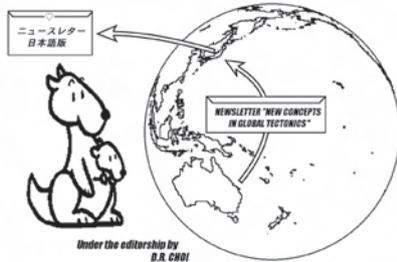


# ニュースレター グローバルテクトニクスの新概念



**NEWSLETTER New Concepts in Global Tectonics**

No. 48 2008年9月 ISSN: 1833-2560 編集: D.R. Choi (日本語版 2009年1月)



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

## も く じ

■ 第33回万国地質学会地質学の反響	2
■ 編集者への手紙	3
■ 原著論文	
Missoula 大洪水 Peter M. JAMES	5
The Massive Missoula Floods -an alternative rationale	
太平洋の地質と構造発達史 第3部: 基盤岩の構造と組成 Boris I. VASILIEV and Dong R. CHOI	18
Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 3, Structure and composition of the basement	
太平洋の地質と構造発達史 第4部: 地震波トモグラフィの地質学的地質学的解釈	
Dong R. CHOI and Boris I. VASILIEV	42
Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 4, Geological interpretation of seismic tomography	
深部断層系としての地震密集帯 Roman Z. TARAKANOV	49
Seismic focal zone as a system of deep faults	
■ 本の紹介	
W. Bull 著 山脈の造構地形—古地震学への新しいアプローチ C. OLLIER	56
Tectonic geomorphology of mountains. A new approach to paleoseismology by William BULL	
B. Binev 著 自然科学分野における誤信 E.D. MANEV	58
Fallacies in realm of natural sciences by Bencho BINEV	
■ NCGT 摘要 地震に関してさらに More on earthquakes	59
■ ニュース NCGT 東京集会 リングストラクチャーとそれらの地質学的意義 NCGT Tokyo Symposium	59
■ 財政的財政的支援・ニュースレターについて	60

連絡・通信・ニュースレターへの原稿掲載のためには、次の方法(優先順に記述)の中からお選び下さい: NEW CONCEPTS IN GLOBAL TECTONICS 1) Eメール: editor@ncgt.org, ncgt@ozemail.com.au, または ncgt@hotmail.com ; 1ファイルは5MB(メガバイト)以下, 2) ファックス(少量の通信原稿): +61-2-6254 4409, 3) 郵便・速達航空便など: 6 Man Place, Higgins, ACT 2615, Australia (ディスクはMS Word フォーマット, 図面はjpg または pdf フォーマット), 4) 電話: +61-2-6254 4409.

放棄 [DISCLAIMER] このニュースレターに掲載された意見, 記載およびアイデアは投稿者に責任があり, 当然のことながら編集者と編集部との責任ではありません。

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

翻訳・編集: NCGT ニュースレター翻訳グループ

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

## 第33回万国地質学会議の反響 Reflections on the 33rd Geological Congress

(赤松 陽 [訳])

言うまでもなく、科学的理論を立証する最もすぐれた方法は、その予想が真実であると実証することです。しかし、流行し幅をきかせている理論が、実は予想に対して実際には役立たずであるというこの数10年間にわたりプレートテクトニクスで特徴づけられてきた状況が衆目にも明らかになるとしたらどうなるでしょう？ その無能力さにもかかわらず、それでもこのモデルは地球科学の中でかつてない最も偉大な新事実と見なされ続けています！ 批判的な議論は忌避され、最近のこの会議向けに発行された出版物Episodes誌の特集号で見出しに取り上げられた“地球システム科学”なる練り上げられた造語が、俗受けする表現語句となっています。この語句は、浅はかにも、地質作用に関する首尾一貫した体系をもっていないという明らかな事実を隠蔽しています。

科学者はまた、おそらく個人的には信じていない’時効になった’判断基準を持ち続けるために、一般大衆と歩みを共にしようとする自然な心理的習性をもっています。それは、吹き込まれた主義や見解からの逸脱は、それまでの彼の経歴に有害であろうという単純な理由のためです。また、プレートテクトニクス教育の洗脳法の効果は、グローバルな地質学に関する過剰に単純化された低俗でいい加減な見解を多くの学生や研究者が受け入れるように導いたことにも現れています。現行の見解への服従圧力は強く、そのため、多くの科学者は、他の研究者と交流しようとするとき、彼らが自身ではっきり悟った恥ずべき事実を、他人に知られないようにする必要がります。そこには、彼らが自らを許すことができないことを知っていること、あるいは知ってしまったことがあるのでしょうか。一なぜなら、彼らの内面の感情は、単に、社会的に’受け入れられる’方法で行動することを彼らに求めているからです。この自己欺瞞の複雑にもつれた戦術的展開は、社会学者のErving Goffman氏が“自己隔離”と呼ぶものです。オスロでの今回の地質学会議では、このようなからくりを私は戯曲で経験しました。

私が出席した科学的セッションは優れた専門性をもっていました。そして一連の興味深いデータが紹介されました。一方、おおかたの解説は漠然とした、解決すら見いだせない、そして、偏った’当てずっぽう’で色塗られたものでした。深く浸透したプレートテクトニクスの用語が、各セッションに充満していました。そのセッションでは、講演者は持ち前の(ハーブ)弦を絶えずかき鳴らしていましたが、しかし、グローバルな大局観はどこにも示されませんでした。個人的な交流の場で、観察に基づいた逆説や矛盾した事柄に関して質問をしようとする

私の試みはしばしば失敗しました。その反応は、ほとんどの場合、常に無関心なうわべだけのものでした。どうやら、個人の意見交流のネットワークに対して潜在的脅威があるという問題は、議論している基本的な問題に対して不利に作用する精神上的障害を引き起こす原因になっているようです。

多くの地質研究者には、彼らの研究分野における本質的な重要性に関する地球ダイナミクスの古典的な見方が基本的に欠落していることに、さらなる驚きを感じました。たとえば「数1000年以上にわたる新生代の両極の関連I」というシンポジウムで、極移動という古典的ジオダイナミクス現象が話題にすらならなかったことに私は驚きました。地球の新たな空間的方向づけに関連した事象にかかわって、慣性的に動く地軸の変化(例えば、極移動)が、両極圏の古気候の特徴に直接結びついている可能性があるにもかかわらず、聴衆は、第三紀の気候の神秘的な変化が、まだ説明がつかない局所的あるいは広域的なある現象が原因であるに違いないと確信しているようでした。古気候のグローバルな見方が全く失われている、といった次第です。

あるノルウェーの地球物理学者との冗長な会話の中で、グローバルな地質学における術策(作為)について、彼は、パラダイムに関する問題はもはや真剣には議論されていないことを認めました。彼は、論文競争のプレッシャーが原因だとして、その状況を次のように弁解しました。「地球科学者は、自分自身の狭い専門分野以外の論文を読むことに精一杯で、もはや彼らが専門としている主義主張を広めるための時間的余裕をもっていない。そして、ひどく時間を浪費するという理由で、専門書をさらに読もうとする者は誰もいない。細切れのサラミソーセージをつくるような出版方法で行われている論文の大量生産は、当世の科学者として生き残る術である」と。彼はがっかりさせるようなことを言いましたが、それに対して私は、’時間がない’との主張が明らかにこの状況についての当を得た説明であるとしても、それはまた、危なっかしいデータや完全に失敗した批判的検証、あるいは、まさにプレートテクトニクス革命そのものが、大部分、事実に基づくというよりは、ほとんど直感的・情緒的な価値観の形成過程であるという醜い事実を隠す方法であったのだ、と答えました。このような状況の中で、私は、2006年にノルウェーの構造地質学からもらった電話について彼に話しました。一その地質家は、私が、現在の地質教育がもつ頑固で押しつけがましく独断的な特徴を暴露した時に(彼が)示した数多くの論理的でない反応のゆえに、私が関心を抱いていた人物の一人です。

電話の会話の中で、その私の地質学の友人は次のように述べました。

「あなたの仲間たちは、プレートテクトニクスに対して、基礎的な大学の教科書に載っている簡単な解説程度の識見すら持っていないばかりか、あなた方はそれに代わる概念に挑戦して、それを捉えるという面倒くさいことをやろうとしてこなかった。それだから、それが学説になるとしても、あなたは、道理ある合理的な方法で実現することを彼ら（仲間たち）に期待することはできないのだ！」しばし沈黙。

プレートテクトニクスの原理を認めるという地球科学界の騙されやすい性癖のために、（彼らを）おびやかす新しい概念は、当然、抵抗をうけるでしょう。'平和'をとりもどし、不一致を解消しようとはするものの、相容れない概念は因習的に黙殺あるいは妨害されるのです。特に、プレートテクトニクスのパラダイムが、神聖なものとして奉られているスカンジナビアでの地質学会議の間、思いもかけず、私たちが数々の異常な'実務上の'困難に遭遇しました。例えば、NCGTのシンポジウムの日程は、会議のわずか2週間前に変更をしいられました。そして会場に関する混乱は、私たちのシンポジウムの前日まで続きました（NCGTのセッションは事前に知らされていたプログラム冊子には、明らかにTBAとマークされた会場として掲載されていました）。さらに、私たちの招待講演者の一人は、何の説明もなく、口頭講演からはずされてしまいました。会議役員である私たちとの事前の協議もありませんでした。この方は、彼になされた扱

いにたいへん不快な思いをさせられたため、結局、会議への参加すべてをキャンセルされました。

これらの困難にもかかわらず、私は会議の期間中、地質学のパラダイムに関して再考の必要性を強調する意見を含めて、いくつかの前向きな経験をしました。例えば、ノルウェーのある博士（院生）は、最近、科学の歴史と哲学の教科書の一部として、グローバル地質学の策略の実態と経緯について批判的なエッセイを書いたことを私に語ってくれました。それは、今日の地球科学の特徴がきわめて独断的な構成要素からなりたっていて、その場しのぎの麻痺的状況が目立つことを指摘したものです。彼女の指導者は、彼女の新鮮な取り組みに高い評価を与えた由です。

私たちのシンポジウムの午後のセッションが終わった直後、一日中会議に出席していたある石油探査会社の経営責任者は、「地球のプレートテクトニクス説は自然に消えてゆきますよ。私は、それが早々に見放されるだろうと予測しています」と語りました。

このようなわけで、私たちは地球科学の未来に向けた仕事を続けるために、これらの積極的反響を糧に、元気を出して行こうではありませんか。

Karsten Storetvedt, co-convener  
Karsten.storetvedt@gfi.uib.no

## 編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

(赤松 陽 [訳])

イタリア、パルマ帯における2008年8月19日の地震、  
予測通り発生

The August 19, 2008 earthquake in the Parma zone, Italy  
occurred according to the prediction

私は、2008年8月19日にイタリア北部のパルマ帯で起こった地震の予知に成功したことについて、NCGTの読者の皆さんにお伝えしたいと思います。

2008年6月27日にパルマでアマチュア写真家によって撮影された、以下に示した大気中の発光現象の画像(図1)は、不規則な光の出現と地震の発生の関係についてNCGTニュースレターNo.44の論文の中で私が説明した体系を確認するものとなりました。この映像は、出現の翌日に

撮影者から私のeメールアドレスに送られてきたもので、数日後に地方新聞にも掲載されました。新聞社の写真現像所の分析により、この画像は本物であると判定されました。

私はこの写真の資料をもとに、パルマ地域では、発光現象発生からおおよそ54日後(すなわち2008年8月19日)に、ほぼ50kmほどの地帯に震央をもつ地震が発生するとの予測( $\Delta T=E-L$ )計算を行いました。

地震は正確に2008年8月19日(図2)に、小さな町ミランドラ(パルマから50km)付近のポー川の谷の中で起こりました。そのデータは、その直後に、国立地球物理学火山学研究所(INGV)によって、オンラインで発行され

表1 2008年8月19日の惑星の配置

DATE	PLANETARY CONFIGURATIONS	Azimuth	H
August 19, 2008	Mercury	+275°45'	+02°59'
	Venus	+275°27'	+03°55'



図1 発光現象の画像と光の詳細. 写真は Valerio Pecoraro 氏の好意による

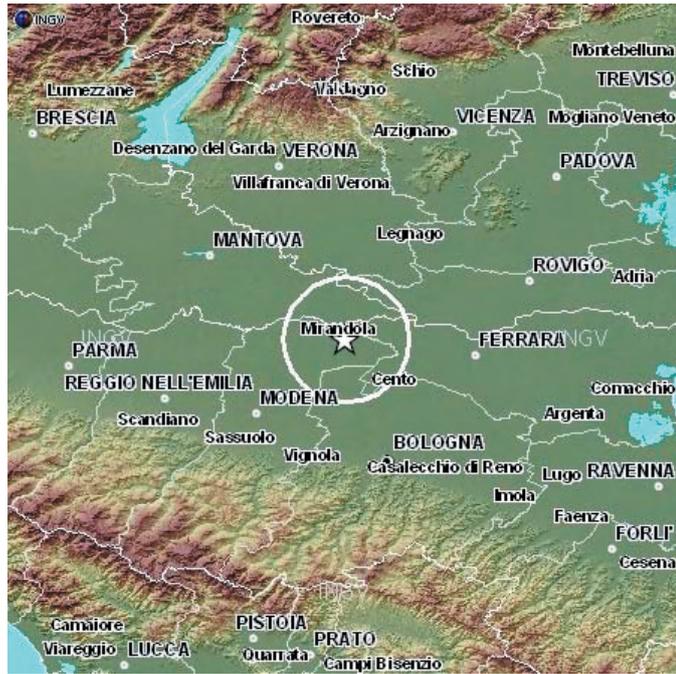


図2 2008年8月19日の地震 (地図: INGVによる)

ている地図の中に登録されました。

2008年8月19日の兆候は、起こりそうなデータといったような偶然的なものではありませんでした。実際、19日には水星と金星の2つの惑星が一直線に並び (表1)、それは地震の発生と一致するさらにはっきりした要素を表していたのです (NCGT Newsletter No. 46の私の論文

をご覧ください)。地震発光や天体の異常な配置と相互に関連した地震現象の再来周期は、それらを支配している地球物理的な惑星の諸現象の研究のための、また、地震被害の緩和を成功させる優れた可能性をはらんだ方法を適用するための有益な手がかりとなります。

Valentino STRASER, fifurnio@tiscali.it

\*\*\*\*\*

**NCGTの皆様 To NCGT**

“惑星の揺らぎと対をなす地震：地震の長期予知のためのモデル” (NCGT, no. 46, March, 2008)の中で、Valentino Straser氏は、惑星の整列が地震の引き金になっていると述べています。この主張は、すでに過去になされておられ、いつも、データについての議論がそれほどなされないまま簡単に片づけられてきました。結局、惑星が地球に及ぼす重力や磁力といった力は、そのほとんどが、地震に関与する歪よりも小規模なのです。しかしながら、ここ数年以上にわたり、幾多の強い相互関係があるように考えられています。

い関連性を示したものはほとんどありませんでした。それらが示すことは、次のような時に、地震活動が決まった場所で増大したことです。

- 1) 最も球に近い形の地球；言い換えれば表面の面積が最小、慣性モーメントが最小、そして回転速度が最大になった時
- 2) 太陽活動が最大または最小になった時
- 3) 潮汐の膨張（海面の上昇）が地球と月の中心を結ぶ線から最も遠い時
- 4) 地球、太陽、月が一直線にあるいはそれに近い状態に並ぶ時

私は、相互関係は実在するであろうが、惑星の整列が直接の原因ではないということを提案したいと思います。Airy (1843) は、太陽系全体が擬似共振状態にあるということを観測しました。しかし、惑星がごく僅かな潮汐の影響を地球に与えている間、それらは地球-月系に作用しています。月の軌道における多くの摂動は、内惑星の軌道と同様に、惑星の公転時間に調和した擬似共振のなかにみられます。Kokus (2002) の論文の中で、私は、月と太陽の位置、太陽の活動、太陽黒点の間の相互関係について述べた200以上の論文を分析したより包括的な研究の結果を公表しました。地域的な潮汐歪と地震との強

私は、これらの関係はいずれも、公認のプレートテクトニクス理論と / あるいは一般相対性理論と矛盾なく一致するものではないことを指摘すべきではなかったかもしれません。もし地震予知が発展を遂げるなら、私たちは、地質あるいは引力（重力）のいかなるモデルに対してどのような義理立てもせず、これらの相互関係に注目する必要があります。

Martin KOKUS www.kokus.net; martinkokus@yahoo.com  
Physics and Engineering Technology,  
Bloomsburg University, USA

# 原著論文 ARTICLES

## Missoula 大洪水 – 別の理論的解釈 – THE MASSIVE MISSOULA FLOODS – An Alternative Rationale –

Peter M. JAMES

土木地質コンサルタント, オーストラリア  
pmjgeotech@yahoo.com.au

(赤松 陽・山内靖喜・矢野 孝雄 [訳])

**要 旨**：合衆国北西部の Spokane 川と Columbia 川の間にあるワシントン州の scabland\* は、Clark Fork 川から流れ出した巨大な布状（シート状）洪水による浸食遺物である。これらの洪水は一般に“Missoula 大洪水”と呼ばれ、Clark Fork 川の合流点近くの高さ 600m の氷のダムの崩壊あるいは繰り返された崩壊が洪水の原因とされることが最も多い。しかしながら、この規模の氷のダムの解析によると、その効能には重大な疑義がある。そのため、広い Missoula 盆地の地形学的な評価に基づいた別の原因が探求されてきた。本論は、氷河によって堰止められた Missoula 湖の海拔高度よりも高いところで洪水が発生した証拠を示す。モンタナとアルバータの両州では、必要量の洪水流が流入する唯一の入口は大陸分水界を越える峠である。これらの峠の地形は、大西洋側からコルディレラ側へ巨大なシート状洪水が通過した確定的な証拠を提示する。更新世末頃の大きな海水準変動がありうることであり、そして、この考えが正しいことの証明が、本論文末尾の追記と補遺に抄述される。

\*：scabland とは、水平な玄武岩溶岩流の上にある高地で、土壌は薄く、植生はまばらで、一般に、地表には深く乾いた溝が刻まれている。その例はワシントン州東部のコロンビア溶岩台地であり、そこは氷河の融解水によって広く深く浸食されている。(Glossary of Geology より：訳者)

**キーワード**：Missoula 洪水、氷のダム、大海水準変動、消滅

### 1. はじめに

Missoula 大洪水を議論する場合、Missoula 盆地という用語は、モンタナ州の Clark Fork 川水系に沿って Pende Oreille 湖より上流にかつて存在したいろいろな湖をさすという大まかな用語である。この盆地は北方にいくつかの集水域を伴うが、それらは Clark Fork 川水系には直接つながっていない。概略的な研究地域を図 1 に示し、その図では大きな湖を強調した。

図示したように、Missoula 盆地は、その東側と南側の一部をロッキー山脈の分水嶺によって境されている。分水嶺を通り抜けて直接あるいは間接にこの盆地に入ってくる主要な峠が恐らく 10 個もあるという点で、この盆地は珍しい。その内のいくつかは南方の、Albuquerque 付近までの峠に比べて、かなり低い。北方のカナダでは Vermillion 峠、Kicking Horse 峠、Jasper 近くの峠が相対的に低い、それらはかなり遠方に存在する。

Missoula 盆地の西側の境は Bitterroot 山地であり、それは本質的にアイダホとモンタナの州境となっている。この山地には、盆地から外にでる峠がいくつかあるが、それらの高度は本盆地内の最大洪水水位として推定された高度よりも高い。たった一つの出口だけが残された。それは Pende Oreille 湖に流れ込んでいる Clark Fork 川の谷である（図 2 参照）。吐き出された大洪水は、

Spokane からコロンビア川までのワシントン州の広い範囲に“scabland”として知られる明瞭な足跡を残している。

Scabland の認定に関連したこれまでの研究史はよく知られている。1910 年に Joseph Pardee は、Clark Fork 川において驚くほどの高さの洪水水位についての最初の報告を出版した。下流部末端でおよそ 600m の洪水の深さが示された。これは、今日この水系で予想されるどのようなものより高い水位の排水であり、世界中で記録された他のどのような洪水よりもずば抜けて大規模である。Pardee は 1929 年まで、Clark Fork 川河口の氷河堰き止めのダムの大変動的崩壊をその原因と想定していた。

1923 年に J. Harland Bretz は、Spokane の下流で“channeled scabland”（溝が刻まれた scabland）と彼が名づけた概念に関わる最初の論文を発表した。しかし、一つの巨大洪水という彼の提案は、斉一観に傾倒しきっていた当時の地質学界から攻撃され、疑問視された。Bretz は、彼の研究が完全に認められるまでほぼ半世紀待たねばならなかった。半世紀をへた今日では、巨大洪水という提案を認めることは、事実上、一般的なことになった。Clark Fork 川合流点近くにある大きな氷ダムという概念もまた広く支持されてきたし、この構造物の大変動的破壊が、文献記述にひろく引用されてきた。それどころか、約 16000～14000 年前までの時代には、この

破壊はたった1回ではなく、繰り返されてきたという。Alt (2001) は、この問題に関する今日的な考え方の概略を要領よく述べている。

ところが、600mあるいはそれ以上の深さ、あるいは管理された状態で工用機材を用いて人間がつくったいかなるダムによる貯水水深の約2倍の深さの水を貯めるために、効果的な障壁をつくった氷河の舌状先端部の容積に関して、幾人かの地球科学者はためらっている。したがって、氷ダムの安定性と大変動的崩壊の必要条件についての簡単な紹介から本論を始めるのが良いだろう。つづいて、Missoula 盆地内のいろいろな湖の地形について述べる。

## 2. 氷のダム

最終氷期中のいくつかのステージにおいて、北からきた氷河は現在のカナダ国境を越えて流下した。Purcell

Trench (注：図2参照) を埋めた氷河は、標高約 630m の Pende Oreille 湖までも南下したと考えられている。このような氷河の先端は、とうぜん、図2の地点Aで Green Monarch 山脈に衝突する。この山地は湖側に長さ約 5km の東西性の壁をつくっており、その壁は標高約 1300m に達する。

本地域の 1,000,000 分の 1 地形図によると、この地点の上流にはダムをつくった氷河が迂回できるような低い鞍部は、少なくともよりきわどい川の左岸には、まったくない。すなわち、この地点は、氷のダムの末端の受け面としてのもっとも重要な物理的必要条件を満たしたであろう。しかし、巨大な氷河がこの地点に到達するためには、湖底と西側湖岸の低い岬状陸地の両方を横切らなくてはならなかった。疑いもなく基底面の形状変化は、氷河内部に応力解放をひきおこし、クレバスを形成した可能性がある。氷河の遮水効果は推測でしかないが、ここでは、適度に頑丈な氷のダムの場合を考えてみよう。

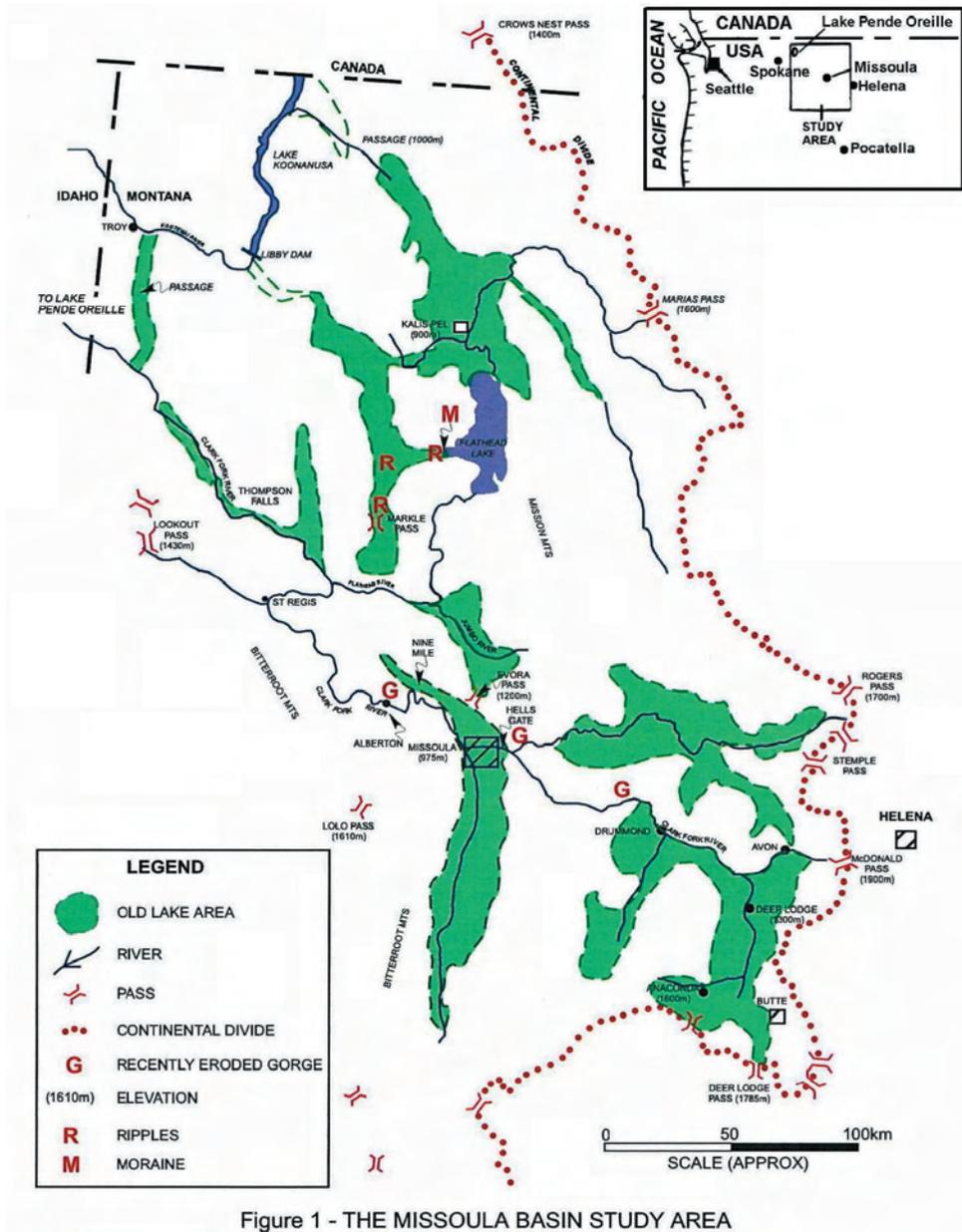


Figure 1 - THE MISSOULA BASIN STUDY AREA

図1 調査地の Missoula 盆地

図3は、Green Monarch山地にぶつかっている氷のダム  
の模式断面である。氷河が Purcell Trench をはうよう  
に進む間に、図に示すように、ほぼ間違いなく氷河前面  
に適量な量のモレーンを盛り上げ、岩石の崖にそれを押  
しつけたであろう。モレーンが存在するために、氷と岩  
石の接触部の遮水性が一時的に失われたであろう。しか  
し、氷のダムが完成する前に、モレーンが次第に浸食さ  
れたと仮定できる。そうならば、浸食作用が起きたのは  
湖の水位より低いところだけであろうから、湖面より下  
には巨礫に富むモレーンが遺されるだろう。これは、ふ  
つ々のダム設計者が満足するできる状態ではなく、とく  
に静水圧水頭が高い場合には問題が大きくなる。

さしあたり、氷のダム内のモレーンとクレバスの可能性  
を無視するならば、このような構造の安定性は一次近似  
で解析できる。堤防式ダムの崩壊の主な原因は越水であ  
るが、どのようなタイプのダムにおいてもすべり崩壊は  
もっとも壊滅的事件をもたらすことが一般的である。こ  
のような理由から、解析にはこの崩壊メカニズムを選び、  
関係する力を図4に示した。上流側の面への水の水平荷  
重Hには、抗力が生じる。氷の構造物の鉛直荷重Wは相  
応する上向き分力Uを受けるので、合成あるいは有効鉛  
直力(W-U)をもたらす。この有効鉛直力は、この構  
造物の準水平なすべりへの抵抗、すなわちダムの横幅に  
相当する氷と岩石の接触面全体にわたって作用する摩擦  
抵抗をもたらす。

この等式の未知数は、上向き分力と氷河底での剪断抵抗  
の角度範囲である。前者については通常の実際のダムか  
ら適当に見積ることができ、それを以下に示す。岩石に  
対する氷の剪断抵抗角 $\phi$ は、巨大な氷河底について多く  
の人が予想する値にはならないであろう。しかしながら、  
氷河はごく緩い勾配で重力クリープしやすいので、接触  
面での粘着力成分は大きくない。代わりに、氷河は巨礫

などの礫を多く運び、それらが基盤岩と接触する、と仮  
定できる。硬い岩石同士の剪断摩擦角は40°～50°の範  
囲に入るであろうが、基盤岩の接触面積はごく部分的で  
あるにすぎない。礫と礫が有効に接触する場合の20%を  
平均値とみなすと、全体の摩擦抵抗は10°代になるであ  
ろう。

上の考え方による解析結果を表1に示す。壊滅的すべ  
り崩壊を避けるためには、それにふさわしい状態とし  
て、氷のダム底の幅としては約10kmが必要であろう。  
この値は、水圧の作用方向に測ったものである。Green  
Monarch山地は、ダムとの接合部としてこの距離の半分  
しか用意できない。この接合部は、問題の腕木状の地点  
Aにおいて氷ダムを均等に押すであろう。恐らくこのよ  
うな理由から、文献やこの地方の情報局の両方とも、ま  
たは、それらのいずれかに示されているように、氷のダ  
ムの場所はClark Fork川を少し遡ったところと考えら  
れる。合流点から約30km上流のCabinet峡谷(図2の  
地点B)がもっとも好適な地点である。

再び、地点Bにおいて、水がダムを避けて迂回できる自  
然の鞍部はないので、崩壊の条件はこれまで述べてきた  
ことと同じである。氷河が高さ600mまで隆起するの  
に十分な運動量があるとすると、この地点の氷河ダムに見  
込まれる幅はすべり崩壊を防止するのに充分でなければ  
ならないだろう。

別の問題がある。地点BでClark Fork川をせき止める  
ため、Purcell Trenchを流下する氷河は、北から南へ  
の動きをほぼ西から東への上流に向かう動きに方向転換  
する必要がある。このように直角に曲がる場合には、氷  
河に裂罅が生じることは明らかである。そして、このこ  
とは、このような氷の障壁が遮水能力をもつのかという  
疑問を生じさせる。実際、この障壁が水を通さなかった  
ことに私たちは完全な確信をもてない。さらに、そのよ  
うな氷の障壁がつくられつつあるとき、障壁の上流側に  
蓄積されていく水によって、氷と谷壁岩石との境界面  
での浸食の恐れは絶えず続いたであろう。このタイプの形  
成初期の崩壊を避けるためには、氷河前面での垂直方向  
での成長速度がせき止められた河川水位の上昇よりも  
速いことが必要であろう。顧みると、この条件は保証  
されえない。とくに、Purcell Trenchに沿って流下す  
るKootenai川は、現在、北流している。もし、氷期末  
にこれと同じ勾配であったとすると、Purcell氷河はそ  
の旅の最後の100kmかそれ以上の距離に渡って上り坂  
を登る戦いをしたであろう。このような状況は、Pende  
Oreille湖にそしてClark Fork川上流の最終目標に向か  
う氷河の速い運動を妨げたことは確実であろう。結論と  
して、Clark Fork川に巨大で十分な性能をもつ氷の障壁  
を想定することにかかわる諸問題は、私たちの経験の範  
囲をまったく越えているといえるであろう。このような  
わけで、この提案は憶測であると認定せざるをえない。  
そうだとすると、Spokane scablandについての解釈をも  
たらす別の意見を探すのが賢明であろう。次に、Clark  
Fork川上流とそれに流れ込む水系に沿って広がる古い湖

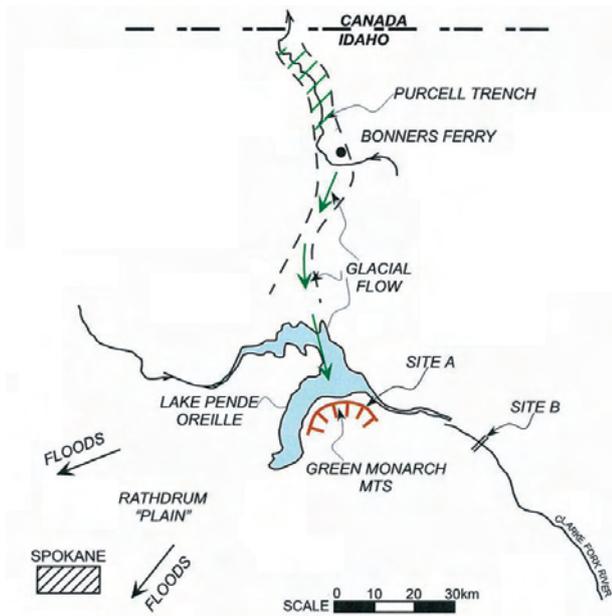


FIGURE 2 - LOCATIONS OF POSTULATED ICE DAMS (AT MOUTH OF CLARK FORK RIVER)

図2 推定される氷のダムの位置 (Clark Fork川河口)

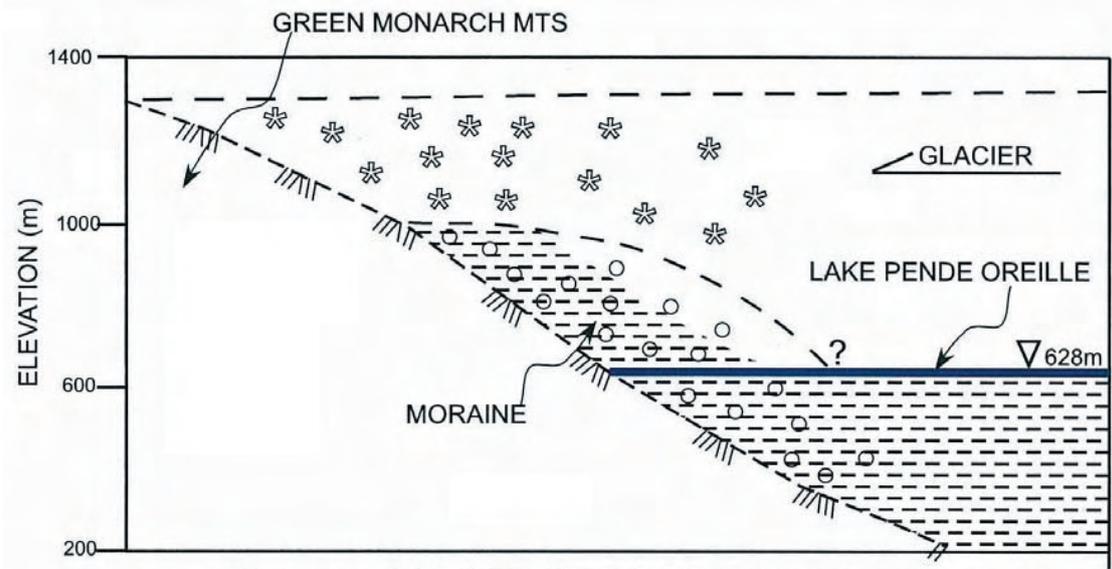


Figure 3 - GLACIER IMPACTING ON SCARP

図3 崖に衝突した氷河

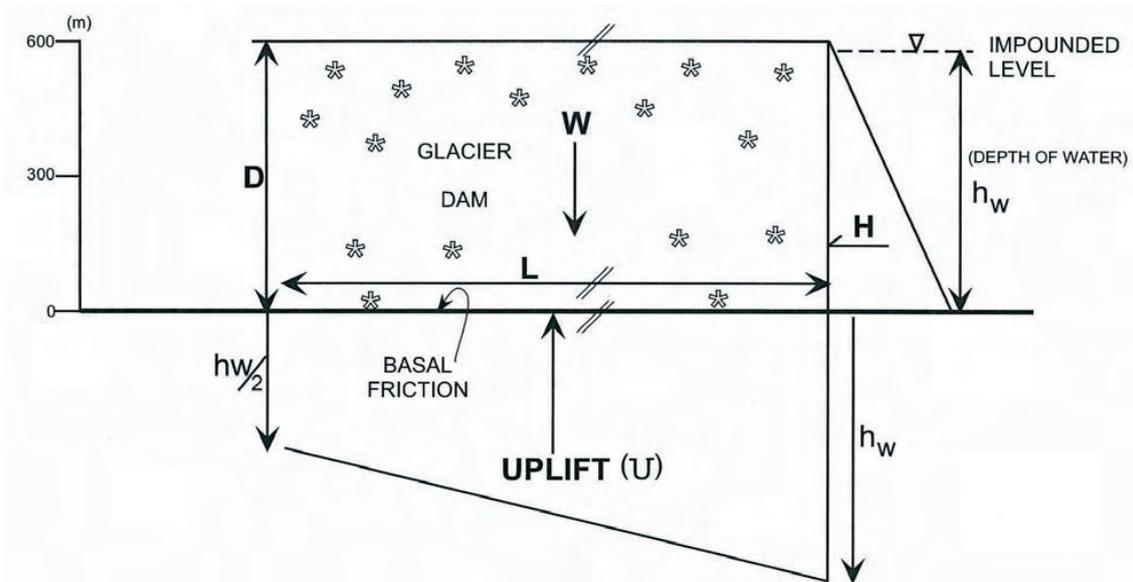


Figure 4 - SLIDING STABILITY - ICE DAM

図4 氷のダムの上べりに対する安定性

成層の地形形状を再吟味することから始めよう。

### 3. Missoula 地域の古い湖沼系

図1はMissoula盆地周辺の過去の湖の場所とその他の地形特性を示し、大まかな景観を表している。過去の湖であると判断するための特徴を列記する：

- 平らな谷底で、一般に、急傾斜の谷壁に接する
- 平らな谷底中にみられる孤立した“高台”あるいは後退した湖岸地形
- 谷底周囲の斜面にみられる湖岸線（水面）の痕跡
- 現在の谷底より高位にある出口、かつての湖の代替排出口であった

- 谷底に保存された砂堆地、水系上流部に巨大な乱流があった証拠となる
- Clark Fork川に沿う河川争奪の影響、Pende Oreille湖付近での単なる貯水よりもっと複雑な歴史を明らかにする
- 近傍の分水界中の峠からの排水と、いくつかの谷への流入の証拠、最後の点は、次節で別の問題点として扱う。

#### 3.1 Missoula 湖

Clark Fork川は、Missoulaの谷のすぐ上流にあるHell's Gateという間隙を通してMissoula峡谷に入って

表1 氷のダムに安定に必要な底の幅

底面の剪断抵抗の平均角度 ( $\phi^\circ$ )	氷のダムの高さに対応して必要な底の幅 (km)
3	2.5 ~ 3.0
5	1.6 ~ 1.7
10	0.8 ~ 0.9
20	0.4

いる。この峡谷の下流のMissoula 渓谷をかつて満たしていた湖は、現在の谷底よりもっと高い標高にあったことは疑いない。最も明らかな証拠は、峡谷の両側の多くの地点の丘陵斜面上に残っている汀線跡であり、それらはMissoulaにあるMontana大学の背後のSentinel山とJumbo山で最もよく見られる。これらの汀線によって示される最高水位について、筆者は何ら情報をもたないが、大雑把な調査と25,000分の1地形図で等高線の検討から最高水位は1,250 ~ 1,300mの間にあることが示された。この値は、Pardee(1910)が見積もった標高1,280mの最高水位と良く一致し、Pende Oreille湖の水位より約650m高い。

峡谷のこの発達段階において、Missoula湖は必ずしもClark Fork川合流点の氷河ダムに依存する必要はなかった。当時この川は、現在の西方へのルートに沿ってSt Regisの町に向かって流下していなかった可能性がある。この現在のコースに沿った場合に障害物が存在したことは、Alberton (ハイウエー90号)の真西にある深く、最近になって浸食された谷の存在(図5)から推定される。この峡谷の下流の地形は、St Regisの谷に沿って過去の湖が複数個あったことを示し、下流にもう一つ別の水力的障壁が存在していたことを示唆する。さらに、St Regisの下流で現在のClark Fork川が劇的な逆S字屈曲を示すことは、かつて河川争奪が起きたことを反映した地形的特徴である。言い換えれば、逆S字型の屈曲は、Clark Fork水系において比較的新しい時期に発達したものである。それには、まず第一に、St Regis川に沿う湖の湛水が必要であり、二番目に北からSt Regis湖に流れ込んでいた小さな支流を経由する越流によって発達した。その当時、このような越流が、比較的きつい逆S字型の屈曲を経由して、現河川がPermaの町近くのFlathead川との合流点に逆戻りしてつながった。Alberton峡谷が徐々に浸食されたために、逆S字型の屈曲部の浸食に要する水量が供給されたであろう。

Alberton峡谷の浸食以前に、貯水したMissoula湖はMissoula渓谷北縁の峠を排水口にしており、そこでハイウエー93号がEvaroの谷を通っている(図5)。湖の最高水位より多少低いほぼ1,200mの等高線でこの地形の基底を示す。V字型(浸食)谷がその峠に達するが、峠の頂部では広がり、平らになり、そしてところどころが湿地となっている。このことは、この隙間を通して水が長期間通過したことを示している。ここからの越流は、Jumbo川まで、Flathead川の上までの緩やかな起伏をもち、緩やかに傾斜した地形を横切って北方へと流れ、そこからPermaの町近くのすぐ下流で現在のClark Fork川との合流点まで戻った。そしてこの越流のルートは

Alberton峡谷の浸食によって無用なものとなった。

補足がある。もし、海拔1,200m以下でMissoula湖の漸進的な排水がAlbertonの狭窄部の浸食によって支配されていたとするならば、その状況はMissoula渓谷の丘陵斜面上に汀線跡を形成するのに適していたであろう。汀線堆積物の層相変化は、大きな水位変動よりも徐々に低下する湖水位と論理的に整合する。さらに、このような様式でMissoula湖の水位が徐々に低下することは、この地点での2番目の現象の原因であったにちがいない。すなわち、Albertonのすぐ上流のNine Mile近くでの氷縞粘土の堆積である(Alt, 2001)。その堆積は相対的に保護された環境場に生じ、堆積物は氷縞粘土の層相に上方薄化傾向をもたらす。すなわち、漸次的変化はClark Fork川合流点の氷河ダムで繰り返された貯水-崩壊メカニズムの証拠とされてきたが、これは、その期間を通じての漸次的な水位低下に結びついている(Alt, 2001)。しかし、この上方薄化傾向は、Alberton峡谷を通して徐々に水位低下しているMissoula湖における季節的反応によっても同じように十分説明できる。

### 3.2 Missoula 上流の湖

Hell's Gatesの上流でClark Fork川の谷は広くなり、U字型をしており、現在の川の流れに要する規模よりも格段に大きい。このことは過去により大きな流れがあったか、Hell's Gatesの障壁によってかつて湖が生じ、それが谷の形状をつくるのに役だったことを意味すると解釈される。U字型上流端に、最近浸食された高い鉛直の崖をもつ別の峡谷が生まれ、そして渓谷はDrummond村で過去の湖底に入るように広がっている(図1)。その谷底はAnacondaへの道に沿ってはるか南の方まで広がっており、その標高は約1,300mにあり、Missoula湖の記録された最高水位よりわずかに高い。この湖底には、小型の台地のような孤立した平坦な段丘がいくつかある。それは本来谷底より約20mの高さをもつが、南に向かって、すなわちClark Fork川から離れる方向にわずかに高さを増す。これらの段丘は、以前の湖水の水位あるいはおそらくその後の浸食によって失われた湖底の位置を示していると考えられる。いずれにしても、ここでの湖の水位はMissoula湖より十分に高かったし、下流のPende Oreille湖に仮定されるどんな氷河ダムにも依存していなかった。"Drummond"の湖のその後の排水は、湖の下流端で上記の急な峡谷の浸食と結びついている。

Drummond湖は、はるか南方の、おそらくAnacondaの過去の大きな湖まで達するであろう遠くのより高いところにある谷と間接的に関係がある。同じように、それはClark Fork川それ自身に沿って(90号線に沿って)上流まで直接つながっている。Garrisonの町で、過去の湖を示す新しくそしてより大きな特徴がDeer Park Lodgeを経てはるか遠くの南まで広がっている。これは標高1,500mおよびその上にある広大な平坦面である。その地形単元は丘陵に囲まれており、再び数セットの段丘をもつ。それらは平原上に孤立しているか、あるいはとき

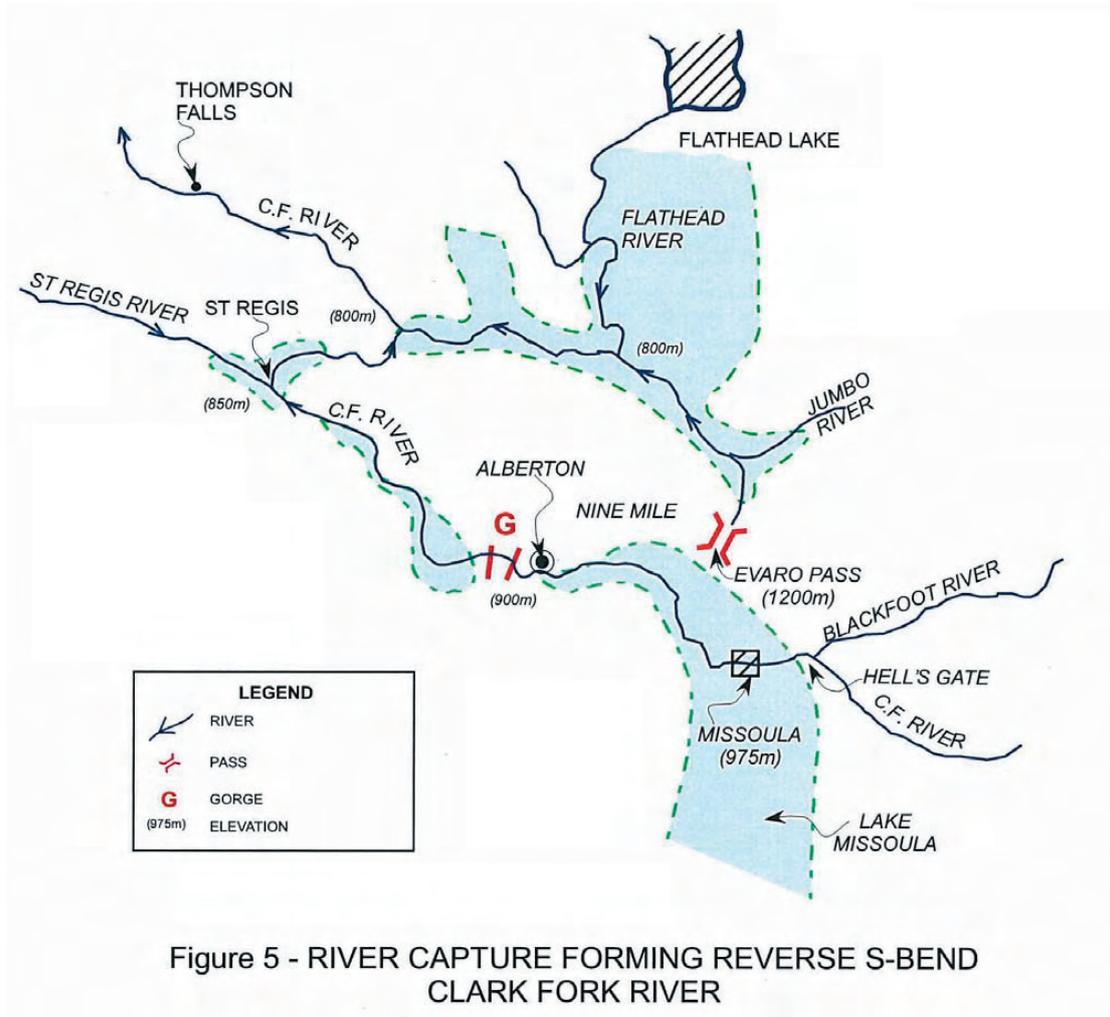


図5 Clark Fork 川の逆S字型の屈曲をつくった河川争奪

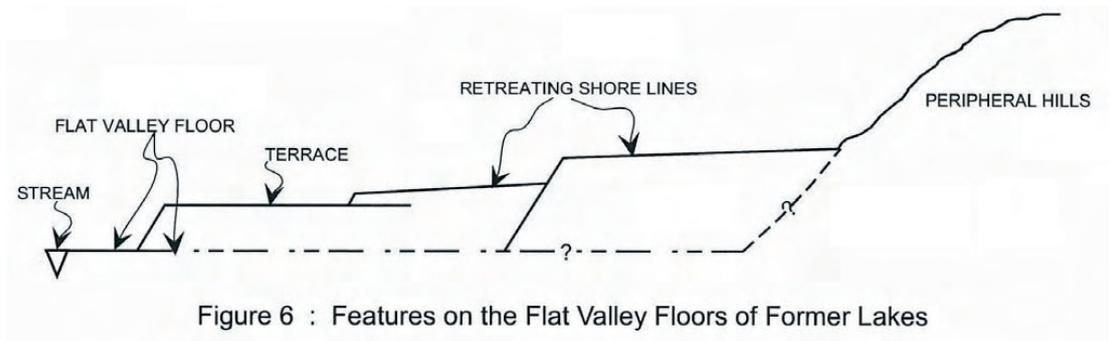


図6 過去の湖の平らな谷底上での特徴

たま緩く傾斜した古汀線の末端、あるいは、その近くに位置する（図6）。興味深いことには、“Drummond”の湖で言及したように、これらの汀線の標高は南から北に向かって一定の割合で減少している。

このような地形は湖水位のある種の間欠的低下を示しているが、より重要なことは、非常に大きな流れがこの広い谷の中に生じ、これらの地形を浸食したにちがいないことである。過去の湖の低い方（北側）の端で谷底の両側に存在する、高く固い段丘を浸食して通り抜けている広い隙間の存在によってこのことは十分に証明される。

過去の湖の一般的な傾向から、大きなシート状の流れが遠く南の方から発生したと説明されている。谷を南の方にたどると、上記の汀線の存在がなくなる傾向にある。大陸分水界上にある Deep Lodge 峠（海拔：約 1,800m）への道路において、緩やかにうねった地形が認められる。過去の湖の上端で得られる集水量は小さい。すなわち、いかなる著しい浸食能力を生成することはもちろんのこと、湖それ自身を満たすこともできそうもないようである。当時は、大きな流れが峠を通り抜けたに違いなく、この型破りな考えは過去の自然によって支持されている。このことは、次の第4節で議論する。

Garrison の少し東にある Avon (図 1) で Clark Fork 水系を離れて、ハイウェイ 141 号に沿って北に行くと、Clark Fork 川の支流の Blackfoot 川の谷に着く。再び、集水域が全くないのに地表流あるいはシート状の流れの証拠をここで確認できる。Avon から北へ数 km 間の地形は、南に向かう流れを伴ったある種のシート状の流れによって地形がつけられたことを示している。緩やかにうねった大地が、わずかに高くなって分水界になる。その北側にはシート状の流れが再び活動したことが示されるが、流れの方向は逆で、北に向かっている。このタイプの水力学的な指示物を作るのに得られる集水は分水界のどちら側とも皆無である。従って、過去のある段階に巨大な流れがこの低い分水界を通り過ぎた、おそらく両方向に向かって通ったに違いないということが推定される。この海抜高度は 1,500m 級であり、氷河による Missoula 湖より十分に高かった。

Blackfoot 川に向かってしだいに下りていくと、過去の氷河による Missoula 湖の高水位付近で平らな谷底が広がる景色に再び出会う。ここから、ある谷を進むと大陸分水界上の Rogers 峠に登る。これらの峠の多くがそうであるように、この峠の頂部はやや平らになるが、しかし環境は大西洋側のしだいに深くなる山峡に突然変わり、山峡は大草原に向かって急激に下っていく。

太平洋側には湖成堆積物によって作られた谷をもつ大山脈の大西洋側の河川浸食によって作られた広い大草原の谷同士を区別することは適切である。河川浸食によって作られた谷は周囲の山麓から川に向かって緩くなる斜面をもつ。これらの谷の低いゾーンの全体にわたって斜面は大変長い距離に渡ってせいぜい 1° ないし 2° の傾斜であったかもしれないが、かつて過去の湖を収容していた広大な水平地形と区別することはできる。とくに、水平な底面から急傾斜の山麓や山地へと急激な変化があるところでは容易に区別される。

### 3.3 Missoula 北方の湖

Missoula から国道 93 号に沿って北に Flathead 湖まで向かうと、平らな湖成堆積物が Arlee の町の北側に再び分布する。最初は、谷底から約 15-20m 上にあるようにみえる沖積段丘があり、ここでは、これらの地形は氷河による Missoula 湖の水位の範囲内の標高にある。

国道 2 号を Flathead 湖の北方に向かうと Marias 峠に向かって、最初は Columbia 滝直上の大きな浸食性隙間を通り抜ける。この過去の狭窄部は上流の 1 ないし 2 つの湖を支えていたようであり、そして国道は大陸分水界上の峠 (海抜: 約 1,600m) まで川に沿ってジグザグに進む。この頂上の地形を図 9 に示し、次節で議論する。この段階では次のことを述べるだけで充分である。すなわち、その地形は、高い山地中の鞍部での通常の流水による浸食で考えられるようなものではない。

Flathead 湖まで戻り、湖の西岸を下ると、湖の中ほどの

Elmo 村で西方に枝分かれした谷の中で大変興味ある場所が始まる。氷河によってこの湖まで移動し、堆積した大きな終堆石 (terminal morain) あるいは側堆石 (lateral morain) が、枝谷への入口をふさいでいる。その南端に部分的浸食による裂け目が生じているが、これから離れると氷堆石は西に向かって傾斜し、元の外観を保持している (注: 図 7 を参照)。その勾配は広大な浜斜面に似ており、変化せず、表面は滑らかで、明瞭な浸食地形やリップルが作られていない。しかしながら、この元の外観は谷底では変化し、そこで斜面は Little Bitterroot 川水系の幅広い南北の谷と合流する。後者の谷よりおよそ 50-60m 上にある海食台地と汀線が、合流点の上流で確認できる。そして、合流点のすぐ下流では、曲げられた大きな“アンチデューン”状の砂リップルが道路脇に現れる。このタイプのリップルは大きな乱流の特徴であり、リップルは Little Bitterroot 谷のこの断面の中ほどまで続き、おそらくより大きくそしてより長い波長をもつようになる。そして、デューンはまったく消えてしまい、ほぼデューン頂部の高さに平らな谷底が始まり、非常に緩い勾配で南端の一系列の丘陵まで下っていく。

Flathead 湖から氷堆石を通り抜けて川の合流点まで西に向かい、そこで一系列の丘陵まで南に向かったこのコースに沿った断面を図 7 に示した。この組み合わせの地形についての説明は次の通りである。

- 合流点近くの氷堆石下部斜面上にはリップルや破壊の明瞭な証拠がまったくないので、Flathead 湖脇の氷堆石は Little Bitterroot の谷の下流で巨大な流れが発生した後に堆積したのであろう。

- 合流点下流の曲がった砂のデューンは著しい水頭と著しい速度をもった巨大な水流によって形成された。この流れは Little Bitterroot の谷に限られていたが、あまりに大きすぎてその川自身によって形成されることはない。初期の解釈と同様、この特別な排水系外で流れが発生したことが提案される。北方には Kootenai 川に接続した 2 つの越流水路がある。巨大な流れが Little Bitterroot の谷に入るための入口の役割をはたした水路である。一つの接続は Koonanusa 湖と Kalispell を結びつけており、Smith 溪谷を西に向かい Little Bitterroot に至るという接続がある。二番目の接続は Libby ダムから南に行き、Fisher 川を経由して Pleasant 溪谷に至り、そして標高約 1,200m の鞍部を超して Little Bitterroot 川に入る。(もっと西方の別の接続が山地の峠に関する次節で確認された。) しかし、もし Kootenai 川がこれらの非常に巨大な流れをもたらすことができたとすると、その場合の流れはずっと上流で発生したであろうし、後で議論されるように、Alberta 州の Crownsnest 峠 (海抜: 約 1,400m) が有望な水源と考えられる。

- 巨大な洪水が Little Bitterroot の谷に滝のように流れ込み、巨大な砂リップルを作ったということを認めるならば、同じく、これらの流れはこの谷の南端の丘陵の列によって妨げられたであろうことも認められるべきである。その結果、水位が上昇し、流れのエネルギーは散逸されたであろう。このように、谷の低い方の端で初

めに形成されたすべてのリップルが平坦化され、上記のように、この地域の低い側半分の平らな谷底断面が作られた。

● 流入水は、明らかにこの谷を収容量いっぱいまで満たした。というのは流出が南端で始まったからである。流出は、Markle 峠、Willis 川 (海拔：約 1,200m) を経て現在の谷に浸食されていなかった Little Bitterroot 川に沿って始まった。Markle 峠のまさに頂上に深さ約 15m のポットホールが岩盤中に彫り込まれているので、越流それ自身は少なくともその峠では乱流になった。さらに、Markle 峠とその他の場所から下る流れは Camas Prairie 地域に多数のリップルを再び作った。これらの例は Alt (2001) などの文献中にみられる。そのリップルマークをもつ低い方の湖は、Flathead 川にすなわち Clark Fork 川に大量に排水した。小さな最近の浸食谷である Camas 川はこの谷からでた流れの末端のなごりである。

巨大リップルについてのこの説明は、Clark Fork 川河口近くの巨大な氷のダム崩壊の必要性を無くしている。

要 約

かつて Clark Fork 川沿いに存在した一連の湖とそれらに関連した排水系は、推定された氷河による Missoula 湖より高い海拔高度に源をもち、そのため、この系の低い方の末端のいかなる氷のダムとも関連しえないことを述べてきた。Missoula 盆地の現在の景観は、最初の湖を作ったさまざまな水力学的に拘束された越流とその結果生じた浸食によってつくられた。それは相対的にゆっくりした過程であり、その過程において、この状態への個々の変化はより低い Clark Fork 川中に記録されている巨大な洪水の原因となりえない。

このように、通常の河川洪水以外の原因によってこの状況を説明する必要があるので、海水準変動の概念が提案される。大山脈の大西洋側から発した海水準の充分な上昇が大陸分水界中のいろいろな峠を越える流れを起こすのに必要とされる。その結果としての Missoula 盆地への流入は、下流でその荒れ狂った道を見つけた。このことを念頭において、関連した峠を以下に検討する。

4 ロッキー山脈の峠

前述のとおり、Missoula 盆地は、大陸分水嶺の大西洋側に多数の峠を形成している点で、特異な存在となっている。この一群の峠のうち、盆地南部から順次、低高度の峠を評価していく

Deer Lodge 峠

海拔 1,785m の Deer Lodge 峠は、Butte から南へあまり遠くない国道 15 号線に存在する (図 8)。この峠の南側、すなわち大西洋側は、未検討である。しかし、山頂部はかなり広く、平坦な台地になっていて、その上には湖と湿地がつらなる。通常の侵食力によってこの地形を形成するのに必要な集水域は、この峠が石灰岩でできていなければ、まったく不釣り合いである。このような地形は、著しく大規模な河川がこの間隙を通過していたことを意味し、もし、最近の地質時代に大規模な海水準変動がもたらした何らかのメカニズムを想定することができるならば、大陸分水嶺の反対側からの海進が論理的帰結となる。このような海水準変動の正当性は、末尾の補遺に示される。

この峠の北側には、Clark Fork 水系へ向かってかなり緩やかに傾斜した地形面が存在する。この地形面は、上流部では緩やかな起伏地形を横切った後、海拔 1,500m 付近より下流では段丘が幅広い平坦な谷をかたちづくる。

Rogers 峠

海拔約 1,700m の Rogers 峠は Helena の北方に位置し、Great Fall へつづく国道 200 号線沿いにある (図 1)。この地域にあるいつかの峠の 1 つで、峠から約 1km 離れた地点までつづく U 字谷に沿って西側からたどりつくことができる。この峠は比較的狭く、その東側 (大西洋側) は活発な侵食作用を受けて峡谷になっていて、大草原の高度まで下る。それとは対照的に、峠の西側は Blackfoot 川沿いの幅広い埋積谷になっていて、かつては、この谷に沿って大量の土石流が流下したことを強く示唆する。土石流は、ここでも、この峠を超えた海進によって説明されうるであろう。

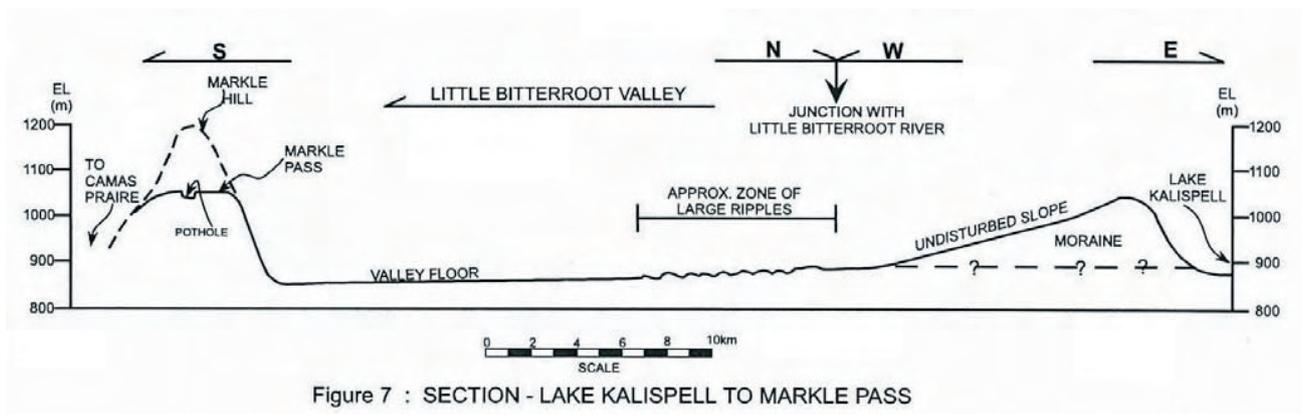


Figure 7 : SECTION - LAKE KALISPELL TO MARKLE PASS

図 7 Kalispell 湖 - Markle 峠間の断面 (注：図 1 を参照)

**Marias 峠**

国道2号線は、海拔約1,600 mのMarias 峠に向かって、Kalispellの東方をジグザグに登る。この峠そのものは、半径約1kmの卵型の地形区といった印象を与える。図9の等高線は、この峠が大きくみると幅広いU字谷であることを示し、峠に直交する方向に湿地や蛇行した小川が存在する。このような地形的特徴を、峠の頂部における浸食作用に帰することは現実的ではない。

<ここから>

この峠の両側には、確かに、河川浸食によってV字型の峡谷が形成されている。しかし、西側(Kalispell側)では、小川がFlathead川の中流部に合流すると、およそ15kmにわたってV字谷が形成されている。さらに、いくぶん下ると、最近になって基盤岩が10mほど洗掘された証拠がある。これら2つの特徴は、この地域の河川が現在は下刻状態にあることを示しているが、それに先立つ河谷の埋積を説明するには別の環境が必要である。ここで再び、大量の流れが峠を越えたとすると、それは、この埋積作用を説明することが可能であろう。

この河川は、幅広いFlathead湖の環境に流入する前に、結局、Columbia Fallのすぐ上流側の凹部を通過した。

**Crowsnet 峠**

Crowsnet 峠は国道3号線(Alberta州)にあり、海拔は1,400mをわずかに下まわり、Missoula盆地に入る最も低い峠である。この峠の大西洋側は、より起伏に富む。Sparwood北方の源流部は浅いV字谷になっていて、南へ向きを変えるとKooconusa湖を経て、Libbyダムへ流入する。そこでKootenai川に名前をかえて、LibbyダムからBonners Ferry(Idaho州)までは西へ、それから北へKootenai湖(カナダ)まで、そして最後には西向きに流れてColumbia川に合流する。Kootenai湖を通過してこの川が最後に北へ流れる区間は、前述したPurcell Trenchに沿う。

この峠がMissoula盆地の峠群に含まれる理由は、Kootenai川とMissoula盆地との間を結ぶ水系があるからである。Kootenai湖へ流下する途上に、海拔1,000m以下の低い鞍部があり、Kalispellと連絡する。ダム周辺ではもっと複雑な河谷系が発達し、分水嶺の海拔高度は1,200m以下である。これらは、Little Bitterroot川の水系と、前節で述べた漣痕が発達する谷底に連絡している。

Kootenai川のさらに下流側のTroy村では、もうひとつの浅い谷が、直接にClark Fork川と連絡している。Purcell溝が、Pende Oreille湖への最後の連絡区間となる。後期更新世のいくつかの時期に、Purcell溝は水河によって完全に、あるいは部分的に埋め立てられていて、下流側のPende Oreille湖あるいはその近くで氷のダムを形成したと喧伝されている。しかし、蓄えられた水のおおくは、Troyの南の浅い谷に沿って、Clark Fork水系へ流出したであろう。

**要約**

Missoula盆地水系の地形は、大きな河川がMissoula氷河湖よりも高い海拔高度の集水域に由来し、それゆえにこのような流下過程は、Clark Fork川の河口付近に氷ダムが必要でないことを示す。大陸分水嶺の鞍部は、大きな河川がMissoula盆地水系に流入する地点にあり、これらの鞍部の地勢が、それらが当時も存在したことを指示する。このような経緯があったために、大規模な海水準変動が1つの論理解として提案され、そして、この変動は山脈の大西洋側ではじまった。大規模な海水準変動は極移動によって、あるいは、大きな歳差運動(地球の動揺)によって引き起こされることが、後ほど議論される。地球自転の影響によって、これらの変化は、まずもって、ロッキー山脈やアンデス山脈のような山地障壁の東側で発生するだろう。

その流入年代を決定するための研究は、現時点では行なわれていない。しかし、Flathead湖西側(図7)では乱流によって形成された砂丘の漣痕をモレーンが覆っているという事実は、最終氷期の極相期以前であることを示唆する。

この主題を終えるまえに、考察すべきもうひとつの見解がある。それは、アイスタシーにかかわる話題で、地表がかつては海水準近くにあり、そして、その後には隆起した場合に、上述のような洪水の影響が生じるというものである。このような見方が現実のものであるとするには、約15,000年間に約15,000mの隆起が起こったと認めざるをえなくなり、その平均隆起速度は100mm/年に

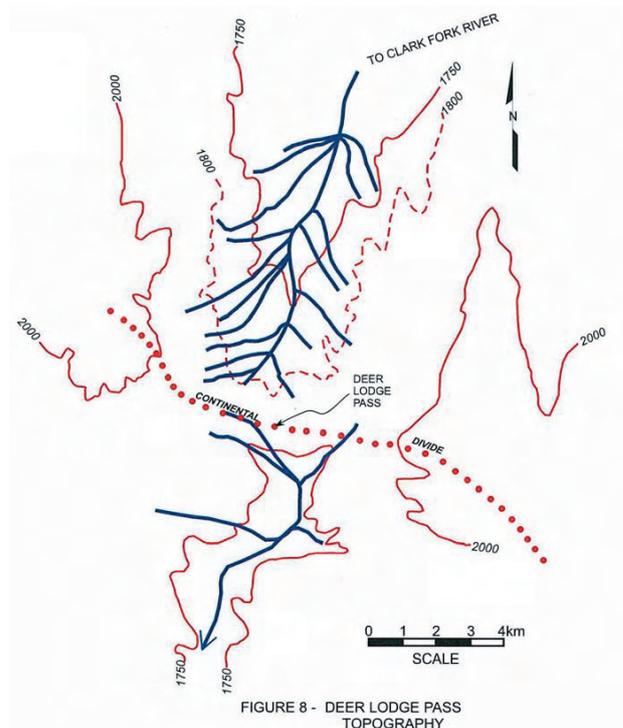


図8 Deer Lodged 峠の地形

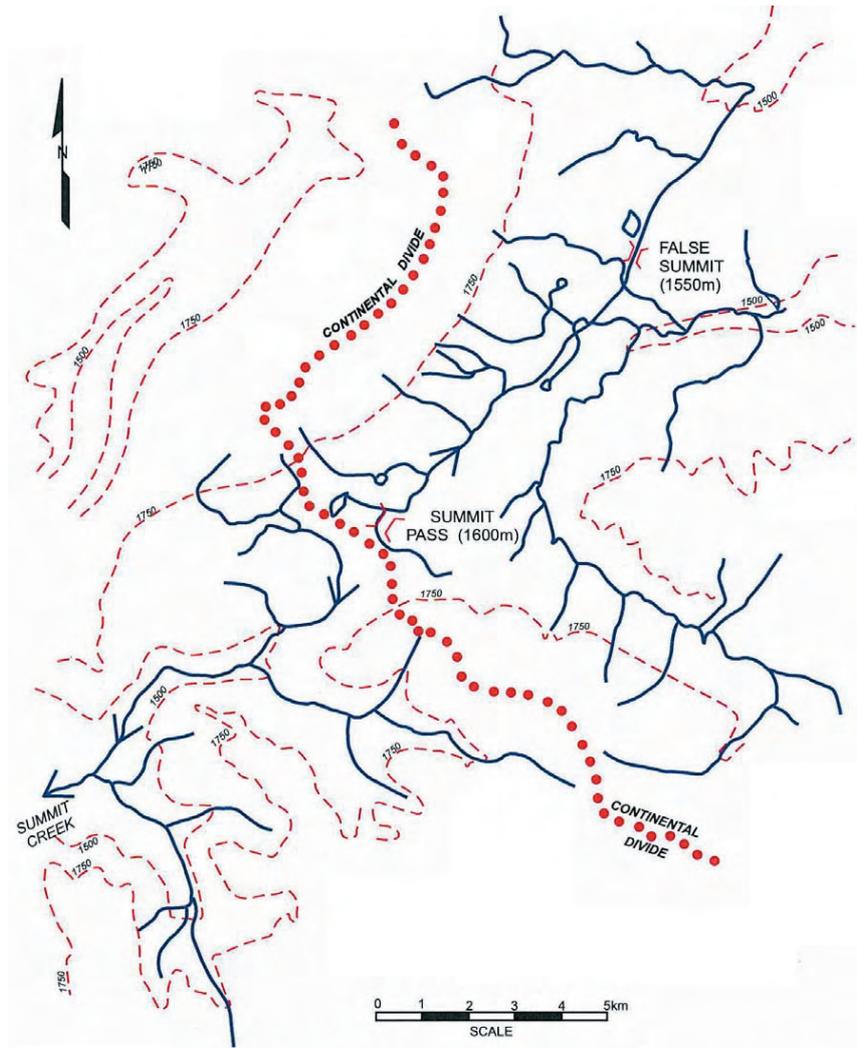


FIGURE 9 - SUMMIT PASS (ROUTE 2) WITH WIDE PASS AREA AND CROSS DRAINAGE

図9 Summit 峠（国道2号線）。広い峠地域と横断水系水系をとまなう。

もなる。そして、このようなタイプの大規模な地質過程がまさに現在も進行していることを、間違いのない証拠にもとづいて示すことが求められる。そうすることができなくても、そのような急激な隆起は、この地域のどこかで、河川勾配として顕在化しているはずである。

**謝辞** カルガリーの地質研究者 C. Warren Hunt の著書『Environment of Violence』(Polar Publ., Calgary, 1990) によって、私は Spokane 洪水地域を訪ねる旅を思い立った。その第1の判断基準は、Alberta 州にひろく分布する Saskatchewan 礫層に由来したと判断される円磨された石英砂岩の大礫～巨礫が、ロッキー山脈の太平洋側、たとえば Revelstoke 付近の Three Valley Gap の高位“段丘”でも発見されることであった。第2の判断基準は、Utah 州の Great Salt Lake 北方の Red Rock 峠（海拔 1,550m）に海食によってしか形成されない地形が存在することであった。実際、この峠の北でみられる隆起海浜地形 [beach ridges] が、Pocatello から Snake River 平原を上流へ向かって 125km にわたって、1,350～1,450m の海拔高度に追跡される。大規模な海水準上昇がこのような地形を説明する論理解になる、と私には

思われる。したがって、Spokane 洪水の場合にも海水準変動に起因する可能性がある。私は、St Paul の Keith Wilson 氏にも感謝する。氏は、私の旅の最初にカナダのロッキー山脈を横断する調査に同行して地質学的議論を行なってくださり、また、最終原稿にいくつかの貴重な示唆をいただいた。Washington 州から Montana 州までの地形学的解釈は、著書個人の責任による。

主要文献

Alt, D., 2001. Glacial Lake Missoula and its Humongous Floods. Montana Press Publ. Co.  
 Bretz, J.H., 1923. The channeled scabland of the Columbia Plateau. Jour. Geology, v. 34, p. 573-608.  
 Creer, K.M., 1981. Long-period geomagnetic secular variation since 12,000 BP. Nature, July 16, p. 208-212.  
 Frenzel, B., 1973. Climatic Fluctuations of the Ice Age. Case Western Res. Univ.  
 Gold, T., 1955. Instability of the Earth's axis of spin. Nature, v. 175, p. 526ff.  
 Hunt, C. W., 1990. Environment of Violence. Polar Publ.,

Calgary

James, P.M., 1992. Very large changes in sea level. 6th Aus/NZ Geomech. Conf.  
 James, P.M., 1993. Earth in Chaos. Boolarong Publ., Brisbane.  
 James, P.M., 2007. On isostasy. NCGT Newsletter, no. 42, p. 43-45; no. 43, p. 69-71.  
 Kovacheva, M., 1980. Summarised results of the archeomagnetic investigation of the geomagnetic field variation for the last 8000 yr. Geophys Jour., v. 61, p. 57-64.  
 Nakiboglu, S.M. and Lambeck, K., 1980. Deglaciation effects on the rotation of the Earth. Geophys Jour., v. 62, p. 49-58.  
 Pardee, J.T., 1910. The glacial lake Missoula, Montana. Jour. Geol., v. 18, p. 376-386.  
 Shepard, F.P. and Dill, R.F., 1966. Submarine Canyons and Other Sea Valleys. Rand McNally.  
 Verosub, K.L., 1982. A paleomagnetic record from the Tangle Lakes, Alaska: large amplitude secular variation. Geophys. Res. Letters, v. 9, p. 823-826.

\*\*\*\*\*

<補遺>

極移動, 動揺, および海水準変化について

19世紀後半にC.D. Duttonによって地質学に導入されたアイソスタシーという概念は, 地球科学に有益性にまさる多くの損害をあたえた. この概念そのものは根本的に吟味されこともなく (James, 2007), また, 実践的にも応用されたことのない概念である. たとえば, もしそれが何らかの有効性をもっているとすると, 15Maの大半の期間にわたって氷冠におおわれてきたと考えられる南極は, 地表の沈降を示す何らかの兆候をはっきりと示すであろう. にもかかわらず, 多くの地質研究者たちは, 海水準が不変でありながら, 幸いなことに, 大きな陸塊の上下方向への振動運動を認めている. しかし, この観点に再評価の必要性があることを実感するには, いかなる様式の極移動に対してでも, 地球の薄い海水層が敏感に応答することを考慮さえすればすむ.

回転する天体としての地球上で (球形であることを除くと), 薄い海水層は図A1の曲線Aに示される分布, すなわち, すくなくとも現水量で計算すると, 水深は赤道で12kmおよび両極で0になるだろう. 球形の地球での実際的水深分布は曲線Cのように極から赤道まで均等で平均約4km, 大陸がなければ平均約3kmである. 地球はその自転に回答して準-水力学的に歪むという事実は, この均等な水深分布の大半を疑いもなく説明する. しかし, ある地域でそれぞれの曲線を比較すると, 大洋での実際的水深分布には何らかの "水の過不足" が存在することがわかる. これは, 先に使われた仮想の球形地球上では, 現在の海洋は赤道から両極へ向かう移動の途上にあることを意味する. これは, 自転軸が変化しはじめたことを示す重要な結論である.

極移動は, もはや, 20年前のように地質学にあつて「大嫌いなもの」ではない. 地質時代のなかで短期間であるとしても極が移動するとなると, 地球の遠心力による加速度が変化し, 即座に海洋が応答するであろう. (ちなみに, これは, リソスフェアやマントルの上を滑るような地殻の全体的移動を意味するものではなく, 地球は赤道方向への膨らみとジオイド形状をより適切な平衡状態に保とうとして位置を変化させるのである. このようなジオイド移動を含めて, その結果として生じる応力と歪は, この論文では言及されない.)

極移動にともなう薄い海水層の分布をみると, より赤道方向へ移動している地表部分に位置する場所では海水準が上昇, 高緯度へ移動する場所では海水準が低下するであろうことを曲線Aが示す. これらの変化は, 上述した "水の過不足" によってかなり誇張されるであろう.

海洋における海底谷の遍在性は, おもに第三紀における大規模な海面低下を示す適切な証拠になるだろう. また, 海底谷の規模と陸域からの堆積物供給量との間にはなんら相関がないにもかかわらず, 多くの地球科学者はそれらの起源を混濁流に結びつけたがる. 1例をあげると, コロンビア川は最近の地質時代に巨大な堆積物を搬入したが, その海底谷は, 北側に隣接するちっぽけなWillapa川よりもはるかに大きいというわけではない. 確実な例は, 他にもたくさんある.

この点に関して, 大規模な海水準低下が地球のある海域における海底谷の発達に反映されているとしても, それは, そのまま全地球的規模での海水準低下を意味するわけではないことに留意すべきである. それにかかわって, 極移動, あるいは, 歳差による大規模な自転軸の動揺が起こっている場合には, あらゆる場所で緯度が変化するために, 地球上のある場所で海水準が低下するも, どこか他の場所では相補的な海面上昇が起きるだろう. これは, Missoulaへの海水の氾濫の証拠がいかにも有用であることを示す理由である.

ある簡単な例を考えよう. 文献によると, 約15,000年前の氷冠の中心はBaffin島一現北極から15~20°に位置していたことに確実な証拠がある. この氷冠の中心が当時の極を示すことが合理的だとすると, 極移動にともなう海水準変化は, 曲線Aによると2kmほどの規模であり, 逆に, より低緯度になった地域は海水準上昇を経験することになる. この任意の例では, 北極がBaffin島にあり, Montana州は現在よりもより高緯度になり, そのため, 論理的にはそこでの海水準は低下する.

しかし, 極移動は固定的ではなく, 直線的に移動する必要はない. 古地磁気学的な極軌跡は, 極がある種の "円" を描いて新しい場所へ移動することを示唆する. もし, Baffin島が円を描く極の1つの位置を代表するものであれば, 遠くない昔に, 180°隔たった対極にあったとの推論は不合理ではないだろう. その場合, Montana州は今

日よりも緯度で 15 ~ 20° 熱帯に近く、海水準は 2km ほど上昇していたであろう。これは、大陸分水嶺の越水にきわめて適切な値である。

地球のある場所における海水準低下の証拠が、別の場所における海水準上昇と一致するかどうかを確かめるには、もうひとつ大きな問題がある。歳差あるいは自転軸の動揺による海水準変動が一過性のものであるとすると、それはより油断のならない問題になる。たとえば、ほとんどの天文研究者は、昼夜平分点 (春分と秋分) における歳差は不変の現象であると考えているが、このような見方が信用できないことを示す適切な証拠がある。たとえば、コペルニクスは、紀元前の最終世紀と紀元 6 世紀の間には歳差速度に 30% の違いがあることを発見した。加えて、特異な日食が紀元前数世紀の間に起きた、たとえば、日食期日は予測どおりであったが、場所が予測とは異なっていた例、緯度はアレキサンドリアに固定されるが、今日の位置とはずれている例、食の期間が巨石文化時代の太陽遺跡群に示される例、および、先史時代にくりかえし発生した洪水事変と暗黒期があげられる (James, 1993)。

地球科学の主流においては、なんらの確定的データもなく、何が本質的な仮説的問題であるかに関する議論がされていることは明白である。幸いなことに、このトンネルの出口からの光明が、実に全世界的な海水準変動の記録とともに、過去 2,000 年間にわたる異常な古地磁気データからもたらされた。この方向での研究を追求しようと思う読者には、その手はじめとして、これらのデータの照合やいくつかの初期の文献が、文末の文献欄に記されている。Missoula 問題に関する第 2 の研究方法は、Missoula 盆地の当該堆積物が海成あるいは淡水性のいずれであるかを検討することである。これはすでに実施されているであろうが、一過性の海の影響が多く、河川性物質によって長期間にわたって濾過されないという事実によって特別の配慮がはらわれる必要があるだろう。

Missoula 氾濫について、もう一つ述べておくべきことがある。想定されている海水準上昇が極移動に起因するならば、ロッキー山脈やアンデス山脈といった褶曲山脈障壁のためにやや遅れるものの、ロッキー山脈の太平洋側でも同様の海水準上昇が起こったはずである。Utah 州の Great Salt Lake に関係する Bonneville 洪水や関連した地形は、この問題に関するいくつかの有用な指標となる。いっぽう、海水準変動がなんらかの地球の動揺に由来する場合には、太平洋側における顕著な海水準上昇をとともなわないで、ある種の海水の侵入や侵入のくりかえしが起こったであろう。

しかし、1 つだけは、十分に確かである。いずれかの解釈が有効性をもつとすると、更新世末期に北アメリカで不快な出来事の副産物がある著しい絶滅現象をもたらしたはずである。その関連性については、付録でいくぶんかの追加説明がされる。

\*\*\*\*\*

## <付録> (Missoula 洪水について)

### 絶滅と大規模海水準上昇 — それらの関連性

かつて流行った隕石仮説より以前には、伝統的に、絶滅は突然起きるものではなく、漸進的な変化 (何らかの種間競争に対する応答) によって起きるものと理解されていた。事実は、この事件の後にも 20,000 年にわたって、クロマニヨン人という優勢な亜種の明瞭な子孫が各地の孤立した洞穴に生存していたという事実にもかかわらず、クロマニヨンでは約 35,000 年前にムステリア文明が広範囲に一掃したと指摘された。35,000 年以前にはマンモスも広く生息し、シベリアからスペインにひろがる地域で草を食んでいた。それらの大半が、ネアンデルタール人と同時に消滅した。胃と歯に温暖な気候に生育する植物がそのまま遺されていたために議論をまきおこした Beresovka 標本のように、シベリアではしばしば瞬時に冷凍された。これらのマンモスが無情に狩猟され、食料にされていたという確実な証拠はない。

オーストラリアの有袋大型動物群は突然に絶滅し、それは 20,000 年前頃と見積もられている。ここでは、人為的要因はほぼ確実に排除されなければならないであろう。というのは、この大陸の人類たちは、"Bradshaw" 岩絵といった特徴的な芸術とともに、不思議なことに同時に絶滅しているからである。

Scott (1937) は、更新世末の最後の絶滅期には地球上の 3/5 以上で大型動物群が激減した、と述べている。このような影響をあまり受けていないのはアフリカとアジアの各地であり、両地域とも、多数の狩猟-採集者たちが生息していた。Hibben (1946) の計算によると、同時期に北米では約 4,000 万頭もの動物 (マンモス、マストドン、ジャイアントビーバー、剣歯虎、バイソン、有毛サイ、クマ、ラクダ、ウマ、.....) が死滅し、その期間は 15,000 年 ~ 12,000 年前の数世紀に満たない期間である可能性がある。アラスカの黒泥土中に貯えられたこれらの動物の骨は、Yukon 地域の金採掘者によって発見されたものである。発見された部位は、肌、体毛、筋肉、爪、靱帯、樹木、および、いくつかの人類遺物である。

絶滅事件はひきつづき、より南へ向かって発生し、これら一群の動物の骨が Florida 州の砂の上にさらされて、New Jersey 州の礫層中から、Texas 州の段丘上で二枚貝化石といっしょに、メキシコの Los Angeles 州のコールタール穴で、それぞれ発見された。Texas 州における比較的古い (正確ではない) 年代測定によると、約 12,600 年前の値がえられている。

南アメリカでは、大西洋岸からアンデス山脈に、カラカスからパタゴニアに、南部における海水準からボリビアでの海拔 4,000m まで洪積層がひろがっていて、一群の

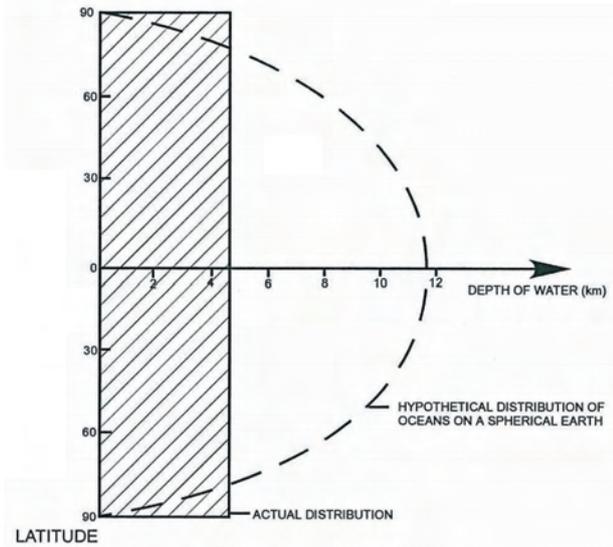


図 A1 水薄層層の分布。 曲線 A：球形地球の場合，B：実際

骨化石が産出する。1958年に初版本が発行されたC.H. Hapgoodの『Path of the Pole』などの著書には、さらなる情報が見いだされる。この著書のなかでは、著者自身による地質調査と他人の野外調査からの記録とを区別して理解される必要がある。

上述したタイプの堆積物は人類によるオーバーキルを示さず、人類を含む急激で外傷性の絶滅事件を示唆する。すくなくとも1つの大陸規模での事件の同時性が想定されるが、より広範囲で立証するにはいっそうの研究が必要である。いずれの事件においても、大陸規模にひろがった大量死は天変地異の様相を呈し、Missoula洪水研究の意義は、引き起こされた海水準変動の問題に関するさらなる研究が、私たちの惑星—地球の理解に恵みをもたらすであろうことを示唆する。実際、海水準低下と絶滅との関わりは新しい概念ではないが、移動論時代以前の地質学者の間で長く暖められてきた概念である。本号に掲載されたより根本的な研究によると、大規模な海水準低下や上昇は極移動（中～長期的海水準変動）、あるいは地球の動揺としてあらわれる歳差運動（短期的海水準変動）の結果であると示唆される。

海水準変動とアイソスタシーに関するあらゆる議論につきまとう矛盾について、さらに考察しよう。アンデス山脈の隆起した鹹水湖は、極端ではあるが、いっぽうで、重要な事例になる。Titicaca湖は、海拔約3,800mにある汽水湖である。この湖には、現世の海棲型軟体動物のほか、海洋環境以外でここにだけ生息する数種のタツノオトシゴが知られている。この湖は南のPoopo湖へ排水され、そこからは、たいへん塩分濃度の高い河川によってCoipasa湖へ、さらに南へ塩性平原にそって、おそらくはAtacama砂漠まで排水されている。周辺の岩石は古期結晶質岩石と火山岩であり、そのような高鹹性環境をもたらす中生代の岩塩層は存在しない。これらの高鹹性湖には、それらがかつては海洋と直接連絡していて、それはあまり昔ではない、との論理的説明が与えられる。

そうだとすると、次には、陸地が過去35,000年間に3,800m隆起したのか、それとも、大規模な海水準がおこったのか、ということが問題になる。

この湖システムの両岸には隆起海岸線が存在し、それは、岩石にうがたれた波食窪と、375マイルすなわち600km以上の距離にわたって連続する長く相平行する白い線によって示される。この距離の間に、隆起海岸線の高度は800フィート、ほぼ250m低下する。南へ低下する隆起海岸線の勾配はわずかに変化し、その平均勾配は1:2,500という合理的な値を示す。Charles Darwinは、チリおよびペルーの海岸部の“tablazos”とよばれる海岸段丘に南へ低下する同様の勾配を記した。

北半球では、古海水準が北極へ向かって低下すると示唆されている。Saskatchewan礫層は、ロルディレラのロッキー山脈の東側に分布する。基本的には海浜堆積物であり、Alberta/Saskatchewan州境界地域にひろがり、さらには、合衆国国境部のCypress丘陵から北へほぼ1,000kmにわたって連続する。その北下りの勾配は、Titicaca湖での測定結果とあまりかわらない。

陸地が傾動することなく、どのようにして、このような海水準の勾配が形成されたのであろうか？ 1つの図式的形状が、図A1の曲線Aから推定される。ここでは、地球自転の力によって、両半球の海水準は赤道域からそれぞれの極へ向かって傾斜する。もし地球の自転軸が移動すると、遠心力の加速度の新しい分布パターンによって海洋の新しい分布が決定され、新しい環境で安定化するまでは、“水平”の基準とされたかつての海水準が維持されない。このような変動性によって、Titicaca湖水系の傾斜した古水面を説明できないだろうか？ これによって、“傾斜したアイソスタシー”を説明することができる。海水準変化は、まさに、すべてのアイソスタシーの必要性を満足させる鍵になる。（この記述は、地殻の圧縮によって起きる造山運動を否定するものではない。）

#### 研究の初期段階におけるいくつかの文献

- Hapgood, C.H., 1958. The Path of the Pole. Adventures Unlimited Press, Illinois.  
 Hibben, F.C., 1946. The Lost Americans. Crowell, N.Y.  
 Scott, W.B., 1937. A History of the Land Mammals in the Western Hemisphere. Macmillan, N.Y.

## 太平洋の地質と構造発達史 第3部：基盤岩の構造と組成

GEOLOGY AND TECTONIC DEVELOPMENT OF THE PACIFIC OCEAN  
PART 3: STRUCTURE AND COMPOSITION OF THE BASEMENT**Boris I. VASILIEV**V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of RAS Vladivostok, 690041, Russia  
boris@poi.dvo.ru**Dong R. CHOI**Raax Australia Pty Ltd, 6 Mann Place, Higgins, ACT 2615, Australia  
raax@ozemail.com.au; www.raax.com.au

(岩本 広志・小松 宏昭・川辺 孝幸・柴 正博・小泉 潔・矢野 孝雄 [訳])

**要旨**：この論文は、太平洋巨大海盆における、おもにロシア人科学者によってなされたドレッジ調査の成果をまとめたものであり、既存の地質・地球物理学データと総合して、太平洋の“海洋地殻”の実態とテクトニクスを議論する。この研究は、太平洋巨大海盆の基盤岩が不均質で、年代もさまざまなことを明らかにし、このような優黒質地殻は、広範囲に分布する超塩基性～塩基性岩石によって証拠づけられる。大洋底の地殻の初源的組成は疑いなく大陸的で、くりかえされた造構-火成活動によって変質したことは、大洋島の噴出岩から得られる鉛、ストロンチウム、ニオブウムの同位体組成（下部層の年代は、35億年間にわたって溶融を経験してきた）や、多数発見された大陸性岩石や火山岩組成（アンカラマイト、粗面玄武岩およびボニナイト系岩石）に示されるとおりである。将来の研究の進展は、“海洋地殻”が大陸的性格をもっていることを示すより多くの証拠を提供するだろう。

**キーワード**：太平洋巨大海盆の構造と組成、海洋地殻、大陸地殻、優黒質構造、造構-火成活動

**まえがき**

最近40年のドレッジや深海掘削によって、深海底玄武岩に覆われた基盤岩あるいは“海洋地殻”に関する多量のハードデータが蓄積されてきた。これらの成果は、太平洋の地質アトラスとして出版された (Pushcharovskiy and Udintzev [eds.], 1970; Jatskevich [ed.], 2000; Udintzev [ed.], 2003; 他)。しかし、おもにロシア語文献として出版された広範囲にわたるドレッジ調査の成果は、西側の地質研究者にはほとんど知られないか、無視される。それゆえに、もっとも肝要なデータでありながら、“海洋性地殻”の真の組成や構造と太平洋構造発達史を理解しようとする努力が考慮されることはほとんどない。これが、プレートテクトニクスが世界の地質学界の地球力学概念を席卷することを許してきた。本稿第3部で、真の“海洋地殻”にかかわるもっとも緊要で、疑問の余地のない証拠を幾つか紹介し、太平洋深海盆の地殻組成と発達史を議論する。

**1. 太平洋巨大海盆の東部**

太平洋巨大海盆東部の下部層・中部層（それぞれ、第3層と第2層）の岩石が、次の海域でドレッジされた(図1)。

**ヒーゼン [Heezen] 断裂帯** (エルタニン [Eltanin] 断裂帯に含まれる)

1977年に調査船“アカデミック クルチャトフ [Akademik Kuruchatov]”の第24次航海では、Heezen 断裂帯の南緯55°15'、西経125°34'において、もっとも完全な層序断面(5,100m)が調査された (Kashintsev and Frih-Har, 1978; 図2)。

斜面基部(水深5,200-5,640m区間)でのドレッジによって、ブロックといつかの岩塊が200kgほど採取された。構成岩石は密に成層した斜長石-アクチノライト岩で、ごく稀に微細面構造[microfoliation]のある石英-斜長石スレート片が含まれる。Kashintsev and Frih-Harの最初のもとも(1978)によれば、角閃石質スレートは中性～塩基性細粒凝灰岩を原岩として広域変成作用によって形成され、石英-斜長石スレートは珪質堆積岩が変成したものであるという。彼らは「海洋地殻の中に... 基盤岩として、変成した火山岩および火山性堆積岩からなる基盤を見つけることができる」と結論した (Kashintsev and Frih-Har, 1978 : p.69)。Kashintsev and Zhdanov (1981)は、後にこのまとめを改訂し、ドレッジされたスレートは著しい造構帯で塩基性岩が2時相の力学的-熱的変成作用によって形成されたと結論した。

斜面上部で採集されたのは、アポハルツバージャイト蛇紋岩 [apoharzburgite serpentinite]、レールズライト、輝岩、ハルツバージャイト、ウェブステライト、緑泥石-ぶどう石-アクチノライト岩(含金雲母)、およびグラニユライトである。カンラン岩は、鉍物組成と組織から

“アルプス型カンラン岩”に類似する。

グラニュライトは細粒で、taxiticおよびnematogranoblastic組織を示し、黒雲母、カンラン石、角閃石、輝石と斜長石を含む。これらの岩石とカンラン岩と変成スレートとの関係は、未解明である。角閃石スレートよりもグラニュライトの変成度が高い事実から判断すると、グラニュライトはより古期（おそらく先カンブリア紀）に形成されたものであり、それらがより高い構造的位にあるのは造構作用によって隆起した結果であろう。

より上位層準でドレッジされたのは、中粒輝石はんれい岩、はんれい岩ペグマタイト、および斜長石岩がされ、土壌化砂岩（構成粒子は、はんれい岩、ドレライト、主成分鉱物が緑れん石化した岩石、緑泥石でセメントされ

た主要造岩鉱物片からなる）である。砂岩は“テクトナイト化した塩基性岩石の再堆積”によって形成されたと考えられている (Neprochnov, 1984 : p.180)。はんれい岩類は、緑色片岩相の低変成度領域の変成作用と変形作用を蒙り、石英および緑れん石の細脈をとまなう。

さらに斜面を登ると、ドレライトとかんらん石-斜長石玄武岩が隆起している。その頂部で採取されたのは生物源石灰岩、角礫岩（炭酸塩にセメントされた火山起源岩片）で、礁性生物化石や軟体動物の貝殻片も含まれる。

石灰岩には、現世～中新世の有孔虫、第三紀～白亜紀のコリス、玄武岩小片と斜長石・輝石・角閃石の結晶片が含まれる。石灰岩中には白亜紀コリスが多量に含まれていて、これらの存在は、白亜紀に玄武岩の侵食さ

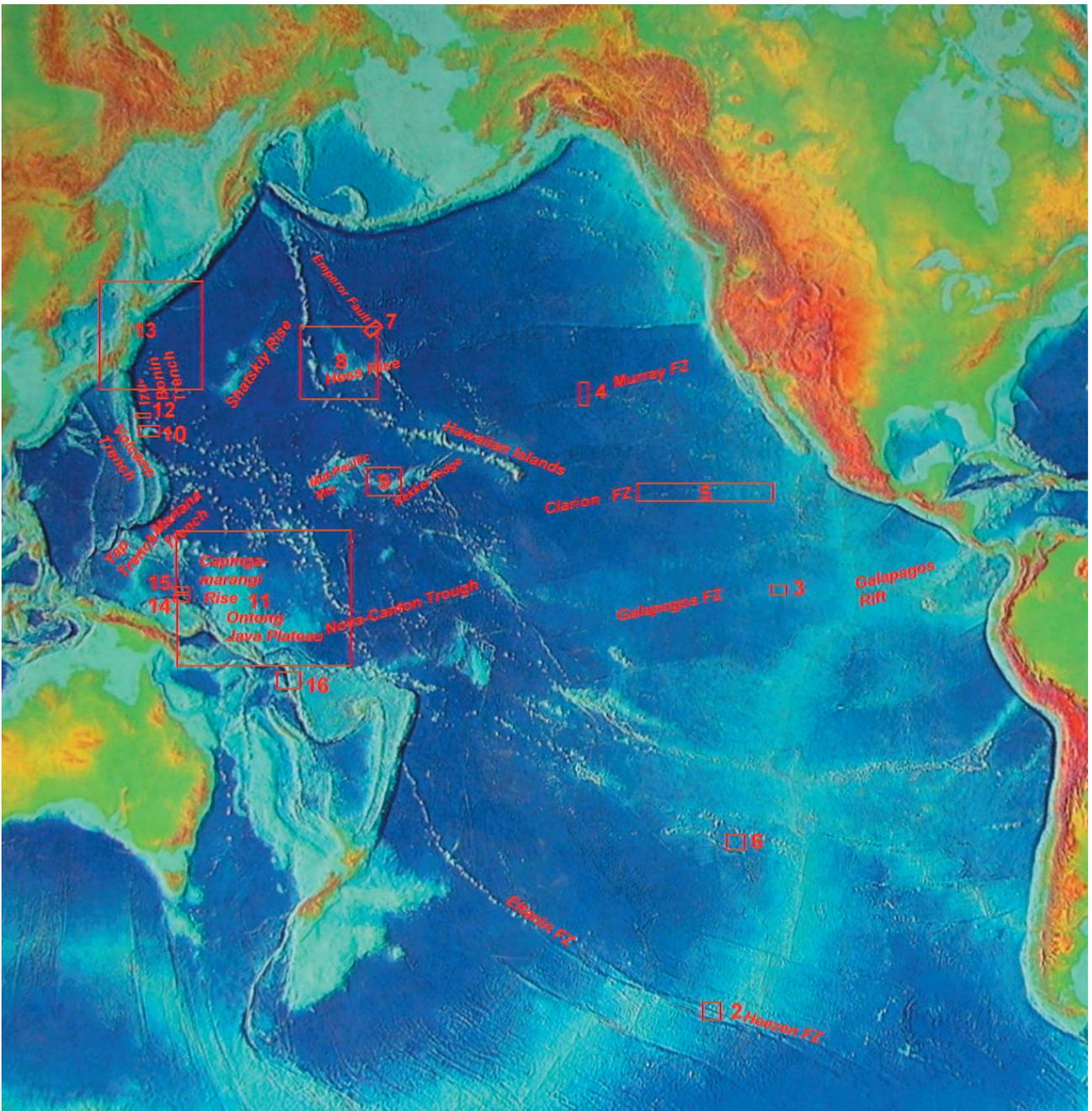


図1 インデックス・マップ (各図の位置を示す)

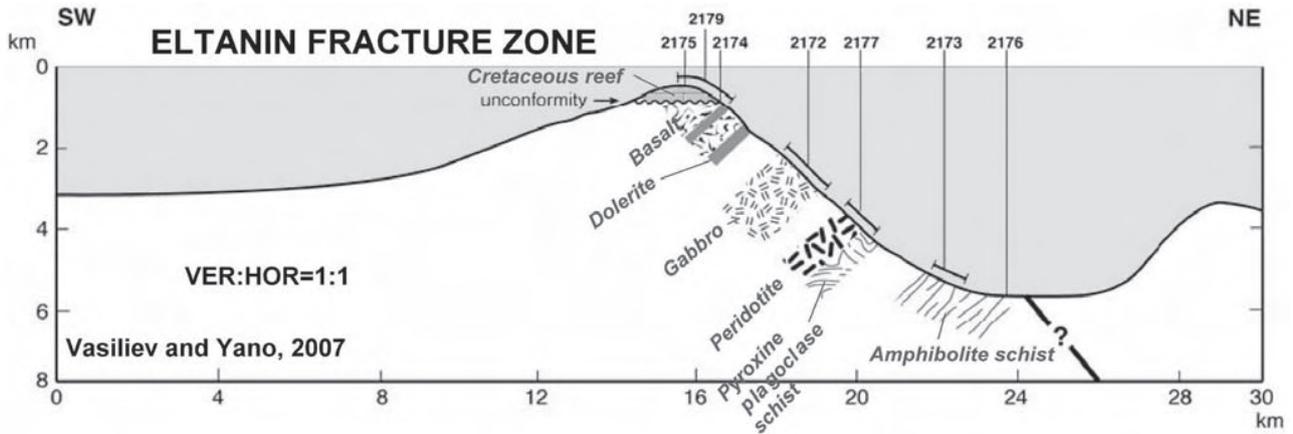


図2 Heezen 断裂帯の断面図。追加情報はワシリエフ・矢野 (2007) 参照

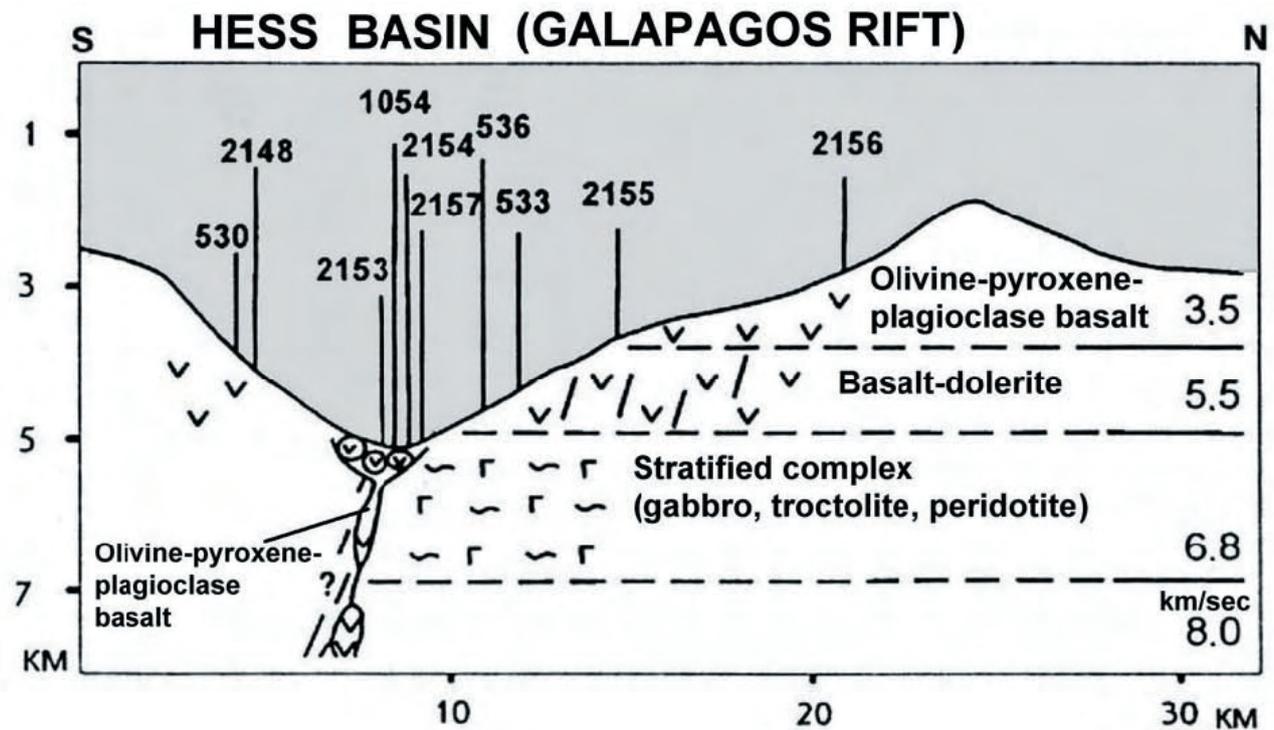


図3 Hess 海盆の地質断面図 (鉛直：水平 = 2.1 : 1)

れた表面をおおって石灰岩が浅海で堆積しはじめ、その後も長期間にわたって潮間帯環境にあり、そこでは陸上侵食と再堆積が繰り返されていた。石灰岩におおわれた玄武岩の年代は、白亜紀より新しいことはあり得ない。Savelyeva (1990) は、この地質断面が大陸に露出するオフィオライトの断面に類似すると考えた。

### ガラパゴス [Galapagos] リフト

2 番目に良く研究された地殻断面があるのは、ガラパゴス・リフトである。東部太平洋海膨の西斜面に位置するリフト最深部は、ヘス・ベーゼンに代表される。この海溝では、調査船ドミトリー・メンデレーエフ号とアカデミック・クルチャトフ号を用いたソ連科学アカデミー海洋研究所の調査航海によって調査が計画された地殻断面のドレッジがおこなわれた (図3)。

断面基底は、層状貫入岩複合岩体—トロクトライト、オリビナイト、はんれい岩、はんれい岩—ノーライトで形成され、縞状構造と著しい二次の変質作用によって特徴づけられる。この層準の上位には、玄武岩とドレイトからなる岩脈層が位置する。この中部層準の層厚は約 1,500m であり、その上位には 500 ~ 1,000m の厚い枕状玄武岩溶岩が重なっている。リフト谷の底部では、まったく新鮮なカンラン石—斜長石玄武岩がドレッジされ、それは、リフト斜面に分布する枕状玄武岩とは本質的に異なる。リフト底の新鮮な玄武岩を除くと、全ての岩石は組織が類似し、単一噴出中心からもたらされた同源マグマに由来する (Neprochnov 1984)。組成からみると、それらはソレライト系列に属す。しかし、リフト壁からの得られた玄武岩は、リフティング期の類似の岩石とは  $TiO_2$ 、 $FeO$  および全アルカリ量が多く、先リフト期のサブアルカリ玄武岩に似ている。この性質は、ヘス海溝北方の東部太平洋海膨で掘削された坑井 81-83 および 501

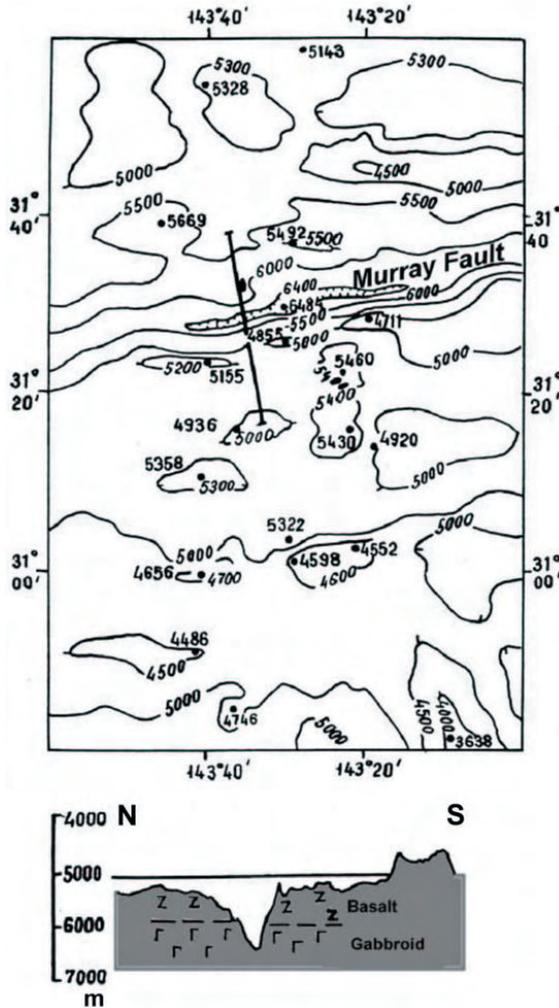


図4 Murray 断裂帯の海底地形と地質断面

で採集された玄武岩は同じ組成をもつ (Hays et al., 1972; Prell, Gardner et al., 1980).

ガラパゴス・リフトの西経 82° ~ 95° 区間のヘス海溝の東方には、ピクライトから流紋デイサイトまでの様々な組成を示す岩石がドレッジされ、リフト帯の中央部 (長さ 1,000km × 幅 3,000km) では鉄ペーサイトと鉄安山岩を産する (Anderson et al., 1975; Byerly et al., 1976; Byerly, 1980).

#### メンドシノ [Mendocino] 断裂帯

調査船ドミトリー・メンデレーエフ号 [Dmitry Mendeleev] 第 42 次航海 (1988 年) では、断裂帯の西部および東部の 2 つの海域の調査が実施された (Malankholina et al., 1994)

西部の水深 5,500-5,200m では発泡した玄武岩、ハイアロクラスタイト、火山角礫岩、軽石凝灰岩が採集され、火山爆発が陸上でおこったことを証拠づける。この玄武岩は後期チャーロニアン～前期マストリヒシヤンの浅海性堆積物に被われていることが、ピストンコアによって判明した。

斜面上部 (5,200-3,400m) の 4 地点でのドレッジでは、多量のソレイト質枕状玄武岩と少量のドレライト・はんれい岩-ドレライトが採集された。非常に薄く成層 (厚さ 4cm 以下) した岩片-ガラス質凝灰岩のレンズ状の挟みも存在する。

北斜面東部ではアルカリ玄武岩、ドレライトおよび斜長岩 (plagioclase) が、そして、南壁に近い海山からは、陸上噴出した鉄玄武岩組成の多孔質アルカリ玄武岩と凝灰岩が、それぞれ採集された。

#### ムライ [Murray] 断裂帯

Murray 断裂帯では 2 つの海域で調査が実施された。研究海域のほぼ中央部で、詳細な地質-地球物理学的調査が実施され、地殻最上部の層序が解明された (Neprochnov, 1984).

下部層準は完晶質の斑レイ岩類、斑レイ岩-ノーライト、角閃石はんれい岩で構成される (図 4)。これらの岩石はカタクラサイト化し、ところどころで緑色岩に変質している。中部層準からはドレライトと玄武岩が、頂部からは玄武岩がドレッジされた。これらの岩石はソレイト系で、K<sub>2</sub>O, Sr, Ba, Pb, Zr に乏しく、Cr に富む。この層準の特徴は、複数ステージの併入活動と玄武岩の流出、ならびに、浅部に中心をもつ断裂作用の証拠となる (Neprochnov, 1984).

1988 年には、この地帯の東部で地質-地球物理学調査が実施された。深度 4600 ~ 3960m の北縁と南縁からは、噴出玄武岩、ドレライト、ハイアロクラスタイトがドレッジされた。これらの岩石は、二次的作用によって強く変質している。

#### クラリオン [Clarion] 断裂帯

調査船 "Dmitry Mendeleev" の第 28 次航海中に Clarion 断裂帯西部の深度範囲 4700 m ~ 6000 m でドレッジが行われ (Melankholina et al., 1983), 地殻断面図が描かれた。基底層準には、塑性変形の痕跡が見られる apokanran 岩質蛇紋岩が発達する。断裂帯の南側斜面の中部層準からは、様々なはんれい岩片が採集された。それらは明らかに現地性のものである。はんれい岩の際立った特徴は、リズムカルな層状構造、粒子の不均一性、および taxite 岩石であり、閉じたマグマだまり中の玄武岩マグマの結晶作用を証拠づける。二次的作用 (後退変成作用による角閃岩相) によって、これらの岩石は様々な程度に変質している。しかしそれらは、蛇紋岩とは異なり、超塩基岩やはんれい岩が一つのマグマだまりから形成された可能性を否定する高温の動力変成作用をこうむってはいない (Laz'ko, 1985)。層序断面の頂部は枕状溶岩、はんれい岩、ハイアロクラスタイトで構成されており、それらは研究されたすべての深部断層帯における層序断面に典型的な岩石である。この調査海域において、これらの岩片は、トラフ底から斜面頂部にいた

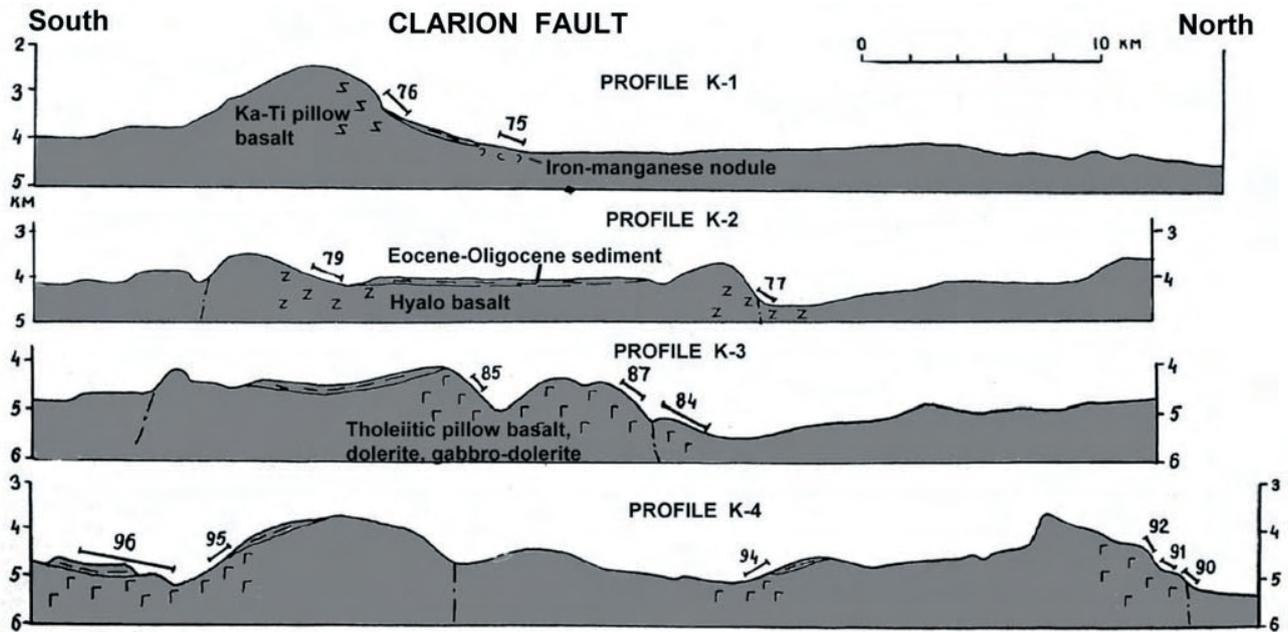


図5 Clarion 断裂帯における海底断面図とドレッジ地点

るすべての深度範囲でドレッジされた。このことから Melankholina et al. (1983) は、この部分が玄武岩とハイアロクラスタイトの上にはんれい岩と蛇紋岩が衝上して二重になった部分と考えた。そしてそれは地殻が同源であるという概念に調和する。しかしながら、この現象を、もっと容易に説明するには、岩礁の頂部からさまざまな大きさの玄武岩やハイアロクラスタイト岩片が滑落あるいは崩壊し、斜面基部に崖錐を形成したとすると、より容易に説明されるであろう。ドレッジ作業中に、これらの岩石片を現地性のものと区別することは事実上困難である。したがって Clarion 断裂帯の二重構造の問題については、議論する価値があるとは思えない。

調査船 "Akademik Aleksander Vinogradov" の第 8 次航海では、Clarion 断裂帯中央部の南側に位置する、緯線に近い方向にのびる狭い海嶺斜面の 3 ヶ所で、ドレッジが行われた。ドレッジの深度範囲は 4000 m ~ 5400 m であった (Sharapov et al., 1988)。斜面基部では、やや成層した火山岩源の角礫岩がドレッジされた。角礫は角ばったり、わずかに円磨された様々な種類の岩片からなっている。含まれる岩片の大きさは 0.1-0.5mm ~ 5-8cm の範囲であり、微小な斜長石、輝石を含む粘土-スメクタイト、単斜輝石、フィリップス沸石や方沸石の粒子で固められている。岩片は、基本的に変玄武岩や鉄-マンガン殻からもたらされたもので、まれにドレライトやはんれい岩の岩片も含まれる。岩片中に鉄-マンガン殻が存在することは、角礫岩が比較的若い年代であることを証明する。碎屑物質は、玄武岩・ドレライトやはんれい岩から構成される海底山脈からもたらされた。円磨された岩片の存在は、山脈がかつて海面上に露出していたことを証明する。海嶺頂部からは角礫岩がドレッジされ、それは、主に玄武岩と変質玄武岩 (最大径 25cm) からなる。角礫岩の割れ目には方沸石、曹長石、ソーダ沸石、そして濁沸石が詰まっていた。岩片は、スメクタイトやフィリップス沸石、そして方沸石で膠結されてい

る。引用データは、ドレッジされた海嶺が地塁であること、主に角礫化した変質玄武岩やまれにドレライトやはんれい岩から構成されていること、そして、その頂上が海面上に聳え、侵食を受けたことを示す。押し流された岩石は海嶺基部に堆積し、岩片と同質の細粒物質によって膠結された。

同様のデータは、それに先だつ調査船 "Akademik Aleksander Vinogradov" の第 13 次航海でも得られた。ドレッジされた海域は、第 5 図の K-4 断面の中央部である。その最南部の海域では、水深は 5500 m になり、頂部水深 3600 ~ 3800 m の 2 つの海嶺が存在する。斜面の傾斜は 15 ~ 20° に達する。測線上の深度範囲 3800 m ~ 5200 m で 7 つのドレッジが行われ、30 ~ 50kg の岩石が採集された。地点 52 では、重量 500kg の岩石が採集された。岩石の大きさは最大で 40cm である。ほとんどのものに、新鮮な破断面が見られる (Vassiliev, 1992)。

最も深い掘削地点 90 (深度 5100-5200 m) からは、厚さ ~ 5cm の鉄マンガン殻に包まれた白色粘土様岩石の破片が、ふたたび発見された。それらは明らかにハイアロクラスタイトであり、全体にスメクタイトで置換されている。他の掘削地点では様々な程度に変質した枕状溶岩、もろい角礫、礫岩や岩石片がほとんどを占める。掘削地点 96 では、白色の石灰質粘土と底生生物の穿孔痕の塊が採集された。

ドレッジされた物質には、2 つの年代グループの複合岩体が区別される。1 つは枕状玄武岩溶岩やそれに伴う角礫岩・礫岩であり、もう 1 つは固結度の弱い角礫岩・礫岩そして有機質粘土である。

前者の複合岩体では、強い二次的変質を受けた斑状玄武岩が主体を占め、まれに微斑状質かんらん石-斜長石玄武岩がともなわれる。化学組成上では、ソレアイト質や

サブアルカリ質などの岩系に区分される。

玄武岩と一緒に、角礫細片や角礫岩が露出する。それらは、角礫～亜角礫の玄武岩質岩片からなり、沸石、鉄-マンガン水酸化物、そしてまれに緑泥石や雲母によって膠結されている。1つのブロックは角張った多孔質玄武岩岩片からなり、スラグ状セメントやスメクタイトで半固結状態になっている。よく円磨された礫を含む角礫岩、赤色に変質した玄武岩層。噴火角礫 [eruptive breccia] は、厚い火山性物質が火山列島の条件下で形成され、山麓には火砕物質や侵食生成物が堆積したことを示す

第2の複合岩体はもろい集塊岩で、玄武岩、ドレライト-玄武岩、ドレライト、はんれい岩-ドレライトの角礫～亜角礫で構成されている。まれに、岩石化した角礫や鉄-マンガン殻も見られる。粒子の膠結物質は砂質粘土であり、玄武岩、ドレライト、斜長石、沸石の角ばった粒子でできている。

集塊岩とともに、白色石灰質粘土がドレッジされた。この粘土からは、漸新世の放散虫やナンノプランクトンが見出された。集塊岩の破片は最大3～5cmの鉄-マンガン皮殻に覆われ、時として底生生物の這い跡が残されている。

深度範囲 4650 m～5440 mのより急な海溝範囲がドレッジされた (図5)。採集された岩石は、変質した枕状溶岩、ドレライト、鉄-マンガン皮殻、ノジュール、そして生物の這い跡や生管がみられる凝灰質堆積岩である。玄武岩は斑状で、斜長石-かんらん石ソレライトとカルクアルカリ玄武岩である。それらは、Profile 4でドレッジされたものと似ているが、ここではカルクアルカリ玄武岩が優勢である。クラリオン断裂帯のこの部分のソレライト質ドレライト-玄武岩の複合岩体は、東太平洋海膨軸部のソレライトとカルクアルカリ質玄武岩の中間的組成を示し、他のトランスフォーム断層でドレッジされたソレライトと完全に一致する。クラリオン断層帯の東部で、2つの側線に沿ってドレッジが実施された。

K-2断面にそって：3箇所のドレッジが行われた。最初のドレッジ (B13-77) は海溝南側斜面で行われ、第2 (B-13-78)・第3のドレッジ (B13-79) のドレッジは、深度 3960-4050 mの海溝北側斜面の麓で行われた。約200kgの玄武岩、ハイアロクラスタイト、玄武岩の角礫、有機物を含んだ堆積岩、そして鉄-マンガン殻が採集された。玄武岩は斑状組織を示し、輝石-かんらん石-斜長石、かんらん石-斜長石、不透明鉱物、微小な気泡跡を有し、弱変質を受けている。

K-1断面に沿う (120°W) 2つのドレッジは、海溝南側斜面に位置している緯線にはほぼ平行する海嶺で実施された。最初のドレッジ地点 (B 13-75) は、海嶺の北斜面麓で行われた (深度 4160 m～4260 m)。そこでは10kgのマンガンノジュールが採集された。第2のドレッジ地

点 (B13-76) は同じ斜面の深度範囲 3270m～3700mで行われ、鉄マンガン皮殻に覆われたソレライト質およびアルカリ質の杏仁状玄武岩の破片が5kg採集された。

東側 (Profile K-1, K-2) でドレッジされた玄武岩は、中部や西側に分布する玄武岩とは根本的に異なる。それらは、チタンやカリウムに乏しく、新鮮なかんらん石-輝石-斜長石 MOR型ソレライトであった。Profile K-1には裾野の直径が10km、高さが1500mの海底火山があり、新鮮なアルカリかんらん石、かんらん石、かんらん石-輝石-斜長石の鉱物組み合わせからなる枕状玄武岩で構成されている。岩石は高いアルカリ ( $K_2O$ : 1.96～2.01%,  $Na_2O + K_2O$ : 5.90%), 高いチタン ( $TiO_2$ : 2.63～2.78%), マグネシウム (7.25～7.60%) 含有率で特徴付けられる。また、ニッケル、クロム、バナジウム、コバルト、ルビジウム、ストロンチウム、バリウム、ジルコンの含有量は、天皇海山の非アルカリ玄武岩やハワイタイプのアルカリ玄武岩とほぼ同じである。

#### Clarion 断裂帯と Clipperton 断裂帯の広い海域

この海域は、鉄-マンガンノジュール探査によって比較的によく調べられている (Tabunov et al., 1989)。ドレッジデータに基づき、4つの時代の複合岩体に区別される。

##### 1) 先カンブリア紀の花こう岩-変成岩複合岩体

a) グラニュライト相の変成岩-ザクロ石片麻岩、複輝石-斜長石結晶質粘板岩、エンダーバイト (含斜方輝石トータル岩質岩)、角閃岩相のザクロ石-輝石-斜長石結晶質粘板岩、b) 角閃岩相: 角閃岩、黒雲母-白雲母片麻岩、角閃石-斜長石結晶質粘板岩、c) 超変成岩: 破碎変形された花こう岩-片麻岩、珪化された黒雲母-白雲母ザクロ石片麻岩、黒雲母片麻岩、アプライト質斑状花こう岩、閃緑岩等、d) 交代変成岩: 磁鉄鉱-ザクロ石-斜長石-輝石スカルン、磁鉄鉱-緑廉石-緑泥石-斜長石岩

##### 2) 白亜紀地向斜火山性-珪質堆積岩複合岩体

結晶凝灰岩、礫岩、多源的石英砂岩、シルト岩、強珪質粘土岩、粘板岩、花こう閃緑岩そして石英閃緑岩。珪質岩には白亜紀放散虫が含まれる。

##### 3) 先始新世海洋玄武岩複合岩体: 玄武岩、斜長石玄武岩、火山ガラス、変質ドレライトの貫入岩。

##### 4) 始新世～中新世の安山岩-玄武岩-流紋岩複合岩体: 流紋岩、曹長斑岩、酸性～中性凝灰岩、凝灰質溶岩、石英斑岩、珪長岩、珪質ひん岩そして玄武岩

Tabunov et al. (1989) によると、これらの岩石を構成する角礫岩片は、地塁や断層棚に露出する苦鉄質岩石が水中堆積したものである。そして、中礫や巨礫でできた礫岩は、薄い始新世堆積物である (0-25 m)。これらの事実は、詳細な調査がされると、太平洋巨大海盆内の他の場所でも同様な岩石が発見されることを示唆する。

#### Kurchatov 断層

太平洋中央海嶺の西斜面にある Academician Kurchatov

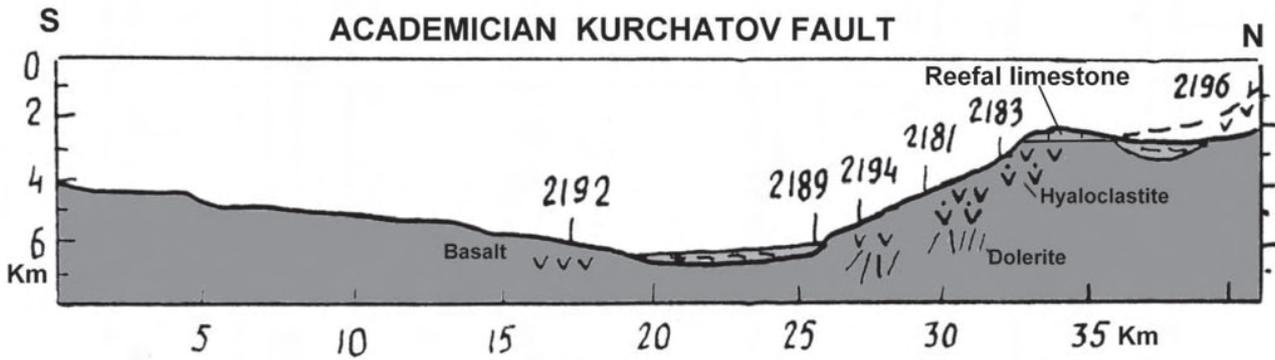


図6 ACADEMICIAN KURCHATOV 断層の断面図とサンプル採集地点

断層 (37°S) で行われたドレッジでは、ハイアロクラスタイト、酸化された玄武岩、沸石で固められた玄武岩質角礫岩そしてドレライトが採集された (図6)。

1つのサンプルを化学分析したところ、それはサブアルカリ系鉄質玄武岩であった (Neprochov, 1984)。加えて普通輝石はんれい岩片が玄武岩の細片 (1~3 mm) とともに採取され、ドレライトと石英砂岩 [quartzites] も発見された。地溝北部の山地頂部ではかんらん石-斜長石玄武岩、炭酸塩・リン酸塩で膠結された同質角礫岩、および、白亜紀の化石サンゴや軟体動物の殻を含む石灰岩片が採集された。それらは、浅海堆積物であることを示している。調査された層序断面の全層厚は約 3500 m である。層序断面の特徴と火成岩の化学組成は、それらの形成が先リフト期であることを物語る。

#### Clarion-Tiki 海溝

Clarion 断層と Clipperton 断層の西端に挟まれたこの海溝は北緯 10°28' 4", 西経 152°21' 5" に位置し、深さは 5200 m である。ここで行われたドレッジによって、5 kg の斜長石片麻岩が採取された (Korsakov et al 1983)。片麻岩は、スレート劈開が発達した石英-黒雲母細粒基質中に斜長石斑状変晶が含まれる。Korsakov ほか (1983) は、この岩片は氷山の運搬物ではなく、この地点の軟泥中に多量の黒雲母や他の雲母類が含まれることから、基盤露出を構成するものと考えている。斜長石片麻岩は、海洋化作用を被った古代大陸卓状地の西部を構成する岩石の一部であると判断するのが、もっともふさわしい。

#### Tahiti 島 (Polynesian Swell)

タヒチ島は地峡で繋がれた 2つの火山からなる。そのうちの 1つの火口からは、150Ma (後期ジュラ紀) の年代値を示すカスミ石はんれい岩、ならびに、閃長岩が発見された。この島をつくっている火山岩類は鮮新-更新世のアリカリ玄武岩、安山岩、粗面岩、響岩で、年代値は 0.16~2.9Ma を示す (Dymond, 1975; Krummenacher and Noetslin, 1966; Duncan and McDougall, 1976)。同じ岩石類は、タヒチ島の北西に位置する Huahin 島にも産する。タヒチ島の東 30 km にある Mahetija 島では、かんらん石玄武岩が発達する。タヒチ島の火山から噴出

した溶岩中に、833Ma の年代値を示す変成岩ゼノリスが見つかっている (Krummenacher and Noetslin, 1966; Krummenacher et. al., 1972)。そして、玄武岩は 44.1~74.9Ma の年代値をもつ (Dymond, 1975)。

#### 結論

太平洋巨大海盆東部の地質層序の基底層および頂部層準の岩石は、基本的には、断層帯に露出する。これらの層序帯の断面は以下の通りである。

1. 変成岩-角閃岩、結晶質粘板岩、および、グラニュライト
2. 蛇紋岩化されたかんらん岩 (ペリドタイト)
3. はんれい岩
4. ドレライトと玄武岩

Savelyeva (1990) によれば、この地域のすべての超塩基性岩は、Al/Cr 比 や Ti/Cr 比が小さく、そして大西洋やインド洋の超塩基性岩のクロムスピネル中のクロムよりも比較的高いクロム含有量で特徴づけられる。彼女は、これが惑星規模の上部マントル不均質性に由来すると述べている (Savelyeva, 1990)。

はんれい岩類の最も完全な層序は、Eltanin 断層帯中の Harret 断層帯で研究された。そこでは、ダナイト、斜長石ダナイト、トロクトライト、かんらん石はんれい岩、(はんれい岩ノーライト)、そしてイルメナイトはんれい岩が産出する。この層準は、ソレアイト質マグマの初期段階の分化の結果として生じたものである (Kashintsev et al., 1982)。はんれい岩類の大部分は、浅部のソレアイト質メルトに由来する。

頂部層準を構成する玄武岩とドレライトは、さまざまな化学成分によって特徴づけられる。岩石は N タイプおよび P タイプ (MORB) ソレアイト、アルカリ玄武岩、鉄質玄武岩などで、これらの岩石を形成したさまざまな地球ダイナミクス条件を示している。全体として、この部分は大陸のオフィオライト断面によく似ている (Savelyeva, 1990)。

Clarion 断層帯と Clipperton 断層帯 (ここは多かれ少なかれ調査が行われた場所であるが・・・) には含まれた

海域で古期変成岩と火山噴出岩が見つかったことは、太平洋巨大海盆中にかつては大陸地殻の一部が存在した可能性を示す。厚い中生代堆積物の存在 (Jatskevich [ed], 2000) は、この海域と太平洋全般の歴史を解釈するのに重要な情報を提供する。

そのようなブロックの1つが、東太平洋隆起帯の東方の赤道地帯 (ガラパゴス、カーネギー、そしてココス海嶺) に存在する。そこは、ソレライト～Na 流紋岩の広い組成範囲の火山岩類が広く発達する。ここでは、大陸トラップ玄武岩に類似したカリウムに富む玄武岩も発達している。Marakushev et al. (2000) は、この海域はアメリカ大陸のレリックである、と述べている。この大陸レリックが、東太平洋隆起帯に隣接して、その軸部 (イースター島) まで分布することは、大変興味深い。というのは、プレートテクトニクスが想定する「拡大」仮説が完全に排除されるからである。

## 2. 太平洋巨大海盆の中央部

太平洋中央部では、“海洋地殻”の第2層および第3層の構成岩石が、深海掘削井とは別に、次の5つの場所に露出することが知られている。

### 天皇断層

天皇断層帯における地質-地球物理学的研究が、調査船 “Dmitry Mendeleev” の第23次航海 (Neprochnov, 1984) で実施された。

深度範囲 7,200 ~ 4,750m における4つのトレッジ調査によって、地殻断面が研究された (図7)。断面の基底層準にはんれい岩が存在し、はんれい岩-ノーライトに代表され、通常のはんれい岩や角閃石はんれい岩などの岩石種をとまなう。断面の中部層準はドレライトで、上

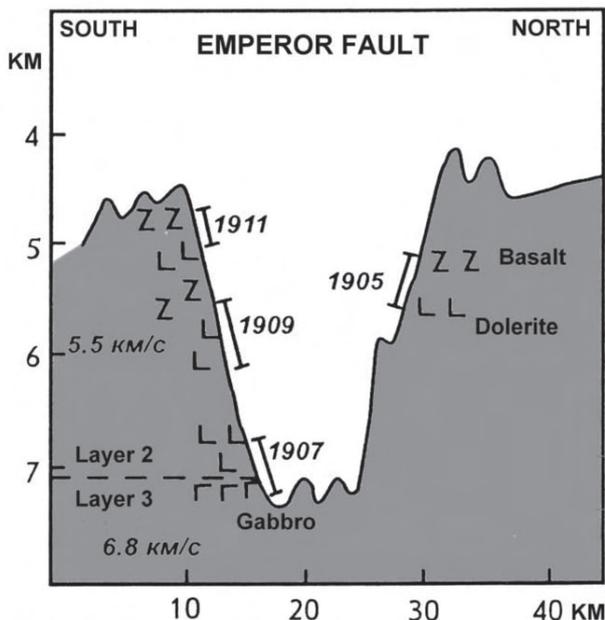


図7 天皇断層。断面と試料採集地点

部層準はソレライト玄武岩とそれらのハイアロクラスタイトで構成される。地質構造からみると、これらの全岩石は海洋性ソレライトに関連する。天皇断層帯で研究された地殻断面は、次のように記載される:「地震学的データと構成岩石の構造からみると、それは海洋地殻の連続的な非攪乱断面に相当する」 (Neprochnov, 1984, p. 192)。

### ヘス海膨

ヘス海膨の上で4本の坑井が掘削され (図8)、おもに炭酸塩岩相からなるアルビアン～完新世の層序が解明され、新生界には多数の層序的不連続が認められた。海膨を構成する火山岩基盤は玄武岩と粗面岩に代表されることが、464および465坑井 (坑井底深度 0.16m および 64.5m) で明らかにされた (Thierde, Vallier et al., 1981)。噴出岩のピロタキシティック組織、方解石で充填された杏仁孔の存在、ドロマイトと重晶石、岩石の二次的赤色変質、および、著しい二次的粘土化作用は、空中あるいは浅海へ露出したことを証拠づける。464坑井において掘削された基盤岩はソレライト玄武岩類で、インターサータルおよび球顆 [variolated] 組織を含む無斑晶玄武岩に代表される。上述のドレッジデータによると、アルカリ玄武岩質枕状溶岩、ハイアロクラスタイトおよび無人岩 [mugearite] が存在する (Rudnik et al., 1981)。465井にみられる火山岩層準の上部は、多孔質粗面岩と粗面岩質火山角礫岩に代表される。ドレッジ調査された層序断面の累積層厚は、約2kmである。ヘス海膨とシャツキー海膨で採集された火山岩類の化学組成は、たいへん類似している。

### ハワイ海膨

ハワイ海膨における基盤岩類は、火山溶岩に含まれるゼノリスにもとづいて研究され、2群のゼノリスが識別された。

第1群はアルカリ岩とネフェリナイトの変成岩からなり、塑性変形の痕跡を留めるダナイト・レルズライト・ウェールライト・ざくろ石かんらん岩および輝岩に代表される。鉛同位体にもとづくレルズライトの年代は、3.5 Gaを示す (Morioka and Kigoshi, 1975)。これらの岩石の形成と変成作用は、高温高圧下で起きた (Jackson, 1968; Frey, 1980)。これらのゼノリスは、一般にマントル由来のゼノリスと考えられているが (Neprochnov, 1984)、地殻基底層準を構成する可能性も排除できない。同様の岩石は、伊豆-小笠原、火山および Mussau 海溝で、そして Eltanin 断層帯でもドレッジされていて (Kashintsev and Zhdanov, 1981)、他の多くの海域からも知られている。

第2群は、ソレライト系岩石に代表される。含まれる深成はんれい岩類は、ドレライトをとまない、擬似オフィオライト組織 [subophioritic structure] が卓越する。さらに、超塩基性および塩基性組成の沈積岩のゼノリス

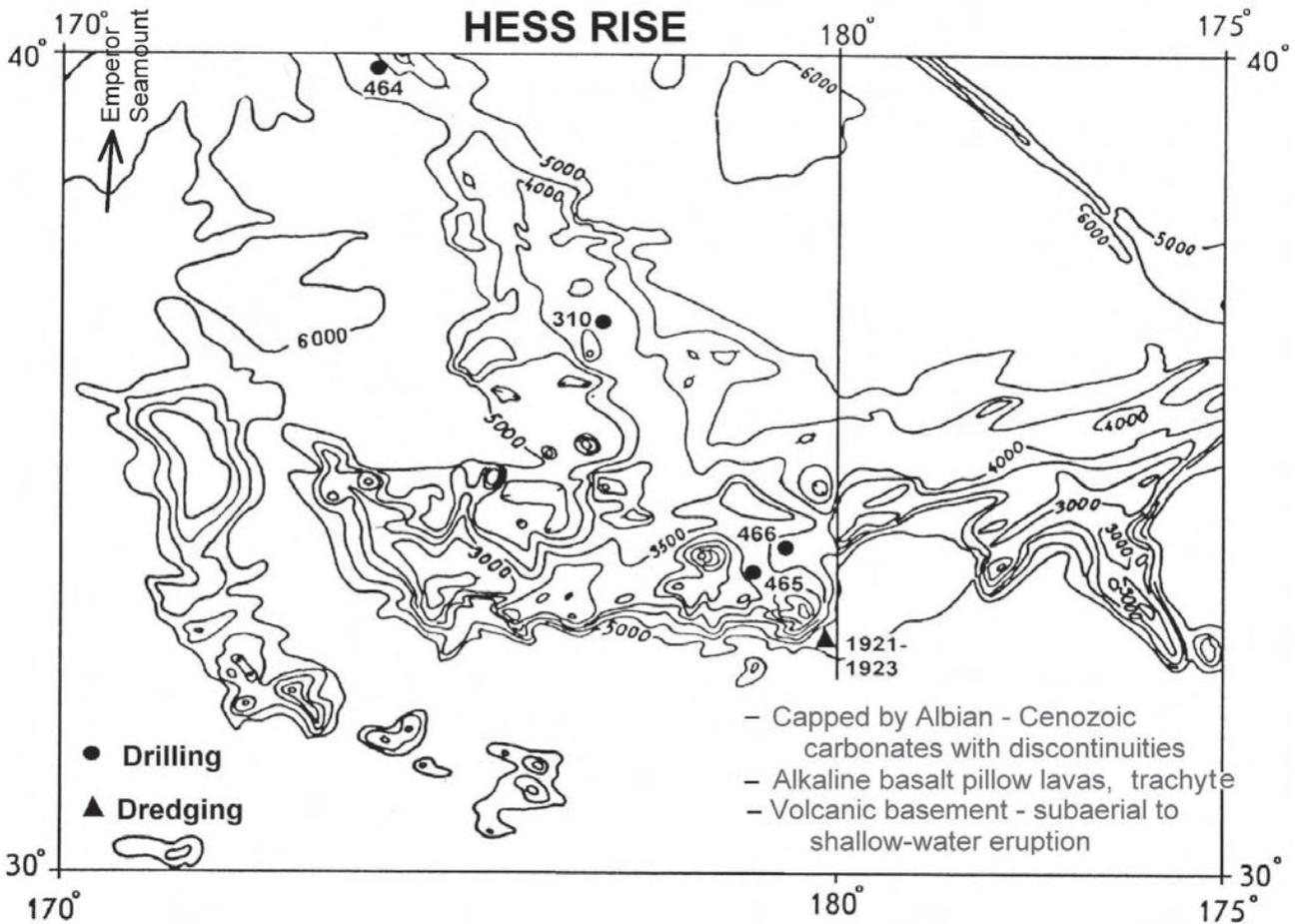


図8 Hess 海膨の海底地形図と坑井およびドレッジ地点の位置

も存在し、リズムカルな構造を示す：アノーツサイト・トクロトライト・単斜輝石岩、および、かんらん石輝石はんれい岩-ダナイト-verlites-ハルツバージャイト。まれに、ウェブステライトと複輝石はんれい岩も知られる。地球物理探査によると、ハワイの地殻の厚さは15~20km (Furumoto et al., 1973; Woolard, 1975) に達する。このような異例の基盤中にこれらのゼノリス岩石が存在することはハワイの造構地形が古期のものであることを示し、それは大陸地殻の遺物であると思われる。この主張は、火山岩類の組成からも支持され、サブアルカリ質およびアルカリ質組成の岩石も含まれる。

基盤岩に関するもうひとつの重要な情報は、ハワイ海嶺南部 (13°44.4'N; 140°05.14'W; 深度 4,758m) で結晶片岩がドレッジされたことである (Nakayama et al., 1977)。新鮮な破断面をもつ結晶片岩は、住友金属鉱業会社がこの海域でマンガンジュールを研究していたときに採集された。乗船研究員は船舶バラストあるいは氷山起源と結論したが、音響測深機はドレッジ地点の海底地形がギザギザであることを記録し、この結晶片岩が現地性であることを示す。

**中央海盆の北部**

1970年の調査船 "Vityaz" 号第48次航海では、太平洋中央海盆北部で鉄マンガンジュールがドレッジされた

(概略の緯度経度：12°10'N, 179°47'E, 深度 6,450m)。1つのノジュールの核はカリ長石花崗岩の破片でできていて、それは「類似の、あるいは、同様の構造をもつより大きな岩石ブロックが分解してできたものであろう.....」 (Prokoptsev, 1975)。

**Nova-Canton トラフ**

太平洋中央海盆をほぼ緯度方向に横切るこのトラフは水深 8,320m に達し、太平洋でもっとも深い。調査船 Makhi および Argo 号の水深 7,100 ~ 7,200m におけるドレッジによって、サブアルカリ質ソレアイト玄武岩、絶対年代 70 Ma のハイアロクラスタイト、粗粒な輝緑岩、および、ペグマタイト質沈積性はんれい岩が採集された (Rosdahl et al, 1975)。

**結論**

太平洋巨大海盆中央部では、太平洋東部と同様、基盤岩類が幅狭い地域に露出する。それらのうち、もっとも古いのは、ハワイ火山の溶岩から採集された超塩基性岩類と変成岩類 (3.5 Ga) である。

より新期のはんれい岩-ドレライト-玄武岩複合岩類はたいへん広く分布し、研究されたあらゆる造構地形に知られている。この複合岩類の構造と組成は、太平洋巨大海盆東部に分布する同様の複合岩類に類似する。

### 3. 西太平洋

太平洋巨大海盆の西部では、基盤岩類は海底隆起や深海海溝の斜面に露出する。

#### 1) 海底隆起

太平洋北西海盆の内部およびその周辺に位置する大規模な海膨や海山は、独立した構造地形である。それらの地質構造の解析によって、全域にわたる構造と発達史を研究することができる。

#### シャツキー海膨

この海膨は、北西海盆の中央部に位置する。この大海膨は、ほぼ 1,000km にわたって北東方向にのび、幅は 350 ~ 650km である。狭く深い凹地帯によって、この海膨は北部、中部および南部の 3 つの山塊にわかれる。

シャツキー海膨の地殻厚度は 15 ~ 18km (水深を除く) であり、ところどころで 35km に達する (Tulina and Yaroshevskaya, 1975)。隣接する深海盆の地殻とはちがって、シャツキー海膨下には厚さ 5km に達する 5.31 ~ 5.79km 速度層が存在し、大陸の“花崗岩質”層のレリックであろう。その下位層も、“海洋地殻の第 3 層”とは違って、たいへん異常な速度 (6.75 ~ 7.30km) とより大きな厚度 (≦ 7.5km) を示す。幾人かの研究者は、この層を大陸地殻のグラニュライト-塩基性岩層に比較している (Rudich., 1984)。

この海膨は基本的には火山岩層で構成され、その著しくぎざぎざした表面は、厚さ 1km に達する堆積物に被覆されている。火山岩層は低温変質したジュラ紀の玄武岩質枕状溶岩、土壤化 [edaphogenic] 角礫岩、ハイアロクラスタイトからなり、少量の凝灰岩、凝灰砂岩、および珪質岩をとまなう (南部山塊)。

北部山塊の上部では、新期火山岩類—玄武岩、安山岩質玄武岩、デイサイト組成の砂質凝灰岩—がドレージされた。これらの岩石の放射年代は、25.3, 53.0, 56.7 および 45.7Ma である (Ozima et al., 1970)。中部山塊からは、鉄マンガンノジュールの核として結晶片岩の中礫 [複数] が発見された (Rudnik et al., 1981)。

化学組成からみると、海膨の基盤を構成する火山岩類は 2 系列—ソレイト玄武岩と分化したアルカリ玄武岩—からなる。火山層序の基底部を占める前者 (ソレイト玄武岩) は、大洋底に特徴的な岩石であり、低い  $K_2O$ , Sr, Ba, Rb, Zr,  $P_2O_5$  および  $TiO_2$  含有量と低い Sr/Ba および La/Sm 比に特徴づけられる。ドレージされた物質中に著しく大量に含まれるアルカリ玄武岩およびサブアルカリ玄武岩は、高いアルカリ量と高い Sr/Ba および La/Sm 比によって特徴づけられる (Neprochnov, 1984)。多孔質溶岩、それらの 2 次的変質、および、火砕岩類に富むことは、噴出が陸上で起きたことを示す。坑井 50 で

掘削された玄武岩類の放射年代は、145 ~ 155Ma である (Fisher et al., 1971)。

#### マーカス-ウェイク海山

この海山系は、伊豆-小笠原および火山海溝の接合部から緯線にやや平行して 4,300km にわたって延び、300 ~ 500km の幅をもつ (Smoot, 1989)。ここでは、地質-地球物理学的総合調査が実施された結果、2 つのマグマ組み合わせ—アンカラマイトおよび粗面玄武岩グループ—が識別された (Govorov et al., 1993)。

アンカラマイト群は、oceanites (ピクライト)、アンカラマイト-oceanites (高 Ca ピクライト)、アンカラマイト、および鉄アンカラマイトによって代表される。岩石化学的特徴からみると、この岩石群は Bushweld および Scergaard タイプの層状はんれい岩体、そしてまた月の海の玄武岩類に類似する。

粗面玄武岩群には、ankaratrites, 鉄リンバージャイト、粗面玄武岩 (サブアルカリ質およびアルカリ質で、ネフェライト質玄武岩を含む)、鉄粗面玄武岩, trstanites, 響岩、およびアルカリ粗面岩が含まれ、これらは大陸性構造を特徴づける。火山岩マグマの噴出は、浅海および陸上で起きた。火山岩層は、白亜紀の礁性石灰岩に覆われている。

Rb-Sr 法によって求められたアンカラマイトと粗面玄武岩の年代は  $133 \pm 16$ Ma であり、ジュラ紀/白亜紀境界にあたる (Govorov et al., 1996)。この年代は、古生物データでも確認される。

これらの岩石が広く分布することは、それらが先カンブリア紀の大陸卓状地が溶融したものであり、そこで、Bushweld および Scergaard タイプの層状はんれい岩体の貫入が起きたことを示す。

マーカス-ウェイク海山列の中央部に位置するラモントギョーは、Ramapo 堆と類似した構造を示す (Konovalov et al., 1988)。火山層序の基底部は、ここでも、ソレイト質のかんらん石玄武岩、かんらん石-斜長石玄武岩およびドレイトと、それらの分化物—わずかに分布する優黒質玄武岩類—に代表される。頂部はサブアルカリ質玄武岩類—アンカラマイトと粗面玄武岩類、および、アンカラマイトの沈積相と考えられる少量の輝岩で構成される。火山岩類をおおう堆積岩類は、シルト岩、粘土岩、砂岩、礫岩、および、生物泥源の暁新世石灰岩で構成される (Heezen et al., 1979)。

この海山列の他のギョーでは、上述の岩石を除くと、リンバージャイト、無人岩、粗面安山岩、かんらん石 tryolites、および、それらの凝灰岩と凝灰角礫岩が発見されている (Matveenkov and Marova, 1977)。

火山岩ユニットの年代は基本的には後期白亜紀以前であ

り、火山岩類の放射年代とそれを覆う礁性石灰岩の年代によって証明される。より若い年代値 (25 および 42Ma) も知られているが、それらのいくつかは後に否定された (Ozima et al., 1977)。

それにもかかわらず、いくつかの海山では、火山活動が前期中新世まで継続したことも否定できない。

**太平洋中央海山群 (MPM) とネッカー海嶺**

この海膨は、太平洋中央海盆と北西太平洋海盆をへだてていて、緯度方向に 2,100km にわたって連続する。海膨の幅は、西部で 1,000km に達するが、東部では 400 ~ 500km まで減少する。MPM の北東には幅の狭いネッカー海嶺が存在し、MPM とハワイ海膨を連結する。MPM の周縁は 5,000m の等深線によって示され、隣接する海盆の深度は 5,300 ~ 5,700m になる。MPM 上には約 50 個の海山が存在し、火山群や火山列を形成する。西部では緯度方向に近い配列を示し、東部では北東方向にならぶ。海山の頂部は、深度 30-50 ~ 3,000-3,500m にあり、しばしば波食作用によって平坦化されている。

ドレッジおよび掘削によって、海山が火山岩類 (浅海~陸上で噴出したかんらん石玄武岩、アルカリ玄武岩および粗面玄武岩) で構成されていることが明らかにされた (Matveenkov, 1978)。削剥された海山頂部は、通常は層厚 500m 以上の礁性石灰岩におおわれ、それらは、しばしばリン酸塩化されている (図 9)。石灰岩の年代は、アルビアン~暁新世である。深海まで沈降した海山では、礁性石灰岩層が有孔虫軟泥 (層厚 ≤ 100m) によって覆われる。

Horysen ギョーの上で掘削された坑井 171 は、深度 479m で多孔質のかんらん石-斜長石玄武岩 (海洋島および

ギョーのソレイト) が小分布することを明らかにした。玄武岩類は、火砕物質を含むセノマニアン石灰岩 (深度 479 ~ 433m) に覆われていた。この玄武岩の小分布から 135 ~ 145m までの深度範囲には、2 層準に多孔質玄武岩溶岩がはさまれ、それぞれの上位には、ハイアロクラスタイト質凝灰岩、ならびに、玄武岩の中礫岩と石灰岩が堆積している (Wintere, Ewing, et al., 1973)。

玄武岩の年代を見積もるためには、構造-層序解析にもとづく共通の地質基準を適用することが必要になる。

すでに Matveenkov and Marova (1975) によって確立されたように、MPM 海域にこの方法を適用することによって 2 つのマグマ系が存在することが解明された。第 1 のマグマ系は、この海膨の基盤を構成しているソレイト質かんらん石玄武岩であり、浅海で広域的割れ目噴火によってジュラ紀~前期白亜紀に形成された。斜長石の光学特性にもとづいて見積もられたこれらの岩石の絶対年代は、150Ma に遡る (Matveenkov and Marova, 1975)。第 2 のマグマ系は、基本的には白亜紀に形成されたもので、アルカリ玄武岩、粗面玄武岩、粗面安山岩、リンバージャイトおよびそれらの凝灰岩類からなり、海山や海山群を形成する。ほとんどすべてのギョーは、白亜紀礁性石灰岩に覆われる。

以上のように、MPM は、マークス-ウェイク海山列、小笠原海台、および、中央太平洋海盆の他の海底隆起にたいへん類似した構造と地史をもっている。

ネッカー海嶺は上部白亜系火山岩類で構成され、それらは MPM の火山岩類に類似する。21.5°N/167.9°W で採取された玄武岩の放射年代は 82.4 ± 3.7Ma (Saito and Ozima, 1977)、Renard ギョーで採取された玄武岩は 88.5 ± 9.5Ma を示す (Ozima et al., 1977)。

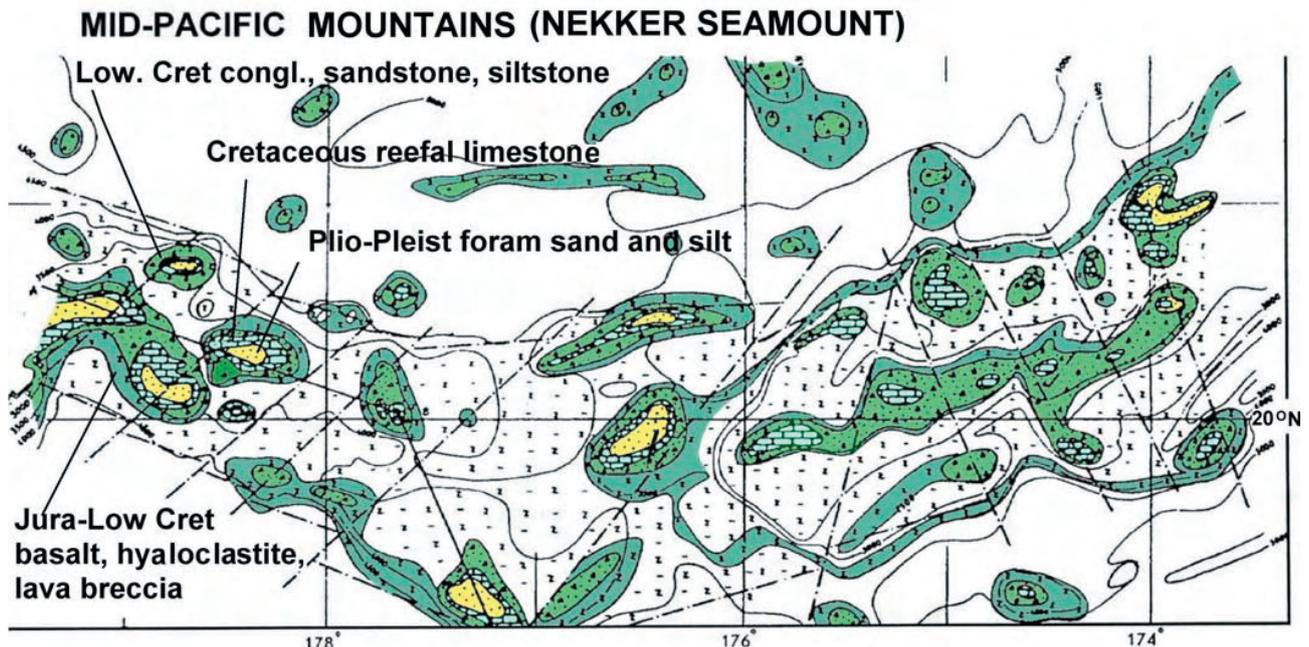


図 9 太平洋中央海山群東部の地質図

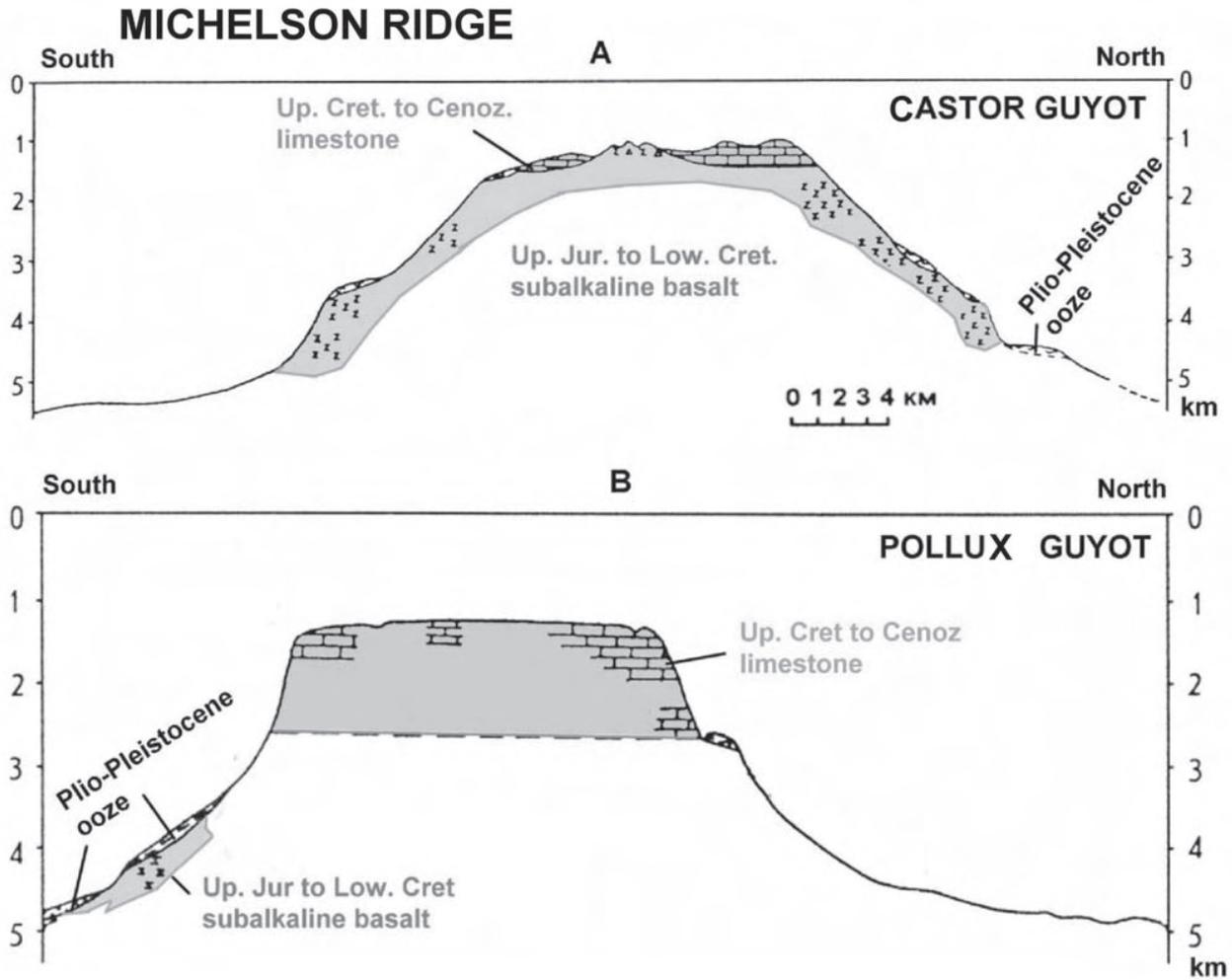


図 10 Castor と Pollux ギョーの地質断面図

**Michelson 海嶺**

この海嶺は小笠原海台の東に位置し、海嶺上には海山群 (Smoot et al., 2001) が緯度方向に近い海底隆起をつくる。我々は、それらの2つ—ポルクス [Pollux] とカスター [Caster] — を調査した (図 10)。

ポルクスギョーは波食によって裁頂された山頂をもつ典型的なギョーで、厚さ 1km に達する厚い上部白亜系の礁性石灰岩によって覆われている。石灰岩は、おそらくより深くまで発達していたと思われ、ギョーの基盤をなす火山岩を覆う。火山岩は、著しく変質したカンラン石-輝石玄武岩とカンラン石玄武岩、および、それらの角礫岩からなる。

カスターギョーの頂上は、いくつかの火山丘で構成され、礁性石灰岩 (マアストロリシティアン階) によって部分的に覆われる。玄武岩とそれらの角礫岩によって、このギョーは基底で Pollux ギョー に連結している。玄武岩は、かんらん石、かんらん石-斜長石、輝石-斜長石玄武岩など多種多様で、またピクライト玄武岩、ドレライト玄武岩および凝灰岩がめだった存在である。

**カピングメラング [Kapingamarangi] 海膨とオントジャワ [Ontong-Java] 海台**

この海底隆起は、2つの海盆—東キャロラインとメラネシア—を隔てていて、北ではカロリン諸島の東列から、南ではサントイザベル [Santa Isabel] 海溝まで子午線方向にのびている。4000m の等深線で囲われた海膨は長さ 1600km、幅 900km で、ドームの水深は南部で 1600m、北部で 3000m である。海膨の南部はオントジャワ海台で、その上にはいくつかの火山性の山があり、北西方向の峰をもつ環礁によって代表される。これらの山々は、(カピングメラング環礁を含めて) 海膨西部の急斜面上に位置する。

海膨の音響基盤の平頂面は、厚さ 1500m に達する堆積層に覆われる。オントジャワ海台の地殻の全層厚は、35 ~ 42km と見積られる (Furumoto et al., 1976; Hussong et al., 1979)。この値は太平洋の他のすべてのモホ構造のなかで、例外的なものである。ソレライト玄武岩で構成された基盤は、海膨北部の坑井 289 と 803 で深度 1275 ~ 1262m で掘削された。基盤は、下部白亜系 (アプチアン階) の堆積物は非整合的に覆われる。

最近 Choi et al. (2008) がは、オントジャワ海台の地

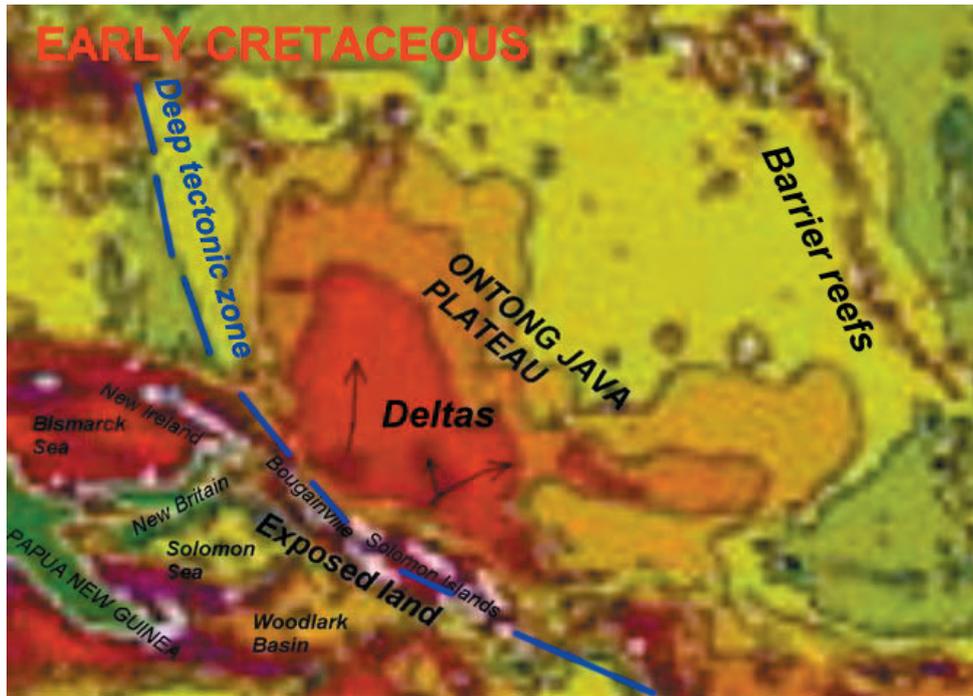


図 11 Choi et al. (2008) によるオントジャワ海台の新しい地質構造と古地理学的解釈. 白亜紀と古第三紀の間に露出した陸が、主要な深部構造帯の西に位置していた現在のウッドラーク海盆とソロモン海地域に存在していた. 古陸は浅海の中にデルタ堆積物を供給した、そしてそれは現在のオントジャワである. その地域全体は中新世から第四紀に深い海底となった.

質構造について新しい解釈を提案した (図 11). 入手しうるドレッジおよび掘削データによると、前期白亜紀に陸上～浅海環境で玄武岩質火山噴火が起こり、玄武岩がオントジャワ海台を覆った (Andrews et al., 1975; Kroenke et al., 1991). 白亜紀～古第三紀には、古陸からデルタ堆積物が深部構造帯の西 (現代のウッドラーク [Woodlark] 海とソロモン海) へ供給された. 海台は、中新世～第四紀に深く沈水した. 震探断面では、ブロック断層で生じたトラフの中に、厚い中-新生代堆積物と玄武岩の下に大陸性岩石が存在することを示唆する. この推論は、オントジャワ海台の中部～南部における相対的低重力異常と上述した厚い地殻によって支持される.

2) 深海海溝

基盤岩類は、千島-カムチャッカ、東北日本、伊豆-小笠原、火山、マリアナ、ムサウとトンガ-ケルマディック海溝でのドレッジによって解明された.

伊豆-小笠原海溝

最も完全な層序断面は、伊豆-小笠原海溝の島側斜面で調査され、5つの複合岩体で構成される (図 12) :

1. 緑廉石-角閃石相変成岩 (優黒色岩, 緑廉石-角閃石粘板岩, 含ざくろ石を含む珪岩様粘板岩, 石英砂岩, および緑泥石-角閃石粘板岩).
2. カタクラサイト化した層状アポ-ハルツバージャイトとアポ-ダナイト蛇紋岩.
3. 層状侵入岩類 (レールブライト, パーライト, 輝岩, はんれい岩, まれに石英閃緑岩).
4. 溶岩, 凝灰岩溶岩, 玄武岩質凝灰岩.
5. 枕状溶岩, サブアルカリ玄武岩.

第1の複合岩体の基底層準は、緑廉石-角閃石粘板岩, 含ざくろ石珪岩, および, 緑泥石-角閃石粘板岩からなる; それらは、緑廉石-角閃石相に変成した典型的な優地向斜層を代表する. 化学組成から判断すると、緑廉石角閃

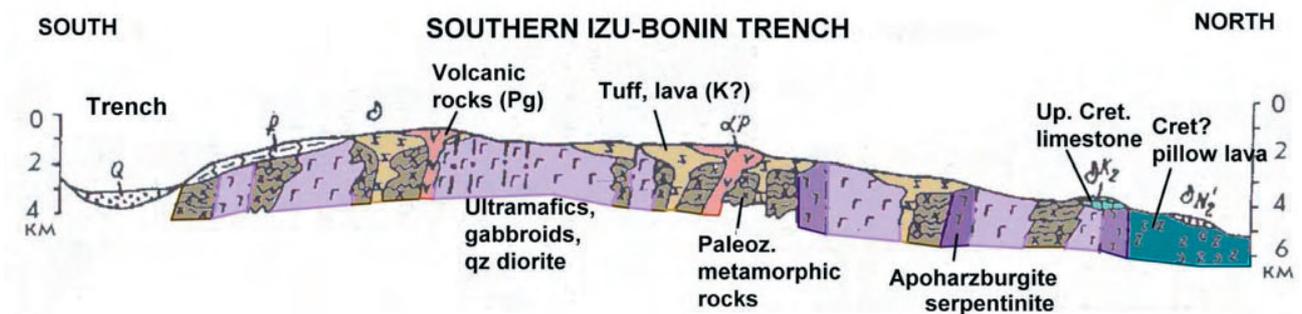


図 12 南部伊豆-小笠原海溝の島斜面の地質断面

岩の源岩は玄武岩組成の岩石であり、バリウムの含有量が低いことは、これらがソレイト質であることを示す。緑泥石-角閃石粘板岩は超苦鉄質岩に由来し、ざくろ石珪岩の源岩は、おそらく、珪石堆積物であろう (これらの岩石の時代は、この章の末尾で考察される)。

この層序断面の第2の複合岩体であるカタクラサイト化したアポ-ハルツバージャイトとアポダナイト蛇紋岩の形成プロセスはよくわかっていない。多くの研究者によれば (Govorov, 1991), 大陸で研究された類似の岩石は古期マントルブロックと考えられていて、造構運動によって上昇し、オフィオライト層序の上部に覆われた土台を形成する。しかし、我々の意見では、これらの岩石はおそらく貫入活動によるものである。岩石化学分析によると、すべての玄武岩質構成物は、極端に枯渇度していて、クロムに乏しい。

第3の複合岩体である苦鉄質岩とはんれい岩の層状貫入岩は、中粒~粗粒の多種多様な岩相を示し、およそ5km以深で結晶化したものであろう。これらの岩石の地表での現在の産状は、この貫入岩体の貫入固化後に、長期にわたる地殻のブロック隆起と剝削現象を経験したことを物語る。石英閃緑岩は、第3の複合岩体の貫入マグマ活動の最終段階の産物であることは明らかである。

第4の複合岩体の火山性層は変成・変質度が低く、すでに記述した岩石とは基本的に異なっており、より若いことは明白である。それらは、第1~第3の複合岩体の上位に不整合に重なり、もはや典型的な地向斜でなくなった地域における新しい地質構造発達段階を特徴づける可能性がある。それらの化学組成 (ポニナイト系とカルクアルカリ系の中間型) から判断して、それらはより厚い熟成した地殻領域の特徴を示す。火山活動は、その地域の造構的活動度と深部断層の形成に起因することは明らかである。火山性岩層は、珪酸塩と変成石灰岩、そして、供給チャンネルを充填したであろうはんれい岩-輝緑岩および輝緑岩をとまう。

第5の複合岩体を構成するサブアルカリ玄武岩質枕状溶岩は、海溝の島側斜面の麓からドレッジされた。強い破碎を受けていることから、上述してきた岩石とは断層で接していると考えられる。それゆえ、ここでの島弧ブロックと海洋ブロックの境界は、島側斜面の基底部にあり、海溝軸に沿っていない。

上述の火成岩と島側斜面の変成岩の時代は、次のデータによって、およそ決定されるだろう。第4の複合岩体を構成する火山性ユニットの最上部は、後期白亜紀 (サントニアン階-コニアシアン階) より古期である。なぜなら、それらは後期白亜紀の礁性石灰岩によって覆われているからである。このユニットは、同様に、南方にある火山海溝の島側斜面に発達する珪質-石灰質堆積物によって覆われていることは明らかである; したがって、それらの形成はバランギニアン階に始まった。それゆえ、第4の複合岩体である火山性ユニットの時代は後期ジュラ紀

より若くない。すでに述べたとおり、このユニットは下位層と不整合関係にある。この層序間隙には、この海域が少なくとも5kmの隆起と剝削を経験し、第2, 第3の複合岩体が地表に露出するほど長時間にわたる不連続が想定される。

それらの下限年代は三疊紀-ジュラ紀と考えられているが、実際には、変成度と大陸地塊との類似性から判断して、より古期かもしれない。次の段階は、第4の複合岩体である火山性岩石の形成の終了後に始まった。その時、この地域では集中的な隆起と剝削が継続し、前3者の複合岩体を構成する変成岩と貫入岩が地表に露出した。

研究海域の東部は、後期白亜紀 (サントニアン階-カンパニアン階) に部分的に沈水し、生物礁が形成された (生物起源の碎屑性石灰岩の堆積、レンズ状ノジュールをとまう)。

### 千島-カムチャッカ海溝と日本海溝

千島-カムチャッカ海溝の総延長は2000kmに達し、最大深度は9000m以上である (図13)。海溝の島側斜面は地向斜型の厚い地殻をもつ千島-カムチャッカ島弧の一部である。それは、先カンブリア紀からの多サイクルの長い発達史をもっている。海溝軸に近い海側海溝斜面から、2つのタイプの複合岩体、変成岩類ならびにはんれい岩-ドレイイト-玄武岩類がドレッジされた (Sergeev and Krasny, 1984; Sergeev et al., 1983; Vasiliev, 1982 & 1986)。

変成岩複合岩体の岩石は、大きなかんらん岩結晶をとまう含ざくろ結晶片岩に代表される。変成作用はおよそ3.5Kbarの圧力に対応する深度で起き、変成相は角閃岩相に達した。類似の岩石 (ざくろ石-雲母質普通角閃石) がゼンケビッチ [Zenkevich] 海膨の中央部でもドレッジされた。

隆起ブロック表面に露出する基盤岩として、最も見込みが高いのは変成岩類である。

はんれい岩-粗粒玄武岩-玄武岩複合体は、基本的に、海溝の海側斜面を構成する。それは、太平洋北西海盆にひろがる海洋トラップ層に類似する。

古地理、震探断面とドレッジの結果は、Choi (1987) ならびに Choi et al. (1991) によって研究され、図13のように結論された。1) 北西太平洋は古生代~前期中生代に陸地を形成していて、テチス海 (それは今日の日本列島であるが) へ堆積物を供給していた。2) 古大陸のレリックはドレッジによって確認される。3) 太平洋プレートは沈み込んでいない。

### 火山海溝

火山海溝はおよそ350kmの長さで、最大深度は9156mで

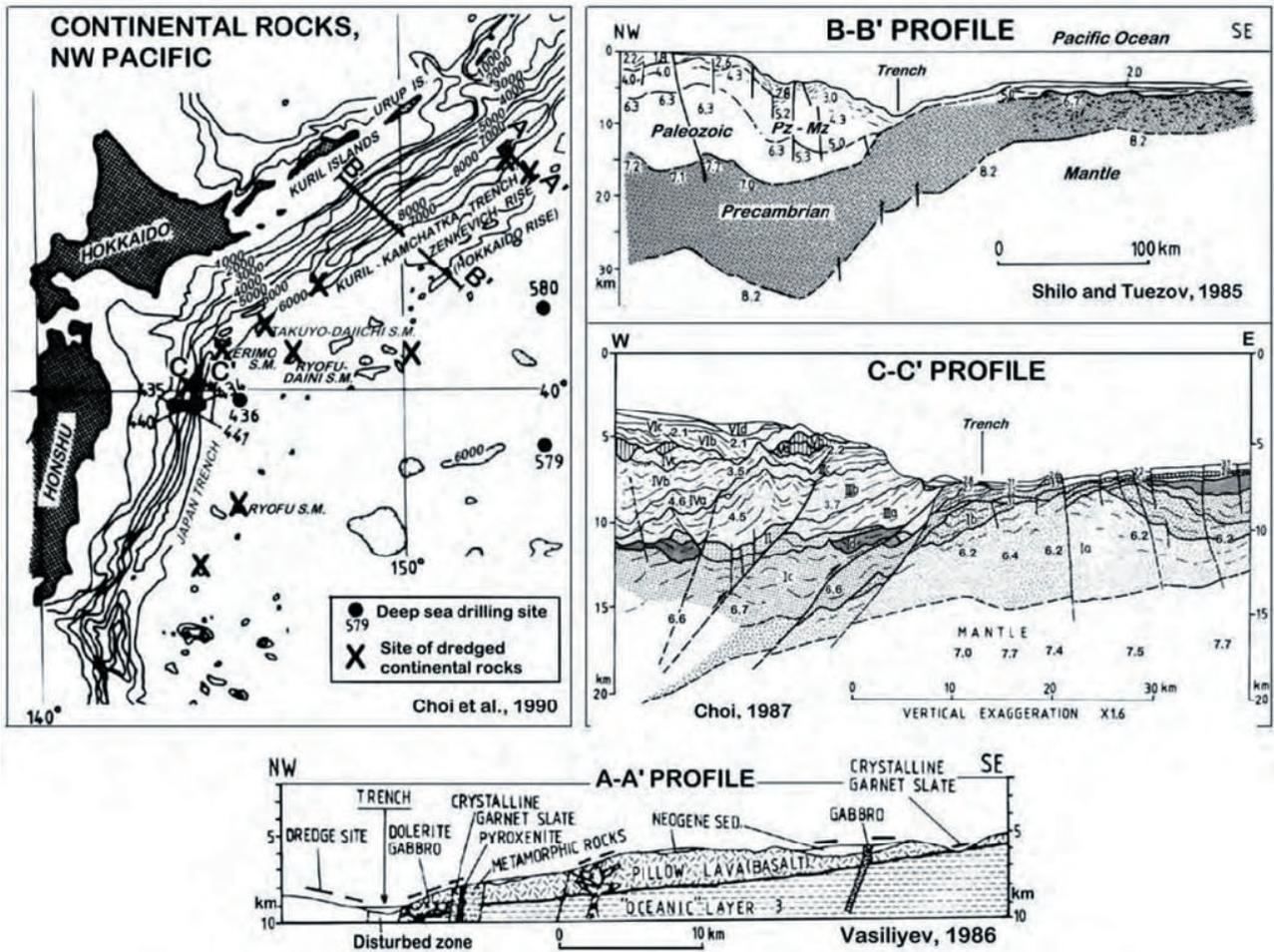


図13 ドレッジされた大陸の岩石 (左図) と北西太平洋の地殻断面 (右図)。北西太平洋は古生代からジュラ紀の間に古陸を形成し、そして現在の今日本列島にあたる当時のテチス海に堆積物を供給していた (Choi et al., 1992)。

ある。海溝斜面は、堆積物被覆を欠く。堆積物は、その軸部の微小凹地だけに存在し、層厚は500mを超えない。階段状の斜面は、正断層によって形成された (Vasiliev and Choi, 2001)。

島側斜面にはマグマ性の地層が発達し、珪質炭酸塩岩と凝灰質堆積物の2つの堆積性ユニットも分布する。

マグマ性の地層は斜面の基底でドレッジされ、次の2つの複合岩体に細分される。1) 貫入岩類：アポハルツバージャイト蛇紋岩とはんれい岩-ノーライトに代表される。2) 火山岩岩類：安山岩-玄武岩の溶岩と凝灰岩、安山岩、安山岩-デイサイト、ボニナイトとハイアロクラスタイトによって代表される。ボニナイトの微捕獲岩に含まれるはんれい岩-ノーライトは非常に興味深い。この事実は、ヤップ列島、小笠原と伊豆-小笠原海溝の島側斜面についての類推によって、火山海溝の島側斜面の基底にはオフィオライト複合岩体があり、それを、ボニナイトとデイサイト-安山岩の噴出岩が被覆・堆積したことを示唆する。

海溝の海側斜面はベンチ状構造を示す。ドレッジデータは、この構造単元に、次の5つの複合岩体の岩石が含まれることを示す。

- 1) サブアルカリ質玄武岩の枕状溶岩。1000-1500m;
- 2) アルカリ質の凝灰岩と溶岩で、それらは特異な岩石系列を構成する (アルカリ玄武岩、ハワイアイト、ミュージアライト、ベンモレアイト、粗面岩、粗面デイサイト、パンテレライト、粗面流紋岩)。2000-2500m;
- 3) ソレアイト玄武岩、ならびに、サブアルカリ質玄武岩類の凝灰岩と溶岩。500m;
- 4) 生物起源の石灰岩。500m;
- 5) 凝灰岩質堆積物。100-200m。

第1の複合岩体の岩石は、北西太平洋全体に典型的なものである。特に、冷却した球形の溶岩の褐色皮殻は鉄の酸化度が高く、それらの流出が比較的酸素に富む浅海環境で起きたことを示す。もうひとつの特徴は、スメクタイト、沸石、イライト、カリ長石、また構造的に破碎されたところでは燐灰石とバライトが新しく生成されるような、玄武岩の強い二次変質である。この作用は、しばしば主張される halmyrolysis の結果であるはずはなく、非常に厚い球形の溶岩の中での海水の長期間循環に関係することは明らかである。比較的変質が弱い場合には、クロムとニッケルの含有量が高い。これは、海洋性ソレアイトの特徴である。チタンの高含有量は、岩石成因論的には、島弧ではなく大洋の生成物としてのサブアルカリ玄武岩に関係することを示す。

ドレッジでは、玄武岩とともに、成層凝灰岩 (スメクタイトに置換) や、平板状シルト岩片 (成層面に薄い雲母質砂粒物質をともなう細粒成層平板) も採取された。Tochilina (1985) は、ある特徴的な放散虫群集を識別し、これらの岩石を上部ジュラ系とした。火山灰起源の岩石が玄武岩中に挟在していることは明らかであり、それらの時代は、すべての火山起源岩層の時代を左右する。

第2の複合岩体は著しく広範囲に分布し、組成は中性～酸性で、パンテレライト～粗面流紋岩からなる。溶岩は、種々の火山砕屑層の量に関係して、砕屑岩層の下位に位置する。噴火は陸上で起こり、それらの爆発の特徴によって、岩石の多色構造と集中的酸化がもたらされた。第2の複合岩体の火山岩は、海域では初めて発見されたものである。酸性メルトが多量に蓄積する玄武岩マグマの連続的分化作用は、おそらく、かなり鉛直方向に延びたマグマ溜り中で、しかも、非常に厚い被覆岩層におおわれた静穏な造構環境で、効果的に進行したのであろう。このような状態は、厚い大陸性地殻構造に特有である。

火山海溝の海側斜面の火山層序は、第3の複合岩体を構成するソレライト、ならびに、やや少量のサブアルカリ玄武岩溶岩 (凝灰岩の薄層を伴う) によって覆われる。この複合岩体のサブアルカリ玄武岩はKよりもNaの卓越によって特徴づけられ、Ti, Zr と Nb の含有量が高い。それらと漸移する関係あるソレライトは、中央海嶺型玄武岩 (MORB) の典型よりも、Ba 含有量が著しく低い。

火山性岩層は、第4の複合岩体の炭酸塩岩—礫性と遠洋性の2相に代表される一に覆われる。礫性石灰岩は、海山とギュヨーの頂部を被う。層厚は500m以上で、古生物データによれば、時代は後期白亜紀である。遠洋相石灰岩は、震探断面の連続的データによれば、厚さ1000m以上で、火山海溝と伊豆-小笠原海溝の間にある小山と海側海溝斜面を構成する。遠洋性石灰岩は、フリントのノジュールとレンズを伴う有孔虫-ココリス石灰岩で構成される。これらの堆積物は、島側海溝斜面の珪質-石灰質砂岩層と同時代であろう。

第5の複合岩体は、弱く岩石化した凝灰質～堆積性の新第三紀堆積物である。火山性岩層を非整合に被覆し、レンズ状に産する凝灰岩、層灰岩、粘土で構成される。

火山海溝の海側と島側斜面の特有な地質構造と発達史は、それらが種々のタイプの地質構造に属していることを証明する。海側斜面は、すでに後期ジュラ紀から比較的安定した地質構造領域に属していた堅い地殻の一部である。ここで非常に重要なのは、SiO<sub>2</sub> 含有量が最高72%に達する中性～酸性のサブアルカリ性火山岩層が厚く (最大2.5km) 発達することである。このようなマグマの起源の問題は、明確に解決されなければならない。大多数の研究者は、それらが示すのは、厚く熟成した大陸地殻であると思っている。それゆえ、第2の複合岩体の火山性岩層の形成時には、同様のタイプの地殻が存在したと考えることができる。島側斜面は、オフィオライトと

珪質-石灰質岩が発達する典型的な中生代堆積域に属する。

### マリアナ海溝

マリアナ海溝は長さ約2200km、深度11034mに達する。海溝の島側斜面では、塊状あるいは層状のはんれい岩がドレッジされ、蛇紋岩・ハルツバージャイト・トロクトライト・玄武岩・安山岩やデイサイトをともなう (Bloomer and Hawkins, 1983; Peive et al., 1980)。

伊豆-小笠原海溝と火山海溝の接合部で、4点の深海掘削 (778-781) が行われた。そのうち3つの坑井では、変玄武岩・変はんれい岩・トラカイトや炭酸塩岩脈のほか、蛇紋岩化したハルツバージャイト礫とダナイト礫よりなる角礫岩が掘削された。セメントの砂質～粘土質物質は、生物源物質 (有孔虫、放散虫やナンノ化石の遺骸) が混入する超苦鉄質岩～苦鉄質岩の破砕砕屑物で構成され、その年代は鮮新-更新世である。角礫岩は、更新世の薄い (10～15m) 軟泥～粘土で覆われる。これらのボーリングの海底水深は、3086.8～3947.2mである。第4のボーリング (深さ4420.6m) では、更新世軟泥～粘土中に厚さ19.5m (深度範囲72.3～91.8m) に達する玄武岩層準が発見された。上述のように、鮮新-更新世の珪藻-放散虫軟泥～粘土も存在する。

このように、東マリアナ海嶺の東斜面、つまり海溝島側斜面のドレッジと掘削データから考えると、その基盤の模式的層序断面は下位から次の3つのコンプレックスで構成される。

- 1) 塩基性及び超塩基性変成岩類 (蛇紋岩・レーンゾライト・ハルツバージャイト・ダナイト・はんれい岩様岩石・変輝緑岩・変玄武岩);
- 2) 枕状玄武岩 (坑井460・459・458);
- 3) 非変質玄武岩・安山岩とボニナイト (坑井458) もっとも新しいコンプレックスの始新世という年代は、被覆する漸新世堆積物との非不整合関係、火山性層に挟在する始新世動物群を含む堆積岩層によって決定される (坑井459B)。年代からは、グアム島のFakpi層に類似するであろう。島弧上には上の2つのコンプレックスは露出していない。これらのコンプレックスの構成岩石由来の礫岩の基質中には、再堆積した白亜紀動物化石群が産するので (坑井461)、第1と第2コンプレックスは、先白亜紀と考えられる。この推定は、伊豆-小笠原海溝と火山海溝ではオフィオライトコンプレックスが下部白亜系に覆われること、マリアナ海嶺島側斜面の構造断面にたいへん似ていることによって確かめられる。

ドレッジデータによると、マリアナ海溝の海側斜面は、浅海あるいは陸上環境で形成された凝灰質堆積岩のレンズをはさむサブアルカリ玄武岩枕状溶岩とハイアロクラスタイトで構成されている。玄武岩試料の1つの放射年代は、102 ± 5Maを示すが (Peive, 1980)、この値はおそらく過小に評価されている。火山海溝の海側斜面との共通性から判断すると、火山性岩層は白亜紀初期以前に

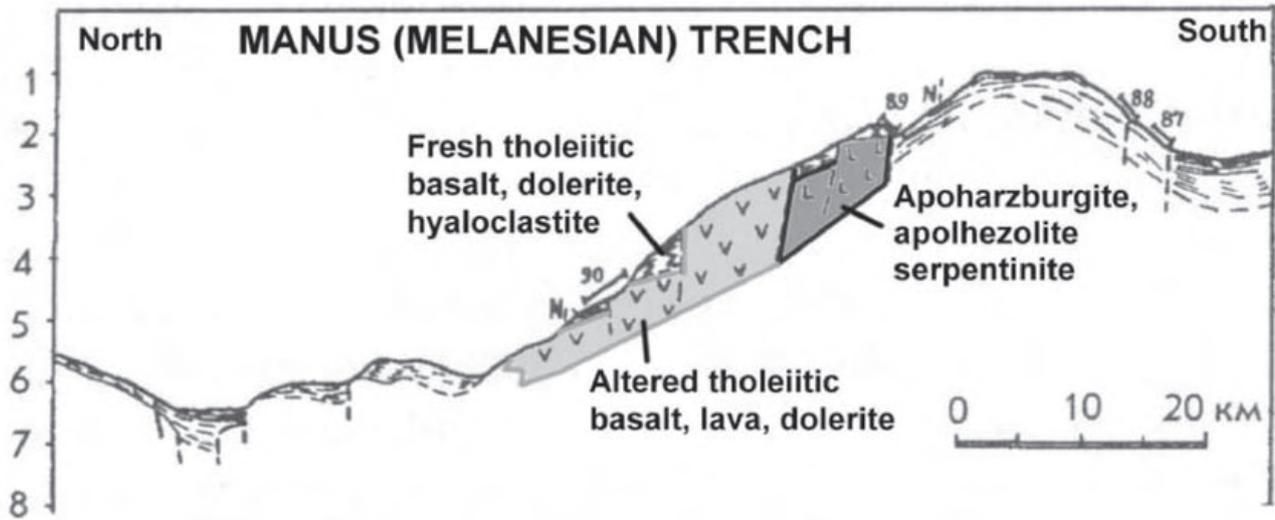


図 14 西メラネシア海溝の地質断面

形成されたと推定される。

### ヤップ海溝

ヤップ海溝は長さ約 500km で、深度は 8500m に達する。海溝内で、たくさんのドレッジがされている。

島側斜面には、変成岩・オフィオライトに関連した岩石と新生代の噴出岩コンプレックスが発達する。

変成岩は、ヤップ島のヤップ層のものに類似する。ヤップ層は、MEP 層のオリストストローム礫によって覆われていて、温度 520 ~ 530°, 圧力 6 ~ 7kbar の環境で形成された角閃岩、緑簾石角閃岩、角閃石粘板岩及び黒雲母-角閃石質粘板岩で代表される (Govorov, 1991)。

オフィオライト層序を構成する岩石は、超苦鉄質及び苦鉄質組成の層状貫入岩コンプレックスと変質した噴出岩コンプレックス (輝緑岩・枕状玄武岩と凝灰岩) に代表される。

層序断面の上部層準は、新生代噴出岩コンプレックスで構成され、一連の玄武岩-安山岩-デイサイト、および、それらの凝灰岩及び凝灰角礫岩の組み合わせからなる。このコンプレックスの岩石は著しく多孔質なスラグ状で、陸上噴出岩に典型的な流動性と粗面岩的組織を示す。化学組成からみると、火山岩類は島弧型カルクアルカリ岩系に属す。これらの岩石は、緑色片岩相およびブドウ石-パンペリー石相の変成作用を受けている。ヤップ島に露出する火山性層に沿って行われた海溝でのドレッジでは、板状に成層した砂岩およびシルト岩が採集され、それらは、火山性ユニット中のはさみパッチ状のはさみであろう。

海側斜面は、枕状玄武岩・輝緑岩・ハイアロクラスタイト・ビトロクラスティック [vitroclastic] 角礫よりなり、まれに、はんれい岩 (おそらくは小規模貫入岩体) をともなう (Peive, 1980)。ヤップ海溝産の角閃岩の放

射年代 (K/Ar) は非常に若く、11.0 と 31Ma を示すが、掘削された角閃岩コア試料の角閃石年代は非常に古く、 $81 \pm 2.5$ Ma である (Peive, 1980)。角閃岩の年代の若返りは、二次的な加熱によるアルゴンの逸失のためであろう。これが、普通角閃岩 ( $28 \pm 5$ Ma) とはんれい岩 [しそ輝石はんれい岩] (20Ma) の放射年代が若い理由とみられる。

### トンガ [Tonga] 海溝とケルマディック [Kermadec] 海溝

トンガ海溝は、2つのゾーンからなる。緯度方向の短い北部ゾーンは狭く、比較的浅い (4500 ~ 5000m)。東経 164.5° で尖滅し、サモア島の南でほぼ直角に曲がり、オズボーン海山の鞍部を経て南部ゾーンに延長する。南方へはケルマディック海溝に連結し、ニュージーランド北島東端の岬の緯度で尖滅する。海溝はほぼV字型の非対称な断面形状を示し、急な島弧側斜面 (8 ~ 15°) とより緩やかな平滑な海側斜面 (3 ~ 8°) にはさまれる。両側の斜面は広く階段状になっていて、斜面上では実質的に堆積物が欠けている。海溝軸部は、特徴的なスラスト様の地震発生地帯であるが (Sykes et al., 1970)、磁場や熱流量の異常はほとんど認められない。

ドレッジによると、トンガ海溝の海溝斜面は多様な構造単元で構成されている。海側斜面は、海洋層に特有な枕状玄武岩溶岩でできている。掘削データ (坑井 204) によると、玄武岩層は後期白亜紀堆積物によって覆われる。海側斜面のものに類似した玄武岩が、島側斜面基部 (水深約 9000 m) でのドレッジによって確認された (Bloomer and Fisher, 1987)。構造的上位 (水深 8500m) には、蛇紋岩化したハルツバージャイトによって代表される変成したかんらん岩のほか、まれにダナイト・レールズライトや角閃岩化した粘板岩が分布する。化学組成と変成温度から見ると、このコンプレックスの岩石は、断面のより高位に産する超苦鉄質岩とは異なる。というのは、高位の超苦鉄質岩は層状貫入岩コンプレックス (緑簾石-角閃石相に変成) に属し、さまざまな層状はんれい岩様岩石を含んでいるからである (Silant'ev and Zlobin,

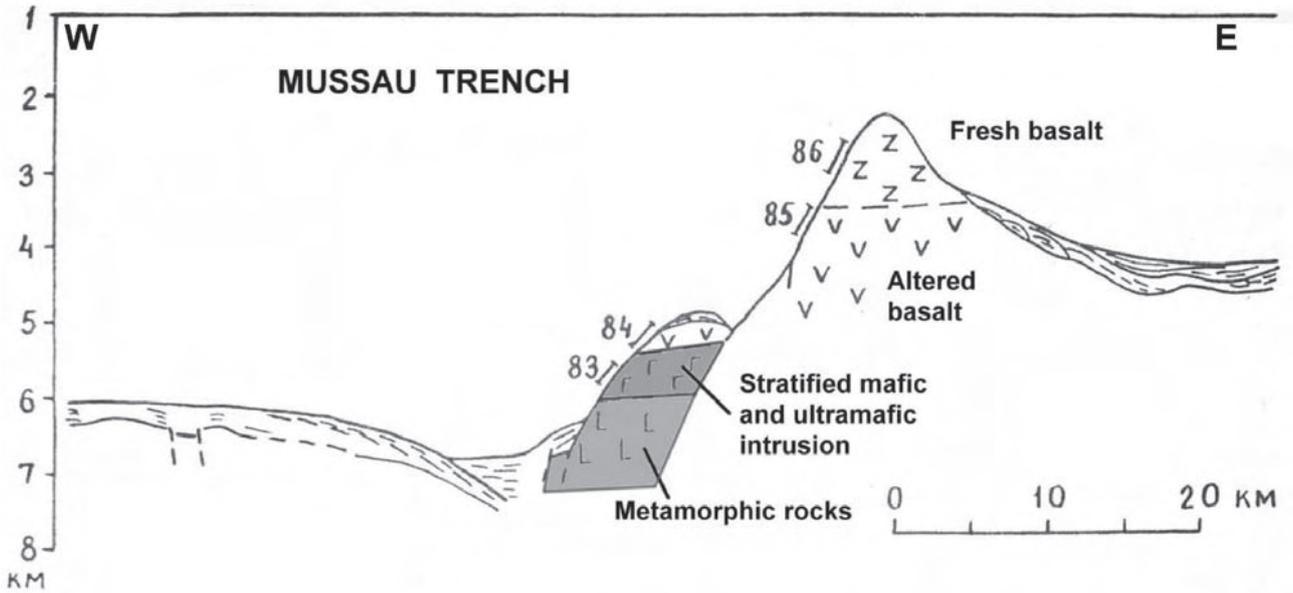


図 15 Mussau 海溝の地質断面

1986). 層状貫入岩コンプレックスは、オフィオライト層序断面の上部を形成する輝緑岩と玄武岩に覆われる。このコンプレックスの岩石地球化学的特徴は造岩鉱物がマグネシウムに富み、また、単斜輝石をほとんど含まないなどのたくさんの指標からも、これらの岩石は海洋中央海嶺やトランスフォーム断層の岩石とは本質的に異なることを示す。したがって、島側斜面の岩石が太平洋プレートの沈み込みによって形成されたものではなく (Bloomer and Fisher, 1987), 島弧の発達過程で生成されたものである (Sharas'kin et al., 1986), と結論される。オフィオライト関連岩石は、島弧型カルクアルカリ岩系の安山岩・玄武岩とボニナイトからなる火山性ユニットに覆われる。多くの論文で、トンガ海溝島側斜面の地殻の“積み上げ [piling-up]”が記述され、それは層序断面の“くりかえし [doubling]”に表現される (Shilo et al., 1984), という。しかしながら、これらの岩石の岩石学的及び地球化学的特徴についての詳細な研究は、オフィオライト層序の下部と上部がまったく別物であり、変成作用の2つの地球化学的傾向に一致する。それらには、“二重の [dual]”テクトニックプレートとしてとらえる余地はない (Silant'ev and Zlobin, 1986)。起源物質に関する考察は、岩石の“piling-up”あるいは doubling を示しているが、年代の異なる2つのコンプレックスと説明するほうが、より容易である。

トンガ-ケルマディック海溝と伊豆-小笠原海溝の地質断面が著しく類似していることは注目に値する。それらは、これらの海溝の造構地形の起源が同一であることを証明する。島側斜面基底部に海洋性枕状玄武岩が存在することは、急傾斜の断層帯に沿って島弧ブロックが海洋ブロックへ衝上した結果であろう。

**西メラネシア [Western Melanesian] 海溝**

海溝底には、深さ 6000~6400mの丘状起伏が存在する(図

14)。海の島側斜面でのドレッジ調査によって、ムサウ海溝と構造的に類似する岩石コンプレックスが存在することを立証した。最古の岩石は蛇紋岩で、ハルツバージャイトや方解石を含む超苦鉄質岩の変成作用に由来し、レルズライトに漸移する。このような岩石は、一般に、造構作用によって絞り出されたマントルウェッジと考えられている。しかし、それらが貫入岩である可能性を排除できない。それらは、ムサウ海溝でのドレッジ岩石中に多くふくまれる蛇紋岩と変成岩のうち、後者に類似するものであろう。

西メラネシア海溝における層状超塩基性岩~塩基性貫入岩からなる新期コンプレックス(次項のムサウ海溝では広く分布)は小片としてドレッジされただけであるが、上位のコンプレックス(緑色岩-変質玄武岩、ドレイイトやそれらの automagmatic breccias [自破砕溶岩?])からは多数の試料が採集された。化学組成からみると、これらの岩石は海洋性ソレアイトに類似する。また広く発達するのは非変成の枕状玄武岩、粗粒玄武岩およびハイアロクラスタイトのコンプレックスであり、わずかに Ca に富み、Ti に乏しいことから海洋性ソレアイトとは異なっている。いくつかの種類 of 玄武岩は、島弧ソレアイト系列に類似する (Govorov, 1991)。

**ムサウ [Mussau] 海溝**

ほかの海溝とは異なって、ムサウ海溝は大洋の中央にある(図 15)。海溝斜面の各地で実施されたドレッジ調査によると、露出している地殻の基底部は緑簾石-角閃石相の角閃石結晶片岩と緑簾石-角閃石結晶片岩、緑簾石角閃岩、および、緑泥石-滑石岩によって構成される。これらの変成岩は、ソレアイト玄武岩類に由来する。断面のより高位層準は塩基性~超塩基性の層状貫入岩コンプレックスで占められ、沈積性のダナイト, verlite, トロクトライトおよび輝岩からなる。このコンプレック

スの岩石 (構造的にはソレアイト系岩石に関連) は5km以深で1200°C近い温度で結晶化したことが、完晶質構造によって証明される。その後、これらの岩石は温度540~630°C、圧力2Kbarで変成作用を蒙り、造構運動と削剥作用によって地表へ露出した。

それらには、はんれい岩-ドレライト-玄武岩コンプレックスが密接にともなう。このコンプレックスは、角礫化~カタクラサイト化したはんれい岩類、輝緑岩、はんれい岩-輝緑岩、ドレライト、変質した枕状玄武岩、ドレライト-玄武岩、および、それらの自破砕角礫岩よりなる。これらの岩石は1200~1300°Cの温度で結晶化した。

前述のコンプレックスの頂部を構成する火山性地層は、ムサウ海嶺の最上部に限られて分布し、そこでは同心状構造を形成する。Kononov et al. (1988)によると、それらの組成的特徴は島弧ソレアイト系列を示す。

以上の変成岩類やマグマ源地層を不整合に覆う堆積物は、おもに石灰質の陸源性凝灰質岩石からなり、堆積開始年代は前期暁新世である。したがって、下位層は白亜紀より若くはない。

#### ニューヘブリデス [New Hebrides] (バヌアツ [Vanuatu]) の深海海溝

ニューヘブリデス島弧では、中央の連結部には海溝が存在しないが、この部分を除くと、2つの深海海溝が島弧の西側を縁取っている。

北ニューヘブリデス海溝 (サンタクルス海溝) は、長さ約400kmである。5500mの等深線の間隔は平均約40kmで、海溝軸部は南へ次第に浅くなる。海溝の海溝はいくつかの陥没部 (水深5500~6000m) からなり、最大水深は9174mである。

海溝において3つの断面に沿って実施された17地点のドレッジデータによると、構造・年代および産状にもとづいて、4つの岩石コンプレックスが識別される (図16) :

- ・ 枕状玄武岩とドレライト ;
- ・ 玄武岩とショショナイト ;
- ・ 火山岩起源堆積岩および凝灰質堆積岩 ;
- ・ 堆積物。

枕状玄武岩-ドレライトコンプレックスが広く分布する。それは海溝斜面の両側の基底部に凸部をつくり、西側斜面ではその上位に位置する断層崖にも露出する。コンプレックスは、玄武岩質枕状溶岩、玄武岩溶岩、ハイアロクラスタイト質角礫岩、およびドレライトで構成される。ドレライトは、それらの粗粒な粒度、結晶構造、塊状で均質な構造によって、シルであることを示唆する。玄武岩の化学組成はソレアイト的で、サブアルカリ系列にも類似する。同時に、いくつかの氧化物やTi・V・CrやNiなどの含有量にばらつきがあるが、それらは、均質なマ

グマの結晶分化作用で容易に説明することができる程度のものである。西側斜面の上部 (水深4960~4700m) では、玄武岩が多孔質であること、ならびに、ドレライトが欠如することによって特徴づけられる。これは、玄武岩の噴出中心が浅いところ一沿岸環境—にあったことを意味するであろう。島側斜面の基部 (坑井28) でドレッジされた玄武岩のK/Ar年代は14.5 ± 0.8Maで、海側斜面の上部でドレッジされた同様の玄武岩の年代は16.3 ± 2.6, 18.5 ± 1.1 (坑井34/8) 及び25.2 ± 0.8Ma (坑井53) である。記載された玄武岩は、始新世の動物微化石群をとともなう石灰質堆積物によって覆われているので、この年代は地質データと矛盾する。この矛盾は、アルゴンの逸失や二次的変質による玄武岩年代の若返り、あるいは始新世岩石が異地性であることによって説明される。連続的な地震探査断面によると、堆積物は擾乱されていないので、前者の説明が優っている。これは、年代幅が大きい岩石ではカリウム含有量が小さいことによっても確認された。

玄武岩-ショショナイトコンプレックスが、海溝の両側の斜面でドレッジされた。溶岩がとくに広く分布し、これに溶岩角礫とショショナイト構造をもつ凝灰岩が続く。すべての岩石は、著しく多孔質であり、爆発性火山活動を示す要素はほとんどみられない。コンプレックス中の火砕岩層は、lithocrystalloclasticな角礫で代表され、ドレッジされた物質の数パーセント (約3~5%) を占めるにすぎない。それらは、主に、溶岩片を覆う小さな皮殻または独特な破片状のコーティングを形成している。火砕岩は、コンプレックスの一部として、溶岩中のレンズ状薄層 [prolayer] やはさみを構成する。さらに、結晶化が進んだショショナイト岩片の存在は、コンプレックスの一部に地下火山層の存在を示唆する。コンプレックスを構成する火山岩は、玄武岩からショショナイトまでの連続的な組成範囲を示すが、より酸性岩石をとみなさない。このコンプレックスの一部を構成する玄武岩は、ショショナイトがこれらとは別の起源であることを暗示するたくさんの岩石学的特徴を持っている。CrとNiに富む玄武岩中にTiを多く含むこと、そして、鉱物組成にソレアイト的特徴が認められることは、それらが島弧型のレアイト玄武岩の優黒質な組成変異の原因と考えられる。このようなコンプレックスは、2つの起源系列—カルクアルカリとソレアイト—の共生関係を示す。海溝の西側 (海側) 斜面の基底部でドレッジされたショショナイトの絶対年代 (K/Ar) は、5.29 ± 0.14, 5.8 ± 0.6 と14.9 ± 1.2Maである (IGEMによる測定)。

南ニューヘブリデス海溝は、南緯170°30' ~ 230°に1200kmわたって延びている。南緯230°で枝分し、北西方向 (延長780km) とほぼ緯線方向 (420km) の2つの海溝に分かれる。北西方向の海溝は、ニューヘブリデスの島列の一般走向に一致する。ほぼ緯度方向の海溝はそれに直交していて、互いに隔離された陥没の連鎖によって形成されている。陥没盆は楕円形あるいは引き延ばされた凹地からなり、長さは15~160km、水深は7600mに達し、広く平坦な隔壁で分割されている。

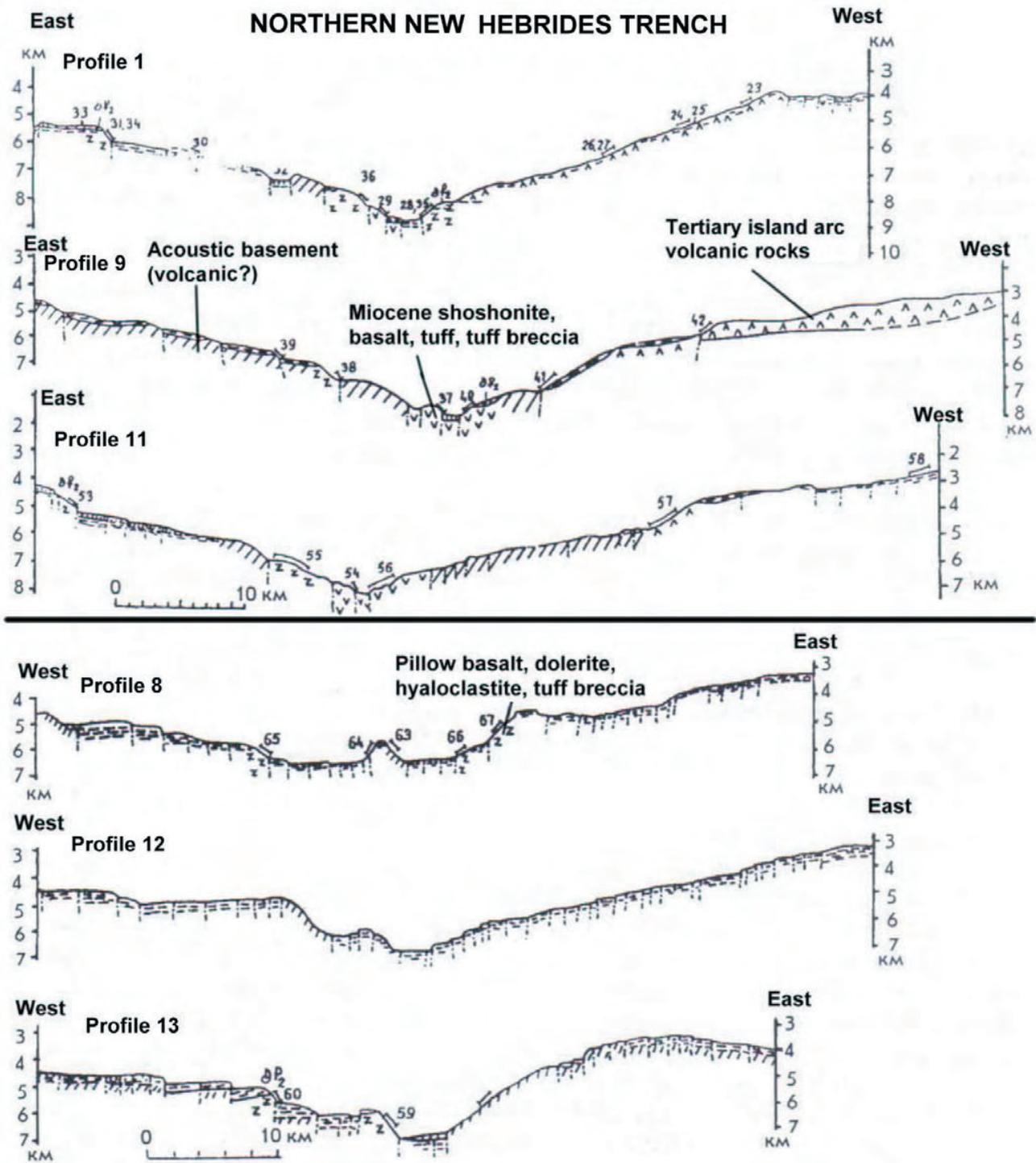


図16 Northern New Hebrides 海溝の地質断面

この海溝で、我々は7つのドレッジ地点を選定した(図16)。最もたくさんデータを得られたのは、海溝の西側斜面にある地点で、玄武岩と粗粒玄武岩—それらはニューヘブリデス海溝でドレッジされた岩石に類似している—が採集された。それらの化学的性質の一般的特徴は奇妙である。というのは典型的なサブアルカリ玄武岩としては、Cr と Ni の含有率が低く、それらと連動する Ti と Na が多い。南ニューヘブリデス海溝の西側斜面の上部は、アカリに富む枕状玄武岩で構成される。いくつかの場合、枕状玄武岩の枕間充填物は、実質的には温

度の影響を受けていない緻密な粘土質～石灰質物質である。これは玄武岩に比べるとその形成に数倍の時間的隔たりがあったことを証明している。いくつかの溶岩の枕は一連の放射状冷却節理系によって破壊されてきて、節理は同様の物質によって充填されている。この物質中に、中～後期始新世に特徴的な有孔虫や石灰質ナノプランクトン遺骸が含まれる。それゆえ、もともと玄武岩溶岩層準の上面はもともと凹凸が大きく、玄武岩の冷却直後に粘土質～石灰質堆積物が堆積しはじめた、と私たちは考えている。同時に、K/Ar 法で決定された玄武岩の年代は 9.7, 12.5, および  $22.3 \pm 0.7$  Ma (中新世) を示し、

非常に新しいようである。この場合、年代の不一致の原因は古生物学的データがあるので明確に特定することができ、他のいくつかの地点の枕状玄武岩の上位に始新世の粘土質岩・シルト岩や砂岩が堆積していることは、これを追認する。

## 結 論

太平洋巨大海盆の西部では、基盤岩石が海底隆起部や海溝斜面に露出する。それらは、次の5つの複合岩体に区分される。

1. 変成岩
2. オフィオライト構成岩石
3. ボニナイト系岩石
4. 分化した玄武岩 - 粗面岩 - 粗面流紋岩類 (Govorov, 1991)
5. アンカラマイト - 粗面玄武岩複合岩類

## 変成岩

千島 - カムチャッカ、伊豆 - 小笠原、ヤップ、および Mussau 海溝でドレッジされた変成岩は、海洋地殻層序の基底層準を示す。代表的岩石は、含ざくろ石結晶頁岩および緑簾石 - 角閃石結晶頁岩、ざくろ石 - 石英質頁岩および石英砂岩、角閃岩、角閃石結晶片岩、黒雲母 - 角閃石結晶片岩である。これらの岩石は 520-530°C / 6-7Kb の温度圧力条件で生成した。もっとも優れた説明は、それらが断層運動によって地表へ露出した大陸地殻ブロックの構成物であるということである。

Zenkevich 海膨に変成岩類が分布することは、鮮新世堆積物中にざくろ石、陽輝石、緑泥石および緑簾石が含まれることによっても確認され、日本海溝の東側には先カンブリア紀オーソコーツァイトが存在する (Sergeev et al., 1983; Vasiliev, 1986; Choi, 1987; Choi et al., 1992)。

## オフィオライト構成岩石

もっとも広く分布するのはオフィオライト構成岩石であり、次の4つの複合岩類が含まれる (Govorov, 1991)。

- 1) 変成したかんらん岩類 (蛇紋岩化したハルツバージャイトとハルツバージャイト由来の蛇紋岩: 変形構造一破断、圧砕および塑性流動一の痕跡をもつ)
- 2) 超苦鉄質岩類 (斜長石レルゾライト, 斜長石パーライト, ダナイト, および輝岩), ならびに成層貫入岩体を構成するはんれい岩類
- 3) 輝緑岩の岩脈とシル, オフィオライトはんれい岩, ドレライト, およびトータル岩
- 4) 火山岩類 (ソレアイト玄武岩およびドレライト, ボニナイト, 玄武岩, ボニナイトから島弧性ソレアイト質カルクアルカリ岩系への漸移岩類)

基底層準は、上記の第1群に含まれるハルツバージャイト

ト由来の蛇紋岩で構成され、岩石化学的には、太平洋巨大海盆東部のトランスフォーム断層のハルツバージャイト (Si, Al および Ca に富む) とコリヤック山地、カムチャッカ半島およびニューカレドニアの著しく枯渇した含クローマイトダナイト - ハルツバージャイト複合岩体との中間的組成を示す。それは、コリヤック - カムチャッカ地域とニュージーランドに分布するそれほどは枯渇していない含クローマイトダナイト - ハルツバージャイト複合岩体やハルツバージャイト - レルゾライト複合岩体にも類似する (Govorov, 1991)。

成層貫入岩体を構成する第2群の超苦鉄質岩類は、同様の海洋性岩石にくらべて、主要造岩鉱物の構造や副成分鉱物のスピネル類において明瞭に異なる。すなわち、海溝で採取される超苦鉄質岩のクロムスピネルの Cr/(Cr+Al) 比は 0.6 - 海洋性かんらん岩の上限値 - を超える (Dick and Bullen, 1984)。

Fe などの含有率がかなり高いことにもとづくと、それらは、はんれい岩が上部層準を占める第2群 (超苦鉄質岩類およびはんれい岩類) の基底層準を構成すると考えられる。岩石種としては、トロクトライト、カンラン石はんれい岩、はんれい岩 - ノーライト、透輝石 - anortite はんれい岩、チタン - 鉄普通角閃石はんれい岩、および、それらの変成岩が知られている。それらには、しばしば、優白質および優黒質層からなる縞状構造が発達する。ほとんどの場合、はんれい岩類は、高い Mg 含有量 (FeO/MgO=0.2 ~ 0.3), 低い TiO<sub>2</sub> (0.08 ~ 0.13%) およびアルカリ量 (0.16 ~ 0.55%) によって特徴づけられ、太平洋巨大海盆底に分布する大半のはんれい岩類と区別される (Saveliev, 1990)。

オフィオライト層序の頂部を構成する火山岩類は、基本的には、ソレアイト玄武岩、ドレライトおよび鉄質ソレアイトに代表される。海溝のオフィオライト構成岩石は、全体に、組成と分化の程度によって、海洋性オフィオライトとは明瞭に区別され、それらは海洋地殻の遺物とは考えられない。

## ボニナイト系岩石

ボニナイト系の岩石は、伊豆 - 小笠原海溝および火山海溝の島側斜面でドレッジされた。それらは、ソレアイトおよびカルクアルカリ岩系の火山岩類に類似するが、組織が異なっている。化学組成にみられるもっとも典型的な特徴は、MgO の含有率が高く、SiO<sub>2</sub> も比較的高いことで、それらの値は中性組成の火成岩に匹敵する。同時に、ボニナイトの鉱物組織は、輝石とカンラン石を 75% 以上含み、斜長石に乏しい超塩基性岩類の組織に類似する。それらは、大陸地殻物質を混合した高マグネシウムマグマから派生した岩石群であるという (Perchuk, 1987)。

## 二峰的組成頻度をもつ分化した玄武岩 - 粗面岩 - 粗面流紋岩複合岩類

この複合岩類に含まれる岩石は、火山海溝の海側斜面でドレッジされた。それらは、2つのサブグループ—サブアルカリ質およびアルカリ質—に細分される (Govorov, 1991)。第1のサブグループは、サブアルカリ玄武岩、ハワイアイト, benmoreiites- 粗面デイサイト, 粗面デイサイト, および粗面流紋岩からなる。第2のサブグループは、アルカリ玄武岩, ハワイアイト, mugearite- 粗面岩, 優黒質閃長岩および pantellerite からなる。岩石共生からみると、これらのサブグループはハワイ諸島の岩石群に類似する。しかし、ハワイの岩石群はこの諸島の99%以上を占めるハワイ型ソレイトに随伴しているが、火山海溝ではハワイ型ソレイトおよびピクライト質玄武岩を欠き、粗面岩類が玄武岩類とほぼ等量に分布する。さらに、火山海溝では、ハワイ諸島の溶岩にはみられないSiO<sub>2</sub>含有率が72%以上に達する酸性岩が多量に存在し、大陸地殻が存在することの証左となっている。

#### アンカラマイトおよび粗面玄武岩複合岩類

この複合岩類を構成する岩石は、マークス-ウェイク海山群および太平洋中央海山群に分布し、アンカラマイト, oceanorites, 鉄質アンカラマイト, 鉄質リンバージャイト, 粗面玄武岩, tristanites, 響岩, およびアルカリ粗面岩に代表される。これらの岩石はいずれも、成熟した大陸地殻に特徴的な岩石である (Govorov, 1996)。

#### まとめ

上述のデータは、太平洋巨大海盆が不均質でさまざまな年代の基盤で構成されていることを明らかにした。多数の大陸地殻の遺物が巨大海盆の構造中に保存されていることが、大陸性岩石そのものの発見や火山岩組成 (アンカラマイト, 粗面玄武岩およびボニナイト群) によって証拠づけられる。太平洋底の研究の進展によって、より多くの大陸性岩石が発見されることは確実であろう。

同時に、太平洋巨大海盆の地殻の大半が優黒質岩石で構成されることも疑いない。それは、海底露出や掘削孔で広く確認される超苦鉄質および苦鉄質岩石や、火山溶岩に含まれるゼノリスによって証明済みである。おそらく、太平洋の地殻は、大陸性リソスフェアが造構-火成活動をくりかえし被ることによって形成されたのであろう。これは、火山島の噴出岩類のPb, Sr, Nb同位体組成によっても確認され、3.5Gaに起きた溶融によって基盤年代が確かめられる (Volobuev et al., 1987)。ハワイ火山群の溶岩から発見されたレルゾライトゼノリス [複数形] から、同じ年代がえられた (Morioka and Kigoshi, 1976)。

太平洋巨大海盆の広大な海域の基盤が最終的に形成されたのはジュラ紀~白亜紀である。それは、大陸での活動と同様の、地球規模での巨大深海底剛塊における火成活動の結果である。これは、地球発達史の最新の時代—玄武岩時代 (Hoshino, 1991) —のはじまりを告げるものである。

謝辞 David Pratt氏とCliff Ollier氏には、全般的な編集査読、ならびに、この論文への貴重なコメントをいただいた。両氏に厚く御礼申し上げる。

#### 文 献

##### ロシア語文献

- Govorov, I.N., [ed.], 1991. Geology and petrology of zones of deep-water trenches in the West Pacific. Moscow, Nauka, 246p.
- Govorov, I.N., et al., 1993. Ankaramite association of Markus-Wake Mountains (Pacific Ocean) as an indicator of buried ancient structures. *Geotectonics*, p. 87-96.
- Govorov, I.N., et al., 1996. Petrological provinces of the Pacific Ocean. Moscow, Nauka. 444p.
- Kashintsev, G. L. and Frikh-Khar, D.I., 1978. Structure of the ocean crust in a zone of Eltanin Fault (Pacific Ocean) according to petrographic data. *Oceanology*, v. 18, p. 64-69.
- Kashintsev, G.D. and Zhdanov, V.V., 1981. Amphibole schists in a zone of Eltanin Fault (Pacific Ocean). *Izvestiya AS USSR. Series of Geol.*, no. 8, p. 28-37.
- Konovalov, Yu.I., Martynov, Yu.A., Gusev, V.V. and Sharapov, V.N., 1988. New data on geology of Lamont Guyot (Markus-Wake Rise, Pacific Ocean). *Doklady AN USSR*, v. 300, p. 172-175.
- Korsakov, O.D. et al., 1983. The find of plagiogneiss in the central part of the Pacific Ocean. *Doklady USSR AS*. v. 270, p. 1420-1424.
- Lazko, E.E. 1985. Serpentinites and gabbroids of Clarion Fault (the central part of the Pacific Ocean). *Izvestiya USSR AS. Series of Geol.*, v. 12, p. 28-41.
- Matveenkov, A.F. and Marova, N.A., 1975. Age of formation of magmatic complexes and related structures on Markus-Nekker Rise. *Izvestiya USSR AS. Series of Geology*, v. 6, p. 126-129.
- Marakushev, A.A., Moiseenko, V.G., Sakhno, V.G. and Tararin, I.A., 2000. Petrology and ore-bearing of the Pacific Ocean. *Pacific Geology*, v. 19, p. 295.
- Melankholina E.N., Savelyeva G.N., Kudryavtsev D.I., et al., 1983. Structure of oceanic crust and upper mantle in a zone of Clarion Fault (Pacific Ocean). *Doklady USSR AS*, v. 268, p. 942-946.
- Melankholina, E.N., Baranov, B.V., Kononov, M.V., et al., 1994. Variations of composition of the ocean basalt, received in the study areas of Mendocino Fault (Pacific Ocean). *Geotectonics*, no. 3, p. 49-60.
- Neprochnov, Y.P., 1984. Deep faults on the ocean bottom. Moscow, Nauka. 222p.
- Peive, A.V. [ed.], 1980. Geology of the Philippine Sea bottom. Moscow, Nauka, 261p.
- Perchuk, L.L., 1987. Basification as magmatic alteration. *Sketches of physical and chemical petrology*, Issue 14, p. 39-64. Moscow, Nauka.
- Puscharovsky, Yu.M., and Neprochnov, Yu.P. [eds.],

1984. Structure of the bottom in the northwest Pacific (geophysics, magmatism, tectonics). Moscow, Nauka, 232p.
- Rudich, E.M., 1984. Expanding oceans: facts and hypotheses. Moscow, Nedra, 251p.
- Rudnik, G.V. and Matveenkov, V.V., 1978. Peculiarities of chemistry and stages of development of volcanic rocks on Markus-Nekker Rise (Pacific Ocean). *Oceanology*, v. 18, p. 489-495.
- Rudnik, G.V., Melankholina, E.N. and Kudryavtsev, D.I., 1981. Rocks of the second oceanic layer in sections of Shatsky Rise and Hess Rise. *Izvestiya USSR AS. Series of Geol.*, no. 11, p. 638-644.
- Savelyeva, G.N., 1990. Gabbro-ultrabazite formations of the ocean floor. *Magmatism and ocean tectonics (Project "Lithos")*. Moscow, Nauka, p. 264-296.
- Savelyeva, S.G., 1987. Heterogeneity of the upper mantle in composition of ophiolites ultrabasites on continents and oceans. *Solid crust of oceans (Project "Lithos")*. Moscow, Nauka, p. 105-128.
- Sergeev, K.F. and Krasny, M.L., 1984. New data of structure of marginal oceanic Hokkaido Rise. *Tikhookeanskaya Geologiya (Pacific Geology)*, no. 3, p. 100-103.
- Sergeev, K.F., Krasny, M.L., Neverov, Yu.L. and Ostapenko, V.F., 1983. Substance of crystalline basement of the Zenkevich rampart southeast flank. *Tikhookeanskaya Geologiya (Pacific Geology)*, no. 2, p. 3-8.
- Sharapov, V. N, Konovalov, Yu.I., Tretyakov, G.A., et al., 1981. Breccias of the Clarion Fault. *Pacific Geology*, no. 2, p. 115-118.
- Sharas'kin, A.Ya., Zlobin, S.K. and Kuznetsova, S.Ya., 1986. Geological features of ophiolites in the Tonga Trench. *Oceanic magmatism: evolution, geological correlation*. Moscow, p. 241-249.
- Shilo, N.A., 1984. Structure and composition of oceanic crust in the northern part of Tonga Trench. 27th Intern. Geol. Congress., Moscow, 4-14 Aug. 1984. Theses of Reports. Section 08-09. Moscow, v. 4, p. 450-451.
- Silantyev, S.A. and Zlobin, S.K., 1986. Metamorphism of rocks on the near-island slope of the northern part of Tonga Trench. *Oceanic magmatism: evolution, geological correlation*. Moscow, p. 250-262.
- Tabunov, S.M., Tomanovskaya, Yu. I. and Staritsyna, G.N., 1989. Complex of rocks on the bed of the Pacific Ocean around the Clarion and Clipperton faults. *Pacific Geology*, no. 4, p. 11-20.
- Tochilina, S.V., 1985. Biostratigraphy of Cenozoic in the northwest Pacific. Moscow, Nauka, 133p.
- Tulina, Yu.V. and Yaroshevskaya, G.A., 1976. Internal structure of the Earth crust. Moscow, Nauka, 134p.
- Vasiliev, B.I., 1982. Preliminary data on the dredged results of the Obruchev submarine rise (the Pacific Ocean). *Tikhookeanskaya Geologiya (Pacific Geology)*, no. 5, p. 96-99.
- Vasiliev, B.I., 1986. The results of dredging of some submarine mountains in Japan marginal oceanic rampart. *Tikhookeanskaya Geologiya (Pacific Geology)*, no. 5, p. 35-42.
- Vassiliev, B.I. [ed.], 1991. Geological-geophysical researches in New Hebrides region. Vladivostok. FEB RAS, 270p.
- Vassiliev, B.I., 1992. Fundamentals of regional geology of the Pacific Ocean. Vladivostok, Dalnauka, Pt. 1, 176p.
- Vasiliev, B.I. and Choi, D.R., 2001. Geology of deep-water trenches and island arcs of the Pacific. Vladivostok, Dalnauka, 189p.
- Volobuyev, M.I., Stupnikova, N.I. and Zыkov, S.I., 1987. A deep structure of the Kuril island arc according to the Pb-isotope researches. *Vestnik MGU. (The Moscow State University)*, Ser. 4, *Geology*, v. 6, p. 23-35.

#### 英語などの文献

- Anderson, R.N., Clague, D.A., Klitgord, K.D., et. al., 1975. Magnetic and petrologic variation along the Galapagos spreading center and their relation to the Galapagos melting anomaly. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, v. 86, p. 683-688.
- Andrews, J.E., Packham, G., et al., 1975. Initial Reports of DSDP, v. 30, Washinton, DC (US Gov. Printing Office).
- Bloomer, S.H. and Hawkins, J.W., 1983. Gabbroic and ultramafic rocks from the Mariana trench: an island arc ophiolite. The tectonic and geologic evolution of Southeast Asian seas and islands. Washington, DC, Pt. 2, p. 294-317.
- Bloomer, S.H. and Fisher, R.L., 1987. Petrology and geochemistry of igneous rocks from the Tonga Trench ;nonaccreting plate boundary. *Jour. Geol.*, v. 95, p. 469-495.
- Byerly, G.R., Melson, W.G. and Vogt, P.R., 1976. Rhyodacites, andesites, ferrobalt and ocean tholeiites from the New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 48, September, 2008 51 Galapagos spreading center. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, v. 30, p. 215-221.
- Byerly, G.R., 1980. The nature of differentiation trends in some volcanic rocks from the Galapagos spreading center. *Jour. Geophys. Res.*, v. 885, p. 3797-3810.
- Cann, J.R., Langseth, M.G., Honorer, I. et al., 1980. Initial Reports of. DSDP, v. 68. Washington, DC (US Gov. Printing Office).
- Choi, D.R., 1987. Continental crust under the northwestern Pacific. *Jour. Petrol. Geology*, v. 10, p. 425-440.
- Choi, D.R., 2005. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zone: a new interpretation of the Wadati-Benioff zone. *Boll. Soc. Italy, Spec. Vol. no. 5*, p. 79-118.
- Choi, D.R., Rodriguez, R. and Vasiliev, B.I., 2008. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 2: Regional structural control on the auriferous Tabar-Feni volcanic arc, Papua New Guinea. *NCGT Newsletter*, no. 47, p. 31-44.
- 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*, no. 46,

- p. 28-34.
- Choi, D.R., Vasiliev B.I., Bhat, M.I., 1992. Paleoland, crustal structure, and composition under the northwestern Pacific Ocean. In: Chatterjee, S. and Hotton, N. III (ed.), *New Concepts in Global Tectonics*, p. 179-191. Texas Tech University Press, Lubbock.
- Dick, H.J. and Bullen, T., 1984. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contrib. Miner. and Petrol.*, v. 86, p. 54-76.
- Duncan, R.A. and McDougall, I., 1976. Linear volcanism in French Polynesia. *Jour. Volcanol. and Geotherm. Res.*, v. 1, p. 89-121.
- Dymond, J., 1975. K-Ar ages of Tahiti and Morea Society Islands, and implications for the hot-spot model. *Geology*, v. 3, p. 47-52
- Frey, F.F., 1980. The origin of piroxenites and garnet piroxenites from Salt Lake Crater Oahu, Hawaii: trace element evidence. *Amer. Jour. Sci.*, v. 280A, pt 2, p. 427-449.
- Furumoto, A.S. et al., 1973. Crustal structure of the Hawaiian Archipelago, Northern Melanesia and the Central Pacific basin by seismic refraction method. *Tectonophysics*, v. 20, p. 153-164.
- Hays, J. D., et al., 1972. *Initial Reports of DSDP*, v. 9, Washington, DC (US Gov. Printing Office).
- Heezen, B.C., Matthews, J.L., Catalano, R., et al., 1973. Western Pacific guyots. *Initial Reports DSDP*, v. 20, p. 653-723.
- Hoshino, M., 1991. *The Basaltic Stage-Basic Concepts of Geological Science*. Tokai Univ. Press, Tokyo, 456p.
- Hussong et al., 1981. *Initial Reports of DSDP*, v. 62. Washington, DC (US Gov. Printing Office).
- Jackson, D.E., 1968. The character of the lower crust and the upper mantle beneath the Hawaiian Islands. *Geol. Congr., 23rd Session., Proc. Sect. 1. Upper Mantle (Geol. Proc.) Project*, p. 135-150.
- Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. *Geological Map of the World. 1 : 15,000,000 scale*. Ministry of Natural Resources of Russian Federation, RAS.
- Kroenke, L.W., Berger, W.H., Janecek, T.R., et al., 1991. *Proce. ODP, Init. Repts*, v. 130, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Krummenacher, D. et al., 1972. Potassium-argon ages from monoliths and differentiates in coarse-grained rocks from the center of the Island of Tahiti, French Polynesia. *Geol. Soc. Amer. Abstr., Programs*, v. 4, p. 186-192.
- Krummenacher, D. and Noetslin J., 1996. Ages isotopiques L-Ar de roches prélevés dans les possessions françaises du Pacifique. *Soc. Geol. France Bull., Ser. 7*, v. 8, p. 173-175.
- Morioka, M. and Kigoshi, K., 1975. Lead isotopes and age of Hawaiian lherzolite nodules. *Earth and Planet Sci. Lett.*, v. 25, p. 116-120.
- Nakayama, I., Takano, S. and Shiki, T., 1977. On the crystalline schist dredged at a point on the southeast of Hawaii. *Jour. Geol. Soc. Japan*, v. 83, p. 243.
- Ozima, M., Saito K. and Honda, M., 1977. Sea water weathering effect on K-Ar age of submarine basalts. *Geochim. Et Cosmochim. Acta*, v. 41, p. 453-461.
- Rosendahl, B.R. et al., 1975. Geological and Geophysical Studies of the Canton Trough Region. *Jour. Geophys. Res.*, v. 80, p. 2565-2574.
- Saito, K., Ozima, M., 1977. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Geochronological Studies on submarine rocks from the Western Pacific area. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, v. 33, p. 353-369.
- Smoot, N.C., 1989. The Marcus-Wake seamounts and guyots as paleo-fracture indicators and their relation to the Dutton Ridge. *Marine Geology*, v. 88, p. 117-131.
- Smoot, N.C., Choi, D.R. and Bhat, M.I., 2001. *Marine Geomorphology*. Xlibris Corporation ([www.Xlibris.com](http://www.Xlibris.com)). 310p.
- Sykes, L., Oliver, J. and Hacks, B., 1970. Earthquakes and tectonics. *The Sea*, v. 4, n. 4, pt. 1.
- Thierde, J., Vallier, T.L., et al., 1981. *Initial Reports of DSDP*, v. 62. Washington, DC (US Gov. Printing Office).
- Udintzev, G.B. [ed.], 2003. *Internaitonal geological-Geophysical Atlas of the Pacific Ocean*. Scale, 1:10,000,000. Size 70 x 100 cm. Moscow-St. Ptersburg, Russia, 172p. International Oceanographic Commission (in English and Russian).
- Vasiliev, B.I. and Sovetnikova, L.N., 2008. Geological development of the northwestern Pacific. *NCGT Newsletter*, no. 46, p. 20-27.
- Vasiliev, B. I. and Yano, T., 2007. Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. *NCGT Newsletter*, no. 43, p. 3-17.
- Wintere, E.L., Ewing, J.I., et al., 1973. *Initial Reports of DSDP*, v. 17, Washington, DC (US Gov. Printing Office).
- Woollard, G.P., 1975. The interrelationships of crustal and upper mantle parameter values in the Pacific. *Jour. Geophys. Res.*, v. 13, p. 87.

太平洋の地質と発達史  
その4. 地震波トモグラフィの地質学的解釈

**GEOLOGY AND TECTONIC DEVELOPMENT OF THE PACIFIC OCEAN  
PART 4. GEOLOGICAL INTERPRETATION OF SEISMIC TOMOGRAPHY**

**Dong R. CHOI**

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

**Boris I. VASILIEV**

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

(久保田 喜裕 [訳])

**要旨**：太平洋と周辺地域の入手可能な地震波トモグラフィ画像は、低速度異常マンテルの分布域で、3つの顕著な傾向を示す：1) 現在の環太平洋変動帯は、通常、浅部 (330km 以上) に低速度異常マンテルがあるが、その直下にはさらに高速度のマンテルを伴っている。さらに、2) 西太平洋の巨大堆積盆地 (そこには中生代の堆積盆地が発達している) は、240km 以深の低速度マンテルとその上位の高速度マンテルで特徴づけられる。一方、南アフリカを除くと、3) 現在の大陸と東太平洋はマンテル底へ達するほどの高速度異常マンテルからなりたっている。

西太平洋における低速度マンテル (330km 以深) と中生代堆積盆地の分布のよい相関は、低速度マンテルが太平洋の巨大堆積盆地の発生に成因的に関係していることを示す。

この低速度マンテルの上位にある浅部高速度マンテル (80-240km) の形成は、浅部高速度マンテルがジュラ紀～白亜紀のガスや流体を地表へ運ぶ作用を伴った沈降運動に関係していることを意味する (玄武岩質マグマ作用と、おそらく現在の海水の大部分の生成)。

これらの事実は、地震波トモグラフィは再解釈されるべきことを示す：相対速度の変化は、温度変化よりむしろ化学的な枯渇程度に関係するようである。太平洋の巨大堆積盆地は、三畳紀～ジュラ紀の西太平洋の深部変動帯における (低速度マンテルの形成に表れた) コアから上位のマンテルへ向かう大規模エネルギー流 (a massive energy surge) の結果と考えられる。

**キーワード**：地震波トモグラフィ、太平洋の地質とテクトニクス、西太平洋深部変動帯、枯渇マンテル、低・高速度異常マンテル

はじめに

地震波トモグラフィ・データの解釈は、プレートテクトニクスモデルに無批判の地球物理学者らによってずっと独占されてきた。それには、不幸にも、地球表層で直接観察される地質学的情報が無視されてきた。結果として、混沌とした特別なマンテル構造モデル—いくつか挙げれば、滞留スラブ (Fukao et al., 2001) やサブダクションの墓場、はるか昔のサブダクションスラブのかけらのようなモデル、等々に至った。

ここに、太平洋に関する連載論文の第4部として、私たちは地震波トモグラフィ・データの地質学的解釈を述べ、現在の太平洋下のマンテル構造を議論する。この命題に対する私たちの研究は、未だ初期段階のものである。それゆえ、地質/地質構造と地震波トモグラフィ、および地球の深部構造に対する解釈との間にみられる主な関係性の記載に専念する。いっそう包括的な記述は、将来の

論文で述べられよう。

西太平洋深部変動帯

地震波トモグラフィ・データを検証する前に、太平洋の巨大堆積盆地の主要な地質と構造運動の様式を簡単に記しておく必要がある。図1は、Choi and Vasiliev (2008) に編集された太平洋と太平洋周辺の大陸に関する最新の地質-構造図である。この図は、中生代堆積盆地の分布と主要な深部構造帯が直接関係していることを示す。中生代堆積盆地は、地球規模の地殻凹地の主要方向に沿って分布する。その北方延長は、シベリア大陸や南東太平洋東方の地殻凹部へつながる。これは沈降した海山の分布方向に表現される (図2)。我々はここに、深部構造帯によって境された太平洋西縁部を含むこの広い西太平洋の地殻凹地を「西太平洋深部変動帯」と名付ける。

この図には、多くのより重要な造構的・地質学的特徴が

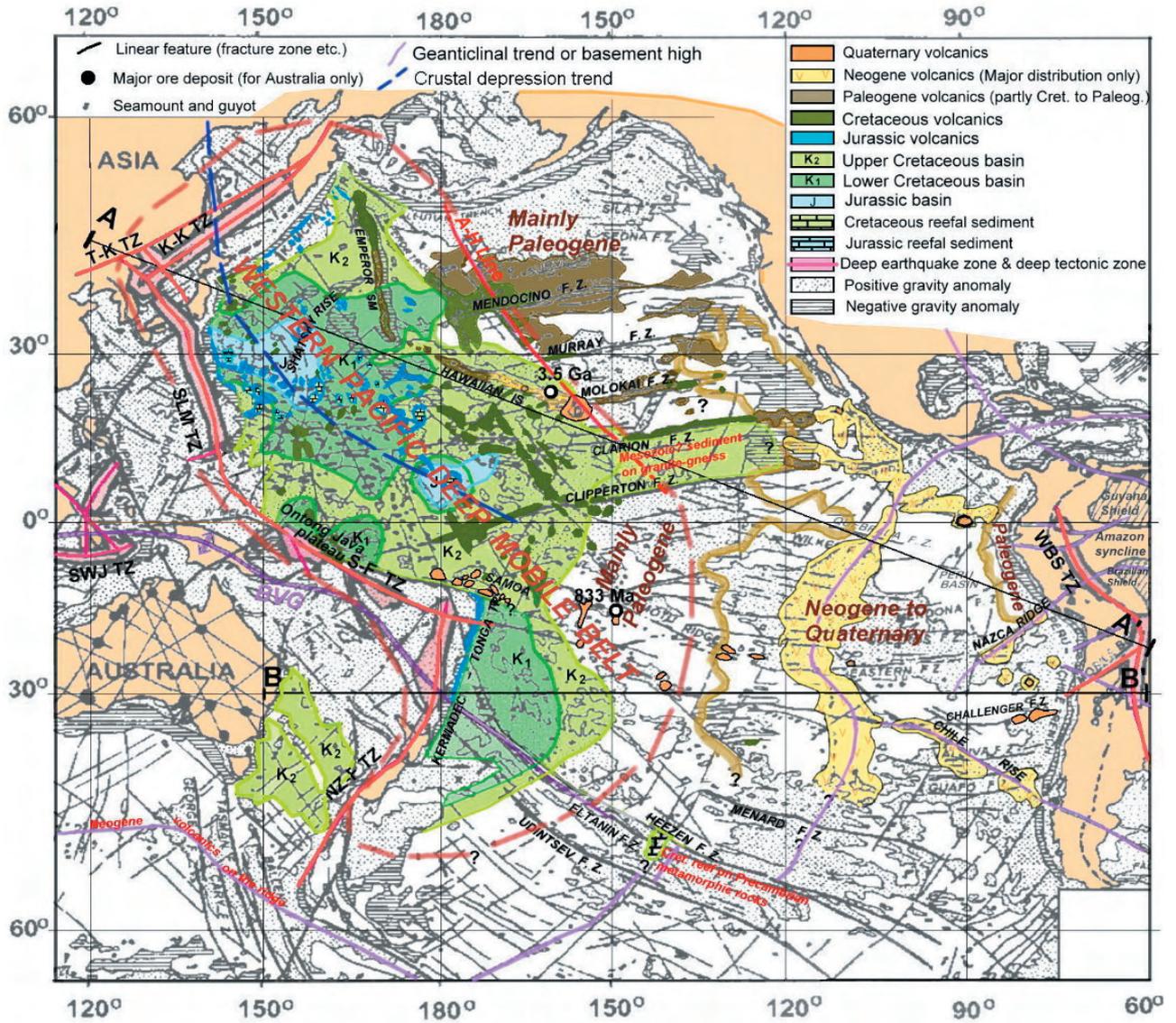


図1 西太平洋深部変動帯. Tubanov et al. (1989), Jatskevich et al (2000), Choi (2000), Udintsev (2003), Vasiliev and Yano (2007), Choi and Vasiliev (2008) and Vasiliev and Choi (2008). より編集. A-A' 断面は図4, B-B' 断面は図5 参照. いくつかの新しい情報を追加. 略字: A-H Line = Aleutian-Hawaiian Islands Line (深部断裂帯, 新称). BVG = Borneo-Vanuatu Geanticline (Choi, 2007). NZ-F TZ = New Zealand- Fiji Tectonic Zone, S-F TZ = Solomon-Fiji Tectonic Zone, SLM TZ = Susongchon-Lake Biwa-Mariana Islands Tectonic Zone, K-K TZ = Korea-Kamchatka Tectonic Zone, T-K TZ = TanLu-Kamchatka Tectonic Zone, WBS TZ = Western Brazilian Tectonic Zone.

示されている。もっとも際だった特徴は次のとおりである：1) [原生代における] 大陸の主要な構造方向は海洋底まで連続する。2) 堆積盆地と火成活動は時間とともに東方へ漸進し、3) カリブ海の中央海嶺へ連続する (Choi et al., 2008)。4) ハワイ島の溶岩中のゼノリスは3.5Ga, タヒチ島では833Ma の年代を示す。5) クラリオンおよびクリッパートン断裂帯にはさまれた海域では、花崗片麻岩の基盤を覆って中生界が発達する (Tubanov et al., 1989)。NCGT 本号の Vasiliev and Choi (2008) 論文には、太平洋の構成と構造が述べられる。それには、"海洋地殻" の実際は、変質 / 変成した大陸地殻で構成されていることが示され、大陸縁での沈み込みと中央海嶺での拡大は、ともに存在しないという。これらの事実は、我々の論文ですでに指摘され多く議論してきたことであり (例えば, Choi, 2005; Vasiliev and Choi,

2008), この研究地域へのプレートテクトニクスの適用は断固として否定される。

地震波トモグラフィと地質・構造運動との比較

本研究は、主に、図3に示される Kawakami et al. (1994) によるトモグラフィの包括的な研究に基づいている。それは、図4・図5の太平洋を横断する2つのトモグラフィ断面や、図6の低速度異常の分布図を描くのが常だった。多くのトモグラフィ断面は、Romanowicz (2003) により引用された他の断面のほか、Karason and van der Hilst (2001) や、太平洋縁の横断断面は Fukao et al. (2005) により作成された。

トモグラフィ画像 (図4) と断面 (図4, 5) が添えら

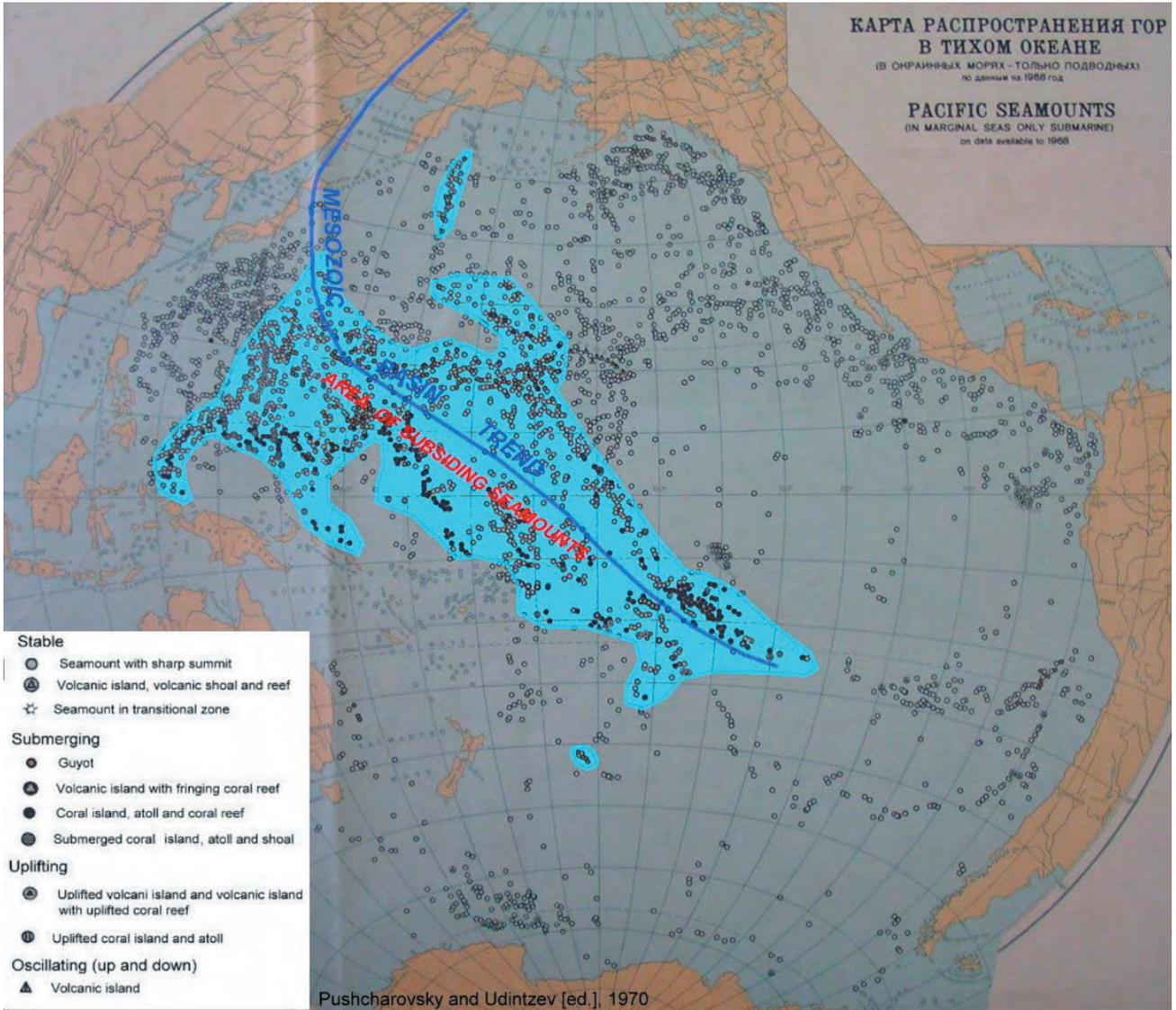


図2 Pushcharovsky and Udintzev (1970) による沈水海山とギョヨー (青色地域) の分布. 中生代堆積盆地の方向が重ねられている.

れた地質-造構データ (図1) の比較は、マンツルの構造と太平洋の発達史を理解するうえで、非常に興味ある手がかりを与えてくれる:

- 1) 大陸は、一般に、深部に達する高速度異常マンツルで構成される。大陸の根は、コア/マンツル境界に達する。唯一の例外は、990km 以深の下部マンツルが低速度異常を示すアフリカ南部である。
- 2) 低速度マンツルが支配的な北西太平洋底には、中生界が発達する。
- 3) 地質学的・地球物理学的に特徴づけられた西太平洋の深部構造帯は、上述の高速度異常と低速度異常のメガブロック間の境界に位置している。
- 4) 東太平洋は、一般に、深部へ達する高速度異常マンツルによって特徴づけられる。この地域には、古第三紀~新第三紀堆積盆地が発達する。
- 5) 太平洋西部の深部には、北半球と南半球との間で、深部マンツル (1,700km 以深) の速度構造に著しい差異がある。北半球の深部マンツルは高速度で、南半球では低速度である。この傾向はアフリカの深部マ

ンツルと同じである。

- 6) 中央太平洋北部のマンツル深部 (1,700km 以深) では、アリューシャンからハワイ諸島の南東へ走る顕著な NW-SE 方向の線状の高速度構造 (アリューシャン-ハワイ諸島線、もしくは A-H 線、新称) がみられる。この線状帯は地表に現れた深部断裂帯を意味する、と我々は考えている。その地表部には、A-H 線に沿う海洋底にいくつかの大規模断裂帯があり (白亜紀と古第三紀の火山物質を伴う)、この地帯は西太平洋深部変動帯 (図1) の東縁に一致する。
- 7) 環太平洋変動帯の浅部 (350km 以浅) は高速マンツルで構成されるが、その下部も高速マンツルである。

もうひとつの地質/構造図 (図1) を見ると、トモグラフィ断面 (図4・図5) は次の二次的方向を示す:

- 1) 北半球 (A-A' 断面) において、中生代堆積盆地と浅部の高速マンツルはみごとに一致している: 高速マンツルはジュラ紀堆積盆地の下 (深度 330km まで) で厚く、白亜紀堆積盆地下 (深度 240km 以浅) で薄い。
- 2) 同様の方向は、南半球 (B-B' 断面) でも観察される。

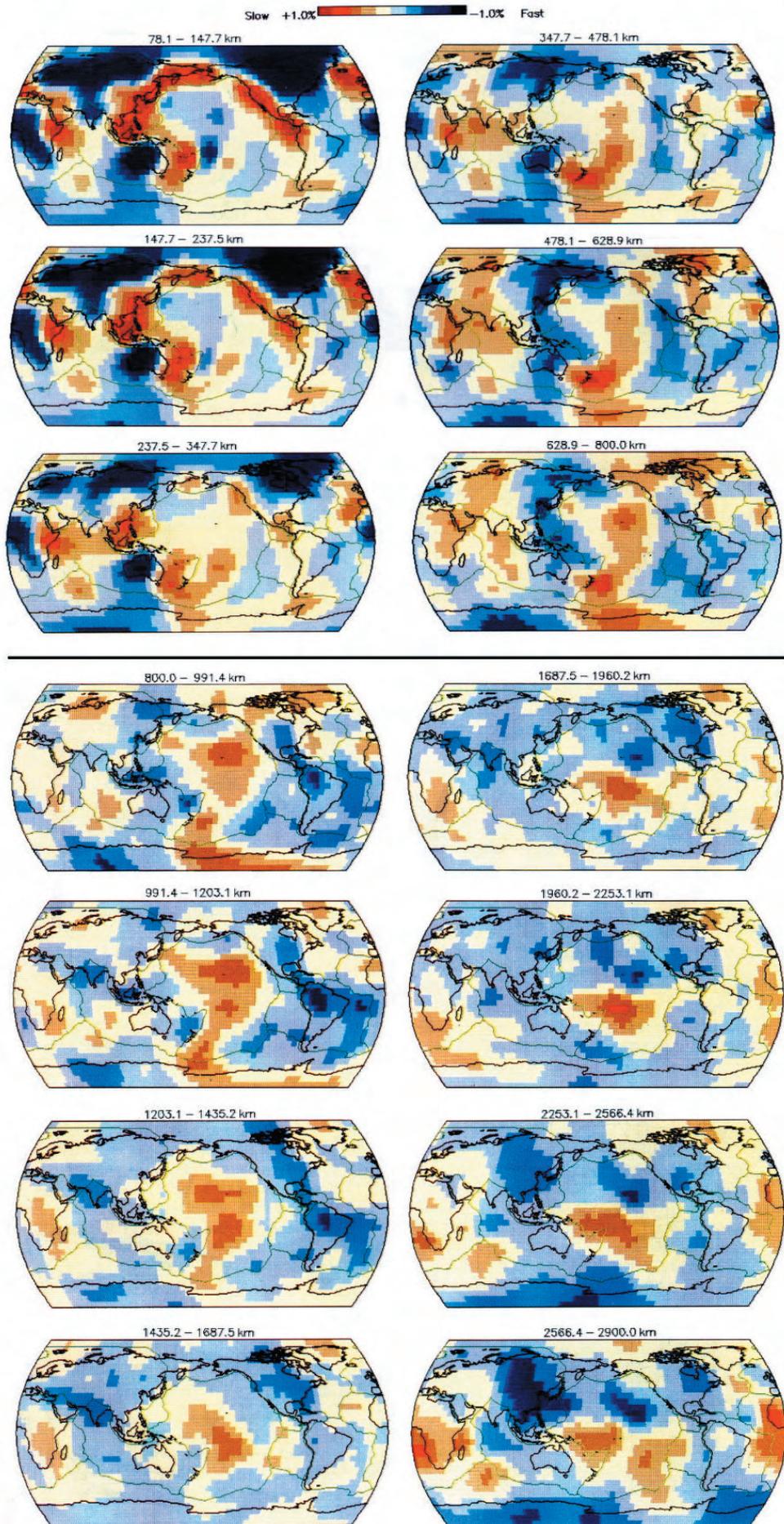


図3 Kawakami et al. (1994) のマンタルのトモグラフィスライス. 日本地質学会の許可により引用.

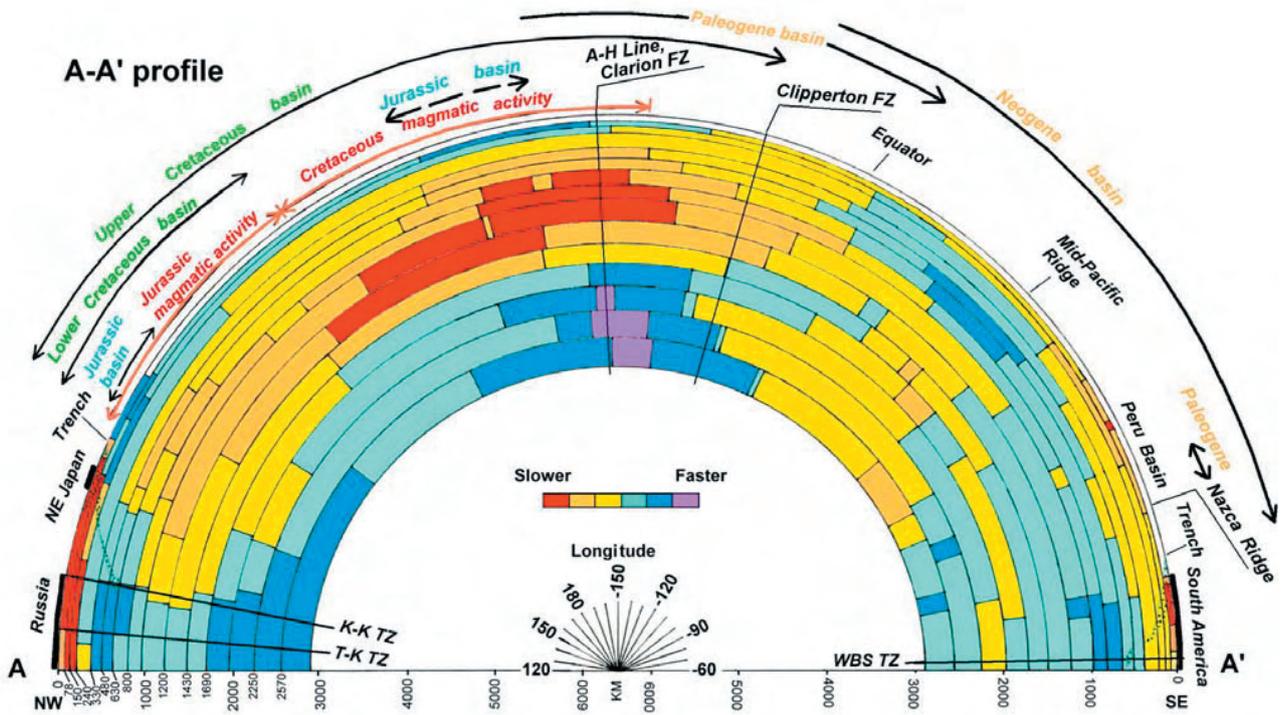


図4 A-A' 線に沿うトモグラフィ断面, 図3より編集(位置は図1参照). 注意:1) 大規模深部造構帯は低速度マントルで特徴づけられる, 2) ジュラ紀と白亜紀の堆積盆地は, 浅部 (240 ~ 330km) の高速度マントルから構成されるが, より深部 (480 ~ 1700km) では低速度マントルになり, さらに最下部では高速度マントルによって再び置き換わっている. 最も高速のマントルは, Clarion 断裂帯の底部を占めていることにも注意. この地域は, アリューシャン-ハワイ諸島 (A-H) 線が Clarion 断裂帯に会合する地域である.

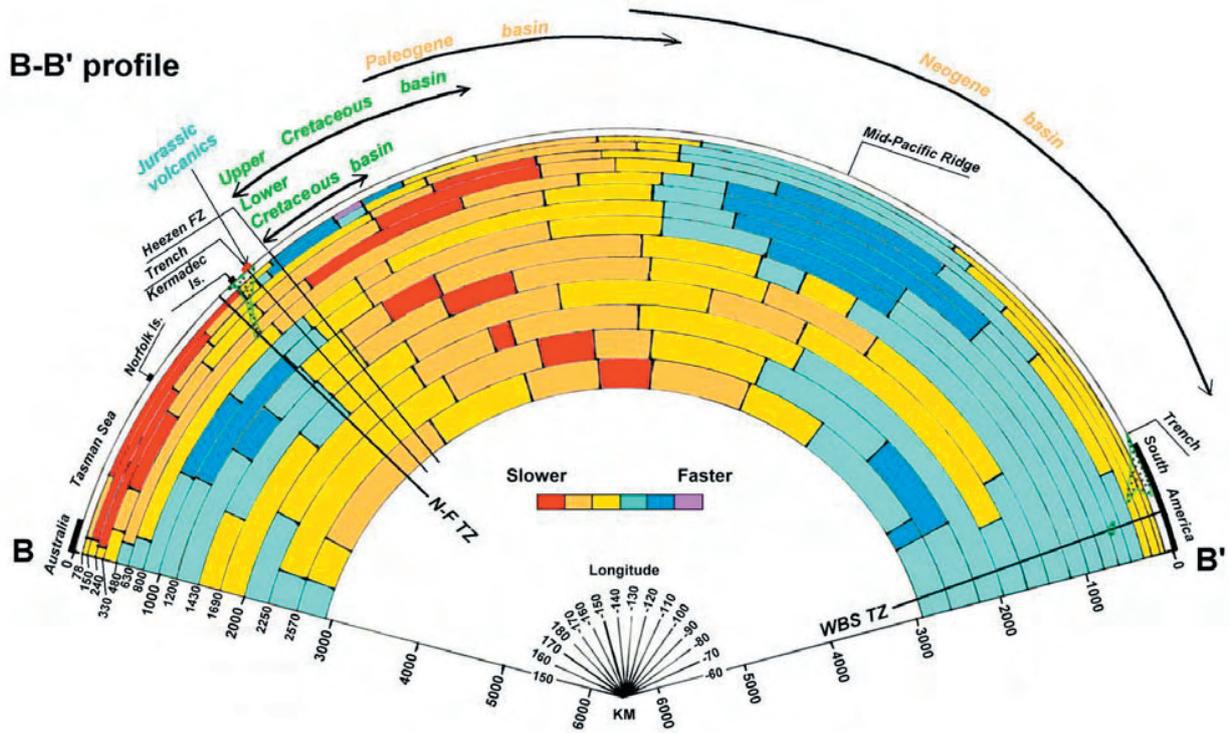


図5 B-B' 線に沿うトモグラフィ断面, 図3より編集. ここで再び, 高速度帯は, 浅部で白亜紀堆積盆地の下方になるが, より深部全域は代わって低速度マントルで構成される.

**DISTRIBUTION OF LOW-VELOCITY ANOMALY ZONES IN RELATION TO DEPTH**

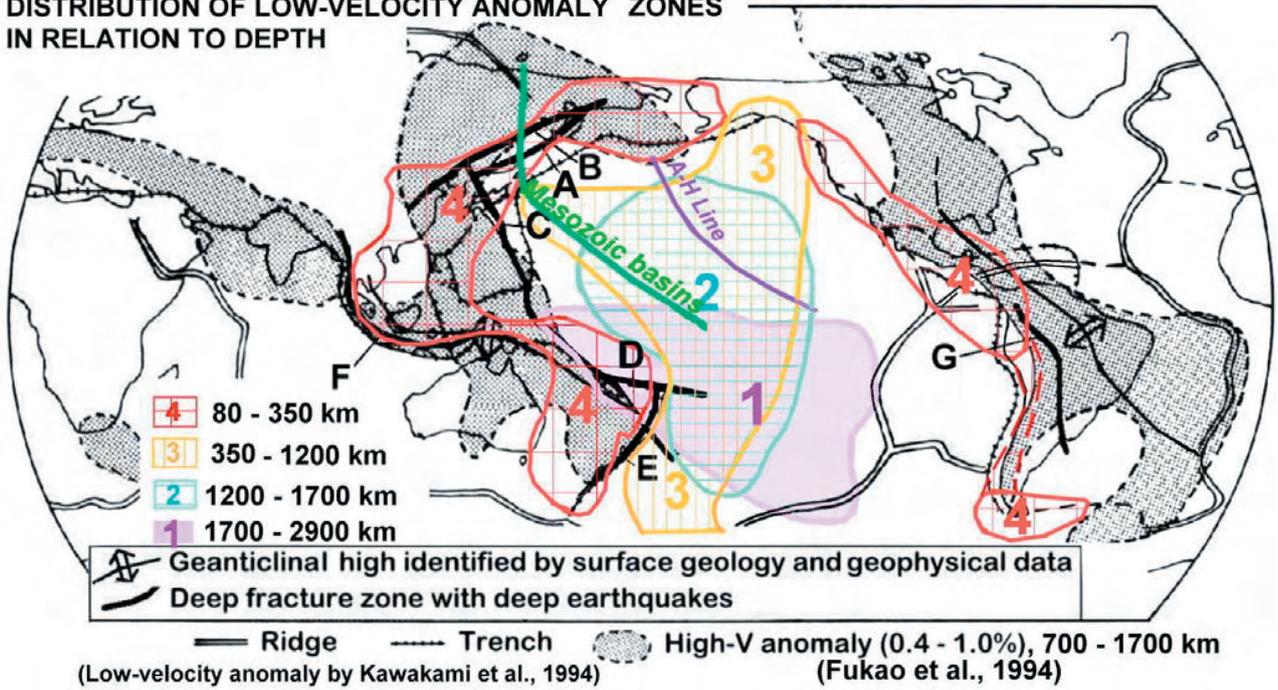


図6 さまざまな深度の低速度マンテルの分布. 主に Kawakami et al. (1994) のトモグラフィデータより編集. 高速マンテルの分布を示す基本的な図は Fukao et al. (1994) による. 大規模な深部構造線は, Choi (2005) による. すべての深部構造帯は高速異常マンテルと低速異常マンテルのブロック境界に位置している. 高速マンテルブロックは最下部マンテル (2900km) まで根を下ろしているが, それは Fukao et al. の主張 (1900km) より深い. A-H Line = Aleutian-Hawaiian Islands Line, A = Korea-Kamchatka Tectonic Zone, B = TanLu-Kamchatka Tectonic Zone, C = Susongchon-Lake Biwa-Mariana Islands Tectonic Zone, D = Solomon-Fiji Tectonic Zone, E = New Zealand-Fiji Tectonic Zone, F = Shan boundary-Java Sea-West Malaysia-Java Sea Tectonic Zone, G = Western Brazilian Shield Tectonic Zone.

浅部高速マンテル (深度 240km 以浅) は, 下部白亜系堆積盆地に対応する.

3) A-A' 断面では, 低速の中部マンテル下に, 高速の下部マンテルがある. とくに興味深いことは, もっとも高速度地帯が Clarion 断裂帯の底部に位置することであり, これは A-H 線との会合部にあたる. このことは, 断裂帯と高速異常マンテルとの間に密接な関係があることを示す. また, これらの事実は, Clarion 断裂帯が, 下部および中部マンテル間の顕著な速度差の一因となっていることを意味する. 下部マンテルはエネルギーを失った後, 高速になり, 中部マンテルはエネルギーを得ることによって低速になる. この結論は, この断裂帯が下部マンテルのエネルギーを中部へ移送する道管の役割を果たしたことを意味する.

図6は, 太平洋下のさまざまな深度における低速度異常マンテルの分布を簡略化して示す. 環太平洋変動帯は, 上述のとおり, 通常 350km 以浅の低速度異常マンテルで構成されている. これは, 低速マンテルにエネルギーが蓄積されていることを示唆し, 造構運動やマグマ作用が現在その場所で生ずる駆動力になっている. しかし, 興味深いことに, その地域のさらに深部は高速度マンテルから構成されている. 我々は, ジュラ紀~白亜紀において, 西太平洋地域がマグマ作用と造構運動の後, 沈降場に転換したことを知っている. これは, 時間とともに海洋地域が拡大したことを示唆すると思われる. 環太平洋地域は, 遠い将来, 西太平洋と同じ運命をたどるものか

もしれない.

ほかでも述べたように, 西太平洋下の低速~中速のマンテルは, 中生代堆積盆地の分布に完全に一致する. 堆積盆地の発達には, シベリア大陸から南東太平洋まで, 地球規模の地殻沈降に規制されている. これは, 東アジア大陸における広域的な重力データや沈水海山の分布方向 (図2), さらに, 古地理データ (図7) によって確認される (Choi and Vasiliev, 2008).

マンテル内のほぼ鉛直か傾斜した狭長で直線的な高速度異常帯の多くが, しばしば地震活動の活発な大陸縁 (和達-ベニオフ帯) において, 深部構造帯や逆断層を含む (地質・地球史物理データで検証された) 断裂帯に一致することについて, 我々は既刊の論文 (Choi, 2005; Choi et al., 2008) で議論してきた. 太平洋の大陸縁に描かれた傾斜した高速異常帯は, 太平洋の巨大盆地全域における沈降, あるいはマンテルのドーム構造の形成に関連して形成された大規模断裂帯と解釈するのが最も妥当である (カリブ海のように, Choi et al., 2008 参照). 最速マンテルと断裂帯との関係は, Clarion 断裂帯とアリューシャン-ハワイ諸島構造線との会合部に最もよく描かれている.

**議論と結論**

前項で述べたように, 地質・造構データとトモグラフィ

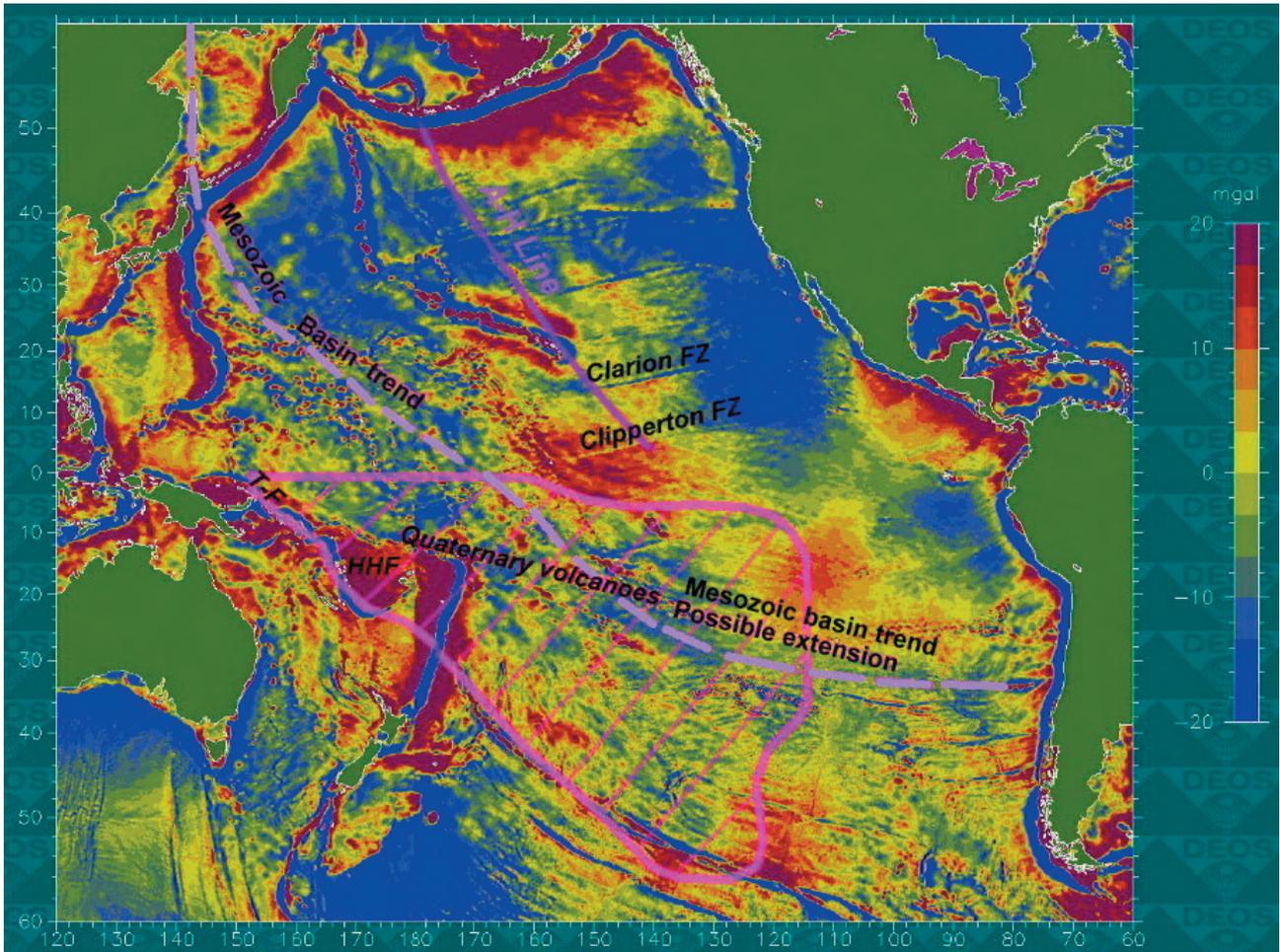


図7 南西太平洋における深部低速マントル (1,700km 以深) の分布を示す Sandwell 重力異常図. 中生代堆積盆地の方向とアリューシャン-ハワイ (A-H) 線 (深部断裂帯) が重ねられている. A-H 線は 1700km 以下の高速度異常によって特徴づけられる. それは Clarion 断裂帯の会合部で最も高速である (図3および図4参照).  
T-F = Tabar-Feni Arc; HHF = High heat flow zone.

画像の比較により、二畳紀～三畳紀に西太平洋深部変動帯の直下で発生したコアから上位マントルへの大規模エネルギー流によって、太平洋が形成されたことが示唆される。最後に、低速異常マントルは上部マントルに達し、その地域を隆起させ、上位の地殻の組成を変化させ、造構運動と玄武岩の活動、およびおそらく海水の大部分を生成し、エネルギー (液体とガス) が減少することになった。ベロウソフ (1975) はこの過程を“玄武岩化作用”または“大洋化作用”と呼んだ。ジュラ紀～白亜紀にはじまるこの劇的な構造運動とマグマ活動によって、この地域は、西太平洋から徐々に東太平洋へ広がるように沈降へ転じた。

西太平洋の浅部にひろがる高速異常マントルは、エネルギーを消費してきたため、今日みられるように化学的に枯渇した状態になったと考えられる。これは、大規模断裂帯に沿う直線的高速帯に支持される。それゆえ、地震波トモグラフィにおける速度変化は、温度変化というよりむしろ、化学的枯渇 (あるいはエネルギー) レベルの変化を示していると解釈される。

北半球と南半球間では、最も低速のマントル (1700km 以

深) での速度対照性が際だっている。南半球と南アフリカ直下の大きな低速度体の造構論的解釈は、詳細に検討されねばならない。それらの北方境界が赤道に一致することは、地球自転の影響を示唆する。西太平洋の地質データは、低速異常は比較的新しい (白亜紀) ことを意味するように思える: 1) Samoa-Tuamotu 海嶺方向に沿う第四紀火山は、この深部低速マントルの中間に位置する (図1), 2) きわめて高温の熱流が、その西縁を占める北部フィジー堆積盆地 (Tuzov and Lipina, 1988) で生じている, 3) 金にとむ Tabar-Feni 弧 (リヒールに活火山-地熱地域が確認される: Choi et al., 2008) は、低速度体の北縁に当たる (図7)。

太平洋発達史の新しいシナリオは、地質学的記録に基づかなければならない。二畳紀～ジュラ紀におけるコアから地球表層への大きなエネルギー放出が、造構-火成活動事変を伴う劇的な気候変化の契機になったであろう。

最後に、地球の深部構造を正しく理解するには、いかなる地球物理データの解釈も、地球表層で観察された地質情報に依拠すべきことを強調しておきたい。地質研究者と地球物理研究者は協力して検討しなければならない。

文 献

- Belousov, V.V., 1975. Principles of geotectonics. Nedra, Moscow, 262p.
- 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., 2007. Borneo-Vanuatu Geanticline and the tectonic framework of Southeast Asia and the Indian Ocean. *NCGT Newsletter*, no. 42, p. 18-25.
- Choi, D.R. and Vasiliev, B.I., 2008. 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., Rodriguez, R. and Vasiliev, B.I., 2008. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 2. Regional structural control on the auriferous Tabar-Feni volcanic arc, Papua New Guinea. *NCGT Newsletter*, no. 47, p. 31-44.
- Fukao, Y., Widiyantoro, S. and Obayashi, M., 2001. Stagnant slabs in the upper and lower mantle transition region. *Review of Geophysics*, v. 39, p. 291-323.
- Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. Geological Map of the World. 1:15,000,000. Ministry of Natural Resources of Russian Federation, RAS.
- Karason, H. and van der Hilst, R.R., 2001. Improving global tomography models of P-wave speed I; incorporation of differential travel times for refracted and diffracted core phases (PKP,Pdiff). *Jour. Geophys. Res.*, v. 106, p. 6569-6587.
- 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.
- Pushcharovskiy, 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.
- Romanowicz, B., 2003. Global mantle tomography: progress status in the past 10 years. *Annu. Rev. Earth & Planet. Sci.*, v. 31, p. 303-328.
- Tabunov, S.M., Tomanovskaya, Yu.I. and Staritsyna, G.N., 1989. Rock complex of the Pacific Ocean bed in the areas of Clarion and Clipperton faults. *Pacific Geology*, v. 4, p. 11-20.
- Tuevov, I.K. and Lipina, E.N., 1988. Heat flow map of the Pacific Ocean and the adjacent continents. *Inst. Tectonics and Geophysics, Far East ranch of the USSR Academy of Sciences, Khabarovsk*. 1:10,000,000 scale with an explanatory note by Tuevov, I.K., 33p.
- Udintsev, G.B. [ed.], 2003. International Geological-Geophysical Atlas of the Pacific Ocean. Scale, 1:10,000,000. Size, 70 x 100 cm. Moscow-St. Petersburg, Russia. 172p. International Oceanographic Commission (in English and Russian).
- Vasiliev, B.I. and Choi, D.R., 2008. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 3: structure and composition of the basement. *NCGT Newsletter*, no. 48, p. 24-54.
- Vasiliev, B. I. and Yano, T., 2007. Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. *NCGT Newsletter*, no. 43, p. 3-17.

深部断層系としての地震密集帯

SEISMIC FOCAL ZONE AS A SYSTEM OF DEEP FAULTS

Roman Z. TARAKANOV

Institute of Marine Geology & Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences  
 Nauki Street, 1b Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia  
 Tel: +7 4242 796231, e-mail: seismol@imgg.ru

(角田 史雄・窪田 安打 [訳])

**要 旨:** 地震密集帯 (以下, 密集帯; 訳者) の性質に関する新しい考え方は, すでによく知られた経験的なデータ (密集帯の傾斜角と, マントルに達する高速帯のつながり具合) に基づくものである. これに対して差動説は, 圧縮力と引張力がグローバルに見て, 基本媒体への作用のしかたと, 密集帯そのものの内部における作用とに基づくことを基本姿勢としている. ほぼ水平な圧縮力と, ほぼ鉛直の引張力とをベースにすべきであるのは, 基本媒体と密集帯の両方とも, 結局のところは, 同じ応力場におかれているからである (Hirt & Lome, 1972). こうした条件の下での密集帯は最大接線応力場に現れ, その節面の一つは, 水平面に対して 45 度になっているはずである. この仮定が正しいかどうかは, 基本媒体と密集帯における複雑性と単純性 (Sadovsky et al., 1983) とに関わっている.

密集帯と水平面とのなす角度の頻度分布は, 環太平洋地震帯内での密集帯についての統計的データに基づいてつくられる. その場合, 最大の頻度分布は, 事実上, 理論値の  $a = 43^\circ - 45^\circ$  (図 1) に一致するはずである. これらの値については, すでに別報で報告した (Tarakanov, 2005a).

**キーワード:** 密集帯, 深部断層, 差動モデル, 節面

## 1. まえがき

密集帯は、震源・マグマ生成場・鉱床生成区などの分布と同じように、島弧系の成り立ちと発達過程を決定づけた大陸-海洋遷移帯における活構造である。専門が違うと、注目するところは同じとはいえない (Tarakanov and Kim, 1979 ; Gribidenko, 1992 ; Balakina, 1995 ; Choi, 2003 & 2004)。

密集帯の中にある深部断層は、遷移帯も含んで、地球の造構過程に大きな役割を果たしている。

深部断層系としての密集帯を考案したのは、もっとも古いのが1927年 (Wadati, 1927) であり、次が1936年である (Visser, 1936)。Benioff (1954) によって、このアイデアが支持されたのは1954年だったが、以来、彼の名前で呼ばれるようになった。現著者は、同じ考えである和達のものにしたがった (Tarakanov and Bobkov, 2001)。こうした研究の全てが、深さ650km以深には及んでいないことは注目しておくべきである (地震発生が明らかになるゾーンより前)。

地殻を切り、マントルまで達するような大きい差動量をもつ超深部断層を、はじめて提示したのはPeive (1945)であった。到達深度が深くなれば、超深部断層が、鉱床やマグマの産出と関わってくる。これらの断層は、非常に幅広く長大な時間をかけてつくられたのだろう。こうした超深部断層は役に立つ大切なもので、かつ、きわめて長い活動期間をもっていることが、最初に指摘されたのはShatsky (1946) より後のことだった。こうした考え方がひろまり、超深部断層は、地表の断層との関係において重要な役割を担っていると考えられた。

天体としての地球は、多くの銀河系宇宙の要因と絶え間ない関係をもちつつ動いている。ここでは、この関係を「太陽系従属関係」と呼んでおこう。それぞれの惑星と地球とは、それぞれの軌道に沿って、太陽の周りを回っている。その太陽も、銀河系の中心を軸とする複雑な銀河系の軌道上を回転している。こうした位置づけから、地球の磁力-重力自体にかかってくる銀河系からの影響はきわめて小さいものといえる。そのような場合、地球は膨張状態になる (「補遺」参照)。そうした地球の膨張状態の中では、深部から地表へ向かう可動的なマグマの動きによって断層が形成される。この場合、地震密集地帯の活動系を含めて、地球の地域によって異なる造構運動がはじまる。マントル物質や可動的溶融体中では、最大接線応力方向への密集帯 (=地球膨張という条件の下で) がたやすく形成される。

それと同期間に、地震密集帯は環太平洋全域に、地震の節面に同調しつつ、「火の輪」のように現れる。アセスノスフェア内では、異なる物性をもった多重層が形成されて密度分化が生じ、それぞれで異なった物理-化学作用が発生する (Tarakanov and Levij, 1967)。それによって、

地震密集帯がつくられ、大量のマグマが産出される。残りのマグマ溶融体は、地殻の下のマグマ溜まりに蓄積され、その結果、沈降が起き、縁海が形成される。

銀河空間の他の場所で地球が圧縮され始めると、その磁力-重力状態は逆になる。つまり、その造構作用は遅く、かつ、弱くなる。つぎの造構作用の変化までには約2億年かかる。造構作用の転換期は、それらの中間的な作用になる。

こうした考え方は新しいものではない。脈動説という考えは、1978年にMilanovskyが初めて提唱し、後に彼の賛同者にも支持された (Galanin, 2001)。

筆者らのオリジナリティは、地震密集帯の造構的性質を物理的に明らかにした点にある。つまり、最大接線応力場における発震機構 (面解析) 理論における節面の一つをアナログ解析した点にある。それは、遷移帯における造構作用を起こす「エネルギーの流れ」を解析した点にある。

密集帯の角度についての統計的な解析は、環太平洋の全域にわたって行われた。その結果、それらの角度は引力の作用方向と $43^{\circ} \sim 45^{\circ}$ をなすことが分かった (図1)。

筆者自身の自問自答は、「密集帯ごとに、水平面なす角度が異なるのは何故か?」ということである。これに関しては、この違いは、地質的造構史が異なっていることに因るようである。Vlasov (1979 & 1981) の特別寄稿は、このことに専念して議論がなされている。

多くのトモグラフィ画像によると、こうした高速度帯が深度1,000~1,200kmの下部マントルにたっしていて、かつ、それらはほぼ直線状になっている (Suetsugu, 1989 ; Yamanaka et al., 1992 ; Gorbato et al., 2000) (図3a & 3b)。

## 2. 発震機構による差動説に基づいたアナログ解析

密集帯の性質に関する多くの研究者による解析結果から、筆者は、もっと簡単で論理的な、数式で説明できる解析を試みた。これを解くために、差動論 (Hirt and Lome, 1972) による次のような仮定に基づくこととした: つまり、ほぼ水平な圧縮力とほぼ鉛直の引張力がある系に働くと、最大接線応力は作用力と $45^{\circ}$ の角度で交わる2つの面内に発生する。地震密集帯は、おそらく、これらのうちのいずれかである。超深部断層系 (Gorbato et al., 2000) で発現する密集帯は、トモグラフィ画像 (Suetsugu, 1989 ; Yamanaka et al., 1992) に対応していると考えられる。また、それら2つの面構造についてはLomtev and Patrikeev (1985) とTarakanov (2005a) に示された事実によって検証されたと考える。

密集帯の解析に当たっては、これらの面の節面に注目した。そして、試料破壊実験を含む研究で、接線応力がこ

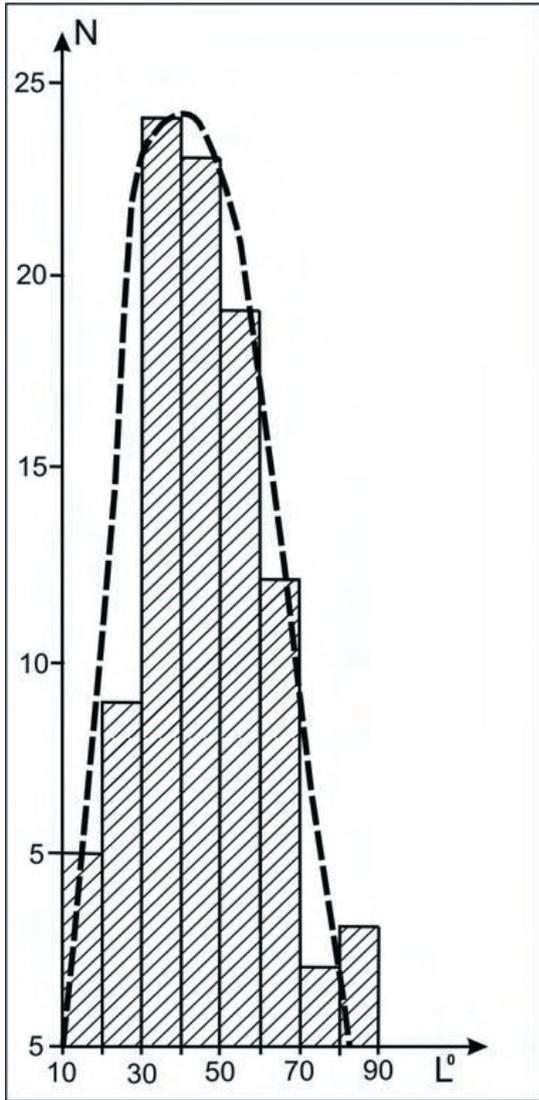


図1 環太平洋の地震帯における地震密集帯の傾斜の度数分布図 (Tarakanov, 2005b)

れらと同一面に集中していき、破壊にいたったことを確認した。

基本媒体の代わりに、地震密集帯のあらゆる部分を考えてみよう。図4は、縁海、島弧、海溝、主密集帯と副次的な密集帯、アセノスフェアの岩層、これらの層が主密集帯と交差する地域などと同じような遷移帯の一部を示している。

また、図4で、2つ目の密集帯が、海洋の下で傾いていることも示されている。概して、この画像はあまりシャープとは言えず、そんなに深くないところ(地下約120km)を占めているにすぎない。こうした2つ目の副次的な密集帯については、多くの研究者がたくさんの論文を書いている (Kropotkin, 1978 ; Lomtev and Patrikeev, 1985 ; Boldyrev, 2002)。これは、媒体と密集帯との間にある複雑性と単純性とが数多く存在するためであろう。多くのデータで、密集帯の解析がされたが (Rudik and Poplavskaya, 1987 & 1988 ; Balakihina, 2002 ; Katsumata et al., 2002), その結果、焦線帯の動きのパターン—たとえば、節面の角度、傾斜や走向などに関する要素などが数多く提案された。震源断層面のズレ方はさまざまで、移動、断層、上方への衝上、押し被せ断層などが想定される。

さまざまな角度をもつ節面の地震の震源は、複雑な応力システムの中で形成される。ほぼ水平な圧縮力やほぼ鉛直の引張力とともに、大きな重力性の熱力学的な弾性応力が遷移帯と密集帯に作用している。これに加えて、顕著な密度の不均質性が観測されている (Gordienko et al., 1992)。上述のことから分かるように、密集帯において、地震だけを切り離して、上記のような仮説を証明しようとするのは適当ではない。たくさんの統計的なデータから、ここでのテーマに適合するものを選んで使わなければならない。

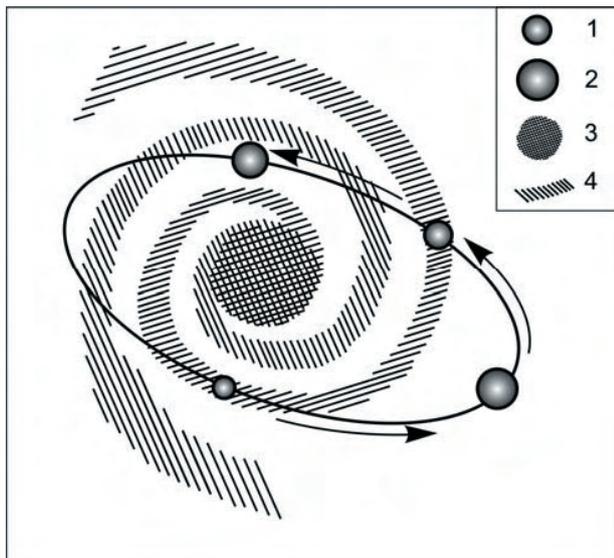


図2 銀河空間における軌道での地球の体積の変化  
1—地球への圧縮； 2—地球への引張； 3—太陽； 4—銀河中心を回る太陽の周回軌道に現れる「銀河の軸」。簡単にするため、太陽が銀河の中心にあるときは、太陽の軌道は銀河中心を周回するとして、「銀河の軸」を螺旋状にしなかった。

いかなる地域の断層のネットワーク探しでも、交差している断層か、あるいは、同じ向きの断層などを使って、ネットワークから考えられる部分を探し出して、どの面が活動的なものかを推定する。交差する断層では、多くの場合、隣の地塊と押しか、あるいは引きかの状態になっている (Melnikov, 1987)。

より深部での場合、単一方向の圧縮が多い。そのため、最大接線応力と差動ゾーンは、作用力の向きに対してほぼ45°になることが多い (Joseph, 1967)。

海洋の地塊へ向かう大陸の「翼」での動きはもっと強い。そのため、そうした場所においては、仮説が実証しやすいだろうから、試みしてみる価値はある。

### 3. 漸移帯の形成での地震集中帯の動き

地震集中帯構造の特徴は、大きな重要性を考慮しなければならない (Fedotov et al., 1987; Kuzin, 1974;

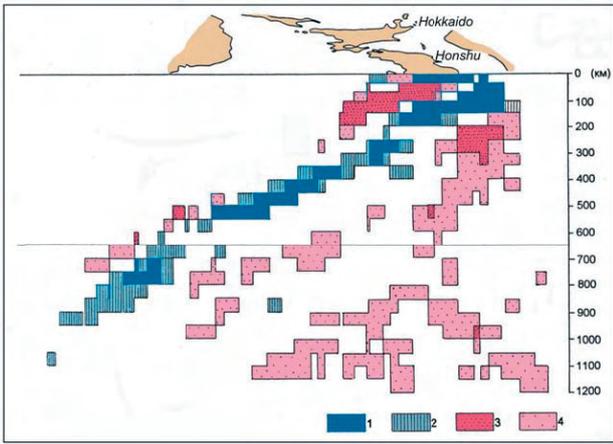


図3a ヴラジオストックー本州中央部間におけるP波速度トモグラフィの垂直断面図 (Kamiya et al., 1989) 1)  $\partial V_p = + (3-6) \%$  2)  $\partial V_p = + (0-0, 3) \%$  3)  $\partial t_p = - (3-6) \%$  4)  $\partial t_p = - (0-0, 3) \%$

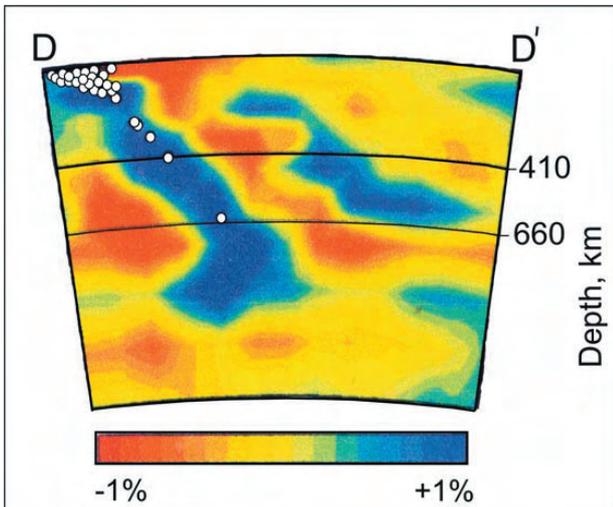


図3b 南カムチャッカにおける密集帯のトモグラフィ画像と速度像. 震源は白丸で表示 (Gorbatov, 2000).

Tarakanov and Bobkov, 2001; Boldyrev, 2002; Choi, 2003 & 2004). 大陸海洋漸移帯の上部マントルは、複雑な層構造をもつ (Tarakanov and Leivy, 1967). これは、深度に対する最大地震規模の分布曲線に明瞭に見られる。下部の抵抗層に一致する最小の曲線は、0-500kmの深度区間で観察される。同時に、これらの層は低速度のアセノスフェア層であることを示される (Tarakanov et al., 1970). これらの全ての特徴は、地震集中帯で観察され、深部断層の力学システムである (Simbireva et al., 1976). 南北千島列島の地域内の地震集中帯は、応力の複雑系により特徴づけられる。

上述したように、複雑な層構造で特徴づけられる地震集中帯は、エネルギーの一定の供給 (Ryabchikov, 2000) があり、最大の剪断応力帯に位置する大深部断層の消費であり、これは我々の惑星の不均質な回転系に由来する可能性がある。

高速度層では、このエネルギーが蓄積され続け、最大値に達すると、分離したブロックの移動を引き起こす。例えば地震である。それゆえ、低速度のアセノスフェア層 (低粘性) では、このエネルギーは層温度の増加を緩和するが、最終的には移動流体とともに、この層の一部に部分溶融を引き起こす。

この事実は、地震集中帯の中の火山の '根' を説明できるかもしれない。もし、火山の根をなす領域中の最大剪断応力の中心に我々が位置するならば、物質が溶融している深度約 500km では、端 (周縁) の深部断層が途切れる。上記の全ては、漸移帯構造のモデルと、地球の地殻と上部マントルで発生している可能性のある作用を図示する (図4)。アセノスフェア層が地震集中帯と相互作用した、特に地球力学的に重要な地域と漸移帯の主要ブロックを、この図は示している。

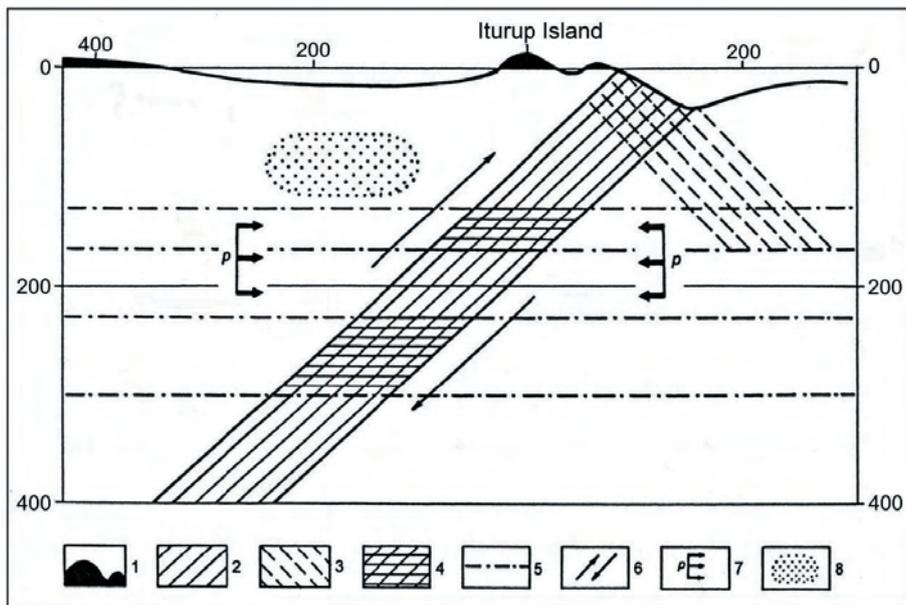


図4 主密集帯 (直線の傾斜線部) と、海洋域で傾いている副次的な密集帯 (破線部) を表したダイアグラム (Tarakanov, 2005a) 1-陸, 2-主密集帯, 3-副次的な密集帯, 4-アセノスフェアと密集部とが交差する区域, 5-アセノスフェアの表面と底面, 6-大陸側から海洋側への衝上を示す矢印, 7-圧縮力の方向, 8-オホーツク海盆下の異常な高温部 (Veselov et al., 1992)

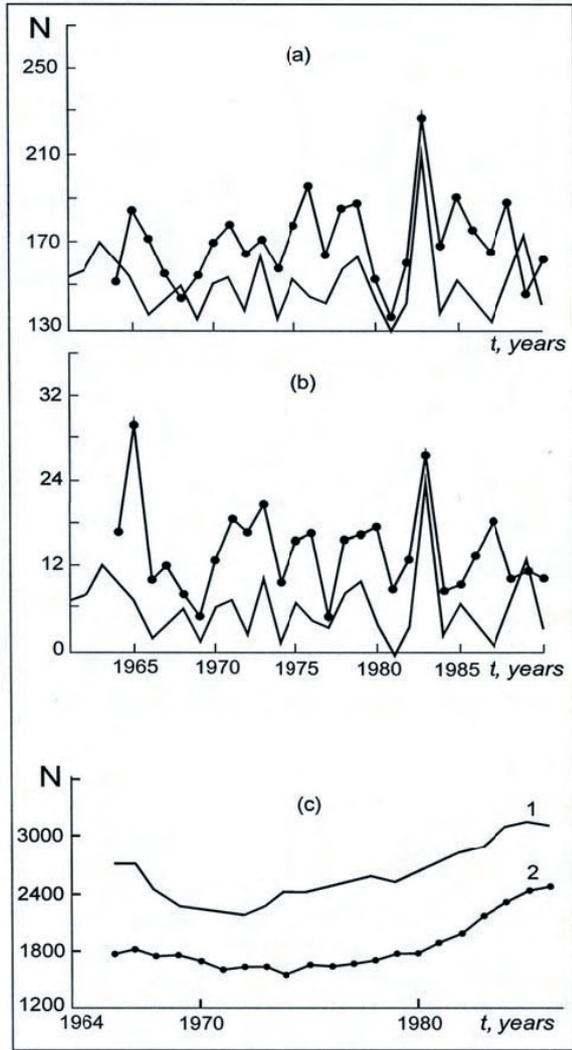


図5 地震と一様でない地球自転の相関関係 (Gorkavy et al., 1994a; Gorkavy et al., 1994b). a- 地球自転と地震の相関; b- 地震に対する線形相関の係数Q; c- (1) 南半球と (2) 北半球の時系列の地震数の変化

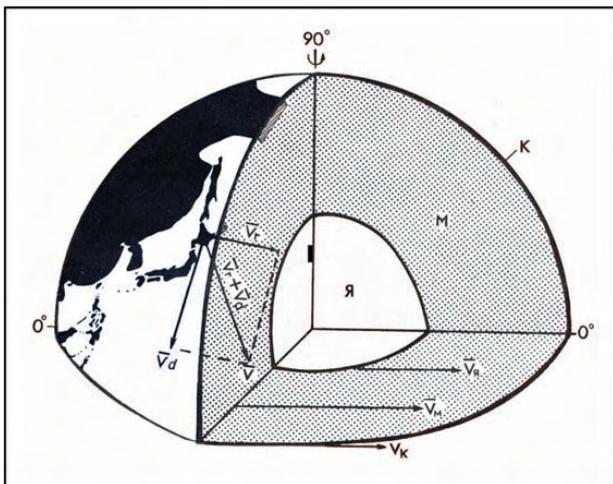


図6 R-地球の核; M-地球マントル; K-地球地殻; -地球の核の回転の平均比のベクトル; -地球地殻の回転の平均比のベクトル; 回転の と 漂移の の平均とベクトル図で示される結果値.

千島-カムチャッカ島弧と火山列は、アセノスフェア層と地震集中帯が深度 120-150km で交差する、ちょうど、その上に位置していることが明確に指摘された。交差する同様の領域が、部分溶融が発見された地域であるオホーツク海溝の下で観察されている (Gordienko et al., 1992)。

地球の引張時代に、大深度断層は、上部マントルと地球地殻への大量の溶融物質と流体が貫入するためのチャンネルとして働き、それらの一部は断層の内部物質として残留すると考えることができる。この溶融物質は固化し、高速度帯を形成する。それが、私たちが地震集中帯と関連づけている上部層 (650km 以浅) である (Avdulov, 1990)。

現在の地震集中帯は、ほぼ水平圧縮の状態にある。上述したように、最大剪断応力のゾーン (地震集中帯) は、島弧でのテクトニクス作用の、永続的なエネルギー供給チャンネル、すなわち '供給管' である。

Avdulov (1990) によると、さまざまな相転移がリソスフェアと上部マントルで発生する。これらの相転移では中間応力が小さい傾向がある。温度力学の平衡の破れのために、相転移のプロセスは、断層帯の強い特徴をもっている。それゆえ、深部断層系は、長期間の断層帯の空間の相転換と短縮によって、高速度プレートと同類の構造に変化する。

#### 4. 地球力学プロセスにおける地球自転の影響

多くの論文 (Melnikov, 1987; Gorkavy et al., 1994a; Vikulin, 1992; Filatiev, 2002 et al.) が地球力学プロセスにおける地球自転の影響を強調し、その後も刊行がつづいている。我々の惑星の自転の急な変化は、環太平洋の深部断層と漸移帯構造の形成の主原因である。この現象が、(最大剪断応力面での) 応力をもった地震集中帯に永続的に加えられる '供給管' として重要な役割を果たしている、と我々は考えている。Gorkavy の論文 (Gorkavy et al., 1994a) は、地震プロセスの地球的構成の存在と地球自転との関係を示した。例えば、南北半球における  $M > 4$  地震に対する、線形関係の係数  $Q = 0.8 \pm 0.05$  である。しかしながら、例えば  $d\Omega/dt$  のような地球自転角速度の導関数が、地球回転成分の角速度の代わりに、地球自転のパラメーターとして使われるならば、 $Q$  値は顕著に増加するだろう。リソスフェアの応力は、地球自転の加速と減速の両方によって発生するとみられる。地球自転の角速度の変化と、地球上での 1 年間に発生する  $M_s > 4$  の多数の地震は、関係係数  $Q = 0.84 \pm 0.06$  に一致する (図 5 : Gorkavy et al., 1994b)。

地球地殻と全地球の力学モデルの構築の際に (Melnikov, 1987), 地球自転の力は、重要な要素として考慮された。構造物 (形成のグループ) の主な特徴、構造 (断層) と地殻-上部マントルの地質的発達を説明する最良の力学モデルは、少なくとも 4 つの表層のメカニズム: 回転・

漂移・隆起・分離といった運動を考慮している。このメカニズムの起源は、回転力の影響によって定義される相当な広がりをもつ (図6)。

ある著者 (Vikulín et al., 1998) によると、地球自転の不均一性は、特に太平洋帯の地震プロセスの背景となる主な駆動力である。環太平洋において、筆者は、回転する惑星の表層沿いに位置する地震集中ブロックの閉じた鎖の概念にもとづく地震テクトニクス作用の回転モデルを発展させた (Vikulín and Ivanchin, 1993)。

Melnikov (1987) によると、その回転する上部半球は、下部半球の回転より遅れる。加えられる応力は、その遅れによって発生する。同じ状況は、深度約 500km の液体地球殻に遅れが観察される。この場合の好都合な環境が、地球の上層部にある大深度断層へ貫入する溶融物質と移動流体を発生させている。

## 5. まとめ

1. 地震集中帯の起源の新しい視点は、断層説に調和する、水平の傾斜角と 1000km 以上も深い地下に直線的に連続する高速度帯と大規模な類似する伸張に関して知られた経験的データに基づいている (Hirt and Lome, 1972)。

2. 地震集中帯 (複雑なテクトニック形成) は、永続的な剪断応力帯に位置する大深度断層系によって表現されている。大陸と海洋の両方に働く圧縮応力の影響下で形成された断層説の新しい面の一つに類似する。これは、この地震集中帯が、構造を形成する永続的な 'エネルギー供給チャネル' と、大陸 - 海洋漸移帯での供給プロセスとして働くように現れるためである。我々の惑星の不均一な自転 (Melnikov, 1987; Gorkavy, 1994a; Vikulin, 1998; Filat'yev, 2000; 他) は、地震集中帯における溶融物質の供給に貢献する。

3. 多くの研究者によって確立されたトモグラフィ・イメージ (Suetsugu, 1989; Yamanaka et al., 1992; Gorbatov et al., 2000) は、1,000km 以深に達する高速度帯が、地震集中帯へ直接に連続することを示した。それらは、太平洋周辺を含む地球全体の異常な磁場 - 重力的影響帯が達するような、地球発達の造構ステージの一つ (Milanovsky, 1978; Galanin, 2002) で形成された。そのような大深度断層は、特に早期のステージで、重力分化のメカニズムを使った地球表層に移動するマントル物質と流体の導管である (Avdulov, 1990; Sychev, 1978)。このマントル物質は、異なる相転移を経験した、地殻と上部マントルの形成で供給する媒体として働く (Ryabchikov, 2000)。後のステージで、溶融した物質は深部断層で固化する。断層沿いの早期に溶融した物質と流体の上昇のために、地震集中帯は高速度の媒体になる。トモグラフィ画像では、地震集中帯は、その一部は速度が異なるが、いつも高速度帯のようにみえる。それゆえ、地震集中帯に関係する大深度断層系は、より複雑な起源

をもち、下方から上部マントルへ溶融した物質を供給するチャネルとして働く。一方で、地震集中帯自体が、圧縮状況下で大陸と海洋構造間の永続的な相互作用による 'エネルギー供給チャネル' であるため、下部層の深部断層系は、エネルギーを供給し続けることができる。

4. 海洋ブロック側からの永続的な応力を受けることで、リソスフェアプレートの一部が、海洋縁の地震集中帯の浅部 (約 100km) の海溝周辺の上部マントルへ沈降する。しかしながら、地震集中帯によってつくられたものと比較すると、島弧での地球力学プロセスに様々な効果がありそうもないように見える。利用できるデータは、太平洋側からの地震集中帯に隣接する地域で、高い値の地震波速度を証明することに注目すべきである。(Tarakanov and Kim, 1975)。

## 文献

- Avdulov, M.V., 1990. Fazovye prevrashcheniya i differentsiatsiya veshchestva v obolochke Zemli (Phase transformations and differentiation of the material in the Earth's shell). *Fizika Zemli*, no. 2, p. 39-46.
- Balakina, L.M., 1995. Kurilo-Kamchatskaya seismogennaya zona - stroyeniye i poryadok generatsii zemletryaseny. The Kuril-Kamchatka seismogenic zone- structure and order of earthquakes generation. *Fizika Zemli*, no. 2, p. 48-57
- Belousov, V.V., 1982. Perehodnye zony mezhdru kontinentami i okeanami (Continent-to-ocean transition zones). Nedra, Moscow, 52p.
- Belousov, V.V. and Pavlenkova, N.I., 1986. Vzaimodeistviye kory i verhnei mantii (Interaction between crust and upper mantle). *Geotektonika*, no. 6, p.8-20.
- Benioff, H., 1954. Orogenesis and deep crustal structure. Additional evidence from seismology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, vol. 65, p. 385-400.
- Boldyrev, S.A., 2002. Seismotektonika litosfery aktivnykh okrain okeana (Seismotectonics of lithosphere of the oceanic active margins). *Dokl. Akad. Nauk*, v. 386, p. 98-102.
- Choi, D.R., 2003. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones. Part 5 Discussion. *NCGT Newsletter*, no. 27, p. 8-25.
- Choi, D.R., 2004. Deep tectonic zones and structure of the Earth's interior revealed by seismic tomography. *NCGT Newsletter*, no. 30, p. 7-14.
- Filat'yev, V.P., 2002. Rotatsionnyi rezhim kak osnova planetarnoi tektoniki (The Earth's rotational regime as the basis of planetary tectonics). *Stroenie, geodinamika i metallogeniya ohotskogo regiona, Yuzhno-Sakhalinsk*, v. 1, p. 266-267.
- Fedotov, S.A., Gusev, A.A., Chernyshova, G.V. and Shumilina, L.S., 1987. Zona Vadati-Zavaritskogo-Benioffa na Kamchatke (Wadati-Zavaritsky-Benioff zone in Kamchatka). *Stroyeniye seismofokalnykh zon. M., Nauka*, p. 5-10.
- Galanin, A.V., 2001. Gipoteza pulsiruyushchei Zemli

- (Hypothesis of the pulsating Earth). Vladivostok, Dalnauka, 72p.
- Gorbatov, A., Widiyantoro, S, Fukao, Y. and Gordeev, E., 2000. Signature of remnant slabs in the North Pacific from P-wave tomography. *Geophys. Jour. Int.*, v. 142, p. 27-36.
- Gordienko, V.V., Andreev, A.A., Bikkenina, S. et al., 1992. Tektonosfera Tihookeanskoi okrainy Azii (Tectonosphere of the Pacific margin of Asia). Vladivostok, DVO RAN, 238p.
- Gorkavy, N.N., Trapeznikov, YU. A. and Fridman, A.M., 1994. O globalnoi sostavlyayushchei seismicheskogo protsessa i yeyo svyazi s nablyudennymi osobennostyami vrashcheniya Zemli (On the global component of a seismic process and its relation to the observed features of the Earth's rotation). *Dokl. RAN*, v. 338, p. 525-527.
- Gorkavy, N.N., Levitsky, Ya. S., Taidakova, T.A., Trapeznikov, Yu. A. and Fridman, A.M., 1994b. O korrelyatsii uglovoi skorosti vrashcheniya Zemli i modulya yeyo vremennoi proizvodnoi s chastotoi zemletryaseniy v zavisimosti ot magnitudy (On correlation of angular rate of the Earth's rotation and modulus of its temporal derivative with earthquake frequency depending on magnitude). *Fizika Zemli*, no. 10, p. 33-38.
- Gnibidenko, H.S., Bykova, T.G., Veselov, O.V., Vororb'yov, V.M., KIM, C.U. and Tarakanov, R.Z., 1980. Tektonika Kurilo-Kamchatskogo glubokovodnogo zholoba (Tectonics of the Kuril-Kamchatka deep-sea trench). *M., Nauka*, 179p.
- Hirt, J. and Lome, I., 1972. Teoriya dislokatsiy (The dislocations theory). *M., Atomizdat*, 600p.
- Joseph, D.E., 1967. Investigation of the method for determining stress accumulation at depth. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, v. 57, p. 891-911.
- Kamiya, S.H., Miyatake, T. and Hirahara, K., 1989. Three-dimensional P-wave velocity structure beneath the Japanese islands. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, v. 64, p. 457-485.
- Katsumata, K., Wada, N. and Kasahara, M. et. al., 2002. Distribution of hypocenters and focal mechanisms around the Hidaka arc-arc collision zone revealed by a dense temporary seismic network. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, v. 77, p. 199-223.
- Kuzin, I.P., 1994. K voprosu o skorostnoi neodnorodnosti zony Benioffa (Vadati-Zavaritskogo-Benioffa) (On a problem of velocity heterogeneity of the Benioff (Wadati-Zavaritsky-Benioff) zone). *Fizika Zemli*, no. 4, p. 12-24.
- Lometev, V.I. and Patrikeyev, V.I., 1985. Struktury szhatiya v Kurilskom i Yaponskom zhelobah (Structures of compression in the Kuril and Japanese trenches). Vladivostok, DVNTS AN SSSR, 141p.
- Milanovsky, E.E., 1978. Nekotorye zakonomernosti tektonicheskogo razvitiya i vulkanizm Zemli v fanerozoie (problema pulsatsii i rasshireniya Zemli) (Some regularities of tectonic development and volcanism of the Earth in Phanerozoic (a problem of the Earth's pulsation and extension)). *Geotektonika*, no. 6, p. 2-11.
- Melnikov, O.A., 1987. Struktura i geodinamika Hokkaido-Sahalinskoi skladchatoi oblasti (Structure and geodynamics of the Hokkaido-Sakhalin folded area). *M., Nauka*, 95p.
- Peive, A.V., 1945. Glubinnye razlomy v geosinklinalnykh oblastiakh (Deep faults in geosynclinal areas). *Izv. AN SSSR, Ser. Geol.*, no.5, p. 23-46.
- Ryabchikov, I.D., 2000. Flyuidnyi rezhim mantii Zemli (Fluid regime of the Earth's mantle). *Problemy globalnoi geodinamiki*, M., GEOS, p. 155-303.
- Rudik, M.I. and Poplavskaya, L.N., 1988. Katalog mehanizmov ochagov Kurilo-Ohotskih zemletryaseniy s  $M < 6.0$ , za 70 New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 48, September, 2008 1975-1982 (A catalog of focal mechanisms of the Kuril-Okhotsk earthquakes with  $M < 6.0$  for 1975-1982). *Yuzhno-Sakhalinsk*, 242p.
- Sadovsky, M.A., Pisarenko, V.F., Shteinberg, V.V., 1983. O zavisimosti energii zemletryaseniya ot ob'yoma seismicheskogo ochaga (On the relationship between earthquake energy and seismic source scope). *Dokl. AN SSSR*, v. 271, p. 598-602.
- Shatsky, N.S., 1946. Gipoteza Vegenera i geosinklinali (Wegener's hypothesis and geosynclines). *Izv. AN SSSR, Ser. Geol.*, no. 4, p. 5-23.
- Simbireva, I.G., Fedotov, S.A. and Feofilaktov, V.D., 1976. Neodnorodnosti polya napryazheniy Kurilo-Kamchatskoi dugi po seismicheskim dannym (Heterogeneity of a field of stresses of the Kuril-Kamchatka arc from seismic data). *Geologiya i Geofizika*, no. 1, p.70-85.
- Suetsugu, D., 1989. Lower mantle high-velocity zone beneath the Kurils as inferred from P-wave travel time and amplitude data. *Jour. Phys. Earth*, vol. 37, p. 265-295.
- Sychev, P.M., 1979. Glubinnye i poverhnostnye tektonicheskie protsessy severo-zapada Tihookeanskogo podvizhnogo poyasa (Deep and surficial tectonic processes of the Pacific mobile belt north-western part). *M.: Nauka*, p. 1-208.
- Tarakanov, R.Z., 2005. On the nature of seismic focal zone. *NCGT Newsletter*, no. 34, p. 1-15.
- Tarakanov, R.Z. and KIM, C. U., 1975. Ob anomalnom naklonnom sloe prilegaushchem, k fokaknoi zone c Tihookeanskoi storony (On the anomalous inclined layer adjacent to the focal zone from the Pacific side). *Trudy SAKHKNI DVNCT SSSR. Vladovostok*, v. 30, p. 87-99.
- Tarakanov, R.Z., 1987. O vozmozhnoi roli seismofokalnykh zon v formirovani i razvitii struktur ostrovnoi dugi (On possible role of seismic focal zones in the formation and development of island arc structures). *Stroyeniye seismofokalnykh zon*, M., p. 11-29.
- Tarakanov, R.Z. and Levy, N.V., 1967. Poliastenosfernaya model verhnei mantii po seismologicheskim dannym (Upper mantle polyasthenospheric model from seismological data). *Dokl. AN SSSR*, v. 176, no. 3, p. 571-574.
- Tarakanov, R.Z., KIM, C.U. and Sukhomlinova, R.I., 1976. Osobennosti stroeniya seismofokalnykh zon Kurilo-Kamchatskogo i Yaponskogo regionov (Peculiarities of

- focal zone structure of the Kuril-Kamchatka and Japan regions). Vladivostok. RIO DVNTS, p. 99-109.
- Veselov, O.V., Soinov, V.V. and Solov'yov, V.N., 1986. Osobennosti raspredeleniya teplovogo polya. Tatarskogo proliva (Peculiarities of the thermal field distribution of the Tartar Strait). Geologicheskiiye i geohimicheskiiye issledovaniya Ohotomorskogo regiona i yego obramleniya. Vladivostok DVO AN SSSR, p. 104-108.
- Vikulin, A.V., 1992. Seismichnost i vrashchenie Zemli (Seismicity and the Earth's rotation). Vychislitelnye tehnologii, v. 1, no. 3, p. 124-130.
- Vikulin, A.V., Bykov, V.G. and Luneva, M.N., 1998. Rotatsionnaya geodinamicheskaya model (Rotational geodynamic model). Metody izucheniya stroyeniya i monitoring litosfery. Novosibirsk, p. 163-165.
- Vilulin, A.V. and Ivanchin, A.G., 1998. Rotatsionnaya model seismicheskogo protsessa (A rotational model of seismic process). Tikhookeanskaya Geologiya, v. 17, p. 95-103.
- Vlasov, G.M., 1976. Ostrovnye dugi i novaya globalnaya tektonika (Island arcs and new global tectonics). Geotektonika, no. 1, p. 5-16.
- Vlasov, G.M., 1979. Evolyutsiya zon Benioffa v geosinklinalnom protsesse (Evolution of Benioff zones in a geosynclinal process). Dokl. AN SSSR, v. 245, no. 3, p. 685-688.
- Vlasov, G.M., 1981. Znachenie problemy paleozon Benioffa (Importance of the problem of Benioff paleozones). Drevnie seismofokalnye zony. Vladivostok, DVNTS AN SSSR, p. 5-34.
- Wadati, K., 1927. Existence and study of deep earthquakes (in Japanese). Jour. Meteorol. Soc. Japan, ser. 2, p. 119-145.
- Visser, S.W., 1936. Some remarks on the deep-focus earthquakes. Gerlands Beitr. Geophys., v. 48, p. 37-45.
- Yamanaka, Y., Miyamae, T. and Hirahara, K., 1992. Three-dimensional S-wave velocity structure beneath the Japan Islands - Configuration of the subducting slab. Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, v. 67, p. 265-302.
- Zlobin, T.K., 1982. Sopostavlenie seismotektonicheskikh parametrov seismichnosti i raspredeleniegipotsentrov zemletryaseniy s glubinnym stroyeniem yuga Kurilskoi ostrovnoi dugi (Comparison of seismotectonic parameters of seismicity and distribution of earthquake hypocenters to deep structure of the South Kuril Island Arc).

**補遺**：宇宙の磁気-重力の地球への効果という課題は、十分には研究されていない。文献データ (Galanin, 2001) によれば、宇宙のすべての天体は相互に重力的效果をおよぼしあっていることが知られている。宇宙の重力場はきわめて不均一であることも、よく知られている。いくつかの銀河空間における重力強度が減少すると、地球は太陽系太陽系とともに膨張しはじめるが、重力強度が増大すると地球は収縮しはじめる。科学者たちは、いまだ、膨張量と収縮量に関する定量的データを入手できていない。これらの作用については、依然、定性的段階で議論されている。

---

## 本の紹介 **BOOK REVIEWS**

(矢野 孝雄 [ 訳 ])

---

### 山脈の造構地形 —古地震学への新しいアプローチ— **TECTONIC GEOMORPHOLOGY OF MOUNTAINS —A NEW APPROACH TO PALEOSEISMOLOGY—**

William B. BULL, 2007, Blackwell, Oxford, 316 pages. £42.50 (hardback).

---

この著書の標題はきわめて誤解を招きやすいが、副題は的確である。いずれにしても、この著書は、山脈のテクトニクス一般の紹介ではなく、焦点はかなり絞りこまれている。この本は、古地震学 (Paleoseismology: 私は著者のアメリカ式綴りを踏襲する) に関するもので、しかも、合衆国西部とニュージーランドのアルパイン断層に力点をおいた著者自身による著しく個人的な見解が述べられている。世界の他の地域については、ほとんど言及されていない。山脈は主要テーマではなく、内容は山脈前縁、もしくは、それらの山脈を限る断層崖に限られている。

受動的大陸縁や大陸内部の山脈は、除外されている。

著者のほんとうの目的は、p. 127にもっともよく説明されている：「広大な地域における地震災害の評価を依頼された場合、地震研究者は気力をくじかれる。たとえば『Basin and Range Provinceの50,000km<sup>2</sup>の領域において1万年前よりも新しい地表断層をすべて認定して下さい』といった、見るからに可能ではないことである。このような依頼が、実際に、変動地形研究者につきつけられる。」この著書は、おそらく幾人かには有用で、その

ような読者のためのものである。

断層を研究する1つの古典的な方法は発掘であり、可能な場合には、露出した層序を編年する。トレンチ-古地震年代決定という方法の欠点が p. 103 に列挙され、多くの紙数を費やして、断層研究にかかわるその他の技術と、かなり局所的な知識がしばしば必要になる多数の事例が詳細に説明される。結果は、しばしば印象的である。延長 50km の走向移動断層がアイソスタシーの変化をもたらし、ニュージーランドの Waipara 川での基盤隆起速度は、驚くなかれ 52m/1,000 年であったことを、読者は学ぶ。アルパイン断層の主要な地震変位の年代は、lichonometry [地衣類学的方法]、河岸段丘および海浜砂丘の分析にもとづいて、紀元 1826, 1715, 1615, 1580, 1490, 1440, 1410, 1220 および 960 年頃であるという。さらに、960 および 1220 年の地震が最大で、1490 および 1615 年のものは大規模で、他の地震の被害は小さかったという。

第1章は、地震の、そして、おそらくは山脈の隆起の原因と考えられる圧縮と展張（著者の用語では、「scrunch」と「stretch」）について記述する。アイソスタシーと汎世界的海水準変動も、この章に含まれる。

第2章は、侵食基準面、閾値、平衡および遅延といった話題をとりあげる。この著書では全般に河岸段丘が重視されていて、この章では、その基本特性が簡潔ではあるが、要領よく説明される。

第3章は造構的急崖と関連する地形に関するもので、それらの別の側面からの研究方法も述べられている。衝上断層、正断層および走向移動断層が含まれ、断層の分節化と斜面進化といった余談が加わっている。

第4章は山脈前縁の造構活動度に関わっていて、山脈前縁の地形研究方法に関する1節が含まれる。

第5章で記述されるのは、断層崖、それらの時間的な形状変化、および、気候・岩質の影響である。レーザー測量デジタル海拔高度モデル (laser swash DEM) がやや詳細に紹介され、それらが「断層崖研究にとってもっとも不可欠な機器に」なると Bull 氏が信じるからである。断層の年代決定が1つの主要目的であり、ここでは、年代測定のための宇宙起源核子について記述される。

第6章で（やや遅いが）、古地震学の目的が述べられる。遠隔地の場合も含めて地震による岩石崩落に関する1つの節が設けられている。この章の大半は、雑誌に掲載された論文の紹介に費やされる。ニュージーランドのアルパイン断層（43 ページ分）とカリフォルニアのサンアンドレアス断層（18 ページ分）にかかわる地震研究のために岩石崩落の地衣類年代測定に関する Bull-Brandon 法を使った Bull 氏自身の研究が記述される。この方法は、年輪年代法、海岸山脈、あるいは、他の年代測定法が適用可能な場合に利用することができる。

プレートテクトニクスは造山運動を支配するパラダイムと理解されているが、詳細な断層研究には一般にかなり不確実な基本概念である。このことがらが2,3の例に示されている。

p. 11 「たとえば、プレート境界での沈み込みは造構作用であるが、その結果生じる基盤隆起のうちのどの程度が、アイソスタシーによる隆起に起因するのであろうか？ どの程度が、同時進行する褶曲と衝上断層による短縮の結果なのか？」

p. 117 「サンアンドレアス断層は、現在、主要なプレート境界断層になっている。」これが何を意味するのか私には確信がないが、主要なプレート境界とは、玄武岩質の太平洋プレートと大陸性の北米プレートの境界であると推測する。これら2つのプレートの間の正面衝突が走向移動断層をなぜ引き起こすのか、不思議でならない。

p. 117 氏は、シェラネバダ山脈をマイクロプレートとみなす。「この造構ブロックの内部変形は最小であるが、シェラネバダ山脈東縁は最近の時代に劇的に隆起した。」「造構運動の大事件—シェラネバダバソリス底における剥離 (detachment) —は剥離作用 (delamination) と考えられ、幅広いトランスフォーム境界における他の造構要素に影響をおよぼした。」

この本の装丁は高品質で、図や写真はすぐれたものである。

この著書はまさしく古地震研究者のためのものであり、そして、その分野の研究者の多くが地球物理研究者であるため、この出版物は彼らにとって地形および年代測定の概念とツールとして有用であろう。しかし、全地球テクトニクスのさまざまな対象としての山脈に関する著書ではない。

Cliff OLLIER  
cliffol@cyllene.uwa.edu.au



自然科学分野における誤信  
**FALLACIES IN THE REALM OF NATURAL SCIENCES**

Author: Pencho Binev, 2008, 235p (available on CD by request from the author).  
 3 Yanko Zabunov St; 1408 Sofia; Bulgaria; pbinev@abv.bg

これは、実際、著しく異例の書物である。物質の構造と相転移に関する著者の考え方は、今日の科学界で一般に受容されている多くの常識に矛盾する。この本は、興味深い話題性のある研究で、すべての自然科学の基礎になっている概念を検証する。著者は多くの基本的知見を批判的に検討し、物質世界と自然現象に関する説明について自らの考え方を提示する。あらゆる問題を扱っていて、著書自らは、それらを37の科学主題に区分している。現代の科学実践において、地球と宇宙にかかわる自然現象を全体として説明するための包括的研究はまれなもので、異例である。

この著書は5つの基本的部分、すなわち、天文学、物理学、気象学、海洋学および地質学で構成される。地質学の部分がかつとも分量が多く、幅広い話題—惑星としての地球の起源と地質進化から、最近数10年間に起こった気候変化まで、そして、自然の大変動（地震、台風、洪水など）がとりあげられている。

著者の主要な意図は、氏のモデルが立脚する現象や構造を純数学的に処理することを避けることにある。氏は、数学的に表現される単純なモデルによって自然が表現されると信じている。そして、古典力学に立脚し、20世紀の自然科学の念入りに仕上げられた数学的取扱は受け入れない。

宇宙は無限で、永続的であり、その発生の問題をあつかうのは的外れである、との基本的考え方が示される。発生と進化は、宇宙における特殊な物質構造と特異な期間においてのみ成立する。物質構造が宇宙に存在し、それも絶対的で、永続的である。人はある条件モデルの観点から相対性についてだけ言及することができ、それは絶対空間の特性であるとは考えられない。宇宙のさまざまな可視および不可視構造は、物質で構成されている。それらは空間の各部分を構成し、その中で運動する。

物質は無限の構造をつくり、運動はその本質的特性であり、空間の変化、そして、物質構造の形成と分解に関係している。基本的な物質構造は「ダークマター」であり、それは単元的であり、多元的である。さらに組織化がすすむと、物質と放射性物質の構造が生じる。さまざまな構造の間に連続的变化が存在する。それらの大きさと質量は、物質の種類に応じたある限界のなかで変化する。ある特定の位置は、極小の質量と大きさによって特徴づけられる熱によって示される。

分子は、現代自然科学の概念のなかで、もっとも典型的

な代表例である。原子核は多元的物質で構成され、それらは約1014g/cm<sup>3</sup>という極端な高密度を特徴とする。この本の著者は、原子核をとりまく物質を「蜂の巣箱」にたとえ、さまざまな状態とエネルギーレベルにあり、相対的性質をもつ原子という支配的な概念を退ける。原子と分子は、実在物質がつくる組織の安定相である。放射性物質は、これらの反応において、活発に粒子化し、異なるタイプの吸収および放射スペクトルによって分類される。

物質粒子の間に働く力が存在する。著者によって提案された相互作用のメカニズムによると、それは運動の原因になったり、逆に、運動の結果であったりする。このように、力の場が空間に存在する。エネルギーと仕事という用語は、不必要であるとみなされる。エネルギーが解放されることはなく、また、仕事が諸作用のなかで働くことはなく、物質形成の再構築だけが起きている。支配的自然是質量保存則であり、エネルギー保存則の重要度は小さい。したがって、エネルギーや仕事という概念の必要性は否定され、熱は物質の構造としてあつかうことができるので、熱力学の第1および第2法則とは異なる方程式が探求される。

星は、その進化の過程で、いずれも protuberance [突出部] を形成する。私たちの惑星、すなわち地球はそのような protuberance に由来し、太陽からきりはなされた後に、宇宙空間で、しだいに、より重たい化学元素の固体球核とそれをとりまいて結晶するさまざまな物質を形成する。水とそれに融解した物質が、最初に結晶化した地球構成岩石と反応して、変成（化学）作用が起きる。その結果、地球の地殻が形成され、気体燃料（gaseous fuel）が形成される。

地球深部においてこのような燃料が不完全燃焼して火山が発生し、そこでは、触媒による重合反応と裂罅形成が起き、溶岩と熔融鉱物が発生する。気相の高圧力が溶岩を地表におしあげ、火山活動をもたらす。地下空間から溶岩が逸失すると、洞窟がうまれる。そこへ岩石物質が移動することによって、地震が励起される。著者は、火山活動がさまざまな地表地形—島嶼、山地、山脈、河谷など—の形成にかかわっていると考えている。氏は、大陸移動と海洋底拡大にもとづく'ニューグローバルテクトニクス'を否定する。造構プレートや造構力の役割に関する仮定は不要であり、このような理由から、地球の描像から除外される。

順次、私たちは、現在のできごとに近づいている。電磁

場が、地殻中での物理-化学反応から発生する。それは、電流、ならびに、海水および大気イオンや他の荷電粒子に関係する。満潮と干潮、周期的および局所的な風、海流、および津波は、すべて、これらの電磁場に由来する。急激な温度や気圧の変化は観察される自然現象の原因というよりも、むしろ結果である。全般的な考察にもとづくと、私には、火山活動と電磁場が、地球の地殻形成と水圏・気圏における諸作用において主要な役割を果たしているように思える。Binev氏の指摘のとおり、的確に特定された原因と効果の問題は、具体的事例ごとに注意深く考察され、議論されるに値する。

物質の無限に深い構造化に関する論理が展開される。その多様性は物質形態の相互転換すべてのあらわれである、との考えは合理的である。地球では変成作用によって気体と水が発生したという著者の考え方にも、興味もてる。さらに氏は、液体および固体の天然燃料の有機起源に関する生化学概念を否定する。著者の研究成果のなかでもっとも確信される成果は、この燃料の起源に関する研究であることは疑いない。著者は、'カーバイト(carbide:炭化カルシウム)'学説の支持者であり、新しい考察や事例によってこの学説の根拠を豊かにするとともに、それを1つの明瞭で一貫したモデルに統合した。

海洋および大気現象の力学分野で、P. Binevは独創的なモデルを提示した。そのモデルでは、駆動力は電子化学場、電磁場および重力場に由来する。地球の海洋は巨大な電解液であり、別の位置にある極の運動によって、巨大質量の運動が発生するとの理解は、海流を説明する新

鮮な考え方である。

各部分でも、全体としても、この著書の原稿は、ブルガリアの自然科学者たちの間でひろく議論されてきた。この議論は、個別的な批判とともに、多数のコメントと意見をもたらした。Pencho Binev氏の考え方が斬新で、今日の科学界で受容されている見解とは対照的であることが多いことに、この議論への参加者全員が賛同した。彼らの大半は、この著書の内容は自然科学にとって重要であり、話題性に富み、出版に値すると考えている。

この本は、今後の議論と論争の基礎になるだろう。20世紀に適合した概念に相違するBinev氏の学説は、自然科学研究者には受容されがたいものである。しかし、実験によって証明されていない仮説や学説が優占し、数学的理由づけによってのみ発達している現代自然科学における不十分な知識レベルを考慮すると、既成概念の否定は正当に評価される場所である。現代科学の成果の要点を偏見なく評価すると、未解明な問題やあいまいな問題が多数存在する。それゆえ、この書著による探求は、従来の視点に立って非難されるべきものではなく、それらにとってかわるものと理解されるべきである。そして、旧来の視点が確実に証明されたものでなければ、別の考え方が、私たちをとりまく世界をよりよく理解するために貢献していくことは確実である。

評者: E. D. MANEV, 物理化学教授, Sofia University,  
St. Kliment Ohridski', Bulgaria  
Emanev@chem.uni-sofia.bg

## NCGT 摘要

## NCGT BRIEFS

編集者注: ニュースレターのこの新セクションは、前号の議論 (no. 47, p. 3-4) から生まれた。私たちはこのセクションを、読者から送られてきた要旨や有用なミニ情報の掲載に供することにする。編集委員会がある論文が出版するには十分な準備ができていないと判断した場合、著者は要旨をNCGT BRIEFSに掲載することができ、さらに、著者と論文に関するより詳細な情報、論文の全文を入手できるインターネットサイトの記述、などを併記することが可能である。

### 地震に関してさらに

地震活動に関連する熱と水蒸気の発散のさらなる意味は、1993年9月30日のインド中央部 Kiralli における地震から得られたデータを用いた G. Ponmudi によって、編集者の注目するところとなった。これらの現象にもとづいて、熱と水蒸気の両者の発散は有用な予知方法になりうることを著者は示唆する。より詳細については、インド Chennai の Ganapathi PONMUDI g.ponmudi@yahoo.com へ。

# ニ ュ ー ス NEWS

(矢野 孝雄 [訳])

リングストラクチャーとそれらの地質学的意義—NCGT 東京シンポジウム—

2008年8月21日

**RING STRUCTURES AND THEIR GEOLOGIC IMPLICATIONS - NCGT TOKYO SYMPOSIUM - August 21, 2008**

発表論文

はじめに：鈴木尉元

リングストラクチャーの形成と火山活動：久保田善裕 (新潟大学)

東アジアのリングストラクチャーと造構 - 火成活動との関係性：A. A. Gavrilov (太平洋海洋学研究所, ウラジオストク)

深部断裂の環状分布とそれらの地質とのかかわり：鈴木尉元・島弧深部構造研究グループ

地球上で唯一/最大のリングストラクチャーとしての太平洋：B. I. Vasiliev (太平洋海洋学研究所, ウラジオストク)

リングストラクチャーとしての環太平洋変動帯とその意義：矢野孝雄 (鳥取大学)

閉会にあたって：矢野孝雄 (鳥取大学)

主催：NCGT 日本グループ (代表—鈴木尉元)

構造コロキウム (代表—久保田善裕)

**財政的支援について FINANCIAL SUPPORT**

**新購読料システム NEW SUBSCRIPTION FEE STRUCTURE**

(赤松 陽 [訳])

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

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

Global Tectonics.

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

もし領収書が必要な場合には、ご送金の際に一言、お知らせ下さい。

**ニュースレターについて**

**ABOUT THE NEWS LETTER**

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

目的は次の事項を含む：

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

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