過程では中生代堆積盆地の NW-SE の構造方向が中心的役割をはたしたことを示している.

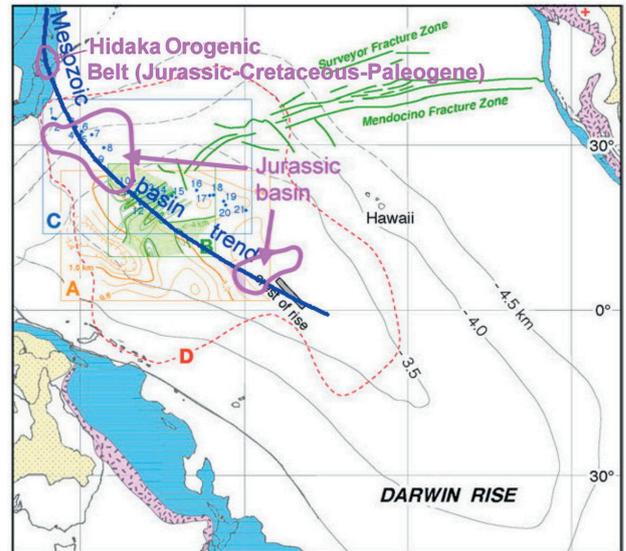


図 1 後期中生代造構図 (矢野, 2014). A (オレンジ色等値線=Menard 1984): 約 100Ma のギョーの実沈降を示す. B (緑色等深線=Smoot and King, 1997): 80 ~ 100Ma のギョーの広域的深度. C (赤色破線): 後期中生代火山岩類の分布範囲. ジュラ紀堆積盆地 (Jatskevichi, 2000) が重複表示されている. 北海道の日高造山帯 (北西太平洋中生代堆積盆地に類似したジュラ紀~白亜紀発達史をもつ) に注目. 日高造山帯は古第三紀に造山帯になった.

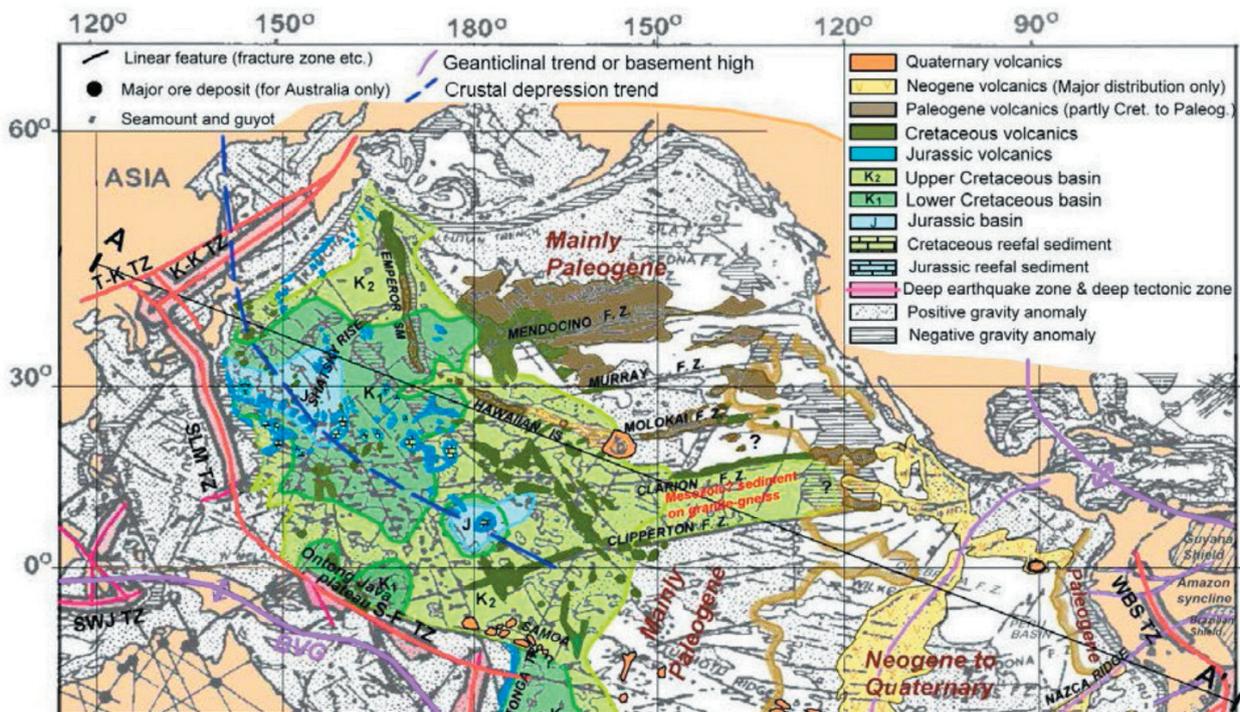


図 2 北西太平洋における中生代堆積盆地の分布. Choi and Vasiliev (2008a) から引用. ジュラ系, 下部白亜系および上部白亜系の盆地堆積物の分布に注目. それらは時間とともに拡大している. 古第三紀および新第三紀堆積盆地も、同傾向を示す. このような拡大は、ジュラ紀~第四紀における太平洋の拡大・深化に対応する. ジュラ紀~白亜紀堆積盆地の分布範囲にはギョーや海山が密集していて、図 1 に示されたダーウィン海膨の広がりにはほぼ一致する. A-A' は、Choi and Vasiliev (2008b) の地形断面線.

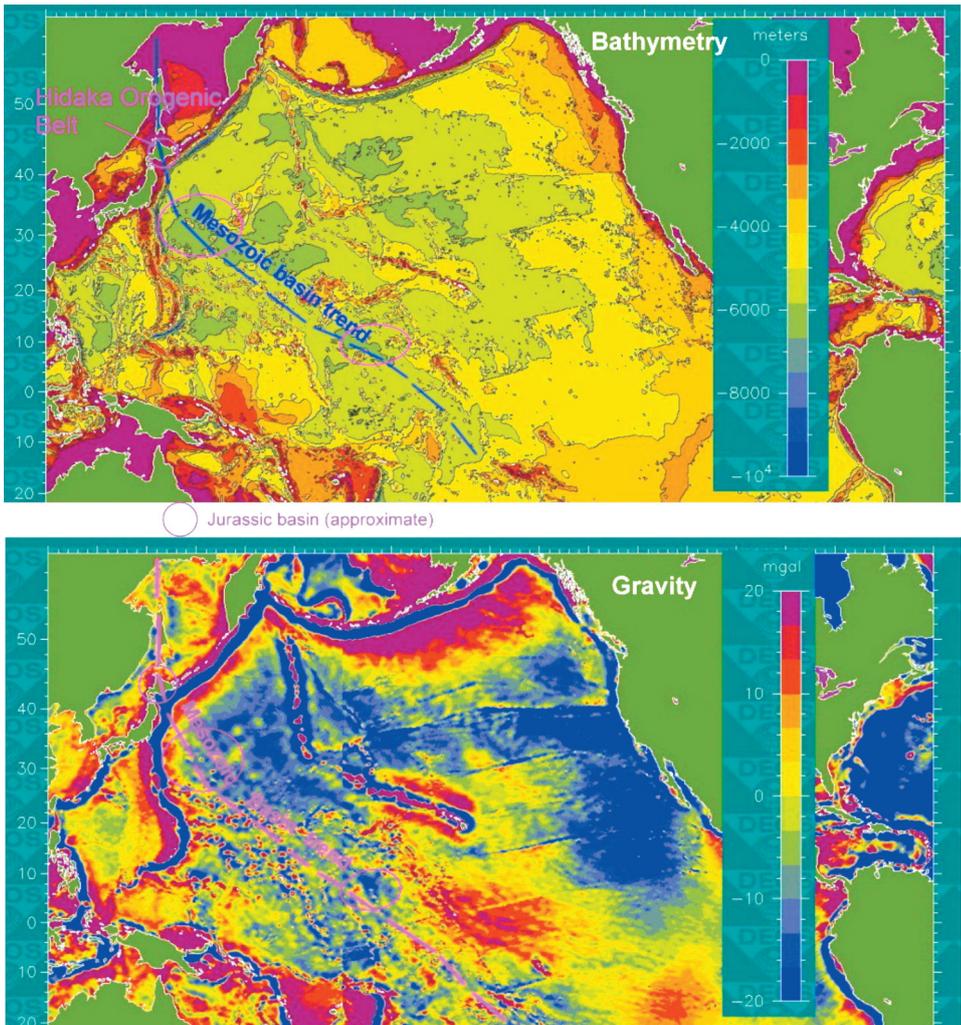


図3 北太平洋の等深線図(上)と重力図(下). DEOS ウェブサイトで作成(このサイトは、現在はみだされない). ピンク色の円はジュラ系堆積盆地(Jatskevichi, 2000 から), より詳細は図2参照. 日高造山帯はHunahashi (1995) およびMinato et al. (1965) から引用, ジュラ紀~前期白亜紀: 地向斜ステージ, 後期白亜紀~古第三紀/新第三紀: 造山ステージ.

後期ジュラ紀以降の堆積盆地の沈降と相対的海水準上昇に伴って、この構造方向に沿って、とくにその北部に歴大ば火山物質が供給された。読者は、この構造方向の北部で、ジュラ紀火山体がジュラ紀堆積盆地の周縁や下部白亜系堆積盆地の内部に分布していることを容易に理解されるだろう。

中生代堆積盆地の構造方向は、古生代末期以降ずっと沈降域であった(これを支持するデータについてはChoi and Vasiliev, 2008bを参照されたい)。この沈降が現在まで続いていることは、沈降した海山群の分布(図4)によって証明される。

上述のとおり、北西太平洋には線状堆積盆地を形成したNW-SEの顕著な構造方向が存在し、ジュラ紀以降沈降をつづけている。それは太平洋の形成に密接にかかわっていて、歴大な火山活動を伴った。

私たちの研究結果(Choi and Vasiliev, 2008b)によると、中生代堆積盆地の構造方向には地表~330kmの深度に高速マントルが伏在し、それが、堆積盆地の形成(沈降)とマントル浅部の脱水や化学的枯渇にかかわったことを示す。このような現象は、後述の、全地球規模の地殻沈降構造にもみられる。

2. 北西太平洋中生代堆積盆地の構造方向が示す全地球的な造構的重要性

全地球的視点からみると、北西太平洋中生代堆積盆地の構造方向は、次の2つの先カンブリア紀由来地背斜(超背斜)の構造方向に平行している; 1) シベリア-東南アジア-南西太平洋, および 2) 北-南アメリカ(図5:Choi, 2013)。私たちは(Choi and Vasiliev, 2008a, p. 32), 少なくとも後期シルル紀以降に北海道-サハリン-シベリアに向斜構造が存在したことを示す地質データを提示した。この地殻凹地が南へ向かって南東太平洋, さらに南アメリカへのびていることは、重力データ, すなわち、線状の低重力異常に支持される(Choi and Vasiliev, 2008a, fig. 2)。これらの事実は、”ダーウィン海膨”に沿う北西太平洋中生代堆積盆地の構造方向が、地球発達史のごく初期に全地球的の地背斜構造方向に平行して形成された大規模な地殻凹地であることを示唆する。

3. 結論

ダーウィン海膨論争は、上述した広域的造構枠組みを考慮することによって解決されうるだろう。こ

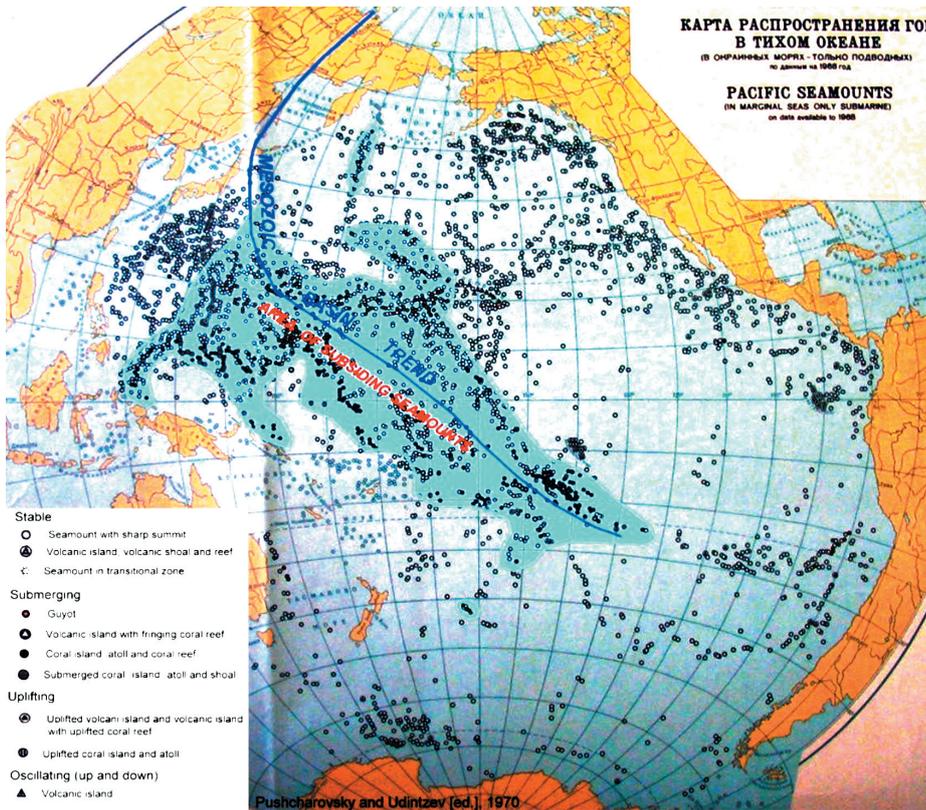


図4 沈水した海山とギョーの分布 (青色領域). Choi and Vasiliev (2008b) から転載. 原図は Pushcharovsky and Udintzev (1970). 中生代堆積盆地の構造方向を重ねて表示.

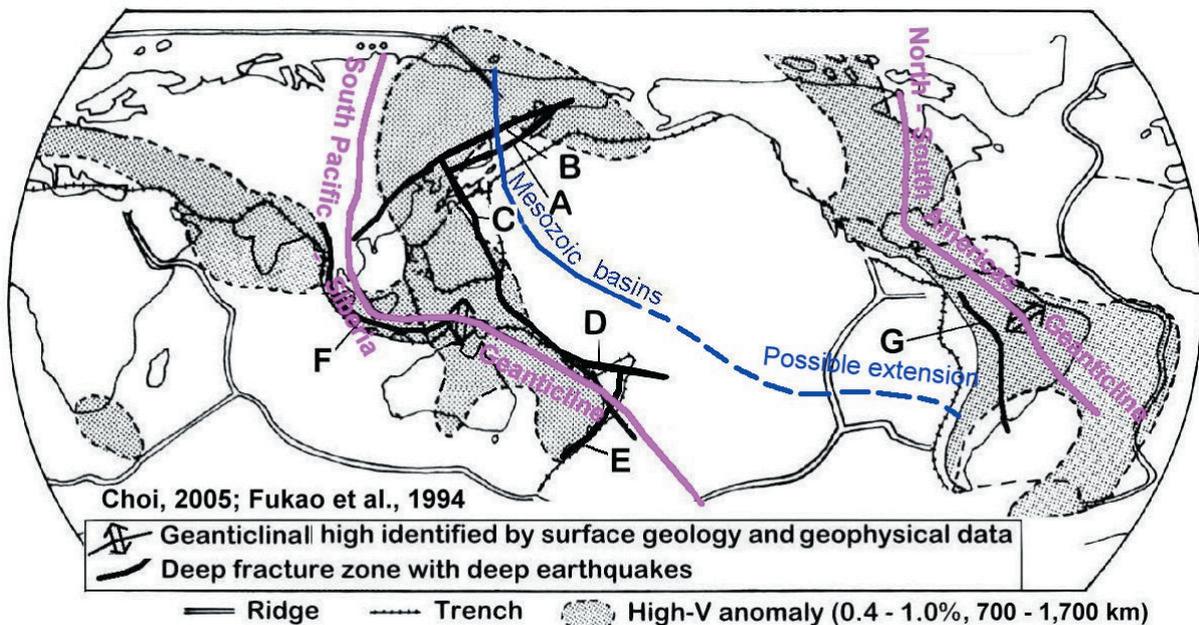


図5 全地球的地背斜の構造方向と北西太平洋中生代堆積盆地の構造方向. 基図(高速度異常)はFukao et al. (1994)による. Choi (2005) に加筆. A: Tan-Lu-カムチャツカ造構帯 (Tectonic Zone, T.Z.). B: Susongchon-琵琶湖-マリアナ諸島 T.Z., C: Shan 境界 T.Z.-西マレーシア-ジャワ海 T.Z., D: ニュージーランド-フィジー T.Z., E: 西ブラジル楕状地 T.

の”海膨”は、地球規模の地殻凹地/断裂系に沿って発達した地殻凹地であり、太平洋海盆の形成過程を通じて存在しつづけた。ジュラ紀以降、とくに前期白亜紀の沈降期には、1つの重要な火山地帯して活動した。

広域的造構データから明らかになったことからは、次のとおりである。

1) ”ダーウィン海膨”は、北西太平洋中生代堆

積盆地のNW-SE構造方向に沿って存在することが提案された。この構造方向は、おそらく先カンブリア紀に由来する全地球規模の地殻凹地であり、南太平洋-シベリアおよび北-南アメリカ地背斜に平行して形成された。

2) 厚いジュラ紀～白亜紀堆積物と多数の火山体(ギョーと海山、一部は浅海性炭酸塩岩に覆われる)が、この中生代堆積盆地の構造方向に沿って形成された。

3) ”ダーウィン海膨” は誤称である。造構運動および海底地形の観点からみて、海膨ではない。それは、”北西太平洋中生代火山帯 (NW Pacific Mesozoic Volcanic Belt)” と呼ばれるのがもっともふさわしい。

文 献

- Choi, D.R., 2005. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones: a new interpretation of the Wadati-Benioff Zone. *Boll. Soc. It., spec. vol. no. 5*, p. 79-118.
- Choi, D.R., 2013. An Archean geanticline stretching from the South Pacific to Siberia. *NCGT Journal*, v. 1, no. 3, p. 45-55.
- Choi, D.R. and Vasiliev, B.I., 2008a. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 1. Mesozoic basins and deep-seated tectonic zones. *NCGT Newsletter*, no. 46, p. 28-34.
- Choi, D.R. and Vasiliev, B.I., 2008b. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 4. Geological interpretation of seismic tomography. *NCGT Newsletter*, no. 48, p. 52-60.
- Fukao, Y., Maruyama, S., Obayashi, M. and Inoue, H., 1994. Geologic implication of the whole mantle P-wave tomography. *Jour. Geol. Soc. Japan*, v. 100, p. 4-23.
- Hunahashi, M., 1995. Formation of the Earth: its geological development. Tokai Univ. Press. 622p. ISBN 4-486-01340-9. (in Japanese with English Preface)
- Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. Geological Map of the World. 1:15,000,000. Ministry of Natural Resources of Russian Federation, RAS.
- Kawakami, S., Fujii, N. and Fukao, Y., 1994. Frontiers of the earth and planetary sciences: a gallery of the planetary worlds. *Jour. Geol. Soc. Japan*, v. 100, p. I-VIII.
- Menard, H.W., 1964. Marine geology of Pacific. MacGraw-Hill, New York, 255p. Menard, H.W., 1984. Darwin Reprise. *Jour. Geophys. Res.*, v. 89, p. 9960-9968.
- Minato, M., Gorai, M. and Hunahashi, M., 1965. The geological development of the Japanese Islands. Tsukiji Shokan, Co., Ltd. 442p.
- Pushcharovsky, Yu.M. and Udintzev, G.B. [ed.], 1970. Tectonic Map of the Pacific Segment of the Earth. Scale 1:10,000,000. Compiled by Oceanological Institute and Institute of Oceanology of the Academy of Sciences of the USSR.
- Smoot, N.C., 2014. Sisyphus and the Darwin Rise. *NCGT Journal*, v. 2, no. 3, p. 54-60.
- Smoot, N.C. and King, R.E., 1997. The Darwin Rise demise: the western Pacific guyot heights trace the trans-Pacific Mendocino fracture zone. *Geomorphology*, v. 18, p. 223-235.
- van Waasbergen R.J. and Winterer, E.L., 1993. Summit geomorphology of Western Pacific guyots. In: Pringle, M.S., Sager, W.W., Sliter, W.V. and Stein, S. (eds.), *The Mesozoic Pacific: Geology, Tectonics, and Volcanism: A Volume in Memory of Sy Schlanger*, Geophysical Monograph 77, p. 335-366.
- Yano, T., 2014. Late Mesozoic tectono-magnetism in the west Pacific Ocean – Did the Darwin rise demise or revise? *NCGT Journal*, v. 2, no. 3, p. 42-54.

西太平洋における後期中生代の造構 – 火成活動 —線状沈降帯の中で，それとも，ドーム状隆起帯の上で？— LATE MESOZOIC TECTONO-MAGMATISM IN THE WEST PACIFIC OCEAN — IN A LINEAR DEPRESSION OR ON A DOMAL UPLIFT?

矢野 孝雄

鳥取大学地域学部地域環境環境学科，鳥取市，680-8551，日本 yano@rs.tottori-u.ac.jp

(矢野 孝雄 [訳])

要旨：北西太平洋の地質データは，(1) NW-SE 方向の明瞭な中生代造構性沈降帯は存在せず，(2) ダーウィン海膨は Menard の初期イメージよりも複雑な古地形（より短波長 / 大振幅）を示し，その軸跡は千島列島へ向かう NW-SE 方向の軸跡をもち，(3) 山体形成 (OIB タイプ) 火山活動が後期中生代にしたいに活発化したために，海膨が周海山緩斜面群 (archipelagic aprons) におおわれたことを示す。前期始新世後の全地球的寒冷化によって強化された底層流が，残存していたダーウィン海膨頂部を侵食し，その結果，2つの白亜系内座層，ならびに，北西太平洋の古第三紀広域ハイエタスを形成した可能性がある。

キーワード：西太平洋，ダーウィンライズ，古地形，内座層，周海山緩斜面 (archipelagic apron)，古第三紀ハイエタス

まえがき

ダーウィンライズ (Menard, 1964) は，後期中生代の西太平洋に出現した幅 4,000km，長さ 10,000km，

高さ 2km の巨大な膨隆 (swell) であり，多くの火山体と周海山緩斜面 (archipelagic apron) をともなっていた (図 1)。それは，波食面をもつ沈水古期海山 (ギョー guyot : Hess, 1946) の広域

的深度分布にもとづいて提唱された。この仮説については、その提唱から今日に至るまで議論が絶えない (たとえば, Hess, 1962; Mckenzie, 1967; Kobayashi et al., 1971; Menard, 1973; Larson and Schlanger, 1981; Schlanger et al., 1981; Menard, 1984; Larson, 1991; Smoot and King, 1997; Winterer, 1998; Yano et al., 2001; Yano, 2014a, b; Smoot, 2014a, b)。

Choi (2014) は、本号で、全地球的造構運動の観点から、ダーウィン海膨に関する新しい見解を提示した。氏は、ダーウィン海膨は間違った名称であり、海膨ではなく、全地球的な NW-SE 方向の地殻沈降帯 (crustal depression) の内部に形成された大規模火山帯であって、"北西太平洋中生代火山帯"と呼ぶのが妥当である、と結論した。氏のいう北西太平洋の地殻沈降帯は The Geologic Map of the World (Scale 1:15,000,000) にもとづいていて、海底地形と、重力や地震トモグラフィのデータが傍証とされる。本稿は、Jatskevich (2000) によるこの Map に関する氏と私の解釈を比較し、北西太平洋における後期中生代の造構 - 火成活動が線状沈降帯の内部に発生したのか、それとも、ドーム状隆起帯の上で発生したのかを考察する。

北西太平洋の海洋地質

Jatskevich (2000) は初めて地球の地質図を刊行し、陸上地質と海底地質を共通の凡例で描出した (図 2)。この地質図には、深海掘削地点、ドレッジ地点と採取試料の年代、音響基盤被覆層の等層厚線、さまざまな時代の堆積物の分布範囲をはじめ、重要なデータセットが含まれている。この Map は、偶然にも、Geological map of the World, Scale 1:25,000,000 (Dercourt, 2000) と同年に発行された。前者に比べると、後者は、海域が岩石や堆積物に関する地質データではなく、地磁気年代によって描かれているために、人為性を強く印象させる。

Jatskevich (2000) によると、太平洋の北西部は主に新生代堆積物 (黄色系塗色) によってひろく覆われているものの、さまざまな時代の地質単元が複雑な分布と構造を示し、このような特徴は陸域地質と同等である (図 2)。注目されるのは、25°N/155°E (日本の南鳥島の近く) と 15°N/180° (太平洋中央海山群) をほぼ中心として広範囲に露出する下部および上部白亜系 (一部に上部ジュラ系を含む) 堆積物である。

北西太平洋における堆積物の層厚と分布

Jatskevich (2000, 図 2) に含まれる追加的データセットのなかから、堆積物の等層厚線、ならびに、後期ジュラ紀 (J₃)、前期および後期白亜紀 (K₁ および K₂) 堆積物の分布範囲が、図 3 に抽出された。

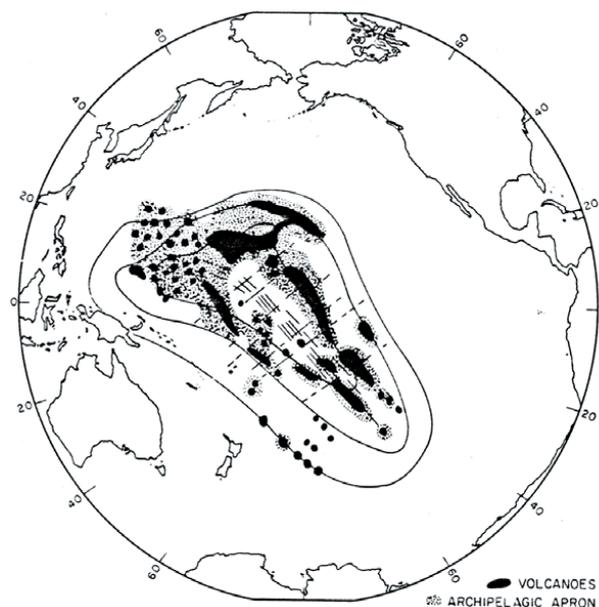


図 1 後期中生代のダーウィン海膨の仮想的復元 (Menard, 1964)。

等層厚線図によると、伏在火成岩類をおおう堆積物の層厚は一般に 400m 以下である。10°N ~ 30°N や、西半球の 0° ~ 10°S では 200m 以下にまで減少するいっぽう、例外的に、0°/167°E 周辺では 1000m 以上に達する。

青色破線で囲まれた後期ジュラ紀 (J₃) 堆積物は、25°N/160°E および 5°N/167°E 周辺の 2 領域に分かれて分布する。前期白亜紀 (K₁) 堆積物の分布は 5°N ~ 42°N/152°E ~ 168°E の範囲に拡大し、5°N/167°E 周辺および上述した例外的厚層域にも小分布する。後期白亜紀 (K₂) 堆積物は、北西太平洋の全体に拡大する。このような時間とともに拡大する堆積物の分布様式 (図 3) は、すでに Choi and Vasiliev (2008) および Choi (2014) によって指摘された重要な特徴である。

考察

上述した太平洋北西部の地質 (Jatskevich, 2000) に関する概観にもとづいて、以下では、北西太平洋の後期中生代造構 - 火成活動が線状沈降帯の内部に発生したのか、それとも、ドーム状隆起部の上で発生したのか、を考察する。

不明瞭な NW-SE 方向の中生代堆積盆地軸

Choi (2014) は、次のように結論した (p. 97): (1) 厚いジュラ紀 ~ 白亜紀堆積物が……, この中生代堆積盆地軸に沿って発達した。(2) ダーウィン海膨は間違った名称である。それは、造構運動および海底地形からみて、海膨ではない。(3) 中生代堆積盆地軸は、北西太平洋における明瞭な線状の NW-SW 方向の盆地形成軸であり、ジュラ紀以降に沈降しつづけてきた。これらの結論は、後期中生代堆積物の分

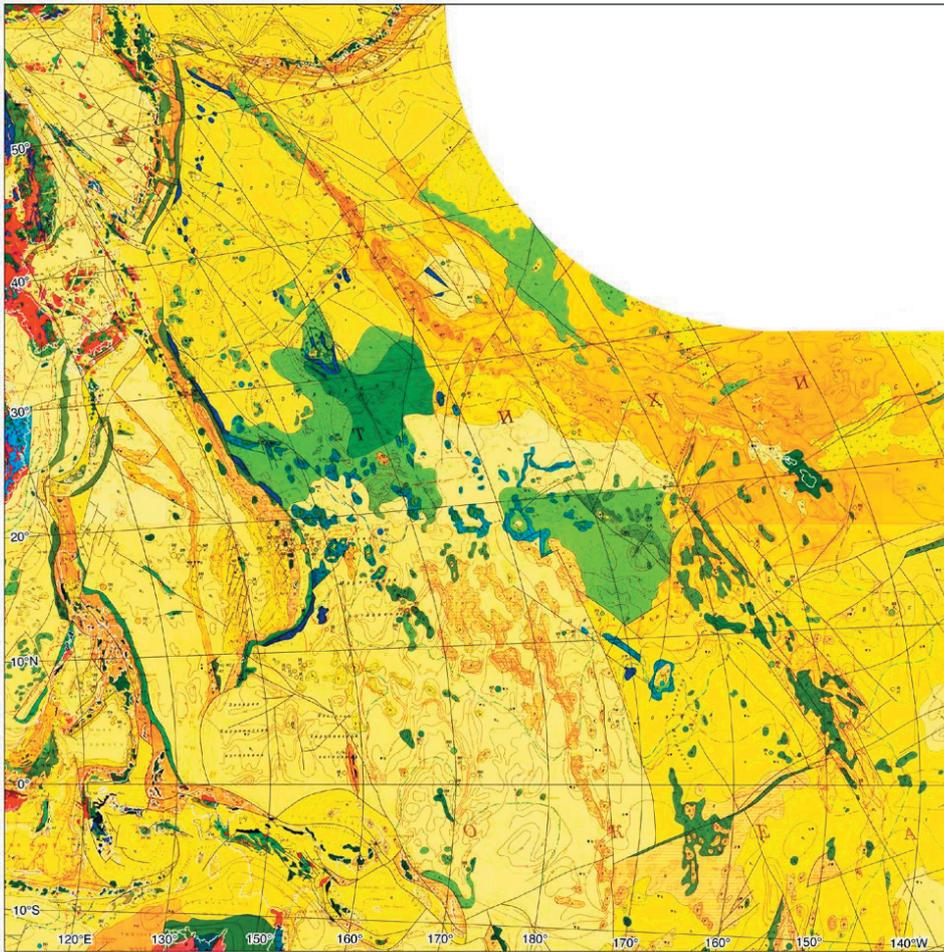


図2 北西太平洋の地質図, Jatskevich (2000) による The Geologic Map of the World (Scale 1:15,000,000) の一部分で, 大陸と海洋が共通の凡例で描かれている. この地質図には, 次の重要な追加データが含まれている: 火成岩・変成岩層を掘削した坑井 (大きい丸) および被覆堆積層までを掘削した坑井 (小さい丸) の位置, ドレッジの地点と採取岩石の年代 (年代コードが付された黒色逆三角形), 被覆堆積層の等層厚線 (褐色線, 単位 km), および, さまざまな年代の堆積物の分布範囲 (ハッチがつけられた破線, 一般的年代指標にしがたって着色・コード化), など.

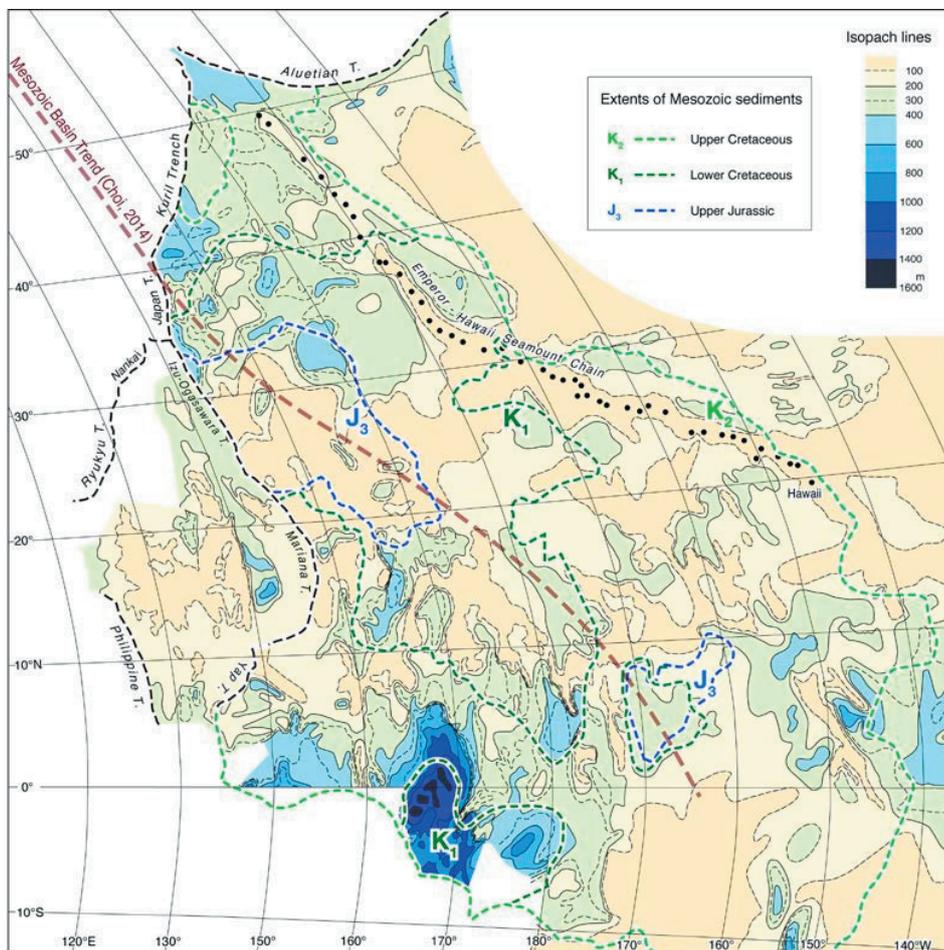


図3 図2から抽出された, 被覆堆積層の等層厚線図, ならびに, 後期ジュラ紀 (J₃), 前期および後期白亜紀 (K₁およびK₂) 堆積物の分布範囲. 褐色の太破線は, Choi (2014) による中生代堆積盆地の主軸.

布範囲 (図2・図3のJ₃, K₁およびK₂) を厚い堆積物を集積した堆積盆地あるいは造構性盆地の輪郭であるとの理解に由来するのかもしれない。

北西太平洋の等層厚線図 (図3) は、北西-南東方向にのびる線状の造構盆地の存在を支持しないだろう。Jatskevich (2000) によると、北西太平洋では被覆堆積層の全層厚がかなり薄く、一般に400m以下で、また、“中生代堆積盆地軸” (Choi, 2014) にかかわる系統的变化を示さない。“先カンブリア時代に由来する全地球的地殻沈降帯” (Choi, 2014) として中生代の造構盆地が存在するというのは、氏の定義が定量的でないことを考慮しても、この等層厚線図に関するかぎり明瞭ではない。

白亜系の広域的露出

Vasiliev et al. (2008) は、北西太平洋にみられる古第三紀の広域的ハイエタスについて、次のように記述した。「深海掘削データにもとづくと、北西太平洋の諸盆地には古第三紀堆積物が存在しない。そこでは、白亜紀堆積物が新第三紀～第四紀堆積物に直接おおわれていたり、また、この広大な海域の南部ではジュラ紀～白亜紀層が海底に直接露出し、新生代被覆層を欠いているのが実態である。北西太平洋の150万km²にわたる広大な海域で、古第三紀堆積物が欠けている理由はよくわかっていない。」

構造地質学の観点からみると、新生代堆積物にとりかこまれた2つの広大な白亜系露出 (図1・図3) は内座層 (inlier) であろう。内座層とは、“より

新期の岩石に取り囲まれた岩石の分布域あるいは岩石群” (Neuendorf et al., 2005) である。したがって、白亜系内座層と古第三紀の広域ハイエタス (Vasiliev et al., 2008) の形成は、古第三紀、とくに前期始新世後の全地球的寒冷化 (たとえば、Zachos et al., 2001; Miller et al., 2005) によって底層流が活発化し、残存していたダーウィン海膨の頂部 (図4) が海底侵食によって削剥されたり、広域的な無堆積環境が出現したことにそれぞれ起因すると推論される。いずれにしても、もしChoi (2014, p. 97) の指摘のとおり“中生代堆積盆地軸が少なくとも古生代以降の沈降域であり、今日まで沈降しつづけていた” とすると、広範囲にわたる白亜系内座層の形成は困難であっただろう。

予測されるダーウィン海膨の古海底地形

ギョー高度は、周辺の広域的海底から火山斜面上端の波食面までの比高であり、ギョーが沈水しはじめるときの海面を記録している (Smoot and King, 1997)。以下で使用される“ギョー高度”という用語は、ギョーを覆う堆積物の表面高度ではなく、基盤波食面の高度を示す。

北西太平洋海盆とその周辺における多くのギョー高度にもとづいて、小林ほか (1971) は、ダーウィン海膨北西部の一部における白亜紀の海底地形を復元した (図5)。彼らの復元はダーウィン海膨の伸長した膨隆地形 (Menard, 1964) に合致しないと考えられたために、彼らはこの仮説にたいして否定的見解を提出した。

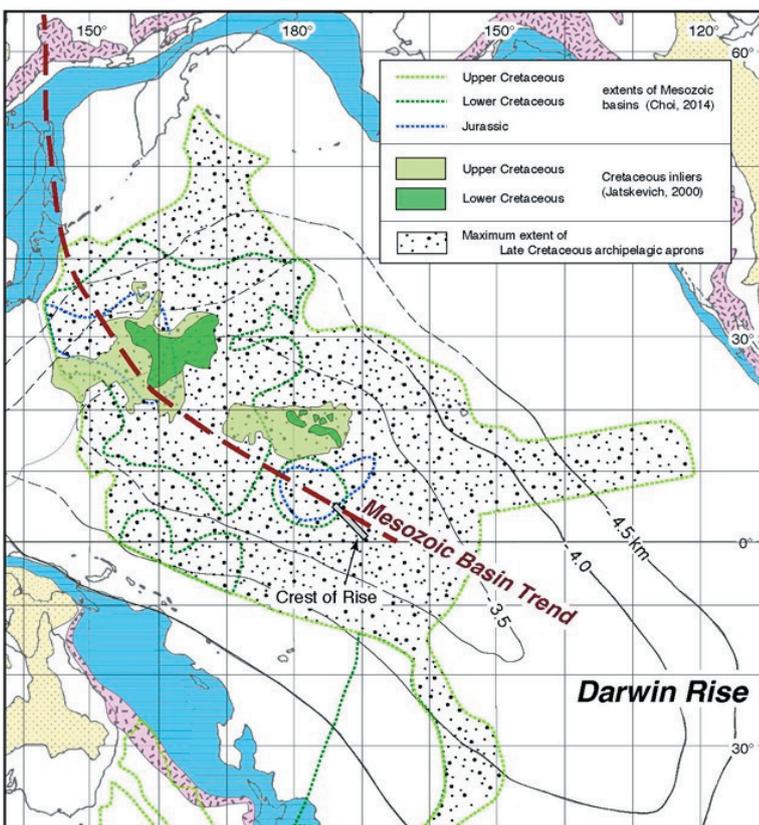


図4 ダーウィン海膨における被覆堆積層の主要分布。中生代堆積盆地の範囲 (破線) と中生代堆積盆地軸 (褐色太破線) は、ともにChoi (2014) による。海底下の下部・上部白亜系の分布範囲は、Jatskevich (2000) にもとづいて描かれたもので、新生代堆積物 (黄色系に塗色: 図1) に取り囲まれている。ダーウィン海膨は等深線 (Menard, 1964: Yano and Wu., 1997) によって概形が示されている。

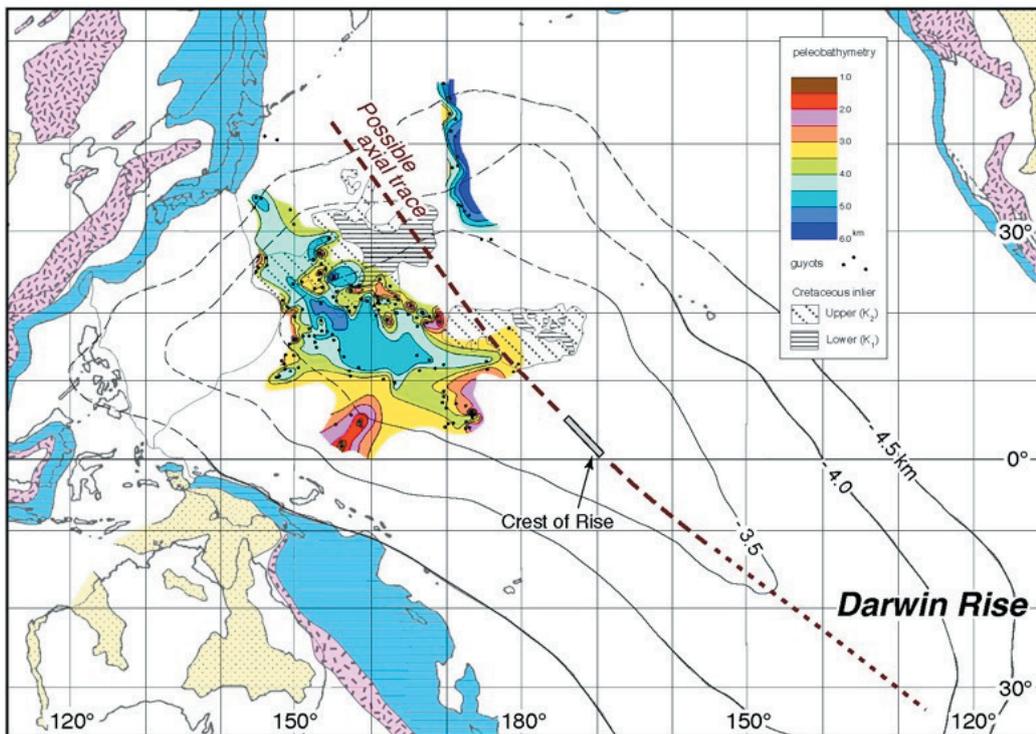


図5 ダーウィン海膨北西部において、多くのギョーの波食面比高にもとづいて復元された古海底地形 (Kobayashi et al., 1971) および白亜系露出 (Jatskevich, 2000, 図3参照). 想定起伏および海膨頂部は Menard (1964) による.

ところが、小林ほか (1971) が復元した古海底地形 (図5) は、NW-SE方向の一般的構造方向、南東へ浅くなる海底起伏、および、現在の北西太平洋の深海平原に比べて、1,000 ~ 2,000mの全般的上昇を示す。この古海底地形は、ダーウィン海膨に想定された膨隆地形 (Menard, 1964) に比べてより短波長 / 大起伏の地形特性を示す。これらの複雑な起伏は、高い地温勾配と龐大な火成活動をともなった白亜紀の海洋底変動の地形的表現であった可能性がある。もしそうならば、ダーウィン海膨の実際の海底地形は、Menard (1964) のイメージよりもはるかに複雑であったことが予測される。

小林ほか (1971) の古海底地形に白亜系内座層を重ねあわせてみると (図5)、ダーウィン海膨の軸跡は海膨頂部 (Crest of Rise: Menard, 1964) を通って、千島列島へ向かって延びていたことが示唆される。ダーウィン海膨の詳細な古地形を復元するためには、太平洋全体にわたる最新のギョー高度データを解析することが必要である。

結 論

Choi (2014) は、西太平洋の後期中生代造構 - 火成活動がNW-SE方向の線状沈降帯の内部に発生したことを提案した。この提案は、西太平洋が後期中生代のドーム状隆起 (図1; Menard, 1964) を経験することがなかったことを意味する。しかしながら、Choi (2014) が提唱した線状沈降帯は、Jatskevich (2000, 図2・図3) の地質データに矛盾する。

ダーウィン海膨は、千島列島へ延びるNW-SE方向の

軸跡および短波長 / 大振幅の複雑な地形起伏 (図5) に特徴づけられ、後期中生代にしだいに活性化化した山体形成 (OIBタイプ) 火山活動 (Yano and Wu, 1997; Yano, 2014b) にともなって拡大した周海山緩斜面群 (図4) におおわれたと考えられる。前期始新世後の全地球的寒冷化によって底層流が活発化し、残存していたダーウィン海膨の頂部が侵食されて白亜系が内座層 (図4・図5) として露出するとともに、北西太平洋における古第三紀広域ハイエタスが形成された可能性がある。

ダーウィン海膨の古地形を詳細に復元するためには、太平洋全体にわたるギョー高度の古地形解析ならびに周海山緩斜面堆積物の古環境解析が必要である。復元のためには、国際的 / 学際的研究計画の組織が望まれる。

謝辞：ダーウィン海膨にまつわる討論の開始に際して、編集者が私に送ってくれた次のことばを、ここに再録しておきたい：「討論はいつも私たちの考え方を激励し、真実の理解を助けてくれる」。氏の親切な激励によって、この海膨に関する私の研究は大きく前進した。私は、The Geologic Map of the World (Scale 1:15,000,000) からたいへん多くのことがらを学ぶことができた。McGraw-Hill EducationのCynthia Aguileraからは、図面の著作権について親切なご教示をいただいた。私は、D.R. Choi, B.A. Jatskevichと彼の共著者、C. Aguilera, そして、私たちダーウィン海膨に関する以前の共同研究の共著者呉 根耀と松本征夫に、厚く御礼申し上げる。

文 献

- Choi, D.R., 2014. Tectonic framework of the “Darwin Rise”. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, n. 4, p. 94-98. Choi, D.R. and Vasiliev, B.I., 2008. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 1. Mesozoic basins and deep-seated tectonic zones. *NCGT Newsletter*, n. 46, p. 28-34.
- Dercourt, J. [ed.], 2000. Geological map of the World, Scale 1:25,000,000. Commission for the Geological Map of the World and UNESCO.
- Hess, H.H., 1946. Drowned ancient islands of the Pacific Basin. *Amer. Jour. Sci.*, v. 244, p. 772-791.
- Hess, H.H., 1962. History of ocean basins. In: Engle, A., James, H. and Leonard, B. (eds.), *Petrological Studies: A Volume in Honor of A.F. Buddington*, p. 599-620, *Geol Soc Amer.*
- Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. The Geologic Map of the World (Scale 1:15,000,000). Ministry of Natural Resources of the Russian Federation.
- Kobayashi, K., Sato, T. and Isezaki, N., 1971. Sea floor of the West Pacific Ocean – as a touchstone of the hypothesis of sea floor spreading. *Kagaku*, v. 41, p. 209-220.*
- Larson, R.L., 1991. Latest pulse of Earth: Evidence for a mid-Cretaceous super plume. *Geology*, v. 19, p. 547-550.
- Larson, R.L. and Schlanger, S.O., 1981. Geological evolution of the Nauru Basin, and regional implications. In: Larson, R.L., Schlanger, S.O., et al., *Init. Repts. DSDP*, v. 61, p. 841-862, Washington D.C. (U.S. Govt. Printing Office).
- Mckenzie, D.P., 1967. Some remarks on heat flow and gravity anomalies. *Jour. Geophys. Res.*, v. 72, p. 6261-6273.
- Menard, H.W., 1964. *Marine Geology of Pacific*. McGraw-Hill, New York, 255p.
- Menard, H.W., 1973. Very like a spear. In: Cecil, C.J. (ed.), *Two Hundred Years of Geology in America. Proceedings of the New Hampshire Bicentennial Conference on the History of Geology*, p. 19-30, University Press of New England, Hanover, N.H.
- Menard, H.W., 1984. Darwin Reprise. *Jour. Geophys. Res.*, v. 89, p. 9960-9968.
- Miller, K.G., Kominz, M.A., Browning, J.V., Wright, J.D., Mountain, G.S., Katz, M.E., Sugarman, P.J., Cramer, B.S., Christie-Blick, N. and Pekar, S.F., 2005. The Phanerozoic record of global sea-level change. *Science*, v. 310, p. 1293-1298.
- Neuendorf K.K.E., Mehl, Jr., J.P. and Jackson, J.A., 2005. *Glossary of Geology*, Fifth edition. American Geological Institute, 779p., Alexander, Virginia.
- Schlanger, S.O. and Premoli Silva, I. 1981. Tectonic, volcanic, and paleogeographic implications of redeposited reef faunas of Late Cretaceous and Tertiary age from the Nauru Basin and the Line Islands. In: Larson, R.L., Schlanger, S.O., et al., *Init. Repts. DSDP*, v. 61, p. 817-827, Washington D.C. (U.S. Govt. Printing Office).
- Smoot, C. and King, R.E., 1997. The Darwin Rise demise: the western Pacific guyot heights trace the trans-Pacific Mendocino fracture zone. *Geomorphology*, v. 18, p. 223-235.
- Smoot, I.A., 2014a. –Darwin Rise– Sisyphus and oceanography. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, n. 3, p. 41. Smoot, I.A., 2014b. Sisyphus and the Darwin Rise. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, n. 3, p. 54-60.
- Winterer, E.L., 1998. Cretaceous karst guyots: New evidence for inheritance of atoll morphology from subaerial erosional terrain. *Geology*, v. 26, p. 59-62.
- Yano, T., 2014a. Tectonic development of Pacific Ocean and its periphery: a constraint on large-scale rotations of lithospheric blocks. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, n. 2, p. 54-68.
- Yano, T., 2014b. Late Mesozoic tectono-magmatism in the West Pacific Ocean –Did the Darwin Rise demise or revive? –. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, n. 3, p. 42-54.
- Yano, T. and Wu, G.Y., 1997. Late Mesozoic geodynamics interrelating Circum-Pacific mobile belt and Darwin Rise. *Jour. Geol. Soc. Philippines*, v. LII, p. 235-271.
- Yano, T. and Wu, G.Y., 2006. A tectonic model of Pacific genesis. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, v. 60, p. 197-211. **
- Yano, T., Matsumoto, Y. and Wu, G.Y., 2001. Pacific genesis induced from Phanerozoic reheating of upper mantle. *Himalayan Geology*, v. 22, n. 1, p. 51-64.
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. and Billups, K., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, v. 292, p. 686-693.

(* in Japanese, ** in Japanese with English abstract)

随 筆 ESSAY

グローバルテクトニクスが ‘不健全な科学’ になったとき When global tectonics became a ‘pathological science’

Karsten M. STORETVEDT

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

(杉山 明 [訳])

“科学が道を誤るとき、科学界はその中にじゃま者が入ってくる蟻の巣のように反応する。蟻は侵入者に群がって巣のために命を捧げようとする。”科学の場合、犠牲になるのは人間の体である：その問題が起こることを許した ‘ヒューマンエラー’ に責任を負うのは体である。

H. コリンズ・T. ピンチ：ゴーレム^{*1} (1998) より

*1 ゴーレム (Golem)：ユダヤ神話に出てくる人造人間。力持ちではあるが愚か者。イギリスの科学社会学者 Harry Collins (1943～) と社会学者 Trevor Pinch (1952～) は科学をこのゴーレムにたとえ、それとの接し方を論じた。この本の副題は「科学について知っておくべきこと」となっている。(訳者注)

“科学における判断はどれも錯誤と隣り合わせであり、個人的なものである。我々は誤りに陥りがちではあるが、科学は我々が知ることのできるものに対する感謝の印である。最後に、オリバー・クロムウェルの言葉：”私はあなたに、キリストの憐れみにおいて、あなたが間違っているかもしれないと考えられることを切に願う”。

J. ブロノフスキー：人間の進歩^{*2} (1973) より

*2 人間の進歩 (The Ascent of Man)：ポーランド生まれの英国人で数学者・生物学者・科学史家である Jacob Bronowski (1908-1974) による著作のタイトル。人類の起源から現代文明まで、人間の手が何を作り、頭脳が何を考え出したか、その創造と探究の歴史を記述した科学技術史・文化史。(訳者注)

科学者は人間である

広く信じられているにもかかわらず非常に問題のある科学的主張はたくさんあるが、それらは ‘不健全な科学’ – 存在しない事柄もしくは現象の近親交配的で自己欺瞞的な増殖 – のカテゴリーに陥る可能性がある。 ‘不健全な科学’ という言葉は 1953 年 12 月 18 日にハーバードのノル (Knoll) 研究所で行われた非公式討論会で 1932 年のノーベル化学賞受賞者ラングミュア (Irving Langmuir) が初めて使った。科学史に見出される多くの意味深い例にもとづいてラングミュアは科学界がつまづいて落ち込む可能性のある穴 – 最後は “そうではないものの科学” で終わる – を論じた。彼自身の言葉では：“何ら不正行為は含まれていないが、人間が自分自身に対してなすことができることについての理解不足から、主観的効果、願望的思考、限界相互作用によって道はずれるという方法で騙され、間違った結論へと導かれるケースがある” (Langmuir and Hall, 1989 を参照)。

ラングミュアは、不健全な科学は真の理解もしくは新たな発見という観点からの実り多い研究では

なく、事実観察の複雑な寄せ集めと歪んだデータを背景にして考え出された裏付けのない下位理論だけをもたらしと指摘した。このようにして判断を誤った幼稚な包括的見方が根付くと、それは極めて長期にわたって真の科学的発達を阻害する。Christina Hoff Sommers (1996) は ‘不健全なジャーナリズム’ が混乱を増幅するにちがいないと示唆した。本誌の多くの読者は今日の学校や大学の地球科学の教科書 – 明らかに欠陥のあるプレートテクトニクスモデルが行き渡っている – が地球について人を誤らせる考え方を強め、従って不健全なものとして分類されるべきであるということに十分同意なさるだろう。

支配的な科学的伝統は、常に、真実と真実のように見えるが実際には間違ったゆがんだ事実との複雑な絡み合いでできている。科学的努力は一般に願望的思考、政治、資源の流通と開発、競争好きな自我、権威に対する闘争、その他多くの社会心理学的要素といった関連性のないさまざまな要素の混合物である。科学におけるこの関連性があつたりなかつたりする ‘力’ の集合体を記述するためにクーン (T. Kuhn) はパラダイムの概念を用いた。ほぼ 50 年にわたってプレートテクトニクスは目を見張る (?)

地質科学の進歩を導いたとして、しばしばプレートテクトニクスパラダイムと呼ばれてきた。しかしながら、この可動的な世界観 - ‘新しいグローバルテクトニクス’ を意味する - はすぐに過度の感情的で出世主義的な困りものをたくさん抱えた。こうして ‘プレートテクトニクス’ に包囲された特有の研究活動はかなり退屈なパズルを解く活動になってしまった。その初期段階に当たる 1960 年代後半以降、プレートパラダイムの補完的メカニズムと基本的な前提は不明確で変わりやすいことが許されてきたので、今日ほとんど誰も最先端を適切に見渡すことができない。基本的考えの強固な核心部は絶えず育ってくる補完的な仮説とその場限りの解決策の連鎖によって直接的な攻撃から守られてきている。出世第一主義とその他の学術的利益のためにもこの事が恐ろしく道はずれていることに気づいている人たちはむしろ静かにしていることを好む。大陸の岩石の古地磁気研究と海洋の磁場調査の組み合わせに基礎を置くプレートテクトニクスは、グローバルな地質をほんの僅かしか理解していないように見える地球物理学者によって遂行されてきた。この専門的な疎外は深刻な結果をもたらした：ますます通俗化するモデルにとって不都合な重要事実は真剣に考えられないか、放っておかれた。このエッセーで、私はプレートテクトニクスが根を下ろした 1970 年代初期に分かっていたいくつかの重要な事実に光を当てる；これらの事実は、証拠を欠き複雑で信用できないからという理由で新しいパラダイムの創始者たちをためらわせたはずである。

1960 年代：進展する海洋底拡大；無視された不都合な証拠

その初めから海洋底拡大仮説 (Dietz, 1961; Hess, 1962) - 新たな地殻物質が絶えず注入されると考えられた大洋中央海嶺に沿う対流の湧き上がりによって引き起こされた大陸の水平方向の漂移という所要の駆動メカニズムを備えた - は強い反対にでくわし

た。例えば、著名なモーリス・ユーイング (Maurice Ewing) は、彼の世界を股にかけた海洋地球物理調査にもとづいて、主要な大陸の相対的位置は大きくは変化しなかった (Ewing and Donn, 1963), そして大洋中央海嶺は大陸の山脈の隆起に対応するものであると主張した。ユーイングのアナロジーを受け入れると、大陸環境でも大洋環境でも同じように、地球の線状の山脈地形はディーツ / ヘス (Dietz/Hess) モデルのような長期にわたる定常的な大洋地殻の拡大によるのではなく、ある種の周期的に作用するグローバルな過程に応じて形成されることになる。

モーリス・ユーイングと協同研究者たちは、拡大モデルが大洋中央海嶺上の堆積物の分布パターンに調和するか検討した (Ewing et al., 1966; Ewing and Ewing, 1967). 彼らは海嶺に沿った中央の 100-300km の細長い幅の地帯がむきだしの岩かあるいは極めて薄い堆積物の ‘ポケット’ であることを発見した。しかしながら、海嶺の翼部に沿っては被覆堆積物の厚さはかなり一定で、拡大仮説が示唆するような年代が増すとというよりは、むしろ様な年代を必要とする状態であった。堆積物の厚さの大きな変化はほぼ現在の炭酸塩補償深度より上でよく生じ、それゆえ、その結果は差別的溶解によって影響は受けないと考えられた。結論は、頂部における最近の地殻拡大はありえないことではないが、もしそれが生じたとするなら、その前に翼部堆積物が一様に蓄積する長期にわたる海底の相対的な静止があったというものであった。図 1 は 3 つの大洋中央海嶺に関する堆積物の相対的な厚さの変化を示すグラフである。

Ewing and his co-workers (1966) の結論と幅広く一致する結論が、大西洋中央海嶺の頂部と上部翼部を調査した van Andel and Bowin (1968) により得られた。彼らのデータの可能な説明として二人は以下のように提案した：

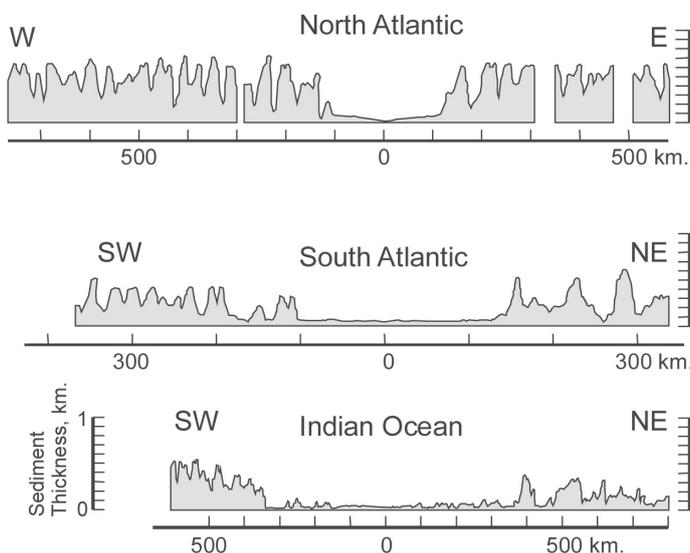


図 1 海嶺頂部からの距離に対する堆積物の相対的厚さのグラフの例。Ewing and Ewing (1967) を簡略化。

“大西洋中央海嶺の形成は、メカニズムは別にして・・・中新世後期以前に終わり、その後、長い造構的静穏期が続いた・・・ここで記載したような大西洋中央海嶺翼部の特徴は、この一連のイベントによって生まれたものであろう。最近、造構活動が頂部に限って再び始まり、それが中央谷のリフティング、翼部の隆起、大量で広範な火山活動を伴う大規模な変形へとつながった。”

言い換えると、van Andel and Bowin (1968) は大西洋中央海嶺の地形的隆起はわずか数 100 万年前であり、それゆえ、大陸の山脈を隆起させたと同じグローバルなパルスであると示唆している。その上、岩石の証拠は海嶺が広範な造構変形を被ったことを示唆した。そのことから大西洋深海部の基盤は海底拡大モデルが予想するよりずっと複雑であることは明らかである。

中央大西洋に産する異常な岩石と岩石年代の報告は 1883 年のタリスマン (Talisman) 探検以来知られている。その探検は、大西洋中央海嶺の東の深海におけるドレッジで種々の化石に富む古生代の岩石 - 珪質石灰岩・三葉虫化石を伴う片岩・珪岩 - を得た (Furon, 1949)。このタイプの岩石試料は大西洋中央海嶺の東翼に位置するアゾレス諸島の北東のかなり広い地域にわたって散在する海山からもしばしば回収されてきた。‘外来の’化石を検討した Schneck (1974) は、“大礫はほぼ現地性”で、採取地域は“最近の地質時代に沈水した大陸区域と思われる”と結論づけた。これは、種々の大陸性物質が採取されたバルド山 (Bald Mt.) - アゾレス諸島の北の海山 - に対する最も簡潔な説明でもあろう。この海山の研究で Aumento and Loncarevic (1969) は 3 地点からドレッジされた 84 個の試料の 75% が種々の固結した砂岩・片麻岩・角閃岩からなることを見出した。二人は水面下の写真にもとづいて、試料を採取した地点は粗粒の貫入岩と変成岩の複合体のようなものであると結論づけた。バルド山全体が部分的に同化され沈降した先カンブリアの大陸性ブロックであるように思われた (Wanless et al. 1968)。事実、アゾレス地域の大西洋中央海嶺のかなりの部分は大陸性の基盤をもっているように見える。Hartung (1860: 詳細は Mitchell-Thomé, 1976 を参照) により最初に記載されたように、第三紀後期の地域的な火山活動の間に引き剥がされた明らかに地殻の断片を示す花崗岩・雲母片岩・珪岩・砂岩・石灰岩などの多様なタイプの岩石の中礫がアゾレス諸島全体にわたって産する。アゾレス諸島の中新世後期～鮮新世の火山活動は、沈降し薄化した大陸地殻を貫いたので、溶岩中の大陸類縁のゼノリスの存在は期待される場所であった。

北大西洋の厚い地殻でできた浅いアイスランド-フェロー海嶺 (Iceland-Faeroe Ridge) は長い間ヨーロッパ

パとグリーンランド/北米の間の昔の陸橋の名残と考えられてきた。したがって、大西洋中央海嶺/断裂帯によって切られているアイスランド台地は溶岩中の大陸性ゼノリスを探すための天然の場所である。Sigurdsson (1968) はこの問題をレビューし、アイスランドにおける多数の花崗岩ゼノリスと酸性火山岩を記載した。これは東部アイスランドに露出する層序断面の 10% 以上に当たる。彼は花崗岩ゼノリスの中にはほとんど結晶分化作用を被っていない組成のものがあることを指摘した。また、彼は、ほとんど全体が再結晶したドロマイトからなる直径 2 cm のサーゼー (Surtsey) ゼノリスが火山灰中に産出すると報告した。そのうえ、シガードソンはブレイドダシエイド (Breidadalshéidi) 産の玄武岩溶岩中の珪岩に似た全体が石英粒からなる包有物を記載した。同様に、Goodrich (1826) はハワイ島の溶岩から粗粒の変成岩の包有物を記載した。

プレートテクトニクスの文脈ではそのような観察は謎であり、それゆえ自然の異常として片付けられる傾向があった。1992 年の北歐テクトニクス会議 (スウェーデンのタムンストランドで開催) で、私はプレートテクトニクス概念の矛盾 - その枠組みではアイスランドを理解することは困難であることを含めて - について講演した。私がシガードソンによって報告された矛盾した岩片について述べたとき、私は非常に腹を立てたアイスランドの地球物理学者によって突然遮られた。彼のかんしゃく声は非常に大きく激しかったので、私も聴衆もショックを受けた。しかしながら、彼は私が提示した事実に対して実質的な議論は全くしなかった: 彼の爆発は純粹に感情的なもののように思われた。セッションの後、聴衆の中の多くの人が私の周りに集まり、私に彼のバランスを欠いた態度をあまり深刻に取り上げないよう説得した; 科学とは全く関係がないと彼らは言った。

科学的‘構造物’が一旦足場を得て、堅固な科学的支配層に対する基本的信条として奉仕しながらその基本的問題が無視されるか全く視線を向けられないということは実際に矛盾したことである。否定的であることが分かる決定的な検証はしばしば (再び起こらないであろう) 実験上の‘事故’として無視されるか、不当なその場限りの解釈に服従させられる。自然を計算に入れたそのモデルそのものの適切さは通常本気では考えられない。その状況は、“それはすべて安易すぎて、最初の前提の妥当性を確かめる代わりに、真実ではない、あるいは見当はずれの公式の際限ないつながりを引き出してしまおう”と書いた John Ziman (1978) によって実にぴったりと表現された。

中部大西洋の別な地点では、アトランティス断裂帯に近い中央谷で、2 回のドレッジにより下部中新統のグロビゲリナ軟泥が発見された (Saito et al.,

1966). 彼らはこの証拠が初期中新世以後の海底拡大はないとするのに十分強力な証拠であると考へた; 彼らは中央谷における若い火山活動が起源不明の古い岩石を隠したと示唆した. 拡大モデルと相容れない大西洋中央海嶺でのさらに論争を呼ぶ観察は, 石英 - 正長石 - 微斜長石の碎屑片を含む固い石灰岩が発見されたヴェーマ断裂帯 (Vema Fracture Zone) (赤道大西洋) の頂部におけるものである (Bonatti and Honnorez, 1971). 石灰岩は中新世の浅海起源であることが分かった (Honnorez et al., 1975).

1960年代初期には得られていた大洋基盤の地質学的複雑性に関する情報を無視して, Vine and Matthews (1963) 及び Vine and Wilson (1965) は大洋中央海嶺に沿った水平方向の海底拡大が大洋の玄武岩地殻最上部層の古地磁場異常の原因であると示唆した. こうして海嶺軸に沿った空隙に添加された物質は, 磁鉄鉱のキューリー温度を通過する冷却の間に全体磁場方向の熱残留磁気を獲得したであろう. 地球磁場がその極性を変えるということはすでによく分かっていたので, 地殻の正負の化石磁化の縞が大洋中央海嶺頂部に沿って作り出されてきたと推測された. もし正しければ, 正負の磁気異常の縞が作り出されることになる; 最近の数 100 万年の間の拡大速度が一定であれば, 異常パターンは海嶺中央軸に関して対称的になるはずである. 提案された図式では, 縞状の残留磁化を伴うかなり薄い基盤ブロックが, 海嶺軸部からの距離が増大するにつれて次第に古くなるという一種の古代磁場テープレコーダーを形成した. この海底磁気リネーションの解釈は急速に人気を博した; ヴェイン - マシューズモデルの著しく誇大な自信と人を惑わす単純さが教育システムを通してすぐに広がり始めた. 数年の間に地球科学の文献は数 1000km にも達する距離にわたっての海底磁気異常プロファイルの怪しげな対比に関する論文で溢れかえった. 一旦受け入れられると, 続いて一群の研究が, 認められた海底発達のアイスクロンの正当性を洗練し '確認する' ために精力的に行われた. しかしながら, これらの試みは始めから増大しつづける矛盾した問題に '悩まされた' (詳細は Storetvedt, 1997 and 2003 を参照).

第三紀を通して大西洋は常に約 2 cm/year というハーフプレートで海底拡大してきたということが示唆されてきた (例えば, Dickson et al., 1968; Heirtzler et al., 1968). 今日まで一般にこの結論は事実とみなされている. しかしながら, 1960年代後半までに種々の研究がすでに海底磁気異常の通俗的な解釈がどこか間違っているに違いないということを示唆していた. 例えば, 海底地形・地質と連携した磁場実験は海底磁気異常パターンのすべてが磁場極性の反転と関係していない可能性があることを暗示した (Leyendyk and Melson

1967; Leyendyk et al., 1968; Watkins, 1968; Watkins and Richardson, 1968). 海底磁場が海嶺に平行する顕著な造構性地形の本目 (grain) によって引き起こされるというまったく別の可能性があった. つまり, 海嶺に平行な剪断作用が断層帯に沿ったかなり強い低温酸化と鉱物変質を起したに違いない - 初生の鉄 - チタン酸化物の分解で磁性のない珪酸塩ができることを含む. もしそうなら, 大洋中央海嶺の断面は水平方向に帯磁性コントラストを示し, そこに全体磁場が正負の縞状磁気異常が作られるだろう. もし, もう 1 つのモデルが正しければ, 線状の海底磁気異常はヴェイン - マシューズモデルが予測する年代アイソクロンではなく, 大洋基盤内の造構性剪断組織を表わしていることになる.

1960年代後半までに単純な拡大 - 極性モデルが多くの問題に悩まされ, 期待された大洋熱流量は簡単には期待された対流冷却モデルに適合しないことが明らかになった. 熱流量の測定数は増加したが, 拡大モデルから期待される理論値とはかけ離れた. 例えば, 海嶺の頂部では熱流量値が大きくばらつき, 平均値は大洋盆や大陸の平均値に近いことが見出された. しかしながら, 単純な拡大モデルは増え続ける野心的な若い地球科学者の心にすでに根を下ろしていた. そのため, そこではほめかされた発言はどんなものでも新しいグローバルテクトニクスシステム - 1968年からプレートテクトニクスと呼ばれた - にとって危機的問題であり, (上述した例のように) 非常に攻撃的な反応を引き起こした.

それにもかかわらず, 海底の年代を決定する海底磁化方法は一連の立証されていない仮説にもとづいていたので, さらに直接的な確認が必要であると認められた. 深海掘削プロジェクト (DSDP) は南大西洋の Leg 3 で直接この目標に向かった. 主要な目的は海洋堆積物を基盤まで掘り抜き, 結晶質基盤を直接覆う堆積物の古生物学的年代を決定することにより磁気的に基礎づけられた地殻の年代を確定することであった. 最初の予察的結果によると, Leg 3 のデータは Heirtzler et al. (1968) の拡張された磁気異常タイムスケールに完全に合致した. しかしながら, そのような状況では科学的検証はしばしば大きすぎる期待の圧力により影響を受ける; 多くの出世第一主義の若い研究者は都合のよい掘削結果に依存し, 期待は検知された結果に影響を及ぼした.

1969年のニューキャッスルにおける NATO 科学会議での南大西洋における予察的掘削結果に対する大喝采にも似た反応を私はよく思い出す: それは我々の時代に地球科学がどれほど目覚ましい発展をしているかを示した. しかしながら, 1年後に詳細な結果 (Maxwell et al., 1970) が得られたとき, 集まったデータを注意深く評価するために時間をかけた我々は不意を打たれた. いくつかの地点に関して,

結論は得られていた結果と調和しなかった (討論については Storetvedt, 1997 and 2003 を参照). ほとんど普遍的に受け入れられている海底拡大モデルに対して支持を得るための圧力 / 期待が Leg 3 の研究者を事実観察で妥協させてしまったことは明らかであった. その時期の私はというと, 地点ごとに回収された岩石情報を学生たちと討論しながら自分が見出したことを語り始めた.

今まで拡大モデルは塹壕を掘って, 不安な, あるいは調和しない事実によって悩まされないようにしていたので, そのメッセージは DSDP Leg 3 がしばしば大学の教科書で強調されている海底拡大モデルを確認したということであった. 例えば Bott (1982) は彼の著書である「地球の内部」で Leg 3 のデータは科学的に特別重要であると述べている: “そのデータはヴァイン-マッシューズ仮説と海底拡大理論の予言を初めて直接立証した. さらに, それはハイツラー (Heirtzler) の地磁気年代尺度の理論的正しさを立証し, 約 ± 1 My の精度で 80 My まで遡って利用できる信頼性を与えた. “しかし, ボッツの賞賛とは対照的にハーバード大学のジョン・ハラー (John Haller) 教授は, 1977 年秋のベルゲンにおける客員講義で, 祝福された Leg 3 の解釈はそれまでの有名な年代-距離関係の面で科学におけるダマシの好例であると評した.

個々の地点の情報を批判的に調べると, 岩石学的 / 構造的証拠が噴出型の火山活動を示唆しているのは掘削孔 19 と 20 のみで, Leg 3 の掘削が実際の基盤に近いところまで着底したという証拠は何もないこと

が分かる. さらに, 安定しているとされる海底拡大の場合には系統的な地殻の沈降と頂部からの距離の増大が水深の増大に伴って, 少なくとも炭酸塩補償深度より上では海成堆積物を規則的に蓄積させることが期待される. これらの予測は実際の堆積史と矛盾する. 例えば, Site 21 (リオグランデ海台上) における中新世とそれより若い堆積物はその場での先中新世の地層よりかなり浅い水域で形成され, この南大西洋トランゼクトのすべての地点は顕著な堆積ハイエイタスを示す. 図 2a は南大西洋を横断する中新世の堆積ハイエイタスを示し, 他方, 図 2b は南大西洋の同等の地点 (ブラジル海盆における DSDP site 355) の堆積中断を示している.

図 2 に示された掘削結果は南大西洋海盆全体が第三紀後期に造構的に隆起したことを示唆している. 加えて, site 355 でのマーストリヒチアン・始新世・中新世中期というそれぞれ 3 回の堆積中断 (図 2b) は世界的に (とくに大洋で) 十分確認された広範な造構マグマ活動のイベントと時期的に同じである. 堆積的な証拠に加えて, 示唆された南大西洋地殻の上下動は南大西洋トランゼクトに沿ったマグマ活動を示す層準の年代によっても支持される. さらに, 関連する堆積性不整合とマグマ活動を伴う海底の周期的な振動はおそらくグローバルな現象で, ユースタティックな海水準変動の気まぐれさの究極の原因である.

1960 年代の末期に海底拡大仮説は, 明白な岩石磁気的事実が完全に欠如し, 反証が増大しているにもかかわらず, 地球科学の世界で勝ち誇った前進をしていた. 大洋玄武岩の磁気特性は期待されたもので

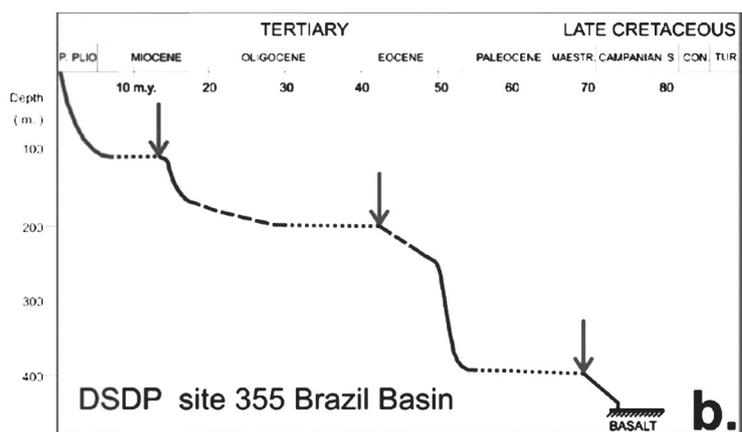
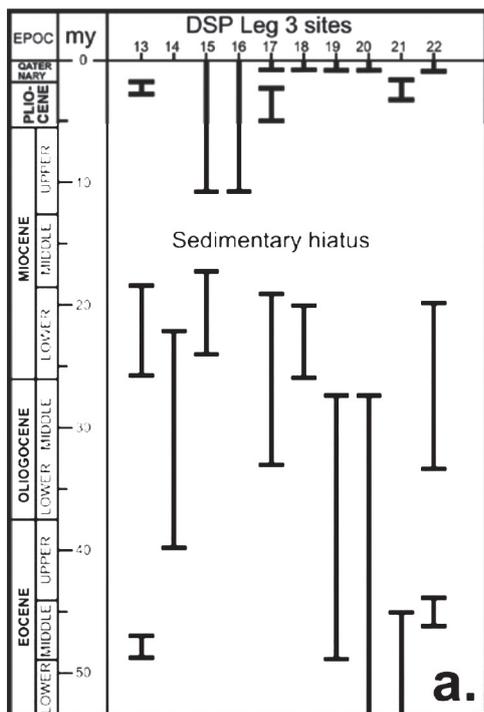


図 2 南大西洋の DSDP 地点 (nos. 13-22) から得られた層序間隙の例を示す図. Leg 3 地点の中期中新世の顕著なハイエイタスに注目 (図 a). 図 b はブラジル海盆の site 355 の堆積史を示す. 層序シーケンスはそれぞれ Maxwell et al. (1970) and Supko et al. (1977) を簡略化.

はなく、大洋中央海嶺を横断する熱流量は一般に異常に低く、海嶺に平行なシート状の岩脈（海嶺軸部に沿ってマグマが充填したと想像された産物）は見出されなかった。当時、私は若く未熟であったが、やる気があり、グローバルテクトニクスの新しい人気のあるトレンドの支持者であった。大陸岩石の再磁化問題に没頭する古地磁気研究者として、私はそのときまで海洋物理を深く研究する時間がなかった。来るべき私の博士論文の試問に関連して幅広い地球物理学的議論に備えようと、私は1969年の夏の数ヶ月を海洋磁気に関するすべての重要な文献 - そのときまでに海底の発達年代を決定するとして崇められていた磁気年代学の基礎 - を注意深く勉強することに費やした。この勉強の間、私はいくつかの問題のある慣行に気がついた。確立された極性年代表（初めは若い大陸性火山岩を対象にした古地磁気測定にもとづいていたが、後には白亜紀末期にまで拡張された）に異常を合わせようとしていくつもの調整可能なパラメータがモデルの異常 - 極性の‘要求’を満足させるために発動された。すべてが失敗すると、‘求め’に応じてリッジをジャンプさせるのが通常のやり方になった。こうして、グローバルテクトニクスの‘目を見張る進歩’はその場限りの変更と願望的思考を搭載した。私は自分が発見した科学的慣行に慄然とした。私はすぐに当時の最も著名な海洋地球物理学者の何人かの中の凝り固まった姿勢を直接見抜く力を得た。

私が海底拡大の論文を注意深く読んでいた間、調査船ヴェーマ (Vema: コロンビア大学の Lamont-Doherty 地質観測所) がノルウェー海の地球物理航海の後、ベルゲンのドックに入った。船がベルゲンにいる間、私は自分が以前に会ったことのある調査チームに挨拶するために出かけていった。ヴェーマでの歓迎は心のこもったものであり、私は船内ツアーを楽しんだ。その後、我々はノルウェー海の地震・磁気記録の巻物が広げられた‘ラウンジ’に腰を下ろした。このチームは明らかに集めたデータの質を自慢していたが、議論が磁場の変化をどのように理解すべきかという問題になったとき雰囲気はかなり‘ザワザワ’した。

私が提起した問題は; (1) 大洋中央海嶺を異なる位置で横断したプロファイルの間の対比は本当に可能か? (2) 異常は海嶺軸に関して実際に対称的か? (3) これらの異常の源は何か? そのような質問は今日でもグローバルな地質学にとって極めて重要であるが、ヴェーマの研究者チームは海洋磁気異常と磁場の逆転の間の関係は真実であり、それを問題にするのは‘不適當である’と確信しているように見えた。おそらく私の - 地質に基礎をおいた - 解釈はその場にある種の不快感を作り出した。私が、別な解釈に賛同したノーマン・ワトキンス (Norman Watkins) の議論に言及した後で状況は

特別ギスギスしたものになった。この時点で議論は事実上終わり、私は自分の訪問を終える方が賢いと思った。私は、科学においてさえ、型にはまった見解と願望的思考が議論と意見交換でどのように支配権を握ることができるのかを改めて経験したのである。数ヶ月後、私は自分の博士論文の公開口頭試問の間、かなりの確信をもって、‘誰もが’それを信じているがほとんど誰もその基本的問題を論じることができないように見えるグローバルテクトニクスの祝福された拡大 - 沈み込みシステムがどこか基本的に間違っていると結論づけた。したがって、すでに1970年頃までに‘新しいグローバルテクトニクス’は‘不健全な科学’としての特徴的な耳印を獲得したように思われた。

太平洋—プレートテクトニクスにとって克服できない難問

大陸と大洋の密接な造構的關係

世界の大洋の磁気調査に初めて大きな興味を抱かせたのは1960年代後半の北東太平洋における正負が交互する海底磁気リネーションの発見であった (Mason, 1958; Mason and Raff, 1961; Raff and Mason, 1961)。かなり狭い南北方向の異常がおおむね平坦で厚い堆積物が分布する深海平原の全域を支配しているのが発見された。しかしながら、縞状の南北方向のリネーションは明らかに大洋基盤のねじれ変形を伴っていた。図3に示されるように、(a) 個々の異常はややカーブした波状の形を有し、(b)

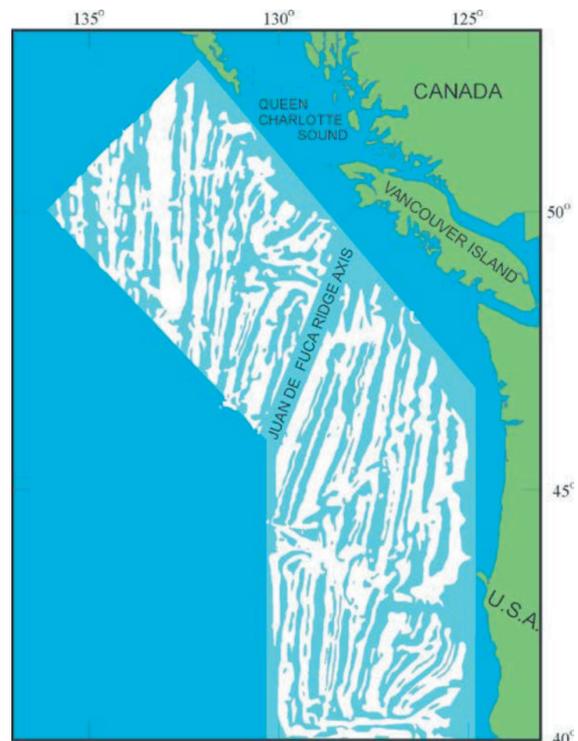


図3 この図は正の異常を白色で表した北東太平洋の海洋磁気異常を示している。本図はRaff and Mason (1961) にもとづく。多数の切り合う断層帯を伴う磁気リネーションがしばしば曲がっていることに注目。

異常が主異常システムに直交するところが2対あり、(c) ワシントン州沖では大規模な剪断帯が地殻を斜めに裂いている。したがって、これらの観察は大洋地殻がかなり強力な変成作用と剪断過程を被ったという増え続ける証拠をさらに増やした。

だから、Mason (1958) は規制された海洋磁気異常とサンアンドレアス断層に沿った走向変位は、おそらく隣接する薄い太平洋地殻を変形させた北米の西への動きに関連するという1つの造構仮説で十分説明できるだろうと示唆した。この仮説で彼は、北米西部沖の海洋磁気データによって示された造構性構造は隣接する大陸縁辺帯に沿った‘一次オーダー’の造構性構造と密接に関係している可能性があるとして示唆した。この海洋調査と時を同じくして、大陸の古地磁気学が大陸漂移の面白さに目覚め、示唆されたヨーロッパに対する北米の西への動き (Runcorn, 1956; Irving, 1956; Creer et al., 1957) は北東太平洋地殻の造構運動と何らかの関連があると見なされた。メイソンと彼の協同研究者によって発見された海洋磁気パターンは、造構過程の面で大洋地殻は大陸地殻と異なることを示し、その事実は大西洋からしばしば採取された変成岩とも調和するように思われる。

大洋と大陸の明らかに密接な造構関係の別な例がチリ南部縁辺と関連するチリ海嶺の調査で示された。33°Sのチリ縁辺は実際には堆積物で充填されていることが分かったが、これらの堆積物は平らで変形していないと記載された；この堆積物は仮想的な沈み込みで形成された付加コンプレックスではない。チリ南部縁辺はほとんど地震やこれといった火山活動がない(Hayes, 1974)ので、Scholl et al. (1970) 及び Hayes and Ewing (1970) はこの地域が簡単に感知できるほどの造構圧縮や沈み込みはしていないと結論づけた。さらに、ずっと北の8°Sと32°Sの間の海溝も実際には堆積物を欠いており、プレートテクトニクスによれば沈み込み過程にある大規模な非震性のナスカ海嶺は、海溝もしくは大陸斜面の地形にそのことを示す明らかなるものは何も示していないことが分かった (Hayes, 1974)。

それゆえ、チリ南部の太平洋縁辺がなぜ目立った地震活動を欠き、他方、ずっと北の縁辺(チリ北部、ボリビア、ペルー)に高い頻度でしばしば非常に強い地震が生じるのかは全く謎である。43°S付近でチリ縁辺に接している起伏が大きく著しく破碎されたチリ海嶺(図4)は、地震活動の活発ないくつかの大規模な‘E-W’方向の断層帯によってずれているのが発見された(Hayes, 1974)。チリ海嶺の起伏に富む翼部は比較的平滑な東太平洋海膨と著しく異なっている。この証拠は、古地磁気データから推測される南米南部のいかなる動きもチリ縁辺に沿った横ずれ圧縮の動きによって影響を受けることはな

かったことを示唆した。比較的穏やかな動きが、薄くてそれ故に一層変形しやすい南西太平洋の地殻の造構変形により調整されたように見える。大陸と隣接する大洋のリソスフェアが実際に一体化したブロックとして動き、このとき機械的にはるかに弱い大洋基盤は剪断変形を被ったという証拠がさらに存在したのである。1960年代に時折議論されたように、海洋磁気リネーションの背後のメカニズムとして帯磁性コントラストモデルが受け入れられるならば、大洋地殻の造構剪断作用は自然な原因になるであろう。

示唆された沈み込み過程はチリ北部-ボリビアの縁辺に沿って最も強く表れたと思われる。このように、岩相等層厚線の研究(Miller, 1970; Isaacson, 1975)にもとづく、中部アンデスのクラトン内部盆地の厚い浅海~非海成のデボン系はボリビア及びペルー北部沖の古い陸塊(図5の古地理概略図を参照)に由来したものに違いない。額面通りに受け取ると、その後、南西太平洋内に推測される大規模な陸塊は地殻下部の薄化と沈降を被り、高くそびえるナスカ海嶺(図5参照)は示唆された古陸の改造された最も小さな断片であるということになる。ナスカ海嶺からドレッジで得られた花崗岩質ブロックがその内陸延長部に存在するものと似ているという事実は図5の古地理モデルに適合する。それゆえ、チリ北部・ボリビア・ペルーの太平洋縁辺沿いの強い地震活動を仮想的な沈み込み過程に結びつけることは難しい。

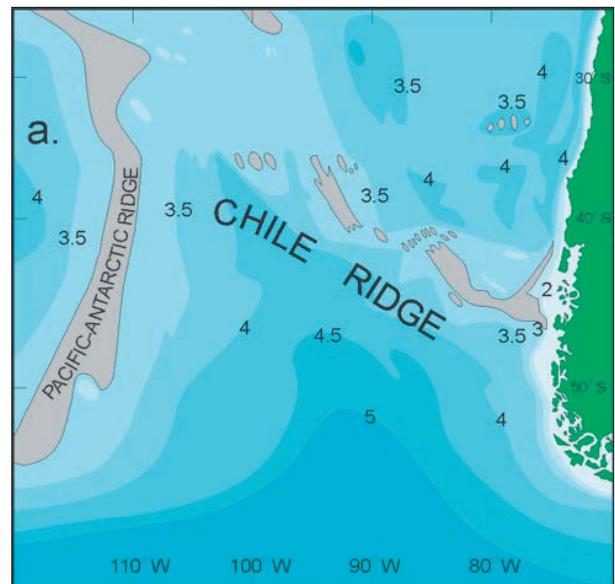


図4 この図は3kmの等深度線で輪郭が描かれた分裂したチリ海嶺を示している(Herron and Hayes, 1969)。示唆されるNNW-SSEの剪断組織は単純な海底拡大と沈み込みモデルとは矛盾する。チリ南部沖の太平洋地殻は、(1950年代及び60年代の古地磁気学的研究で示唆されたように)南米のある程度の西への回転を伴う浸透力のある剪断変形を被った。仮定されたリソスフェアのねじれの中で南米南部と隣接する太平洋のリソスフェアは結合した造構塊を形成したように見える；しかしながら、この過程で機械的に薄くて弱い大洋基盤は内部剪断とそれに関連する変成過程を被った。

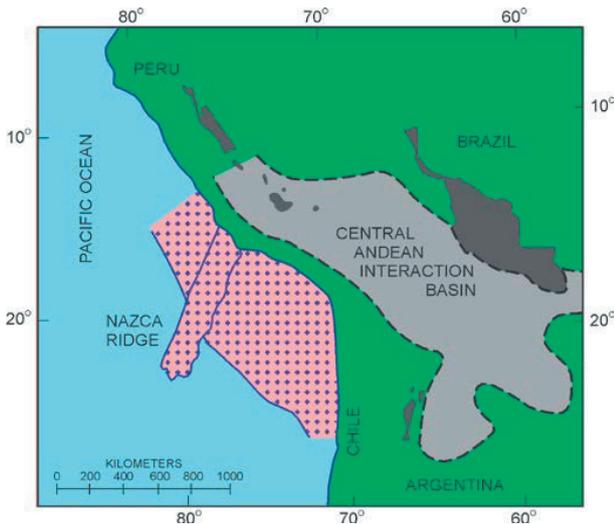


図5 この図はデボン紀の中部アンデスの模式的な古地理モデルを示している - 部分的に Isaacson (1975) にもとづく. 大きなクラトン内部への砕屑物質は, 現在のナスカ海嶺が主要な残骸として見られるかつての西側の陸塊 (その領域を十字で示した不確かな概略の輪郭) から供給されたと推測される. 暗灰色の内陸地域は変成岩と火成岩が露出する地域である.

大洋と大陸のテクトニクス間の密接な関係のもう1つの例が日本の本州弧周辺の磁気調査によって提示された. 他の環太平洋の海溝に対して注目されたように, 日本海溝は期待された付加コンプレックスを欠いている; 事実, 僅かな量の海成未固結堆積物 (Ludwig et al., 1966) は海溝底部の沈降がごく最近であったことを示唆している. その場合, 低重力 (Heiskanen, 1945) を伴う海溝の起源はマントル対流や沈み込み以外の何か他の原因を考えなければならない. Ludwig et al. (1966) はその海溝の大洋側の壁に無数の '正' 断層を発見し, 相伴うベニオフ帯に沿った走向滑りの性格の可能性が Scheidegger (1963) により早くから指摘された.

Scheidegger (1963) はアジアに関して入手可能な断層面解析をプロットし, “個々の動きを一般化すると, ユーラシア陸塊の相対的に南へ向かう動きがあると言ってもよいかもしい” と結論づけた. 彼の成果は何らかの左水平ずりの剪断作用が北西太平洋のベニオフ帯に沿って生じたことを示唆している; それ故, 彼の結論は増えつづける '沈み込み学者' たちの高い望みとは一致しなかったが, 中部日本沖のねじれた海溝に堆積物が欠如していることとは一致した. Scheidegger によって仮定された南 - 南西の動きは図6に示されている. しかしながら, 他の証拠が深海地域と日本島弧の間の密接な造構関係を示唆した. 図6は Yasui et al. (1967) 及び Uyeda and Vacquier (1968). によって記録された日本周辺の磁気異常を示している. 海洋磁気リネーションの方向性の一致と中部日本の海岸地域に沿って走る右水平ずりの中央構造線は海洋磁気異常の帯磁性コントラストモデルの強力な証拠である. したがって, 大洋地殻全体にわたる剪断作用は岩石の変質とそれに関連する鉄 - チタン酸化物の変

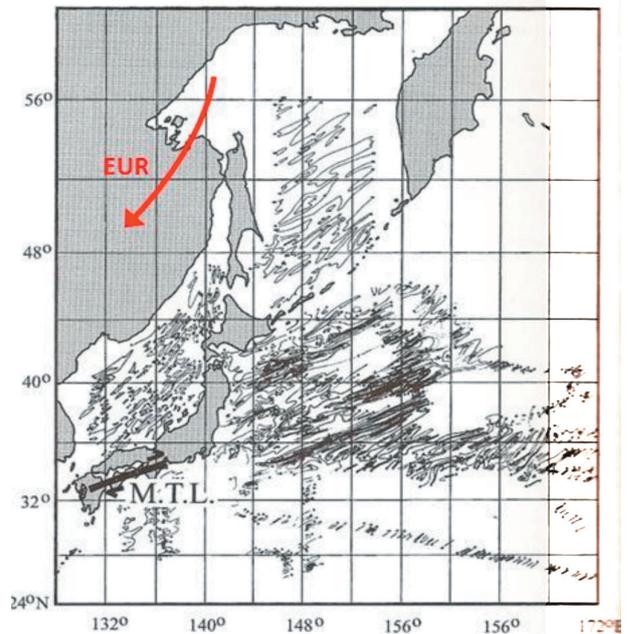


図6 図は北西太平洋の線状の海洋磁気異常の地域的方向を示す - Yasui et al. (1967) and Uyeda and Vacquier (1968) にもとづく. 海洋磁気異常の軸と南日本の顕著な造構性断層帯 - 右ずれの中央構造線 (M.T.L.) - の一致に注目. 深海の異常パターンが日本海やオホーツク海で極めて発達が悪いことにも注目. 地震学的研究 (Scheidegger, 1963) にもとづく同時代のユーラシアの南への移動が赤い矢印で示されている. これらを合わせた証拠は日本海溝に沿った大規模な走向移動はないことを示唆し, アジアと隣接する北西太平洋は時計回りのねじれをしたかなり結合の強い造構ユニットであることを意味している.

化を引き起こし, 初生の化石磁化がどのようなものであれ, それを壊すか著しく弱めた. この証拠は測定された海洋磁場異常が全体磁場の誘導 - 帯磁性の違いに応じた測定磁場の強さ - を最もよく反映することを示唆した.

自然に生じている岩石の変質とそれに関連した磁性酸化物の分解が薄い地殻中の顕著な断層面に沿って進むにつれて, 磁気 - 鉱物学的変質は主要な断層帯から離れるほど弱まり, 大洋基盤の構造的木目 (grain) に垂直なプロファイルは地域的な標準地磁気レベルに対する正負の磁場異常を示すことになるだろう. ヴァイン - マッシュモデルに反するそのような別の解釈についての岩石磁気の基礎は, 最初 Takesi Nagata (1961) の有名な「岩石磁気」という本ですと以前に得られていた. しかしながら, 私の知る限り, (日本地域に関して) このもう1つの磁気 - 造構モデルが議論されることはなかった. 日本海とオホーツク海が全体として中間的な地殻の厚さを有することはすでに知られている (Sugimura and Uyeda, 1973 を参照); このことは, これらの縁海盆が機械的にやや強く, 剪断のされ方が弱かったため, 磁場異常がより弱かったことを暗示する.

北西太平洋に想定される地域的な剪断システムの中で, 薄くて機械的に弱い両側の大洋地殻の間に位置する日本の厚い大陸地殻は造構的不安定に対して傷

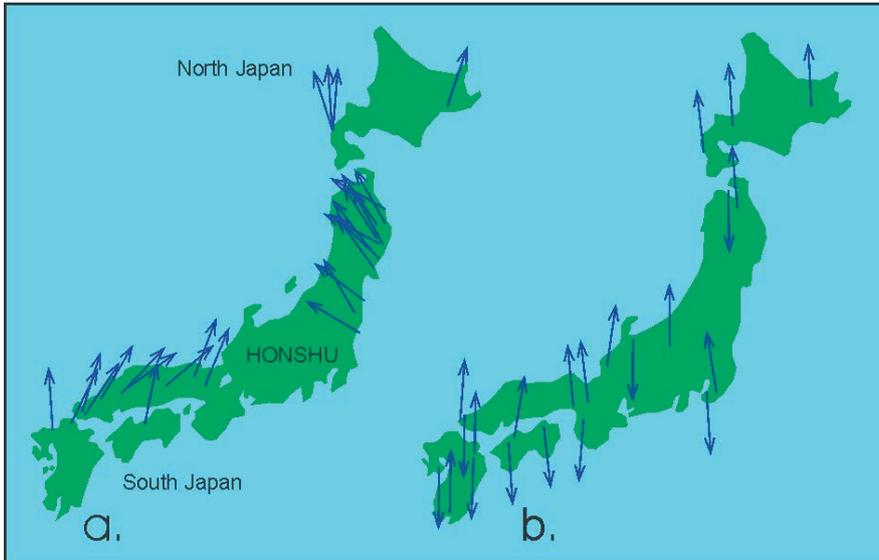


図7 図はそれぞれ (a) 白亜紀後期～第三紀初期, (b) 第三紀後期の岩石から得られた日本の古地磁気伏角を示している。データはKawai et al. 1969 より。本州島の推定された曲がりとは明らかに図6に示された示唆された地域的なESE-WSW方向の地殻剪断によって引き起こされている。

つきやすかったであろう。古地磁気学的研究(Kawai et al., 1961 and 1969; Kawai and Nakajima, 1970) によるそのような変形の証拠が日本の主要な島である本州が折れ曲がって現在の弓形になったことを示している。図7は測定された古地磁気の偏角を示している。このように、化石残留方位は (a) 東北日本の先第三紀の岩石は西南日本に対して反時計周りに動き、他方、(b) より若い第三紀の岩石は何ら系統的な偏角の変化を示さないということを示している。それに伴う造構性の‘断裂線’が本州中央部を横断するN-NW方向の糸魚川-静岡構造線になったように見える。古地磁気と放射年代の組み合わせは日本の折れ曲がり白亜紀後期から第三紀初期に生じたことを示唆している (Kawai et al., 1969; McElhinny, 1973)。

知られざる重大事実

海洋磁気リネーションの解釈によると、太平洋の海底は中生代中期以来少なくとも1回更新され、それゆえ、環太平洋の海溝はその内部縁辺に沿って大量のこすり剥がされ造構化された堆積ウェッジを含んでいることが期待された。しかしながら、反射法のプロファイル (Fisher and Revelle 1955; Ewing, 1963; Ross and Shor 1965; Scholl et al., 1968 and 1970; Hayes and Ewing, 1970; Scholl and Marlow, 1974) は期待された厚く蓄積された堆積物が明らかに欠如していることを示した - 特に、西太平洋に沿ってはそうであり、わずかな (数 100m) の未固結堆積物が基本的には乱されずに存在した。加えて、示唆された沈み込み過程で多数の海山には何が起こったかという問題がある。海底にある時には高さが数 km にも達する山が痕跡も残さずに簡単に沈み込むことができるだろうか? 最も可能性のある結論は海溝地域がごく最近の地質時代に現在の深さまで沈降したということである。

遠洋性及び半遠洋性の海溝堆積物の性質と量を研究

していた Scholl and Marlow (1974) は、“海溝内の掻き剥がされた大量の大洋性の岩屑は、もしそれがそこに存在位するならば、環太平洋山脈の極めて重要な部分を形成するであろう”。しかし、“現代の太平洋の海溝に産する一連の堆積物は、環太平洋の褶曲帯が大量の隆起した海溝堆積物もしくは造構性掻き上げ物質を含むという考えを支持しない”と結論づけた。支配的な仮説が主張するように、もし海底拡大が中生代中期以降太平洋の地殻を再生したのであれば、どのような種類の神秘的な過程が想定される付加フロントに沿って海山を消滅させるのであろうか? その場限りの基礎に立ってでっ上げにより提案された一種の逃避である‘海溝ギャップ’ (Ernst, 1975) は、行方不明のひとかたまりのねじれた大洋堆積物に対しては可能かもしれないが、深海平原から高く聳える海山に対しては不可能である。野心に燃えるプレートテクトニクスモデルの最も本質的なメカニズムが‘面倒な’問題を呈示した: しかしながら、新しい造構世界観の妥当性を維持するために、最も面倒な事実は無視され、重要なものとは認められなかった。

究極的に重要な疑問は、どのようにして島弧が形成されたのか、なぜそれらは太平洋の北縁と西縁に沿ってのみ存在するのかである。さらに、これらの弧の陸側にある縁海もまた北縁と西縁の特徴的な地形であり、東縁に沿っては見られない。そして、海溝の地形に関しても西縁と東縁の間に明瞭な相違がある。西太平洋の外弧の正面に位置する海溝 (マリアナ、ニューヘブリデスその他) は地球上の最大水深を有することに加えて最も目立った地形を示している。比較すると、南北アメリカに沿った海溝は常に浅く、はるかに単純な (?) 地形を有している (例えば Fisher, 1974 を参照)。反対側の縁にある関連したベニオフ帯は構造、傾斜角度、これらの縁での沈み込みの概念を拒絶する地震-造構特性において大きな違いを有することもまた十分証明されてい

る。例えば、東縁では地震帯は圧縮-横ずれ圧縮の特徴を伴って比較的浅い傾斜を有するが、他方、はるかに急なベニオフ帯を伴う西縁では普通は中立-横ずれ引張のテクトニクレジームを示す。

太平洋周辺の初めに提案されたときは単純だった震源面は、後に地域ごとに異なる方位をもった極めて複雑な帯を構成することが分かった (Sykes 1966; Katsumata and Sykes, 1969; Teisseyre et al., 1974; Swift and Carr, 1974)。例えば、Teisseyre et al. (1974) は南米の深発地震帯を研究し、そのデータが、当時人気を博していた単純なプレート消失モデルを支持しないと結論づけた。代わりに、彼らは、ブロックと塊が造構的な変位過程にある高ストレス帯と彼らが解釈した地震チャンネルによって隔てられた非震性帯を発見した。大陸側に傾斜した地震帯のそのような分割された性質は他の場所でも記載された。傾斜した地震帯の上部 20-60km で発生する大きな浅発地震の震源域の研究から、島弧内に横方向の不連続が存在することが報告された (例えば Mogi, 1969; Carr et al., 1973)。Carr et al. (1973) によると、日本列島の分割された地震-造構パターンは、海溝に対して高角をなす幅広い火山性‘リニアメント’によって表わされる表層地質構造に影響した。似たような観測は Gates and Gibson (1956) によってなされ、アリューシャン弧西端の海溝が、海溝に対して 60° の角度で伸びる著しく非対称な一群のトラフによって切られていることが発見された。彼らはこれらのトラフが断層に沿っていて、曲りくねったものでさえ隣接する島弧上の断層に向かっているという事実はこの結論を支持すると結論づけた (Menard 1964)。

太平洋の東西での造構-地形的相違に加えて、その東部が顕著な東西方向の断層帯によって線を引かれているのに対し、西部地域は 2,000 以上の、頂部が平坦で平面的には円形ないし楕円形、かつての相対的な海水面を示唆する 1,500m 前後の頂部水深を有する海山に支配されていることが分かってきた (例えば Menard, 1964 を参照)。これらのいわゆるギョーの多くは最上部に遠洋性堆積物を載せた一連の浅海性で礁性-潟性の炭酸塩で覆われていることが立証された。これらのギョーのうちのいくつかには頂部にカルスト地形が存在するという事は、それらの台地をなす炭酸塩が時には水面上に現れたことを示している。そのような二次的隆起のフェーズは謎である。厚さ数 1,000m、直径数 10km に達する炭酸塩のキャップを形成した後で、なぜ熱帯性の炭酸塩台地が高さに耐えながら突然沈降を止めざるをえなかったのであろう？

都合の悪い事実が次第に増大しているにもかかわらず、プレートテクトニクスの人気が高まるにつれて、太平洋に接する地質的に若い弧や山脈は中生代

中期以後の沈み込み過程に結びつけられた。しかしながら、これらの古い地質が露出している縁ではどこでも、中生代及び第三紀の造構-マグマ過程が古い顕生代及び先カンブリアの高度に複雑な基盤複合体を貫いたり重なったりしている。当時の‘新しいグローバルテクトニクス’を携えた Dewey and Bird (1970) は、太平洋縁辺の地史を復元する試みの中で、この環太平洋造構-マグマ帯は沈み込みに関連した海溝堆積物の圧縮と変成作用とアイソスタティックな隆起の長い歴史を持っていると示唆した。地質学の社会では彼らの記事は大きな衝撃を与え、プレートテクトニクス過程は地質学における革命としてすぐに広く適用された。ヴァイン-マシューズモデルを用いた海洋磁気リニューエーションの解釈が一般的になったので、すべての批判的な証拠は反動的とみなされ無視された。

新しい世界像に関してまだ形勢を眺めていた多くの人たちにとって Heezen and Tharp (1977) の有名な地図は最後の僅かな疑念を取り去った。この美的な地図は何よりも先ず劇的な大洋中央海嶺システムを捉え、世界の多くの地質研究所の壁を飾るに至った-この地図は大きな心理的なインパクトがあった。大洋中央海嶺の地形は人工的に洗練されたように見えた：著者らはその地図の自分たちがデータを持っていない部分については受け入れを促進することで完全にしようとしていたのであろう。しかしながら、今日の近代的技術と対等に、1977 年の地図は大洋底の細部を驚くほど綿密に描いている。図 8 は彼らが呈示した太平洋の海底である：この大洋の東半部と西半部の顕著な地形的違いが一目瞭然である。しかし、なぜ太平洋西部で海山や環礁-この地形は東部には見られない地形-の密度がそれほど高いのであろうか？

モスクワ (1971) やグルノーブル (1975) の IUGG 総会における多くの科学シンポジウムで、プレートテクトニクスが直面している基本的問題が繰り返し討論された。これらの集会で、私は古地磁気の同僚が海底発達予測された定性的な見積り最終的な確認が不足していることに対する不満を表明したことを思い出す；大洋中央海嶺の基盤を掘削することによりその問題に決着をつけ、モデルを検証すべきだ。海底拡大仮説によると、頂部帯の地殻は最後の数 100 万年の間に形成された。したがって、頂部帯の玄武岩の残留磁化の伏角は緯度に依存する現在の双極子磁場の軸の伏角に一致するべきで、もし理論とのそのような一致が本当に見出されるならば、拡大仮説を支持する強力な証拠となる。北大西洋を横断する DSDP Leg 37 はアゾレス諸島のすぐ南に位置し、そのような決定的な検証のために選定された。しかし、結果は期待に照らして結局大きな後退となった (Aumento et al., 1977 参照)。磁気極性が交互する一様に磁化された地殻ブロックという

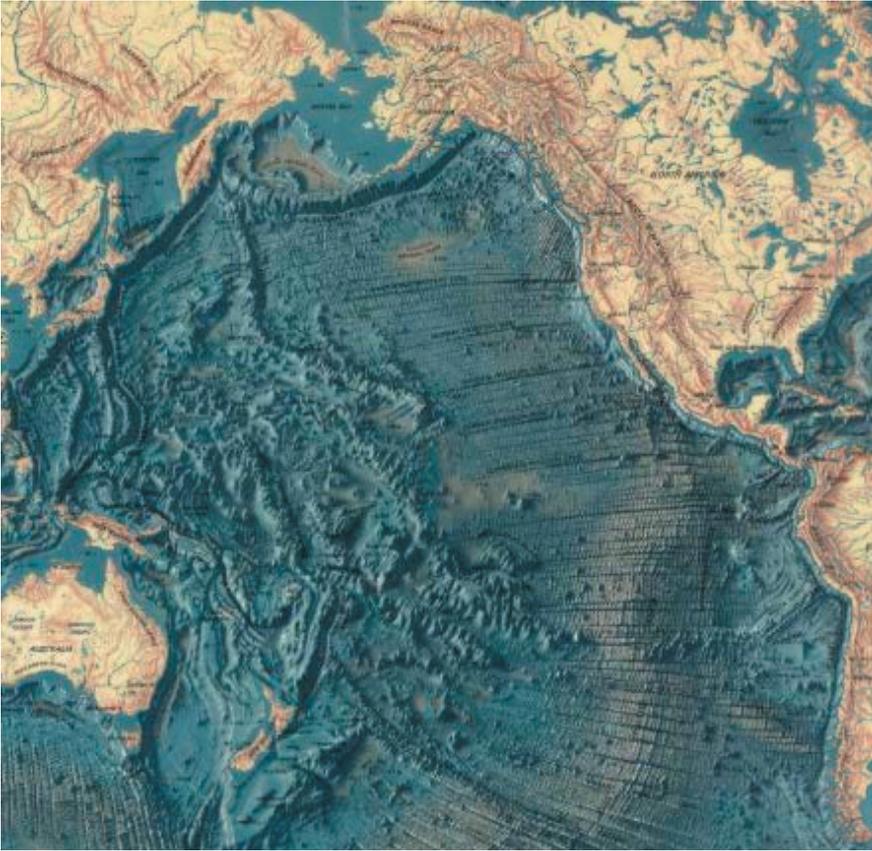


図8 太平洋の海底の地図による表現 - 影響が大きかった Heezen & Tharp (1977) の大洋底地図の一部. 太平洋の東と西での造構的コントラストに注目.

予測されたモデルは立証されず、測定された異常の元になる残留磁化は見出されず、伏角は異常に浅いものであった；期待されたシート状岩脈複合体の代わりに浅所併入の深成複合岩体が玄武岩溶岩流と互層し、低温型の岩石の変質が至るところで見出された（拡大モデルによって予測された高温酸化の特徴ではなく）。熱流量は世界平均に対して例外的に低く、大きさのオーダーは予測された理論値以下であった等々。私が、海底拡大仮説に執着したが Leg 37 の結果に落胆した有名な地球物理学者と Leg 37 について議論したとき、沈黙ないし的外れの奇妙なコメントが最も普通の反応であった。明らかにグローバルテクトニクスを理性的に考察する力が消えてしまったのである。地球科学界はだまされて“そうではないことの科学”にいそしむ‘不健全な’活動へと向かったのである。

結語

その重要な要素と矛盾した事実が急速に数を増していたにもかかわらず、なぜプレートテクトニクス仮説が達成するにつれてそのように熱狂的に迎え入れられたのか人は不思議に思うかもしれない。しかしながら、地質科学はこれまで機能的なつなぎの理論から利益を得ることはなかったので、初期の熱狂は明らかに将来に対する期待の表明であった。種々の観察は、実際にグローバルな現象だけでなく局地的及び広域的な特徴の真の理解を妨げる枠組みにはめ込まれてきた。しかし、全く始めから、‘プレー

トテクトニクスというゲームのルール’は不都合な発見に適合させるためのその場限りの変更を続けさせ、それをもはや科学的モデルとは認められなくするというものであった。このモデルの二次的なメカニズムは決定的な検討を受けることができなかった - 仮説はもしそれが決定的な検証を受けなければ科学的ではないということの意味するカール・ポパー (Karl Popper) の反証の原理を頑なに避けたのである。社会的かつ科学的相互作用の複雑な関係、威信・仲間うちでの評価・‘信ぴょう性’のための終わることなき闘争によりプレートテクトニクスは 1970 年代初期までに支配的な学説へと高められた - 推測と危機の泥沼にはまり、すべての決定的な検証に失敗したにもかかわらず、振り返ってみると、グローバルテクトニクスの間違った方向転換はランコーン (S. K. Runcorn)・クリア (K. M. Creer)・アーヴィン (E. Irving) のような著名な古地磁気学者が大陸間の古地磁気の不一致を説明するために大陸漂移というウェゲナーのモデルを無批判に受け入れた - 別な物理的メカニズムは批判的に評価されなかった - 1950 年代中頃にすでに始まったということが容易に理解できる。この誤りは認識もしくは承認されず、ますます多くの地球科学者がプレートテクトニクスを通じて約束された土地へと向かうウェゲナー列車に飛び乗るにつれ、誰も将来の科学的な大惨事を防ぐことはできなかった (図 9)。

通常の科学観とは反対に、ドグマは、多くの確立された‘真実’が偽物のアイデアのゴミの山に終っ



図9 1950年代中頃までに地球物理学者は大陸間の古地磁気の不一致の理由を説明するために何らかの相対的な大陸の動きを必要とした。当時手に入る唯一の可動的地殻モデルであったアルフレッド・ウェーグナーの大陸漂移モデルはいつでも利用できた。すべての古い残り物に対してこの長い間支持された無秩序なアイデアは地球の表面地形とその地質学的発展を理解するための大発見としてすぐに布告された。遺憾ながら、当時の考察に必要な別の地球物理的モデルは全く考えられなかった。

てしまうという思考の歴史を通して大きな役割を演じてきた。不幸なことに、空想的意見が今日のグローバルな地質学の大部分を支配し、あらゆるレベルでの地球科学の授業に対して一連の不幸な影響を及ぼしている。機能的な包括的理論は真の理解にとって不可欠であるから、そのような架け橋となる思考パターンの識見は、通常の今日の専門的細分化と狭い技術的特化の成果よりはるかに幅の広い大局観を必要とする。不幸なことに、教育においても研究においても我々の時代に普及しているのは包括的全体像ではなく断片化したものである。それゆえ、科学者の大部分にとって‘大型’の意見は状況を全体的に評価した結果ではない—どちらかという、それは反復の原理であり、訓練中に働く多数派の信念に従うための圧力である。

巨大な理論はほとんど常に重大な欠陥で穴だらけであった。もし、どんな理論に関してでも矛盾した不都合な或いは当惑させる事実が抑圧されたりゆがめられるたり、あるいは知らされないならば、一連の間違った予測と認識が‘科学的に受け入れられた’という状況を容易にもたらすだろう。理論的疎外と通俗的な意見に順応させる圧力と広く支持された指針が組み合わさることにより、その問題は説明されないか闇の中に葬られるかどちらかになるだろう。結果として科学はすべての説明力を失って容易に淀みの中に陥れられる。プレートテクトニクスが君臨する間、地球科学の学問分野は遺憾ながらそのような嘆かわしい状況に導き入れられた。

地球の状態と地質発達に関する将来の授業が現在の学説上の盛装を身ぐるみ剥がさなければならないということがたぶん我々の望みであるはずだ。この究極的な目標に向かう第一段階として、(科学発達の)歴史的偽造と、理解しにくい理由が支配的な概念としてそれら自身を確立してきた非機能的なアイデアの美化に関わりあうことが道徳的非難に値するということを認めなければならない。表現の自由と思考の自由は不幸なことに誰もが持つことができない贅

沢であるが、それは科学的及び文化的進歩にとって基本的で不可避的なものである。

謝辞：ロンドンのChris Argentによる徹底的・批判的な査読はかなり本論を改善してくれた。イラストの大部分を用意してくれたFrank Clevelandに感謝する。

文 献

- Aumento, F. et al., 1977. Initial Reports of the DSDP Leg 37. Washington D.C.: US Govt. Print. Office.
- Benioff, H., 1954. Orogenesis and Deep Crustal Structures: Additional Evidence from Seismology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v. 65, p. 385-400.
- Bonatti, E. and Arrhenius, G., 1970. Acidic rocks on the Pacific Ocean Floor. In: *The Sea*, v. 4. New York: John Wiley & Sons, p. 445-464.
- Bronowski, J., 1973. *The Ascent of Man*. London, BBC Books, 352p.
- Carey, S.W., 1976. *The Expanding Earth*. Amsterdam: Elsevier, 488p.
- Carr, M.J., Stoiber, R.E. and Drake, C.L. 1973. Discontinuities in the deep seismic zones under the Japanese arcs. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v. 84, p. 2917-2930.
- Dewey, J.F. and Bird, J.M. 1970. Mountain belts and the new global tectonics. *J. Geophys. Res.*, v. 75, p. 2625-2647.
- Dickson, G.O., Pitman, W.C. and Heirtzler, J.R., 1968. Magnetic anomalies in the South Atlantic and ocean floor spreading. *J. Geophys. Res.*, v. 73, p. 2087-2100.
- Dietz, R., 1961. Ocean basin evolution by spreading of the seafloor. *Nature*, v. 190, p. 854-857.
- Ernst, W.G., 1975. Introduction. In: *Subduction Zone Metamorphism*. Stroudsburg (USA), Dowden, Hutchinson and Ross, p. 1-14.
- Ewing, M., 1963. Submarine geophysics. *Trans. Am. Geophys. Union*, v. 48, p. 351-354.
- Ewing, M. and Donn, W.L., 1963. Polar Wandering and Climate. In: *Polar Wandering and Continental Drift*. Tulsa, Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists, p. 94-99.

- Ewing, J. and Ewing, M., 1967. Sediment distribution on the mid-ocean ridges with respect to spreading of the sea floor. *Science*, v. 156, p. 1590-1592.
- Ewing, M., Le Pichon, X. and Ewing, J., 1966. Crustal structure of the mid-ocean ridges, 4, Sediment distribution in the South Atlantic Ocean and the Cenozoic history of the Mid-Atlantic Ridge. *J. Geophys. Res.*, v. 71, p. 1611-1636.
- Fisher, R.L. and Revelle, R.R., 1955. The trenches of the Pacific. *Sci. Am.*, v. 193, p. 36-41.
- Fisher, R.L., 1974. Pacific-type continental margins. In: *Geology of Continental Margins*. New York, Springer-Verlag, p. 25-41.
- Gates, O. and Gibson, W., 1956. Interpretation of the configuration of the Aleutian Ridge. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 67, p. 127-146.
- Hallam, A., 1992. *Phanerozoic Sea-Level Changes*. New York, Columbia University Press, 266p.
- Hayes, D.E., 1974. Continental Margin of Western South America. In: *Geology of Continental Margins*. Berlin, Springer-Verlag, p. 581-590.
- Hayes, D.E. and Ewing, M., 1970. Pacific boundary structure. In: *The Sea*, v. 4. New York, Wiley-Interscience, p. 29-72.
- Heezen, B. and Tharp, M., 1977. *World Ocean Floor Map*. Office of Naval Research.
- Heirtzler, J.R. et al., 1968. Marine Magnetic Anomalies, Geomagnetic Reversals, and Motions of the Ocean Floor and Continents. *J. Geophys. Res.*, v. 73, p. 2119-2136.
- Heiskanen, W.A., 1945. The gravity anomalies on the Japanese Islands and in the waters east of them. *Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A III, Geol. Geogr.*, v. 8, p. 3-22.
- Herron, E.M. and Hayes, D.E., 1969. A geophysical study of the Chile Ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 6, p. 77-83.
- Hess, H.H., 1962. History of the ocean basins. In: *Petrologic Studies: a volume in honor of A.F. Buddington*. *Geol. Soc. Am.*, p. 599-620.
- Isaacson, P.E., 1975. Evidence for a western extracontinental land source during the Devonian Period in the Central Andes. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v. 86, p. 39-46.
- Karig, D.E., 1971. Origin and development of a marginal basin in the western Pacific. *J. Geophys. Res.*, v. 76, p. 2542-2560.
- Karig, D.E., 1974. Evolution of arc systems in the western Pacific. *Ann. Review Earth Planet. Sci.*, v. 2, p. 51-75.
- Katsumata, M. and Sykes, L.R., 1969. Seismicity and tectonics of the western Pacific: Izu-Mariana-Caroline and Ryukyu-Taiwan regions. *J. Geophys. Res.*, v. 74, p. 5923-5948.
- Kuhn, T.S., 1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, Chicago Univ. Press, 210 p.
- Kawai, N., Ito, H. and Kume, S., 1961. Deformation of the Japanese Islands as inferred from rock magnetism. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc. London*, v. 6, p. 124-130.
- Kawai, N., Hirooka, H. and Nakajima, T., 1969. Palaeomagnetic and potassium-argon informations supporting Cretaceous-Tertiary hypothetical bend of the main island of Japan. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, v. 6, p. 277-282.
- Kawai, N. and Nakajima, T., 1970. The evolution of the island arc of Japan. In: *Thermal Structures under Japanese Islands*, Tokyo, p. 229-275.
- Lakatos, I., 1978. *The Methodology of Scientific Research Programmes*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 250p.
- Langmuir, I. and Hall, R.N., 1989. Pathological science. *Physics Today*, v. 42, p. 36-48.
- Laudan, L., 1977. *Progress and its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth*. Berkeley, University of California Press, 257p.
- Laudan, L., 1984. *Science and Values*. Berkeley, Univ. of California Press, 149p.
- Leyendyk, B.P. and Melson, W.G., 1967. Magnetic properties and petrology of rocks near THE CREST OF THE MID-Atlantic Ridge. *Nature*, v. 215, p. 147-149.
- Leyendyk, B.P., Mudie, J.D. and Harrison, C.G.A., 1968. Lineations of magnetic anomalies in the Northeast Pacific observed near the ocean floor. *J. Geophys. Res.*, v. 73, p. 5951-5957.
- Ludwig, W. J. et al. 1966. Sediments and structure of the Japan Trench. *J. Geophys. Res.*, v. 71, p. 2121-2137.
- Matthews, J.L. et al., 1974. Cretaceous drowning of reefs on Mid-Pacific and Japanese guyots. *Science*, v. 184, p. 462-464.
- Maxwell, A.E. et al., 1970. *Initial Reports of the DSDP Leg 3*. Washington D.C., US Govt. Print. Office.
- McElhinny, M.W., 1973. *Palaeomagnetism and plate tectonics*. Cambridge, Cambridge University Press, 358 p.
- Menard, H.W., 1964. *Marine geology of the Pacific*. New York, McGraw-Hill Inc., 271 p.
- Miller, H., 1970. Das Problem des hypothetischen "Pazifischen Kontinentes" gesehen von der chilenischen Pazifikküste. *Geol. Rundschau*, v. 59, p. 927-938.
- Mogi, K., 1969. Relationship between the occurrence of great earthquakes and tectonic structures. *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ.*, v. 47, p. 429-451.
- Nagata, T., 1961. *Rock Magnetism*. Tokyo, Maruzen Co. Ltd., 350p.
- Ross, D.A. and Shor, G.G., 1965. Reflection profiles across the Middle America Trench. *J. Geophys. Res.*, v. 70, p. 5551-5572.
- Sykes, L.R., 1966. The seismicity and deep structure of island arcs. *J. Geophys. Res.*, v. 71, p. 2981-3006.
- Scheidegger, A.E., 1963. *Principles of Geodynamics*. Berlin, Springer-Verlag, 362 p.
- Scholl, D.W., Von Huene, R. and Ridlon, J.B., 1968. Spreading of the ocean floor – undeformed sediments in the Peru-Chile Trench. *Science*, v. 159, p. 869-871.
- Scholl, D.W. et al., 1970. Peru-Chile Trench sediments and sea-floor spreading. *Bull. Geol. Soc. Am.*, v. 81, p. 13339-1360.
- Scholl, D.W. and Marlow, M.S., 1974. Global tectonics and the sediments of modern and ancient trenches: some different

- interpretation. Mem. Am. Ass. Petrol. Geol., v. 23, 255-271.
- Sommers, C.H., 1996. Pathological social science. In: The Flight from Science and Reason. New York, New York Acad. Sci., p. 369-381.
- Subko, P.R., 1977. Initial Reports of the DSDP Leg 39. Washington D.C., US Govt. Print. Office.
- Sugimura, A. and Uyeda, S., 1973. Island Arcs: Japan and its Environs. New York, Elsevier, 247 p.
- Swift, S.A. and Carr, M.J., 1974. The segmented nature of the Chilean seismic zone. Phys. Earth Planet. Inter. V. 9, p. 183-191.
- Teisseyre, R. et al., 1974. Focus distribution in South American deep-earthquake regions and their relation to geodynamic development. Phys. Earth Planet. Inter., v. 9, p. 290-305.
- Uyeda, S. and Vacquier, V., 1968. Geomagnetic and geothermal data in and around Japan. Am. Geophys. Un. Geophys. Monogr., v. 12, p. 349-366.
- Van Andel, T.H. and Bowin, C.O., 1968. The Mid-Atlantic ridge between 22° and 23° north latitude and the tectonics of mid-ocean rises. J. Geophys. Res., v. 73, p. 1279-1298.
- Vine, F.J. and Matthews, D.H., 1963. Magnetic anomalies over Oceanic Ridges. Nature, v. 199, p. 947-949.
- Vine, F.J. and Wilson, J.T., 1965. Magnetic anomalies over a young ocean ridge off Vancouver Island. Science, v. 150, p. 485-489.
- Yasui, M. et al., 1967. Terrestrial heat flow in the Japan Sea. Bull. Earthquake Res. Inst., v. 44, p. 1501-1518.
- Watkins, N.D., 1968. Comments on the Interpretation of Linear Magnetic Anomalies. Pure Applied Geophys., v. 69, p. 179-192.
- Watkins, N.D. and Richardson, A., 1968. Earth Planet Sci. Lett., v. 4, p. 257-264.
- Wegener, A., 1912. Die Entstehung der Kontinente. Geol. Rundschau, v. 3, p. 276-292.
- Wegener, A., 1929, 1966. The Origin of Continents and Oceans. London, Methuen & Co., 248 p.

出版物 PUBLICATIONS

(矢野 孝雄 [訳])

海洋と大陸の地質にかかわる重要課題 Topical Issues of Geology of Oceans and Continents

著者 : Boris A. Blyuman

VSEGEI 出版 (サンクトペテルスブルグ), 2013 年刊

科学編集者 : O. I. Suprunenko

ロシア語 + 英語要旨, ISBN 978-5-93716-205-2

この著書に関する詳細と質問は, 著者 Boris Blyuman@vsegei.ru へ.

要 旨

この著書は, 先に出版された著書『地球の大陸と海洋の地殻』(1998)と『地球の海洋地殻』(2011)の続編である。海洋地質については, 次の課題が重要であるとみられる: 組成, 海洋地殻の構造, 堆積性と火山性の地殻層の関係, 海洋玄武岩の形成と風化の条件, 海洋における堆積間隙と不整合およびそれらの期間, ならびに, 想定されうる特性。大陸地殻については, 次の課題が重要であろう: 変動域と卓状地の地殻・マントル構造にみられる広域的および全地球的特性, オフィオライト複合岩体の特性, 地殻とリソスフェアの組成と構造にみられる水平・鉛直方向での不均質性, 先カンブリア紀~顕生代における諸大陸の地質構造および鉱床形成作用の方向性, 初生的珪長質地殻と花崗岩-グリーンストーン複合岩体の起源。これらの諸課題への解答は, プレートテクトニクスと地向斜-卓状地概念にもとづく数多くの仮説との間で矛盾しているのが現状である。海洋地質学と大陸地質学は相互に関連した地球科学の分野であり, 独自の課題と研究方法をもち,



海洋と大陸の地質 (左), 地球の海洋地殻 (右: NCGT Journal, v. 2, no. 3, p. 92-93 参照)

発達史における歴史性, 指向性, および不可逆性の原則に特徴づけられていて, ともに実証されている。私たちが, 地球の地質史に深く立ち入れば立ち入るほど, 大陸と海洋の地質発達の詳細が極めて多様であることが理解される。海洋と大陸の地質の一般性は, ネオテクトニクスにかぎって概括することがで

きる。海洋と大陸をとともに包括した” 普遍的 ” 地球力学概念であると主張している固定論および移動論の諸概念は、ともに首尾一貫していない。現在のところ、大陸と海洋の地質に等しく適用できる ” 普遍的 ” 地球力学概念は未成熟であると思われる。現存する地球力学概念の整合性をはかるために実施される地質調査が重要な役割をはたすだろう。

科学編集者の覚え書き

新たな大稿量（推定で 470 pp. 以上のタイプライト本文と 131 図）の原稿が、B. A. Blyuman による単行本シリーズに加わった。これらの単行本は、基本的な 1 つの目標—大陸と海洋にかかわる最近の研究成果を加えた地球の構造と進化に関する論理的に一貫した概念の発展（あるいは、むしろ、発展のための準備）—の達成をめざしたものである。

この著書の主要な結論は、「プレートテクトニクスの諸規定は、今日の海洋地質構造に関するデータに整合せず、それゆえ、現在の海洋の地質構造的な位置から大陸の地質史を解釈することは不適切である」という点にある。この結論は、複合的な原稿内容によって一貫して証明されていく。第 1 部は、既刊単行本には含まれていない最近の深海掘削結果を反映したもので、世界中の海洋のさまざまな領域で広く確認されたとおり、海洋の歴史に浅海環境および陸上酸化環境を示す多数の証拠（風化殻、陸上火山活動、浅海性炭酸塩岩、など）が存在することを解明する。原稿の第 2 部は、大陸の地質に関する最新の研究成果を扱っていて、初期先カンブリア紀以降の地球発達の非線形性と不可逆性が十分な信頼性をもって記述され、私たちの惑星の進化にリソフェアプレートといった概念を適用する余地がないことを示している。この著書の終章にあたる第 3 部は、海洋地質と大陸地質の概念的課題を数式化している。こうして、プレートテクトニクスが海洋と大陸の構造にかかわる最も重要な事実を無視している、との前述の結論に到達する。多数の根本的理由にもとづいて、「海洋地質学と大陸地質学はそれぞれの分野の研究目的と研究方法に共通するものがあるが、地球科学の別個の研究分野として独立した存在

であるに値する」とされる。そのなかでも最大の理由は、世界の海洋の地質知識は、大陸の地質知識に比べると無視しうるほどであることにある。

大陸地質の地質調査による ” 直接的 ” 研究、および、それらの地図と凡例に示される層序、テクトニクスおよび火成活動に関する情報の総体に比べて、海洋地質学は遠隔的な、おもに地球物理学的方法を用い、それらの結果は曖昧にしか解釈できない場合がしばしば起きる。そのため、大陸の地質の歴史のおよび地質的解析とは対照的に、海洋と古海洋の地質学は海洋の段階的発達 (Wilson サイクル) の歴史的・地球力学的解析を利用する。Wilson サイクルは、海洋の現在の地質構造と歴史の特異性に関する知識に矛盾していて、主要海洋（大西洋、北極海、インド洋）の地質は、プレートテクトニクスの ” 無理にあてはめようする基準 ” には適合しない。本書の著者（紹介者は彼に完全に賛成している）は、個々の海洋の層序学、造構運動、火成活動などの特徴を、地球力学ではなく地史学の原理にもとづいて総合し、海洋の地質の自律的発達を解明している。つまり、著者は事実にもとづいて海洋地質学を構築すべきことを強調し、この基準に矛盾する事実を完全に除去することによって、既成のあれこれの概念に事実をあてはめることなく、議論を展開している。

B. A. Blyuman の著書は、既成概念を疑問視しながら考察することを重視している。それは、明瞭に停頓しているロシアの地質科学にたいして、また、若い世代がインターネットに掲載されているような既存の対処方法を、それらの有効性を考えることなく、追い求めている今日の状況にたいして、きわめて適切な対応である。

ロシアの地質学界には、B. A. Blyuman の新しい研究を熟知している数 100 人の読者がいる。この新しい研究が多く読者の役に立ち、この国の地質学がさらに発展していくことを私は深く信じている。

O. I. Suprunenko
海洋学研究所特別研究員
サンクトペテルブルグ、ロシア

全地球および宇宙の諸作用を解明するための一定スケールの 自然境界調査

Constant-scale natural boundary mapping to reveal global and cosmic processes

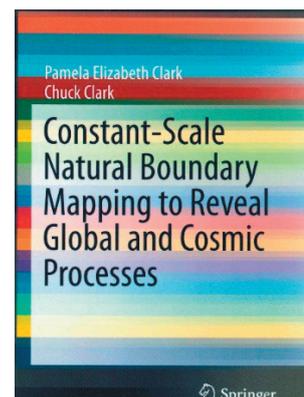
著者 : Pamela Elizabeth Clark and Chuck Clark.

出版 : Springer Briefs in Astronomy.

ISSN 2191-9119 (electronic)

ISBN 978-1-4614-7761-7 (book)

本書の詳細は、Chuck Clark (rightbasicbuilding@gmail.com) へ



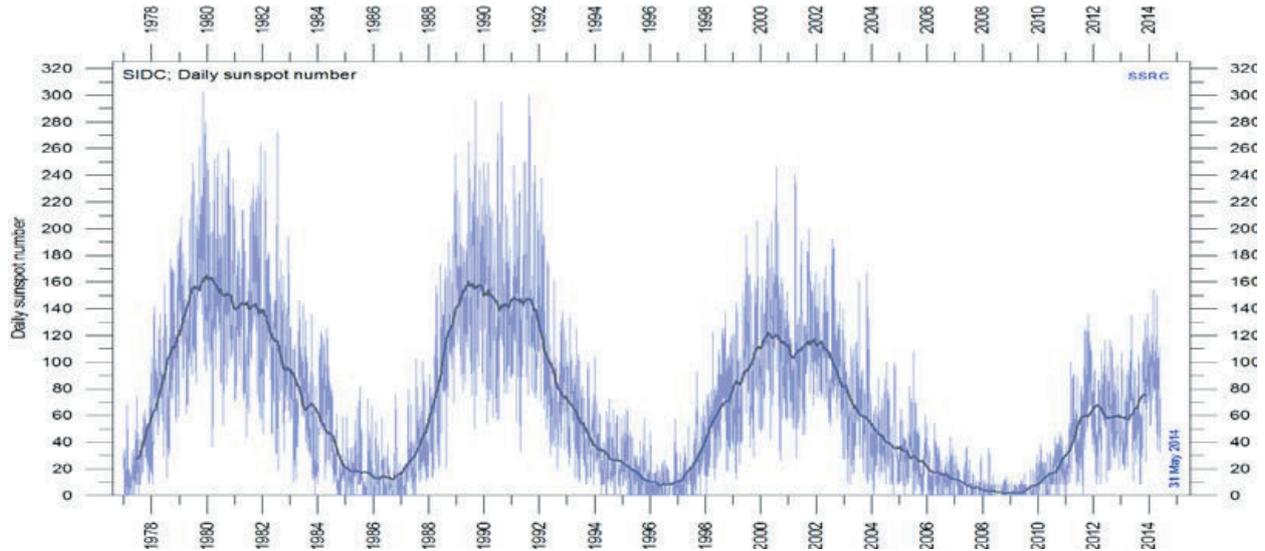
気候状況報告 (GCSR) The Climate Status Report (GCSR)

2014年3月版, 出版: 宇宙-科学研究法人 (SSRC), オーランド, フロリダ, アメリカ合衆国

mail@spaceandscience.net; www.spaceandscience.net.

このSSRCの新版は、今後30年間のうちに寒冷期が到来することを示す重要なデータを含んでいる。太陽活動周期の極大期の挙動と多くの多重的パラメータにもとづいて、信頼すべき議論が展開される。太陽周期21~24(1980-2014年)のうち、最初の極

大に比べて第2の極大がしだいに大きくなってきた。歴史的には、太陽周期5(1802-1805年)と周期2(1881-1884年)で、より大きな第2極大が観測された。これら2つの太陽周期は主要寒冷期に先行して発生し、前者はDalton寒冷期をもたらした。



太陽周期21, 22, 23 および24(左から右)の太陽黒点数。太陽周期24は現在。その極大活動期を過ぎようとしていて、そこでは第2極大が2012年の第1極大を凌駕していることに注意。

日本語版 (v. 2 n. 3) の訂正 **CORRIGENDUM**

日本語版 Vol. 2, No. 3 (2015 年 1 月) の p. 28 に次の間違いがありました。お詫びして、訂正させていただきます。

—ダーウィン海膨— Sisyphus と海洋学 - DARWIN RISE -SISYPHUS AND OCEANOGRAPHY

[誤]

N. Christian SMOOT

6460 Falling Water Ln., Hoschton, GA 30648 USA christiansmoot532@gmail.com

(矢野 孝雄 [訳])

Smoot コメントへの回答 *REPLY TO SMOOT COMMENT*

西太平洋における後期中生代造構 - 火成活動 —ダーウィン海膨は崩御したのか、復活したのか?— **LATE MESOZOIC TECTONO-MAGMATISM IN THE WEST PACIFIC OCEAN — DID THE DARWIN RISE DEMISE OR REVIVE? —**

[正]

矢野 孝雄

鳥取大学地域学部地域環境学科, 日本, 680-8551, 鳥取市 yano@rs.tottori-u.ac.jp

(矢野 孝雄 [訳])

財政的支援について **FINANCIAL SUPPORT**

多くの読者からの示唆にしたがって、NCGT Newsletter は公開雑誌になった。今や、登録することなく、誰でもすべての号にアクセス可能である。これは、この雑誌の発行費用を賄うために、私たちは読者からの善意・無償の寄付と広告収入に頼らなければならないことを意味する。私たちは読者の寛大な財政支援を歓迎する。印刷版

の購読費は、US\$140/年（あるいはユーロ相当額）+ 郵送費である。広告費は、裏表紙 (Premium position) 半ページで US\$60/号, US\$220/年, 全ページで US\$100/号, US\$360/年（あるいはユーロ相当額）である。他のページでは、10% 割引。詳細は editor@ncgt.org へ。

(以下、省略)

NGC ジャーナルについて **ABOUT THE NCGT Journal**

グローバルテクトニクスの新概念ニュースレター（現在の NCGT ジャーナルの前身）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。その名称は、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ワシントンのスミソニアンスミソニアン研究所で開催された、それ以前のシンポジウムにちなんでいる。NCGT ニュースレターは、2013 年に NCGT ジャーナルに改称された

目的は次のとおりである：

1. 組織的照準を、プレートテクトニクスの観点に即座には適合しない創造的な考え方にあわせる。
2. そのような研究成果の転載および出版を行う。とくに検閲と差別の行われている領域において。
3. 既存の通信網では疎外されているそのような考え方や研究成果に関する討論のためのフォーラム。それは、地球の自転や惑星・銀河の影響、地球の発達に関する主要学説、リニアメント、地震データの解釈、造構的・生物学的変遷の主要ステージ、などの視点から、たいへん広い分野をカバーするべきものである。
4. シンポジウム、集会、および会議の組織。
5. 検閲、差別および犠牲があった場合の広報と援助。