



日本語版 Vol. 6, No. 2 (2018年9月) ■ Print edition ISSN 2186-9693

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



編集長: Dong CHOI, 編集委員会: Ismail BHAT, India (bhatmi@hotmail.com); John L. CASEY, USA (jcasey@ievpc.org); Giovanni P. GREGORI, Italy (giovanni.gregori@idasc.cnr.it); Louis HISSINK, Australia (louis.hissink@bigpond.com); Yoshihiro KUBOTA, Japan (kubota@env.sc.niigata-u.ac.jp); Leo MASLOV, USA (lev.maslov@cccs.edu); Per MICHAELSEN, Vietnam (per.michaelsen@tdt.edu.vn); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@mail.ru); David PRATT, Netherlands (dp@davidpratt.info); Karsten STORETVEDT, Norway (karsten.storetvedt@uib.no)

も く じ

■ 編集者から	In this issue..... 本号には	[小松宏昭 訳].....	2
■ 原著論文			
	Observations on the Southern and African "plates" N. Christian SMOOT		
	南部プレートとアフリカプレートに関する観察結果	[杉山 明 訳].....	2
	Ring structures of the Pacific Ocean bottom and some problems with their investigations Alexandr GAVRILOV		
	太平洋底の環状構造およびその解釈についてのいくつかの課題 [久保田喜裕・柴 正博・矢野孝雄・宮城晴耕・角田史雄 訳].....		16
	Radio Direction Finding System, a new perspective for global crust diagnosis V. STRASER, D. CATALDI and G. CATALDI		
	無線方向探知システム; 全地球的な地殻診断に関する新見解 [小泉 潔 訳].....		37
	History of development of the Mid-Atlantic Ridge based on deep-sea drilling materials Boris BLYUMAN		
	深海掘削試料から見た大西洋中央海嶺の形成史 [小坂共栄 訳].....		41
	Collapse of the Pacific paleo-continent Takao YANO		
	太平洋古陸の崩壊 [矢野孝雄 訳].....		50
	Gold-bearing sulphide deposits associated with deep-seated processes Vadim GORDIENKO		
	深部過程に関わる金含有硫化物鉱床 <要旨> [矢野孝雄 訳].....		68
■ 短報			
	Anomalies in jet-streams prior to the M7.9 Alaska, the M5.3 Santa Cruz Island, and the M6.9 Hawaii		
	Earthquakes in the United States during the early half of 2018, Hong-Chun WU		
	2018 年前半にアメリカ合衆国で発生した, M7.9 アラスカ地震, M5.8 サンタクルーズ島地震, M6.9 ハワイ地震に先立って起こったジェット気流の異常 <要旨> [赤松 陽 訳].....		69
■ 地球気候コーナー			
	Adjustocene: sea levels are not accelerating, only the adjustments A. PARKER, N.-A. MÖRNER and P. MATLACK-KLEIN		
	適合紀: 海面上昇は加速しているのではなく、適合しているにすぎない <要旨> [岩本広志 訳].....		69
	Analysis of the sea level rise of Guam Albert PARKER and Cliff OLLIER		
	グアムにおける海水準上昇の解析 <要旨> [岩本広志 訳].....		70
■ 随筆			
	On global tectonics, #1 The alleged forces of mobilism - what they can and cannot do Peter M. JAMES		
	モービリズム (mobilism) の不確実な論点—何が可能で何が不可能か? [小坂共栄 訳].....		70
■ ニュース			
	Increased thermal activity in the Gulf of Mexico since early 2018 Dong R. CHOI		
	メキシコ湾における熱活動の増加 [村山敬真 訳].....		75
■ ニュースレターについて			76

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

New Concepts in Global Tectonics ジャーナル 日本語版発行チーム

連絡先 〒950-2181 新潟市西区五十嵐二の町 8050 新潟大学理学部理学科自然環境科学プログラム 久保田喜裕
TEL/ Fax 025-262-7534 E-mail: kubota@env.sc.niigata-u.ac.jp

[翻訳メンバー] 赤松 陽・岩本広志・川辺孝幸(翻訳記事選択担当)・窪田安打・久保田喜裕(翻訳記事選択担当)・小泉 潔・小坂共栄・小松宏昭・佐々木拓郎・柴 正博・杉山 明・角田史雄(翻訳記事選択担当)・宮城晴耕・村山敬真・矢野孝雄(連絡・組版担当)
[事務局メンバー] 赤松 陽・足立久男(発送)・金井克明(会計)・川辺孝幸(HP)・久保田喜裕(代表)・佐瀬和義・宮城晴耕

編集者から FROM THE EDITOR

(小松 宏昭 [訳])

本号には・・・ In this issue.....

本号には、Chris Smoot による南氷洋、南極大陸そしてアフリカ “プレート” に始まる世界の大洋と大陸の地質に関する重要な論文が掲載されている。彼は、主要な構造的な枠組みの中でこれらの “プレート” に対する違和感を表明している。そして、地球上の “プレート” に関する彼の分析は、これからの NCGT に引き続き掲載されるであろう。

太平洋の放射 - 同心様式あるいは環状構造は、Gavrilov によって包括的に記載され、分析された。彼は、それらがガス - 液体そして高温物質移動、中心に発達する火成活動、マン トルダイアピル、そしてプルームテクトニクスを含む内因的な 構造性火成活動の最も重要な指標であるとしている。彼は、 中生代や新生代初期にしばしば発生した数百以上の環状構造 がそれに相違ないと考えている。これらの特徴は、プレート テクトニクスとは相入れないものである。

矢野は、南西太平洋での古期大陸性岩石の情報を引き続 き提供し、太平洋古陸の崩壊について議論している。彼は、 太平洋全域の 154 ヶ所もの古期大陸性岩石の存在から、そ れらは崩壊した大陸の遺物であると結論している。

中部大西洋海嶺に関する Blyman の研究は重要である。深 海掘削データから、彼は「海嶺は大洋の様々な領域で系統 的に形成された」という理由から、海嶺が継続的に拡大する “コンパー” の役割を果たすことはあり得ないと結論づけて いる。

Straser ほかは「Radio Direction Finding System」という革新 的な方法を導き出した。それは、地球のさまざまな場所から 放出される電磁気的な信号の検出を可能にした。それは地 震の予測にとって短期の予兆検出の強力な武器である。彼ら の開発したシステムはテストされ、その有効性が確かめられて いる。

Albert Parker とその共同研究者は、「地球温暖化によって海 面が上昇する」という考えが誤っていることを明らかにした。 彼らは開かれた議論の必要性を訴えている。(というのは) Parker and Ollier は、グアム島での潮汐計の安定性に地震 が影響していることを発見した別の気象学論文を著した。この 論文は、American Journal of Geophysics, Geochemistry and Geosystems に受理されながら、直後に、「彼らが所属先をも たない」という理由で掲載が距離されたからである。

原著論文 ARTICLES

南部プレートとアフリカプレートに関する観察結果 Observations on the Southern and African “plates”

N. Christian Smoot

6460 Falling Water Lane, Hoschton, GA 30548 USA

christiansmoot532@gmail.com

(杉山 明 [訳])

要旨：プレートテクトニクスの庇護のもとでは、プレートは不可欠の部品である。地球の地殻は多くのプレートに分割されて いて、その少なからぬものが南部プレート*ないし南極プレートとアフリカプレートである。プレートは発散型と収束型の境界 に囲まれていて、それぞれは地震によって明確にされる。これらの 2 つのプレートに関してはこの考えは当てはまらない。 それぞれは発散型境界に囲まれ、とくに南部プレートでは、ごくわずかな直線部分だけが収束型境界となっている。それ ぞれの大陸片は、介在する拡大中心もしくは発散型境界の形成よりずっと前に、母体である大陸地殻から分離された。南 極とケルゲレン海台の間の隔たりは、その好例である。地殻が断裂を形成するに至るまで薄くなるということが 1 つの答にな りうる。中央海嶺はこれらの断裂の結果であり、アセノスフェアから過剰なマグマが漏出する主要な通路になっている。

* 南部プレート (Southern plate)：表題にもあるこのプレート名は一般的ではないが、著者は南極プレートとそれに接する南半球のプレッ トを一括した名称として使用しているようである。

キーワード：プレート、発散型境界、収束型境界、地震、南極、アフリカ

(2018年4月12日受付, 2018年5月9日受理)

はじめに

プレートテクトニクス仮説の不可欠な部品である造構プレートは、誰が数を数え大きさを計ったかにより、数も大きさも異なる。基本的には、このプレート区分は、太平洋、アフリカ、北アメリカ、南アメリカ、ユーラシア、南極、インド - オーストラリアの各プレートから始まった。ナスカ、ココス、ファンデフーカ、カリブ、フィリピンのような他の多くのプレートがそれらに付け加えられた。その数は絶えず増加している。

プレートの境界は一般に、(1) 発散型、(2) 収束型、(3) トランスフォーム断層 - 実際には(1)の活動的な部分 - に分類される。発散型はそこで新たな海洋地殻が生産され、収束型はそこで山脈が形成されるか、沈み込み (subduct) / 乗り上げ (obduct) が生じる。新たに生産された地殻物質は冷却し、密度が大きくなるので、中央海嶺から遠ざかるにつれて、それは沈んでゆき、“下方へ滑り落ちる”。現状を維持するために、初生の地殻(1)は収束型境界(2)によって方程式から取り除かれる。海洋地殻は(SiとMgを含有するため)シマと呼ばれ、密度の大きな苦鉄質の玄武岩が卓越している。シアル(SiとAl)はより密度が小さいフェルシク物質でできているので、大陸はアイソスタシーによりシマの地殻の中に浮かんでいる。

アイソスタシーもしくはアイソスタシー的補償は、地球を平衡に戻すうえで大きな役割を演じている。これは、プレートテクトニクスだけでなく、斉一説においても重要な部分である。地殻は水のようにそれ自身のレベルを決められず、浸食がそれを決める。斉一説の考えが一掃される一方で、アイソスタシー補償の考えはそうはならなかった。“使用済みアイデア”の箱に納められたもう一つのアイデアは収縮である。このアイデアは、“造構的拡大組織 (tectonic spreading fabric)”と呼ばれる断裂帯を伴う海洋底の多くの地形を説明するために用いることができた。

地球が一定の大きさに保たれるためには、発散によって生産される容積が収束する容積と等しくなければならない。例えば、拡大海嶺(1)の線状の距離は、収束境界の線状の距離(2)、つまり海溝や山脈と等しくなければならない。

熱源は、プレートテクトニクスに関連した対流セルを動かすために、地球内の深部に求められた。これが地殻とマントルの間の低速度層であるアセノスフェアにより供給されると考えた者もいる。しかしながら、正確な熱量と熱源の分布はほとんど分かっていないだけでなく、それらは不純物と混合することに加えて、時間とともに位置を変える可能性もある(Koppers et al., 2003; Farnetani and Samuel, 2005) それ故、アセノスフェアからの関連のある熱は、どれも、いつでも、でたらめな提案である。断裂帯での漏出は、それがどこにあるか

を知るよい指標である。最良の例の1つは、アイスランドが海嶺上の数少ない海山の1つであるという事実である。さらに、漏出は中央海嶺を構築する形成営力であると予言されている。我々はそうした見落としが最も目立つ2つ(のプレート)に焦点を当てる。

手段

検討の対象となる南の果ての地域は、その心地よい海況*と広大な測量環境のために、正確には知られていない。しかしながら、リモートセンシングはその状況を長い時間をかけて改善し、我々は退くことになった。

* 実際は厳しい海況であるが、冗談めかして‘心地よい’と表現したのである。

少数の我慢強い人*による成果と組み合わせ、自記水深温度計、重力計、マルチビーム測深機のような遠隔探査とともに、重力ジオイドと重力フィルターを通した構造トレンドのためのGEOSAT衛星のアルチメータは、そこから肉眼的な造構イベントを議論するうえで十分良質の海底地形と重力のデータを提供する。国立地震情報センター(NEIC)の絶えず更新されているファイルは、過去と現在の地震を、マグニチュードと深度別に並行して保存している。

* “我慢強い人”というのは海底地形測量に従事する人を指していると思われる。

このような組合せは、数学的方程式の必要性を排除するだけでなく、造構的解釈の楽しい道へと導くこれまでの証拠を欠いた数学にもとづく役に立たない推論を排除する。

南部 / 南極プレート

南部海洋盆と南極プレートの境界は、南西インド洋海嶺(SWIR)、南東インド洋海嶺(SEIR)、オーストラリア・南極不連続(AAD)*、太平洋・南極海嶺(PAR; 東太平洋海嶺(EPR)の南部区間)、チリ海膨(CR)で定められる。プレートとしては、アフリカ、南アメリカ、ナスカ、太平洋、オーストラリアである。南極大陸は、緯度66°34'Sでほとんど南極圏の中に納まる(図1)。

* オーストラリア・南極不連続(Australia-Antarctic Discordance): オーストラリアの南に位置し、太平洋・南極海嶺と南東インド洋海嶺を隔てるメガマリオン(畝の発達した亀の甲羅状地形)の発達する地帯。

氷のカバーの他に、この地域の他の地形には、ロス海(Ross Sea)のアデア岬(Cape Adare)とビクトリアランド(Victoria Land)の間の南極を横断し、フィルヒナーブロック(Filchner Block)を通り、ウェッデル海(Weddell Sea)のコーツランド(Coats Land)に至るねじれた山脈が含まれている(図2)。この3200-kmの長さの南極横断山脈(TAM)は、55-Ma頃に隆起を始めた(Fitzgerald, 1992)。これは地球上で最も長い山脈の

1つで、西南極と東南極の間の境界を形成している。TAMの中には、クイーン・モード (Queens Maud), アレクサンドラ (Alexandra), エリザベス (Elizabeth), セロン (Theron) などいくつかの小さな山脈がある。

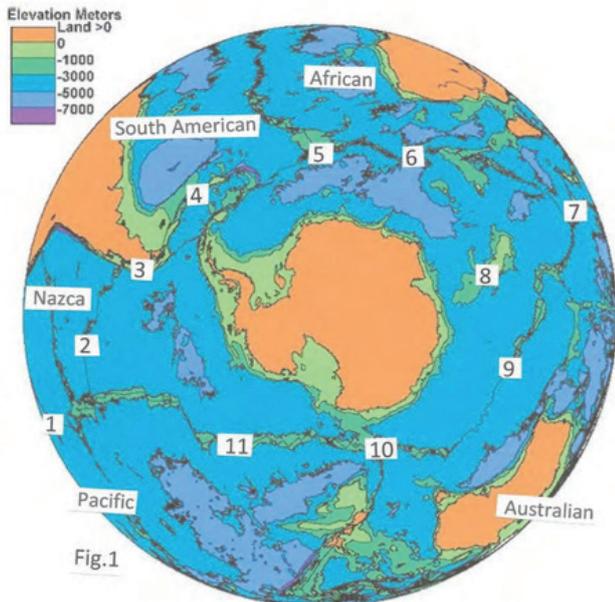


図 1. 南極プレートの極投影図。1=ファン・フェルナンデス三重会合点；2=チリ海膨；3=チリ海溝；4=ノーススコシア海嶺；5=ボーベット三重会合点；6=南西インド洋海嶺；7=ロドリゲス三重会合点；8=ケルグレン海台；9=南東インド洋海嶺；10=マッコリー三重会合点；11=太平洋・南極海嶺

セロン山脈はペルム紀の堆積岩に被覆され、その間にジュラ紀の苦鉄質シルを挟んでいる (Leat et al., 2006). これは遠方からやってきたものか、それともこの場で生じたものか？周囲の海底の基盤から採取した試料がこの謎を解くために必要であるが、現在は何もない。

西南極の南極半島 (Antarctic Peninsula) もまた小さな島々からなる山脈である。それは APM と呼ばれ、海面下の山脈とスコシア (Scotia) 弧により南アメリカのアンデス山脈に接続すると考えられている (NASA, 2011). それもまた大部分が氷に覆われ、南部海洋とウェッデル海を隔てている。APM が TAM に接続するならば、これは、このプレートを取り巻く活動的な発散型境界の間でのある種の造構活動の明確な通路である。

慣例に従えば、この配列は、ゴンドワナの分裂以降、常に存在したものではない。一連のマイクロプレート - そのうちのいくつかは約 400 万年 - は、古生代の間、東南極がまだゴンドワナに接していた時期に漂移を始めた (図 3 ; Ferris et al., 2002). この大陸は南部海洋プレート上を漂移する。古生物地理と時代が類似している南極、アフリカおよびオーストラリアは、地球の大陸の最後の発展の間に合体し、その状態は分離が始まった 85Ma まで続いたと考えられている (オーストラリア政府のサイト). 米国地質調査所 (USGS) による類似のシナリオでは、280-230Ma にパンゲアはローレシアとゴンドワナに分裂を始めた。約 200Ma の三疊紀までにアフリカとオーストラリアは互いに分離を始めた。154Ma までにこの分離は全体的に完成した。次いで、

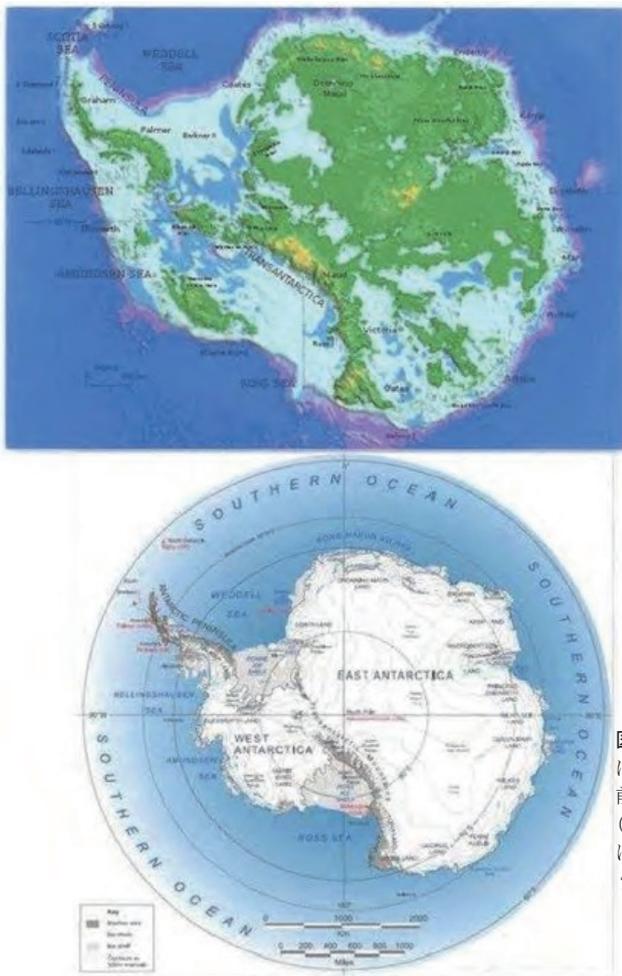


図 2. 南極大陸の氷を剥ぎ取った状態 (上). 多数の大陸断片の集合状態は、永久氷により長年の間、明らかになっていなかった。永久氷に覆われる前、森林がこの陸地をカバーし、ワニのような動物がそこに生息していた (Meyerhoff et al., 1996b). 今日、そこは、最も新しい契約が期限切れにある大部分の土地を求めることができる人々に出会えるオクラホマのようなランドラッシュ*にある。(下) 南極の地理

*オクラホマ・スタイルのランドラッシュ (Oklahoma-style land rush) :1889 年 4 月 22 日にアメリカ合衆国政府が入植を解禁したオクラホマに白人が未開の土地を求めて殺到した現象 (Wikipedia).

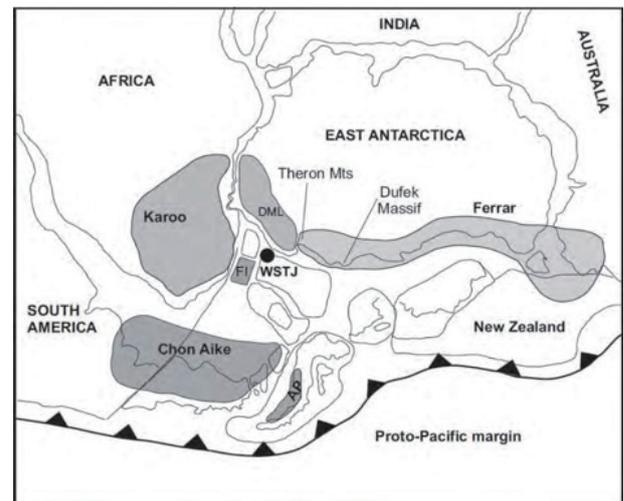


図 3. 三疊紀における分離前のここに挙げられた種々のクラトンの位置 (Ferris et al., 2002).

東南極が、南極の現在の位置へ動き / 動かされ、白亜紀前期、同後期、新生代の間に西南極の構成部分が、南極横断山脈と西南極を作りだすために漂移を始めた (Fitzgerald, 2002). 面白いことに、中央海嶺は、この全過程の間には生まれていない。

PAR は 35Ma 頃に形成され、海洋循環が変化したために (Humbrey et al., 1991) 南極の氷のカバーが 34Ma 頃に形成され始めた。また、全地球的寒冷化は、オーストラリアと南極のが分離した後に生じた。プレートの分離：沈水した大陸であるケルゲレン海台 (Kerguelen Plateau / KP ; 図 4) はアフリカとオーストラリアから

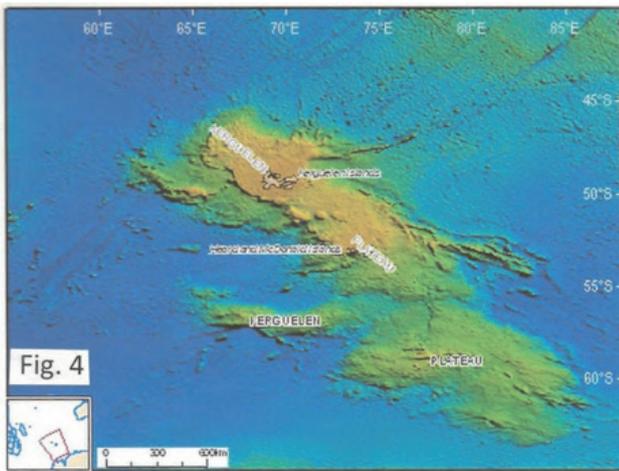


図 4. ケルゲレン海台は、両者の間に SEIR を伴って、オーストラリア南東の南部プレート上にある。それは、それらの間の SWIR を伴ってアフリカの南西にある。それは世界で最大の LIPs の 1 つで、長さが 2200-km である。玄武岩の甲殻に挟まれる土壌層は木炭を含み、それは、この海台が 20Ma と 100Ma の間に少なくとも 3 回海面上にあったことを示している。

ほぼ等距離にあり、南部海洋プレート上のロドリゲス (Rodrigues) 三重会合点と南極との間にある。それは、北東をオーストラリア・南極海盆、北西をクロゼ (Crozet) 海盆、南西をアフリカ・南極海盆、北を水深 3,500-m のプリンセス・エリザベストラフ (Princess Elizabeth Trough) に接している。日本の大きさのほぼ 3 倍、あるいはブリテン島の 4 倍の大きさの KP は、世界の海洋では 2 番目の大きさの LIP であり、1,250,000-km² である。それは 45°S と 60°S, 60°E と 85°E の間で NW-SE 方向に 2200-km 以上伸びている (Smoot, 2018)。

白亜紀後期の一時期、KP は島またはマイクロコンチネンメントであった (Borisova et al., 2002)。地質学的な試料採取と科学的掘削は、KP が 100 ~ 20Ma の間、海面上もしくは浅海下にあったことを示している。堆積物中に発見された材の断片とサンゴは、その海台が森林に覆われていた可能性を示唆している。ホットスポットにより形成されたという当初の考えは、そうではないことが証明された。エラン (Eran) 堆での ODP の掘削 (Site 1137, Leg 183; Shipboard Scientific Party, 2000) は、河成の火山砕屑性礫岩中から回収された片麻岩状の変成岩とフェルシクな岩片を得た。ケルゲレン “ホットスポット” 成立に関する一般的な見解にもかかわらず、これらは KP が大陸起源であることを証明した。

KP と南極の間には拡大センターはなく、どのような破壊営力がこの大陸地殻断片を母体から取り除いたのか不思議に思わざるをえない。それは、南極半島のほとんど鏡像でもある。

スコシア地域 (図 5)、とくにその弧の部分、南アメ

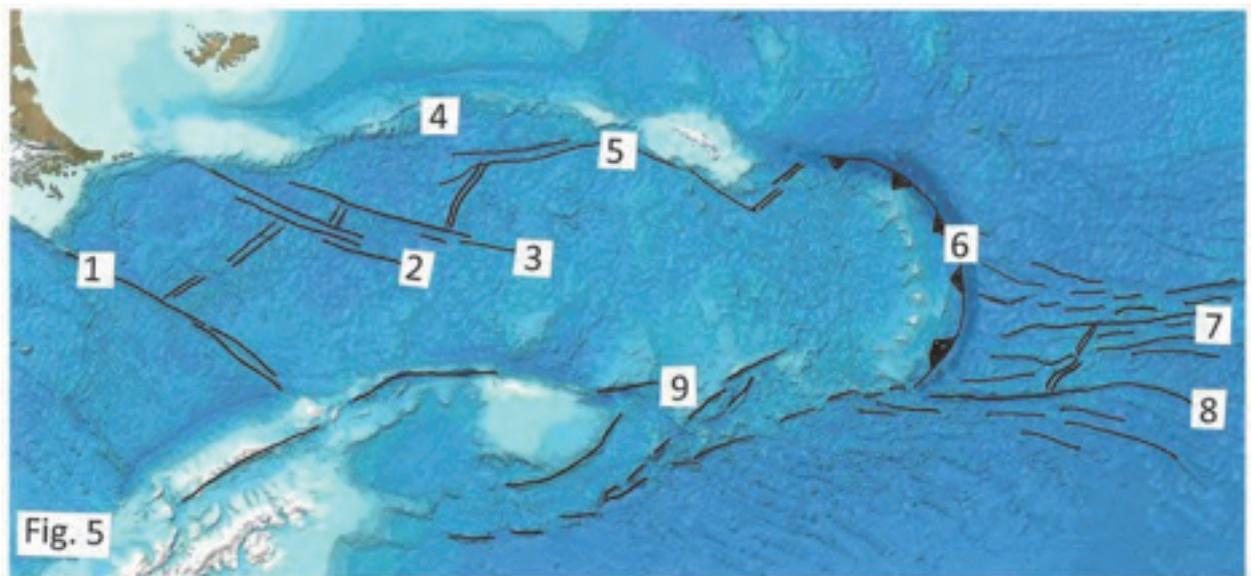


図 5. スコシア “プレート” の GEBCO の解釈。(1) シャクルトン断裂帯、(2) ケスト断裂帯、(3) エンデヴァンス断裂帯、(4) 北スコシア海嶺、(5) 北スコシア断裂帯、(6) サウスサンドウィッチ海溝、(7) ノースウェッジ断裂帯、(8) サウスサンドウィッチ断裂帯、(9) サウススコシア海嶺。トレンドの解析は、拡散した海嶺と断裂が海溝の東側に続き、図の北部を横断してティエラ・デル・フェゴ* へ向かっていることから、このプレートが南極プレートの変位した一部であることを示している。これは本当に謎のコースで、分離したスコシアプレートが実際存在するのか、サウススコシア海嶺が実際に AP の延長であるのか、人を惑わせるものである。構造組織は Eagles and Jokat (2014) からの助けで輪郭が描かれている。中央海嶺 (MORs) は二本線；断裂帯は一本線。

* ティエラ・デル・フェゴ (Tierra del Fuego) : 南アメリカ大陸最南端に位置するフェゴ島

リカのアンデス山脈の一部と考えられている (Dalziel et al., 2013). スコシア弧は、かつて APM を通る南アメリカと南極の間の陸橋であった大陸の断片で形成されている。かつての連続した鎖はアンタークアンデス (Antartcandes) と呼ばれている。この弧は、比較的最近のサウスサンドウィッチ海溝の誕生とその東への移動によって動かされてきた。そういうものとして、この地域は“スコシアプレート”と呼ばれている。1本の海峡が、サウスサンドウィッチ諸島を収容しているリフトのそばで、もとの物質と南極を隔てている。それらは南極半島のジェームズロス (James Ross) 島から横断して続いている。

一般には海溝の移動は“後退”のように見える (Olbertz et al., 1997) が、この現象は海溝を取り込む形での前進であるようにも見える (Smoot, 1997; Meyerhoff et al., 1996a)。世界の様々な場所で熱せられたチャンネルが下に存在することにより、また、それに作用する遠心力を伴う地球の回転があることにより、大部分の世界の海溝が東向きに移動することは直ちに明らかと思われる。このことは南アメリカの先端と西太平洋の海溝のすべてで、とりわけ真実である。

発散型の境界がこの地域を取り巻いている。GEBCO の地図を用いると、そのシステムの輪郭を描くことが可能である。シャクルトン (Shackleton) 断裂帯はチリ海溝の南方延長のように見える。それは、ヨガム (Yogham) 海盆とオナ (Ona) 海盆の間の MOR (SWIR) をオフセットしている。MOR は北東方向に延びて、クエスト (Quest) およびエンデュランス (Endurance) 断裂帯により右横ずれのオフセットを形成し、北東に向かってノーススコシア海嶺の南へ伸びている。その断裂はサウスジョージア (South Georgia) 島の南を通り、サウスサンドウィッチ海溝 (SST) に接続する。東からやってくる SWIR は、ノースウェッジルおよびサウスサンドウィッチの断裂帯を含む一群の断裂の中で、SWIR が左にオフセットする SST で出会う。

この地域的な表現の中で、サウススコシア海嶺 (SSR) に沿って MOR の輪郭を描く断裂帯はない。それは、遠心力によりアセノスフェアもしくはマントルの下の東向きの流れによって、細くなるかひきずられたアンデスまたは APM の延長のように見え、スコシアプレートを規定する南側の境界は存在しないように見える。その地域は南極プレートの一部であり、サウスサンドウィッチ海溝とチリ海溝はそのプレートに伴う唯一の収束型境界であり、南極プレート地域を取り巻く MOR 全体のうち僅か数 100km に過ぎない。

一般的な見方では、ノーススコシア断裂帯は南アメリカプレートと南極プレートを隔てている。フォークランド海台 (FP) はスコシア弧の北にあり、そこではそれは、古生代の間、南極と合体していた。それは、MOR 拡大センターの形成により、南極から分離された (Ludwig, 1980)。FP は、地震探査の解釈により、下に大陸地

殻があることが見いだされた (Lorenzo and Wessel, 1997) が、それはまだ議論の余地がある (Klemm and Jokat, 2015)。事実、DSDP はこれまで基盤に達していない (Ludwig, 1980)。同様に、どちらも、伸長時間には K-FPM の枠内にあることから、同じ結果が南極のフィルヒナー (Filchner) ブロックにも適用される (Ferris et al., 2002)。“大陸 - 海洋境界に伴う一貫した磁気異常と撓曲異常が存在することから、大陸地殻がフォークランド海台北部の下に連続していると推測されている。”それ以来、FP は、おそらくスコシア弧の渦巻から“派生した”反流であり、キャンベル (Campbell) やケルゲレン海台に対しても同様である可能性が高い。キャンベルは古い大陸であるジーランディア (Zealandia) の一部とされている。ケルゲレンは約 110Ma に誕生したマイクロコンチネントの LIP とされている。

この地域の反対側には SEIR が見いだされる (図 6)。というのは、海嶺での地殻の増大は、その下のマントルの温度と、それがマグマを生産する速度に依存するからである。造構活動の結果は、88°E と 118°E の間の見かけがゴチャゴチャした海底地形である。それは 9本のトランスフォーム断層、8つの一次オーダーのセグメント、5本の東へ移動するリフトを含む (Sempere and Cochrane, 1997)。

AAD は 120°E と 128°E の間の SEIR の上にある (図 6)。過去 19Ma の重力場の再現 (Marks et al., 1999) は、全体の長さ、伝搬リフトの数および断裂帯が増大してきたことを明らかにしている。5本の拡大しつつある海嶺区間はオフセットになっているので、非対称な拡大が生じている。この AAD は、下に冷たいマントルがある起伏の多い海底地形の領域である。そのマントル領域は周囲の区域より 170°C 冷たい。海底地形は、速度の早い EPR (東太平洋海嶺) 型と速度の遅い MAR (大西洋中央海嶺) 型の双方を反映している。さらに、2つの対照的なマントル領域は、長波長のマントル供給

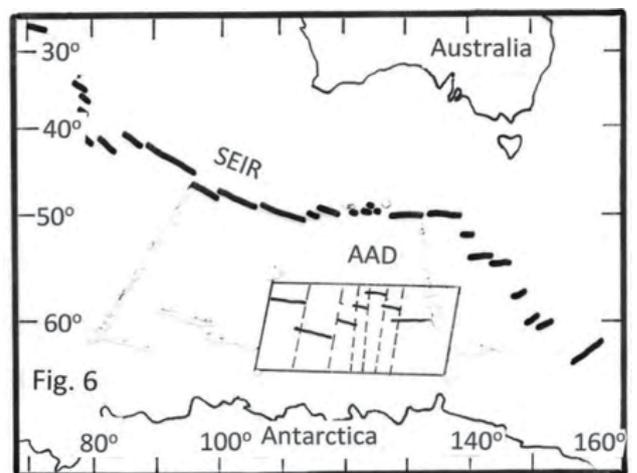


図 6. AAD 地域に力点を置いた SEIR の中央軸の構造図。断裂規制は、そのような肉眼的地形を作りだした根本的な力を明確に示唆している。その地形は、SEIR の西側のステップのそれに対して僅か数度異なる。

が減衰する末端である可能性がある。負の帯磁記号と負の重力異常が対になって、これがマントルに対して下方へ膨らむ地殻の領域であることを決定している。

同位体的な境界はAADのどちら側にも存在する (Kempton et al., 2002)。その境界にまたがるAADの区間は無秩序な海底地形を示し (Marks et al., 1991)、これは収束を伴う不規則なマグマ活動のパターンである可能性がある。Gurnis and others (1998) は、 Gondwana が分裂する間に、通過したスラブがマントルの漸移帯で停滞し、現在、SEIRにより引きずり上げられているのだと指摘した。

この地域の海底地形は巨大な拡大センターが重なりあった状態に類似している。60°S から南極までの構造図は、海嶺を切るトランスフォーム断層 / 断層帯により海底に刻印された全体的なパターンを明示している (図7)。南部海洋の境界内では、南極半島からCRまでの短い区間を別にすると、この“プレート”の近くではプレートテクトニクスのいう沈み込み帯はどこにもない。したがって、その仮説により予測されるような拡大が実際に生じるには、新たに生産される海洋底のすべてがプレートをさらに成長させて、より扁平な楕円形の惑星を創り出すか、下方または上方に付加するか、あるいは回転してすべての新たな海底をはじき出すかのいずれかに至らなければならない。これらは物理的に可能な選択肢にすぎない。

この地域は、リニアメントが反対方向を示し、MAR、SWIRと大西洋・インド洋海嶺 (AIR) の三重会合点とは正反対の点で出会う全体パターンに対する異常を議論することを提案している。この地域の多くの文献

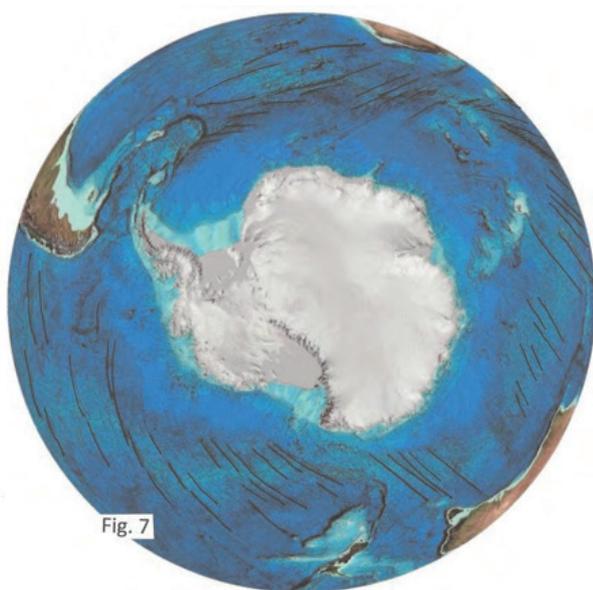


Fig. 7

図7. 南極海の地形を示すGEMCO地図は2012年2月に更新された。ランベルト正角図とメルカトル投影から極投影の立体図へ切り替えることにより、この地域 / プレートの周りのイベントをさらにしっかり理解することが容易になった。この大陸を取り巻く断層帯のパターンは世界中の渦巻構造に似た渦になっている。

はかなり総合化されている (Gurnis and Mueller, 2003; Leybourne and Adams, 2000)。オーストラリア、ナチュラリスト (Naturaliste) 海台、南極はかつて一体であった。

アルバニー・フレイザー (Albany-Fraser) 造山帯が衝突により作られた (Williams et al., 2012)。オーストラリアのアイレ (Eyre) 半島の始生代および古原生代の岩石は、南極のウィルクスランド東部 (Eastern Wilkes Land) で見いだされるものと対等である。タスマン・ビクトリアおよびビクトリアランド北部の断層群はカンブリア紀と同定されている。オーストラリアと南極は約100Maに分離しはじめた。始新世の間に、拡大はSEIRで始まった。そして、AADはその間に位置する。

したがって、Marks and others (1999) は、“この不連続ができる地球力学的モデルはいかなるものでも次の観察結果を考慮しなければならない: (1) AAD内のプレート境界の断層帯 (crenelated zone) は時間とともに増大してきた、(2) 断層帯の中心は海嶺頂部に沿って移動したように見える、(3) 太平洋とインド洋のマントル間の深部異常と同位体境界はいずれも海嶺軸に沿って西方へ移動してきたが、その速度は明らかに異なる”と指摘している。

南部海洋地域の盛り上がった部分は、AADの正反対のスコシア弧にある (図8)。南極のAPM/TAMの連なりに沿った単純な構築物はこれらの2点に接合している。それはこの地域のジオストリームを通り道の1つであり、この地域のこちら側のリネーションが方向転換する地点でもある。したがって、盛り上がったスコシア弧から下方へ撓んでAADに向かう反対方向のジオストリームを容易に仮定できる。したがって、提案されている“Gondwanaの分解”は南極とオーストラリアおよび南アメリカの間では比較的容易に仮定できる。

プレートの動きは妥当となる。NASAのジェット推進実験室 (JPL) によると、南部プレートの相対的な動きはチリ海溝に向かっている。そのプレート上では、どこでも、絶対的な動きは央海嶺、とくにSWIR, SEIR, PARか

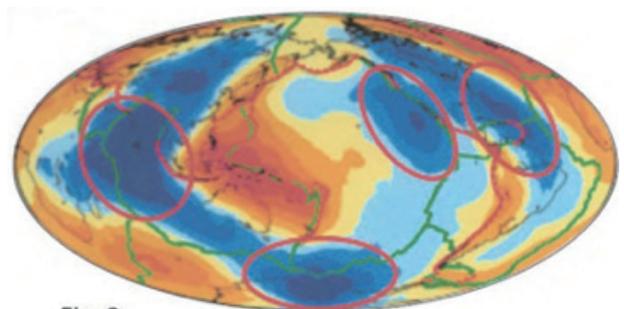


Fig. 8

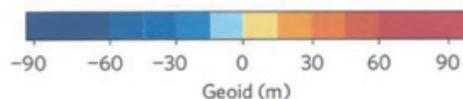


図8. 黄色 / オレンジが正、空色と紫が負を表す重力ジオイド。

ら遠ざかっている。これは、プレートの反対側で直接向き合った中央海嶺が、お互いに直接的に対立していることを意味する。言い換えると、それらはどちらも中央でプレートを構築している。これはホットラインかジオストリームを明らかにする。

この惑星は膨張していないので、第一の可能性は却下されるであろう。それが、4-Ga の南極陸塊によって立証されたように内側へ成長するという可能性もない。その結果、上方への成長か、ロータリーのような回転のどちらかが可能性として残る。

アフリカプレート

全体で 61,300 平方マイルのアフリカプレート (図 9) は、西の北アメリカプレートと南アメリカプレート、北のユーラシアプレート、北東のアラビアプレート、東のインドプレート、南の南極プレートの中に位置している。このスプリッター (木割器) は東アフリカ地溝帯に分け目を作って、東のソマリアプレートと残りのアフリカ部分である西のヌビアプレートに分ける。それらは、北では、無数のより小さなプレートをも作りだしている。境界線は東アフリカ地溝に沿った一列の湖である。類似の湖の列はカナダを斜めに切っているが、私は北アメリカプレートが

分割されていると聞いたことはない。

ユーラシアプレートを例外として、他のすべての分割されたプレートは発散型境界を分かち合っている；つまり、アフリカプレートの大部分は中央海嶺に囲まれている。西に始まる大西洋中央海嶺 (MAR) はアフリカプレートの西側境界全体を占めている。それは、アズレスでの北アメリカプレートとの交点からアフリカのちょうど南のブーベ (Bouvet) 三重会合点まで 14,000km にわたって連続し、そこでは 7700-km の長さの SWIR が境界を北東へ連続させている。それは CIR につながり、CIR はロドリゲス三重会合点に向かって北方へ連続している (4200-km)。CIR の北部はカールスバーグ海嶺 (2000-km) と呼ばれている。その境界は次にアラビア海 (1280-km) と紅海 (2000km) に分かれる。地中海海盆は始点と終点の間にある。北の境界として、東西方向の断裂がジブラルタルからアズレスのテルセイラ (Terceira) *まで伸びているのが発見された (Zitellini et al., 2009)。

* テルセイラ (Terceira) : アズレス諸島の島の 1 つであるテルセイラ島

アフリカプレートは、アンドリュー (Andrew) 海盆トランスフォーム断層複合体の近くの三重会合点で南極ブ



図 9. GSA MAP MCH-069 (1989) と DBDB-5 から編集されたアフリカプレート。等深線間隔が 1000-m のメルカトル投影。(1) クルーザー / ヘイレス / グレートメテオール海山群, (2) マデラ島, (3) カナリア諸島, (4) アトランティス断裂帯, (5) ケープヴェルデ諸島, (6) ケーン断裂帯, (7) ロマンシェ断裂帯, (8) アスンション島, (9) アスンション断裂帯, (10) ボーデヴェルデ断裂帯, (11) バグレーション断裂帯, (12) リオデジャネイロ, (13) トリスタン・ダ・クーニャ, (14) ケープ海盆, (15) マダガスカル海嶺, (16) レユニオン, (17) マダガスカル, (18) マスカレン海台, (19) カールスベルグ海嶺, (20) 紅海 (Cherkis et al., 1989; Smoot, 2007b)

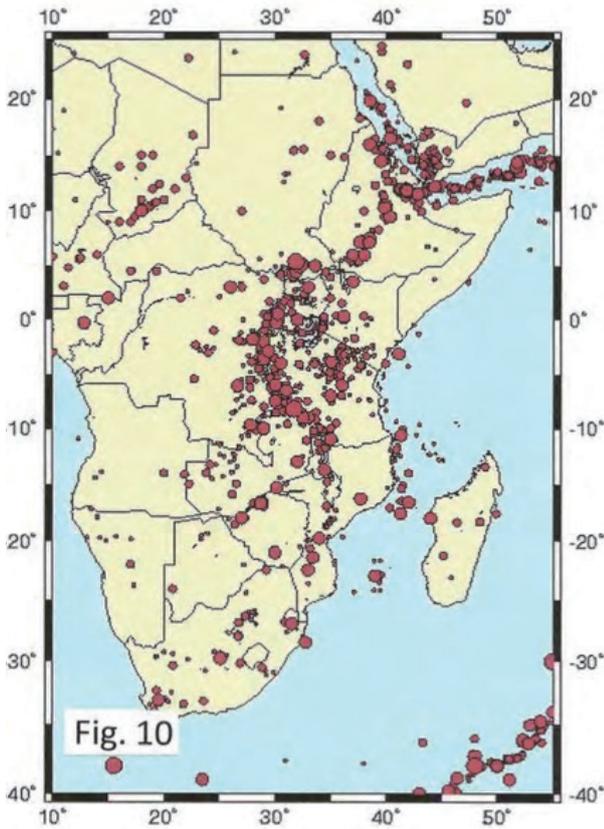


図 10. 東アフリカ地溝帯の通路を示す地震の震央分布図 (インターネット上の Swiss Seismological Services から). この帯が大陸内に止まっていて, ソマリアプレート* (とアフリカプレートの境界である南西インド洋海嶺) に続いてはいない点に注目. それは決してこれからもそうであるとは言えないが, まだそうはなっていない. それは東アフリカリフト帯にのみとどまっている.

* ソマリアプレート (Somali plate): 東アフリカ地溝帯, 南西インド洋海嶺, 中央インド洋海嶺, カールスベルグ海嶺, アデン湾で囲まれたプレート.

プレートに接する (Horner-Johnson et al., 2007). 我々は東アフリカ地溝の南のルワンダ (Lwandle), マダガスカル (Madagascar), セーシェル (Seychelles), ビクトリア (Victoria), ロブマ (Rovuma) といったすべてのスプリッタープレート (Stamps et al., 2008) を考察するつもりはない (図 10). その数は流動的に見えるし, それらは内部収束型境界を有していないという理由で, どれもこの議論には関係がない.

最初の仕事は, 南アフリカの広域テクトニクスを確立することである. 図 4* は, カルー盆地の下にあるクラトンの初期構成という合成“理想シート”の詳細を示している. カープバール (Kaapvaal), ジンバブエ (Zimbabwe), グリュネホグナ (Grunehogna) といったクラトンはすべて, 南極とアフリカが分割されて分離する以前の古原生代の間は一体であった.

* 以下の文脈から Jacobs, J. et al. (2008) の図 4 (1080Ma のクラトンの構成) を指すと思われる.

南東地域における最初のクラトンはカラハリ (Kalahari) クラトンで, それは 800-750Ma までに形成された (Jacobs et al., 2008). カラハリクラトンの断片は東南極と西南

極の両方で見いだされている.

それはカープバールクラトン, ジンバブエクラトン, リンポポ (Limpopo) 帯, ナマオカ (Namaoqua) 帯からなる. 我々にとって興味のあることは, 不可欠の亜クラトンの 1 つが, 東南極のグリュネホグナクラトン (ドローニングモードランド / Dronning Mode Land) であり, このクラトンは, 分裂前の少なくとも 2.5-Ga にはアフリカのカープバールクラトンと結合した断片であった (Marschall et al., 2010; Mieth and Jokat, 2014) ということである. カルー (Karoo) 盆地はアフリカのはるか南にある. カープバールはその地形の一部である.

石炭紀後期から三畳紀前期の間, 南アフリカは, 圧縮テクトニクスを伴った大規模な沈降のエピソードを経験した (Pysklywec and Mitrovica, 1999). 次いで, この地域全体が隆起した. カルーの規模は単一のプルームヘッドにより作りだされたには大きすぎるように見える. カルー LIP は, より大きなカルー・ファラールマグラマ区 (K-FMP) の構成要素であり, K-FMP は知られている最大の洪水玄武岩イベントの 1 つである. それは, ゴンドワナが分裂する前の 184-179Ma の間に, その南部で形成された, あるいはその分裂の原因でさえあると解釈できる.

同様に, 卵形のシベリアトラップ (LIP) は, 造陸運動から期待するような火山活動に先立つ隆起をまったく示さない. マグマの洪水は, それが大洋性か大陸性か, 互いに実質的な見分けがつかないので, 我々は両者を比較し, 同じ提案に対して両者を用いることにより検討を続けよう. これは, 化学組成が違わないということを行っているのではなく, マグマの洪水は本質的に同じで, ソレアイトのかアルカリ的かである. 年代が 283-Ma から 70Ma に及び, 組成はどのようなものでも, それがこの長さで続くなら, マントルプルームの継続期間と活動は, 時間とともに確実に変化するだろう. したがって, このトラップは, 火山活動に先立つなんらかの隆起を必要とする不整合の上にあると考えられている. 洪水玄武岩の中心の甲殻に期待されるドーム状の隆起は知られていないので, これは明らかに生じなかった. これは, 西シベリアでは, それらが堆積物に覆われているからであろう.

カルー盆地の隆起が熱プルームによるという考えを踏まえると, オントンジャワ海台 (OJP) では予測される隆起は立証されていない. 隆起は, 大陸性玄武岩に対しては立証される. そこでは到達したプルームの頂部が海面より上にある大陸地殻を持ち上げていて, 浸食と不整合を作りだしている. しかし, マントルプルームに伴う隆起は, 海水面より上に海盆底を持ち上げなかったため, 火山活動に先立つ浸食は期待できない. さらに, その表面は, 噴出した厚さ 30-km の OJP 玄武岩で覆われていて, 観察できない (Smoot, 2018). それにも拘わらず, 火山活動がマントルプルームにより生

じたものであるなら、噴火時には、海台を作っている火山岩類の頂部は海水面より上に顔を出したに違いない。OJP 上での浸食の証拠はまったくないことが主張されている。DSDPとODPの sites 289, 803, 807 は、アプチアの石灰岩の直下にあるアプチアの洪水玄武岩の領域を示している。

陸上噴火の証拠はないが、石灰岩のキャップが存在することは、アプチアのある期間は、その海台が少なくともリソクライン（溶解躍層）より上にあったことを示唆している。これは、海水面が低かったか、地域的な隆起があったことを示唆するか、もしくはその両者の組合せである可能性が高い。現在、2500-m 前後の深度で、両者ともかなりの範囲にわたっている。

プレートテクトニクス仮説の導入初期に、マントルプルームによる上方への付加を指向して、Tuzo Wilson (1963) は、彼の予測したことがマントルプルームの形でマントル湧昇の結果となっていることを認めた。それが表面的に現れたのが線状配列する海山であり、それらは Morgan (1971; 1972) により“ホットスポットの痕”と呼ばれた。現在の地球科学では、マントルプルームは地球内部からマグマをもたらす。

しかしながら、マントルプルームに関する以前のアイデアとは異なる新たな観測が始まっているので、マントルプルームの考えはもはや適切ではない (Anderson, 1994; 2012; 2013; Koppers et al., 2003; Shapiro, 2006)。第一に、海洋底には洪水玄武岩や海台を伴わない、つまりマントルプルームによらない、短い島の連なりが散らばっていて、それはプルーム頂部で始まったに違いない (Sheth, 1999)。最近まで、これは妥当な見解であった。熱化学的なプルームに関する最近の実験は、プルームの頂部は上部マントルと下部マントルの境界で止まり、そのため頂部の一部のみが上部マントルにまで上昇することを示している。上昇する部分は実質的に新たなプルームであり、それは短距離のみ上昇するので、その頂部は尻尾より僅かに大きく、それゆえ、検出するのが困難である。Farnetani and Samuel (2005) もまた、プルームの頂部が、海山列を形成するそれらのように、長い尾部の形で実際に分散するかもしれないと繰り返し言っている。この考えは、大型のマイクロ波オープンを用いることにより実験的に証明された (Fourel et al., 2017)。

そうであれば、別の境界が調査されなければならない。インド洋のロドリゲス三重会合点と大西洋のボーベット (Bouvet) 三重会合点の間の SWIR には、驚いたことに、閃緑岩とハンレイ岩の中に約 180Ma のジルコンが残っていた (Cheng et al., 2016)。この時間枠はインド洋の開口、カルー LIP の定置、 Gondwana の分裂に一致する。

これらの類似した大きな海嶺と交差するクラトンの分離は、海洋底拡大よりはむしろ、断裂帯テクトニクスか、

大陸地殻の薄化というテクトニクスの結果である可能性が大きい。トイ (Toit), アンドリュー (Andrew), マリオン (Marion), プリンスエドワード (Prince Edward) のような SWIR に伴う大規模な断裂帯 (Royer et al., 1988) の多くは、大陸棚上の構造と関連している。4本のトランスフォーム断層が 25°E and 35°E の間の SWIR を、全体で 1230-km 左水平方向にオフセットしている (Sclater et al., 2005)。また、海底拡大速度はほとんど無視できるほどゆっくりしている (Sauter et al., 2011)。それゆえ、それは、伸長による地殻の薄化である可能性が高い。それは、幹線チャンネルのようなホットラインの通過によりアップスラストした地殻を伴い、その後の様々な種類の堆積作用で覆われている。

アフリカプレートに関するプレートの動きは、JPL の GPS 測定にもとづくと、相対的にも絶対的にも北東方向である。そのプレートの東側にすべての中央海嶺があるので、これはそれ自身、興味深い。それらはそれら自身の上で結合することはできない。

再度言うが、この長距離にわたる多数のプルームという仮説は、ジオストリーム存在によって説明できる。

2つの”プレート”に対する沈み込み帯

我々は本稿の最初の目的、すなわち、この新たに作りだされた地殻のすべてが除去される地殻のコンベアベルトのもう一方の端という問題に帰着する。

大陸移動の考えは、John Henry Pepper が Antonio Snider-Pellegrini の地図を、彼の本である *The Playbook of Metals* (1861) に取り入れたとき (1850年代) に初めてはっきり現れた。Eduard Suess は、Gondwana の最初のアイデアを提起するために、彼のグロソプテリス化石の発見を用いた。大陸の水平的な動きを前提とする仮説では、それがどのようなものであれ、古生物地理学的データを組み入れなければならない。Suess は、大洋がローシヤと Gondwana という超大陸の間のスペースを満たしたことを信じて、1893年にテチス海概念を導入した。彼は、この海の北側に位置するアルプスと南側に位置する北アフリカが、かつてはその海底にあったと考えた。古生物地理学の優れた研究 (Meyerhoff et al., 1996b) は、化石の離散を用いることが大陸移動を研究するための間違いのない方法ではないことを証明した。他の人々はテチス海がそのようにずっと存在したとは信じていない (Smoot, 2007a 参照)。

基本的に、南極プレートを取り巻く収束型境界は存在しない。それはほとんど全面的に発散型の境界と、Lips を含む他の大陸地殻の大きな断片により囲まれている。2014年に更新された海底地形図には、スコシア“プレート”の南の境界は見られない。サウススコシア海嶺はアンデス山脈/APMの単なる延長であり、そこではそれが下にあるアセノスフェアの東へ向かう流れに

より引きずられて、この特殊な圧縮地形 (SWIR) の肉眼的形態を形成している。したがって、サウススコシア海溝 (985-km) とチリ海溝の南部 (約 1500-km) は、このプレート全体に対する収束型縁辺に過ぎず、SST での沈み込みは南アメリカプレートの西縁に対するものである。南部のプレートは乗り上げている。

アフリカプレートに関して取り上げるべき唯一の縁辺は、アゾレス (Azores) 諸島からキプロス (Cyprus) に至る約 5000-km の長さの北の境界である。その 5000-km の唯一の収束型境界は沈み込み帯であり、ヘレニック (Hellenic) - キプロス弧 (約 350-km) と呼ばれる部分である。これは、そのシナリオを考えることさえもかばかしい。それにもかかわらず、これがどちら側のプレートに対しても最も近い収束型境界であるという以上の理由がないなら、我々はそれを解析してみよう。それらは一緒に動かなければならない。

我々は、西から東へたどることにより、この根拠のない説にチェックを掛けよう。地中海海盆は野良犬の背中では跳ねるノミのように多くの仮説を持っている。本質的に、この海盆は、沈み込むアフリカプレート、乗り上げるユーラシアプレート、アプリア (Apulian) ・アドリア (Adriatic) ・アナトリア (Anatolian) ・エーゲ (Aegean) などのいくつかのマイクロプレートの位置にあると想定されていて、人が支持したいと望む造構シナリオの中で何でもするし、その地域内に種々の断裂帯を含んでいる。キプロスの近傍における海洋地殻に関しては現実的証拠はない。地震データの分布は、とくにヘレニック海溝システム地域では、沈み込み帯の位置に関して何の手がかりも提供しない。また、エラトステネス海山は、先カンブリアのアフリカ大陸地殻物質であると考えられている。これらの事実により、東地中海海盆がアフリカとヨーロッパの間の沈み込み帯の位置ではないと断言することは、それほど無理ではないと思われる (Smoot, 1997)。沈み込みがなければ、この地域のプレートテクトニクス的な解釈に関するいかなるシナリオも価値のない空虚なものとなる。しかしながら、その山系はアルプス造山運動によって作りだされた場所にあり、それらは縫合帯の一部として扱われている。

キプロスの南 100km、エジプト扇状地のやや北に位置するエラトステネス海山 (ES) は大規模な背斜である。それは、長さ 100-km、幅 80-km で、約 4000 - 4500-km² をカバーし、その種のものとしては、地中海における最大の地形である。海拔 690-m の頂部は周囲の海底から約 2000m 高まっている。

そのような場所で、ES をまたいで多くの調査が行われた。ODP Leg 160 (Kempfer, 1998; Robertson, 1998) は ES の起源と発達を明らかにするために計画された。彼らは十分な調査の後ですぐ、深海掘削が、とくに早期の歴史を決定するために必要だという結論を下した。彼らは通常の炭酸塩岩を回収し、それは浅

海と深海の両環境で形成されたものだった。この調査は白亜紀前期に遡るものであった。それ以前の調査 (Krashennikov et al., 1994) では、先カンブリアの結晶質岩が見いだされていて、これは地塁の一部とされてきた (Robertson, 1998)。シングルチャンネルの簡易ストリーマーと 2 チャンネルのストリーマーを用いた 2006 年の再調査では、ES の起源に関する我々の理解を改めるものは何も発見されなかった。

2012 年の夏に NOAA はエラトステネス海山 (図 11) を再訪し、自分たちのデータベースを更新した。彼らは、“ES の現在の造構環境は異常であり、それは、キプロス海溝でアフリカプレートがユーラシアプレートの下にも潜り込むとい動的な沈み込みをしている大陸の断片であると推察され (Robertson, 1998)、エラトステネス海山の隆起と海溝での断層運動の両方を引き起こしていると思われる”と感じた。

したがって、読者はその記述にある造構環境にいささか困惑させられた。初期の仮説として存在しない沈み込み帯との会合に向かっているアフリカ-アラビアプレートの切断された断片がある。隆起と沈降があり、高角の正断層運動による著しい垂直地殻変動がある。さらに、河川の陸上堆積によって取り巻かれた閉じた環境にあると十分想像できるような著しい堆積作用がある。最後に、大陸地殻は定義により沈み込まない。

合衆国海軍の全域をカバーした調査は、その地形の中央を通る明瞭な東西方向の断裂を明らかにしている。いくらか類似した状況として、小笠原海台が、そこを通

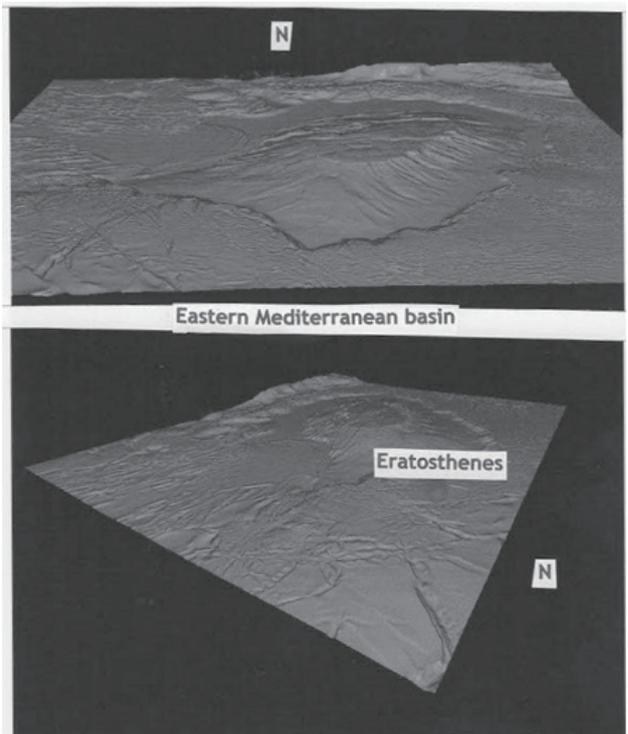


図 11. 東地中海海盆中のエラトステネスギョー。この図は全域をカバーしたマルチビーム水深測量データから編集したもので、垂直方向をやや誇張してある。

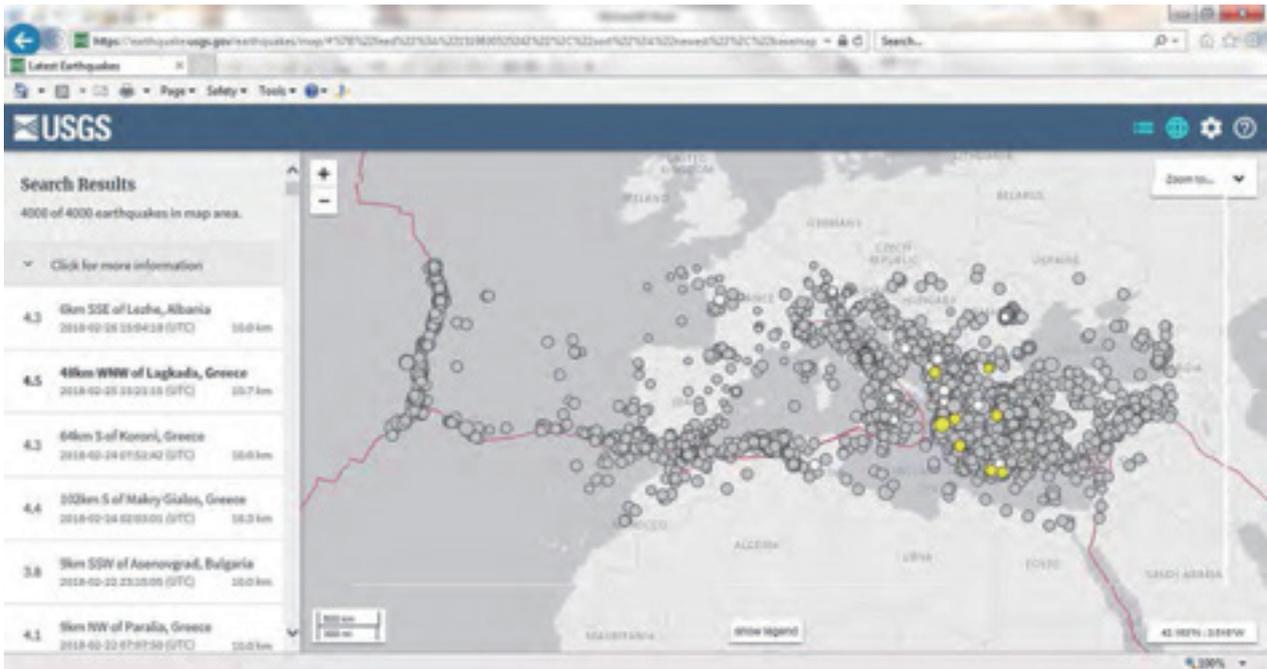


図 12. アフリカプレート北部境界，基本的には地中海海盆の最新（2018年更新）の NEIC 震央分布図。構造図は輪郭を描いている地震の下に描かれていて，この地域周辺の複雑な収束性地震に付け加わっているに過ぎない。強硬突破はプレートテクトニクスの“カスター將軍最後の姿勢”である*。対向する海溝，発散型境界をもたないプレート，そして私は処置に困った。反対側の海溝はおそらくアドリア海“プレート”の輪郭を描く。下方左のくぼみはアトラス山脈である。右の塊は“エーゲ海プレート”と呼ばれるものに違いない。

* 南北戦争で勇名をはせた北軍のカスター將軍 (G. A. Custer) は，1876年インディアン討伐戦 (リトルビッグホーンの戦い) で強引な作戦を強行して戦死。その最後の姿を描いた絵は“Custer’s Last Stand”と題されている。著者は，プレートテクトニクスの強引な解釈を，この無謀な作戦に例えているとようである。

る類似の断裂を有しているように見える。もし，沈み込みが生じているとすれば，ES はついには分裂し，キプロスの上に貼りつくだろう。

加えて，キプロスとトルコの間には，平行な海岸，ザグロス圧砕帯やマクラン収束境界* (Makran convergent margin) に類似した縦方向の山嶺といった形でいくつかの圧縮の証拠があるように見える。これは，地中海海盆のこの部分が，アラビア海海盆のように，地殻短縮のもとにあることを意味しているのであろう。

* マクラン収束境界 (Makran convergent margin) : インド洋北西部に位置し，ユーラシアとアラビアのプレートが収束する境界といわれている。

NEIC は，地中海地域では 1973 年から 1990 年まで約 37,500 回の地震があったと報告している (Smoot, 1997; Smoot et al., 2001; 2015)。大部分は 35°N, 33°E の数マイル以内に集中していて，深度は 200km 以浅である。事実，35,927 回は 49-km かそれより浅い表層部で発生している。1973 年以降のちょうど 4000 回の地震を 2018 年に再計算したところ，同じ輪郭が得られた (図 12)。[ちょうど同じ関心から，私は NEIC のデータベースを用いて 20,000 個の地震をプロットした。それは長い時間がかかり，このスケールでは読めない地図を作りだした。それはアゾレス断裂帯からイタリアの背骨を遡り，ギリシャの西沖へと続く溝を示している。これは，アフリカプレート全体に対する沈み込みに対して，それらの間に全体で約 200-km の線状の隔た

りがあることを示している！]

これらの地震 (図 12) は，テルセイラから東へ向かってポルトガル沖のホースシュー (Horseshoe) 海山まで続くアゾレス / ピコ* 断裂帯 (Azores/Pico FZ) を定めている。その地点からは 2 つの経路が存在する。1 つはスペイン南部を通り海岸に沿ってアルプスの北へ向かい，大陸上を黒海へと続く。南の支脈はアトラス山脈の外側をチュニジアへと向かう。そこにある分岐点からイタリアを北上してアルプスのそれらと出会い，渦巻構造を形成する。南の支脈はアトラス山脈を離れてイタリア南部を横断し，そこでエーゲ海における圧倒的多数のその他の地震と接合して，他の場所で記述したもう 1 つの渦巻構造を形成する。これらの地震の底は中央地中海にあるように見える。東方では地震の大部分が陸上で生じているので，これらの地震の中ではどこにも海溝の輪郭を描くことはできない。深い地震はこの地域にはまったく存在しないので，それによって定められる深く潜り込むスラブはない (図 13)。

* ピコ (Pico) : アゾレス諸島の 1 つであるピコ島。

大きなアフリカプレートは，地中海の小さな衝突帯である可能性のある例外を伴ってはいるものの，拡大海嶺に囲まれている。そこに沈み込み帯が存在するという者は皆，沈み込みについて何も知らないのだ。エーゲ海は地震の渦巻構造によって取り囲まれていて，それは一般に収束型境界を定めている。それはその通りで，それ以上ではない。大西洋

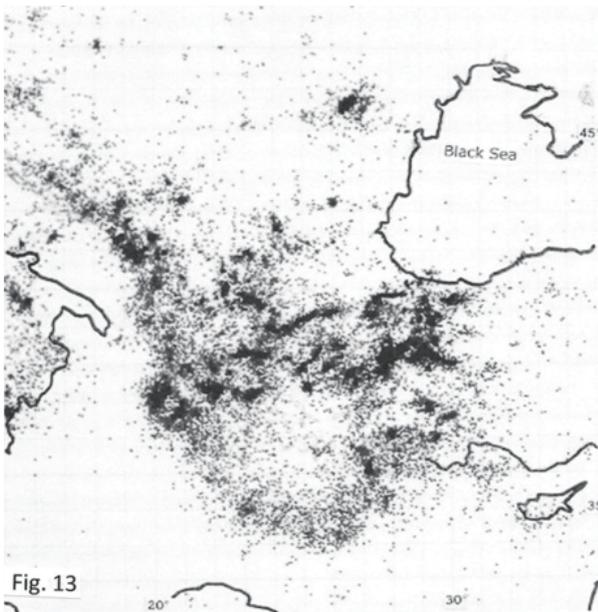


Fig. 13 明瞭化されたユーゲ海地域の震央の拡大図。地震の96%はこの地域の上部50-km以浅で生じている。極めて僅かな地震が200-kmより深いところで生じている。したがって、沈み込むスラブの輪郭は描けない (Smoot et al., 2001)。

プレートは拡大センター（発散型境界）により完全に取り巻かれていて、収束型境界を全く伴わない。北極地域には収束型境界は存在しない。このようにすべての水平方向の成長があり、太平洋海盆では基本的にほとんどすべての沈み込み帯が生じているので、それは縮小されなければならない。しかし、そうではない；太平洋海盆は、それ以前に存在したパンタラッサ海 (Neall and Trewick, 2008) が形成された750-Ma以降、それ自身を維持している。同等の拡大と沈み込みなしに、どのようにしてプレートを維持できるのか？

新たな仮説：インド・オーストラリアプレートは、ロードハウ海膨、チャレンジャー海台その他のような大陸の断片でカバーされている。南極プレートは、ケルゲレン海台、スコシア弧、フォークランド海台のような、それと関連した大陸の断片を有している。アフリカプレートは、マダガスカル、セイシェルブロック、マスカレン海台その他を有している。ゴンドワナのような超大陸は別にして、大陸地殻の薄化がその素材のすべてを引き延ばしたということは可能だろうか？おそらく、我々は超大陸さえ必要としない。我々はすでに、M.I. BhatとA.K. Dubeyが以前にPrecambrian Research and the Newsletterに公表した論文にもとづいて、インドがこれらの地域の近くにはなかったことを知っている。薄化した地殻が非常に薄くなって、場所によってはかなり弱くなり、断裂が形成された可能性がある。断裂は海山を漏出し形成することが知られている (Lowrie et al., 1986)。海洋マグマはこれらの割れ目へと誘導され、大陸地殻上に吐き出された。流れが増大するにつれて、割れ目は幅が広がり、過剰な熱により地殻の弱い帯を通して広がっていった。中央海嶺は初期の割れ目のリニアメントに従って形成された。どのケースでも、新

たに形成された中央海嶺はまったく海洋底拡大によるものではない。それらは単に、薄化した大陸地殻の上に存在する。それが、海嶺や海底上にそれほど多くの大陸物質が見いだされる理由である。中央海嶺が表面に多くのマグマ（重さと読む）をつけ加えるにつれて、古いマグマは海嶺から絞りだされ / 押し出され、それが磁気異常として現れ、海底拡大となる。それが、最も古い海底が180myかそれより若いと仮定される理由である。

超大陸と関連して持ち上がるこの疑問への答となるもう1つの可能性は、どこにも水平方向の動きを伴わない初期の地殻物質の脱ガスに関連するもの (Pavlenkova, 2017) である。地殻の薄化は地殻が薄くなる形で下から達成される。彼女の仮説を簡単にまとめれば、組成が地域的に異なる大陸と海洋の地殻は、海洋が存在する前の始生代の地殻の深部における液体の移流の不規則性による。この惑星の回転（私はこのトレンドに遠心力を加える）が原因で、インド - 大西洋半球にグループ分けされる大陸の大部分は、その低密度の枯渇したリソスフェアのアイソスタティックな隆起によって形成された。その後、地殻のリフティングが上述のように進行した。

謝辞：この論文を深い洞察力で検討し、優れた助言をしてくださったNina Pavlenkova氏に深く感謝する、彼女の「大陸と大洋の深部構造」に関する論文は完全に時宜を得たものであった。ありがとう、Nina。

文献

- Anderson, D.L., 1994. Superplumes or super continents, *Geology* 22, 39-42.
- Anderson, D.L., 2012. Questioning mantle plumes, *Physics Today* 65, 10-12.
- Anderson, D.L., 2013. The persistent mantle plume myth: Do plumes exist? *Australian Journal of Earth Sciences*, doi:10.1080/08120099.835283.
- Borisova, I., Moore, A.M.G., Sayers, J., Parums, R., Coffin, M.F., and Symonds, P.A., 2002. Geological framework of the Kerguelan Plateau and adjacent ocean basins, *Geoscience Australia Record* 2002/05, 120 p. plus diagrams and plates.
- Cheng, H., Zhou, H., Yang, P., Zhang, L., Ji, F., and Dick, H., 2016. Jurassic zircons from the Southwest Indian Ridge. *Scientific Reports* 6, 26260; doi: 10.1038/srep26260.
- Cherkis, N.Z., Fleming, H.S., and Brozena, J.M., 1989. Bathymetry of the South Atlantic Ocean, *Geological Society of America Map and Chart Series* MCH-069.
- Dalziel, I.W.D., Lawver, L.A., Norton, I.O. and Gahagan, L.M., 2013. The Scotia Arc: Genesis, Evolution, and Global Significance. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 41, 767-793.

- Eagles, G. and Jokat, W., 2014. Tectonic reconstructions for paleobathymetry in Drake Passage, *Tectonophysics* 611, 28-50.
- Farnetani, C.G. and Samuel, H., 2005. Beyond the thermal plume paradigm, *Geophysical Research Letters* 32, L07311, doi:10.1029/2005GL022360.
- Ferris, J.K., Vaughn, A.P.M. and King, E.C., 2002. A window on West Antarctic crustal boundaries: the junction between the Antarctic Peninsula, the Filcher Block, and the Weddell Sea oceanic lithosphere, *Tectonophysics* 347:1-3, 13-13.
- Fitzgerald, P., 1992. The Transantarctic Mountains of Southern Victoria Land: the application of apatite fission track analysis to a rift shoulder uplift, *Tectonics* 11:3, 634-662.
- Fitzgerald, P. 2002. Tectonics and landscape evolution of the Antarctic plate since the breakup of Gondwana, with an emphasis on the West Antarctic Rift System and the Transantarctic Mountains, *Antarctica at the Close of the Millenium*, Royal Society of New Zealand Bulletin 35, 453-469.
- Fourel, L., Limare, A., Jaupart, C., Surducan, E., Farnetani, C.G., Kaminski, E., Neamtu, C. and Surducan, V., 2017. The Earth's mantle in a microwave oven: thermal convection driven by a heterogeneous distribution of heat sources, *Experiment in Fluids*, 58: 90, doi:10.1007/s00348-017-2381-3.
- Gurnis, M., Müller, R.D. and Moresi, L., 1998, Dynamics of Cretaceous vertical motion of Australia and the Australian-Antarctic discordance, *Science* 279, 1499-1504.
- Gurnis, M. and Müller, R. D., 2003. Origin of the Australian–Antarctic Discordance from an ancient slab and mantle wedge. In: *Evolution and Dynamics of the Australian Plate*. Special Papers Geological Society of America 372, 417-429.
- Horner-Johnson, B. C., Gordon, R.G. and Argus, D.F., 2007. Plate kinematic evidence for the existence of a distinct plate between the Nubian and Somalian plates along the Southwest Indian Ridge. *Journal of Geophysical Research* . 112: B05418.
- Humbrey, M.J., Ehrmann, W.U. and Larsen, B., 1991. Cenozoic glacial record of the Prydz Bay continental shelf, East Antarctica, *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results* 119, 77-132.
- Jacobs, J., Pisarevsky, S., Thomas, R.J. and Becker, T., 2008. The Kalahari Craton during the assembly and dispersal of Rodinia, *Precambrian Research* 160:1-2, 142-158.
- Kempler, D., 1998. 53. Eratosthenes Seamount: the possible spearhead of incipient continental collision in the Eastern Mediterranean. In: Robertson, A.H.F., Emeis, K.-C., Richter, C., and Camerlenghi, A. (eds), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 160, 840 p.
- Kempton, P.D., Pearce, J.A., Barry, T.L., Fitton, J.G., Langmuir, C. and Christie, D.M., 2002. Sr-Nd-Pb-Hf isotope results from ODP Leg 187: Evidence for mantle dynamics of the Australian-Antarctic Discordance and origin of the Indian MORB source. *G³* 3:12, 1074. doi:10.1029/2002GC000320.
- Klemt, C. and Jokat, W., 2015. The crustal composition of the Falkland Plateau, hdl:10013/epic44940.
- Koppers, A.A.P., Staudigel, H., Pringle, M.S. and Wijbrans, J.R., 2003. Short-lived and discontinuous intraplate volcanism in the South Pacific: Hot spots or extensional volcanism? *G³* 4/10, doi:10.1029/2003GC000533.
- Krasheninnikov, V.A., Udintsev, G.B., Mouraviov, V.I. and Hall, J.K., 1994. Geological structure of Eratosthenes Seamount. In Krasheninnikov, V.A., and Hall, J.K. (Eds.), *Geological Structure of the North-Eastern Mediterranean (Cruise 5 of the Research Vessel Akademik Nikolaj Strakhov)*, 113–130.
- Leat, P.T., Luttinen, A.V., Storey, B.C. and Miller, I., 2006. Sills of the Theron Mountains, Antarctica: Evidence for long distance transport of mafic magmas during Gondwana breakup. *Dike Swarms-Time Markers of Crustal Evolution*, Proceedings of the International Conference, IDC-5, 183-199.
- Leybourne, B.A. and Adams, M.B., 2000. The Australian-Antarctic Discordance: pressurized vs. non-pressurized ridge system, *OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition. Conference Proceedings* 3, 1991-1996. doi: 10.1109/OCEANS.2000.882231
- Lorenzo, J.M. and Wessel, P., 1997. Flexure across a continent-ocean fracture zone: the northern Falkland/Malvinas Plateau, South Atlantic. *Geo-Marine Letters* 17:1, 110-118.
- Lowrie, A., Smoot, N.C. and Batiza, R., 1986. Are oceanic fracture zones locked and strong or weak?: New evidence for volcanic activity and weakness, *Geology* 14, 242-245.
- Ludwig, W.J., 1980. Geologic framework of the Falkland Plateau. *Initial Reports of the DSDP* 71, 281-293.
- Marks, K.M., Sandwell, D.T., Vogt, P.R. and Hall, S.A., 1991. Mantle downwelling beneath the Australian-Antarctic discordance zone: evidence from geoid height versus topography. *Earth and Planetary Science Letters* 103, 325-338.
- Marks, K.M., Stock, J.M. and Quinn, K.J., 1999. Evolution of the Australian-Antarctic discordance since Miocene time, *Journal of Geophysical Research* 104:B3, 4967-4981.
- Marschall, H. R., Hawkesworth, C.J., Storey, C.D., Dhume, B. and Leat, P.T., 2010. The Annandagstoppane Granite, East Antarctica: Evidence for Archaean intracrustal recycling in the Kaapvaal-

- Grunehogna Craton from Zircon O and Hf isotopes. *Journal of Petrology* 51:11, 2277-2301.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-Kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C. and Choi, D.R., (ed) D.M. Hull, 1996a. *Surge Tectonics: A New Hypothesis of Global Dynamics* (Kluwer Academic Publishing, Dordrecht), 323p.
- Meyerhoff, A.A., Boucot, A.J., Meyerhoff-Hull, D., and Dickins, J.M., 1996b. Phanerozoic faunal and floral realms of the earth: the intercalary relations of the Malvinokaffric and Gondwana faunal realms with the Tethyan faunal realm. *Geological Society of America Memoir* 189, 78p.
- Mieth, M. and Jokat, W., 2014. Banded iron formation (?) at Grunehogna Craton, East Antarctica—Constraints from aeromagnetic data. *Precambrian Research* 250, 143-150.
- Morgan, W.J., 1971. Convection plumes in the lower mantle, *Nature* 230, pp.42-43.
- Morgan, W.J., 1972. Plate motions and deep mantle convection, *Geological Society of America Memoir* 132, pp.7-22.
- NASA, 2011. Operation IceBridge Returns to Antarctica, NASA Earth Observatory.
- Neall, V.E. and Trewick, S.A., 2008. The age and origin of Pacific islands: a geological overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363:1508, 3280-3291.
- Olbertz, D., Wortel, M.J.R., and Hansen, U., 1997. Trench migration and subduction zone geometry. *Geophysical Research Letters* 24:3, 221-224.
- Pavlenkova, N.I., 2017. Deep structure of continents and oceans and their origin. *New Concepts in Global Tectonics Journal* 5:4, 488-501.
- Pysklywec, R.N. and Mitronica, J.X., 1999. The role of subduction-induced subsidence in the evolution of the Karoo Basin, *Journal of Geology* 107:2, 155-164.
- Robertson, A.H.F., 1998. Formation and destruction of the Eratosthenes Seamount, Eastern Mediterranean Sea, and implications for collisional processes, In: Robertson, A.H.F., Emeis, K.-C., Richter, C., and Camerlenghi, A. (eds), *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results* 160, 681-699.
- Royer, J. Y., Patriat, P., Bergh, H. W. and Scotese, C.R., 1988. Evolution of the Southwest Indian Ridge from the Late Cretaceous (anomaly 34) to the Middle Eocene (anomaly 20). *Tectonophysics* 155:1-4, 235-260.
- Sauter, D., Sloan, H.; Cannat, M., Goff, J., Patriat, P. Schaming, M. and Roest, W. R., 2011. From slow to ultra-slow: How does spreading rate affect seafloor roughness and crustal thickness? *Geology* 39:10, 911-914.
- Sclater, J.G., Grindlay, N.R., Madsen, J.A. and Rommevaux-Jestin, C., 2005. Tectonic interpretation of the Andrew Bain transform fault, Southeast Indian Basin. *G³* 6:9, doi:10.1029/2005GC000951.
- Semb, P.H. and Lie, O., 2009. Characterization of the Eratosthenes Seamount Offshore Cyprus Using Dual-sensor Streamer Technology, 1st EAGE Conference & Exhibition, Amsterdam, The Netherlands, 8 - 11 June 2009.
- Shipboard Scientific Party, 2000. Leg 183 summary: Kerguelen Plateau—Broken Ridge—A large igneous province. In M.F. Coffin et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports* 183: College Station, TX: Ocean Drilling Program, 1–101.
- Sheth, H.C., 1999. Flood basalts and large igneous provinces from deep mantle plumes: fact, fiction, and fallacy, *Tectonophysics* 311/1, 1-29.
- Smoot, N.C., 1997. Aligned aseismic buoyant highs, across-trench deformation, clustered volcanoes, and deep earthquakes are not aligned with the current plate-tectonic theory. *Geomorphology* 18:3/4, 199-222.
- Smoot, N.C., 2007a. Wherefore the Tethys Sea(s)? *New Concepts in Global Tectonic Newsletter* 45, 21-30.
- Smoot, N.C., 2007b. *Marine Geomorphology: 2nd Edition*, (X-libris Corp, Philadelphia USA), 154p.
- Smoot, N.C., 2015. *Marine Geomorphology 3rd Edition* (MindStir, Portsmouth), 265p.
- Smoot, N.C., 2018. Is the placement of Pacific basin plateaus and rises dependent upon megatrend intersections? *New Concepts in Global Tectonics Journal* 6:1, 37-72. Smoot, N.C., Choi, D.R. and Bhat, M.I., 2001. *Active Margin Geomorphology*, (X-libris Corp. Philadelphia USA), 164 p.
- Stamps, D.S., Calais E., Saria E., Hartnady C., Nocquet J., Ebinger C.J. and Fernandes R.M. 2008. A kinematic model for the East African Rift, *Geophysical Research Letters* 35, L05304, doi:10.1029/ 2007GL032781.
- Williams, S.E., Whittaker, J.M. and Muller, R.D., 2012. Full-fit reconstructions of the southern Australian margin and Antarctica—implications for geology between Australia and Antarctica, *Proceedings of the Eastern Australasian Basins Symposium IV*, Brisbane, QLD.
- Wilson, J.T., 1963. A possible origin of the Hawaiian Islands, *Canadian Journal of Physics* 41, 863-870.
- Wilson, J.T., 1965. A new Class of Faults and their Bearing on Continental Drift, *Nature* 207 (4995), 343–347.
- Zitellini, N., Gràcia, E., Matias, L., Terrinha, P., Abreu, M.A., DeAlteriis, G., Henriët, J.P., Dañobeitia, J.J., Masson, D.G., Mulder, T., Ramella, R., Somoza, L., and Diez, S., 2009. The quest for the Africa-Eurasia plate boundary. *Earth and Planetary Science Letters* 280, 13-50.

太平洋底の環状構造およびその解釈についてのいくつかの課題

Ring structures of the Pacific Ocean bottom and some problems with their investigations

Alexandr A. Gavrilov

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, Vladivostok, Russia gavrilo@poi.dvo.ru

(久保田喜裕・柴 正博・矢野孝雄・宮城晴耕・角田史雄 [訳])

要旨：リソスフェアの内成的環状（訳者注：リング）構造（RS）の特性に関する基本的形態が提案される。それらは、ガス-流体や熱塊流（heat mass flow）の移送、火成活動の中心部の発達、マントルダイアピル、プルームテクトニクスを含む内成的造構-火成活動の最も重要な指標である。パラメータや起源、年代の異なる環状構造は、太平洋底に広く分布し、海底の造構-火成活動域の典型的で基本的な構造（海嶺、隆起帯、いくつかの海盆や島弧系）を示している。

グーグルアース・プログラムの画像を用いた太平洋水深図の形態計測学的・形態学的解析にもとづいて、100を超える環状構造が発見されてきた。これらの対象物の主要な階層的、地形学および発生的分類が、標準的で規模の大きな対象物の簡単な記載とともに検討された。隕石衝突孔のような凹地タイプの環状構造を調べることができるが、それは後の造構-火成活動の過程で変貌した。後期中生代～前期中新世の間、脈動的に発達し、それまでの変動（regime）を引き継いだ、地域を越えて連続する深部断裂帯の安定したパターンと長期にわたって活動的な内生作用の存在は、プレートテクトニクス仮説を否定する。

太平洋と他の海洋底の環状構造を地形・地質的に作図することによって、それらを確認し体系化する必要がある。

キーワード：環状構造、太平洋底、起伏（relief）、弧状-地塊海膨（arch-block rise）、海嶺（underwater ridge）、火山、プルームテクトニクス

(2018年4月18日受付, 2018年5月11日受理)

はじめに

内成的環状構造は、永きにわたって、地形家、地質家、地球物理家の関心を引きつけてきた。なかでも、それらの対象物をもつ最も重要な意義として、鉱物資源生成に関連づけられている。既存のデータ（Katz et al., 1989）によれば、それらは鉱物資源や多くの炭化水素鉱床として知られている場所の70%をも規制している。環状構造の主要な特殊性は、互いに関連する系の集中部に形成される火山活動やガス-流体、他の構造形成中心（structure-forming centers）の存在である。環状構造のパターンや地質環境にもある特性がみられる：放射状-環状断層や円錐状断層、起伏のある放射状-環状帯、構造性-本質的複合岩体（structural-substantial complexes）、地球物理的な場の分布（geophysical fields distribution）。これらのすべての形態と特質から、環状構造と同じ大きさの地塊（isometric-block）や渦状対象物（vortical objects）とを区別することができるので、転移の注入メカニズム（the injective mechanism of dislocations）が指摘できる。火山性ないしは造構-火山性の形態形成、変成作用、火成岩生成と鉱床形成現象の作用がその領域内で同時に生じるため、「巣状」系（Focal systems）は多くの点でユニークな調査対象である。

そのような転移（dislocations）を記載するために、環状複合物や環状構造、中心タイプ形態（forms of the central type）・断裂・渦・クモの巣状システム（focal system）の形態など、さまざまな意味

をもつ見方が、環状構造という用語に付け加えられ使われてきた。これらの区別は、対象物の地形的、地質構造的ないしは成因的な際立つ特徴によるのみ決定される。とくに、中心タイプの形態構造（MCT, morphostructure of central-type）という用語は、地形学的方法や宇宙活動からのリモートセンシングデータが環状構造の識別・研究によって今日広く使用されて以来、ロシア語の科学文献にも適用されている。

環状構造や環状火成活動の問題を専門とする初期の研究者は、20世紀の共同研究組織（the 20th century complexes）の初期に現れた（Harker, 1904; Esher, 1933）。後に、専門家はこれらの対象を“外来的”形成（“exotic” formations）と記載したが、宇宙からの飛来物（the Earth remote sensing materials from space）が現れた後、調査への関心は急激に増加した。宇宙の画像は、広がった地理的広がりとはさまざまな大きさと成因タイプの環状構造の両者を示してくれた。比較的短期間に、ロシアにおけるこの問題のさまざまな側面に向けられた数百・数千の出版物の普及に関連したある種の情報の急増があった。

A.V. Avdeev, G.Z. Popova, L.I. Salop, E.V. Sveshnikova, V.V. Solovyov, I.N. らの先駆的な研究がある。Thomson や他の地質・地形学者は、宇宙地質学のいくつかの発見において多くの点を予測し、科学界で大きな反響と称賛を受けてきた。外国人専門家の宇宙からの地球画像の解釈の結果に対する反応は、はるかに控えめであっ

た (Saul, 1978; Kutina, 1995; Driscoll and Campbell, 1997; など) が, それは新しいデータが明らかに, プレートテクトニクスの“無理に規範に合わせようとする土台 (Procrustean bed)”に適合しなかったためである. 環状構造研究の全体的な科学的方向性は, 課題を探究するすべての静的, 動的, 遡及的 (retrospective) および階層的 (hierarchical) システムの多様性を含めて, ロシアにおいて形作られてきた. 多くの惑星および地域計画が公表され, 数多くの物理的および力学的実験が実施され, 地震性構造-形態運動 (focal tectonic and morphogenesis) および鉱床濃集構造, 環状金属生成の概念が定式化されてきた (Solov'ev, 1978; Morphotectonic..., 1988; Ezhov and Khudyakov, 1984; Thomson et al., 1984; Katz et al., 1989).

さまざまな地域内の異なる成因, 大きさ, 階層, 年代をもつ環状構造の形態学と内部構造の特性に関する研究は, マグマ中心やクモの巣状システムの形成と発達に関する多くの一般的な要因だけでなく, 地質環境のいくつかの特性を再現し評価することを可能にする. クモの巣状構造の幾何学的パラメータとマグマだまり, 内成活動の中心部の深さには相関がある. 噴出物組成からみた火山形態の規制 (A dependence of volcanic morphology from the eruption products composition), 火成活動のタイプと内成的形態の規模 (scales of endogenous regimes) との確かな関係, 地域の構造的な位置 (tectonic position of regions) はよく知られている.

環状構造の特殊な階層は, 隕石衝突クレーター (impacts craters) や衝突痕 (astroblemes) による隕石の落下に関連している. 月, 火星, 金星における類似した内成的で宇宙起源 (衝突) の環状構造の存在は, それらを比較惑星研究の重要な対象にしている. しかし, 現時点では, 海洋底の起伏や地質が十分に研究されていないため, それらを認識することはできない. 水域は私たちの惑星表面の 70% 以上を占めているため, 海洋や海底の環状地形と環状構造の発見, 記載, マッピングと識別はきわめて重要である. 太平洋底のローカルな火山構造と個々の火山の形態学的なタイプに関する情報は比較的多いが, 上位階層のクモの巣状システムの抽出 (indication), 識別, 解析の問題点についてはさらなる研究が必要である. それらは, いくつかの規則的に空間配列した火山群のなかや, マントルダイアピルおよびプルームのような深部注入転移 (deep injective dislocations) と関連した集団を含む. それが理由で, 長くつづいた大規模な環状構造の造構・火成活動について説明することができる. これらの対象にはいくつかの出版物があるが (Kulakov et al., 1987; Ezhov, Nikonova, 2004; Grachev, 2000; Gavrilov, 1997, 2000, 2013 and 2015), 歴

大で重要な研究の端緒につただけである. プレートテクトニクスのイデオロギーにもとづいて作成された新しい西太平洋構造図 (Structural Map ..., 2016) は, 大規模な環状構造と中心タイプの形態構造 (MCT, morphostructure of central-type) の存在を完全に無視しているのは興味深い.

小論で環状構造の問題のすべての側面を考察することは不可能である. 本論の目的は, 太平洋の底面と内部における深部注入転移 (deep injective dislocation) の応答および軌跡を, 関連する主要な階層的, 形態的および成因的な環状構造のタイプを簡潔に記載し, 解析することである. そのような上位の対象の調査, 抽出, 識別の問題点には, 議論の余地が多く残っている.

環状構造の抽出 (indication) および調査の方法論 (methodology) および解析方法 (methods) に関するいくつかの側面

地殻やマントル内のエネルギーや物質移動の現象, および注入 (噴出性, 爆発性, 貫入性, 固体貫入) 転移形成過程 (the processes of injective (effusive, explosive, intrusive and protrusion) dislocations formation) は, 陸上や海底の内成的環状構造の生成を引き起こす. 放出された物質 (displaced substance) は, 気体状, 液体状, 可塑性, または準可塑性状態であり, 流体爆発性クレーターからダイアピルまでの全変動対象物 (objects of entire spectrum) の形成を規定する. 地震性構造運動には普遍的な要因があり, 異なる階層と成因をもつ環状構造の形態的・構造的相似性を引き起こす. クモの巣状システムの相似性に関する理論は次のように定式化することができる: **すべての注入転移 (クモの巣状システム) は, もとのメカニズムや場所の深さ, 媒介変数特性, 年代や成因のタイプとは関係なく, やや等方性の地質環境のなかで, それらが発達する間に, 中央型の対称性をもつ相似的な形態と内部様式をつくる傾向がある.** このローカルなクモの巣状構造の理論モデルにもとづいて, マントルダイアピルとプルームに関連した多くの特徴と大深度の環状構造の発達を解明するため, よく確立された代表的な地形学および地質-地球物理学的データが原理的に適用可能である. 惑星, 地域, ローカルな環状構造と中心タイプの形態構造 (MCT, morphostructure of central-type) との間の相似性は, 巨大な対象物の発見への充分信頼できる徴候である. クモの巣状システム仮説の相似性から, 地質的に不規則な形態として, マントルダイアピルとプルームを外挿する行為 (exercise) は誤っている. これらの深部注入転移は, 地形学的, 地質学および地球物理学的な異常, 形態, および中央型対称性 (central type symmetry) を有する構造としてのみ地球表層内に現れることができると

考えられている (Gavrilov, 1992, 2015, 2017).

はじめに、架橋作用 (a motion of cross-linking) によるキュリーの原理 (the Curie principle) に則って、マグマ・ガス-流体流は、伝統的に円錐形対称形式 (cone symmetry formula) に記されている地質環境と地球の重力場の力線または対称性に従う。次に、マグマの中心とたまり場の形態は、地質環境の均質性の度合いだけでなく、またマグマの組成やその他の構造的かつ実質的な状態だけで決定されるのではなく、エネルギー消費と損失を最小限にする一般的な熱力学的原理によっても決定される。マグマや蒸気、ガス-流体のたまり場は、外表面 (球とその相似物) の体積と面積との最適な比を有する形態によって特徴づけられる。

内成的物質は、そのような深部のたまり場から放出され、円筒状チャンネルに沿って移動するが、これは静水圧降下によって地殻の上部の円錐内部に変換される。比較的等方性の環境では、横断面が円形の一般的なマグマ体 (ラコリス, ロポリス, ストック, バソリスなど) が形成される。マグマ体 (アクモリス, フォノライトなど) のより複雑な形態は、異方性環境 (キュリー原理の対称性重畳, 訳者注: 重ね合わせの原理) におけるメルトの運動および固化によって現れることができる注入転移 (injection dislocations) に関係する。とくに、大規模なせん断断裂帯内で発達したクモの巣状構造は、細長い楕円形、螺旋形または渦状形態の要素を有することができる。したがって、環状構造の構成 (construction) と形態は、エネルギー生成中心特性やエネルギー塊移動過程だけでなく、地質環境の特性についても情報を保持している。

一般的な熱力学的前提条件に加えて、いくつかの特定の地質学的要因は、パラメータ的 (parametric) および成因的な特性をもつ多種多様な環状構造の形態学的、構造的および動力学的な相似性 (収束発達) (convergent development) を提供する。本研究の結果は以下の点に要約できる: エネルギー発生中心 (energy-generating centers) の存在, 内部の層状構造, 内成的エネルギー流の一般的な方向と惑星表面への物質移動, 惑星重力場の対称性, 震源過程 (focal processes) による内成的物質移動 (endogenous material migration) の相状態 (phase states) や形態, 鉱物組成 (modes), 状態の共通性. 円錐形の流体爆発クレーターであるカルデラは、ガスと流体を伴うマグマ性物質の高い肥沃さによって生じる。噴出型, 貫入型および固体貫入型 (protrusive) のダイアピル・ドームは、弱く流動するマグマの典型的であり、これは可塑的および準可塑的な半固結状態 (semi-hardened state) で作用する。注入転移モデル化 (injective dislocations modeling) に関する歴

大な実験は、エネルギー、マグマ中心 (クモの巣) (magmatic center (focus)) の膨張および物質移動の過程に関連したそれらを実現する一般的な概念 (general scheme) が、ひとつあるいはそれ以上の岩層に相当するいくつかの物理的障害 (physical barriers) を乗り越え流れることを示している (Ezhov, Khudyakov, 1984; Morphotectonics..., 1988; etc). 注入転移のパラメータ, 形態および規模はさまざまであるが、放射状・同心円状断層や他の特徴 (環状構造に典型的) の空間構成 (spatial organization of framework) は保持されている (Gavrilov, 1992).

陸上で発展する (evolving) 環状構造に利用される識別可能な指標と応答の複合物 (complex of identifiable signs and responses) は、地形的, 地質的, 地球物理的な環状異常 (circular anomalies), および空中写真判読結果, 衛星画像解釈のデータを含んでいる。一連の徴候は、抽出された物体の大きさ, 階層, 年代, および現地探査の程度に依存し, また異なっている。水系 (water courses) や分水嶺 (分水界) (watersheds (divides)) の放射状および放射状-同心円状パターン, 高地での放射状-同心円状累帯 (radial-concentric zoning), 地塊, リニアメント, および他の形態構造要素に対応する空間分布は、陸上の環状構造の典型的な地形的徴候である。環状構造 指標の地質的地球物理的基準は以下のとおりである: 放射状-同心円状パターン断層, 地塊およびマグマ中心突出 (magmatic centers projection); マグマ性の接触変成岩地域の存在; 注入転移に典型的なマグマ性および構造的形態の存在; マグマ中心の長期的発展に関するデータ; 火成活動の規模; 地球物理的・地球化学的異常の円形・環状構造分布 (Solov'ev, 1978; Ring structures ..., 1989; Morphotectonic systems ..., 1988.).

地形学的な材料に加えて、地殻やリソスフェアの構造や厚さ, とくに地磁気・重力・地熱異常図に関する地質構造解析や地球物理学的情報の広域的・世界的規模の詳細なデータを適用する必要がある。デジタル起伏モデルの遂行は、形態計測および形態データ (高度や海底斜面勾配の推定, 等深線の厚さ, リニアメント方向解析などの方法) の処理を自動化することを可能にする。この場合、環状構造の抽出効率が向上し, 作図結果の再現性は主観的要因を減少することによって達成される (Gavrilov, 2017).

地形学的方法と乾燥地帯の環状構造研究で使用されているすべての応答と徴候の複合形態 (a complex of all responses and signs) は、海底地域に関する注入転位を抽出し, 識別することによって、十分に修正できることは明らかである。太平洋底の環状構造の主な特徴は次のとおりである:

- 放射状・同心円状の海底帯状配列および関連した空間構成（地塊，海底隆起，ギョーなど）および火山体形成，噴出，溶岩ドームおよび他のマグマ中心の応答；
- 火成岩や大きさや年代の異なる火山構造の集中；
- 断層の結合，海嶺および連鎖する火山性構造の交差部；
- 放射状および同心円状の断層および同様の空間的なブロック形態のグループの存在（“壊れたディスク状構造”）およびマグマ中心突出；
- 大規模な逆方向の断層（a large diametric faults）や逆方向の地塊のさまざまな発達によって生じた環状隆起や陥没凹地（depression）の形態的および地質的非対称性。
- 引き延ばされた形態，大規模な噴火作用や変成作用に関連したもの；
- 地球物理的（重力，地磁気，地熱）異常の存在。放射状・同心円状の帯状配列やパターンが示す
- 海洋や海底の起伏における Google Earth 画像の環状異常

フィジーやガラパゴス諸島，そして東太平洋海嶺内やカリフォルニア半島の近くでも，太平洋底の高熱流量が観測されている（地質・地球物理学アトラス...，2003）。ほかに知られている地熱異常は，規模や重要性がより小さい。利用可能なデータ（Su et al.，1994）によれば，太平洋スーパープルームは第2ランクのプルームに分かれる。著者の考えでは，それはマントルダイアピルと定義するのが適切である。このようなダイアピルに関連するホットスポットは，たとえば，イースター島地区（座標 25°S，110°W）付近，サモア，タヒチ地域（15°S，168°W，18°，148°W），サンゴ海の陥没凹地（15°S，155°E），ソロモン諸島の東方（5°S，165°E）（Malamud and Turscotto，1999）など。

実施された調査は，太平洋海洋底の約 60～70% をカバーする 1：2000,000 スケールの水深測地図と GEBCO World map（1984），および Google Earth の画像で使用されているいくつかの高度および海底地形データにもとづいた。図 1 は太平洋底に示された典型的な環状構造の一例を示す。放射状・同心円状断層に連結した外側の環状断層，明瞭な正反対の断裂帯（the powerful diametrical fracture zone），クレーター，および一連の噴出物や溶岩ドーム（ローカルな火山体の突出部；projections of local volcanic constructions）などの特徴的な構造的・形態学的特徴が画像上で判読される。現存のデータを分析することで，地殻の泡状組織（bubbly texture）が火山性環状構造の典型であると主張できる。これは，地質環境構造体組織（geological environment structuration）におけるガス-流体流の特殊な役割を反映している。

環状の海底地形異常を伴う起伏底部の地形学的・地形計測的配置（Morphographical and morphometric schemes）は，（環状構造の特徴を有する）そのような異常の総数が 150 を超えることを示す。もちろん，これは太平洋底内に存在するマグマ性および造構-火成構造のごく一部であり，より詳細な研究によって指摘され確認される。環状構造として識別される対象物は，地形的・構造的な位置，およびパラメータ，形態，および構造基盤（infrastructure）によって区別される。環状構造の半径抽出頻度図（The diagram of RS percentage frequency of radius）（図 2）は，R = 300km までの完全で一連の対象物系の存在を示している。R が 400km を超える大規模構造は個々に離散的な系を形成している。最大の環状構造は 1,000km 以上の“R”をもっている。環状構造のサイズの減少に伴い，その数が急激に増加すると推定される。これは外挿される範囲である。最も重要な部分は，既存のデータサンプル内の“R” 50-60，80-90，140-150，170-180，190-200，および 290-320 km のローカルな環状構造の関係割合（percentage relation）に示される。“R” 110-120，130-140 km の対象物は広く分布してしない。陸上の研究（Solov'ev，1978；Ezhov and Khudyakov，1984）によると，環状構造の半径はエネルギー生成とマグマ中心の深度に対応し，地殻とマントルの層構造の不均質境界に集中することが確認されている。

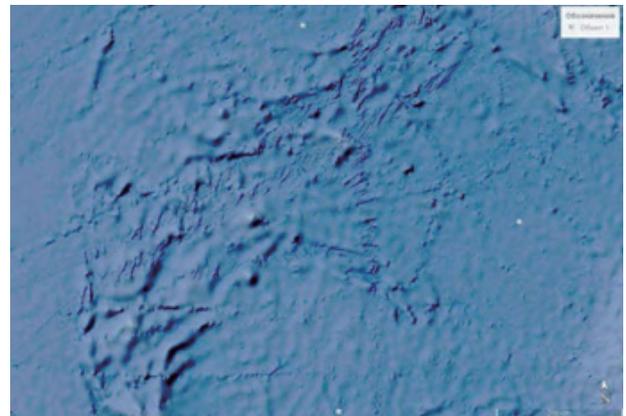


図 1. 太平洋底の環状構造（Google Earth の画像データ）。座標 N9°00'，E177°30' は幾何学的中心；R = 280-300 km はマーシャル諸島から東へ約 700 km に位置している。

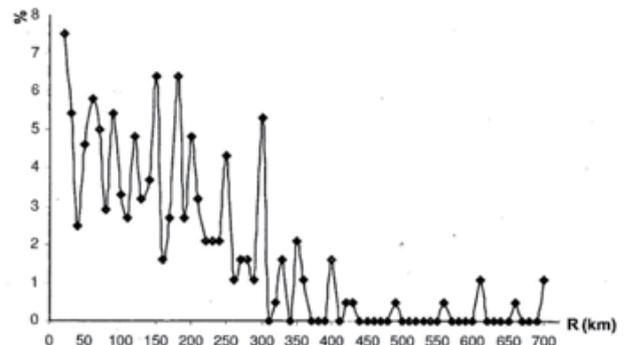


図 2. 太平洋底内における環状構造半径の百分率分布

そのような研究方法は、環状構造を内成的活動中心 (endogenous activity centers) の指標としてだけでなく、リソスフェアとマンツルの構造の推定のためにも利用できる。したがって、地殻やマンツル上部、中部、下部に区分されている深度配置 (depth allocation) にもとづいた環状構造の分類が可能である。地球規模で最も大きい顕著な環状構造には、“overplume arches” (これらの大きな深い注入転移上に位置するメガアーチ: mega-arches situated above these large deep injective dislocations) および造構-火成海嶺 (tectono-magmatic rises) を含んでいるが、それはマンツルダアピルと関連し、火山群やギョー群に対応している。数百 km の直径をもつスーパー火山 (super-volcanoes) は、特別な場に位置づけられる。次の階層レベル (hierarchical level) は、個々の楕状地性、成層火山体、溶岩性、噴出物、貫入、突出したドームなどで構成されている。環状構造の負の階層系 (The negative RS hierarchical series) は、大規模な火山-構造的陥没凹地、ローカルな火山構造陥没性陥没凹地、カルデラとクレター、および流体爆発性円錐体 (fluid-explosive cones) に対応した深海等深盆地 (deep-water isometric basins) で構成されている。現代の陸上・島弧火山活動地域 (カムチャッカ、ハワイなど) との類似点から、太平洋底の初生的環状構造としての流体爆発性円錐体 (fluid-explosive cones)、溶岩、突出したドーム、火山岩頸、およびその他の比較的小さな形態を検討することは意味がある。マグマ規制断層 (magma-controlling faults) とともに、環状構造は、連鎖連鎖火山列や古期火山列-海嶺・海底山脈の造構的枠組み (the tectonic framework) であるギョーを形成している。変換対称性 (translation

symmetry) は、そのような環状構造線形結節点系 (RS linear-node systems) に特徴的である。

数多くの地質学的文献 (Vasil'ev, 2009; Jatskevich, 2000; Yano, 2015; Marakushev et al., 2005; Choi and Vasiliev, 2008. Golubeva, 2009), および地球物理学的文献 (International..., 2003; Fukao, 1992; Pacific ..., 2006; Choi et al., 2017; Choi, 2017) が中央型地形異常 (central type geomorphological anomalies) の検証に利用された。地形学的、地質学および地球物理学的境界の間の相違、および本質的・構造的・地形的特徴の成帯性 (zonality) の相違は、陸上の環状構造図の作成によって留意することが必要である。通常、断裂帯は環状構造境界の主要なタイプである。同時に、地形的・構造的・実質的境界 (substantial boundaries) の相関性は、転移形成 (dislocation formation) の深さ、マグマ作用のタイプとエネルギー、クモの巣状システムの発達 (focal systems development) の年代および段階などに依存するため、環状形態の輪郭 (circular form contours) にはいくつかの相違がある。

海洋水層にある巨大な漏斗 (渦?) の “oveplume” メガアーチ (mega-arches) とブルーム (Gavrilov, 2015) との関連を示す興味深い現象がある。それは、地球規模の環状構造の進化 (図3・図4) によって行使される可能性がある。たとえば、漏斗 (funnels) のひとつは、北西太平洋のレリックメガアーチに対応している。この環状構造は、放射状の海嶺 (underwater ridges) と扇形ブロック隆起システム (sectoral block rises system) の形態において、局所的な起伏として現れているに過

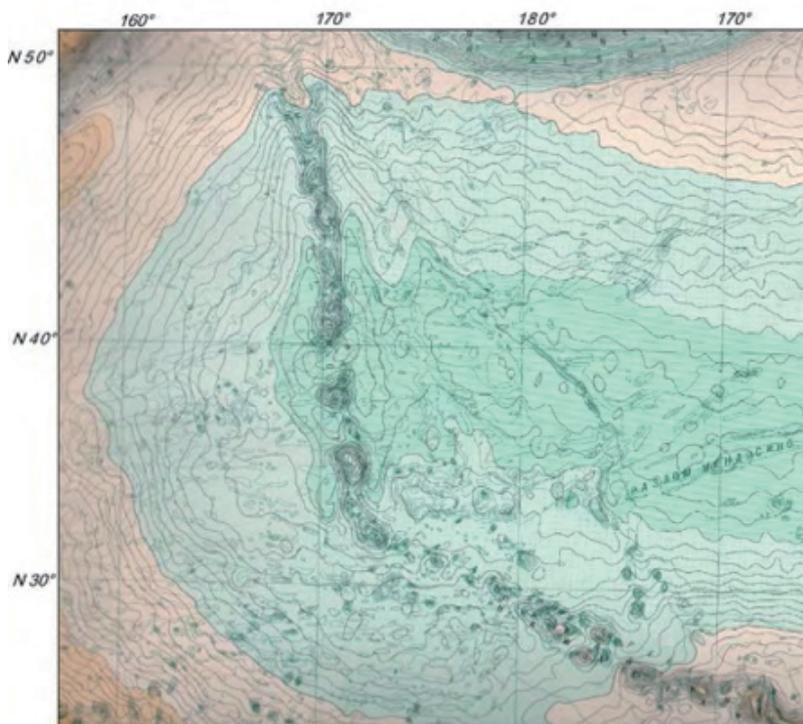


図3. NWP メガアーチ内の海底面高度変化 (Sea surface heights variation) (円錐に描かれた水域: water drawn cone). 高さはセンチメートル単位: 2000年 (青色) ~+ 5000 (黄色). 高度ゼロの線 (Zero line) は青色と黄色の境界線 (International ..., 2003).

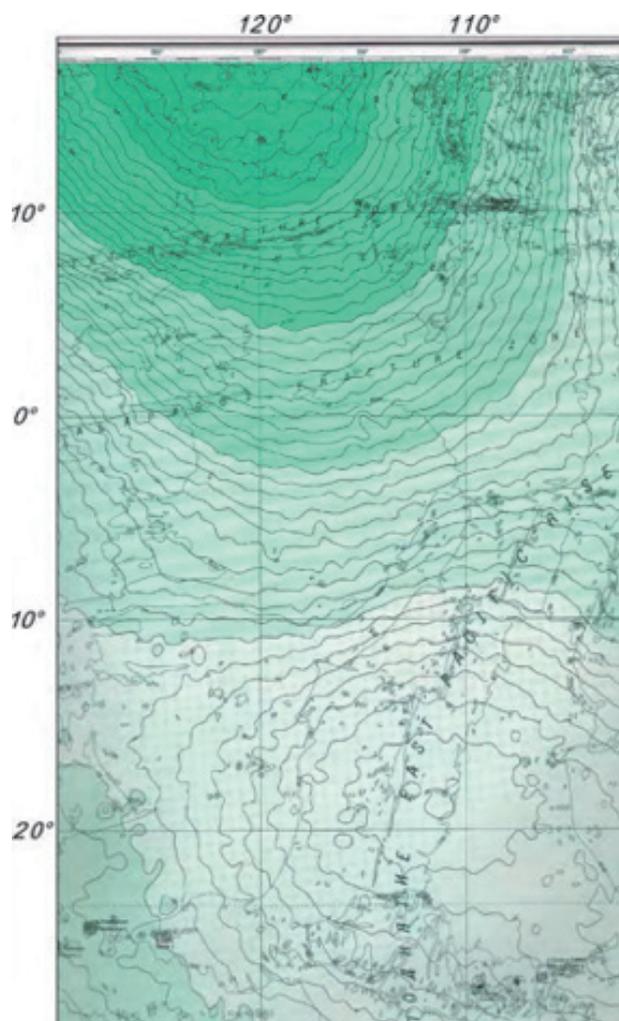


図4. 東太平洋のメガアーチとカリフォルニアのブルーム（北方の円錐状または漏斗状）内の海底面高度変化。彼らは衛星高度計で作図した (International ..., 2003). 高度の単位はメートル: 0 ~ 20 m (wait) ~ 60 m (青).

ぎないが、古期岩類、多くの火山、およびギヨー (Gavrilov, 2015) の地域に顕著に集中している。他の場合、表面起伏 (the surface relief) のこのような形態は、カリフォルニアの仮説ブルーム (the Californian hypothetic plume) (図4) 上で観察されるが、その突出部 (projection) は深度チャートや震度図上では検出されていない。衛星による水位変動推定値 (water level variation satellite estimates) のデータによれば、隣接エリアの沈降 (最大 -60m) の結果として、東太平洋のメガアーチ上にも水面循環異常 (a water surface circular anomaly) が存在する。ガラパゴス・マンテルダイアピル (the Galapagos mantle diapir) に関連した比較的小さく描かれた水の円錐 (water drawn cone) ($R = 600\text{km}$) が、ペルー盆地 (Peruvian basin) の方向に転移していることが指摘されるべきである (International..., 2003)。

環状構造の体系の問題点 (Questions)

現時点では、これらの対象物に関するさまざま

な分類が公開されている (Solov' ev, 1978; Morphotectonic systems..., 1988; Katz et al., 1989; Gavrilov, 1992). 分類属性 (classification attributes) として、要素的 (parametric), 地形的, 成因的, 本質的および他の特徴が利用された。とくに、マイクロ, ミニ, メソ, マクロ, メガ構造が分割する大きさとなっている。ローカルな (local), 広域的な (regional), 惑星ランク (planetary rank) の環状構造がある。探査家は、地形データとマンテル, リソスフェア, 地殻の focal systems にもとづいて、陥没凹地, 環状ドーム (dome-ring), ドーム形態の環を抽出するが、それらは network-forming centers の位置の深さを識別する。地球最大の環状構造は、深部対流セル (deep convective cells), マンテルダイアピル, プルーム応答 (plumes responses), および“ホットスポット”の投影と考えられている (Thomson et al., 1984; Ezhov and Khudyakov, 1984; Katz et al., 1989; Grachev, 2000; Gavrilov, 2017). より小規模のものは、噴出的, 貫入的爆発的な火成活動および突出テクトニクス (protrusive tectonics) の現象に関連した注入転移 (injective dislocations) を示す。主要な成因タイプは、マグマ性, 変成性および構造性 (ダイアピル背斜, 岩塩ダイアピルなど) の性質を有する。広域的および惑星ランクの環状構造は、サイズ, 年代, 地形, および起源が異なる規則的に組織化されたクモの巣状システム (regularly organized focal systems) から構成されるだろう。クモの巣状システムは、複合岩体 (シアル質, 玄武岩質, または超塩基性) の主成分に応じて異なる。同時に、土地と太平洋 (イースター, ハワイ諸島) には古くから現存する長寿命のマグマ中心地 (magmatic centers) があり、その発達過程で、背景にあるソレイト玄武岩とは対照的な一連の火成岩が生成される。それは広範囲に拡がり、かなりの石油化学特性を有している (Marakushev et al., 2005; Golubeva, 2009)。

内成的地質学および地形学目的の主な2つのタイプの支配を決定する、空間-体積体およびチャンネル (a space - volume and channel) におけるエネルギー移動の基本的に可能な方法は2つしかない。体積体タイプ (The volume type) は、異なる位置の深さを有することができ、環状構造形成を引き起こすエネルギー生成中心 (energy generating centers) に関連付けられる。チャンネル路 (channel way) に接続された構造や形態は、線形タイプ (断層, 隆起系, 谷状ネットワークなど) を示す。中央型上昇 (central-type rises) (隆起) や堆積盆の成因は、力学的条件 (圧縮または伸長), リソスフェアの透水性, ガス-流体濃集および他の要因に依存する。地殻の透水性が低い場合に、熱いマンテル物質の湧昇が起こると、内成的活動と山地形成の長寿命の中心地 (The long-living centers of endogenic

activity) が現れる。ある特定の部分は、上部マントルの粘性のほか、温度およびガス-流体-水混合物 (medley) の含有量に依存する。開口断層系やその会合部の存在による地殻の高い透水性は、たとえば隆起運動によって、マグマ揮発成分の急速な消失、激しい火山噴火や溶岩流出を容易にし、陥没タイプの環状構造の形成とともに、その領域の低下と沈降を引き起こす。

漸移地域および広域的断層帯は、マグマ、ガス-流体-水流および環状構造形成のための導管 (conduits) を提供し、惑星内部で重要なエネルギー様式 (energy pattern) の一部を担う。さまざまなオーダーの線形ノードエネルギー運搬システム構成 (The linear-node energy-carrying systems organization) は過渡的な形態であり、これらの2つの主な構造タイプの特徴、および連鎖ないし一連のマグマ中心 (magmatic centers) を結びつける。地下成層不均質性 (layered subsurface inhomogeneities) の物理的-力学的特性の差異は、一般的クモの巣状システムの限界内での衛星マグマ中心の

位置の多様な深さを決定する。これは深部クモの巣状システムの円錐状構造的-幾何学モデル (conical structural-geometric model) を樹枝状のような図として受け入れることを可能にする (Ezhov and Khudyakov, 1984; Gavrilov, 1992 and 2017)。放射状-同心円状断層と衛星マグマ中心 (satellite magmatic centers) は、水平投影におけるこのパターンに対応する典型的で不可欠な基本構造内部の環状構造の特徴を示す。このようなクモの巣状システムの基盤は、電子環境をもつ原子核モデルに似ている。内成的環状構造の統一的分類は、地質構造的・幾何学的特徴および内部要素の空間的構成にもとづくが、陸上の造構-火成活動域におけるこれらの対象物の図面化と研究の結果として提案されている (図 5)。

単独核 (Mono-(poly) nuclear) (非衛星: non-satellite), 核衛星 (nuclear-satellite), 衛星の主要なタイプ, 周辺に焦点をあてた (peripherally focused), 焦点のないクモの巣状システムのサブタイプは、平面投影で区別される。また、それらには

Structurally power types (distribution of channels and streams of heatmass transfers)		Symmetry		
		Symmetric (rotation axes for ring fracture systems)	Dissymmetrical (rotation axes with eccentricity)	Asymmetric (with the displacement of a nuclear and satellites of ring fracture zones)
Class	Subclass			
Nuclear (mono-, polynuclear)	Focused out of satellite with number of ring fracture zones I, II...N			
	Dispersed out of satellite I...N II...N			
Nuclear-satellite	Central focused with number of ring fracture zones I, II...N and satellite I ¹ ...N ¹ II ² ...N ²			
	Peripheral focused I ¹ ...N ¹ II ² ...N ²			
	Dispersed I ¹ ...N ¹ II ² ...N ²			
Satellites	Focused I ¹ ...N ¹ II ² ...N ²			
	Dispersed I ¹ ...N ¹ II ² ...N ²			

* The eccentricity - angle among the main and supports poles

図 5. 内部構造の特徴によるクモの巣状システムの分類。

対称, 左右対称および非対称の多様性がある. さらに, 焦点数 (concenter number) と衛星数のデータの正式な構造-幾何学的記載が用いられる. 一般的な環状構造の方式を水平投影に書き込むために, その情報は対称軸にむけられるが, そのオーダーはローカルな地磁気中心と焦点 (concenter) の数に相関している. 無秩序配置衛星の座標 (Coordinates of disordered arrangement satellites) は, 一般的な焦点構造中心 (focal structure center) の始点 (位置: locus) にもとづいて定義される. 衛星の半径 (satellites radiuses), 扇形角度 (sectoral angle), 内部要素の偏心 (eccentricity of inner elements), 反対方向のブロック (diametrical blocks) の左右対称性に関する必要なデータも適用される (Gavrilov, 1992). 一般的な構造体 (the general construction) 内のローカル衛星環状構造の存在とその内部構造の顕著な特徴により, クモの巣状システムと多角形クレーターとに連結された物体を識別することができる (Burn, 2015). 環状・多角形形態の分離 (segregation) のための追加的な兆候, 宇宙塵やマグマ性クレーターは, 断層帯を伴うそのような物体との関係によっても決定される.

カムチャツカにある Talovskaya 火山構造は, 内部衛星クモの巣状要素 (internal satellite focal elements) (溶岩, 突出ドームなど) の規則的な構成の良い例である (図 6). 環状構造の内部構造と類似した形態的成因型 (analogous morpho-genetic type) の同様の特徴は, 海底に特徴的である. ローカルな火山形態は比較的よく研究されているので, この段階の研究では, 地球規模および広域的な階層対象 (rank objects) の記載に注意を集中させることが適当である. 顕著な形態の間には, 半径 1000km の overplume 巨大アーチ, 造構-火成海嶺, および半径数百 km の大規模火山構造がいくつかみられる.

高ランク環状構造グローバルアスペクトの異なる形態学的タイプのいくつかの例

著者の論文のいくつか (Gavrilov, 1997, 2013 および 2015) では, インド洋-大西洋, インド洋-太平洋の赤道域 (図 7 および 図 8) についての考え方と, 極域 (北極および南極) の惑星環構造の存在が示された. 楕円体のインド洋-太平洋 (In-P) 造山システムは, この観点から, 太平洋の地質構造と発達に支配的な役割を果たしている. メルカトル投

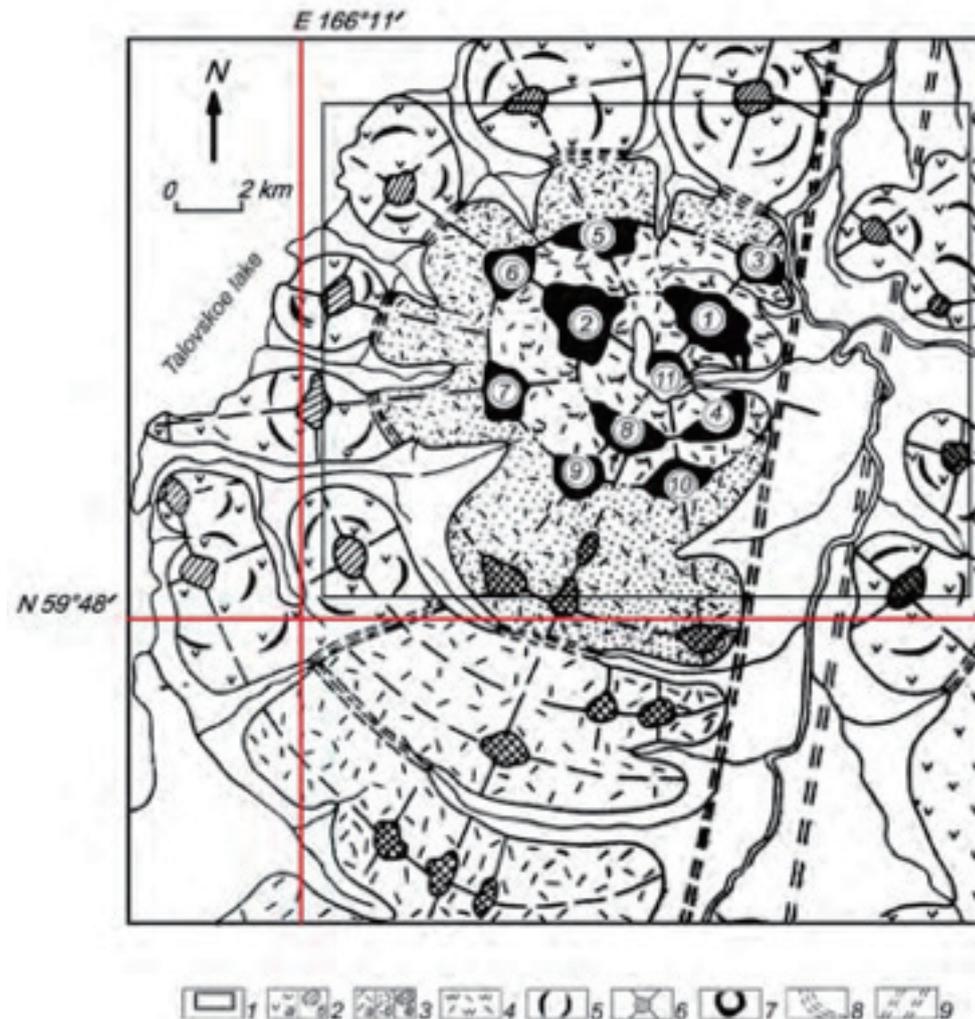


図 6. Talovsky (カムチャツカ) ドーム-リング火山構造の地質-構造図 (Rychagov, 1984). 1-鉍化体の輪郭. 2-中新-鮮新世の安山岩: a-溶岩, b-噴出体 (extrusive bodies); 3- 漸新-鮮新世の流紋岩-デイサイト; a-溶岩, b-噴出体; 4- 熱水性岩 (hydrothermally rocks); 5 - 流れの先端; 6 - 放射状-同心円状組織要素 (framework elements); 7 - 鉍兆 (mineral occurrences); 8 - 接合帯 (zones of jointing); 9 - 主要なマグマ性断層帯.



図 7. 2014 年の世界的なレリーフ像によるインド洋太平洋のリング起源システム (海底レリーフ - Astronoo). 中央大洋海嶺 - [https : images/search=seafloor;astronoo.com](https://images/search=seafloor;astronoo.com)



図 8. RS 惑星システムの図式 (Gavrilov, 1997, 2013).

1 - 大陸と島の陸地の境界. 2 - 中央大洋海嶺; 3 - 地域横断的および地域的な障害. 4 - 大陸の山脈の軸 ((Pacific mobile belt). 5 - 大きな測量棚 (hypsometric ledges). 6 - 島弧と円形の断層. 7 - 海底の最大に開かれたレリーフのセクション. 主要 RS の名前 In-At-Indo-Atlantic, In-P-Indo-Pacific, E-Ev-East-European, S-Scandinavian, H-T-Himalayan -Tibetan, M-Malayan, T-Tuamotu など.

影法では、半長軸の長さが赤道で 9,000km に達している。子午線の短い半軸の長さは 8,000km に近づく。中央大洋海嶺と北米とアジアの山岳地帯との合併は、山岳地帯の単一の地球環システムを形成する。海洋と大陸の峰状の高まりのこの関係は、それらの接合部が北半球の緯度に位置し、黄道面投影 (太陽の周りの地球の回転面) と相関しているの、偶然になることはない。In-P 起源メガ RS の中核である太平洋底の主な山地構造の集中は、その境界が内

部起伏からほぼ等しい距離に位置するので、規則的でもある。緯度の中心半径は約 3,500km, 経度は約 4,300km である。2,800-2,900km の深さに大きなマントル異質性が存在することは、太平洋中央部の地震トモグラフィのデータに基づいて比較的薄くなったマントル塊の湧昇過程の継続を示している (Su et al., 1994)。

In-P および In-At メガ環状構造のパラメータと地

震トモグラフィデータは、それらが地球コアと正反対に位置し異なる地質構造とレリーフで表現される主要な地球内外活動の中心であるスーパープリュームの投影とみなすことができる。この非対称性は、惑星の加熱と融解の段階で平準化された惑星の主要な不均質性に基づいていると仮定することは難しい。これらの現象は、大きな隕石の崩壊などの宇宙の事象に基づいている可能性がより高い。これは、惑星の構造非対称形成の決定的な役割を果たし、また、地球の太平洋地域での長い地殻変動とマグマ活動を決定したものであった。

マントルトモグラフィの利用可能なデータは、いくつかの研究者 (Choi et al., 2017) が遅いマントル速度異常 (レンズ) の横方向への分布を明らかにし、それらをそれぞれ独特の分布パターンを有する4つの深度グループに分離することを可能にした。1) マントルの最も深い部分, 2900 ~ 1700 km, 2) 下部マントルの上部, 1600 ~ 700 km, 3) 上部マントルの下部, 600 ~ 400 km, および4) 上部の上部 マントル, 300 ~ 50km. 2つの最も大きくもっとも深い低速異常 (東太平洋メガアーチのサモア - ソサエティ諸島 - ツアモツ諸島の中心部とパプアニューギニア - ソロモン諸島) と中部異常地域 (2400 ~ 2400 km) は、インド - 太平洋のRSコアに位置している。Choi et al. (2017) は、太平洋のスーパープリュームが、韓国 - 琵琶湖 - マリアナ諸島からパプアニューギニア - ソロモン - フィジー - トゥアモトを経てチリに至る世界的な深部裂罅系と密接に関連していると考えている。惑星地震帯と地域帯のアーチ配列は、中央大洋海嶺

とスーパープリュームの外縁境界の世界的な裂罅帯をともなう大陸と島々の造山システムに関連している (図9)。同時に、世界のインド - 太平洋の環状構造コアは、アーチと構造的マグマ上昇、ブロック隆起、深海平原と海盆を分ける遺存的または活発な火山の線形および等角性のグループが混沌とした蓄積に対応する。順序付けられたシステムとしてこれらの形態学的要素をみなす地質学および地形学的基盤は存在しない。したがって、仮説的なダーウィン隆起を独立した実体として考えることは不可能である (Gavrilov, 2015; Smoot, 2018)。

すでに述べたように (Gavrilov, 1997), In-P メガ環状構造は巨大な隕石噴火口のパターンに似た形態的地質学的特徴を有している。中央太平洋海盆系を構成するコルディエラ山系である縁辺山脈と同様の場所は、月の海と金星と火星のタラソクラトロン - 造山システムにとって特徴的である。大きな隕石 (小惑星) の落下は、惑星回転軸の位置が黄道面に対して変化し、リソスフェアの根本的な構造的再構成を決定し、この地球半球における異常なマグマ活動を同時に開始する可能性がある。海洋の95%と陸生動物の70%が滅亡していた期間に、地球規模の生態学的突然の大惨事があったため、古生代 - 中生代の境界はこのイベントの可能性のある時期である。このような地球進化のシナリオは、新生代の太平洋底の火山性堆積物の覆いの下に、古生代の地殻のいくつかの断片と中生代前期よりも古い岩石の存在を前提としている。アーチの中央部分とブロックの上昇は、下層に露出して侵食されていた可能性がある。残念なことに、この太平洋の発達はこの段階

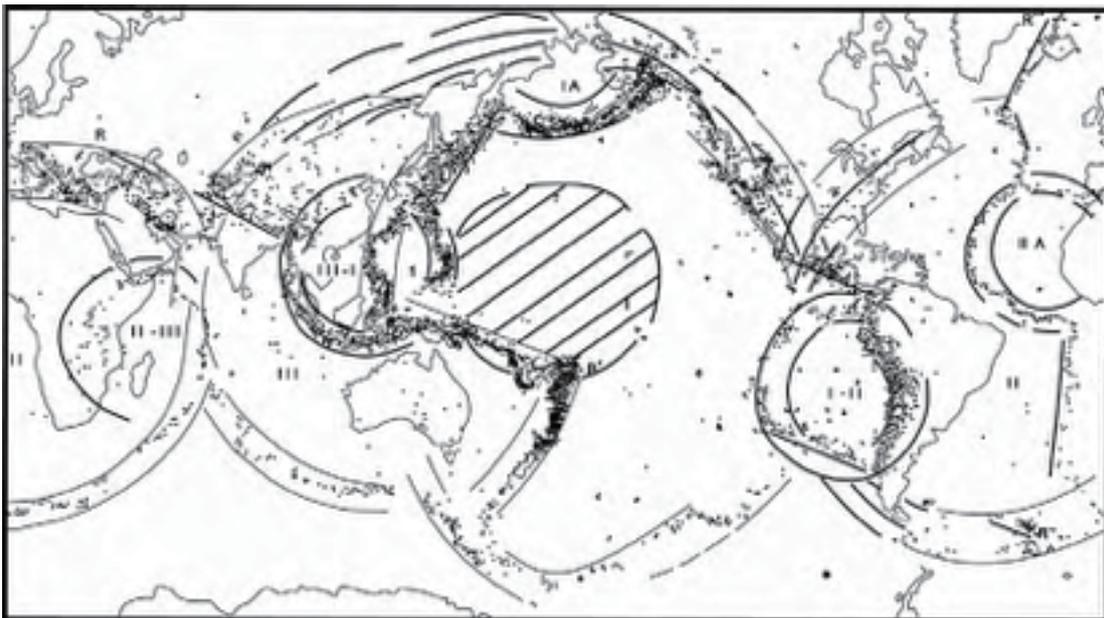


図9. 地震データ (Poletaev, 1983) に追加された地球のリング構造 (太線は、In-At と In-P 造山メガ-RS 境界, In-P メガRS コア) と著者の解釈。地震リング: I-III - 惑星: I - 太平洋, II - 大西洋, III - インドオーストラリア。 I-II - ペルー, II-III - セイシェル (アフリカ - マダガスカル), III-I - インド中国, IA - アリュウシャン, IIA - 北アフリカ; 1-4 - 地方: 1 - 日本, 2 - アラスカ (ユーコン), 3 - グレートベイズン, 4 - アンティル諸島 (東カリブ海)。地震の線構造: R1-RII-RIII - アゾボ - インド - 中国 - 南大西洋, RII-RIII - 中央大西洋。地震の震央は点で示されている。

についての地質学的資料は乏しい。太平洋の深海掘削孔はジュラ紀後期の地質複合体の下に達していない (International ..., 2005)。

アジアとオーストラリアの間のいくつかの島々と大陸縁に重なる地質学的断面と、それに対応する海洋底の掘削孔との相関は、上部、下部およびすべての中部三畳系の堆積物がないために層序の大きな中断を示している (Kuprin, 2016)。海底における花崗岩類 (陸上での) と塩基性のマグマの多数の進入は、この角礫と陸成層および火山岩の層序的に不一致な層の関係に関連している。古生代後期のある時期および三畳系下部の複合体は大きく変形し、基底にある中礫や礫を伴う粗い陸成層によって覆われている。これらすべての事実は、ララミー褶曲のテクトニック時相の兆候として検証されるが、それらはまた衝突事象の結果でもあり得る。同時に、新生代の火山活動の膨大な規模 (海洋底玄武岩の中生代前期の噴火の年代と規模に関する信頼性の高いデータがないことによる) は、中生代と新生代の境界で発生した別の大きな宇宙の大惨事の存在を仮定することができる。地球の多くの地域でマーストリヒアン-ダニアン境界で確立されたイリジウムの異常に高い含量 (Alvarez, L. et al., 1980; Alvarez, W. et al., 1982) は、大規模な確率を持って、我々の惑星に鉄の隕石型のような大きな小惑星が衝突したことを示している。新生代の時代の世界的な火山活動は約 6,500 万年前に始まった。

玄武岩質火山活動の規模と太平洋の沈み込みの強さは、それにしたがってより速くなった (Orlenok, 2010)。海洋地域の広大な領域を考慮に入れると、いくつかの壊滅的な宇宙イベントの存在を認めることは容易である。特に古第三紀 - 新第三紀境界では、太平洋の南西部で大規模な層序的な中断が起こった。したがって、隕石の軌跡や海底に落ちた場所を見つけることは非常に重要である。

宇宙の大惨事の仮説は、太平洋西部の高度に断片化した地球の地殻と、その中央部でのマグマ活動イベントの集中、我々の惑星の太平洋の部分の一般的な非対称性を説明することができる。In-T (インド-チベット) コアに放射状の同心的な形態と構造的に重要なゾーニングが存在しないことは、その後のレリーフ形成をしたマグマ活動の過程が重ねられた不規則な特性を示す可能性がある。これらの現象の深部の性質は、多くの海嶺の火山性の岩脈がオーバールームアーチによる放射状の断層中に形成されたという事実を決定する。In-P (インド-太平洋) メガRSの主な隕石起源は、In-At (インド-大西洋) メガ構造の正反対の位置とその構造の特徴の違いを説明することを可能にする。

In-P 惑星起源 RS の主要な構造要素の 1 つは、楕円

形の北西太平洋 (NWP) メガアーチが、短半径と長半径がそれぞれ $R_1 = 2000$, $R_2 = 2500$ km (Gavrilov, 2015) であることである。内部の中心は $R = 1600-1700$ km であり、コアと関連している。このメガアーチブロックの構築には、最も大きな群島、水中の海嶺、ギョー、西部と中部太平洋のブロック状の海膨 (天皇海嶺、マップメーカーズとマーカス海嶺、ハワイ海山群の大きな部分、シャツキ、ヘス、中央太平洋海膨)。これは、一般的な放射状同心円高度 (海底地形) 帯をとともなう形態的に一様な隆起としては表現されていないが、火山構造の集中とギョー、NWP 巨大アーチ内の広大なジュラ紀後期と白亜系の岩石と、ハワイや天皇海山列域と個々のセクターブロックなどような放射状要素がある (図 10)。メガアーチの幾何学的中心は局地的な深部断層である、メンドシノやサーベイヤ、ハワイ、天皇海山交叉の接合点と結びついている。このメガアーチには、また多くのギョーがあり、鉄マンガンの固結物の雑多なものや、コバルト - マンガンのクラスト、リン酸塩の鈳化 (炭酸塩とケイ酸塩の種類) をともなう (図 11) (Schkolnik et al., 1996)。

北西太平洋巨大アーチに集中的に分布するギョーとジュラ紀後期～白亜紀前期の火山性および火山-堆積性複合体は、陸上環境でのみ起こりうる厚層の浸食と削剥が生じたことを証拠づける。磁場異常マップも、一般的な放射-同心構造およびこのような構造をつくる構造要素の空間配置を示す (図 12)。

利用可能なトモグラフィデータ (Choi et al., 2017) によると、深度 700-800km にある低速マントルレンズは、この隆起構造の中核部に相当する。西太平洋重力図 (図 13) にみられる Bouguer Reduction の大きな重力負異常は、いくつかのブロックや海嶺と共役する個々の領域とゾーンに位置し、北西太平洋巨大アーチや仮定されるカリフォル

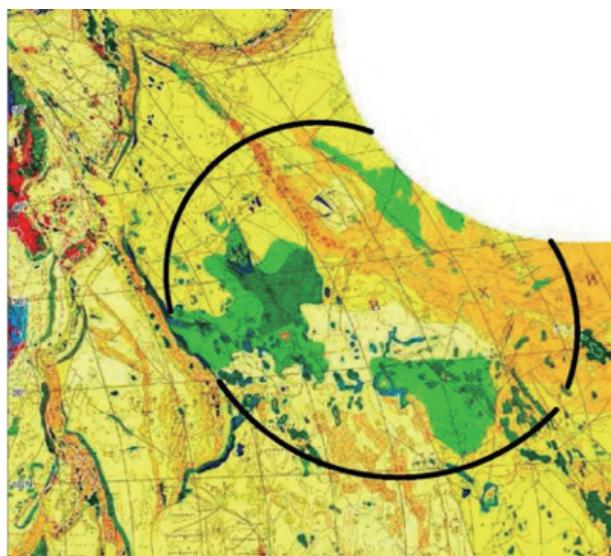


図 10. NWP メガアーチの輪郭を持つ太平洋北西部の地質図。

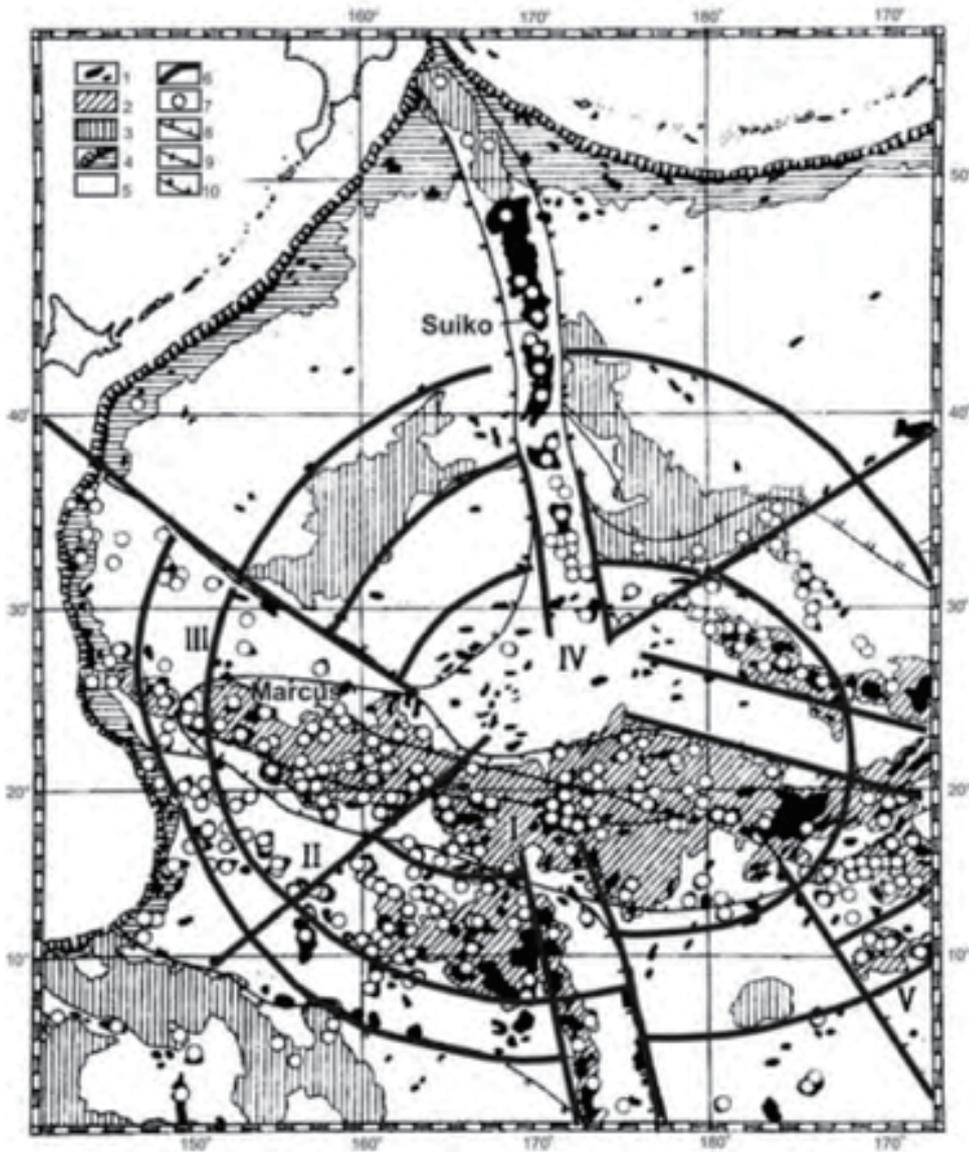


図 11. 太平洋北西部における海底山脈と含鈦床ギョーの分布 (Schkolnik et al., 1996), および著者の補足と新解釈 (Gavrilov, 2013).

1 - 水中の山と尾根. 2 - 火山基盤隆起. 3 - 海膨 (シャツキー, ヘスなど). 4 - 縁辺斜面と深海トレンチ; 5 - 海盆; 6 - 西太平洋にみられるブルーム巨大アーチ上の放射状および弧状の骨格的リニアメント. 7 - 水深 2000m 以下の海底の山とギョー. 8 - 含鈦床区の境界. I- 太平洋中央, II- 東マリアナ, III- 小笠原, IV- 天皇-ハワイ, V- ライン. 9- 中央太平洋における炭酸塩岩中の含リン酸塩玄武岩の分布域との角礫化リン酸塩の分布域. 10 - 稼行可能性のない含鈦石ギョー分布域.

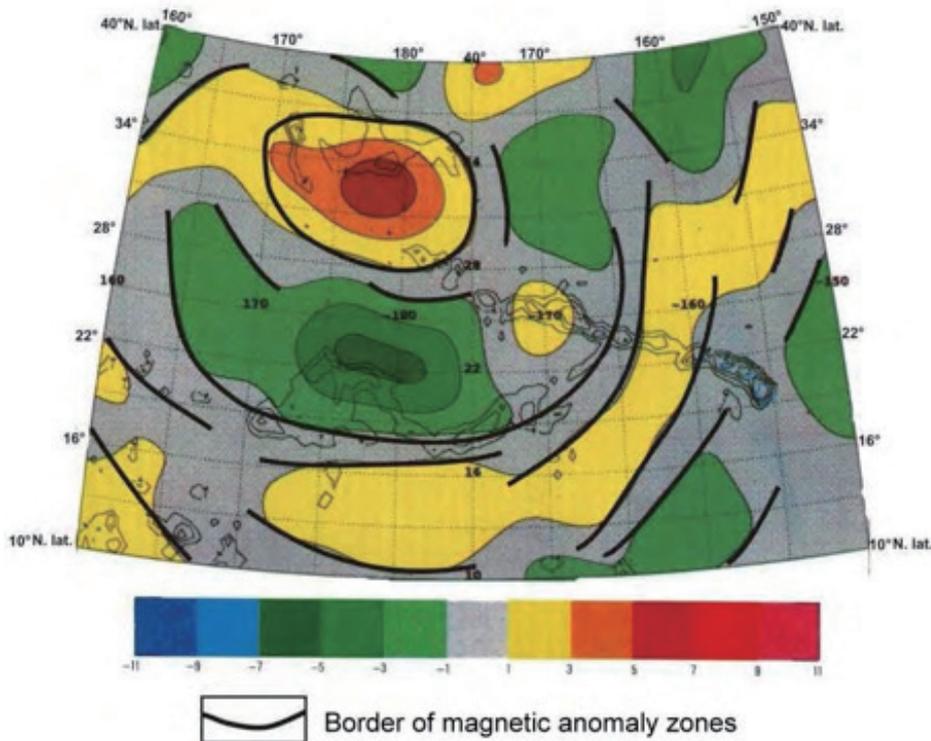


図 12. 北西太平洋巨大アーチの磁気異常にみられる放射同心円状パターン (International ..., 2003). 単位は nT.

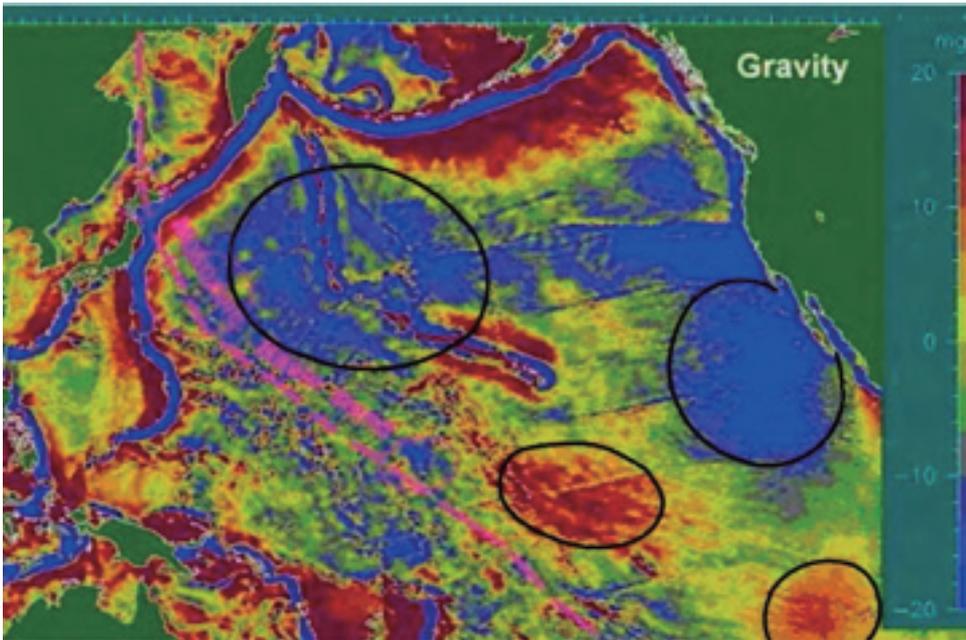


図 13. 太平洋重力図 (Pacific gravity map, 2006). いくつかのブルーム突出を示す等高線がみられる.

ニアブルームの突出に関連した円形の等値線をかたちづくる.

それらは、薄いマントルレンズに関係した分散的な火山分布と超塩基性岩溶融体の深部注入によって引き起こされたと考えられる. こうして形成された地質 - 地球物理現象は巨大アーチの形成にかかわっていて、それはブルームの発達過程とガス流体流をとまなうソスフェアの変換を決定づけただろう. 地熱異常と活火山活動の欠如は、北西太平洋における現在の深部注入構造が内因的には不活発であることが示唆されるものの、一般的進化過程は維持されている. この巨大アーチのやや遺存的特性は、放射状の形態構造要素の個々のパターン (例えば、重複性やハワイ - 天皇海嶺の縁辺部にみられるより新期の構造要素) によっても証明される. 北西太平洋巨大アーチには、ジュラ紀後期～白亜紀前期のアンカラマイト - 粗面玄武岩岩石区と古第三紀～完新世のチタンに富むソレアイト岩石区が重なって存在する (Golubeva, 2009). そこには、おそらく石油化学特性に反映される深部断裂 (ハワイと天皇) を通って後期中生代ブルームが湧昇した. 北西太平洋オーバープームによる巨大アーチの形成は、ジュラ紀後期～白亜紀後期に始まり、時空的には分散して発生した. その次の主要な活動期には古第三紀火成岩類が活動し、中新世、鮮新世および新しい火山活動が、ハワイ海嶺の南東部に知られている. 巨大アーチ内部におけるマグマ進化の遠心的傾向に反して、ブルーム活動 (ジュラ紀後期 - 白亜紀前期 - 中新世) は継続的に 1.2 億年間もつづいた.

東太平洋巨大アーチ (半径 2100 ~ 2200 km) は大規模海膨の一例であり、海底地形としては、半径方向に同心状高度帯をもつ大海膨として顕在する (図 14 および図 15). この海膨上には、いくつかの島



図 14. 太平洋海底地形図にみられるガラパゴスならびに東太平洋巨大アーチ. 縮尺 1:30 000 000 (International ..., 2003). 円形骨格および放射状リニアメント, 巨大アーチの輪郭が表示される.

(Ducie, Easter, Sala y Gomez など) がある. 高地熱異常と新期の火山・地震活動がこの巨大海膨の特徴である. 大きな地熱異常の一例は、イースター島域 (イースター島ホットスポット: 110°W, 25°S) で認められる. 巨大アーチの南縁は、チリ, チャレンジャー, バルディビア, モカ地域の断裂帯の方向と位置に対応する. この海膨の同心状地形構造の発

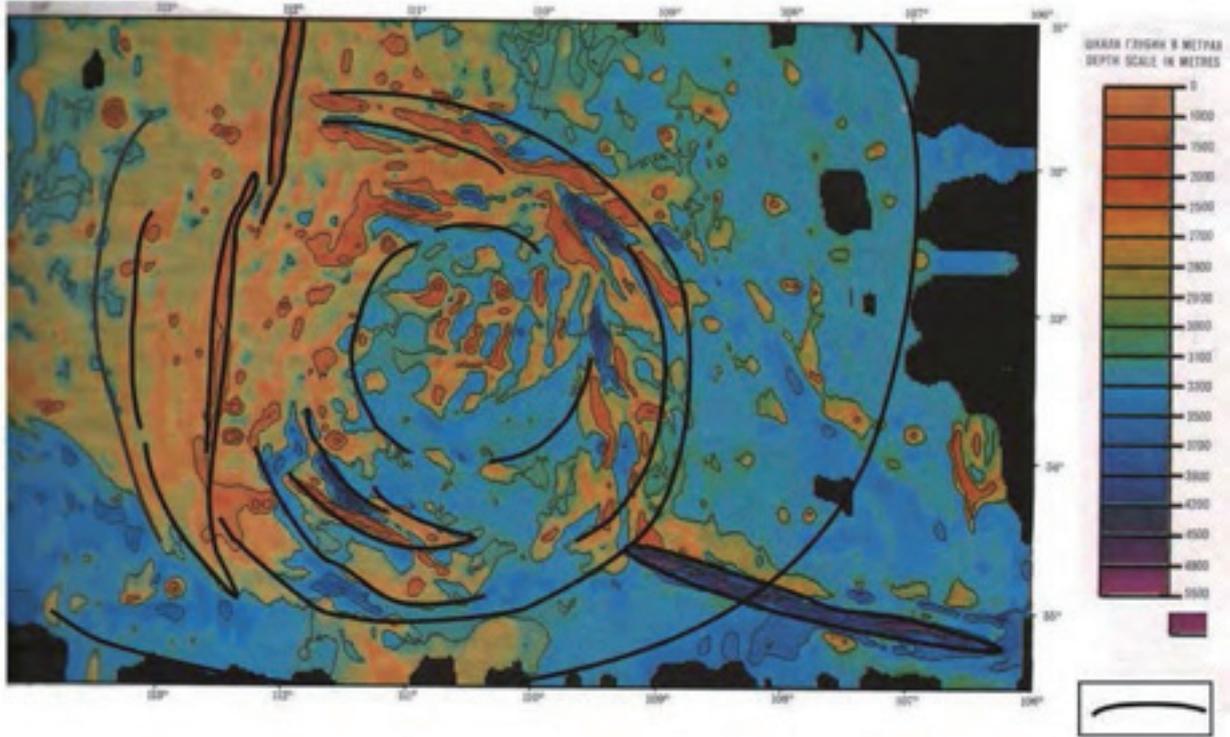


図 15. 東太平洋の巨大アーチブロック海膨. 水深図 (International ..., 2003) にもとづいて図化. 黒い線は最大水深勾配帯.

生は、北の Gofar, Quebrada および Marouesas 断裂帯システムに関連している。

巨大アーチ中心部は、空間的には、海嶺（東太平洋, サラ・イ・ゴメス), チリ, トゥアモト海嶺オフセット, リソスフェアを深く切断する海域横断深部断裂帯（イースター, アガシーズ, クイロス, サラ・イ・ゴメス, 東太平洋リフト系の諸断層）を含む海域にあたる。Smoot (2018) が提唱しているように、火成活動や加熱チャンネルを制御している断裂帯交差部の重要な役割が注目される。

このような地質構造の組み合わせ効果は、海膨と断層系の関係に顕著に認められる。これらのすべての海嶺は、オーバープーム巨大アーチにみられる大規模な放射状構造要素を代表する。Bouguer Reduction の正の大異常は 20 mgal に達し、有意な放射 - 同心状地帯区分が太平洋重力図 (Pacific gravity..., 2006) に見られる。この異常は、東太平洋海膨における大規模なソレイト玄武岩体と重い超塩基性マントル突出岩に対応するだろう。興味深い局所的海膨の 1 つ（半径 200km）がサラ・ゴメス海嶺とナスカ海嶺の間にみられる。

東太平洋巨大アーチ構造の主要部分は、中央海嶺の鮮新世 - 第四紀玄武岩域に属する。しかし、噴出岩層のブロックや断片として存在する西太平洋部の白亜紀・中新世岩石 (Geological..., 2000) は、この海域の地質発達史が古くから複雑で長い歴史をたどった証拠になる。そこでは、火山噴火（割れ目

噴火）を示す海底地形に加えて、溶岩、噴出ドームおよび大規模成層火山が認められている。玄武岩に加えて、一定量の中性～酸性岩類（例えばイースター島の軽石と凝灰岩）が累積した。高熱流量および地震トモグラフィデータは、東太平洋巨大海膨の中心部の 200km 深度から高温マントルが突出していることを示す (Golubeva, 2009)。この湧昇は、これまで、イースターおよびファン・フェルナンデスのマイクロプレートを変位させる著名な回転モデルに関連すると考えられていた (International ..., 2003)。しかし、海底地形の同心円的帯状構造、海嶺の放射状配置、地熱温勾配と重力異常に関するもっとも適切な説明は巨大アーチモデルのオーバープームであり、それによって、入手できる地形学的、地質学および地球物理学的データに満足いく解釈が与えられる。注意すべきは、中央海嶺をつくる東太平洋巨大アーチよりも南方では、大きな地熱異常が認められないことである。高温異常はプルームとマントルダイアピル上昇に関連した巨大海膨の内部だけに出現するのである。

ガラパゴス海域における地熱異常、内因活動全般の異常指標（火山活動と地震活動の規模）および海底地形特性 (International ..., 2003) は、マグマ性巨大アーチの存在を示す。それは、局所的なガラパゴス海膨 (Gavrilov, 2015) よりも大きく、隣接する海洋中央海嶺を含む (図 14)。ガラパゴス巨大アーチ（半径 1500 km）の認定には、地質学的データと地形構造要素パターンに関わる信頼度を高めるためにさらなる地質 - 地球物理学的調査が必要であ

る。東太平洋中部海嶺に固有な特徴の1つは、巨大なアーチ状隆起である。著者の見解では、さらに北方にカリフォルニア・プルームが存在する。この隆起構造の幾何学的中心は、モロカイとクラリオンの間の22°N, 119°Wに位置する。衛星観測データでは、海面高度に深さ60mに達する楕円錐 (R = 800km) 状低下が認められる (図4; International ..., 2003)。この海域には、いくつかの島 (Revillagigedo, Guadalupe, San Benedicto および Socorro) と独立した局所的な海底隆起 (California, Henderson, Alijos Rocks など) が存在するだけである。全体の隆起を示すプルーム突出を識別できる海底地形起伏はかすかであるが、始新世 - 中新世の海洋性玄武岩類の円形分布域 (短径400, 長径600 km) と顕著な高熱流量 (Geological ..., 2000) の証拠がある。Bouguer Reductionにおける大きな楕円形負重力異常 (図13) は、提案されたカリフォルニア海洋プルーム突出に調和的なマントル隆起と解釈される。この海域における地殻の地質力学的異常活動 (現在の火山活動と地震作用) と高浸透率は、深部断層 (Clarion, Molokai and Murray 断層帯) の一連の並進移動に起因する (International ..., 2003)。いくつかの研究者 (Garrison et al., 2008) は、周辺大陸の中期中新世玄武岩岩石区、カリフォルニアプルームの周辺大陸への延長部として説明している。しかし、著者は、この州の比較的小さなパラメータは、カリフォルニアリフトシステム内の小さなマントルダイアピルに由来すると考える。

ツアモツ巨大アーチの幾何学的中心は、東太平洋中央海嶺のリフトゾーンから2400kmの距離に位置し、その顕著な重力異常は東太平洋海膨内に収まっている (図13)。この事実は、深部構造、火成活動年代、およびリソスフェアにおける最近の地球力学的プロセスとの類似性を証明する。特に、新第三紀 - 第四紀 (1-25 Ma) のアルカリ玄武岩地帯は、東太平洋海膨と古第三紀 - 第四紀ソレアイトに関わるツアモツ巨大アーチに関係する (Golubeva, 2009; McNutt and Fisher, 1987)。この海膨の構造と発達史の主な特徴は、以前に簡単に考察されたことがある (Gavrilov, 2013, 2015)。

個別の地域的外観

異なる規模の造構 - 火成作用による隆起は太平洋底における第2の環状構造 (訳者注: 以下, RS と標記) クラスを形成する。ガラパゴス (R = 250 km) (図14・図16) およびフィジー (R = 900 km) のRSなど (図17・図18) は、活動的な中心タイプの造構火成作用による形成物の典型例とみなすことができる。マントルダイアピルと結びついているすべての環状構造の比較解析からは、得られているパラメータ違いにも関わらず、いくつかの似た構造が存在することが示される。そこには、放射 - 同心

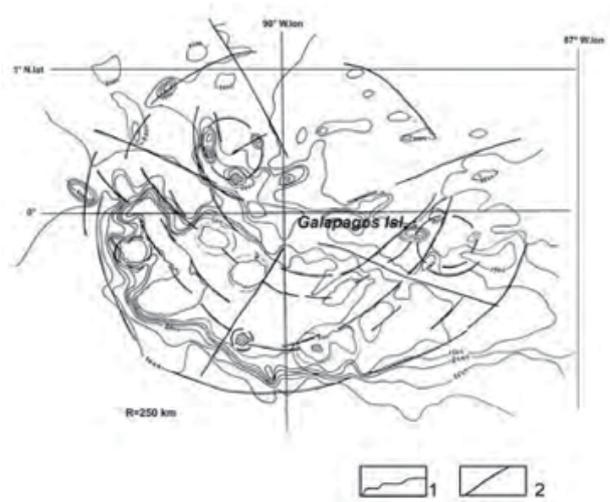


図16. ガラパゴスの造構火成活動隆起帯。構造形態の図式は200万分の一スケールの水深図に基づいている。1 - 等深線; 2 - 環状構造, 島弧, 放射状断層帯などの線状構造。

円状のパターンやそれに対応する測高的 (等水深線) な帯状構造, 高い地熱異常, 活発な地震活動や火山活動による最近の出来事やそれに伴う痕跡などの地質学および地形構造要素が存在する。ガラパゴス環状構造についてのこれらの形態や造構的 - 地形的配置図のすべてについてはすでに調査済みである (Gavrilov, 2015)。フィジーの造構火成作用による上昇についてのみは便宜的に短く記載してある。島弧, 環状リニアメント, 累壁, および地溝などのシリーズ (図17) は造構 - 火成作用による形成物の断層帯と関連している。それらは海底の地形描図 (Google Earth) に著しくあらわれている。フィジー隆起システムの内部核は、地球表面の起伏図 (図18) に従うと“R = 400-500 kmを示している。フィジーRSに付随する環状とそれをつらぬく線状配置において、渦巻き構造の変位が図の中に十分に認められる。この隆起地形の形態的および構造的非対称性は、北東走向の断層帯により分割された北西側および南東側の正反対のブロックが示す地形や地質の差異を示している。そのような直径方向の断層の存在は巣状構造の一つの特徴的形態である。普通それらはマグマ性の通路 (導管) や構造的境界の役割を演じる。等深線図の解釈と調和するように、このRSの幾何学的中心はViti Levu と Vauna Levu 諸島の間に位置している。

フィジー - トンガ - ケルマディック地域の上部マントル (660 - 720 km) の頂部には薄い低速度レンズがあることが、いくつかのトモグラフィー断面データにしたがうとわかる。このレンズは部分溶融したマントル注入の熱エネルギー (流体/気体) の流れる導管やサージチャネルの証拠となるものである。この区域の熱流量は200 mW/m²かそれより高い値に達する (Choi, 2017)。

幾何学的中心付近の衛星状の火山構造分布から、フィジーのクモの巣状システムの基盤構造は太平

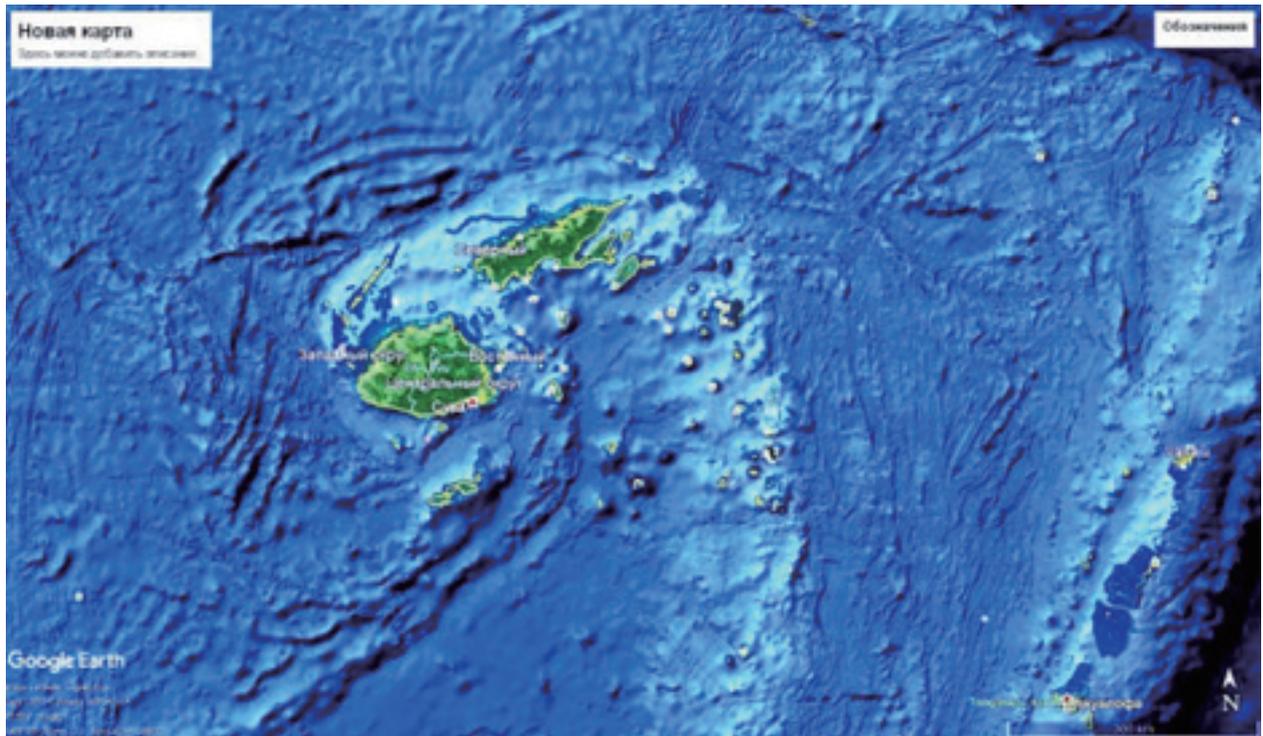


図 17. フィジー造構火成作用系の形態構造要素の海底地形と放射 - 同心円状パターン (Google Earth).

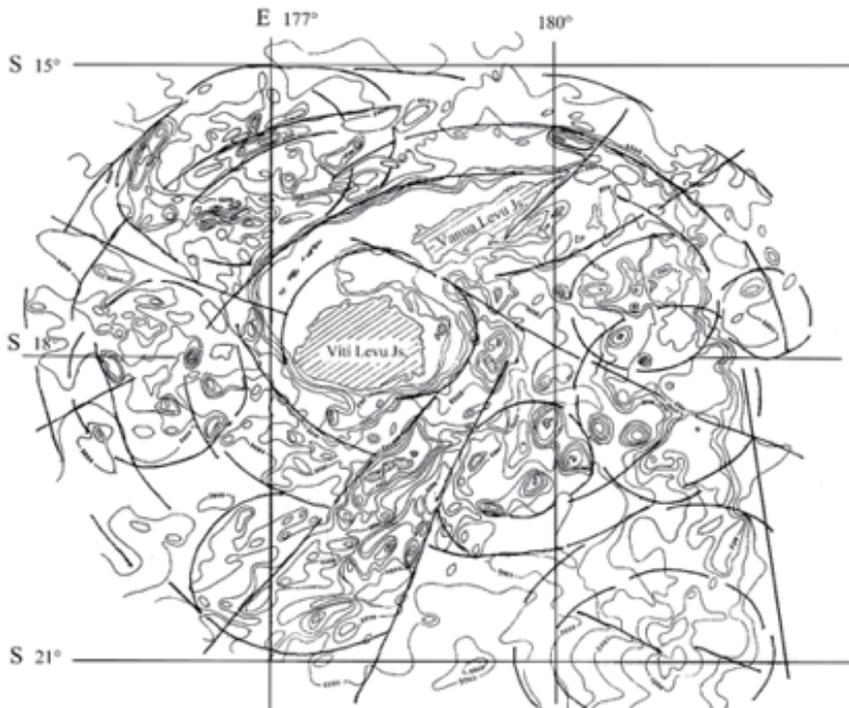


図 18. フィジー造構火成作用 RS の形態構造的配置図および多環状構造. 2 百万分の 1 海底水深図にもとづく. 地図の記号は図 15 を見よ.

洋底のたくさんの環状構造として認定されている nuclear-satellite タイプ (図 5) に分類されることを示している. フィジー諸島の地質断面図において, 始新世 - 中新世の火山性堆積岩類 (玄武岩, 安山岩, デイサイト, 凝灰岩, 凝灰岩質れき岩, その他), 中新世の玄武岩, 粗面安山岩質凝灰岩, および鮮新世 - 更新世の玄武岩, 粗面玄武岩などがみられる. いくつかの噴出岩の表層部はシルト岩, 砂岩, れき岩と互層している (Vasiliev, 2009). フィジー中心部の内部活動やその作用期間 (時間的空間的にとびとびであるが) はおよそ 4000 万年にわたっ

ている.

火成作用中心部と大きな断層との密接なつながりによる, 次の重要な環状構造 genotype (遺伝子タイプ) が確認されている. これらのエネルギー移送物体は, 線 - 結節が結合した異なる階層の地殻動力学的な造構火成作用を代表している. そこには, 長さの変異に富んだシリーズ (列) の, 楕状火山 - 成層火山, 貫入性, 噴出性の溶岩ドーム, 流体 - 爆発性漏斗, およびその他の火成作用による構造は, 太平洋大陸縁辺部の山脈や海底山脈の基礎を形成している. 主

要な差は地殻（リソスフェア）の厚さ、活動年代の制約、および火成作用生成物の組成などにあらわれている。そのようなくりかえし述べられているマグマ中心部とそれと相関する海洋の線状システムの例として、ハワイ、天皇、ヒルベルト、ライナなどの海嶺などを検証することが可能である (Malamud, Turcotte, 1999; McNutt and Fisher, 1987; その他)。おおきな巣状構造の比較的短い列がマルケサス諸島 (図 19) およびマーシャル、ソシエテ、ハーベイ諸島 (図 20) などの地域で見つかっている。

マーカス諸島のリング構造の配列のしかた、つまり、マグマセンター域と噴出岩の集中域などが確認できる、火山造構的な沈み込み構造そのものといえる。こうした環状構造群は、地殻の中の断層ぞいを移動するマグマによってコントロールされて構造形成されたものなので、直線状の配列で特徴づけられる。いくつかの独立した構造群では、大きなせん断断層の交差部に火成造構現象を現出させたり、マントルダイアピルとして現れたりする。

マーシャル群島の海底のもり上がり部の多くは、ギョー、シールド状の火山、その他の火山起源の隆起体である。この群島におけるマグマ活動には4つの時相がある。つまり、後期ジュラ紀の斑レイ岩 - 粗粒玄武岩 - 玄武岩の複合マグマ活動、Barrenmian期から Santonian 期にはアルカリ玄武岩の噴出、次が玄武岩 - トラカイト複合体のマグマ、最後の古第三紀には Oligocene まで続く、マグマによる隆起と火山性の海嶺が形成された。そのときに、リフトができるような破壊作用が起こり、区域の大部分が沈み込みが支配的になった。その時期における火成岩の年代値は 16 ~ 90Ma にわたっている (Vasiliev, 2009 ; Yano, 2014)。

タヒチと Hervey 諸島にある、2つの大きなクモの巣状の構造をもつ環状構造 (訳者注: 以下, R S と

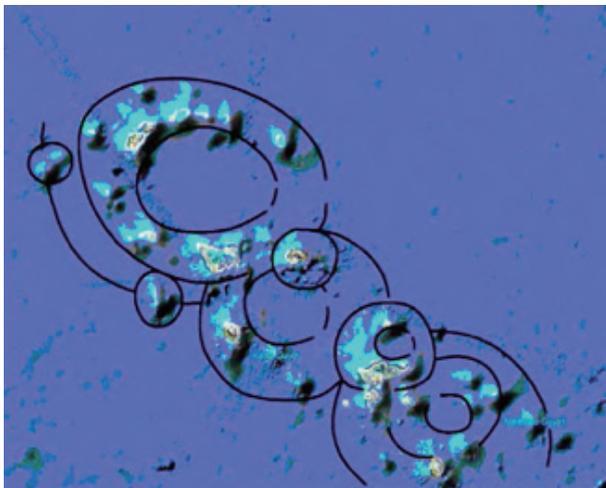


図 19. マルケサス諸島の造構—火成作用沈降帯の列 (R は最大 70 km におよぶ)。Google Earth program の高度およびモデリングデータによる。

略称; R = 200km と 270km) は鮮新世 - 更新世のアルカリ玄武岩から成っている。玄武岩中に含まれる捕獲岩の年代は 44 ~ 74.9M が知られている。しかし、火山岩中に含まれるより古い変成岩由来の岩石には 833Ma の年代値のものもある。タヒチ島では、150Ma の年代値を示す、後期ジュラ紀のネフェリン - 斑レイ岩 - サイヤナイト岩が報告されている。それで、38Ma から 28.6Ma という幅のある年代値 (Vasiliev, 2009) の岩石は、Oligocene から更新世にいたる長い時代にわたる、時間と場所の異なるマグマ作用で、年代値の改変が行われたと考えられる。

太平洋底においては、もっとも主要で多元的な構造形成要素をもつ別の円形の沈み込み構造が、深部からアーチ状にのし上がってきた隆起体で押し上げられている。その巨大な押し上げ作用の結果として、力学的なバランスを保つ上で、巨大な環状の落ち込み構造が形成されるのであろう。東カロリーナ諸島、西カロリーナ諸島、東マリアナ (図 21)、サモア、東中央太平洋、バンダ諸島、ビスマルク島、日本、黄海などの海盆は、こうした規模の環状の落ち込み構造を構成するものであろう。

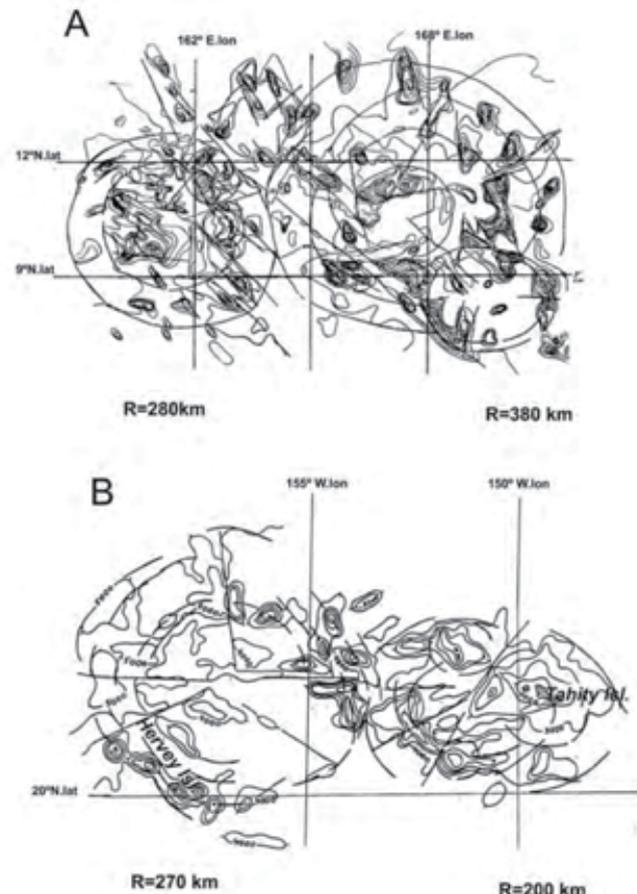


図 20. 島の造構—火成作用 RS のいくつかの例。形態構造図式は 2 百万分の 1 海底水深図に基づいている。図の中の薄い線は等深線である。太い線は弧状および放射状の断裂要素である。A—マーシャル諸島の核—衛星タイプの RS。B—中心タイプのポリネシア (Tuamotu) 巨大弧状ブロックの制限区域内にあるソシエテおよびヘルヴェイ諸島の内部衛星パターンを示す RS。

この構造の周囲に分布する火山センターにおける、落ち込み量と火山活動の規模は、地下深部の火山の根への小規模環状構造が落ち込み量と、「根」の部分のマグマの性状とによって決まってくる。ピスマルク諸島とバンダ海の内因的な温度構造異常に基づけば、現在のマントルダイアピルの内因的な活動状態に関係しているようである。中心に存在し、構造的なレリックとなっている環状構造群でも、同様に、マントルダイアピルの活動が休止した後に、沈み込む傾向があるようである。

東マリアナ沈み込み環状構造の構造地質学的、地形形態学的な特徴は、沈み込み環状構造の内部構造によく現れている。最大深度は8000mを超えるが、その海盆の中心部は平坦な地形になっている。その沈み込み環状構造の北縁と北東縁は円弧上のリニアメントと Magellan 海山の火山およびギョーは列をなしているが、カロリン海山の火山列は南部で取れんしていく。後期ジュラ紀と白亜紀の火山体とギョーは、さまざまな時代で、Magellan 海山のなかに散らばって分布している。ほぼ同じ時代にカロリン群島のいくつかの島々では、高さ900mを超える標高をもち、そのほとんどがオリビン玄武岩からなる中新 - 鮮新世の後期にできた火山である。カロリン群島の57号と58号の掘削資料には、漸新統および

中新統の堆積物も確認されている。また、462号と802号の孔井資料から確認された陸成の岩石類は、近くに存在していて、供給源となった沈み込み環状構造体から削剥されたものである。このことから沈み込みは初期の白亜紀からはじまっていたと推定できる (Vasiliev, 2009)。

ジュラ紀から更新世までのソレアイト - 亜アルカリ玄武岩の年代値には次のようなものがある：玄武岩 (140 ~ 100Ma), アルカリソレアイト (60 ~ 30Ma), 亜アルカリソレアイト (30 ~ 2Ma) (Golbeva, 2009) などは、この広域的な環状構造からの噴出岩である。それを年代値からみる、マグマの活動期から活動期への時間間隔はきわめて長い。このことはマントルダイアピルの活動期間が長いことを示している。また、こうしたすべてのデータから、東マリアナ海盆の構造形成は、東マリアナリング構造の地形ならびに地質と反対称の関係にあるので両者は、きわめて深く関係しあっている、といえる。このような火山中心の傾向は、環状構造の周囲に沿ってみられるそれらのパラメーターと年代によって認識され、この環状構造の放射 - 同心性の帯状海底地形と衛星型の基盤構造に対応している。そのような内部構造と発達史の特徴は、太平洋底の他の環状凹地にも典型的にみられる。



図 21. 東マリアナ沈み込み環状構造の衛星による透視画像。図の記号は図 15 と同じ。

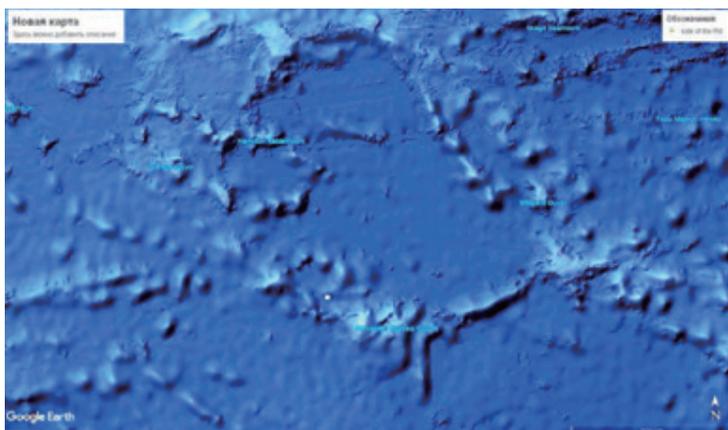


図 22. 太平洋底における埋没火山造構沈み込み帯 (Google Earth からのイメージ図)。「Coordinate of the geometry center 提供. N19°30', E178°30'. "R" は 300km 以上。

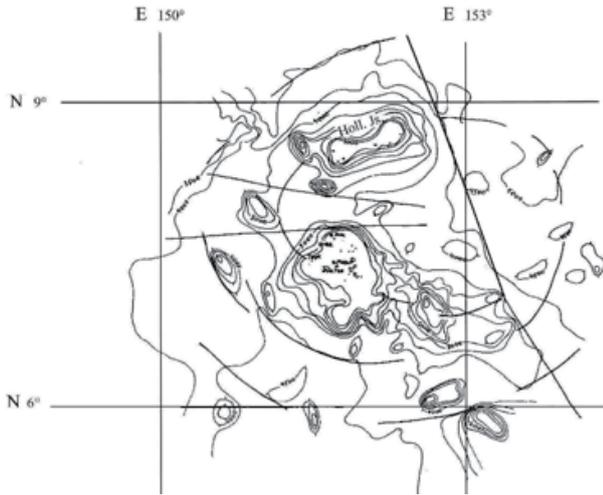


図 23. Hall 島およびトック諸島の火成造構的なリング構造。図 15 の記号参照。

起部と火山の列と、その間に、相補的な海盆、凹地、グラベンなどを現出させる；隕石孔とか隕石痕の原因となった天体の落下を受けた。中央海盆群は、沈み込みリング構造の長期間にわたる構造形成をそのままの状態で保持し続けてきたのである。

次の興味深い大洋底の環状構造群は、陸上での類似例と同じように、地質構造あるいは地質の発達過程が正反対なブロック構造がある。つまり、そのブロック構造は、環状構造群とは、形態的または地質学的に反対称的な特徴をもっている。つまり、環状構造の端で発達するマグマのガス状の熱水の流動体は、通常と逆の方向へ流れていて、断層に沿って正反対の向きになっている。そのため、ある種の造構性のバリアーのように作用する。そうした断層は広域的な断裂系を構成していて、異なった活動様式をもつ巨大なブロックを縁どっている。Hall 島の構造形態と活動様式は、火山センターと地塊の相補的な反対称的な活動する海底のクモの巣状構造の規則性を示している (図 23)。Hazel 環礁の環状構造は、類似する構造はもっているものの、それぞれが正反対の独自の動きをする断層で区切られる火山センターと塊状構造を示している (図 24)。

太平洋底の環状構造について本論で述べた事柄は、その研究がまだ初期段階にあることを示している。しかし、その研究に必要なマーカーの概要はすでに出そろっている。つまり、それらは、その痕跡、実像、反響、証拠など、対象となる自然の驚くべき事象がどんなものであり、どこに在るかなどが発見され、識別をうけ、公式に記述されてきている。太平洋縁辺の陸域の研究 (Gavrilov, 2009 and 2017) に基づけば、リング構造の主な事象の、より詳しい記載が必要である；たとえば、マグマの主役と脇役のなりたちのパラメーター (R)、その形態的および成因的な分類、その最大高度と海底における最深の深度、水平と垂直の立体的な起伏、放射状 - 同心

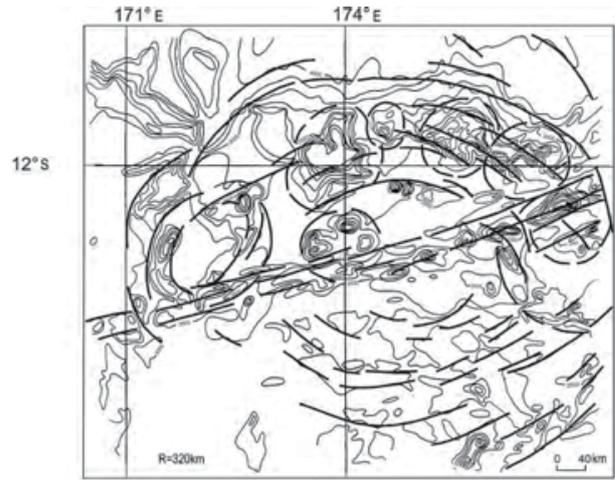


図 24. 形態的および地質学的に正反対の性格をもつ相補的なリング構造 (Hazel 島) の火山センターとブロック状構造の典型例

円状構造の数、帯状構造の構造的、本質的、地球物理的な特性、内因的な分類、的ないしは海底のクモの巣状構造の数、配置、密集度、反対称的な断層と対照的あるいは非対称的な構造要素の形態と構造要素の分布、マグマ活動の通常持続時間、海底のクモの巣状構造の主役と脇役のマグマの噴出場所と大よその噴出量、地中物理的な異常現象の強さの程度と型 (熱的条件、重力、磁力) などである。この論文で提示された太平洋底の環状構造群の特徴については研究の地域的な広がりや地域性を考慮しながら、修正、加筆、削除などしていく。また、総合的な解析の中からも、より詳しい研究がされているものを探したり、地質・地形、地球物理、地球ダイナミクスなどとのすり合わせも期待される。

結論

1. 起源や時代の異なるパラメーターをもつ環状構造群は、太平洋底の火成・造構活動の活発な地域に広く分布する。それらは、海水下の海山状の高まり、海嶺、海盆、島弧などのかたちで存在する。
2. 環状構造群は、階層性があり、形態分類され、成因的にも分けられる。その内因性で分けられ、主因となる部分、主因と副次的な原因が混在するもの、副次的な原因のものなどに分けられる。
3. 地球規模とか広域的なリング構造群は、マントルダイアピルの突起と考えられている噴出ダイアピルの曲隆や火成造構的なもり上がりなどと関連して形成されたと想定される。広域的で横断性の断層帯と関連してできたリング構造群の多くは、列状になったり、直線状で節のあるエネルギー移送システムをもって発達する。きわめて大きなクモの巣状構造のリング構造は、一般に深い構造になっていて、マグマ現象、造構現象、地震、ガス状の流体などの分布と関連をもつ。一方、小規模のクモの巣状構造

はマグマ活動をともなって地質形成の場づくりを進める。以上のことから、環状構造群は、その列状構造や断層などを通じて、地質の基本構造形成ならびに太平洋底の発達的主要な部分を担ってきた。

4. マントルダイアピルは、内部成長を促して形態形成をすすめる基本的な要因である。そして、中心部に沈み込み環状構造や海盆をもった巨大な環状構造群が現れるのは、上記のダイアピルが浮上して横へ拡がり、地殻の応力場を引張応力状態にするためである。このような現象は、クモの巣状の構造形態とカルデラ形成のメカニズムとが類似しているため、マグマ流体が周辺と中央部に分布していることで特徴づけられる。これとは違って、広域的な上昇や隆起が起きる地域にはマグマ物質が集められ、また、圧縮場あるいは圧縮⇄引張交替場という応力状態になっている所では、岩石圏がマグマを通りにくくするために、マグマの噴き出し・地殻内への貫入・突出などが起こる。

5. マグマの集められる場所で発達した巨大な環状構造群でこうした現象が認められるのは、地下深部での内因成長期間が長く、大量のマグマ性の流動体が、何回ものマグマ活動の活発期を経てきているからである。そうした事象は、後期中生代から早期新生代にかけての太平洋底で、突発的ではあるが、系統性をもって続けられたと考えられる。このことは、チャンネル・マグマやガスの移動ルートシステムなどは、安定的に保持されていることで推定できる。そして、こうした事象のすべてが、巨大なスケールのプレート移動システムとは相いれないかたちになっている。

6. 隕石などの落下は、マグマの発達過程ならびに太平洋底のリング構造づくりの初期段階で重要な役割を果たした。その可能性は、大洋底の円形のもり上がり部と地球物理学的な異常現象は、隕石孔付近でよく認められるからである。こうしたことから、火成造構過程において、リング構造の若干の構造改変や造り変えがあった可能性がある。

7. こうした太平洋底におけるリング構造群の体系化については、形態学的にも、地質学的にも改定が必要である。

謝辞：筆者は、D. R. Choi 氏と N. C. Smoot 氏に、貴重なご意見ときびしい指摘を頂き、原稿を改善できた。厚く御礼申し上げます。

文 献

Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. and Michel, H.V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction // *Science*. V. 208. № 4448. P. 1095-1108.

Alvarez W., Asaro F., Michel H.V. and Alvarez L.W. 1982. Iridium anomaly approximately synchronous with terminal Eocene extinctions // *Science*. V. 216. № 4548. P. 886-888.

Burke, K. and Wilson, J.T., 1976. Hot spots on the Earth's surface. *Scientific American*. 235(2), p. 46-57.

Burn, W., 2015. Polygonal craters formation by electrical discharges. *NCGT J.*, vol. 3, no. 3, p.158-186.

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., 2017. Low velocity lenses at the top of lower mantle and a new earthquake model for the Fiji-Tonga-New Zealand region. *NCGT J.*, vol. 5, no. 2, p. 244-254.

Choi, D.R., Tsunoda, F. and Kawabe, T. 2017. Thermal structure of the Earth's mantle: Part 1. Pacific Ocean sector. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 5, no. 4, p. 512-521.

Driscoll, E.S.T. and Campbell, I.B., 1997. Mineral deposits related to Australian continental ring and rift structures with some terrestrial and planetary analogies. *Global Tectonics and Metallogeny*, vol. 6, no. 2, p. 83-101.

Esher B.G. 1933. On a classification of central eruptions assorting to gas pressure of the magma and viscosity of the lava. *Leidse Geol. Meded*, vol. 6, p. 45-58

Ezhov, B.V. and Nikonova, R.I., 2003-2004. Morphostructure of the North Pacific region oceanic floor from positions of the focal geodynamics. *Proceedings of the Prof. Club. Vladivostok*, no. 8-9, p. 54-64 (in Russian).

Ezhov, B.V. and Khudyakov, G.I., 1984. Morphotectonics of central type geodynamic systems (a new global concept). *Vladivostok: Dal'nauka*, 12 p. (in Russian).

Fukao, Y., 1992. Seismic tomogram of Earth's mantle: geodynamic implications. *Science*, vol. 258, p. 625-630.

Garrison, N.J., Busby, C.J., Gans, P.B., Putirka, K. and Wagner, D.L., 2008. A mantle plume beneath California? The mid-Miocene Lovejoy flood basalt, northern California, in Wright, J.E., and Shervais, J.W., eds., *Ophiolites, Arcs, and Batholiths: A Tribute to Cliff Hopson: Geological Society of America Special Paper 438*, 1-22 p.

Gavrilov, A.A., 1997. The large-scale ring structures of Earth (on data of tectonic geomorphology). *Fourth Intern. Conference in Geomorphology. Abstracts. Bologna, Italia*, vol. 1, p. 175.

Gavrilov, A.A., 1992. Problems of morphostructural-metallogenic analysis. Part 1. *Vladivostok: Dal'nauka*, 140p. (in Russian).

Gavrilov, A.A., 2000. Morphostructures of central type

- of dry lands and oceanic floor. Comparative analysis of the constitution and mineral resources distribution/ Proceeding of V International Interdisciplinary Symposium. Vladivostok, p. 205-207 (in Russian).
- Gavrilov, A.A., 2013. Geomorphologic indication of plumes and other focal systems of the Pacific Ocean bottom. *Geology of seas and oceans. Internat. Scient. Conference (School) of marine geology. Moscow, M.: GEOS, vol. 5, p. 51-55 (in Russian).*
- Gavrilov, A.A., 2015. The Darwin Rise and geomorphologic-geological indication of focal systems on the Pacific Ocean floor. *NCGT J., vol. 3, no. 2, p. 196-207.*
- Gavrilov, A.A., 2017. Morphotectonics of the margin-continental orogenic areas (the South of the Russian Far East and junction territories). Vladivostok: POI FEB RAS, 320 p. (in Russian).
- Golubeva, E.D., 2009. Evolution of the Pacific Ocean magmatism. Vladivostok: Dal'nauka, 131p.
- Grachev A.F. 2000. Mantle plumes and problems of geodynamics. *Physics of the Earth, no. 4, p. 3-37 (in Russian).*
- Harker A. 1904. The Tertiary igneous rocks of Skye. *Geol. Surv. Engl, no. 6.*
- International Geological-Geophysical Atlas of the Pacific Ocean. 2003. Moscow-Sankt-Petersburg, 192p.
- Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. Geological Map of the World. 1:15,000,000. Ministry of Natural Resources of Russian Federation, RAS.
- Katz, Ya.G., Kozlov, V.V., Poletaev, A.I. and Sulidi-Kondratiev, E.D. 1989. Ring structures of the Earth: myth or reality Moscow: Nauka, 191 p. (in Russian).
- Kulakov, A.P., Ermoshin, V.V., Ishchenko, A.A. and Nikonova, R.I. 1987. New morphostructure data of the Pacific Ocean southwest part. Preprint. PGI FEB of the USSR Academy of Sciences. Vladivostok, 60 p. (in Russian).
- Kuprin, P.N., 2016. Tectonic movements created continental margins of the Pacific Ocean between Asia and Australia. *Newsletter. Moscow Society of Naturalists, vol. 91, iss. 2, p. 16-28 (in Russian).*
- Kutina, J., 1995. The role of linear and circular megastructures in global metallogeny – a new look at the South Africa – Eastern South America connection. In: Barton, J. M. and Copperthwaite, Y.E. (eds.): Centennial Geocongress, 1995. Extended Abstract II. Geological Society of South Africa, 142-145 p.
- Malamud, B.D. and Turcotte, D.L., 1999. How many plumes are there? *Earth and Planetary Science Letters, vol. 174, iss. 1-2, p. 113-124.*
- Marakushev, A.A., Moiseenko, V.G., Sakhno, V.G. and Tararin, I.A. 2005. Ore and petrological complexes of the Pacific Ocean. Vladivostok: Dal'nauka, 296 p. (in Russian).
- Maruyama, S., Kumazawa, M. and Kawakami, S., 1994. Towards a new paradigm of the Earth's dynamics. *J. of the Geol. Soc. Japan, vol. 100, no. 1, p. 1-3.*
- McNutt, M.K. and Fischer, K.M., 1987. The South Pacific Superswell. *Geophysical monograph Series, vol. 43. Seamounts, islands, atolls, p. 25-34.*
- Thomson, I.N., Kochneva, N.T., Kravtsov, V.S. et al., 1984. Metallogeny of latent lineaments and concentric structures. Moscow: Nedra, 272 p. (in Russian).
- Morphotectonic systems of the central type of Siberia and the Far East, 1988. Moscow: Nauka, 216p. (in Russian).
- Pacific gravity map, 2006. Ocean gravity map. gif. bs. Wikipedia.org.
- Poletaev, A.I., 1983. Ring structures of the Earth: (by seismic data). *Proceedings of high schools. Geology and exploration, no 8, p. 159-161 (in Russian).*
- Saul, J.M., 1978. Circular structures of large scale and great age on the Earth surface. *Nature, 271, p. 273-276.*
- Schkolnik, E.L., Govorov I.N., Hershberg, L.B., Zadornov, M.M., Mel'nikov, M.E. and Volokhin. Yu.G., 1996. Ore provinces of the western and central parts of the Pacific Ocean – scales of a phosphatogenes and cobalt - manganese mineralization. *Pacific. Geology, vol. 15, no. 6, p. 120-128 (in Russian).*
- Smoot, N.C., 2018. Is the placement of Pacific basin oceanic plateaus and rises dependent upon megatrend intersections? *NCGT Journal, v. 6, no. 1, p. 37-72.*
- Solov'ev, V.V., 1978. The central type structures of the USSR territory according to geological and morphological analysis. Map of central type morphostructures of the USSR territory, M 1:10 000 000. L.: VSEGEI, 110p. (in Russian).
- Structural Map of the Western Pacific Ocean, 2016. First edition, Scale 1:20 000 000. Explanatory Notes Peter Miles.
- Su, W.J., Woodward, R.L. and Dsienwonski, A. M., 1994. Degree 12 model of shear velocity heterogeneity in the mantle. *J. Geophys. Res., no. B 4, p. 6945-6980.*
- Vasiliev, B.I., 2009. Geological structure and origin of the Pacific Ocean. Vladivostok: Dal'nauka, 560p. (in Russian).
- Yano, T., 2014. Late Mesozoic tectono-magmatism in the West Pacific Ocean – in a linear depression or on a domal uplift? *NCGT Journal, vol. 2, no. 4, p. 98-105.*

無線方向探知システム；全地球的な地殻診断に関する新見解 Radio Direction Finding System; a new perspective for global crust diagnosis

Valentino Straser¹, Daniele Cataldi², Gabriele Cataldi³

¹ Department of Science and Environment UPKL Brussels (B). valentino.straser@gmail.com

² Radio Emissions Project, Rome (I). daniele77c@gmail.com

³ Radio Emissions Project, Rome (I). ltpaobserverproject@gmail.com

(小泉 潔 [訳])

要旨： RDF(無線放射プロジェクトの無線方向探知システム)は、全地球表面をカバーする地磁気探知システムである。これがカバーしている範囲は、非常に正確な方位角に結びついた測色領域に細分されている。Lariano(ローマ, イタリア)の観測所が LTPA 観測プロジェクトと無線放射プロジェクトにより創られ、全地球規模でリアルタイムで“地殻診断”のモニタリングを行っている。

キーワード： RDF システム, 地震予知, SELF-VLF

(2018年4月8日受付, 2018年5月27日受理)

1. RDF 受信機

無線放射プロジェクトにより開発された RDF 受信機は、アンテナとして使用されるワイヤのオープンループの方向性を発見したハインリッヒ=ヘルツ(Heinrich Hertz)の研究により、1800年代後半から発展した技術に基づいている。RDF システムは、起きる可能性のある破壊的地震(MW=6+)を予知するために科学的研究の範囲内で使用された他の電磁気モニタリングシステムと比較して、地球表面の地震活動の活発な領域で無線放射異常を追跡するために、地球の背景電磁気放射の幅広い帯域を24時間365日モニタリングを念頭に置いて行っている。

1.1 ワールドマッピング

RDF(無線放射プロジェクトの無線方向探知システム)は、地球の全表面をカバーする地磁気探知システムである。この受信地域は、非常に正確な方位角に結びついた測色領域に分けられている(図1)。

RDF システムの操作を理解するためには、受信システムが主要点方向へ直角に配置され方向付けられたアンテナから来るステレオ信号を提供することができるかと仮定する必要がある。

アンテナから来る無線信号の流れは、順方向に結びついた“色”に細分される。

RDF 局により使用されている測色方式によると、個別に構成しているこの方式と結びついた主要点と方位測定値は、観測所の位置に関して、放射状に変位した地理的領域(近いか遠いか)を示している。その結果、観測所の位置する地理的位置から始まり、観測所自身の“対極点”にすべてが繋がるすべてが同じ長さ(約20000km)を持つ“ストリップ(細線)”に細分されている。

2. RDF 受信機の技術的性質

この研究分野で使用されたほかの電磁気モニタリングシステムと比較すると、RDF システムは次の点で優れている。

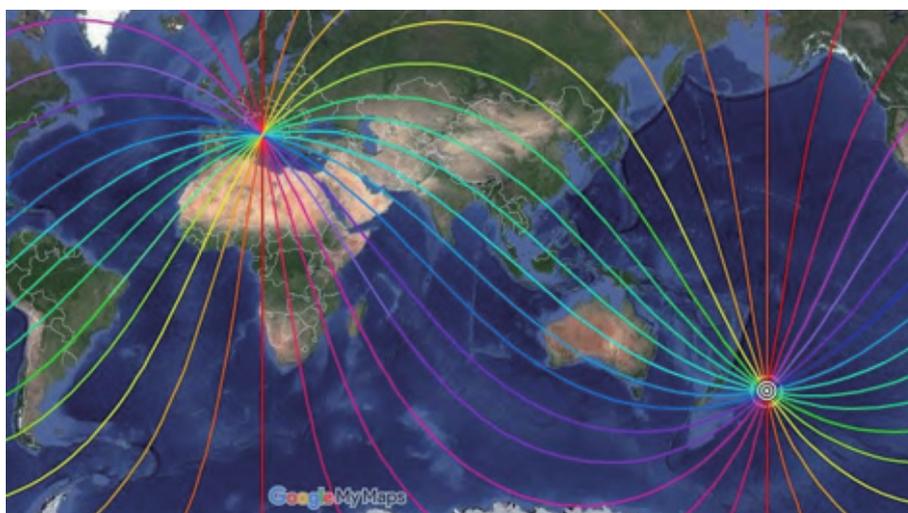


図1 Lariano(RM)における無線放射プロジェクトのRDFシステムの測色地図

- ・帯域幅 $a \sim 32\text{kHz}$ (SELF と VLF 帯, $3 > f < 32\text{kHz}$).
- ・周波数分解能 = 3.9Hz.
- ・信号強度分析のデジタル分解能 = 24bit.
- ・方位角と同様に, 放射周波数と強度の経時変化を追跡することを可能性にする動力的スペクトログラム*の提示を通じて, 電磁気活動を詳細に解析する能力.

*スペクトログラム (Spectrogram) 複合信号を窓関数に通して, 周波数スペクトルを計算した結果を指す. 3次元のグラフ (時間・周波数・信号成分の強さ) で表される. スペクトログラムは声紋の鑑定, 動物の鳴き声の分析・音楽・ソナー/レーダー・音声処理などに使われている. スペクトログラムを声紋と呼ぶこともある. スペクトログラムを生成する機器をソノグラフ (sonograph) という. (ウィキペディア)

- ・スペクトログラムの記録速度 (垂直線 / 秒) = 1/20. 最小記録速度 = 1/256m・秒.
- ・無線放射の方位角を確認する測色スケールの使用.
- ・電磁気の性質 (スペクトログラム) のデータを分析し保存するためのラップトップ型コンピュータの使用.
- ・RDF 受信機の低い供給電圧 (5V).
- ・USB から電力を供給される受信機. この回答は, 次のことを可能にする.
 - 1) 電源 (50/60Hz) に接続されている 2次電源を使用することを避けることによって, ネットワークの干渉を大幅に低減する.
 - 2) ノート (パソコン) に接続されている主電源が中断されたら, 1~2時間の自律性を持つ.
 - 3) 電磁気モニタリングシステム全体を移動可能にする.
- ・受信機の消費電力を削減 (約 1W) している.
- ・メンテナンス費用の削減: 観測所は, 一定のメンテナンスを必要とするハードウェアおよびソフトウェアを持っていない. 使用しているラップトップの解は, UPS (無停電電源) の購入に必要なコストの削減も見越している.
- ・分析ソフトの構成パラメータをチェックし修正し, モニタリングデータアーカイブに接続するために, さらに RDF モニタリングシステムに遠隔から (フリーソフトを使用して) 接続することが可能.

ハードとソフトが処理できる情報は, 次のようなものを含んでいる.

- ・スペクトログラム—それぞれの信号の周波数 Hz.
- ・スペクトログラム—それぞれの信号の強度 db.
- ・スペクトログラム—記録された信号のタイムスケール.
- ・スペクトログラム—度 (°) 単位で記録された信号の方向と方位角.
- ・スペクトログラム—アンテナからの信号の全強度.
- ・モニタリンググラフ—信頼できるサブ周波数帯において捕らえられた無線信号のタイムスケール・強度と方位角.

3. モニタリング技術

適度に離れた観測所 (数 10km) からの RDF 情報を組み合わせ, 三角測量により電磁気放射の発信源の位置を決めることができる. 受信局は, 無線信号の方位角の軸を特定し, 無線発信方向を識別できる. 二つあるいはそれ以上の受信局と一体となって, それ故無線放射の正確な位置を得ることができ, 従ってその強度と同様に観測所からの距離を決めることができる. 無線放射プロジェクトに使われた技術は, 従って特定の無線信号の位置を識別し, 三角測量の結果, 正確にその位置を決めることができる.

このシステムはまた, 強度と時間的変化 (形態と反応) における信号の周波数に関するデータを提供している.

これは, 電磁気と地磁気の地震前兆についての研究に今までほとんど使われたことがない革新的技術である.

4. RDF システムの強度

電磁気 RDF のモニタリングに関するシステムの強みは, それぞれ数 10km 離れた位置にある受信機のネットワークを使って電磁気放射点の三角測量を行うことができることである. RDF 観測所は常に無線信号の強度・それらの周波数・それらの方位角およびそれらのパラメータの時間的変化に関するデータを提供している. SID (突然の電離層攪乱) の兆候を追跡することにより, 太陽活動によって引き起こされる低高度電離層 (D および E 層) の電離異常に関する情報を提供しており, 動力的スペクトログラムの結果は, ピックアップされた無線信号 (スペクトログラムの特徴または電磁気現象) の形態の解析を念頭に置くと, 人為的な電磁気現象を自然のものから比較的容易に区別することができる. すなわち, これらは, 人為起源の無線通信事業者の VLF 帯域における無線伝搬の改善として現れている. 二つまたはそれ以上の RDF 観測所の使用により検波された無線異常を三角測量することにより, 電磁気現象 (帯域幅の多様性・放射周波数・強度と方位角) を時間との関係で分析することができ, 一定の地震領域に集中する異常の数を示すことができる. 例えば, 単軸誘導磁気センサ, またはより一般的には, 磁気画像記録を生み出す電磁気モニタリングシステム (三軸のものでさえも) を使用する従来の観測所では, このタイプのデータは提供することはできない.

5. 期待される結果

受信した信号の色に基づくと, それらの正確な位置, すなわち観測所が位置する地理的位置に対する発生源の方向, を識別することができる. 検波方向についても方位角 (°) で知ることができ, この結果として記録された無線信号の軸の位置に関する正確

なデータを提供している。

この革新的技術の結果、無線放射プロジェクトはまた、震源と一致する地震に先行する無線信号を検波することを目標としている。新モニタリングシステムは、2017年3月以来検定を受けてきており、マグニチュード4以上の地震に対して肯定的な結果をもたらしている。アペンディックスには、3つの事例研究が紹介されている。

謝辞：筆者は、著者たちは、この実験を世界的規模で継続していくための絶え間ない励ましに対して、Bruce LeybourneとDong Choiに心から感謝したいと思います。Louis Hissinkはこの論文の英語力を向上させた。

文 献

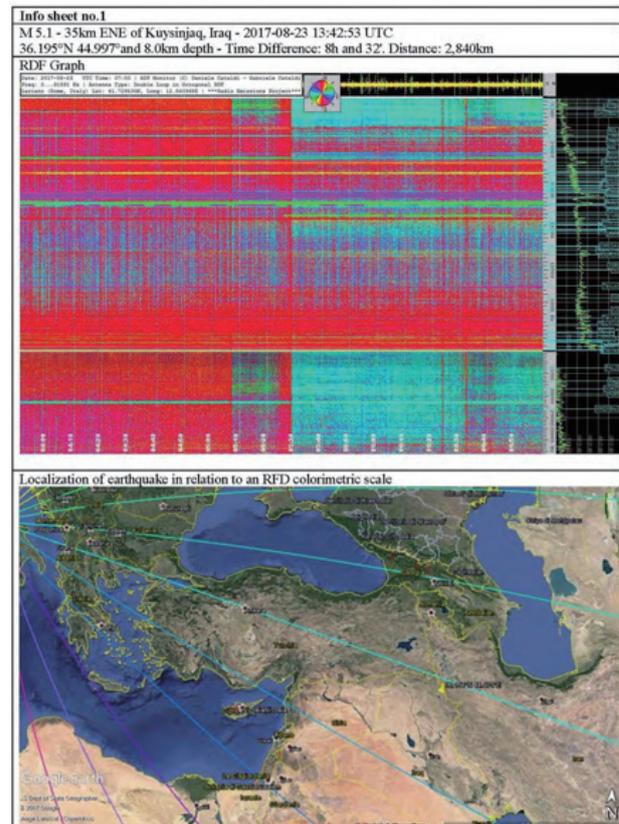
- Cataldi, D., Cataldi, G. and Straser, V., 2017. SELF and VLF electromagnetic emissions which preceded the M6.2 Central Italy earthquake that occurred on August 24, 2016. European Geosciences Union (EGU), General Assembly 2017. Seismology (SM1.2)/Natural Hazards (NH4.7)/Tectonics & Structural Geology (TS5.5). The 2016 Central Italy Seismic sequence: overview of data analyses and source models. Geophysical Research Abstracts Vol. 19, EGU2017-3675.
- Cataldi, G., Cataldi, D. and Straser, V., 2017. Solar and Geomagnetic Activity Variations Correlated to Italian M6+ Earthquakes that Occurred in 2016. European Geosciences Union (EGU), General Assembly 2017. Geophysical Research Abstracts, vol. 19, EGU2017-3681. Seismology (SM1.2)/Natural Hazards (NH4.7)/Tectonics & Structural Geology (TS5.5) The 2016 Central Italy Seismic sequence: overview of data analyses and source models.
- Cataldi, G., Cataldi, D., Rossi, R. and Straser, V., 2016. SELF-ELF Electromagnetic signals correlated to M5+ Italian Earthquakes that occurred on August 24, 2016 and January 18, 2017. NCGT Journal, vol. 5, no. 1, p. 134-143.
- Straser, V., Cataldi, G. and Cataldi, D., 2015. Radio-anomalies: a tool for earthquake and tsunami forecasts. European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2015, Natural Hazard Section (NH5.1), Sea & Ocean Hazard - Tsunami, Geophysical Research Abstract, vol. 17, Vienna, Austria. Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.
- Straser, V., Cataldi, G. and Cataldi, D., 2016. SELF and VLF electromagnetic signal variations that preceded the Central Italy earthquake on August 24, 2016. NCGT Journal, vol. 4, no. 3, p. 473-477. Harvard-

Smithsonian Center for Astrophysics, High Energy Astrophysics Division, SAO/NASA Astrophysics Data System.

- Straser, V., Cataldi, G. and Cataldi, D., 2017. Seismic signals detected in Italy before the Nikol'skoye (off Kamchatka) earthquake in July 2017. NCGT Journal, vol. 5, no. 3, p. 391-396.

アペンディックス

RDF システムで作られた三タイプの“地殻診断”

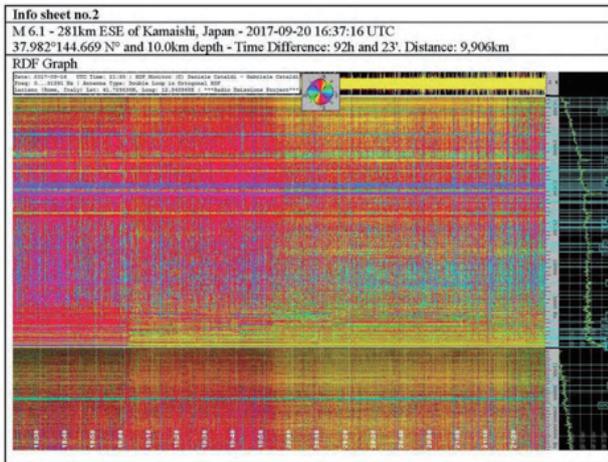


M5.1 - Kuysinjaq (イラク) の35km 東北東 - 2017年8月23日 13時42分53秒 (世界時)。北緯36.195° 東経44.997°, 深度8.0km - 地震前8時間。

RDF スペクトログラム スペクトログラムは RDF 電磁気モニタリングシステムによって実現される動力学的スペクトログラム (SELF-VLF 帯) を示している。スペクトログラム内の色は、観測所により捕らえられた電磁気信号の方位角を示している。電磁気信号の強度は、色の彩度の増加で示されている。すなわち、彩度が高いほど、無線信号の強度は大きくなり、逆も同様である。記録時間 (世界標準時) は、図の下に表示されている。スペクトログラムの右側には、無線信号の放射周波数と強度 (デシベル単位) が示されている。上部には、スペクトログラムをまとめたデータ・地理的方位角に関する測色スケールおよびスペクトログラム登録に同期した“全強度”スケールが、左から右に表示されている。地震現象に関係した電磁気信号は、白破線内に含まれているものである。

時間間隔：地震の前，8 時間 32 分。
距離：2,840 km

地震の方位角との相関関係 図は，RDF 観測所により捕らえられた方位角の電磁気データと相関している震源（黄色のアイコンで示されている）を示している。着色された線は，RDF 観測所が設置された地理的サイト (Lariano, ローマ, イタリア) から発信され，関連性が RDF 受信機により捕らえられた電磁気信号の方位角（色がスペクトログラムを示している）と実際の方位方向との間に存在することを示すことが目的である。



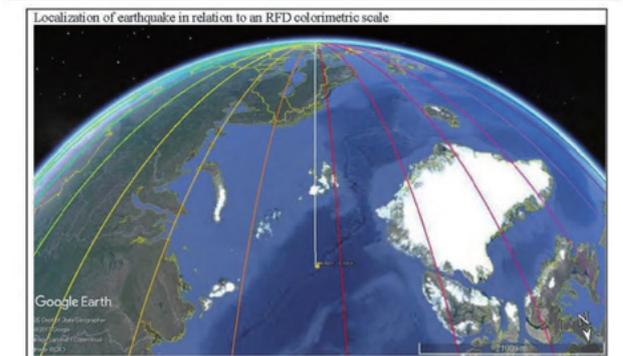
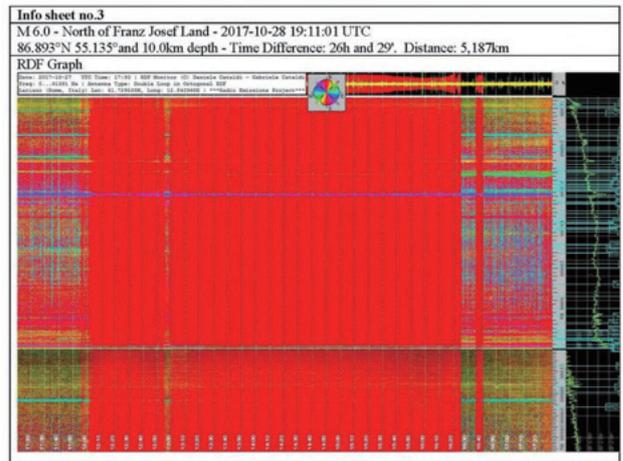
M6.1 - 釜石 (日本)281km 東南東 - 2017 年 9 月 20 日 16 時 37 分 16 秒 (世界時)。北緯 37.982° 東経 144.669°，深度 10.0km - 地震前 92 時間。

RDF スペクトログラム 動力的なスペクトログラム (SELF-VLF 帯) は，RDF モニタリングシステムによって実現された。スペクトログラム内の色は，観測所によって捕らえられた電磁気信号の方位角を示している。電磁気信号の強度は，色の彩度の増加で示されている。すなわち，すなわち，彩度が高いほど，無線信号の強度は大きくなり，逆も同様である。記録時間 (世界標準時) は，図の下に表示されている。スペクトログラムの右側には，無線信号の放射周波数と強度 (デシベル単位) が示されている。上部には，スペクトログラムをまとめたデータ・地理的方位角に関する測色スケールおよびスペクトログラム

登録に同期した“全強度”スケールが，左から右に表示されている。地震現象に関係した電磁気信号は，白破線内に含まれているものである。

時間間隔：地震前 92 時間 23 分
距離：9,906 km

地震の方位角との相関関係 図中に，RDF 観測所により捕らえられた方位の電磁気データと相関している震源（黄色のアイコンで示されている）を示している。着色された線は，RDF 観測所が設置された地理的サイト (Lariano, ローマ, イタリア) から発信され，関連性が RDF 受信機により捕らえられた電磁気信号の方位角（色がスペクトログラムを示している）と実際の方位方向との間に存在することを示すことが目的である。赤線は，スペクトログラム中に使用された測色スケールより震源の方位角をより明確にするために書き込まれた（この場合，色はほとんど黄色に近い）。



M6.0 - フランツヨーゼフ島の北 - 2017 年 10 月 28 日 19 時 11 分 01 秒 (世界時)。北緯 86.893° 東経 55.135°，深度 8.0km - 地震前 31 時間。

時間間隔：地震前 26 時間 29 分。
距離：5,187 km

RDF スペクトログラム 動力的なスペクトログラム (SELF-VLF 帯) は，RDF 電磁気モニタリングシステム

ムによって実現された。スペクトログラム内の色は、観測所によって捕らえられた電磁気信号の方位角を示している。電磁気信号の強度は、色の彩度の増加で示されている。すなわち、すなわち、彩度が高いほど、無線信号の強度は大きくなり、逆も同様である。記録時間（世界標準時）は、図の下に表示されている。スペクトログラムの右側には、無線信号の放射周波数と強度（デシベル単位）が示されている。上部には、スペクトログラムをまとめたデータ・地理的方位角に関する測色スケールおよびスペクトログラム登録に同期した“全強度”スケールが、左から右に表示されている。地震現象に関係した電磁気信号は、白破線内に含まれているものである。

地震の方位角との相関関係 上記の図において、RDF 観測所により捕らえられた方位の電磁気データと相関している震源（黄色のアイコンで示されている）を明らかにしている。着色された線は、RDF 観測所が設置された地理的サイト（Lariano, ローマ, イタリア）から発信され、関連性が RDF 受信機により捕らえられた電磁気信号の方位角（色がスペクトログラムを示している）と実際の方位方向との間に存在することを示すことが目的である。白線は、スペクトログラム中に使用された測色スケールより震源の方位角をより明確にするために書き込まれた（この場合、色はほとんど赤色に近い）。

深海掘削試料から見た大西洋中央海嶺の形成史

History of development of the Mid-Atlantic Ridge based on deep-sea drilling materials

Boris Blyuman

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute Boris_Blyuman@vsegei.ru

（小坂 共栄 [訳]）

要旨：大西洋中央海嶺（Mid-Atlantic Ridge:MAR）で実施された深海掘削によって得られた試料は、その形成に関する考えを明確にさせてくれる。掘削データによれば、赤道域付近の MAR は、その基底部にはんれい岩やかんらん岩の岩片を含む角礫岩が存在しており、中新世に形成された。鮮新世 - 更新世になると、基底部に玄武岩のみが認められ、中軸谷のない北大西洋海嶺が形成された。赤道付近の MAR では、完新世になると地殻物質であるはんれい岩やマントル物質のかんらん岩が認められる中央海嶺が形成された。第四紀全般を通して、北大西洋、赤道付近の MAR エリアでは最新期の火山活動や熱水活動が顕著となった。これら海域での時間的にもまたその様式においても多様な MAR の構造は、大陸地域とは異なっている。

キーワード：deep-sea drilling, oceans, mid-ocean ridges, basalts, peridotites

（2018年5月16日受付, 2018年5月27日受理）

はじめに

今日では、地質学や鉱床学において fixism（固定論）と mobilism（移動論）それぞれの支持者間の議論（論争）は実質的には終わっており、大部分の地質屋たちは移動論であるプレートテクトニクスが提供することがらに何の疑いもなく追隨している。海洋や大陸地域での地質や鉱床に関するデータから生まれたこのプレート論の概念の直接的な宣伝は、Shchgllov(2007) が指摘しているように、本来的に鉱床学で打ち立てられたものではない。大陸地域に関する指導的地質学者である Belousov, 海洋地域に関しての Udintsev それぞれは、この概念について分析し「この概念は大陸や海洋、そのいずれにおいても現在はもちろん、近い将来においても新しいものを生み出さないであろう」と述べた。筆者はこのことについてすでに述べたことがある (Blyuman, 2013, 2017)。

ここでは、現代の geodynamics の基本的な知見と矛盾する深海掘削のデータの中で Mid-Atlantic

Ridge (MAR) の基本的構造に関する情報を皆さんに提供したい (図 1)。

最初に、「mid-oceanic ridge」という言葉の定義について触れておく。

mid-oceanic ridge とは、海洋底の構造の主要なもののひとつである。それは海洋底から 3 ~ 4km の高さで盛り上がり、断続的ながらも長さ約 60,000km, 幅 2,000km の規模で線状に続いている。通常 mid-oceanic ridge (MOR) はセグメント化しており、各セグメントごとにその伸びの方向で同じような形態を示し、その構造にも同じような繰り返しが見られる。各セグメントの境界は通常トランスフォーム断層によって限られている。横断断面を見ると、MOR は翼部, ridge 部, 軸部からなっていることが分かる。翼部は数百キロの幅をもち、1,000 ~ 2,600 万年ほど前に噴出した玄武岩とその上に細粒堆積物が重なっている zone である。ridge の肩 (crest zone) は 50 ~ 100km 幅で blocky な ridge である。ここは、ridge を横断する何本かの断層に

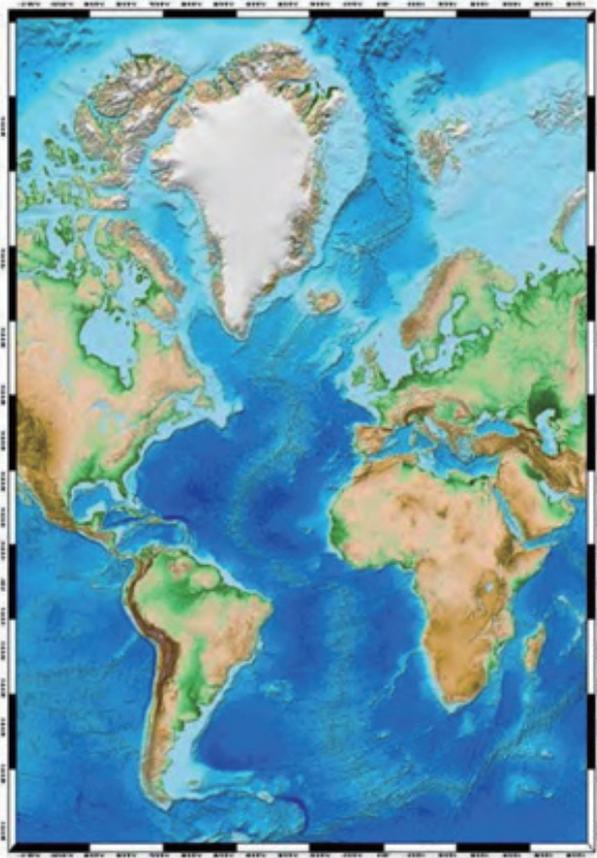


図1 人工衛星データとETOPONOAA (NCEI) による測深データとを合わせて作成したデジタルな地形モデル

よって幅の狭いブロックに分けられている。軸部は通常、海洋のリフトバレーと呼ばれるところで、高い熱流量と活発な地震活動、塩基性の火成活動、負の重力異常などで特徴づけられる。まれに horst で特徴づけられることもある。プレート論的に言えば、MOR は減圧状態のマントルの上に載ってその上に少しの堆積物を乗せた 5 ~ 6km の厚さの薄い海洋地殻だということになる。Lithosphere プレートという視点から見た時の MOR は、海洋底の拡大軸ということでありその中軸部は海洋地殻が新たに生まれるところだと表現される。拡大のスピードは速いところもあれば遅いところもあるという。また形態的にも火山活動の面でも違いがあるという。さらに付け加えると、MOR は時に中~極低速度のところがある (Pushcharovsky, 1971)。最大の MOR は、東部太平洋の Gakkel Range と呼ばれる地域に存在する。弧状の海域の連続である中央大西洋、アメリカ-南極、アフリカ-大西洋、中央インド洋などで連続しており、これらだけで大洋底の三分の一のエリアを占めている。

次のようなことはしっかりと認識すべきである。すなわち、極地域から赤道域への大西洋の移動 (が起きたと考えると) は、ridge の上に載る堆積物の構造や地形的な特徴を変えてしまうということである。北部大西洋のアイスランド北東に位置する Knipovich, Mona, Jan Mayen Ridge や、アイスランド南東部の Reykjanes Ridge (図2) などと比較

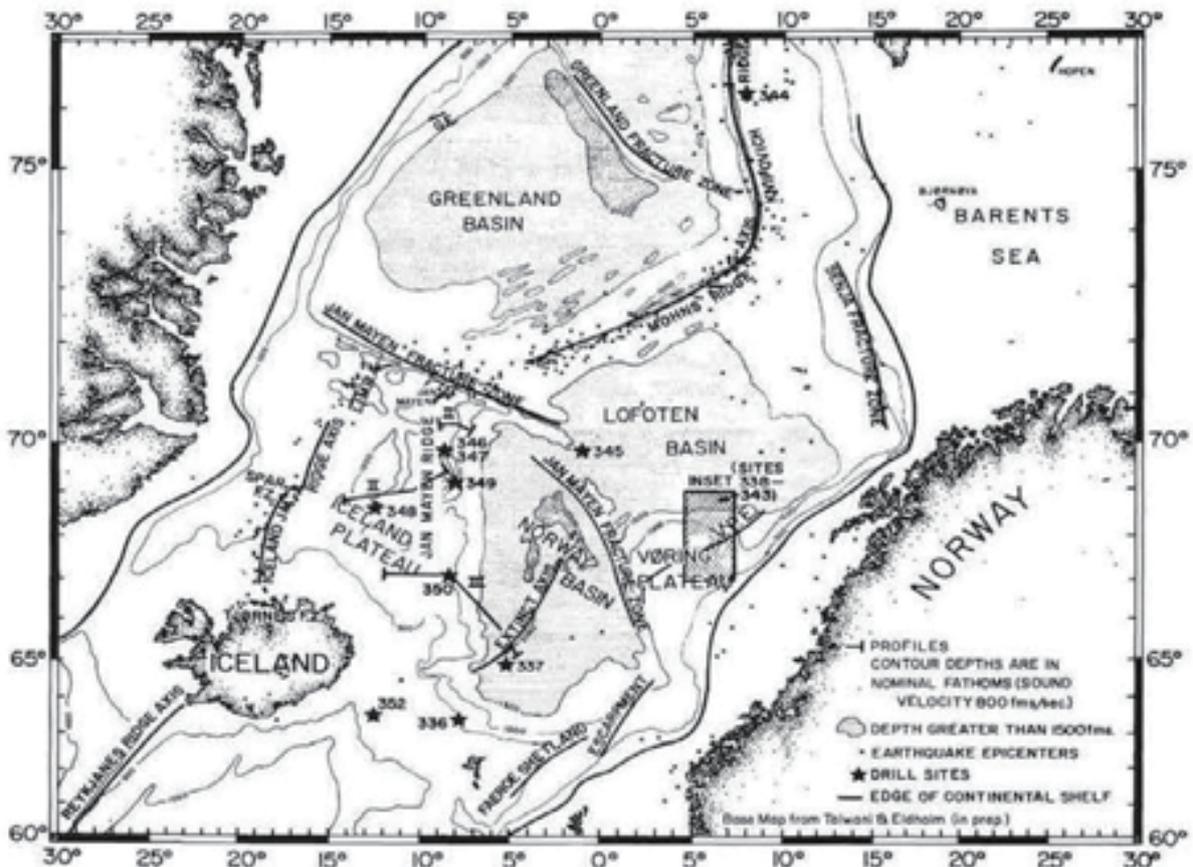


図2 North Atlantic Ridge での深海掘削地点 (Aumento et al., 1977)

的浅い海域であるが、そこでは半遠洋性ないし浅海性の Plio-Pleistocene の堆積物でおおわれている。これら ridge の形としては、その伸びの長さは図では表されていないが、軸部や翼部のスロープは basalt からなるピークの繰り返しからなっており、その間が堆積物で埋め立てられていることが分かる (図 3, 図 4, 図 5)。

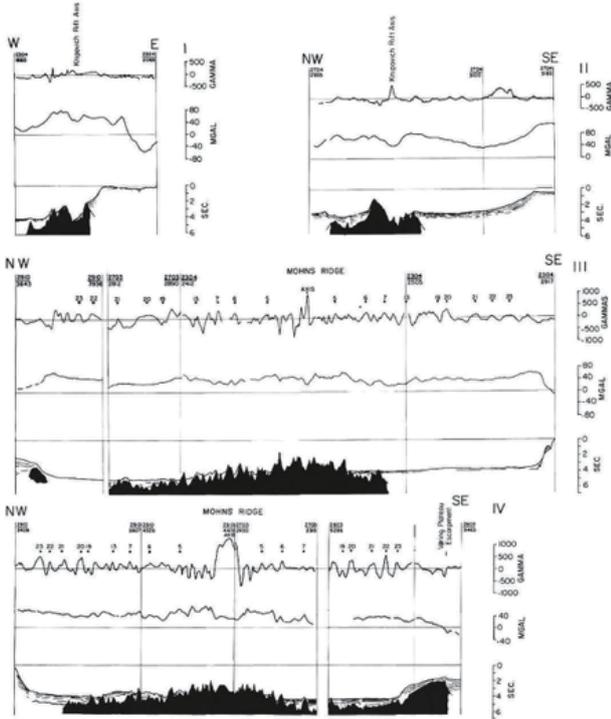


図 3 Mona ridge と Knipovich ridge の断面. median valley が欠けていることに注意 (Aumento et al., 1977)

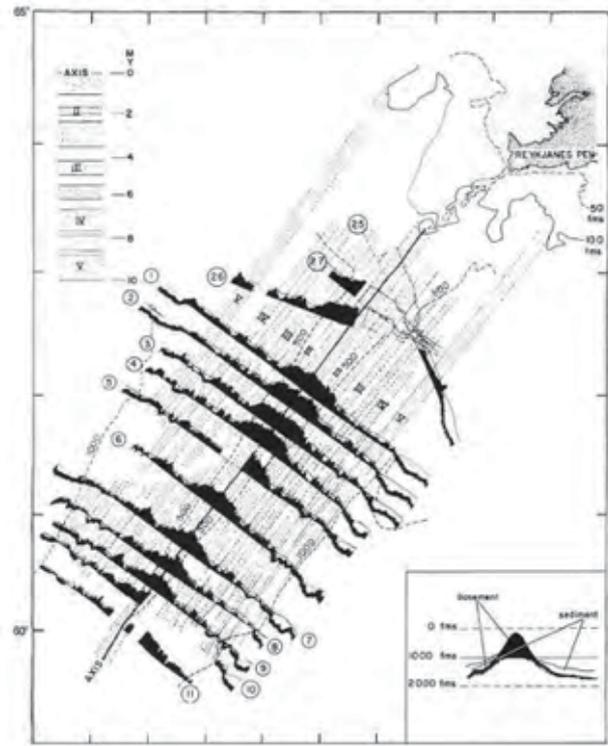


図 4 Reykjanes range の測深断面 (Luendyk et al., 1978)

サイト 409 (図 5) のセクションで見ると、Pliocene-Pleistocene の堆積物は石灰質の砂質粘土～泥灰質シルトからなっており、5～10%の石英、長石、スポンジなどの碎屑粒子を含んでいる。玄武岩中には cobble サイズの石灰岩が見いだされる。石灰岩中には浮遊性有孔虫やナンノ化石、貝殻片などが含まれる。このサイトでは、58.5mの厚さの amygdaloidal (多孔質) な玄武岩が掘削された。他のサイトでの掘削も合わせると、このエリアには広く玄武岩～凝灰質の堆積物が堆積していることが明らかである。このエリア内に見られる 58 枚の玄武岩はいずれも平均すると 3～4mの厚さを有している。30%以上を占める火山灰が断面の上部 40m 部分に存在しており、内部の火山物質は淡褐色・塊状で多孔質なものである。

海洋掘削のデータによれば、赤道付近の MAR に関して他の探査も実施されている (図 6)。地震波探査による断面からは、大西洋北部と同様に玄武岩質の ridge の間に堆積盆地が存在することが明らかである (図 7)。その盆地は、いずれも 1～3kmの高さの ridge で囲まれた同程度の大きさの形態をなしている (図 7, 8, 9)。

Site 395, 395A は、東方に離れて存在する大きさ 6×12kmの小さなベースンである。ベースンの最深部に厚さ約 300mの堆積物が存在する。ベースンの東側、西側はそれぞれ 17° くらいの傾斜で高さ約 3000mにまで盛り上がった ridge で境されているが、その ridge 上には堆積物は認められない。ベースン内の沈積物はこの ridge からもたらされたものである。この堆積盆内の堆積物の上半部は浮遊性有孔虫を含む砂層を挟在した Pleistocene の浮遊性有孔虫～ナンノ化石泥からなっている。この砂層中には 4cm 大の玄武岩 pebble, 5cm 大の serpentinite 礫が含まれている。このことから、この堆積物は底層流によって運ばれて堆積したものと考えられてきた。堆積物の基部は、暗黄色～黄褐色の前～後期中新世の石灰質泥である。時に大きめの玄武岩・斑レイ岩・serpentine の礫も含まれる。これら碎屑物

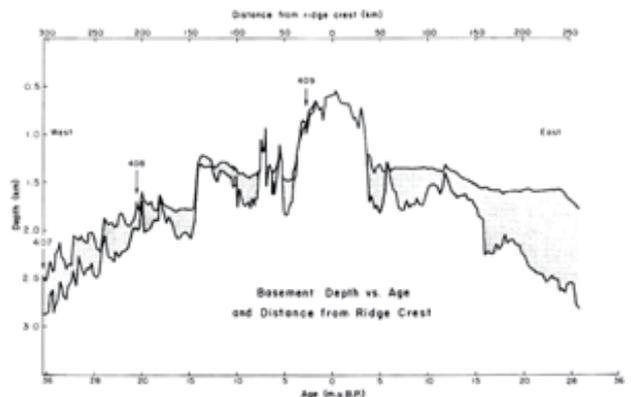


図 5 サイト 408, 409 における Reykjanes ridge を横断する地質断面図 (Kelman et al., 2004)

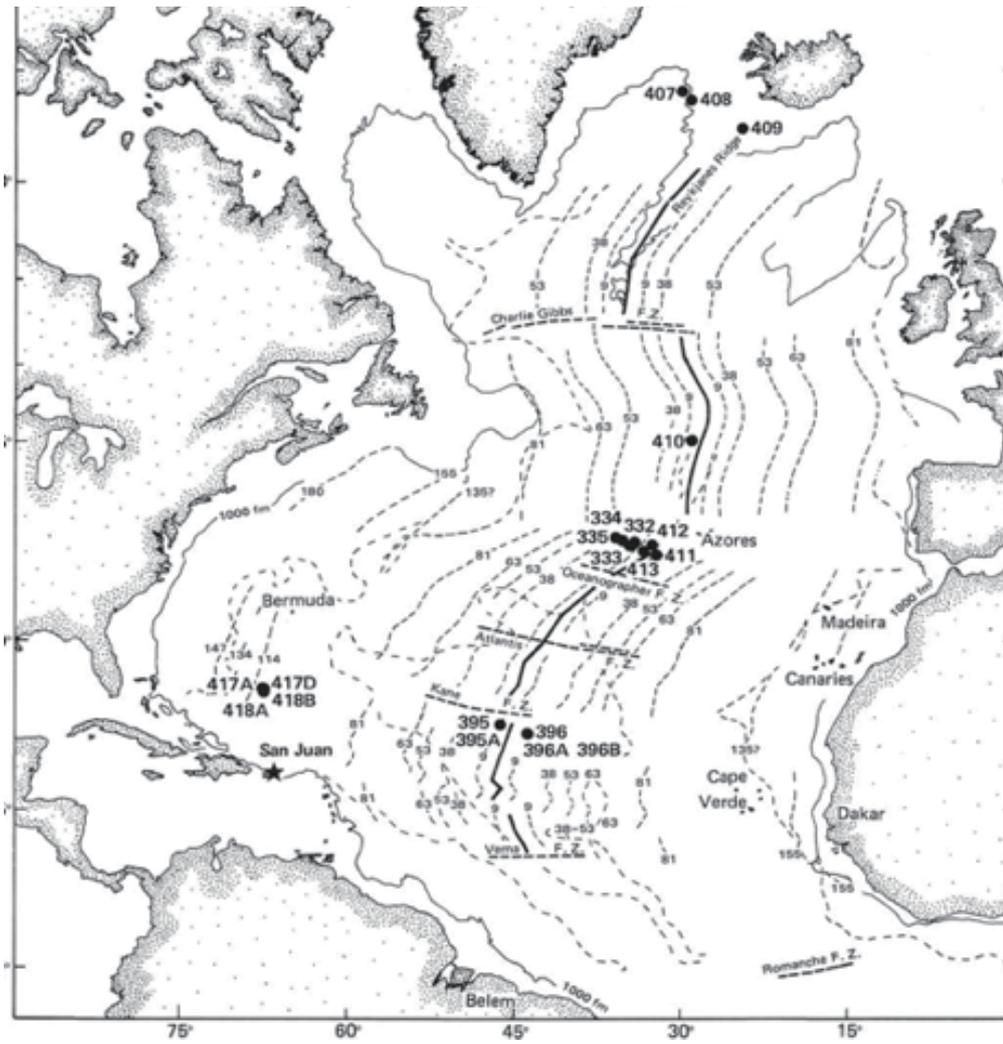


図6 Leg45で得られた明確な median valley とその両側に斜面を持つ断面

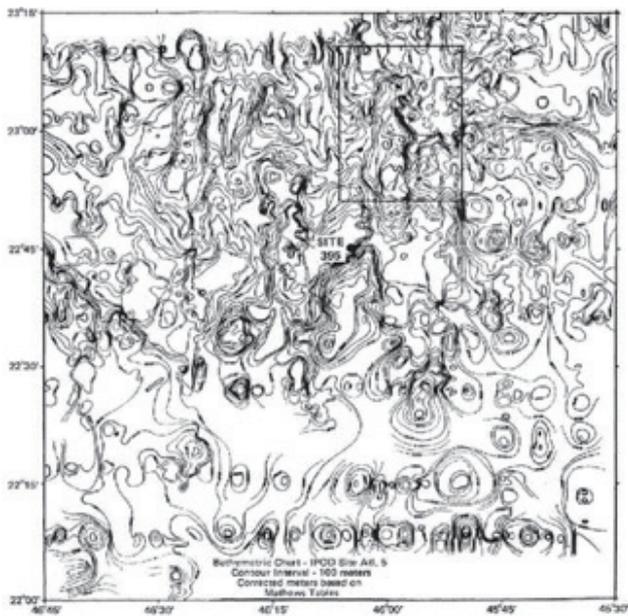


図7 サイト395の測深結果による海底地形. Ridgeの形が不鮮明なことに注意 (Melson et al., 1978)

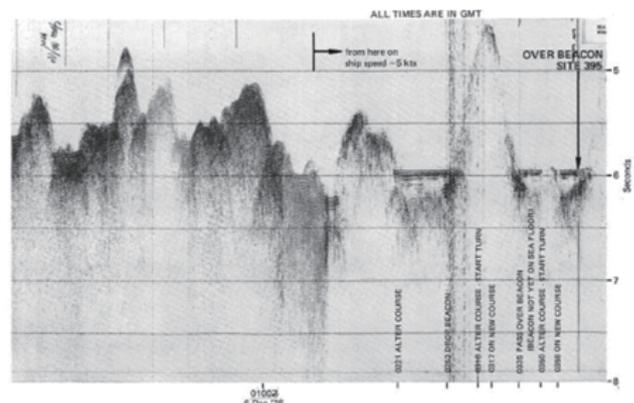


図8 サイト395の地震探査断面 (Melson et al., 1978)

して存在する塩～超塩基性岩帯 4) 斑状ガラス質ないし細粒玄武岩からなる帯 5) ガラス質～細粒玄武岩からなる帯 6) 斑レイ岩～塊状斑岩の2種類の貫入岩からなる帯 7) 熱水変質を受けた玄武岩からなる帯 の7帯である. これらはいずれも玄武岩の上に大規模に集積した崖錐堆積物と表現されてきた.

からなる zone は, その深度に応じて次の7つに区分される. 1) 93mの厚さの boulder サイズの礫帯: 礫は有孔虫～ナンノ化石泥を含む玄武岩 2) 厚さ60mの灰色細粒の玄武岩帯 3) 玄武岩からは独立

MAR から 300 ~ 500km ほど離れた海洋底内であつその堆積盆内においてその基盤となっている玄武岩や超塩基性岩のうち, 碎屑性の物質を含んでいるの

は玄武岩層だけである。このことは、海洋底においてはMARの軸部の方がその翼部よりも海洋地殻基底の斑レイ岩やマントル物質の peridotite 部に近いことを示している。

赤道域のMARの構造的な谷地形の形成を考える際には、Leg. 336のNorth Pond basin(このベースンはMARの西に8×15kmで延びて孤立して存在する)で掘削されたデータを参考にしなければならない(図10)。

North Pond basinは、MARの中軸部の谷からは少し離れており、やや単純ながらもベースンの周りを取り囲むような形態のridgeの存在で特徴づけられている(図11・図12)。

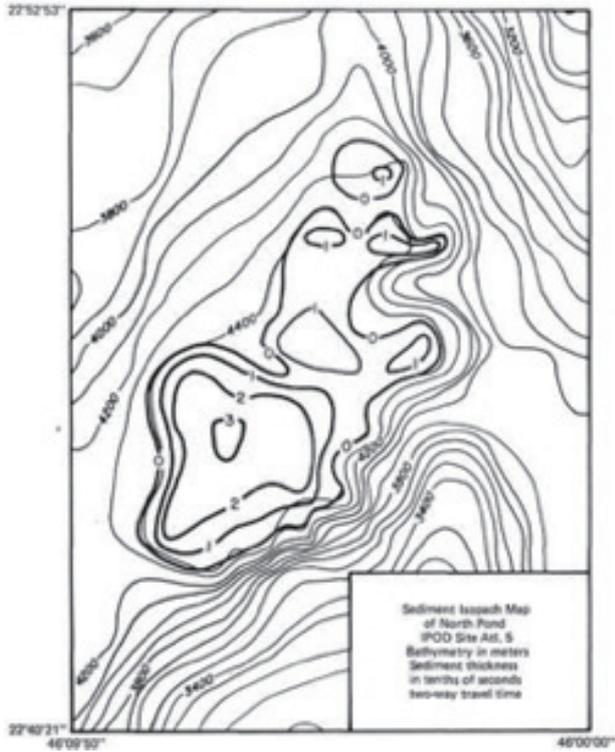


図9 サイト395の堆積盆の模式的構造 (Melson et al., 1978)

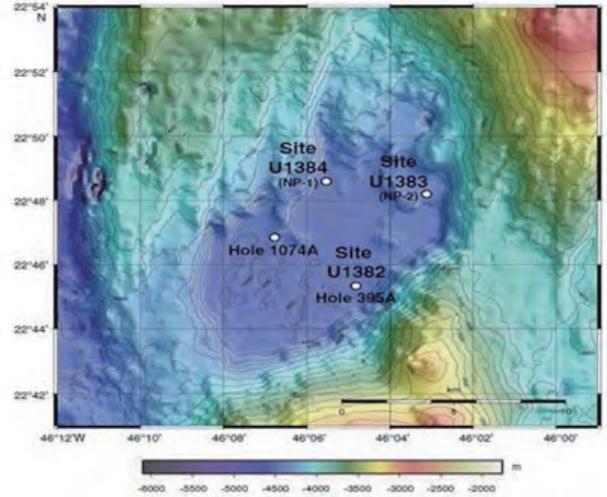


図11 North Pond basin内のサイト位置 (Edwards et al., 2010)

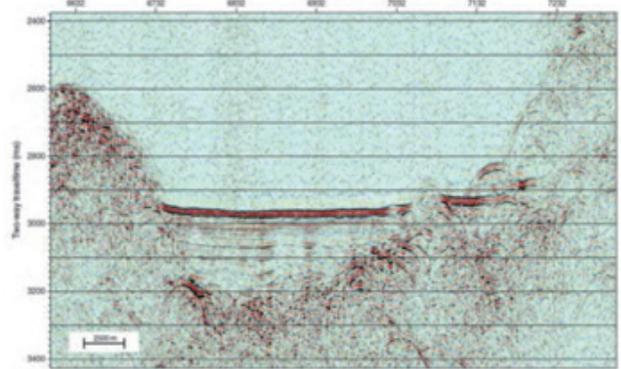


図12 profile9の震探断面 (Edwards et al., 2010)

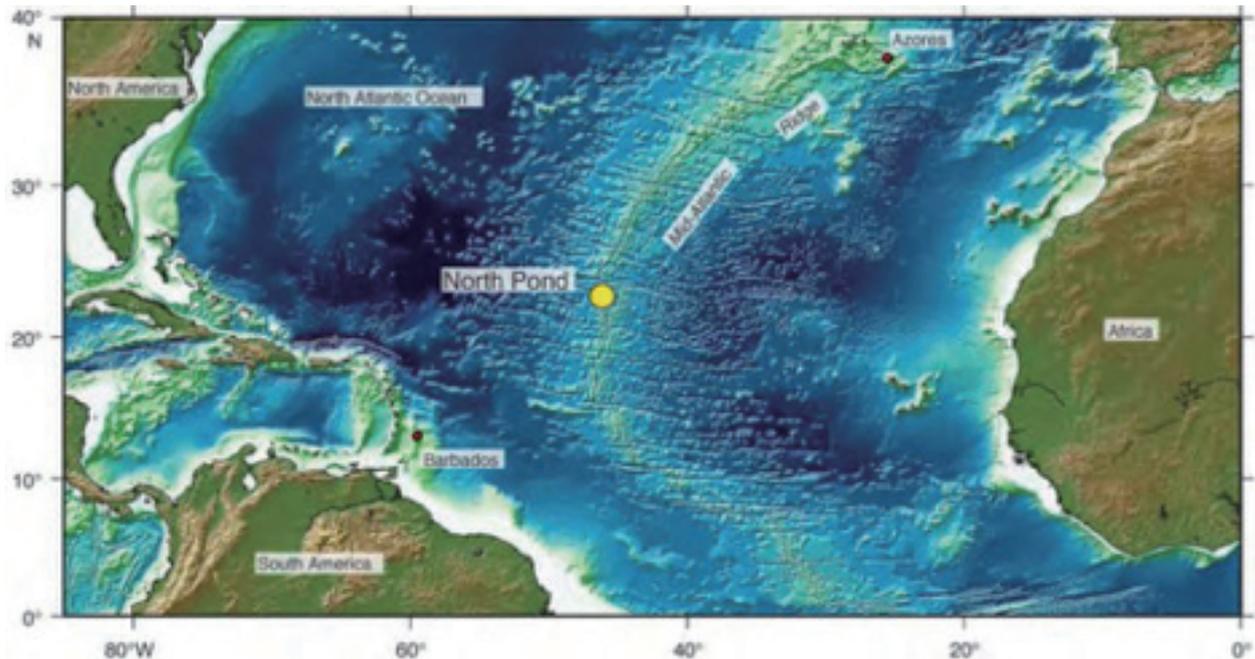


図10 MARの西方へ伸びたところのNorth Pond basin (Edwards et al., 2010)

堆積物の厚さは、サイト U1382, 1384 では 90m, U1383 では 38 ~ 53m である。それらは有孔虫化石に富む砂、玄武岩や serpentinite の礫、二枚貝の殻の破片などを含むナンノ化石泥で特徴づけられている。コアの下半部は褐色の粘土である。堆積物はその下位の玄武岩との境界部で 1m 以下の厚さで石灰質の物質でセメントされた玄武岩 breccia が認められる (図 13・図 14)。

サイト U1384A では、93.5m の厚さの堆積物が掘削されたが、うち 0.5m の玄武岩～石灰でセメントされた玄武岩 breccia を掘削した。玄武岩は多孔質・ガラス質で vein に沿って茶色に変色している。堆積物は有孔虫に富む砂層を挟在したナンノ化石泥である。サイト 1382B の堆積物は、中程度に円磨された岩片を含んでおりシルト層を挟在する。岩片は砂から pebble サイズまでの大きさで、serpentine 化した peridotite, 斑レイ岩, 玄武岩からなっている。また、このサイト (1382B) のコアは serpentinite や tremolite schist に富んだデブリ堆積物で特徴づけられるが、それらはサイト 395A や U1382A で露出スペース内で山地をなしている結晶質岩を供給地としている。サイト U1383C は、70 ~ 146m の厚さで石灰岩と互層する玄武岩である。それらの玄武岩は、ガラス質で薄いハイアロクラスタイトである。ベースン最南端の堆積物は厚さ 300m で、その東端・西端を 2km の高まりをなす基盤の ridge で境されている。

赤道域に近い MAR は median valley 的な特徴を有している。このエリアでの median valley 部での掘削は Leg209 (図 15) で実施された。

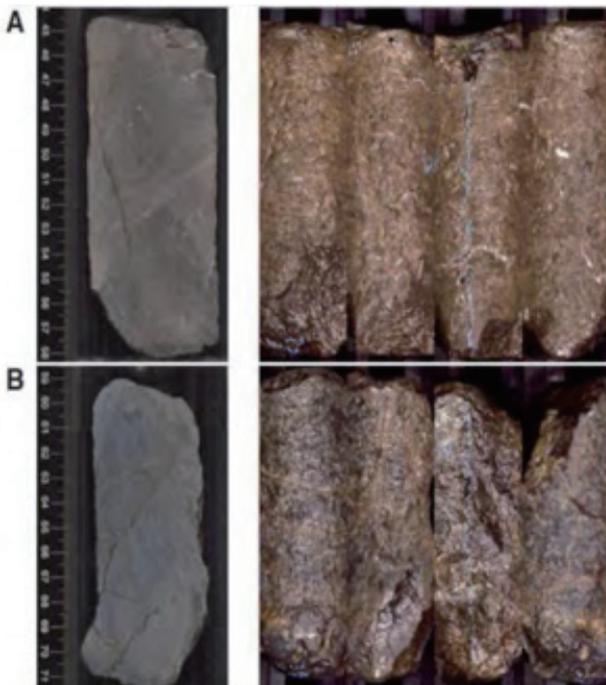


図 13 Unit3 の玄武岩試料. A: 処理前のもの B: 処理後のもの(体積変化を起こした)

Median valley の中軸部の、水深 1268 ~ 3011m で掘削されたデータによれば、基底から 4 ~ 10m の層準はさまざまな組成の風化した pebble を含む sepiolite clay である。これは表層に露出している多孔質玄武岩からのデブリである。酸化した岩石はその下位の斑レイ岩—dunite の互層部とは直接関係していないが、深くなるにつれて斑レイ岩や dunite は増える傾向にある。サイト 1270A で最初に得られたコアは breccia とデブリである。このサイトの記載で注意しなければならないのは、コアの上半部は小さな pebble や peridotite の breccia がめまぐるしく移り変わるために組成を決めるのがとても難しいということである。コア全体を通して、風化した hartzburgite が鉄の酸化物や粘土に変化していることにも注意しなければならない。このことは、サイト 209 ~ 1270D-IR のコア全体でも同様である。

変質作用や風化作用などは、静穏な状態で進行するので堆積物に変形構造を伴うことはない。これに対して valley の軸部から少し離れたベースンやその翼部のスロープ上での掘削では、実質的な堆積物が欠如している。このことは、軸部の valley が MAR の側面に見られる背骨状の高まりの間にある valley よりも後に形成されたことを示している。

軸部から離れたところが median valley と大きく異なる点は、堆積物に含まれる岩片である。岩片には、このエリア内で生じた central type の火山活動の



図 14 Unit 2 (上), Unit 3 (下) の玄武岩 breccia (Edwards et al., 2010)

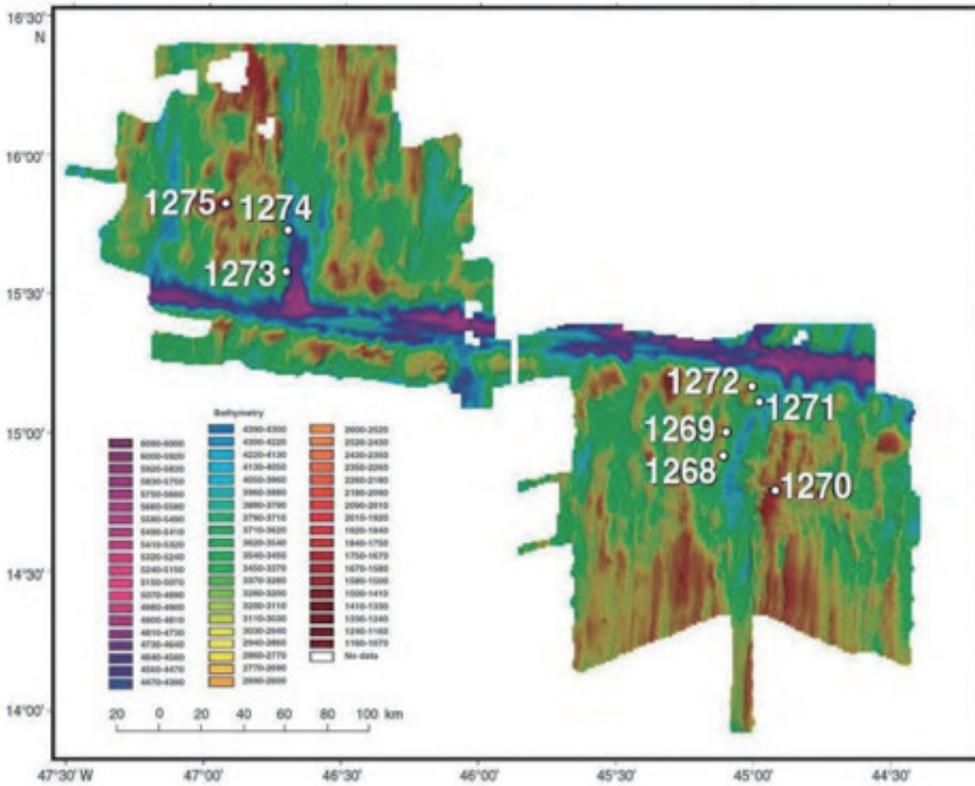


図15 Leg209の掘削配置 (Kelemen et al., 2004)

産物が含まれている。白色や黒色の硫化鉱物を生成する熱水活動があったことを示している (図16)。

図16では、このエリア内部に central type の火山 (Chelokee volcano) が集中していることを示している。また、このタイプの火山は shield 状の噴出物を生産するという特徴を持っている (図17)。熱水作用が見られるエリアでは、噴気孔の形成やそこの硫化鉱物の生成が認められる (図18)。

MAR のさまざまな部分において、最近の時代に火山活動を伴った熱水活動が認められる (図19)。

このような熱水活動や火山活動が、赤道付近の median valley の ridge 部に限らず認められることに注意すべきである。例えば北部大西洋の MAR の Reykjanes Ridge においてそのようなことが認められている (Rocha, 2017)。

図20は、細長い裂け目のような形をした Reykjanes Ridge の一部で、最近において火山活動や熱水活動があった場所を示している。

図21は、Arctic Gakkel Range で熱水活動や最新の火山活動があったことを示している。

MAR の発達過程について我々に許される考え、それは時間的・方向性あるいはその両方の点でそれが決して単純なものではないということだ。掘削データによれば、MAR の近未来の成長は、赤道付近のエ

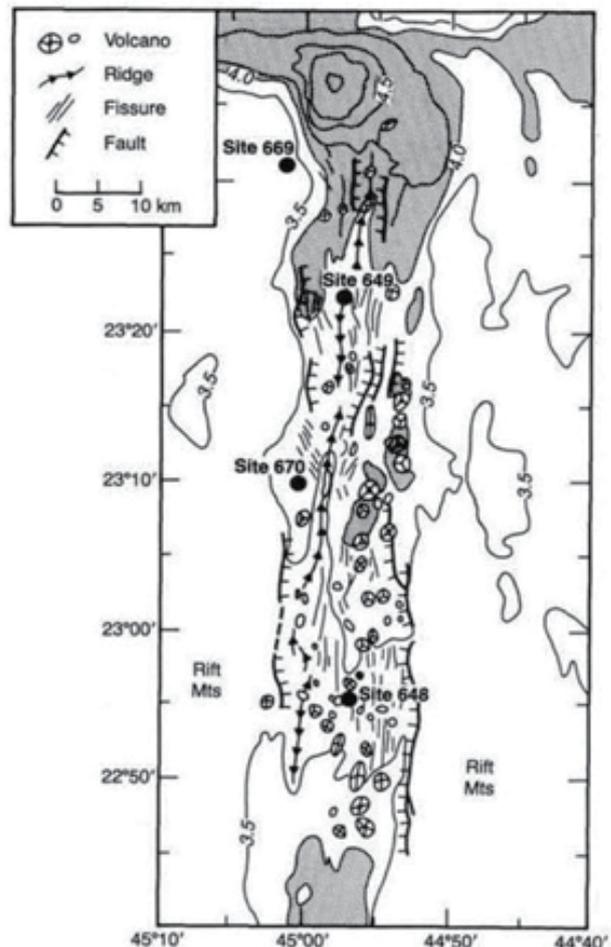


図16 MARK region の rift valley の構造。掘削地点が示されている。4kmを超える深度は網掛けで示されている (Detrick et al., 1988)

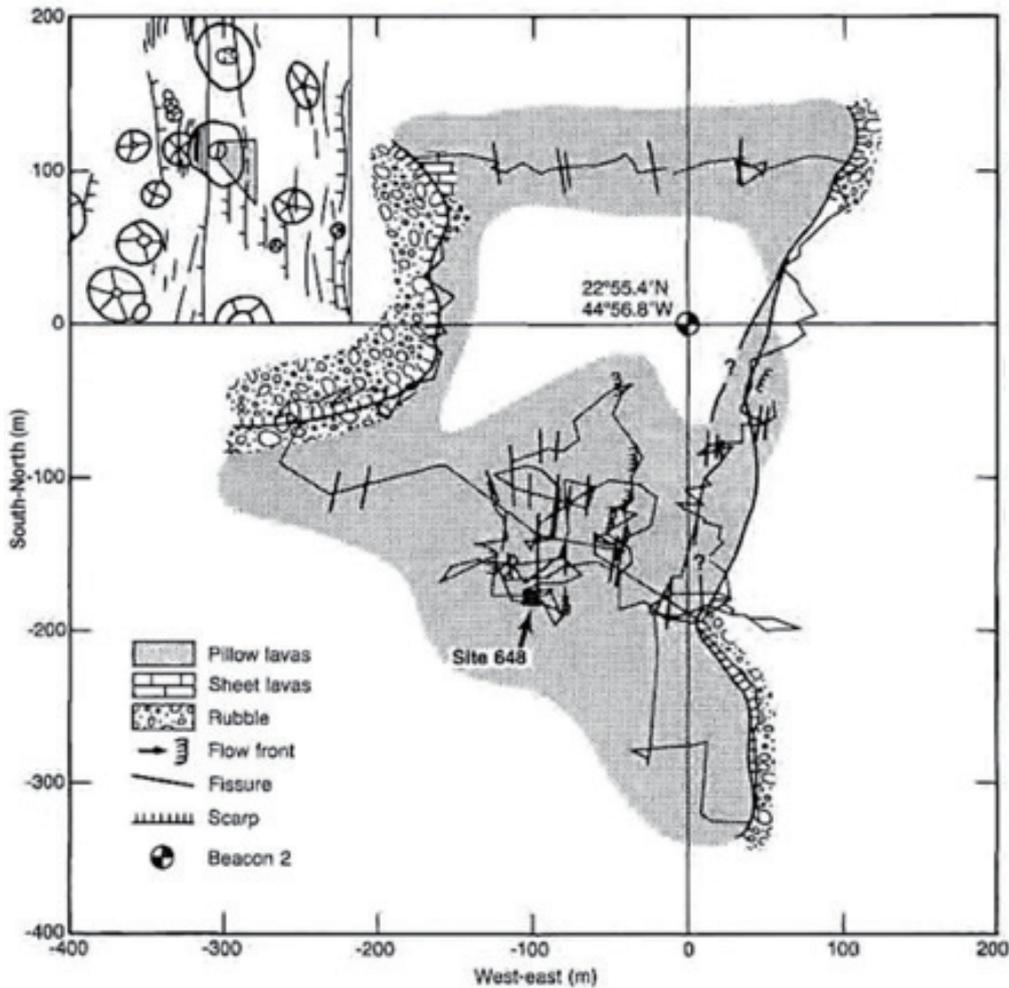


図 17 Cherokee volcano 地区の地質図。左上端の図はサイト 648 の Cherokee volcano 付近を示している (Detrick et al., 1988)

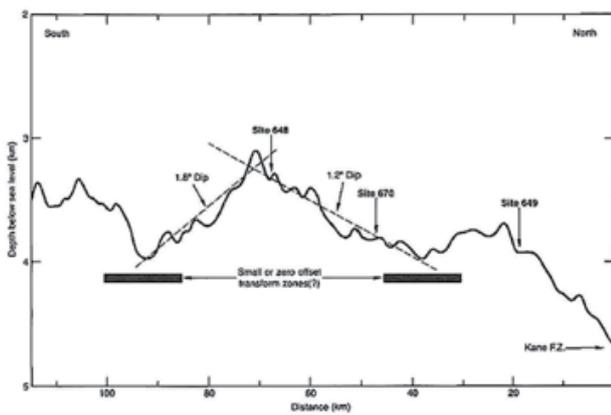


図 18 MAR valley の軸に沿った深度変化をしましたもの。トランスフォーム断層 Kane に向かって深度が変化の様子と、斜面の傾きが示されている (Detrick et al., 1988)

リアで進むであろう。サイト 395 ~ 396 では、中新世最初期~中期の玄武岩質の堆積物が認められ、それをおおって海洋地殻を造っている斑レイ岩やマントル起源の peridotite などの礫を含む砕屑性の breccia が見られる。

深海平坦面とは異なる、このような MAR の特徴からみると、近未来の MAR では結晶質岩からなるマントルー地殻物質が見られるようになることを示している。MAR の軸部に最初期に堆積した物質がそのこと

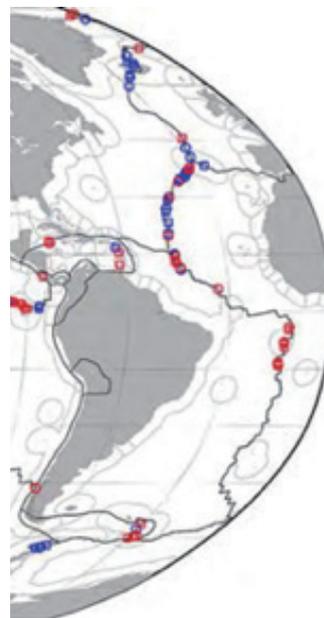


図 19 MAR 内で熱水活動が認められているところ (○印)。直接確認されているところ (四角印)。2000 年以前のもは青。その後のものは赤色で表示されている (Edwards et al., 2010)

を示している。北大西洋の Reykjanes, Knipovich, Mona, Jann-Mayen Range など は、Pliocene-Pleistocene に形成されたが、median valley そのものはそれらの構造とは異なっている。median valley は、おそらく赤道付近の MAR で Holocene に結晶質地殻か海洋性マントルが高く盛り上がったところで形成されたものであろう。かくして、median

valley の見られない赤道付近の大西洋と北部大西
洋の両地域で最近の火山活動，熱水活動が起こった
のである。

axial ridge, median valley などを含む大洋底が
形成される過程で，玄武岩を基底とする地震活動の
活発なエリアが出来上がってきた。

今日の世界あるいは大西洋地域の地震活動マップを
見ると，深海底や隆起帯を伴った縁辺海は，静穏な
状態から活発な火山活動や熱水活動の場へとシフト
したのである (図 22, 図 23)。

MAR 内で地震の震源の深さは比較的浅く，約 20km
である。その結果，その地帯ではソレイト火山
活動が活発である。掘削データによれば，median
valley は結晶質岩の岩塊からなる堆積物からなっ
ている。このことは，MAR 内で海洋地殻が生成して
いるわけではなく，むしろ逆にそれが破壊されてい
ることを示している。

深海掘削データに基づけば，北大西洋と赤道付近で
の MAR の発達過程はそれぞれ異なる様様を示して
いる。赤道付近では，その形成の比較的初期の段階で
地殻基底の結晶質岩やマントル上部の peridotite

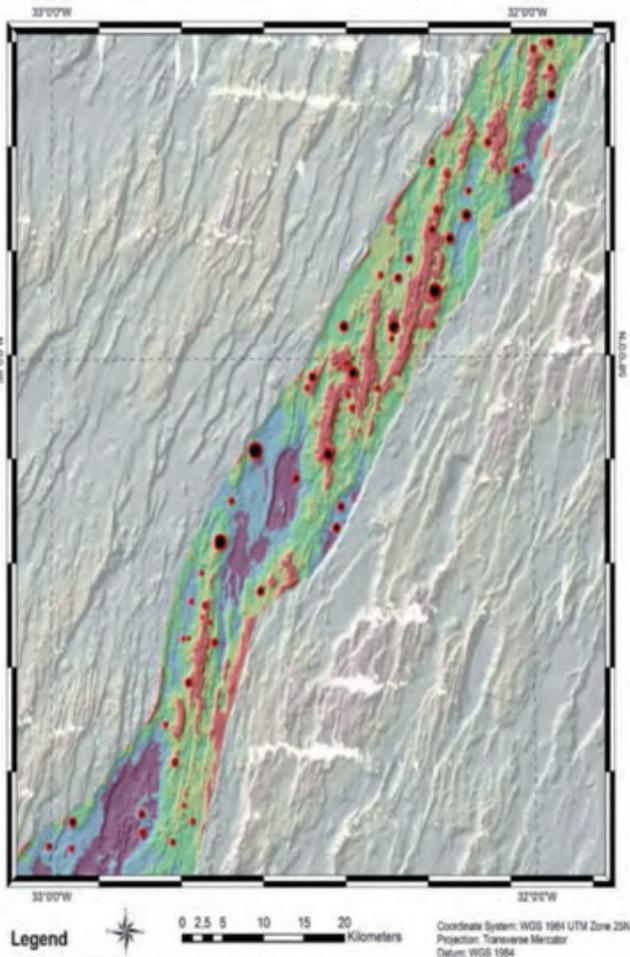


図 20 Reykjanes Range の様子。海底火山が示されている (Rocha, 2017)

に達している。そこでは median valley の形成後，
第四紀になると MAR のさまざまところで同時に火
山活動や熱水活動が生起しており，それが今日まで
続いているのである。



図 21 Loki field の位置を示した極投影図。Iceland の北方に位置
する Arctic North Ridge と Loki area が赤丸で示されている。また，
ここでは大西洋・太平洋両地域における熱水作用が認められてい
る地点が示されている。

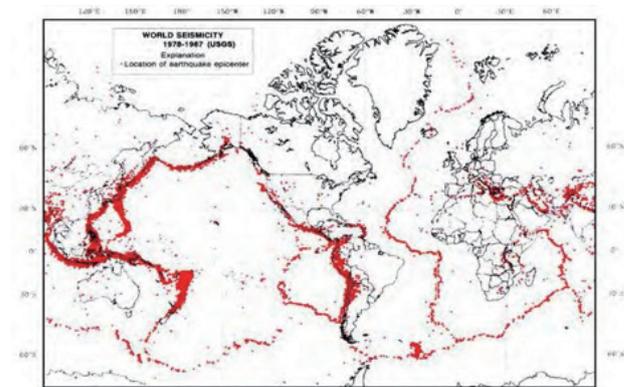


図 22 世界の地震活動帯



図 23 MAR の地震活動

結 論

MAR は、海洋のさまざまなところで形成されているので、拡大のコンベヤー的な役割を果たしているのではない。赤道付近の MAR 軸部では、その ridge 部や基底部に大きさの不ぞろいのベースンが形成されている。Ridge のスロープ部での掘削では海洋地殻の基底をなす斑レイ岩やマントル上部をつくっている peridotite の breccia が存在している。したがって、この付近では地殻やマントルの組成を有したリソスフェアが海洋底からすぐの深さのところに存在していて、それが MAR の形で出現しているのである。このような現象は、北大西洋地域では少し違った形でかつやや遅れて起こっている。浅い MAR 部でのソレイト質の火山活動などは、大陸部におけるリフト帯でのそれとは似ていない。さまざまな生成のしかたやその形成時期の違いを持つ海洋の MAR は大陸部の動きとは全く異なっている。

文 献

- Aumento, F., Melson, W.G. et al., 1977. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Volume 38: Washington (U.S. Government Printing Office), p. 1008. doi:10.2973/dsdp.proc.37.1977.
- Blyuman, B.A., 2013. Topical issues of geology of oceans and geology of continents. VSEGEI Publishing House. 400p.
- Belousov, V.V., 382. Fundamentals of geotectonics. - Moscow: Nedra, 1989. 382p
- Blyuman, B., 2017. Geology of oceans and continents and the possibility of creating the universal geodynamic concept, 2017. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 5, no. 4, p. 502-511,
- Detrick R., Honnorez, J., Bryan, W.B., Juteau, T, et al., 1988. Proc. ODP, Init. Repts. (Pt. A), 106/109: College Station, TX (Ocean Drilling Program). doi:10.2973/odp.proc.ir.106109.1988.
- Edwards, K.J., Bach, W. and Klaus, A., 2010. Mid-

- Atlantic Ridge flank microbiology: initiation of long-term coupled microbiological, geochemical, and hydrological experimentation within the seafloor at North Pond, western flank of the Mid-Atlantic Ridge. IODP Sci. Prosp., 336, doi:10.2204/iodp.sp.336.2010.
- Geological dictionary, 2010. In three volumes. The third job, / Ch. Ed. O.V. Petrov, T. I. A-J., -SPb.: Publishing house VSEGEI, 432p.
- German, C.R. et al., 2016 Hydrothermal impacts on trace element and isotope ocean biogeochemistry. Phil. Trans. R. Soc. A 374 b0: 20160035.
- Kelemen, P.B., Kikawa, E., Miller, D.J., et al., 2004. Proc. ODP, Init. Repts., 209: College Station, TX (Ocean Drilling Program). doi:10.2973/odp.proc.ir.209.2004.
- Luyendyk, B.P., Cann, J.R., et al., 1978. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 49: Washington (U.S. Government Printing Office). doi:10.2973/dsdp.proc.49.1979.
- Melson, W.G., Rabinowitz, P.D., et al., 1978. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, V. Washington (U.S. Government Printing Office), doi:10.2973/dsdp.proc.45.1979.
- Pedersen, R.B., Hans, T.R. et al, 2010. Discovery of a black smoker vent field and vent fauna at the Arctic Mid- Ocean Ridge. DOI: 10.1038/ncomms1124 www.nature.com/naturecommunications
- Rocha, R., 2017, Bathymetry of the Southern Reykjanes Ridge and Changes in Seafloor Topography between 1996 and 2013// Master's thesis, Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Iceland, pp. XX.
- Scheglov A.D., 2007. The main problems of metallogeny. Selected works. VSEGEI Publishing House.
- Udintsev G.B., 1987. The relief and structure of the ocean floor. M. Nedra. 239p.
- <https://pubs.usgs.gov/gip/earthq4/severitygip.html>
- <http://staff.imsa.edu/science/si/horrell/materials/Earthquakes/quakes5.html>

太平洋古陸の崩壊 Collapse of the Pacific paleo-continent

矢野孝雄

〒 399-8301 安曇野市穂高有明 126-9 yano.azumino@gmail.com

(矢野 孝雄 [訳])

要旨：本稿では、南西太平洋の古期大陸性物質 [ACMs] を記載し、太平洋古陸の崩壊について考察する。南西太平洋の 102 地点から報告された ACMs は、大陸地殻と海洋地殻の間のモザイク状遷移を示している。太平洋の他の 154 地点の古期大陸性物質とともに、ACMs は崩壊した大陸の遺物と考えられる。崩壊の原因となった海洋化は、顕生代再加熱につづく地球の冷却にともなう差動収縮に起因している可能性がある。現在という時代は、おそらく、地球テクトニクスにおける基本的概念の大転換の直前とみられる；この転換は、現行の概念では予期されない事実の大量蓄積によって準備されたのだろう。

キーワード：古期大陸性物質，南西太平洋，大陸崩壊，海洋化

(2018 年 1 月 2 日受付, 2018 年 4 月 27 日受理)

まえがき

海洋底拡大仮説 (Dietz, 1961; Hess, 1962) は、世界の海洋における海洋地質調査を強力に推進してきた。この調査は、様々な困難 (技術的, 物理的, 経済的など) を克服して, 地球テクトニクス研究に大きな進展をもたらした。そのような状況であったために, 「大陸は永続的乾舷」 (Dietz, 1961) というよく知られた命題が地球科学者の間では公理であるかのように信じられてきた。

最近の半世紀の深海地質調査によって, 予期せぬ古期大陸性物質 [ancient and continental materials: ACMs] が世界中の海洋から多数発見された。これらの物質は地球テクトニクスにとってきわめて重要であるが, プレートテクトニクス仮説にもとづく主流の科学者からはほとんど注目されてこなかった。これらの物質は単純に無視され, 氷山で運ばれたトロップストーンとして排除されるか, 非拡大ブロック (Bonatti and Honnorez, 1971), 多重海嶺ジャンプ (Talwani and Udintsev, 1976; Gudlaugsson et al., 1988), 非漂流セグメント (Bonatti and Crane, 1982) などとして説明されてきた (Yano et al., p. 29 参照)

地球テクトニクスにおける ACMs の著しい重要性は, 海洋底拡大とプレートテクトニクスの仮説に反対する非主流科学者によって認識されてきた。世界中の海域で発見された ACMs の集計数は, Meyerhoff and Meyerhoff (1974) では 9, Meyerhoff et al. (1992) で 12, Pratt (2000) で 16, Rezanov (2002) で 37, Yano et al. (2011) で 78, Yano et al. (2012 年) では 230 まで増加し, 2015 年末の私の未発表データによれば 512 に達した。

この論文の目的は, 南西太平洋の ACM を記載し, 太平洋全体に視野を拡大して太平洋古陸の崩壊について考察することにある。浮揚性の大陸であっても, 様々なサイズの物質に崩壊し, 深部に沈むだろうと結論される。崩壊と沈降は, 主に中生代における太平洋規模のスーパープルーム頭部とリソスフェア荷重との重力的および熱化学的不安定に起因しただろう。

海洋底の地形特性

Sahul と呼ばれるオセアニア本土は, ニューギニア [図 1a の NGN], オーストラリア [AUS], タスマニア [TSM], Seram, Timor などの島々で構成され, 大陸縁辺海 (Arafura Sea [AFS], Torres Strait [TST], および Bass Strait [BST] など) によって隔てられている。サフルの東に広がる大陸 - 海洋遷移帯 (COT) は, 3000km × 5,000km の範囲にひろがっていて (図 1a), 東南アジアとともに, 世界でもっとも複雑な地形と地質構造をもっている。

南西太平洋の COT と海洋内部 [OIT] との間の境界線は, 北ニューギニア海溝 [NNT], トンガ・ケルマデック海溝 [TKT], およびキャンベル海台 [CBP] とチャタム海膨 [CMR] の近傍を通るだろう。

OIT は巨大な深海平原を形成する (図 1b)。それは, WNW 方向の海山列 [Marquesas, Tuamotu, Society, Samoa, Cook, Tubuai, Louisville など] と断裂帯 [Menard, Vacquier, Raitt, Heezen, Tharp, Hollister, Udintsev, and Antipodes] で区切られている。深海平原は南東へしだいに高くなり, 東太平洋海膨および太平洋 - 南極海嶺に逢着する。

南西太平洋の ACM

古期大陸性物質は南西太平洋の 102 地点に産出する (図 1 と付表 1)。それらの大半 (ACM1 ~ ACM 90) は COT に, 残り (ACM 91 ~ ACM 102) が OIT に位置している。それらすべての記載は別に報告予定であり, ここでは 4 つの代表的事例とその造構的意義が記述される。

東タスマン海台

タスマニア周辺の音響基盤から結晶質基盤岩類がドレッジ・掘削された。それらは西部の准片麻岩 (paragneiss) 区と東部の正片麻岩 (orthogneiss) 区にわかれて系統的に分布する (図 2: Shipboard Scientific Party, 2001a; Exon et al., 1997; Berry et al., 1997)。東部の正片麻岩類は, 角閃岩相上部~グラニュライト相の後期原生代高度変成岩類であり, バス海峡の King 島に露出している同種岩石に対比される (Berry et al., 1997)。

東タスマン海台は, 厚さ 20-30km の地殻をもつ孤立した大陸性ブロック (図 3: Shipboard Scientific Party, 2001a; Berry et al., 1997) と考えられている (Roach et al., 1993; Exon et al., 1997; Shipboard Scientific Party, 2001a)。それは東タスマン鞍部と L'Atalante 凹地によって Sahul 本土から分離している (図 2)。海台は径 200km, 高さ 2.2km, 平頂面は 2,800mbsl [meters below sea level: 海面下深度 (単位は m)] である。海台の中央に位置するカスケード海山は径 20km, 高さ 2km の小さなギョーで, 40 ~ 30Ma のアルカリかんらん石玄武岩 (Exon et al., 1997) で構成される。

大陸性岩石が, 海台縁の 2 地点において, 音響基盤からドレッジされた (図 3)。

147/DR40 (水深 2,950-2,515m, 図 1 および付表 1 の 13): ドレッジされたのは, ハイアロクラスタイト, アルカリかんらん石玄武岩, グラニュライト相の変塩基性岩, および, 1 個の透輝石-魚眼石-ス

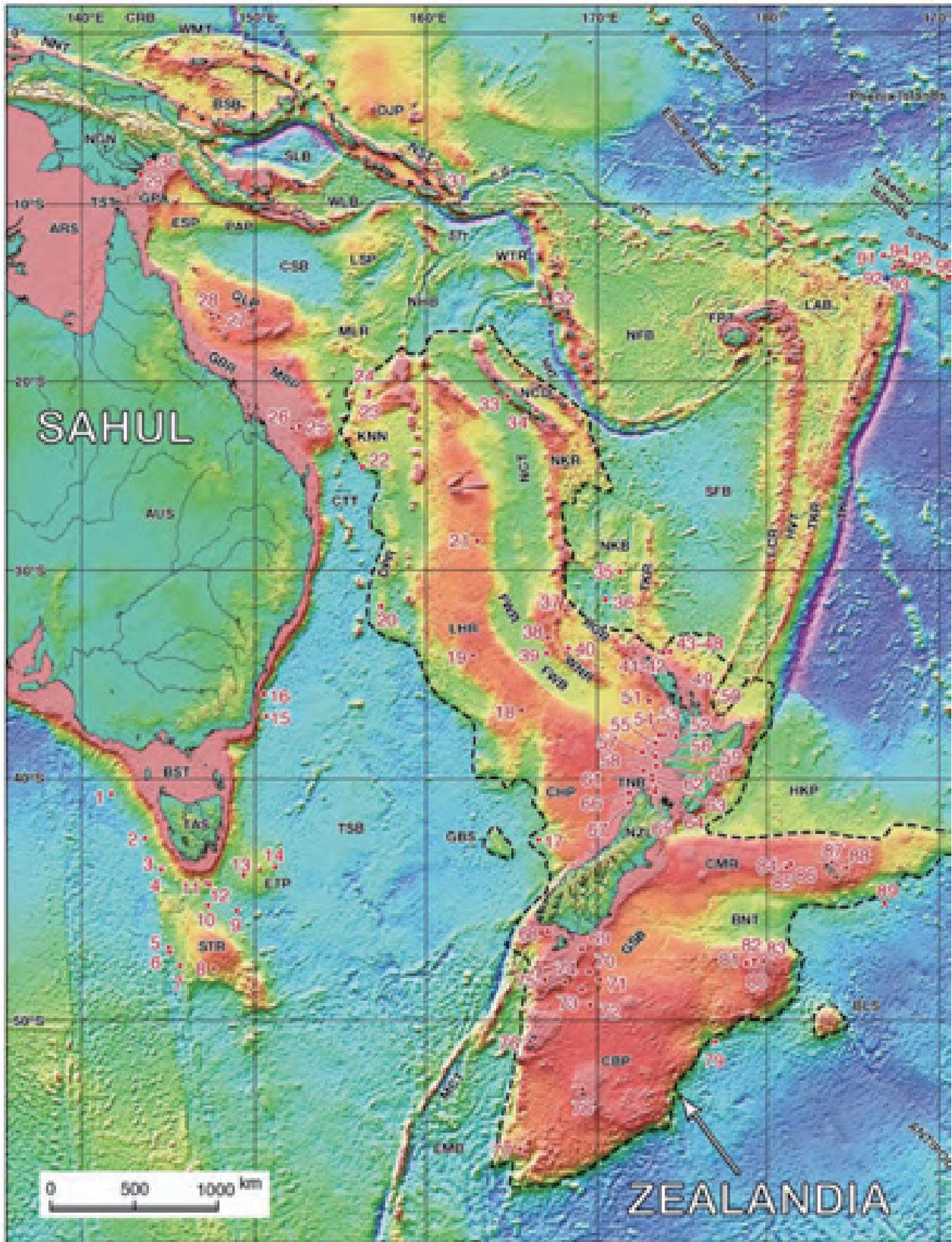


図 1a 南西太平洋における海底地形と古期大陸性物質 [ACMs] の産地 (西半部, 東半部については図 1b を参照). 色彩スケール海底地形図: Scrips Institute of Oceanography http://science.ucsd.edu/WWW_html/mar_topo.html (Smith and Sandwell, 1997. 黒色破線: Mortimer et al. (2017) によるジューランドシアの輪郭.

1) 大陸・島・陸棚・海峽 ARS: アラフラ海, AUS: オーストラリア, BST: バス海峡, GBR: グレートバリアリーフ, GPA: パプア湾, NCD: ニューカレドニア, NGN: ニューギニア, NZ: ニューゼーランド, TAS: タスマニア, TST: トレス海峡, 2) 海底隆起 BLS: バロン海山, CBP: キャンベル海台, CHP: チャレンジャー海台, CMR: チャタム海嶺, DPR: ダンピア海嶺, ESP: イースタン海台, ETP: 東タスマン海台, FPT: フィジー海台, FWR: フェアウエイ海嶺, GBS: ギルバート海山, HKP: ヒクラング海台, KNN: ケン海台, LHR: ロードハウ海膨, LSP: ルイシアード海台, MLR: メリッシュ海膨, MNS: モノウエイ突出, MRP: マリオン海台, NKR: ノーフォーク海嶺, OJP: オンントンジャワ海台, PAP: パプア海台, QLP: クイーンズランド海台, RGR: レインガ海嶺, RSR: リゾリューション海嶺, STR: 南タスマニア海嶺,

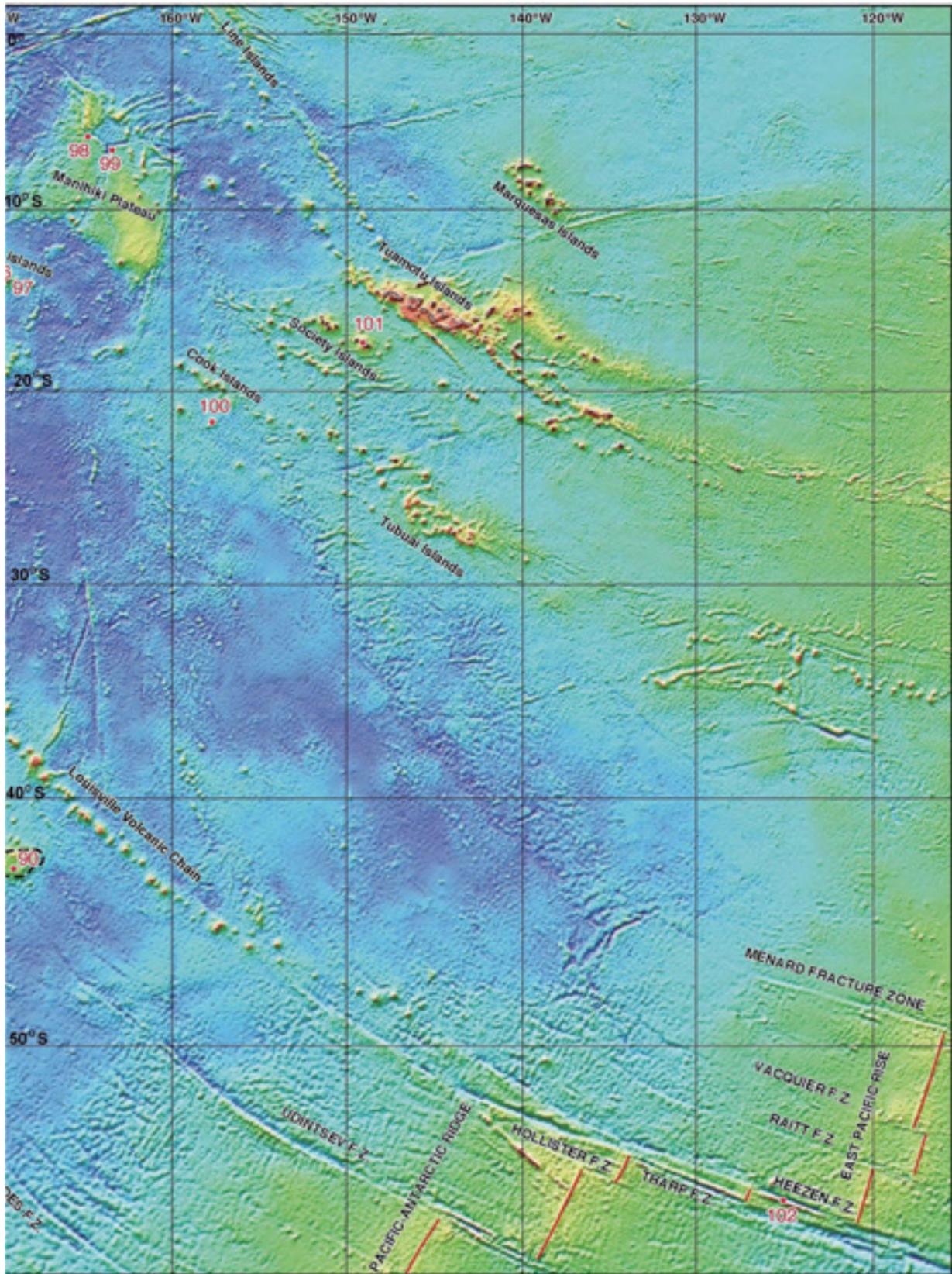


図 1b (東半部).

TKR: スリーキングス海嶺, WLR: ウッドラーク海嶺, WNR: 西ノーフォーク海嶺, WTP: 西トーレ海台. 3) 海盆とトラフ ATB: アオテア海盆, BLT: ペローナトラフ, BNT: バウンティトラフ, BSB: ビスマルク海盆, CRB: カロリン海盆, CSB: サンゴ海盆, CTT: コトトラフ, E NB: エメラルド海盆, FWB: フェアウェイ海盆, GSB: グレートサウス海盆, HVT: アーヴルトラフ, LAB: ラウ海盆, LHB: ロードハウ海盆, MDB: ミドルトン海盆, NCT: ニューカレドニアトラフ, NFB: 北フィジー海盆, NHB: ニューヘブリディーズ海盆, NKB: ノーフォーク海盆, RSB: リゾリューション海盆, SFB: 南フィジー海盆, SLB: ソロモン海盆, TNB: タラナキ海盆, TSB: タスマン海盆, 4) 島弧 LCR: ラウ・コルヴィル海嶺, MCR: マッコリー海嶺, TKR: トンガ-ケルマディック海嶺, 5) 海溝 CJT: ケープジョンソントラフ, MCT: マッコリー海溝, NHT: ニューヘブリディーズ諸島海溝, NNT: 北ニューギニア海溝, NST: 北ソロモントラフ, PST: プシガートレンチ, STT: 南ソロモン-トレストラフ, TKT: トンガ-ケルマディック海溝, VTT: ヴィティアス海溝, WMT: 西メラネシア海溝. 赤点は ACMs の位置で, そのコードは付表 1 に対応.

フェン-方解石片麻岩巨礫である (Exon et al., 1995). ドレッジ地点は第四紀氷河期の氷山や浮氷塊の分布よりも北に位置しているため, 巨礫は現地性と判断された (Exon and Crawford, 1997).

147/DR43 (水深 1,620 ~ 1,280m, 図 1 および付表 1 の 14) : 含ざくろ石花崗片麻岩, 球顆流紋岩, 石英砂岩が含まれる (Exon et al. 1995). 片麻岩は, 後退変成作用を被った角閃岩相上部のものである. 石英砂岩は斜長石, K-長石, 白雲母, 少量の岩片および木片化石を含んでいて, タスマニア島周辺の始新世浅海堆積物に類似する (Exon et al., 1997).

タスマニア沖の ACMs は, このように, 前述の 2 つの岩石区が大陸棚外縁を越えて, 大陸斜面へ, さらに, 部分的にはタスマニア深海平原に隔てられた起伏地形である東タスマン海台にまで連続しているこ

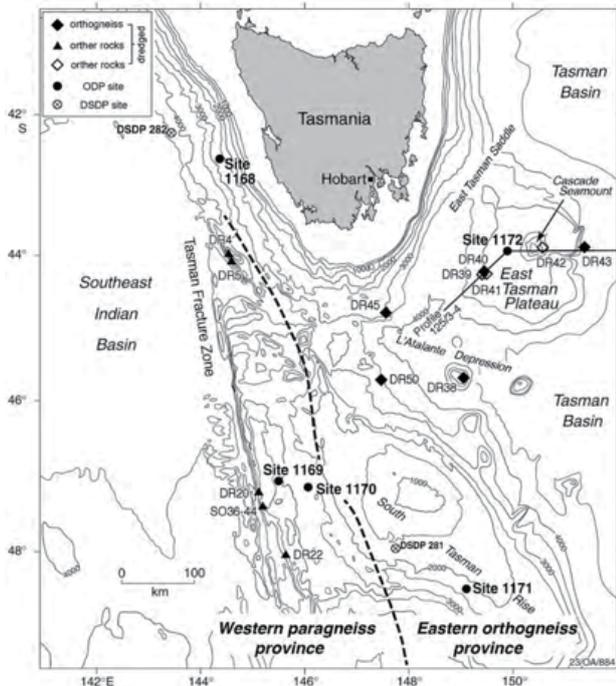


図 2 タスマニア沖の海底地形とドレッジ地点, ODP Sites 位置, および東タスマン海台を横切る地震探査断面線 (Shipboard Scientific Party 2001a; Exon et al. 1997; Berry et al., 1997 にもとづいて編図).

とを示す. 海台の地震探査とドレッジ調査によって, 大陸性基盤ブロックが海洋地殻とモザイク状に分布することが明らかになった (図 3).

南西太平洋 COT では, 他に, 径 10²km の 2 つの孤立した大陸ブロック-タスマン海盆 [TSB] の東端にある Gilbert 海山 [GBS], ならびに Campbell 海台 [CBP] の東側にある Ballons 海山 [BLS] - が知られている (図 1). 両者からの ACMs は未発見であるが, 地殻の厚さはそれぞれ最大 15km (Wood and Woodward, 2002) と 20-24km (Groby et al., 2008) である.

このような大陸ブロックの形成を説明する運動モデルには複雑なプロセスが必要になる. 例えば, Gaina et al. (2003) は, 東タスマン海台と Gilbert 海山の形成に次のような 4 段階のシナリオを提案した: 1) 先リフト段階における半島地形, (2) 半島横断リフトの発生, (3) 拡大海嶺の海側へのジャンプ, (4) 半島横断リフトの消滅. Bollons 海山について Davy (2006) は, 半島地形ではなく, 両縁がトランスフォーム断裂帯によって境されたより複雑なシナリオを提案した.

介在する海洋地殻によって大陸から隔離された大陸性岩石やブロックは, タイプ B (Yano et al., 2009) に分類される. 世界中の海洋に関する私の未発表 ACM データ 512 地点のうち, このタイプの物質は 154 地点で知られている. これらの ACMs を説明するには, 歴大な数の中央海嶺の誕生 / ジャンプ / 消滅イベントが必要になり, プレートテクトニクスは単純でエレガントな初期モデルとはまったく違ったものになる.

ジーランディア Zealandia

南西太平洋 COT の中部~南東部では, 白亜紀後期の地殻薄化とそれに続く Gondwana 超大陸の崩壊の結果, ジーランディア (Luyendyk, 1995) と呼ばれる巨大な大陸が海底に沈んだ (Mortimer et al., 2017, 図 1: ジーランディアは破線で囲まれている).

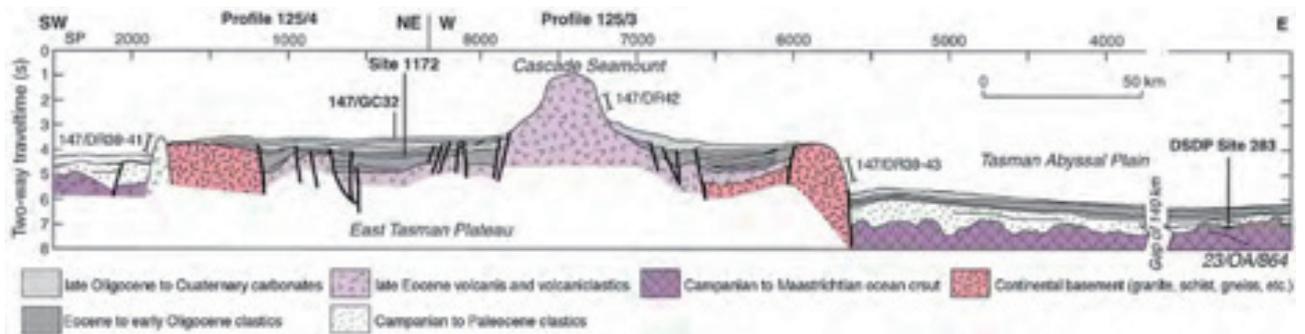


図 3. 東タスマン海台を横断する地震探査断面 125 / 3-4 の地質スケッチ (Shipboard Scientific Party 2001a; Berry et al. 1997 にもとづいて編図). 断面南西端の後期始新世火山岩類と火山砕屑岩類は, Campanian ~ Paleocene の砕屑岩層に覆われているので Campanian ~ Maastrichtian の海洋地殻であるはずであり, 色表示した.

る). 崩壊した大陸は, NNW-SSE 方向(長さ 5,600km, 幅 1,500-2,000km) に延び, その面積は 4.9×10^6 km² (オーストラリアの本土の半分以上) に及ぶ.

縦走および横断正断層によって, ジーランディアは多くのブロックに分割されている(図 1). 上昇したブロックの頂面は海拔 1,000 ~ 3,000 m にあり, 地殻の厚さは約 20km で, ニューカレドニア (Dubois et al., 1974; Collot and Missegue, 1977) とニュージーランドでは 30-35 km (Shor et al. 1971; Katz 1974) に達する. 沈降ブロックでは, 地溝やトラフの水深は 2000m を超え, 地殻の厚さは 10-15km に減少している (Shor et al., 1971; Katz, 1974).

ジーランディアの地殻 / リソスフェアの薄化には, 3 種類のメカニズムが提案されている.

- 1) 地殻の伸張: 東 Gondwana 大陸縁での太平洋-フェニックス海嶺の沈み込み (Luyendyk 1995), あるいは海溝の後退 (Cluzel et al., 2010) による背弧側大陸地殻の伸長・薄化
 - 2) 地殻の拡大: Gondwana 超大陸の崩壊に先行する地殻の広域的伸長 (Bache et al., 2014; Mortimer et al., 2017),
 - 3) 熱侵食と地殻剥離: 熱侵食とアセノスフェア湧昇による地殻薄化 (Hoernle et al., 2006).
- いずれの場合も, 薄化した大陸地殻 / リソスフェアは, 「薄化後のアイソスタシー均衡」(Mortimer et al., 2017) によって沈降するはずである.

Mortimer et al. (2017, p.31) は, 「ジーランディアの北方にあるいくつかの海底隆起地形は, ジーランディアの延長または分離した微小大陸の候補であろう」と指摘した. 実際, ACMs が, Malaita (図 1a, Ishikawa et al., 2004, 2007), Espiritu Santo (32: Buys et al., 2014), Bates Plateau (35: 2006), 南ノーフォークトラフの西側 (36: Marine National Facility, 2004), シュトゥットガルト海山 (89: Mortimer et al., 2006) で採取された. これらの ACMs の発見によって, Mortimer et al. (2017: 図 1) によって定義されたニュージーランドのひろがりも早くも修正を迫られている.

さらに, Mellish 海膨 [図 1a の MLR], Louisiade 海台 [LSP], West Torres 海台 [WTP], Three Kings 海嶺 [TKR], Lau-Colville 海嶺 [TKR], Fiji 海台 (FPT) も大陸起源である可能性がある (Mortimer et al., 2017). そうだとすると, 大陸および海洋ブロックの複雑なモザイク構造が南西太平洋 COT では広汎に存在することになり, ジーランディアの範囲の特定がきわめて困難になる.

以上のように, ジーランディア周辺の大陸 / 海洋境界は明確に設定できず, 実際には漸移的またはモ

ザイク的であろう. 漸移的またはモザイク的な大陸 / 海洋の境界は, 世界的に認められる. というのは, 150 以上の出版物から世界規模で集められた大陸 / 海洋境界の位置は互いに最大数百 km もずれている (Eagles et al., 2015) からである, また, 地球を特徴づける二峰性の地表高度分布図において, グラフが湾曲した曲線であることにも示されている (Sverdrup et al., 1942). 世界の海洋底のうち, 縞状磁気異常 (Maus et al., 2007) が存在しない広範な海域も COT の候補である. したがって, 地球の地殻を大陸と海洋の 2 種ではなく, 大陸内部 [CIT], 大陸-海洋遷移帯 [COT], および海洋内部 [OIT] の 3 つに区分することが合理的で, 実際に即しているだろう.

サモア諸島

サモア諸島は南西太平洋 OIT における WNW 方向の長さ 480km の海山列で (図 1), 大きい火山島 (5.7-0.27Ma: Koppers et al., 2011) と小さな環礁で構成されている. トンガ海溝 (図 4) の北端屈曲から 200-400km 北東に位置し, 南西太平洋 COT に最も近いところにある大規模火山列の 1 つである.

サモア諸島の火山岩には, 大陸性物質の同化作用を示す著しい同位体異常が認められる (図 5). 特に, 西部のサバイイ島の溶岩とゼノリスは, 上部大陸地殻 [Upper Continental Crust: UCC] の同位体初生値を $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7421$ ならびに $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.5117$ と仮定すると (Jackson ら 2007), 上部大陸地殻物質を 6% まで同化していると推論される. それらの Pb および U 含有率が高いことも, 上部大陸地殻の寄与が大きいことを示唆している.

同位体データによると, Manihiki 海台 (図 1 および付表 1) の玄武岩 98 および 99 は, EM1 タイプの大陸性リソスフェアマントルを同化している (Jackson et al., 2007). クック諸島の Mangaia 島の 20 Ma 海洋島玄武岩 (図 1 の 100) のカンラン石に含まれる硫化物は, 2Ga よりも古い HIMU 成分

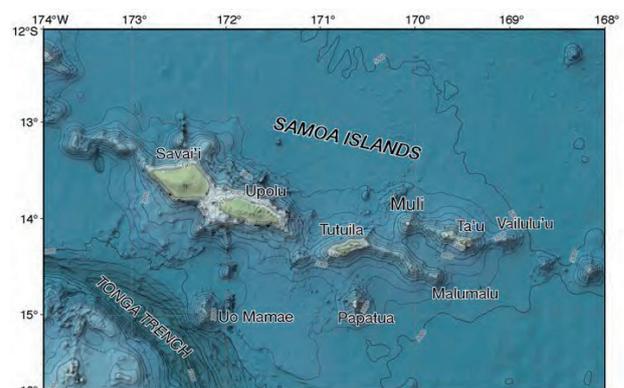


図 4 サモア諸島と海底地形 (<https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/bathymetry/>)

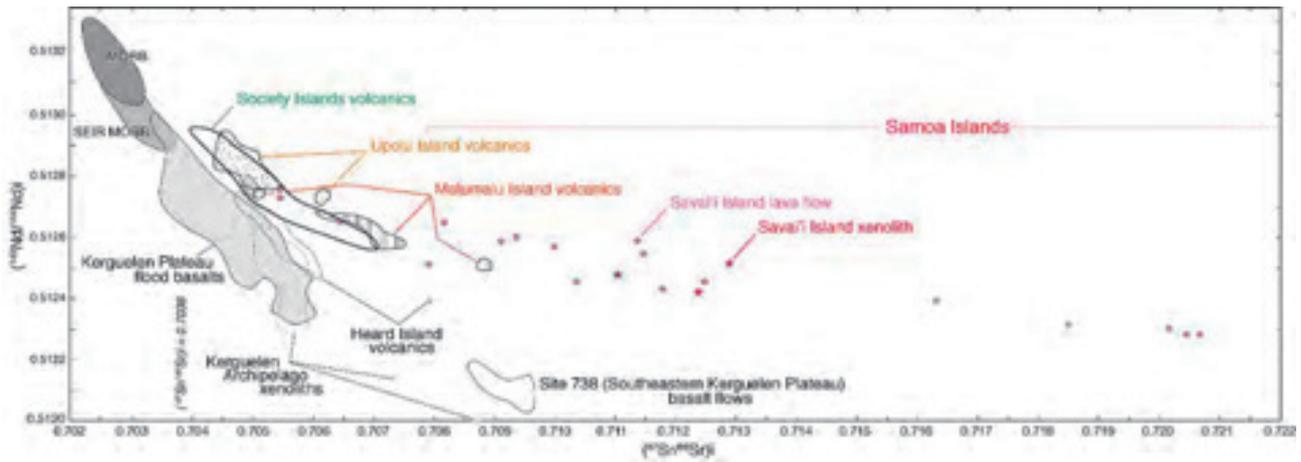


図5 サモア諸島とケルゲレン海台における火成岩類のSr/Ndプロット。White and Hofman (1982), Workman et al. (2004), Jackson et al. (2007), Yano et al. (2011) から編図。

を同化している (Gabral et al., 2013; Nebel et al., 2013). Society 諸島の Tahiti 島におけるいくつかの第四紀溶岩は Pb/Ce 比が 0.050 に達し、大陸物質の同化を示す (Duncan et al., 1994).

Hofmann (1997) に総説されているように、これらの同位体および微量元素の異常は、マントル中を漂流するリサイクル物質に起因すると主張されることが多い。一方、Dupal 異常 (Hart, 1984) は、30° S を中心に地球を小円状にとりまく Sr・Pb 同位体の大異常帯である (Yano et al., 2011 の図 8 参照)。上記のサモアおよび関連ポリネシア諸島は、Dupal 異常帯にみられる 4 つの最も顕著な異常ドメインの 1 つである。

小円状の Dupal 異常帯の対称軸は地球自転軸に近い。地球自転がマントルの同位体的不均質性を制御しているとみられる。Dupal 異常帯は、地球史の早期に起きたコア-マントル-地殻分化によって生成したと考えられ、それが数十億年間にわたって今日まで存在することはマントル対流モデルに厳しい制約をあたえる (Hart, 1984)。そうだとすると、マントルの同位体異常を説明するための「リサイクル」物質という流布している考え方は再検討されるべきである。

Heezen 断裂帯

Heezen 断裂帯 [Fracture Zone : F.Z.] は Eltanin 複合断裂帯の主要な構成要素の 1 つであり、東太平洋海膨と太平洋-南極海嶺の間に 1,600km の右オフセットをもたらしている (図 1 および図 6A)。Heezen 断裂帯は、水深 6,000m に達する深い谷を形成している。その南側の谷壁は Heezen 横断海嶺 [Transverse Ridge] になっていて、頂部は水深 678m まで隆起している。そのため、南側の谷壁は高さ 3000 ~ 5,000m、傾斜約 40° 度に達する (Lonsdale, 1986 : 図 6B)。

断裂帯南壁の最も浅い部分を通して横断する一連のドレッジ調査では、南側谷壁がの地質が上位から次の 6 つの岩相層序ユニットに区分されることが明らかになった (図 6C : Kashintsev and Frikh-Khar, 1978)。

- 1) 有孔虫・ココリスを含む第三紀~白亜紀石灰岩、
- 2) かんらん石玄武岩 (かんらん石-斜方輝石ドレライトを伴う)、
- 3) 中粒はんれい岩 (構成鉱物は、斜長石、輝石、不透明鉱物、緑泥石、緑簾石)、
- 4) 蛇紋岩化したかんらん岩 (ハルツバージャイト : 少量のレゾルライトをともなう)、
- 5) グラニュライト ("taxitic" 組織を示し、斜長石、しそ輝石、普通輝石、角閃石、かんらん石、黒雲母、不透明鉱物およびアパタイトからなる)、
- 6) 小褶曲した緑簾石-角閃岩相結晶片岩 (次の 2 タイプの鉱物組成を示す) ;
 - (1) 角閃石、斜長石、石英、白雲母、ぶどう石、緑簾石、磁硫鉄鉱、およびスフェン (源岩は極細粒の中性~苦鉄質凝灰岩類)
 - (2) 石英 (≤ 60%)、斜長石 (20-30%)、角閃石、ぶどう石および緑簾石 (源岩は珪質堆積岩)。

南側谷壁は、地震探査断面では階段断層が認められない単純な断層崖であり (Lonsdale, 1986)、岩相層序は層厚 5km の地殻断面を表している。第 2 ~ 第 6 ユニットは先白亜系で、第 6 結晶片岩ユニットはおそらく大陸起源のもので、それらが海嶺軸から東南東へわずか 100km に存在することはプレートテクトニクスの設定に矛盾する。Heezen 断裂帯の南壁に露出した岩相層序ユニットは、南西太平洋 OIT に ACMs が存在することを示している (Kashintsev and Frikh-Khar, 1978; Vasiliev, 2009 : 図 6 ならびに付表 1 の 102)。

Vasiliev (2009) によると、第 6 ユニットは始生代~原生代の上部変成岩類と下部超苦鉄質岩類でできた海洋地殻の基盤複合岩体を代表するものである。超苦鉄質~苦鉄質の第 5 ~ 第 2 ユニットは、お

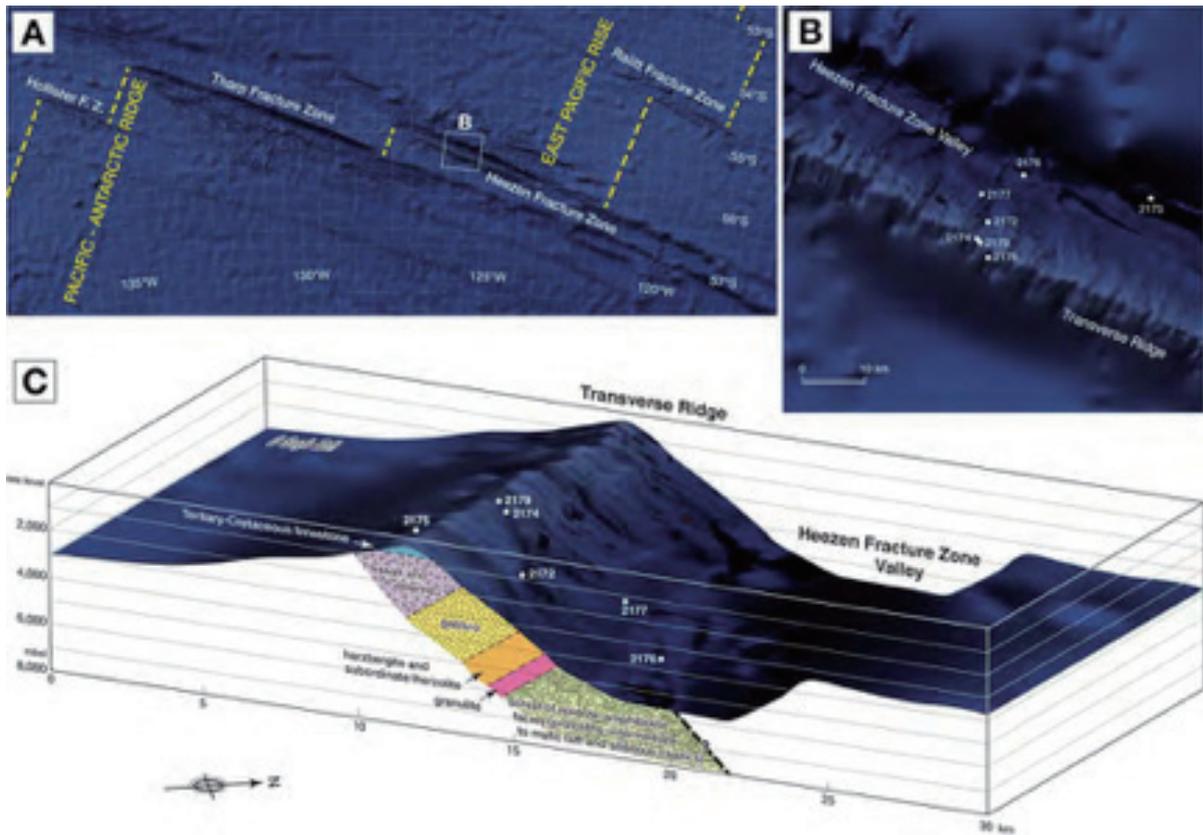


図6 南東太平洋のHeezen 断裂帯におけるACMs. A: 破碎帯の海底地形イメージ. B: Heezen 断裂帯に沿う横断海嶺の北向き急斜面におけるドレッジ地点. C: Heezen 断裂帯の横断方向の海底地形 (Lonsdale, 1994) とドレッジ結果 (Kashintsev and Frikh-Khar, 1978) を示す一般化されたブロックダイアグラム. パネルA～C: Google EarthPro [© Google Earth] の海底地形画像にオーバーレイ.

そらく古生代～三畳紀の下部層状貫入層と上部噴出岩類（浅海～一部は陸上で堆積）からなる海洋トラップ複合岩体に対比される．これらの層が傾動したため，ここではジュラ紀以降の被覆層（深海に堆積した火山岩類と堆積岩類）が欠けたと考えられる (Vasiliev, 2009)．いずれにしても，Heezen 断裂は，海洋地殻の下部を観察できるきわめて希少な海域の1つである．

太平洋古陸の崩壊

上記4つの代表的事例にもとづいて，さらに，私たちの視野を太平洋全域に拡大し，太平洋にあった古大陸の崩壊について考察する．

太平洋発生の力学モデル

Yano and Wu (1997) ならびに Yano et al. (2001, 2014a) は，環太平洋変動帯 [CPMB] (Yano and Wu, 1995) および “Darwin Rise” (Menard, 1956 ; Yano, 2014b, c; Smoot, 2018) における造構-火成活動の構造解析とACMsの産出 (Udientsev, 1990; Vasiliev, 1991) にもとづいて，太平洋形成の力学モデルを提案した．2015年末までに，南西部 (図1) のみならず，太平洋の他の海域でも154地点で (COTで123地点，OITで31地点で) ACMsが多数みいだされた (図7)．

提案された力学モデルは，沈降シートに関する遠心力実験 (Ramberg, 1981の図14.17) からの類推にもとづくもので，次の6つの要素で構成されている (図8参照, Yano and Wu, 1997; Yano et al., 2001, 2014a) :

- (1) 太平洋規模のスーパープルーム頭部とそれに懸かるリソスフェア荷重との重力不安定,
- (2) 断熱湧昇するスーパープルームの部分溶融に由来するマグマの進入・噴出,
- (3) 環太平洋変動帯下への舌状の高温マンツルの求心的な斜め湧昇 (湧昇はスーパープルーム頭部の縁辺反転流に起因する),
- (4) スーパープルーム頭部での外向きに減少する圧力勾配に起因する「ダーウィンライズ」のドーム状隆起,
- (5) アセノスフェア領域における慣性力に駆動された東向き造構流 (Bostrom, 2000), とその結果としての太平洋非対称性 (Belousov, 1962), および,
- (6) 先在大陸地殻の「海洋化 (Belousov, 1962, 1990)」.

このモデルの根本的な駆動因子は，太平洋下に湧昇したスーパープルームである．というのは，他のすべての要素は自転する地球の重力場および慣性場で自己形成されるからである．地震波トモグラフィは，太平洋規模の頭部をもつスーパープルームの現

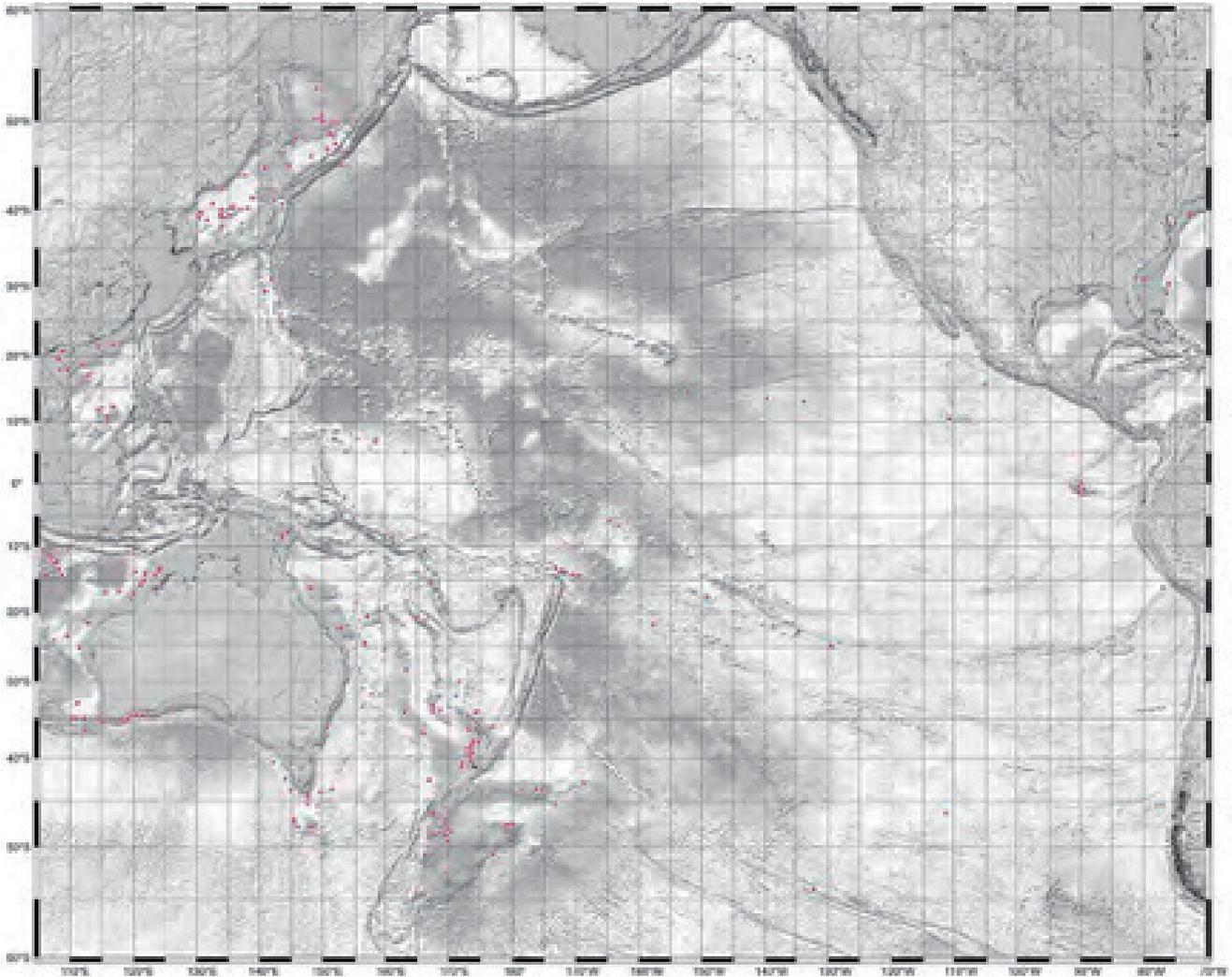
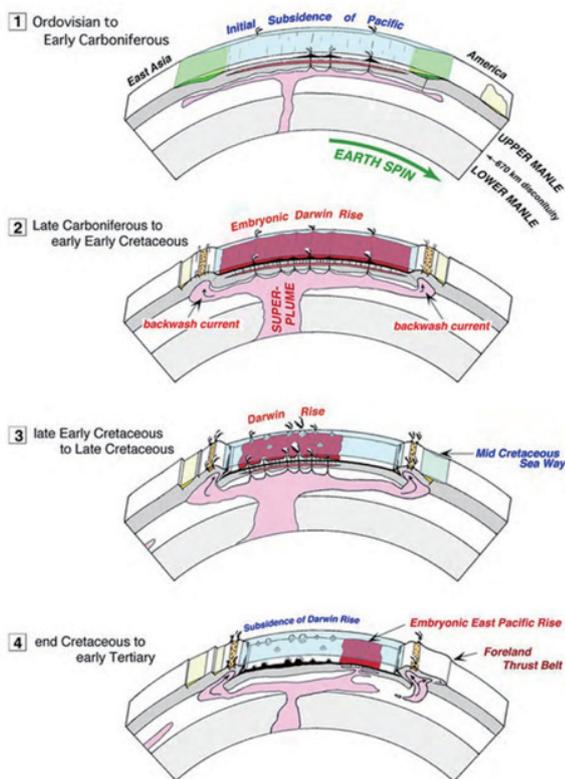


図7 太平洋におけるACMsの産出 (さまざまな文献から編図). グレースケール水深図: Scrips Institute of Oceanography <http://topex.ucsd.edu/WWW_html/mar_topo.html> (Smith and Sandwell, 1997) による.



この残像を検出した (例えば, Fukao, 1992). このモデルに残された課題は, スーパープルームそのものの起源と「海洋化」のメカニズムである.

1) スーパープルームの起源

マンテル対流の数値シミュレーションは, 1980年代半ば~1990年代初頭の10年間に大きく進歩した (Nagumo, 1996a, b, c). 底面加熱をともなう全マンテル対流の3次元モデル (図9: Bercovici et al., 1989) は, (1) 3~4個のスーパープルームが底部熱境界層から湧昇すること, (2) 頂部ではプルーム頭部が水平方向へ拡がること, および (3) 頭部の周縁からはシート状の補償流が下降すること, を明らかにした. この数値モデルから類推すると, 太平洋規模の頭部をもつスーパープルームは, 厚化したD''層に由来すると考えられる (図10-1).

図8 太平洋形成過程を示す一般化されたダイアグラム (Yano, 2014a). (1) 太平洋規模のスーパープルーム頭部とリソスフェア荷重の重力不安定, (2) おそらく地球自転に起因するアセスフェア内における東への造構性流動, (3) 海洋化. 詳細は Yano and Wu (1997) および Yano et al. (2001, 2014a) を参照.

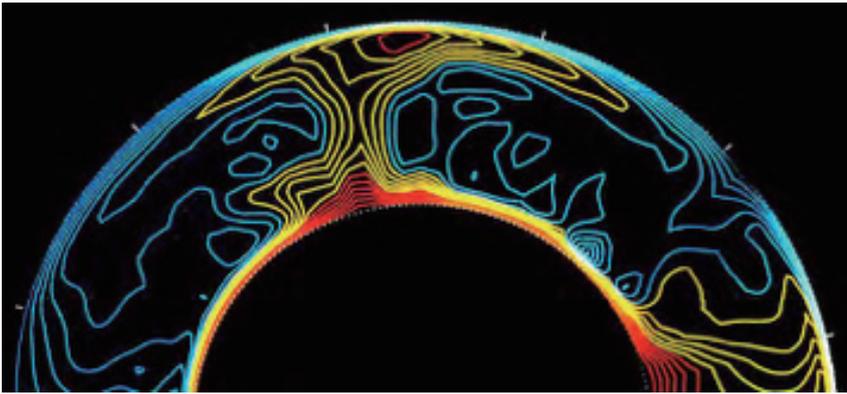


図9 底面加熱された球殻断面におけるエントロピー等値線分布 (Bercovici et al., 1989). the American Association for the Advancement of Science の許可を得て複製.

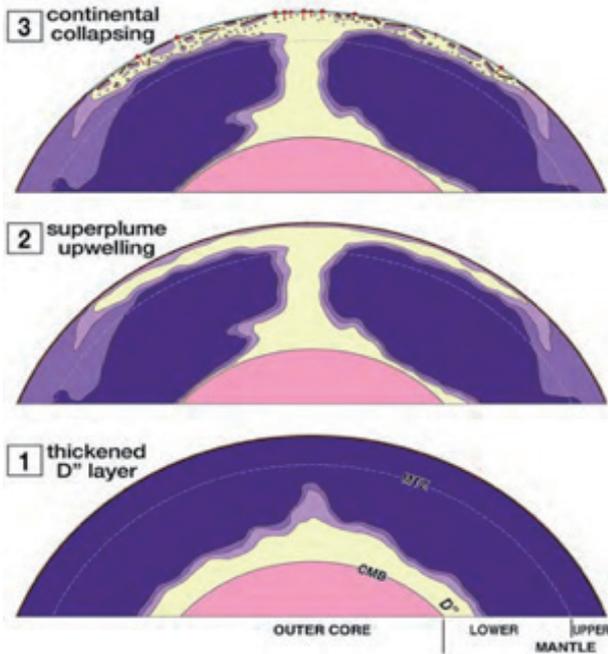


図10 中生代スーパープルームの湧昇モデル (肥厚したD''層から太平洋下へ). Bercovici et al. (1989) の全マントル対流モデルから類推.

D''層の肥厚は、地球の火成活動史 (Gorai, 1973, 1975) から帰納された顕生代再加熱 Phanerozoic reheating (Yano et al., 2001) に由来すると考えられる. CMB [コア/マントル境界]の隆起域の地表投影が海洋と一致すること (Morelli and Dziewonski, 1987) は、中生代におけるD''層の肥厚域と地殻の海洋化領域が鉛直方向で関連していたことの痕跡であろう.

2) 予期される海洋化メカニズム

顕著な展張をともしない地殻あるいはリソスフェアの薄化メカニズムとして提案されたのは、(1) エクロジヤイト化 eclogitization (Artyushkov and Baer, 1984), (2) 剥離 delamination (Bird, 1979), (3) 熱侵食 thermal erosion (Barell, 1927; Sovolev et al., 2011) (4) をともなう地球脱ガス作用 (Strotvedt, 2013: エクロジヤイト化+地殻剥離+超臨界水による地殻破壊), などである. にわか

実際のメカニズムが解明される見込みはないが、これらすべての提案が深部から海盆下へ大規模な熱化学的流入を想定していることは、1つの重要な手がかりになるだろう.

詳細さておき、海洋化現象は、顕生代再加熱につづく地球冷却過程における差動的収縮として理解されるかもしれない (Yano et al., 2001). スーパープルーム頭部は、先在大陸に成立していたアイソスタシー均衡を破壊し、海洋化作用によって新しいアイソスタシー均衡をもたらしたと考えられる (図10). ジーランドディア (図1) は、海洋化が完了するよりずっと以前の段階が化石化したものであろう. 対照的に、中央ポリネシア西部にみられるACMs 地球化学的特性 (図5) は、完全な海洋化の直前の段階を反映している可能性がある.

結 論

海洋形成論としては、これまでに、(1) 海洋恒久説、(2) 海洋底拡大説、(3) 海洋化説、および (4) 微膨張説という4つの主要仮説が知られている (図11). それらは、海洋が古い (1), 新しい (2), そして、古くて新しい (3-4) ことを主張している.

第1仮説は、戦後になって海洋底が若いことが明らかになり、放棄された. 第2仮説はこの半世紀にわたる主流の学説であったが、世界中の海洋からACMsの報告が増加しつづけているために、遠からず深刻な困難に直面するだろう. 第3仮説は途中で衰退を経験したものの、ACMsの増加によって急速に復活しつつある. 第4仮説は将来の進展に依存している. いずれにしても、2.8Gaまで遡るACMsの年代 (Yano et al., 2009, 2011) は、世界の海洋が長い歴史を持っていることを物語っている.

グローバルテクトニクスに関する基本概念には、大転換の時期がさしさまっている. この状況は、現在の主流概念にとって予期しない事実が一定量蓄積されたことに由来する.

謝辞: 著者は、重要なお教示と親切なご支援をいた

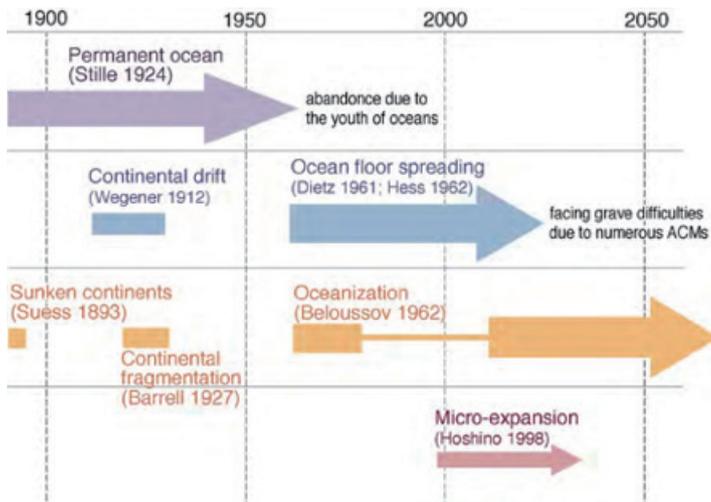


図 11 海洋形成論における主要仮説の簡略化された系譜。それぞれの系譜はより早期に遡るだろう（たとえば海洋化仮説では、プラトンのアトランティス）。

だいた故 Boris Vasiliev, 故南雲昭三郎, 呉 根耀, 星野通平の諸氏に, また, 文献入手にご支援いただいた小室裕明・久保田喜裕の両氏に, 厚く御礼申し上げます. Karsten M. Storetvedt と Christian Smoot の両氏による批判的査読ならびに Dong R. Choi 氏の編集上のご援助によって, 私の原稿は大きく改善された.

文 献

Adams, C.J., 1983. Age of the volcanoes and granite basement of the Auckland Islands, Southwest Pacific. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 26, p. 227-237.

Adams, C.J. and Cullen, D.J., 1978. Potassium-argon ages of granites and metasediments from the Bounty Islands area, South-west Pacific Ocean. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, v. 8, p.127-132.

Adams, C.J. and Griffin, W.L., 2012. Rodinian detrital zircons in Late Cretaceous sandstones indicate a possible Precambrian basement under southern Zealandia. *Precambrian Research*, v. 212-213, p. 13-20.

Adams, C.J., Morris, P.A. and Beggs, J.M., 1979. Age and correlation of volcanic rocks of Campbell Island and metamorphic basement of the Campbell Plateau, South-west Pacific. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 22, p. 679-691.

Adams, C.J., Campbell, H.J. and Griffin, W.J., 2008. Age and provenance of basement rocks of the Chatham Islands: an outpost of Zealandia. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 51, p. 245-259.

Andrews, P.B., Campbell, H.J. and Watters, W.A., 1978. The Forty Fours: the most easterly outcrop of Mesozoic basement in the New Zealand region (Note). *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 21, p. 649-652.

Artyushkov, E.V. and Baer, M.A., 1984. Mechanism of continental crust subsidence in the Alpine Belt. *Tectonophysics*, v. 108, p. 193-228.

Bache, F., Mortimer, N., Sutherland, R., Collot, J., Rouillard, P., Stagpoole, V., Nicol, A., 2014. Seismic stratigraphic

record of transition from Mesozoic subduction to continental breakup in the Zealandia sector of eastern Gondwana. *Gondwana Research*, v. 26, p. 1060-1078.

Barrell, J., 1919. The status of the theory of isostasy. *American Journal of Science*, series 4, v. 48, p. 291-338.

Barrell, J., 1927. On continental fragmentation and the geologic bearing of the Moon's surface features. *American Journal of Science*, series 5, v. 13, p. 283-314.

Beggs, J.M., 1978. Geology of the metamorphic basement and late Cretaceous to Oligocene sedimentary sequence of Campbell Island, southwest Pacific Ocean. *Journal of the Royal Society of New Zealand*, v. 8, p. 161-177.

Beggs, J.M., Challies, G.A. and Cook, R.A., 1990. Basement geology of the Campbell Plateau: implications for correlation of the Campbell Magnetic Anomaly System. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 33, p. 401-404.

Belousov, V.V., 1962. Tectonic map of the Earth. *Geologische Rundschau*, v. 50, p. 316-325.

Belousov, V.V., 1990. Tectosphere of the Earth: upper mantle and crust interaction. *Tectonophysics*, v. 180, p. 139-183.

Bercovici, D., Schubert, G. and Glatzmaier, G., 1989. Three-dimensional spherical models of convection in the Earth's mantle. *Science*, v. 244, p. 950-955.

Berry, R.F., Meffre, S. and Kreuzer, H., 1997. Metamorphic rocks from the southern margin of Tasmania and their tectonic significance. *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 44, p. 609-619.

Bird, P., 1979. Continental delamination and the Colorado Plateau. *Journal of Geophysical Research*, v. 84, p. 7561-7571.

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

Bonatti, E. and Honnorez, J., 1971. Nonspreading crustal blocks at the mid-Atlantic ridge. *Science*, v. 174, p. 1329-1331.

Bostrom, R.C., 2000. *Tectonic Consequences of the Earth's Rotation*. Oxford University Press, New York, 266 p.

- Brothers, R.N. and Lillie, A.R., 1988. Regional geology of New Caledonia. In: Nairn, A.E.M., Stehli, F.G. and Uyeda, S. (eds.), *The Ocean Basins and Margins, Volume 7B: The Pacific Ocean*, 325-374, Plenum Press.
- Buys, J., Spandler, C., Holm, R.J. and Richards, S.W. (2014) Remnants of ancient Australia in Vanuatu: implication for crustal evolution in island arcs and tectonic development of the southwest Pacific. *Geology*, v. 42, p. 939-942.
- Challis, G.A., Gabites, J. and Davey, F.J., 1982. Precambrian granite and manganese nodules dredged from southwestern Campbell Plateau, New Zealand (Note). *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 25, p. 493-497.
- Chaproniere, G.C.H., Pigram, C.J., Symonds, P.A. and Davies, P.J., 1990. The Northeast Australian Margin and Adjacent Areas – A Biostratigraphic Review and Geohistory Analysis. Record 1990/007, 30 p. and 33 plates, Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Canberra.
- Choi, D.R., Tsunoda, F. and Kawabe, T., 2017. Thermal structure of the Earth's mantle: Part 1. Pacific Ocean sector. *NCGT Journal*, v. 5, no. 4, p. 512-521.
- Clark, M.R. and Roberts, C.D., 2008. Fish and invertebrate biodiversity on the Norfolk Ridge and Lord Howe Rise, Tasman Sea (NORFANZ voyage, 2003). *New Zealand Aquatic Environment and Biodiversity Report*, n. 28, 131 p.
- Cluzel, D., Adams, C.J., Meffre, S., Campbell, H. and Maurizot, P., 2010. Discovery of Early Cretaceous rocks in New Caledonia; new geochemical and U-Pb zircon age constraints on the transition from subduction to marginal breakup in the Southwest Pacific. *The Journal of Geology*, v. 118, p. 381-397.
- Cluzel, D., Adams, C.J., Maurizot, P. and Meffre, S., 2011. Detrital zircon records of Late Cretaceous syn-rift sedimentary sequences of New Caledonia: An Australian provenance questioned. *Tectonophysics*, v. 501, p. 17-27.
- Collot, J.Y. and Missegue, F., 1977. Crustal structure between New Caledonia and the New Hebrides. In: *International Symposium on Geodynamics in South-West Pacific Noumea (New Caledonia)*, 27 August - 2 September 1976, Editions Technip, Paris, p. 135-143.
- Cullen, D.J., 1965. Autochthonous rocks from the Chatham Rise, east of New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 8, p. 465-474.
- Davy, B., 2006. Bollons Seamount and early New Zealand–Antarctic seafloor spreading, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 7, Q06021, doi:10.1029/2005GC001191.
- Denison, R.E. and Coombs, D.S., 1977. Radiometric ages for some rocks from Snares and Auckland Islands, Campbell Plateau. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 34, p. 23-29.
- Dietz, R.S., 1961. Continent and ocean basin evolution by spreading of the sea floor. *Nature*, v. 190, 854-857.
- Dubois, J., Ravenne, C., Aubertin, A., Louis, J., Guillaume, R. Launay, J., Montadert, L., 1974. Continental margins near New Caledonia. In: Burk C.A., Drake C.L. (eds.), *The Geology of Continental Margins*, p. 521-535, Springer.
- Duncan, R.A., Fisk, M.R., White, W.M., Nielsen, R.L., 1994. Tahiti: Geochemical evolution of a French Polynesian volcano. *Journal of Geophysical Research*, v. 99, p. 24,341-24,357.
- Eagles, G., Pérez-Díaz, L. and Scarselli, N., 2015. Getting over continent ocean boundaries. *Earth Science Reviews*, v. 151, p. 244–265.
- Exon, N.E. and Crawford, A.J., 1997. Introduction. *Australian Journal of Earth Science*, v. 44, p. 539-531.
- Exon, N.F., Lee, C-S., Felton, E.A., Heggie, D., McKirdy, D., Penney, C., Shafik, S., Stephanson, A. and Wilson, C., 1992. BMR Cruise 67: Otway Basin and west Tasmanian sampling. Report 306, 171 p., Department of Primary Industries & Energy, Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Australian Government Publishing Service, Canberra.
- Exon, N.F., Royer, J.-Y. and Hill, P.J., 1996. Tasmante cruise: Swath-mapping and underway geophysics south and west of Tasmania. *Marine Geophysical Research*, v. 18, p. 275-287.
- Exon, N.F., Berry, R.F., Crawford, A.J. and Hill, P.J., 1997. Geological evolution of the East Tasman Plateau, a continental fragment southeast of Tasmania. *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 44, p. 597-608.
- Exon, N., Hill, P., Lafoy, Y., Burch, G., Post, A., Heine, C., Quilty, P., Howe, R. and Taylor, L., 2005. The Geology of the Kenn Plateau off northeast Australia: results of Southern Surveyor Cruise SS5/2004 (Geoscience Australia Cruise 270). Record 2005/04, 172 p., Geoscience Australia.
- Exon, N.F., Hill, P.J., Lafoy, Y., Heine, C. and Bernardel, G., 2006. Kenn Plateau off northeast Australia: a continental fragment in the southwest Pacific jigsaw. *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 53, p. 541-546.
- Exon, N.F., Lafoy, Y., Hill, P.J., Dickens, G.R. and Pecher, I., 2007. Geology and petroleum potential of the Fairway Basin in the Tasman Sea. *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 54, p. 629-645.
- Exon, N.F., Marshall, J.F., McCorkle, D.C., Alcock, M., Chaproniere, G.C.H., Connell, R., Dutton, S.J., Elmes, M., Findlay, C., Robertson, L., Rollet, N., Samson, C., Shafik, S. and Whitmore, G.P., 1995. AGSO Cruise 147 Report –Tasman Rises geological sampling cruise of Rig Seismic: stratigraphy, tectonic history and palaeoclimate of the offshore Tasmanian region. *Marine, Petroleum and Sedimentary Resources Program, AGSO RECORD 1995/56*, 159 p., Australian Geological Survey Organisation.
- Feary, D.A., Championm, D.C., Bultitude, R.J. and Davies, P.J., 1993. Igneous and metasedimentary basement lithofacies of the Queensland Plateau (Sites 824 and 825). In: McKenzie, J.A., Davies, P.J., Palmer-Julson, A., et al., *Proceedings of Ocean Drilling Project, Scientific Results*, v. 133, p. 535-540, College Station, TX (Ocean Drilling Program).

- Fukao, Y., 1992. Seismic tomogram of the Earth's mantle: geodynamic implications. *Science*, v. 258, p. 625-630.
- Gabral, R.A., Jackson, M.G., Rose-Koga, E.F., Koga, K.T., Whitehouse, M.J., Antonelli, M.A., Farquhar, J., Day, J.M.D. and Hauri, E.H., 2013. Anomalous sulphur isotopes in plume lavas reveal deep mantle storage of Archean crust. *Nature*, v. 496, p. 490-493.
- Gaina, C., Müller, R., Brown, D.B.J. and Ishihara, T., 2003. Microcontinent formation around Australia. Geological Society of Australia, Special Publication, n. 22, and Geological Society of America, Special Papers, n. 372, 405-416.
- Gamble, J.A., Wright, I.C. and Baker, J.A., 1993. Seafloor geology and petrology in the oceanic to continental transition zone of the Kermadec-Havre-Taupo Volcanic Zone arc system, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 36, p. 417-435.
- Gorai, M., 1973. Magmatism –its development in the Earth history–. Kyoritsu, Tokyo, 345 p. (in Japanese)
- Gorai, M., 1975. Magma Genesis –an introduction to theory of Earth evolution–. Kyoritsu, Tokyo, 358 p. (in Japanese)
- Gordon, S.A., Huizinga, B.J. and Sublette, V., 2000. Petroleum potential of the Southern Gulf of Papua. In: Buchanan, P.G., et al. (eds.), *Papua New Guinea's Petroleum Industry in the 21st Century*, Proceedings of the Fourth PNG Petroleum Convention, p. 205-218, Port Moresby.
- Grant, A.C., 1985. Structural evolution of the head of Solander Trough, south of New Zealand, based on analysis of seismic basement. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 28, p. 5-22.
- Grobys, J.W.G., Gohl, K. and Eagles, G., 2008. Quantitative tectonic reconstructions of Zealandia based on crustal thickness estimates. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 9, Q01005, doi:10.1029/2007GC001691.
- Gudlaugsson, S.T., Gunnarsson, K., Sand, M. and Skogseid, J., 1988. Tectonic and volcanic events at the Jan Mayen Ridge microcontinent. Geological Society, Special Publication, London, no. 39, p. 85-94.
- Hart, S.R. (1984) A large-scale isotope anomaly in the Southern Hemisphere mantle. *Nature*, v. 309, p. 753-757.
- Herzer, R.H., Sykes, R., Killops, S.D., Funnell, R.H., Burggraf, D.R., Townend, J., Raine, J.I., Wilson, G.J., 1999. Cretaceous carbonaceous rocks from the Norfolk Ridge system, Southwest Pacific; implications for regional petroleum potential. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 42, p. 57-73.
- Hess, H. H., 1962. History of ocean basins. In: Engel, A.E.J., Harold, L. James, H.L. and Leonard, B.F., *Petrologic studies: a volume to honor A. F. Buddington*. p. 599-620, Geological Society of America.
- Hill, P.J., 1994. Geology and geophysics of the offshore Maryborough, Capricorn and northern Tasman Basins: Results of AGSO Survey 91. AGSO RECORD 1994/1, 71 p., Australian Geological Survey Organization.
- Hill, P.J., Meixner, A.J., Moore, A.M.G. and Exon, N.F., 1997. Structure and development of the west Tasmanian offshore sedimentary basins: results of recent marine and aeromagnetic surveys. *Australian Journal of Earth Science*, v. 44, p. 579-596.
- Hinz, K. and Shipboard Party, 1985. Geophysical, geological and geochemical studies off West Tasmania and on the South Tasman Rise. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Cruise Report, S036-2, 220 p.
- Hoernle, K., White, J.D.L., van den Bogaard, P., Hauff, F., Coombs, D.S., Werner, R., Timm, C., Garbe-Schönberg, D., Reay, A. and Cooper, A.F., 2006. Cenozoic intraplate volcanism on New Zealand: Upwelling induced by lithospheric removal. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 248, p. 350-367.
- Hoernle, K., Hauff, F., Devey, C.W. and van den Bogaard, P. (eds.), 2007. Temporal, spatial, and tectonic evolution of oceanic plateaus. RV SONNE Fahrtbericht / Cruise Report SO193 MANIHIKI, 84 p.
- Hofmann, A.W. (1997) Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature*, v. 385, p. 219-229.
- Hoshino, M., 1998. The Expanding Earth –evidence, causes and effects–. 295 p., Tokai University Press, Tokyo.
- Hubble, T.C.T. and Jenkins, C.J., 1984. Sediment samples and cores from the southern New South Wales upper continental slope. University of Sydney Ocean Sciences, Institute Report, n. 8, 37 p.
- Hubble, T.C.T., Packham, G.H., Hendry, D.A.F. and McDougall, I., 1992. Granitic and monzonitic rocks dredged from the southeast Australian continental margin. *Australian Journal of Earth Science*, v. 39, p. 619-630.
- Hunt International Petroleum Company of New Zealand, 1976. Well completion report—PARARA-1. New Zealand Geological Survey unpublished open-file petroleum report, n. 673.
- Hunt International Petroleum Company, 1977. Final report, Pakara-1. New Zealand Geological Survey unpublished open-file petroleum report, n. 703.
- Hunt International Petroleum Company, 1978. Final report, Hoiho-1C. New Zealand Geological Survey unpublished open-file petroleum report, n. 730.
- Ishikawa, A., Maruyama, S. and Komiya, T., 2004. Layered lithospheric mantle beneath the Ontong Java Plateau: implications from xenoliths in alnöite, Malaita, Solomon Islands. *Journal of Petrology*, v. 45, p. 2011-2044.
- Ishikawa, A., Kuritani, T., Makishima, A. and Nakamura, E., 2007. Ancient recycled crust beneath the Ontong Java Plateau: Isotopic evidence from the garnet clinopyroxenite xenoliths, Malaita, Solomon Islands. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 259, p. 134-148.
- Jackson, M.G., Hart, S.R., Koppers, A.A.P., Staudigel, H., Konter, J., Blusztajn, J., Kurz, M. and Russell, J.A., 2007. The return of subducted continental crust in Somoan lavas. *Nature*, v. 448, p. 684-687.

- Kashintsev, G.L. and Frikh-Khar, D.I., 1978. Structure of the oceanic crust in the Eltanin fault zone (Pacific Ocean) based on petrographic data. *Oceanology*, v. 18, p. 39-42.
- Katz, H.R., 1974. Margins of the Southwest Pacific. In: Burk C.A. and Drake C.L. (eds.) *The Geology of Continental Margins*, p. 549-565. Springer, Berlin, Heidelberg
- Koppers, A.A.P., Russell, J.A., Roberts, J., Jackson, M.G., Konter, J.G., Wright, D.J., Staudigel, H. and Hart, S.R., 2011. Age systematics of two young en echelon Samoan volcanic trails. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 12, doi:10.1029/2010GC003438.
- Lonsdale, P., 1986. Tectonic and magmatic ridge in the Eltanin Fault System. *Marine Geophysical Researches*, v. 8, p. 203-242.
- Lonsdale, P., 1994. Structural geomorphology of the Eltanin fault system, South Pacific. *Marine Geophysical Researches*, v. 16, p. 105-143.
- Luyendyk, B.P., 1995. Hypothesis for Cretaceous rifting of east Gondwana caused by subducted slab capture. *Geology*, v. 23, p. 373-376.
- Marine National Facility, 2004. Voyage Summary SS01/2003\ i0. 7 p., <http://mnf.csiro.au/~media/Files/Voyage-plans-and-summaries/Southern-Surveyor/Voyage%20plans-summaries/2003/VOYAGE%20SUMMARY%20SS01.ashx>
- Marshall, P. and Browne, R., 1909. The geology of Campbell Island and the Snares. In: Chilton, C. (ed.), *The Subantarctic Islands of New Zealand*, v. 2, p. 680-704, Canterbury Philosophical Institute, Christchurch, New Zealand.
- Maus, S., Sazonova, T., Hemant, K., Fairhead, J.D. and Ravat, D. (2007) National Geophysical Data Center candidate for the World Digital Magnetic Anomaly Map. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, v. 8, n. 9. Q06017, doi:10.1029/2007GC001643
- McDougall, I. and van der Lingen, G.J., 1974. Age of the rhyolites of the Lord Howe Rise and the evolution of the southwest Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 21, p. 117-126.
- McDougall, I., Maboko, M.A.H., Symonds, P.A., McCulloch, M.T., Williams, I.S. and Kudrass, H.R., 1994. Dampier Ridge, Tasman Sea, as a stranded continental fragment. *Australian Journal of Earth Science*, v. 41, p. 395-406.
- Meffre, S., Crawford, A.J. and Quilty P.G., 2006. Arc-continent collision forming a large island between New Caledonia and New Zealand in the Oligocene, *Australian Society of Exploration Geophysicists Extended Abstracts*, 2006(1), doi:10.1071/ASEG2006ab111.
- Menard, H.W., 1964. *Marine Geology of Pacific*, 255 p., MacGraw-Hill, New York.
- Meyerhoff, A.A. and Meyerhoff, H.A., 1974. Tests of plate tectonics. *Memoirs of American Association of Petroleum Geologists*, n. 23, p. 43-145.
- Meyerhoff, A.A., Agocs, W.B., Taner, I., Morris, A.E.L. and Martin, B.D., 1992. Origin of midoceanic ridges. In: Chatterjee, S. and Hotton, III, N., (eds), *New Concepts in Global Tectonics*, p. 151-178. Texas Tech. University Press, Lubbock.
- Morelli, A. and Dziewonski, A.M. (1987) Topography of the core-mantle boundary and lateral homogeneity of the liquid core. *Nature*, v. 325, p. 678-683.
- Mortimer, N., Tulloch, A.J. and Ireland, T.R., 1997. Basement geology of Taranaki and Wanganui Basins, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 40, p. 223-236.
- Mortimer, N., Herzer, R.H., Walker, N.W., Calvert, A.T., Seward, D., Chaproniere, G.C.H., 2003. Cavalli Seamount, Northland Plateau, SW Pacific Ocean: a Miocene metamorphic core complex? *Journal of the Geological Society (London)*, v. 160, p. 971-983.
- Mortimer, N., Hoemle, K., Hauff, F., Palin, J.M., Dunlap, W.J., Werner, R. and Faure, K., 2006. New constraints on the age and evolution of the Wishbone Ridge, southwest Pacific Cretaceous microplate, and Zealandia – West Antarctica breakup. *Geology*, v. 34, p. 185-188.
- Mortimer, N., Dunlap, W.J., Palin, J.M., Herzere, R.H., Hauff, F. and Clark, M., 2008a. Ultra-fast early Miocene exhumation of Cavalli Seamount, Northland Plateau, Southwest Pacific Ocean. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 51, p. 29-42.
- Mortimer, N., Hauff, F. and Calvert, A.T., 2008b. Continuation of the New England Orogen, Australia, beneath the Queensland Plateau and Lord Howe Rise. *Australian Journal of Earth Science*, v. 55, p. 195-209.
- Mortimer, N., Raine, J.I. and Cook, R.A., 2009. Correlation of basement rocks from Waka Nui-1 and Awhitu-1, and the Jurassic regional geology of Zealandia. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 52, p. 1-10.
- Mortimer, N., Campbell, H.J., Tulloch, A.J., King, P.R., Stagpoole, V.M., Wood, R.A., Rattenbury, M.S., Sutherland, R., Adams, C.J., Collot, J. and Seton, M., 2017. Zealandia: Earth's Hidden Continent. *GSA Today*, v. 27, p. 27–35. doi: 10.1130/GSATG321A.1
- Nagumo, S., 1996a, b, c. Research trends on the kinematic picture of the deep Earth (Part 1, 2, and 3). *Chishitsu News*, no. 497, p. 7-17, no. 503, p. 39-48, no. 508, p. 31-40, Geological Survey of Japan. [in Japanese]
- Nebel, O., Richard J. Arculus, R.J., van Westrenen, W., Woodhead, J.D., Jenner, F.E., Yona J. Nebel-Jacobsen, Y.J., Wille, M. and Eggins, S.M., 2013. Coupled Hf–Nd–Pb isotope co-variations of HIMU oceanic island basalts from Mangaia, Cook-Austral islands, suggest an Archean source component in the mantle transition zone. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 112, p. 87–101.
- Ohbayashi, M., 2009. Mantle tomographic images. Cited in the frontispiece of Tsunoda, 2009a.
- Oliver, R.L., 1950. Preliminary report on the geology of Campbell Island. *New Zealand Department of Scientific and Industrial Research Cape Expedition Series Bulletin*, v. 3, p. 1-44.

- Ovenshine, A.T., Csejtey, Jr., B., Smith, J.G. and Andrus P.B., 1975. Petrography and age of quartz-muscovite-chlorite semischist, Site 281, South Tasman Rise. In: Kennett, J.P., Houtz, R.E., et al., DSDP Initial Reports, v. 29, p. 1117-1121, U.S. Government Printing Office, Washington DC.
- Palacz, Z.A. and Saunders, A.D., 1986. Coupled trace element and isotope enrichment in the Cook-Austral-Samoa islands, southwest Pacific. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 79, p. 270-280.
- Paquette, J.-L. and Cluzel, D., 2007. U–Pb zircon dating of post-obduction volcanic-arc granitoids and a granulite-facies xenolith from New Caledonia. Inference on Southwest Pacific geodynamic models. *International Journal of Earth Sciences*, v. 96, p. 613-622.
- Placid Oil Co., 1984. Final geological well report, Rakiura-1, Great South Basin, N.Z. PPL38081. New Zealand Geological Survey unpublished open-file petroleum report, 994 p.
- Pratt, D., 2000. Plate tectonics: A paradigm under threat. *Journal of Scientific Exploration*, v. 14, p. 307–352.
- Ramberg, H., 1981. Gravity, deformation and the earth's crust (second edition) – In theory, experiments and geological application – Academic Press, London, 452p.
- Reed, J.J., 1953. Petrology. In: Fleming, C.A., Reed, J.J. and Harris, W.F. (eds.), *The Geology of the Snares Islands*. New Zealand Department of Scientific and Industrial Research Cape Expedition Series Bulletin, v. 13, p. 28-32.
- Rezanov, I.A., 2002. Origin of oceanic crust. *Bulletin of Moscow Society for Experiment of Nature, Section of Geology*, v. 77, p. 24-31. (in Russian with English abstract)
- Roach, M.J., Leaman, D.E. and Richardson, R.G., 1993. A comparison of regional-residual separation techniques for gravity surveys. *Exploration Geophysics*, v. 24, p. 779-784.
- Roeser, H.A. and Shipboard Party, 1985. Geophysical, geological and geochemical investigations on the Lord Howe Rise. *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Report, Cruise SO36, Part 1*, 192 p.
- Shipboard Scientific Party, 1991. Sites 811/824. In: Davies, P.J., McKenzie, J.A., Palmer-Julson, A., et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Project, Initial Reports*, v. 133, p. 73-134, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Shipboard Scientific Party (2001a) Leg 189 Summary. In: Exxon NF, Kennett JP, Malone MJ et al., *Proceedings of the Ocean Drilling Project, Initial Reports*, v. 189, doi:10.2973/odp.proc.ir.189.101.2001, College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Shor, G.G., Kirk, Jr.H.K. and Menard, H.W., 1971. Crustal Structure of the Melanesian Area. *Journal of Geophysical Research*, v. 76, p. 2562- 2586
- Silant'yev, S.A. and Plyusnina, L.P., 1982. P-T Conditions of Formation of Metamafic Rocks in the Heezen Fracture Zone and the Mariana Trench, Pacific Ocean (English Translation). *Doklady Akademii Nauk SSSR*, v. 265, p. 952-955.
- Smith, W.H.F. and Sandwell, D.T., 1997. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, v. 277, p. 1957-1962.
- Smoot, N.C., 2018. Is the placement of Pacific basin oceanic plateaus and rises dependent upon megatrend intersections? *NCGT Journal*, v. 6, no. 1, p. 37-71.
- Sobolev, S.V., Sobolev, A.V., Kuzmin, D.V., Krivolutskaya, N.A., Petrunin, A.G., Arndt, N.T., Viktor A. Radko, V.A. and Vasiliev, Y.R., 2011. Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes. *Nature*, v. 477, p. 312-316.
- Speight, R. and Finlayson, A.M., 1909. The physiography and geology of Auckland, Bounty and Antipodes Islands. In: Chilton, C. (ed.), *The Subantarctic Islands of New Zealand*, v. 2, p. 705-744, Canterbury Philosophical Institute, Christchurch, New Zealand.
- Stille, H., 1924. *Grundfragen der vergleichenden Tektonik*. 443 p., Bornträger, Berlin.
- Stilwell, J.D., Consoli, C.P., Sutherland, R., Salisbury, S., Rich, T.H., Vickers-Rich, P.A., Currie, P.J. and Wilson, G.J., 2006. Dinosaur sanctuary on the Chatham Islands, Southern Pacific: First record of the theropods from the K-T boundary Takatika Grit. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 230, p. 243-250.
- Storetvedt, K.M. (2013) Global theories and standards of judgement: knowledge versus groundless speculation? *NCGT Journal*, v. 1, n. 3, 56-102.
- Struckmeyer, H.I.M., 1990. Papuan Basin data compilation: Mesozoic to Cainozoic stratigraphic summary columns and data map. *BMR Record 1990/67 Paleogeography*, 115 p.
- Suess, E., 1893. Are great ocean depths permanent? *Natural Science*, v. 2, p. 180-187.
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.W. and Fleming, R.H., 1942. *The Ocean*. Prentice-Hall, New York, 1087p.
- Talwani, M. and Udintsev, G., 1976. Tectonic synthesis. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, v. 38, p. 1213-1242. US Government Printing Office, Washington, DC.
- Tcherepanov, E. N., Droxler, A. W., Lapointe, P. and Mohn, K., 2008. Carbonate seismic stratigraphy of the Gulf of Papua mixed depositional system: Neogene stratigraphic signature and eustatic control. *Basin Research*, v. 20, p.185–209.
- The Shipboard Scientific Party, 1975. Site 276. In: Kennett, J. P., Houtz, R. E., et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, v. 29, p. 37-44, U.S. Government Printing Office, Washington DC.
- The Shipboard Scientific Party with additional contribution from Wilson, G.J., 1975. Site 281. In: Kennett, J.P., Houtz, R.E., et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, v. 29, p. 271-315, U.S. Government Printing Office, Washington DC.
- The Shipboard Scientific Party with additional contributions from Burns, D., Watters, W.A. and Webb, P.N., 1973. Site 207. In: Burns, R. E., Andrews, J. E., et al., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, v. 21, p. 197-269. U.S.

- Government Printing Office, Washington DC.
- Timm, C., Hoernle, K., Werner, R., Hauff, F., van den Bogaard, P., Michael, P., Coffin, M.F. and Koppers, A., 2011. Age and geochemistry of the oceanic Manihiki Plateau, SW Pacific: New evidence for a plume origin. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 304, p. 135-146.
- Tulloch, A., Kimbrough, D.L. and Wood, R.A., 1991. Carboniferous granite basement dredged from a site on the southwest margin of the Challenger Plateau, Tasman Sea. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 34, p. 121-126.
- Udintsev, G.B., 1990. Topography and geological structure of the Pacific Ocean. Translated and edited by Oide, K., Hanada, M. and Ishida, M. Earth Science Research Center, Tsurugashima, Saitama, 143p. (in Japanese)
- Udintsev, G.B., 1990. Topography and geological structure of the Pacific Ocean. Translated and edited from Russian to Japanese by Oide, K., Hanada, M. and Ishida, M. Earth Science Research Center, Tsurugashima, Saitama, 143p. (in Japanese)
- van der Lingen, G., 1973. The Lord Howe Rise rhyolite. In: Burns, R. E., Andrews, J. E., et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 21, p. 523-539. U.S. Government Printing Office, Washington DC.
- Vasiliev, B.I., 1988. Basic features of the geological structure of the NW Pacific. 192 p., Dalnauka, Vladivostok. [in Russian]
- Vasiliev, B.I., 1991. Main features of geological structure of the northwestern Pacific. Translated and edited by Oide, K., Hanada, M. and Ishida, M., Earth Science Research Center, Tsurugashima, Saitama, 204p. (in Japanese)
- Vasiliev, B.I., 2009. Geological Structure and Origin of the Pacific Ocean. 559p., Dalnauka, Vladivostok. [in Russian]
- von Haast, J., 1868. Notes on the rock specimens collected by H.H. Travers Esq., on the Chatham Islands. *Transactions of the New Zealand Institute*, v. 1, p. 127-129.
- Wasserburg, G.J., Craig, H., Menard, H.W., Engel, A.E.J. and Engel, C.G., 1963. Age and composition of a Bounty Island granite and age of a Seychelles Islands granite. *Journal of Geology (London)*, v. 71, p. 785-789.
- Watters, W. and Fleming, A., 1975. Petrography of rocks from the Western Chain of the Snares Islands (Note). *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 18, p. 491-498.
- Wegener, A.L., 1912. Die Entstehung der Kontinente. *Geologische Rundschau*, v. 3, p. 276-292.
- White, W.M. and Hofmann, A.W., 1982. Sr and Nd isotope geochemistry of oceanic basalts and mantle evolution. *Nature*, v. 296, p. 812-825.
- Wodzicki, A., 1974. Geology of the pre-Cenozoic basement of the Taranaki – Cook Strait – Westland area, New Zealand, based on recent drill hole data. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 17, p. 747-757.
- Wood, R.A., 1991. Structure and seismic stratigraphy of the western Challenger Plateau. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 34, p. 1-9.
- Wood, R. and Woodward, D., 2002. Sediment thickness and crustal structure of offshore western New Zealand from 3D gravity modelling. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, v. 45, p. 243-255.
- Workman, R.K., Hart, S.R., Jackson, M., Regelous, M., Farley, K.A., Blusztajn, J., Kurz, M. and Staudigel, H., 2004. Recycled metasomatized lithosphere as the origin of the Enriched Mantle II (EM2) end-member: Evidence from the Samoan Volcanic Chain. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 5, doi:10.1029/2003GC000623.
- Yano, T., 2014a. Tectonic development of Pacific Ocean and its periphery: a constraint on large-scale rotations of lithospheric blocks. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, n. 2, p. 54-68.
- Yano, T., 2014b. Late Mesozoic tectono-magmatism in the West Pacific Ocean –Did the Darwin Rise demise or revive?–. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, n. 3, p. 42-54.
- Yano, T., 2014c. Late Mesozoic tectono-magmatism in the West Pacific Ocean – in a linear depression or on a domal uplift? *New Concepts in Global Tectonics Journal*, v. 2, n. 4, 98-105.
- Yano, T. and Wu G.Y., 1995. Middle Jurassic to Early Cretaceous arch tectonics in East Asian continental margin. In: Chang, K.H. (ed.), Environmental and tectonic history of East and South Asia, with emphasis on Cretaceous Correlation (IGCP 350) — Proceedings of 15th International Symposium of Kyungpook National University, p. 177-192, Kyungpook National University, Taegu.
- Yano, T. and Wu G.Y., 1997. Late Mesozoic geodynamics interrelating Circum-Pacific mobile belt and Darwin Rise. *Jour. Geol. Soc. Philippines*, v. LII, p. 235-271.
- Yano, T., Matsumoto, Y. and Wu, G.Y., 2001. Pacific genesis induced from Phanerozoic reheating of Upper Mantle. *Himalayan Geology*, n. 22, p. 51-64.
- Yano T., Choi D., Gavrilov A.A., Miyagi S. and Vasiliev B.I., 2009 Ancient and continental rocks in the Atlantic Ocean. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, n. 53, p. 4-35.
- Yano T., Vasiliev B.I., Choi D.R., Miyagi S., Gavrilov A.A. and Adachi H., 2011. Continental rocks in the Indian Ocean. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, n. 58, p. 9-28.
- Yano T., Vasiliev B.I. and Choi D.R., 2012. Ancient and continental rocks from the world oceans. Abstracts of 34th International Geological Congress 2012, Page 3225 (#3258), 5-10 August 2012, Brisbane, Australia.
- Zhu, H. and Symonds, P.A., 1994. Seismic interpretation, gravity modeling and petroleum potential of the southern Lord Howe Rise region. *New Zealand Petroleum Conference Proceedings*, p. 223-230

ACM Code	Biophysical Features	Program/Cluster	SRP/Host/Station Frequency	Latitude	Longitude	Water Depth (m)	Depth below seafloor (m)	Material	Age of formation	References
1	western continental slope of Tasmania	BMR Cruise 67	DR1	42°50.2' S 42°48.2'	141°46'07.14" E 141°49'	4900-4950	4900-4950	fine- to medium-grained quartzitic sandstone of restricted marginal marine facies	Maastrichtian	Exon et al. (1992), Hill et al. (1997)
2	western continental slope of Tasmania	BMR Cruise 67	DR2	42°42.2' S 42°42.2'	141°43'47.43" E 141°43'	4200-3300	4200-3300	very fine-grained micaceous sandstone and siltstone of restricted marginal marine facies	Maastrichtian	Exon et al. (1992), Hill et al. (1997)
3	southwestern continental slope of Tasmania	AGSO Cruise 147	DR04	44°00.8' S 44°00.7'	141°34'07.14" E 141°34'	4000-3000	4000-3000	granite-gneiss including a garnetiferous paragneiss, with lesser amount of schist, metabasalts, and gabbro		Exon et al. (1995, 1996), Berry et al. (1997)
4	southwestern continental slope of Tasmania	AGSO Cruise 147	DR05	44°00.8' S 44°00.2'	141°34'07.14" E 141°35'	3000-2000	3000-2000	granite-gneiss, quartzite-schists, etc.		Exon et al. (1995, 1996), Berry et al. (1997)
5	South Tasmian Rise	AGSO Cruise 147	DR00	47°13.0' S 47°13.0'	141°05'07.14" E 141°05'	3600-3500	3600-3500	granite-gneiss, mylonite-gneiss, schists and migmatite		Exon et al. (1996), Berry et al. (1997)
6	South Tasmian Rise	RV SONNE cruise SO 36 448D	SO36	47°04.0' S 34.108	140°50'59.14" E 10.576	3966-3470	3966-3470	garnet-bearing schist and gneiss, granulite, and pegmatite	466-469 Ma K-Ar [whole rock]	Hill, K. and Shipboard Party (1995), Exon et al. (1995)
7	South Tasmian Rise	AGSO Cruise 147	DR02	46°01.4' S 46°00.8'	140°36'37.14" E 36.9	3750-3350	3750-3350	fine-grained biotite porphyroblast gneiss, biotite-gneiss, pegmatite, amphibolites, metabasites		Exon et al. (1995, 1996), Berry et al. (1997)
8	South Tasmian Rise	ODDP Site 201	Site 201	47°58.6' S	147°48.0' E	1591	1751-1756	quartzite-chlorite semischist, unconformably overlain with stratified, unfoliated breccia containing sands and pebbles of mica-schist, quartz, quartzite, gneissitic sandstone and granite	300 ± 50 Ma K-Ar [biotite]	The Shipboard Scientific Party with Additional Contribution from Graham J. Wood (1997), Coombs et al. (1997)
9	Ukambini Depression	AGSO Cruise 147 of Tasmania	DR08	49°43.0' S 49°43.0'	149°00'14" E 01'	2000-2050	2000-2050	one-cobble-size block of granitic gneiss	750 Ma in monazite age for DR08; (Berry et al., 1997) = 790 ± 80 Ma on average of 11 measurements	Exon et al. (1997a), Berry et al. (1997)
10	South Tasmian Rise	AGSO Cruise 147 of Tasmania	DR00	49°30.4' S 49°31.4'	147°20'07.14" E 20.2	3100-2950	3100-2950	garnetiferous granite gneiss, gabbro, biotite granite	750 Ma in monazite age for DR00-1; (Berry et al., 1997) = 790 ± 80 Ma on average of 10 measurements	Exon et al. (1995, 1997a), Berry et al. (1997)
11	southern Tasmian margin	AGSO Cruise 147 of Tasmania	DR44	44°34.3' S 44°35.0'	147°14'37.14" E 14.9	2400-2250	2400-2250	granite-gneiss		Exon et al. (1995), Berry et al. (1997)
12	southern Tasmian margin	AGSO Cruise 147 of Tasmania	DR45	44°33.2' S 44°33.2'	147°24'47.14" E 24.9	2600-2400	2600-2400	granite, granite gneiss, schist, pegmatite	570 ± 4 Ma in monazite cooling age for DR45A (Berry et al., 1997)	Exon et al. (1995), Berry et al. (1997)
13	East Tasmian Plateau	AGSO Cruise 147 of Tasmania	DR40	44°17.2' S 44°17.2'	149°24'37.14" E 24.9	2950-2515	2950-2515	metabasic (metamorphosed mafic rock)		Exon et al. (1995, 1997a, 1997b), Berry et al. (1997)
14	East Tasmian Plateau	AGSO Cruise 147 of Tasmania	DR43	43°54.0' S 43°54.0'	149°12'19.14" E 12.9	3600-3000	3600-3000	garnetiferous gneissic granite, sphenitic mylonite		Exon et al. (1995, 1997a, 1997b)
15	New South Wales Margin	C183	S008	37°52' S	150°45' E	ca. 3600-3600 from bathymetric contours	ca. 3600-3600 from bathymetric contours	granulite	391.0 ± 9.8 Ma K-Ar (hornblende), 372.4 ± 7.6 Ma K-Ar (biotite)	Huddle et al. (1992)
16	New South Wales Margin	C183	C183 706	38°10' S	150°34' E	ca. 1750-1800 from bathymetric contours	ca. 1750-1800 from bathymetric contours	neuro-quartz monzonite	130.6 ± 2.0 Ma K-Ar (300 ± 500ppm)	Huddle et al. (1992)
17	Challenger Plateau	DSR cruise P44302	P44302	42°48' S	162°48' E	3300	3300	biotite granite (25 kg)	376 ± 7 Ma (lower intercept) and 1,747 ± 300 Ma (upper intercept) U-Pb (zircon)	Tulloch et al. (1991), Wood (1991)
18	Lord Howe Rise	ODDP Site 207	Site 207	34°57.7' S	162°26.0' E	1369	1746-1902	altrhyolite (hyalite) lava flow and porphyritic (agile) tuffs (150m thick), overlain unconformably with Maastrichtian glauconitic sandstone including dental grains of quartz, K-feldspar, plagioclase, volcanic glass, volcanic rock fragments, microcline and microperthitic orthoclase	30.0 ± 0.8 Ma in Ar and 30.7 ± 1.1 Ma (zirconite phenocryst)	The Shipboard Scientific Party with additional contributions from Burns et al. (1997), van der Lingen (1997), McCougal and van der Lingen (1994)
19	Lord Howe Rise	NORFANZ voyage 2003 05	NORFANZ	34°13.8' S	162°40.5' E	300-515	300-515	remnants of hypabyssal dykes, gneissic sandstone (greywacke), schistose greywacke, included in porphyritic volcanic breccia		Clark and Fildes (2006), Mortimer et al. (2007)
20	Challenger Ridge	SONNE cruise SO 36 576D	SO 36	31°51'07.14" S 56.672	157°22'43.71" E 22.792	2530-2370	2530-2370	granite including perthite K-feldspar, biotite-bearing hornblende clinopyroxene-gabbro with granitic vein, biotite-gneiss	250 to 270 Ma U-Pb, K-Ar and Rb-Sr, and 1.2 and 3.0 Ga U-Pb (zircon xenocryst)	Rosier and Shipboard Party (1995), McCougal et al. (1994)
21	Lord Howe Rise	SONNE cruise SO 36 634D	SO 36	29°34'42.14" S 54.300	162°02'30.71" E 02.425	1740-1680	1740-1680	a boulder of stratified (sedimentary) rock consisting of sandstone, calcarenite and calcarenite containing pebbles of quartz, quartzite, schistose rocks, sandstone and crystalline limestone	276 ± 60 Ma U-Pb (zircon in granitic pebbles)	Rosier and Shipboard Party (1995), Exon et al. (2007)
22	Kerm Plateau	Southern Surveyor S25-0204	270DR2	34°48.8' S	162°18.0' E	2800	2800	breccia of fine-grained sandstone including grains of biotite and sedimentary rocks, probably weathered in the Mesozoic	Paleozoic?	Exon et al. (2005)
23	Kerm Plateau	Southern Surveyor S25-0204	274DR11	21°04.0' S	162°52.6' E	1600-1700	1600-1700	metachert, quartzite, volcanogenic gneiss, welded tuff	Paleozoic to Triassic?	Exon et al. (2005, 2006a)
24	Kerm Plateau	Southern Surveyor S25-0204	274DR05	20°36.7' S	162°43.0' E	2200-1950	2200-1950	hard quartzite sandstone	Paleozoic to Triassic?	Exon et al. (2005, 2006a)
25	Marion Plateau	hydrocarbon development	Avalon 1	32°37.3' S	152°39.2' E	75	2715	metachert and (slightly metamorphosed) shale, unconformably overlain with late Cretaceous redbeds	Paleozoic?	Chapman et al. (1994), Hill (1994)
26	Marion Plateau	hydrocarbon development	Capricorn SA	32°42.4' S	152°19.5' E	115	1600-1750	continental volcanics (immediate to acidic), unconformably overlain with late Cretaceous ophiolites	Cretaceous (probably Neocomian)	Chapman et al. (1994), Hill (1994)
27	Queensland Plateau	ODP Site 825	Site 825	14°30.96' S	149°3.65' E	3233	1380-1406	quartzite-feldspar metasediments and metabasites, unconformably overlain with latest Oligocene to early Miocene inner neritic carbonates	240 ± 4 Ma K-Ar [whole rock]	Shipboard Scientific Party (1991), Peary (1991), Mortimer et al. (2003)
28	Queensland Plateau	ODP Site 834	Site 834	14°26.758' S	147°47.753' E	3000.3	1420-1431	fine-grained quartzite-metachert schist, of which uppermost part (40-m thick) consists of deeply weathered, mottled orange to brown-red, unconformably overlain with latest Oligocene to early Miocene platform carbonates	240 ± 4 Ma K-Ar [whole rock]	Shipboard Scientific Party (1991), Peary (1991), Mortimer et al. (2003)
29	Gulf of Papua	hydrocarbon development	Geothermal	4°17'38.00" S	147°51'14.17" E	ca. 8 (depth of R. Tuna)	3190FD		Mesozoic	Southway (1980), Duffin et al. (2000), Tolmachev et al. (2006)
30	Gulf of Papua	hydrocarbon development	Magellan Island 1	09°01'47.4" S	149°53'1.2" E	ca. 8 (depth of R. P.)	204.7TD		crystalline basement	Southway (1980), Duffin et al. (2000), Tolmachev et al. (2006)
31	Melita, Solomon Islands	SABIT1 (abandoned site)		09°01'16.0" S	162°38'16.0" E		onshore	a xenolith of quartz-gneiss orthogneiss originated from granulite lower crust, brought up to the surface by a 34-Ma andite-magma (a silica undersaturated ultramafic magma with an affinity with kimberlite)	Neoproterozoic (0.5-1 Ga)	Stevens et al. (2007), Stevens et al. (2004)
32	Epitita Sarto, Vanuatu			15°15' S	168°50' E		onshore	zircon grains in Oligocene to mid-Miocene volcanic rocks from an intra-oceanic island arc	significant age populations at ca. 20-2.5 Ga, 2.0-1.8 Ga, 1.75-1.5 Ga, 850-700 Ma, 530-400 Ma, and 300-220 Ma U-Pb (zircon)	Duffy et al. (2014)
33	New Caledonia	COG 1	COG 1	20°54.6' S	164°48.4' E		onshore	zircon grains in Cambrian-Ordovician sandstone, which consists a part of Paleozoic to Mesozoic tectonic units (sedimentary complex)	older populations back to 650-1700 Ma	Brothers and Lile (1986)

ACM Code	Bathymetric Features	Program/Cluster	Site Name/Station No.	Latitude	Longitude	Water Depth (m)	Depth below seafloor (m)	Minerals	Age (m.y.	Reference(s)
34	New Caledonia		Kapiti Basin				granite	a decimetre-scale thickness of granite facies	1.7±0.1 Ga U-Pb (zircon) (upper Proterozoic age)	Paquette and Guise (2007)
35	Bates Plateau, Norfolk Basin	0201-0203	DF09					metamorphic rocks containing blue-green amphiboles, quartz-garnet muscovite schist and ancient detritic brown granite in conglomerate and sandstone	older populations back to 0.7-1.9 Ga U-Pb (zircon)	Mettre and Goffé (2008)
36	west of South Norfolk Trough, Norfolk Basin	0201-0203	DF02					hyaline quartz (Fyfe) garnet biotite, biotite, biotite-garnet, biotite-garnet schist of Ordovician age occurring in the Whiteaway Province		Marine National Facility (2004)
37	Frings Ridge	GO-3610		-31°52.3'	167°17.2'	2500-900	2500-900	biotite, muscovite, fine-grained biotite, pyrite, calc. shale (coal measures)	late Ordovician	Herzog et al. (1999)
38	West Norfolk Ridge	RE5		-33°54.43'	167°22.08'	735-700	735-700	zircon, muscovite, biotite, biotite-garnet and biotite-garnet	1480±20 Ma (Ar-Ar) (zircon)	Mortimer et al. (1998)
39	West Norfolk Ridge	RE3002-5		-35°01.5'	166°57.5'	2550-1270	2550-1270	carboniferous 'arkose sandstone' (including perthite grains), mudstone and coal (coal measures), of brachiopod facies	early Late Ordovician	394 and 394b (1994), Herzog et al. (1999)
40	West Norfolk Ridge	GO-3600		-34°22.05'	167°24.87'	1000-400	1000-400	zircon, biotite-hornblende granulite	2076±10 Ma (Ar-Ar) (zircon), 2015±5 and 2045±5 Ma (K-Ar) (biotite), 247±20 Ma (Ar-Ar) (zircon)	Mortimer et al. (1998)
41	Cavali Seamount	KAH0210	012	-34.2070°	173.9754°	1760-1330		banded biotite paragneiss, migmatitic gneiss, granitic orthogneiss, foliated, veined biotite-gneiss	two distinct ages: populations, 50-23 Ma and 96-59 Ma, with 200Pa/209Bi ages of 130-110 Ma for inherited zircon cores, U-Pb (zircon)	Mortimer et al. (2008)
42	Cavali Seamount	KAH0204	012	-34.1620°	173.9610°	670-700		catadacitic biotite paragneiss (dark-green hard nodules and sediment-covered catadacitic gneiss)		Mortimer et al. (2008)
43	Cavali Seamount	KAH0204	04	-34.1552°	174.1450°	640-610		catadacitic biotite schistogneiss (Catadacitic texture prominent. Biotite retrograded to chlorite. Faults grade into open cracks with calcareous filling.)		Mortimer et al. (2008)
44	Cavali Seamount	KAH0204	014	-34.0967°	174.1100°	520-507		biotite paragneiss and orthogneiss (fine-grained biotite gneiss in contact with coarser perthitic biotite gneiss), sillimanite biotite paragneiss (Quartz, oligoclase, biotite, garnet, sillimanite, FeTi oxide, titanite, muscovite.)		Mortimer et al. (2008)
45	Cavali Seamount	KAH0204	012	-34.078°	174.0767°	670-550		granulite orthogneiss (heavily foliated granulite composition from granulite) and granulite orthogneiss (heavily foliated. Fine-grained biotite gneiss in contact with coarser perthitic biotite gneiss)		Mortimer et al. (2008)
46	Cavali Seamount	KAH0204	018	-34.0962°	174.1148°	575-490		perthitic and amphibolitic (banded hornblende inclusion?) in contact with (larger mass of) granite (perthite, median grain size 6mm.)		Mortimer et al. (2008)
47	Cavali Seamount	DF961	01A	-34.1050°	174.1751°	1220-985	1220-985	chloritized schist		Mortimer et al. (2008)
48	Cavali Seamount	DF961	01B	-34.1005°	174.1688°	776-577	760-575	biotite schist, calc-silicate gneiss, calcareous biotite schist, sillimanite schist	Mid-Proterozoic core complex	Mortimer et al. (2008)
49	Cavali Seamount	X152		-34°09.74'	173°48.30'	940-600	940-600	metasedimentary greywacke (quartzolite) with silty sandstone with traces of biotite	pre-Cenozoic	Gardner et al. (1990)
50	Cavali Seamount	X150		-34°10.58'	173°48.09'	1320-1247	1320-1247	metasedimentary greywacke (quartzolite) with silty sandstone with traces of biotite	pre-Cenozoic	Gardner et al. (1990)
51	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Waikanae-1	-38.5124°	173.3762°	1465	5000-5173	grey to red siliceous sandstone, nodular to-gary mudstone, coal and turf, of mostly non-igneous facies, unconformably overlain with a Paleocene basal conglomerate	Pleistocene to Late Jurassic (Murchison Supergroup)	Mortimer et al. (2008)
52	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Ta Rangia-1	-38°12.15'	173°37.30'	42	3919-3395	calciferous micaceous and quartzose siltstone	Pleistocene to Late Jurassic (Murchison Supergroup)	Mortimer et al. (1997)
53	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Tangaroa-1	-38°10.79'	173°52.30'	138	4754	ophenitic rhyolite	235-241 Ma U-Pb (zircon) (Median Tectonic Zone igneous rocks)	Mortimer et al. (1997)
54	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Ara-1	-38°12.09'	173°41.85'	132	5367	basal andesite and volcanoclastic sandstone	Carboniferous and Early Triassic to Early Ordovician (Median Tectonic Zone igneous rocks)	Mortimer et al. (1997)
55	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Wairua-1	-38°27.67'	173°18.51'	134	4046-4048	quartzite-schist	Early Paleozoic (Takaka Terrane)	Mortimer et al. (1997)
56	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Moa-1B	-38°23.72'	173°21.18'	138	3051-3704	biotite, hornblende, pyroxene-bearing schist	Early Paleozoic (Takaka Terrane)	Woodcock (1994), Mortimer et al. (1997)
57	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Tara-1	-38°58.32'	173°38.30'	134	4925	medium-grained biotite granulite	Ordovician (Separation Point Suite)	Mortimer et al. (1997)
58	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Taranga-1	-38°58'	173°15'	135	4332	medium-grained biotite quartz metapelite	Ordovician (Separation Point Suite)	Mortimer et al. (1997)
59	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Wairoa-1	-39°04.80'	173°28.50'	135	4351-4056	medium-grained granite	Ordovician (Separation Point Suite)	Mortimer et al. (1997)
60	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Moa-2	-39°36.77'	173°25.32'	111	3500-3674	medium-grained hornblende diorite	Carboniferous and Early Triassic to Early Ordovician (Median Tectonic Zone igneous rocks)	Mortimer et al. (1997)
61	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Kiwi-1	-39°48.85'	173°41.89'	126	4024-4027	fine-grained (altered biotite?) granite	Ordovician (Separation Point Suite)	Mortimer et al. (1997)
62	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Moa-4	-40°02.40'	173°14.85'	138	3354-4009	soctic leucogranite	Ordovician (Separation Point Suite)	Woodcock (1994), Mortimer et al. (1997)
63	Taranaki Basin	hydrocarbon development	North Taranaki	-40°12.61'	173°14.30'	85	2600-2915	fine-grained chloritoid biotite granite including perthite diapir	mid Paleozoic (Karanika Suite: S-type granite)	Mortimer et al. (1997)
64	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Mohaka-1	-40°31.42'	173°23.02'	111	1105	fine- to medium-grained biotite granite	327-321 Ma U-Pb (zircon) (Fanning Suite: I-type granite)	Mortimer et al. (1997)
65	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Sureka-1	-40°43.32'	173°28.80'	111	2250	fine- to medium-grained biotite granite	129-138 Ma U-Pb (zircon) (Separation Point Suite)	Mortimer et al. (1997)
66	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Toropu-1	-40°51.25'	171°56.72'	119	2311	fine-grained biotite granite, including trace biotite	376-354 Ma U-Pb (zircon) (Karanika Suite: S-type granite)	Mortimer et al. (1997)
67	Taranaki Basin	hydrocarbon development	Kingatu-1	-41°14.65'	171°52.48'	94	2109-2110	coarse-grained muscovite biotite granite	376-354 Ma U-Pb (zircon) (Karanika Suite: S-type granite)	Mortimer et al. (1997)
68	southern off of South Island, New Zealand	hydrocarbon development	Paraka-1	-44.8470°	167.1719°	147.0	3351	granite	pre-Eocene	Hunt International (1970), Grant (1986)
69	southern off of South Island, New Zealand	hydrocarbon development	Tara-1	-47.3503°	169.1003°	122.6	4465-4465	two-mica granite, biotite-hornblende diorite, granulite, amphibole, schist	± 115 Ma	Hunt International (1970), Biggs et al. (1993)
70	Great South Basin, Campbell Plateau	hydrocarbon development	Palaha-1	-48.2817°	169.5434°	694.3	4009-4016	two-mica granite	90 Ma	Biggs et al. (1993)
71	Great South Basin, Campbell Plateau	hydrocarbon development	Palaha-1	-48.5568°	170.1519°	873.5	4594	altered two-mica granite	90 Ma (Ar-Ar)	Ridd et al. (1984), Biggs et al. (1993)
72	Great South Basin, Campbell Plateau	hydrocarbon development	Hohe-1C	-43.8514°	169.8289°	858.8	2091-3006	microquartzite, quartzite, pyrite	95-110 Ma (metamorphic age)	Hunt International (1970), Biggs et al. (1993)

ACM Code	Bathymetric Features	Program/Cruise	BBW Hole/Station No./Depth	Latitude	Longitude	Water Depth (m)	Depth below Seafloor (m)	Material	Age of material	References
73	Great South Basin, Campbell Plateau	Hydrocarbon development	Kawa-1A	-49.9299°	169.5151°	693.0	4043-4449	micro-quartz metasediments and metachert, including granite-derived grains (quartz, perthite, microcline and zircon)	ca. 270 Ma for metasediments, ca. 365 and ca. 170 Ma for (whole rock) for the late Archaean to Silurian igneous gabbroic sedimentary rocks unconformable on the metasediments	Hunt International (1977), Steggs et al. (1993), Adams and Goffe (2012)
74	Great South Basin, Campbell Plateau	Hydrocarbon development	Rakura-1	-49.9644°	169.1467°	554.0	2241	thrust gabbroic gabbro		Steggs et al. (1993)
75	Campbell Plateau	Western Chain of Islands		-49°05'	169°30'		onshore	weakly gabbroic microcline-granite including granite tourmaline, microschist	90-94 Ma Ar-Ar, 97-149 Ma Pb-U, (whole rock and muscovite)	Marshall and Brown (1976), Fooks (1983), Adams and Fleming (1995), Corrie and Coombs (1997)
76	Campbell Plateau	Auckland Island		50°49'52" S	169°01'16" E		onshore	biotite granite, biotite stannite, porphyritic granite	94-96 Ma K-Ar (biotite)	Spengler and Frickson (1976), Corrie and Coombs (1997), Adams (1999)
77	Southwestern end of Campbell Plateau		3100	-54°51.4'	169°13.5'	2070	2070	granodiorite including microcline-muscovite, biotite and hornblende, and bimodal augen-gneiss including biotite, hornblende and garnet	1167-1009 K-Ar (biotite, hornblende, whole rock) for granodiorite, 1067-942 K-Ar (hornblende, biotite, whole rock) for augen gneiss	Challis et al. (1992)
78	Campbell Plateau	Campbell Island		-52°32'04"	169°02'14"		onshore	quartzite metagreywacke and pelitic schist (quartz schist, mica schist, muscovite, quartz schist, etc.), unconformably overlain with quartzite granular sandstone (including shingle, tourmaline, etc.) of late Cretaceous in age	443 Ma K-Ar (whole rock), ca. 100 Ma U-Pb (zircon) for late Mesozoic tourmaline sandstone	Oliver (1950), Steggs (1976), Adams et al. (1978), Adams and Goffe (2012)
79	Southeast of Campbell Plateau	ODP Site 276		-50°48'11"	170°48'40"	4671	4671-4894	hard sediment consisting of predominantly angular and subangular fragments less than 45 mm across: lacustrine plutonic rocks, quartz schist, quartzite, biotite, trachytic porphyry, etc. [on-rifting supply lessively (but retained)]	Paleogene (possible Oligocene), affected by later reworking	The Rippled Scientists Party (1975)
80	Bounty Shelf, Campbell Plateau		4016	-47°42'	170°27'	ca. 150		argillite and greywacke	228 Ar-40, 227 Pb-206 Ma K-Ar (whole rock)	Adams and Goffe (1978)
81	Bounty Shelf, Campbell Plateau		4020	-47°43.3'	170°54'	ca. 150		porphyritic granodiorite	180-207 Ma K-Ar (biotite)	Adams and Goffe (1978)
82	Northwest Group of Bounty Islands		4021, 4190, 4192	-47°45'	170°50'		onshore	granite, granodiorite, porphyritic granodiorite	175-199 Ma K-Ar, 199-65 Ma Pb-U, (biotite)	Wassenaar et al. (1993), Adams and Goffe (1978)
83	Bounty Shelf, Campbell Plateau		4019	-47°45'	170°52.9'	ca. 200		pelitic biotite-hornblende	177-201 Ma, 177 Pb-206 Ma K-Ar (whole rock)	Adams and Goffe (1978)
84	Mahoeon Bank, Chatham Rise		4187	-43°58'	-179°17'	137	137	quartz-biotite-dioctahedral-chlorite schist		Goffe (1965)
85	Mahoeon Bank, Chatham Rise		4186	-43°58.5'	-179°17'	275	275	quartz-biotite-dioctahedral-chlorite schist		Goffe (1965)
86	Mahoeon Bank, Chatham Rise	Discovery II	Sudley 233	-43°48'	-178°58'	311-287	311-287	schist		Goffe (1965)
87	Chatham Rise	Chatham Island		-43°42' to -43°57'	-178°54' to -179°11'		onshore	[meta] greywacke [quartzite] pelitic schist, greywacke, siltstone and mudstone unconformably overlain by an Upper Cretaceous to Paleogene [regressive sequence including latest Cretaceous terrestrial (non-avian) dinosaur fossils	240-240 Ma (Late Permian to middle Middle Triassic) (very dominant, youngest U-Pb ages of detrital zircon), and 190-180 Ma (Early Jurassic) (Pb-U metamorphic ages)	von Hasek (1898), Adams et al. (2005), Steeghs et al. (2006)
88	Chatham Rise	Polly Fours Gabb		-43°58'	-179°42'		onshore	quartzite pelitic sandstone and biotite-garnet, including detrital grains of chert, fine-grained granitic rock (microgranite)	201-204 Ma (Permian) (prominent youngest U-Pb ages of detrital zircon)	Andrews et al. (1978), Adams et al. (2005)
89	Bullair Seamount (located from Chatham Rise, surrounded with abyssal plain)	DR11		-45°29'32"	172°15.6"	3550	3550	basaltic schist (gabbroite + biotite + quartz + biotite + muscovite + hornblende + garnet + hornblende + epidote + titanite)	140-150 Ma Ar-Ar (whole rock, hornblende)	Mortimer et al. (2008)
90	Takara Seamount	DR92		-45°03.71"	169°45.23"	2770	2770	porphyritic biotite microgranite	87 Ma U-Pb (zircon)	Mortimer et al. (2008)
91	off Savaii, Samoa	Ala-D119		-13.205°	-173.430°	2680	2680	basalt and gabbro basalt, containing upper continental crust	5 Ma	Jackson et al. (2007)
92	off Savaii, Samoa	Ala-D115		-14.090°	-172.990°	3200	3200	basalt, hornblende, trachytic and trachyte andesite, containing upper continental crust	5 Ma	Jackson et al. (2007)
93	off Savaii, Samoa	Ala-D114		-13.975°	-172.750°	2680	2680	basalt and gabbro, containing continental upper crust	5 Ma	Jackson et al. (2007)
94	Samoa	Savaii		-13°55'	-172°25'		onshore	volcanic rocks containing contamination of oceanic lithosphere metamorphosed at 2.5 Ga	(1.24-2.06 Ma, available ages for the volcanic rocks in the island)	Workman et al. (2004)
95	Samoa	Upou		-13°55'	-171°45'		onshore	volcanic rocks containing subcontinental lithosphere or oceanic lithosphere metamorphosed at 2.5 Ga	(1.99-2.74 Ma, available ages for the volcanic rocks in the island)	Peláez and Saunders (1994), Workman et al. (2004)
96	Samoa	Tufala		-14°18'	-171°42'		onshore	volcanic rocks containing subcontinental lithosphere or oceanic lithosphere metamorphosed at 2.5 Ga	(1.0-1.3 Ma, available ages for the volcanic rocks in the island)	Workman et al. (2004)
97	Samoa	Malu-60		-13°58'	167°43'		onshore	volcanic rocks containing contamination of oceanic lithosphere metamorphosed at 2.5 Ga		Workman et al. (2004)
98	Rapuhia Seep at the northern margin of the Manua Plateau	SOI 900R4-6		-05.011° S	-154.721° W	2640-2649	2640-2649	diabase basalt, containing EM1-type subcontinental lithospheric mantle	125-120.1 Ma Ar-Ar (gabbroite)	Hornes et al. (2007), Finn et al. (2011)
99	Manua Plateau	SOI 900R5-2		-06.777° S	-152.389° W	5366-4924	5366-4924	basalt, containing EM1-type subcontinental lithospheric mantle	120-115, 120-60.6 Ma Ar-Ar (gabb)	Hornes et al. (2007), Finn et al. (2011)
100	Cook Islands	Mangia		-21°58'	-167°57'		onshore	basalt, containing subcontinental lithosphere mantle	6800-2.45 Ga, and 35 to <2 Ga	Goffe et al. (2013), New et al. (2013)
101	Society Islands	Tahiti		-17°30'	-149°27'		onshore	several of the "Secondary Central Lavae" with Pb/Ce ratios up to 500%, containing continental mantle		Dunlop et al. (1994)
102	Heohoi Fracture, Ellice Fracture Zone	BBW 2173		-55°15.8'	-152°17.1'	5400-5200	5400-5200	synorogenic metamorphosed amphibolite and leucocratic schists of epidote-amphibole facies (2.1 bar, 500-500°C)	Cretaceous or earlier	Kashimirov and Fakhkhar (1971), Skarzhyn and Puzmina (1982)

深部過程に関わる金含有硫化物鉱床 Gold-bearing sulphide deposits associated with deep-seated processes

Vadim Gordienko

Institute of Geophysics, National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine tectonos@igph.Kiev.ua or gordienkovadim39@gmail.com

(矢野 孝雄 [訳])

要旨：この論文は、含金硫化鉱床の形成プロセスを解析したものである。研究・解析は、ウクライナおよび他の地域の利用可能なデータにもとづいている。とりあげた鉱床は、移流多型仮説（APH：the advection-polymorphism hypothesis）で想定されるように、後地向斜ステージにおける造構－火成活動の活性化に関連したものである。鉱石成分を含む流体特性が分析される。活性化期間に断層帯浸透率が異常なほど急速に増加したことが、鉱床の形成に寄与した。そして、熱水活動の富鉱相および無鉱相の存在が説明される。最終的には鉱床の熱学モデルが構築され、それらの同定のための診断基準が決定される。

キーワード：含金硫化物鉱床、活性化、熱および物質の移動、断層帯、熱流量、重力、および地電流異常

(2018年6月8日受付, 2018年6月12日受理)

短報

SHORT COMMUNICATIONS

2018 年前半にアメリカ合衆国で発生した、M7.9 アラスカ地震, M5.8 サンタクルーズ島地震, M6.9 ハワイ地震に先立って起こったジェット気流異常
Anomalies in jet-streams prior to the M7.9 Alaska, the M5.3 Santa Cruz Island, and the M6.9 Hawaii Earthquakes in the United States during the early half of 2018

Hong-Chun Wu

International earthquake and volcano prediction center wuhongchun094@gmail.com

(赤松 陽 [訳])

要旨：ジェット気流の風速等値線が交差すると、そこには異常な前兆が見られるかもしれない。巨大な M7.9 アラスカ地震の 18 日前、2018 年 1 月 5 日国際標準時 0 時 0 分に、震央で風速等値線が途切れた。巨大な M5.3 サンタクルーズ島地震の 29 日前の 2018 年 5 月 7 日国際標準時 6 時 0 分にも、震央で風速等値線が中断した。また、巨大な M6.9 ハワイ地震の 4 日前には、2018 年 4 月 29 日国際標準時 18 時 0 分に、震央で風速等値線が中断した。いっそう正確な予知を行うためには、ジェット気流のデータバンクを構築し、他の前兆と結合させることが必要だろう。

キーワード：ジェット気流、地震、前兆

(受付 2018 年 6 月 11 日 . 受理 2018 年 6 月 16 日)

地球気候コーナー

GLOBAL CLIMATE CORNER

適応時代：海水準は決して加速的に上昇しない。適応しているにすぎない
Adjustocene: sea levels are not accelerating, only the adjustments

Albert Parker¹, Nils-Axel Mörner² and Pamela Matlack-Klein³

¹ Independent Scientist, Bundoora, Australia Email albert.parker@jcu.edu.au

² Paleogeophysics & Geodynamics, Stockholm, Sweden, Email morner@pog.nu

³ Portuguese Sea Level Project, Appomattox, Virginia, USA, Email pmkdragon@gmail.com

(岩本 広志 [訳])

要旨：ここでは, Nerem et al. (2018) によって最近提案された世界的平均海面水面 (GMSL) の加速的上昇について考察する。この論文は国立科学アカデミー会議録 (the Proceedings of the National Academy of Sciences : PNAS) に掲載された。将来のモデルが正しいことを証明するために継続的に過去の結果を変更することはできないので、上記 GMSL は真の測定ではなく数値計算を挿したものに近い。したがって、彼らの主張には欠陥があり、すぐにも却下される。公表結果が矛盾しているにもかかわらず、National Academy of Sciences のメンバーが直接寄稿した PNAS 論文についての公開討論は不可能である。

キーワード：海水準計測、海水準の上昇速度、海水準の加速度的上昇

(受付 2018 年 3 月 23 日 . 受理 2018 年 4 月 25 日)

グアムにおける海水準上昇の解析 Analysis of the sea level rise of Guam

Albert Parker¹ and Cliff Ollier²

¹ Independent Scientist, Bundoora, Australia Email albert.parker@jcu.edu.au

² The University of Western Australia, Crawley, Australia. cliff.ollier@uwa.edu.au

(岩本 広志 [訳])

要旨：既報の多数の海水準記録は、多くの場合、一手法だけの測定値ではない。したがって、それらはいくつかの潮位計からのさまざまな記録の組み合わせである。まれに同一潮位計の記録も知られているが、潮位計の安定性は地震の影響を受けている。これは、本稿で議論されたグアムの場合にもあてはまる。グアムで海水準が加速度的に上昇しているとの主張は、潮位計の安定性を損なった2つの地震の結果にすぎない。

キーワード：海水準測定、海水準の上昇速度、海水準の加速度的上昇

(受付 2018年3月20日、受理 2018年5月5日)

随 筆 ESSAY

モービリズム (mobilism) の不確実な論点—何が可能で何が不可能か？ On global tectonics Essay # 1 The alleged forces of mobilism - what they can and cannot do

Peter M. James

BSc, MSc(Eng), PhD, DIC petermjames35@gmail.com

(小坂 共栄 [訳])

(受付 2018年4月25日 受理 2018年5月9日)

編集者注：これは全5章からなる随筆の第1章である。

40～50年以上にわたり、さまざまに変化しているプレートテクトニクスモデルであるが、それに対する評価は地球科学の世界でのこのモデルの隆盛に比べるとそれほど大きなものではなかった。その理由の一つは、彼らが扱うプレートの大きさや深さについてのデータの不確かさによると思われる。1988年にLambeth教授はいみじくもこう述べている。「プレートに作用するすべての力は、よくわかっていない相対するすべての力の微妙なバランスの上に成り立っているため、それが確かなものかどうかは言えない」。

事実、多くの mobilist 達の主張はこのことを裏付けており、次のような表現が用意されている。「この考えによる基本的なプレート運動のメカニズムや仮説そのものは、まだ変化の途上にある。Tarlingらの著作 Continental Drift (Penguin, 1977) では、「一見して根拠薄弱な仮定(想定)などは、将来の研究によって確かなものになるだろう。科学的というより、誤りを厭わない勇氣ある主張が地質学的プロセスの解明の進展に有効なのだ」と。

プレートテクトニクスは、60数年前「Continental Drift」と題した S.K. Luncorn によって London で開催された国

際シンポジウムから始まったと言える。この国際会議は、1930年以降ではこの類の会議としては最初のもので、タスマニアの Warren Carey 教授が特別に招かれて出席していた。私は、彼が所属していた Queensland 大学の地質学教室の学者たちの当時の一般的な受け止め方、すなわち大陸が漂移するなどという時代遅れの彼の仮説を、なんとも救いようがないと受け止めていたことを思い出す。しかし、彼のこの仮説は Runcorn が1970年に著した「Paleogeophysics (Academic Press, London) の出版によって最新の仮説として陽の目を見ることになったのである。Runcorn は最初、大西洋の海底表層部が浸食をうけているなどという震探結果はばかげていると主張していたのである。彼の主張ではないが、その後の小論ではそれと逆の震探データが次々と報告されることになるのである。1970年代中には、mobilist のモデルは地球科学者達の中で支持され主流となっていく。しかしその過程で、その支持者は時に他の仮説支持者と議論することを避けてきた。たとえそれが彼らの仮説がヘゲモニーを得るうえで多少の効果があるものであってもである。このような閉鎖的なふるまいは、科学的には実に不健全であるというべきである。このような見方に立てば、mobilist 達のモデルと同レ

ベルにある重要な考えや批判に光を当てることには重要な意味がある。

沈み込み Subduction

Mobilist 達の仮説における subduction process の幾何学的な図は、説明の必要もないほどよく知られている。このプロセスで考えられている力は、

- Ridge Push : 熱の上昇による中央海嶺での押し上げの力
- Trench Pull : 海溝部での、ある深さでプレートが沈み込むことで生ずる引っ張りの力
- 上記二つの力の下で、水平方向に働く引きずりの力

これらのことについて、順に取り上げてみよう：
中央海嶺は、海洋底から 1.5 ~ 2km ほど盛り上がっている。その押し上げの力は 1×10^4 kPa だとされている。その力はそのまま直ちに表層部で海洋地殻へと変化するものに作用しているとされる。ところが海嶺での押し上げの力はその基底部に作用する必要な摩擦力の 10% にも満たないのである。したがって、海嶺での押し上げの力は海嶺地殻を水平に動かす力とはなりえないのである。さらに言えば、そのような小さな力が深さ不明のリソスフェアプレートを押し動かす可能性などまずありえないのである。

多くの subduction モデル図では、サブダクションに抵抗するものとしてその端部に大陸地殻を描いている。ここへ到着した海洋地殻は、そこでその下のリソスフェアとともに大陸地殻の下に沈み込んで行くのである。とても都合よく、大陸地殻は大きな口を開けて大量の海洋地殻を飲み込んでくれるのである。沈み込む海洋地殻表層部が大陸地殻との境界部で大きな摩擦抵抗力を受けることなどは無視してである。実際上、対流の力がある深さで十分にあれば、その力は地殻基底部のせん断応力にまで達するであろう。しかし正確に指摘するなら、ここで大陸地殻の基底部に作用するせん断応力の大きさは海洋地殻の表層部に働く力に近く、小さなものである (図1)。

しかし、彼らの主張によればそのことに対する助け船は

ある。「trench pull」での運動様式は、リフト帯での主要な断層や節理運動の様式とは似ても似つかない。それにもかかわらず「trench pull」は、前述した「ridge push」と同義で用いられているのである。「trench pull」の場での地殻どうしの相互関係として、もっとも単純で明らかなことは地殻の不連続とそこでの引張力の不足であろう。その結果として考えることはサブダクションが起きていないということである。

この節で最も重要なことは、沈み込む地殻が潜り込まれる側のリソスフェアより密度が小さいということである。したがってリソスフェアへの地殻の沈み込みには必然的に uplift が伴わなければならない。計算によれば、海洋地殻部分での隆起は「trench pull」での値に近いものになる。まさに流動的なプレートテクトニクス論によれば、沈み込む地殻はある深さに達するとその先端部分が熔融し再結晶作用を起こすとされる。岩石の再結晶作用は、一般に大きな応力あるいは押し込みの力が必要とされるからである。

沈み込むプレートの海嶺側と大陸側の両端における力というのは、沈み込みに要する力から見て全く不十分だということがわかる。では、何が残るか？ 中央海嶺と沈み込む部分との間で起こる水平方向の流動であろうか？ 付け加えて言えば、この水平方向の力は、仮にそれが海洋地殻を動かすものともみなしても、小さすぎるといわれている。それでは海洋地殻と大陸地殻が互いに出会うとそこで何が起こるのだろうか？ 流動的な海洋地殻がなぜ大陸地殻の下にある重いリソスフェアの中に落ち込むのだろうか？ 水平的な力の下では衝上運動が卓越するものだが、そのような現象は観察されない。百歩譲ったとしても、深海底の扇状地堆積物は削り取られて消失しているとか、褶曲構造を作っているとかの希望的な考え方から、事実はずいぶん離れてしまっている。深海扇状地でそのような衝突を示唆するようなものは何もないことが後々明らかにされていくのである。深海の海底扇状地の大部分は、陸地から数百キロも離れた場所で、白亜紀以降何事もなかったかのように静かにそこに存在しているのである。そこでの堆積物は水平で、かつ陸域起源の物質か石膏堆

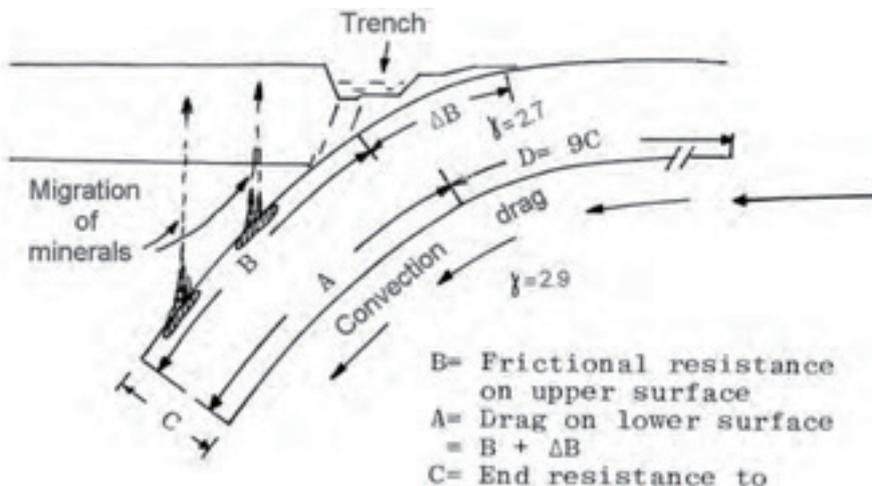


図1 サブダクションのモデル図。プレートの上面や下面に作用する摩擦による抵抗力を示してある。

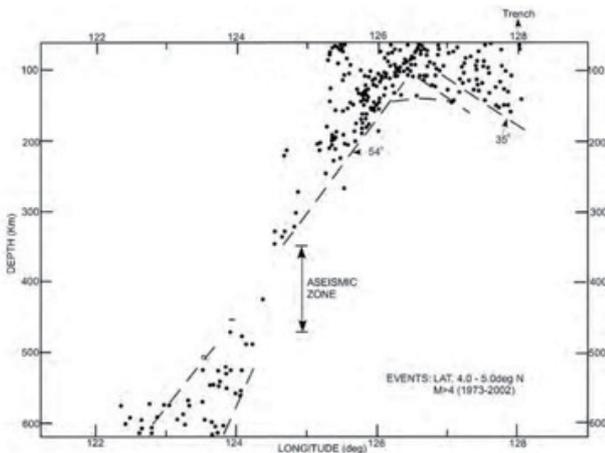


図2 フィリピンと北東 Sulawesi の間の Molucca 海での震源分布。プレートテクトニクスの考えからすると、ある点を中心に2方向にサブダクションが起きていることになる。

積物ないしその両方を含んだりしているのである。これらすべては、陸棚斜面の海底谷、陸域の谷地形の残存物と関係していることを示しており、タービダイト流の活動の証拠も見つかっていない。この記述は推測でもなんでもなく、DSDP による発見である。このことは、大規模な海水準変動が過去に起きたことを示唆しており、そのことは次のエッセイで取り上げられるであろう。

最後にサブダクションに関する謎について取り上げてみよう。

図2は、フィリピンと east Sulawesi の間で起きた地震のパターンを示している。東西方向の断面の西側はプレートテクトニクスのサブダクションモデル図によく似ている。ところが東側でも西側と同様にサブダクションを示唆するような断面になっている。ここでは、サブダクションがあるポイントを中心にして二つの方向に生じていることになる。これはプレートテクトニクスモデルにとってはお手上げのことで、説明がつかないのである。

個人的な見方かもしれないが、サブダクションモデルにとっては常識的でないシステムをなぜここで取り上げたのか？ それ自体が驚きであるが、それ以上にこのような事実が何の批判も受けずに受け入れられてきたことが何より大きな驚きである。その答えは太平洋地域における地震のパターン (図3) に示されている。

この図は、太平洋地域での地震の起こり方 (震源分布) は地殻深部へプレートが沈み込んでいる、すなわちサブダクションしていることを示すものとして取り上げられるのである。下部マントルと上部マントルとの境界付近まで沈み込みが続いているとの見方を脇に置いて言うと、サブダクションの考えでは Benioff-Wadachi zone の傾きの違いがその内部での岩石の破壊の仕方の違いを示しているということを見過している。例えば、Benioff-Wadachi zone の上部は 27 ~ 30° の傾きを示すが、この傾きは地表面部の圧縮応力場での衝上断層によくみられる。また Benioff-Wadachi zone 下部の傾きは 60° 程

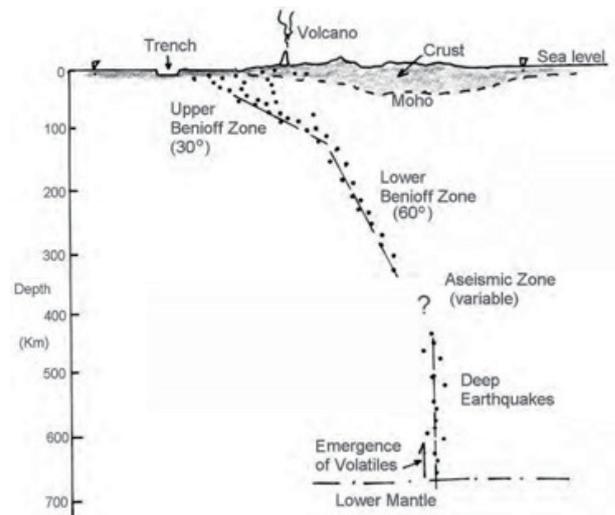


図3 太平洋地域でみられる一般的な震源分布。

度だが、この傾きは引張場での破断の際に割れ目の傾きとして普通に認められる。実際、この二つの傾きを持った Benioff-Wadachi zone の存在は、このゾーン内部では上部と下部とでは岩石が傾斜の異なる割れ方をしていることを示している。Benioff-Wadachi zone より下の深いレベルでの地震は別のメカニズム、すなわち鉋床の世界で言う fracking と呼ばれるような hydraulic な破断によって起きると考えられる。地殻浅部の地震では、normal なせん断によるものであることから、いわゆるサブダクションゾーン全体を通して4種の破断モードがあることになる。

ここで私は、フランスの地震学者 Claude Blot が発見したことに少し話をそらしたい。

1960年代の太平洋南西部での調査中、彼は地震のエネルギーが上部マントルから上へ向かって伝播し、表層部から深部へは伝わらないことを見出した。さらに地震エネルギーの上方への伝播にはそれに特有のパターンがあることを発見した。そのことについては次のエッセイで触れることにしたい。

極の移動 Polar Wander

Mobilist のモデルの中にある第2の矛盾とは、磁極の移動問題である。それが簡単なものではないにも拘わらず、彼らのモデルではその議論がまるで多くの科学雑誌のデスクわきの屑籠に捨てられるかのように扱われている。Tarling の著作 Continental Drift の中でも、彼は同じような立場に立って地球の回転や極の移動に必要な力は 1×10^{14} ワットだと述べている。ちなみにこの力は、わかりやすく言えばジャンボジェット機 100 万機が離陸する際の力に相当する。Tarling のこの示唆的主張は、多くの若手研究者が極の漂移説に傾倒するうえでは十分なものであった。もちろんそれは推論以上のものではなかったのだが、紀元2世紀ごろ、ギリシャのアレキサンドリアにいた天文学者 Protemy (プト

レマイオス) によってそのことはすでに示唆されていたことでもある。Protemy は、地球が太陽の周りを 1 日に 360° 回転しながら動いていることを幾何学的に結論付け、それによって地球がいくつかのピースに分かれていると考えた。彼は彼に先立つ数世紀も前のアレキサンドリアの Aristarchus (アリストアルコス) が唱えた「天体の中心は地球ではなく太陽である」という主張に異論を唱えようと試みた。Aristarchus の説への同調者は、当時の天文学者 Aristotle (アリストテレス) のようにその主張への同調者がいなかった。Aristotle は、太陽や月などの天体はすべて神によって与えられてその周りをまわっているものと考えた。しかし、この考えは太陽や月に関する観測の事実と合わなかったため、彼は epicycle という考えを打ち出した。彼の考えでは天体はまるでコルクの栓抜きのように 360° 回転しているというものであった。しかしそれでもうまく説明できないため、彼は当時すでに明らかにされていた月と太陽の間の距離をごまかし、それを強引に用いて回転を説明しようとさえしたのである。彼のゆがんだ考えは、その後 Copernicus が現れるまで 1,000 年以上にわたって続いたのである。

少し余談になるが、Aristotle はほかにもいくつかの貴重な言葉を残しているので紹介しておく。

彼は、古代ギリシャの自然科学はほぼ完全な域に達していると信じていた (現代の科学者の中にも同じように考える者がいるのだが)。そのことから、彼はその主張に厳かな権威を持たせる傾向があった。彼はごく普通に明らかな誤りを犯していたが、2,000 年近くもそのことが分からなかったのは普通とは言えない。例えば、紀元前 6 世紀にはすでに化石の起源についてはギリシャの Aristophanes によって述べられていたにもかかわらず、Aristotle は、それが神がヘドロから造りそこねた動物だと考えた。その考えには Leonardo da Vinci の時代まで異議を唱える者がいなかった。それと同様のことは、現代の創造論者たちが化石の起源を聖書にあるノアの洪水伝説を引き合いに出して説明するという形で残されている。他の Aristotle の言葉に、「川の水は雨水だけでは不十分で、地下水がその起源だ」ということがある。これもまた、フランスの水理学者によって誤りが立証されるまで 2,000 年の歳月を要した。宇宙から飛来した固い岩が地球に衝突したときに地震が起こると主張したのも Aristotle であった。South Australian Mine Department にもこう考える地球物理学者がいて、飛行機が墜落した時に地震が起こると考えている。

極の漂移に異議を唱えている mobilist に話を戻そう。

グリーンランドの氷床の過去の融解が何かしら極の漂移に関係したのだが、現在のそれは漂移を起こすのに十分ではない (Nakiboglu & Lambeck, 1980)。彼らのこの主張は、mobilist の中では完全に無視されている。Cambridge の著名な天文学者である Tom Gold は、南アメリカ程度の大きさの大陸が中緯度から赤道域へと

移動すると考えると、大陸は 3m の隆起とそれに伴って地理的な極の移動が起こるだろうと計算した。Gold は、その極の移動が 1,000 年につき 1° の割合で進み、その値そのものは地質学的に見ればとても速いスピードだと述べた。

もし、Gold のこの仮説が価値あるものとして受け入れられていれば、それはテチス海のような深海が衝上してヒマラヤ山脈にまで隆起したことに匹敵するほどの驚きであっただろう。また、南米の隆起も 3m どころではなく、海の要素を示す標高 3,800m の Titicaca 湖の高さまでの隆起も考えられるほどの驚きであろう。さらに関連の深い事象は、 Gondwana 大陸の分散である。

Gondwana に関しては、大きな大陸が隣り合ったいくつかの大陸に突然分離し始めるのである。プレートテクトニクスでは、地球上のある部分に集中していた大陸が、そのメカニズムの崩壊もなしに分離するメカニズムについて考えられているようには見えない。

このようなことに基づけば、人は mobilist 達がなぜ極の移動問題を、彼らのモデルからことさら避けようとしたり激しく嫌ったりするのか疑問に思うに違いない。(私のもう一つの私見だが) グローバルな古地磁気パターンの統計学的な認識の上に成り立っている彼らの isomorphism (単一主義?) の中に極の移動という事実が持ち込まれると、彼らの中で受け入れられている見かけ上の極移動の独自性が外へ追いやられてしまうと思われる。そうすると、mobilist 達の土台が使い物にならなくなってしまうのである。老練な mobilist なら、このような極の移動事実を記録から削除して、「それは削除してしまったので存在しないのだ」と思い込んでしまうのである。

次の問題、すなわち造山作用 Orogeny についてみてみよう。

造山作用 Orogeny

根拠なしに主張された Gondwana 大陸の分裂という話の後、古生物学的・古地磁気学的な情報がインド大陸に関してもたらされ、しかも、それはインドにだけであった。すなわち、インド大陸が極地域から白亜紀の期間を通して連続的に北へ移動し、大陸北部が赤道付近まで到達したというのである。北部インドはさらにそれが高山になるまで北上した。この移動過程は、大陸移動や極の移動の根拠として取り上げられるが、主たる大事な結論はインド大陸の北端が極付近から赤道域まで移動し、そこで高標高域へ変化したということである。すなわちそのことは、地球のジオイドの変化とクロスすることを意味している。Brittle (脆弱) な地殻が indestructible な (破断しない) リソスフェアプレートの一部なのかどうかは、地殻が明確なジオイドの変化を起こすかどうかに関係する (実際に brittle な地

殻が、モホ面付近で plastic にふるまうのかどうかである)。90°もの緯度変化を受けたインド大陸が受けたストレスの値は、 1.5×10^5 kPa だとされている (Heiskanen and Meinesz, 1958)。また、それは1平方フィートあたり1500トンの重さに匹敵するとしている(付言すると、フックの法則からも同様の値が得られているという)。極から赤道への移動は引張応力か、その逆の圧縮応力のどちらかの状態であろう。brittle な地殻はそのような応力には無関係なのであるだろうか？ 信頼できる地殻のせん断応力値を使いモール円解析を行うと、地殻におけるジオイドの変化は次の3つの状態下で起こりうるようになる。

- 厚い地殻はジオイドの最大圧縮応力、最小引張応力の下でも破壊を免れる。
- 薄い海洋地殻では、圧縮応力には耐えられるが引張応力下では破壊する。したがって赤道域でバルジがあるようなところでは最大引張応力場でも破壊が起こってしまう。海洋底でリフト現象が集中的に認められているのはそのことを示している。
- 次のことは興味深いことである。有限要素法による解析によれば、上記のようにジオイドの応力は海洋地殻と大陸地殻との境界付近で二面性を持っている。すなわち海洋地殻の変形は、赤道直下で大陸地殻と接するところでは一層進行するのである。このような変形の中にはリフティング作用、ストライクスリップによるせん断作用、バルジ効果による引き伸ばしから生まれる沈降現象などさまざまなことが包含されている。またこのようなエリアではその周辺の大陸地域からの物質供給を受ける場所となる。他の言葉で言えば、赤道付近でのこのような引張応力場は、地向斜だと言える。

地向斜に堆積した泥質岩は、地下 10 km の深さまで押し込められるためにそこでのせん断応力の値はおそらく 1×10^3 kPa に匹敵する。このことは、Indo 大陸で進行したように前から存在していた地向斜域での圧縮状態が沈降とともに進行するので、ジオイドストレスが破壊をもたらすほどに強くなるために大陸自体が大きく移動する必要はないのである。

このようなコンディションの下での岩石の破壊は、押しつぶしや褶曲などの現象をもたらす。後者(褶曲)は、ユニット内の flexure (たわみ) をもたらす。岩石ユニットの境界での歪強度は $\phi 30^\circ$ から、褶曲後ではその値が半分にまで低下する。かくして岩石ユニット境界は衝上断層のターゲットとなり、褶曲山脈の成長へとつながっていくのである。そのような衝上断層作用による山脈の上昇は、ジオイドストレスの下でこそ可能なのである。かくして我々は、褶曲山脈の形成を単純な引張と圧縮というシステムの中ではなく、極が新しい安定した位置へと移動する過程で形成されるという成果を得たことになる。

1982年、私は Carey 教授に「褶曲山脈はどれも赤道地域にその起源をもっているように見える」との考えを伝えたのだが、彼からはすでにオーストラリア地質学会の会長としての講演の中で「Equatorial origin of fold mountains」と題して同じことを指摘したという返事もらった。私は、「我々は奇しくも別々のやり方で同じ結論を得たのだ」という返事を返した。

北米や中米のロッキー山脈、それより後の形成のアパラチア山脈は、ともに地形・地質学的にみると同じ形成機序を有している。Andes 山脈はやや複雑であるが、その違いはさほど大きくはない。これら山脈の形成機序の典型的な模式図は PNG (パプアニューギニア) の図4に示されている。

PNG の東半部の構造：それは中生代の浅海成～淡水成堆積物に覆われた結晶質岩からなり、それは Australian platform 北端南半部の続きである。PNG の北半部は基本的には海洋地殻からなっており、現在は南北二つの地区を分ける PNG 高地の背骨として存在していて「mobile belt」とみなされている。この mobile belt は、ジュラ紀後期ないし白亜紀の赤道域で形成された地向斜堆積物からなっており、赤道域と地向斜の関連性を見ることが出来る。この地向斜堆積物は Oligocene になると圧縮場で隆起した。

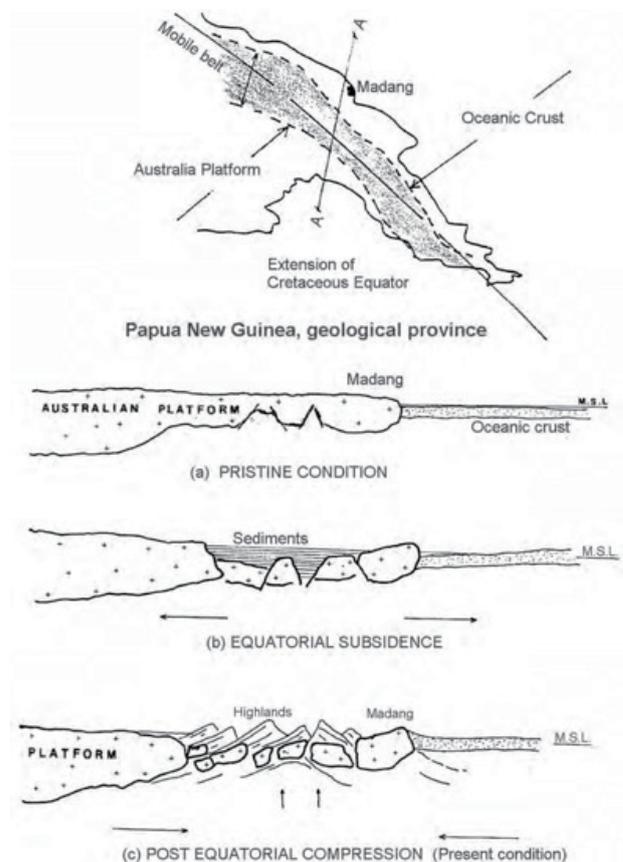


図 4 PNG を横断する断面図とその構造の形成過程。Madang になぜ Australian platform の一部が孤立して存在しているかが示されている。

この図は、「Madang の謎」とされたことへの答えも明らかにしている。Mobile belt の北側に位置する Madang には、Australian platform の岩石が顔を出している。ここでは中生代の浅海域の堆積物がほぼ水平の状態に広がっている。また同様の堆積物が mobile belt 南側の Australian platform 地域にも認められる。Mobilist の考えによれば、Madang に孤立して存在する Australian platform 側の岩石は、Australia が PNG の南方 1000 km かそれ以上も南方に離れていた時に堆積したものと主張する。Australia が北へ移動し PNG へ衝突したと考える場合、なぜ Australian platform の一部が孤立して存在するようになったのかとという疑問が当然生ずる。圧縮応力場の下で Australian platform が分離したのはなぜか？ かつその応力場のもとで隆起して mobile belt となった地域を横切って platform の一部が北側に移動したのはなぜか？。

このような大きな問題は、大陸移動という考えを捨て去って考えれば解決するのである。図4は、赤道域に沿って海洋地殻と Australia 大陸地殻とが相対していたことを示している。すなわちそこでは赤道域の北側のエリアに沿う Australian platform 地殻に引張応力が作用し、そこに地向斜的な沈降が生じたことを示している。この引張による引き伸ばしによって Australian platform の分離が生じた。分離した platform は、地向斜北部のさらに北側にあるため、圧縮応力やそれによる隆起を免れたのである。

Mobilist のモデルについての検証で残されていることとしては「海洋の起源」があるが、それは Essay#2 で述べることにする。

文 献

- Choi, D.R., 2005. Plate subduction is not the cause of the great Indonesian earthquake. NCGT Newsletter, #34:21-26
- Embleton, B.J. and Schmidt, P.W., 1979. Recognition of common Pre-Cambrian polar wander reveals a conflict with plate tectonics. Nature 282:705-708
- Gold, T., 1955. Instability in the Earth's axis of spin. Nature 175: 526ff
- Heiskanen, W.A. and Meinesz, V., 1958. The Earth and its Gravity Field. McGraw-Hill
- Martin, B.D., 1992. Constraints of right-lateral movements, San Andreas fault system. Texas Tech. Univ. Press, p. 151-178.
- Meyerhoff, A.A. and H.A., 1972. The new global tectonics: major inconsistencies. Bull. AAPG, 50:2: 269-336
- Nakiboglu, S.M. and Lambeck, K., 1980. Deglaciation effects on the rotation of the Earth. Geophysical Jnl 62:49-58
- Runcorn, S.K., 1956. Continental drift symposium, Lond.
- Tarling, D.H. and M.P., 1977. Continentall Drift, (Penguin) .

ニュース NEWS

メキシコ湾における熱活動の増加 Increased thermal activity in the Gulf of Mexico

Dong Choi dchoi@ievpc.org

(村山 敬真 [訳])

2018年3月上旬にメキシコ湾で発生した強い熱活動を YouTube (<https://yournewswire.com/gulf-mexico-supervolcano-uerpt/>) に報告した最新のニュースを紹介したい。これは非常に重要で、また太陽サイクルや、マントルで起こっている造構過程、カリブ海とメキシコ湾の起源、および自然災害に関連した地球の地質活動を考慮すると、大きな波及効果をもつ。

特に興味深いのは、2018年3月5日に現れた極めて高い水温である。それは、おおよそ、南北アメリカの超背斜(図1)に位置する。超背斜の軸上に現れた2018年1月10日のM7.5地震の震央ととも

に、低速度マントルまたはサージチャネルの熱活動が、伏在する超背斜に沿って高まっていることを証明する(Choi et al, 2018, NCGT Journal, v.6, no.1)。これらの事実はさらに、熱エネルギーの放出および移動が現在、サージチャネルおよび主要な深部断裂帯(ケイマン断層を含む)を通じて行われていることを裏付けている。これは、今後数年のうちにニューマドリッド地震帯で起こるかもしれない強い地震の発生を、同様に支持する。増加した熱エネルギーは、この地域でより多くのハリケーンを発生させるだろう。グアテマラでのフエゴ火山噴火(2018年6月)と過去2年間の同地域での大地震は、その証である。

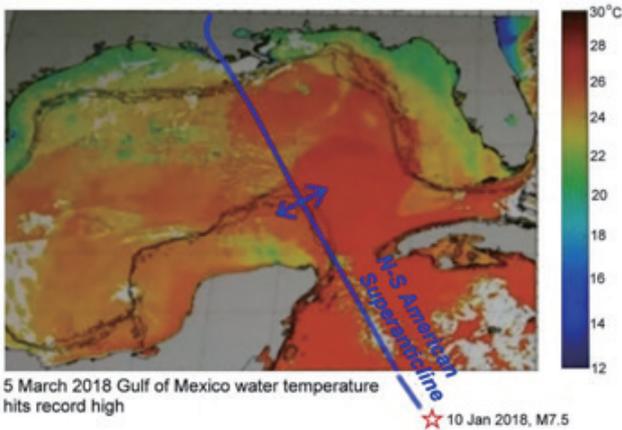


図1 2018年3月5日に現れた極高水温。超背斜と2018年1月10日のM7.5地震を重ね合わせた(Choi et al., 2018)。温度図は <https://yournewswire.com/gulf-mexico-supervolcano-erupt/> より YoureNewsWire.com の許諾を得て引用。

以下に、YouTube の一部を抜粋する。

「噴火しようとしているメキシコ湾の『超火山』を科学者らが警告」

科学者たちは、先週のメキシコ湾の極端な高温は、深い水中超火山爆発の前兆であるかもしれないと警告している。RFS Viktor Leonov CCB175 に取り組んでいる科学者たちは、南米エクアドル沖の消えた水を1月5日に記録した。3日後、1月8日、北米フロリダ州の海岸から水が消え始めた。その24時間後、メキシコ湾に隣接するカリブ海でM7.6の巨大地震が発生した。

Whatdoesitmean.com の報告：メキシコ湾内および周辺のこれらの不思議な出来事の直後に引き続いておきた湾流の混乱は、ヨーロッパ大陸全体を襲う激しい暴風をもたらした。

これらの出来事にもっとも深く関与したのは、メキシコ湾全体の急激な気温上昇とその後の急速な低下である。ある所では前代未聞の55°C（華氏130度）以上に達した。

昨年冬季間に、メキシコ湾の海面平均温度が初めて23°C（華氏73度）を下回らず、その「死の地帯」は史上最大のサイズになり、調査船に乗船していた科学者たちは、これらの出来事が気候変動によるものであるという証拠はないと述べている。

カールトン大学の研究者 Lyndon DeSalvo が彼の2008年の研究論文「傷つく地球：マヤの宇宙論的過去における原型山地としての火山」で記述したように、マヤの人々の彼らの昔話と伝説は、メキシコ湾全体が山々になり、そしてまた消え去る場所として語りついでいる。また、彼らは現代について、超火山噴火のマグマだまりからの放出に引き続いて形成された大きな鍋のようなへこみにおける火山カルデラ活動として説明している。

しかし、マヤ民族の古代物語についての研究は、ルイジアナ州立大学 (LSU) にしばらく所属していたアメリカの地質学者の David Prior 博士に注目された。彼は科学者として、火山噴火が実際にメキシコ湾で発生し、その発見を自らの1989年の科学論文「深海底での堆積物噴火の証拠、メキシコ湾」として初めて記述した。

1854～1875年にメキシコで発生した出来事を見ると、メキシコ湾地域が8つのM7以上の大地震で揺れた一連の期間が、アメリカ南東部置けるそれまでの最後の噴火に一致することは重要である。この火山活動には、ジョージア州での1857年6月20日の火山噴火、フロリダ州のメキシコ湾岸での1866年9月2日と1874年3月18日の火山噴火が含まれる。

NCG ジャーナルについて

ABOUT THE NCGT Journal

グローバルテクトニクスの新概念ニュースレター（現在のNCGTジャーナルの前身）は、1996年8月に北京で開催された第30回万国地質学会のシンポジウム "Alternative Theories to Plate Tectonics" 後の討論にもとづいて生まれた。その名称は、1989年にワシントンで開催された第28回万国地質学会に連携してワシントンのスミソニアン研究所でひらかれた先行するシンポジウムにちなむ。NCGTニュースレターは、2013年にNCGTジャーナルに改称された。2017年3月には、NCGTジャーナルの発行が商業化された。

目的は次のとおりである：

1. 地質学、地球物理学、太陽・惑星物理学、電子宇宙学、

天文学、気象学、海洋学、ならびに、コアから大気圏外縁までの地球にかかわる物理的諸作用に密接に関係しているその他の研究分野における新しい考え方と研究を自由に交流する国際的な討論の場を提供する。

2. 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独創的な考え方にあわせる。
3. そのような研究成果を掲載・出版するための学術基盤を設ける。とくに検閲と排除が行われている領域において。
4. 破局的地震の予知に予知に貢献する優れた方法と概念の交流を進めるための出版の場を創造する。既存の通信網では疎外されてきたそのような考え方と研究成果を討論するためのフォーラム。