

An international journal for New Concepts in Global Tectonics http://ievpc.org/journals.html

日本語版 Vol. 6, No. 3 (2019 年 2 月) ■ Print edition ISSN 2186-9693

多数のカラー図面は→ ■ Online edition <https://www.ncgtj.org/>

The second secon

編 集 長: Louis A.G. HISSINK (Iouis.hissink@bigpond.com)

編集委員: Ismail BHAT, India (bhatmi@hotmail.com); Giovanni P. GREGORI, Italy (giovanni. gregori@idasc.cnr.it) Yoshihiro KUBOTA, Japan (kubota@env.sc.niigata-u.ac.jp); Leo MASLOV, USA (leo.maslov@cccs.edu) Per MICHAELSEN, Mongolia (perm@must.edu.mn); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@mail.ru Karsten STORETVEDT, Norway (karsten.storetvedt@uib.no)

			もく					
■ 編集者から	In this issue 本号	には L	. Hissink, Ed	litor in Chief		[小松宏	昭 訳]	2
■ 編集者への手紙 ホノルル	Sea Level Speculations およびマカオにおける	in Honolulu and 1 毎水準の推測	Macau			[赤松	陽 訳]	2
■ 原著論文								
Natural "Catastropl	hes": :Forecast" and Man	agement, Deontol	ogical Obligat	ion and Common S	Sense			
自然な「: Calculation of Solar	G. Gregori, B. Leybou 大災害」:「予測」と管 Energy Accumulated in Co	rne & L. Hissink 理的義務論的な antinental Rocks	義務と常識 P Kalenda	〈要旨〉 」Wandrol K Frw	drusek & V Kremi	[柴 正	博 訳]	3
た陸の岩 Thermal Model of F	Energy Recumulated in Co 石に蓄積された太陽エ Foredeeps Formation	ネルギーの計算	<要旨>	r wandioi, it. r iye	arysek & v. Rienn	、 [柴 正†	尃 訳]	3
前縁沈降 Discussion of Relat	in the sea Level Rise Along	< 拡大要旨 >	, na from Mid-2	20th to end of 21st	Centuries A Pa	[角田 史 ˈker	雄 訳]	4
20世紀半 Divergent Converg	ば~ 21 世紀末期におけ zent_and Transform Marg	, and Count of Chan する中国沿岸での vins for the World')相対的海水。 s Tectonic Pla	準上昇の考察 tes2 Eurasion Tect	tonic Plate N C	[小泉]	潔 訳] noot	5
地球上の Rare Earth Elemen 大陸地殻	構造プレートの発散型 ts in Rocks of the Mantle 海洋地殻 マントル	・収東型・平行移動 and Crust of Cont	動型境界 2. inents and Oc 地球物理学	ユーラシアプレ- ceans: Geodynamic	− ト Consequences B	[杉山 . Blyuman	明 訳]	10
	, MATTINK, VIII	- 1	[小	坂共栄・久保田喜	喜裕・矢野孝雄訴	+ 宮城晴寿	井訳編]	24
■ 随筆 Essays on Global T	Pectonicy Essay # 2	Potor M IAME	9					
グローバ	ルテクトニクスについ [、]	てのエッセー #2	海洋の起源	こついて		[村山敬	真 訳]	34
■ 書評	- C Diata Tractanian							
A Chinese Version プレート	of Plate Tectonics テクトニクスの中国版	Cliff Ollier				[岩本広]	志 訳]	38
■ NCGT ジャーナル	について						••••••	40

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 TCTONICS 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・・・・

2018 年 8 月に前編集長 Dong Choi 博士が急逝されたため, 本号の発行が遅れた.氏には,私がこの雑誌の編集者とし て,また国際地震火山予知センター(IEVPC,www.ievpc. org)の研究部門の委員長及び責任者としての氏の役割を引 き継いでほしいという強い願いがあった.この雑誌はすでに IEVPCのサイトに移されており,IEVPCの後援を得て運営さ れることになっている.NCGT Journal では Choi 博士の業績 を讃える記念号の発行が計画されていて,それには Choi 博 士の独創的な既刊論文も掲載される予定である.

編集には従来の方針がおおむね継承され,剽窃を避けること だけを目的とした査読が行われる.ただし,物理的に信じ難 いメカニズムにもとづいた原稿は掲載が困難であろう.この雑 誌は,政治的に不利な立場におかれている見解に討論の場 を提供しつづけるだろう.というのは、すべての学説は仮説 であり、新しいデータや観察が得られると、廃れたと見なされ ている以前の学説が見直されることもあるからである.科学に 公理は存在しない.それが現れると、科学は宗教になり、い くつかの宗派に分裂するだろう.

今号は、意見の異なる課題を公表するという伝統を継承して いる. Peter James は移動論者の科学的認識体系を評価する 随筆を連載している. GregoriとLeybourne そして編集者(私) は、自然災害の予測に関して地質学者の果たすべき役割に ついて論じている. この課題は、公転軌道における地球の位 置を予測するようなありふれたことがらではない. 自然の諸作 用についての私たちの理解が不完全な場合には、大災害の 予測は、対象物の物理的挙動を科学的に予知できず、ビン 回しゲームにすぎなくなる.

神の預言として流布された神学上の考え方に立脚した人間文 化もやっかいな問題である.何らの確たる証拠もない宗教上

In this issue.....

の思い込みは、一般的な常識論のなかにも入り込んでいる。 つまり、神学上の「聖なる本」・「聖書」が正しく、それが人間の未来・異常気象・地震などを予言している、という信仰が現実的に存在しているからである.

今回の号には、Mortari、Medvedev、Smoot、Parker そし てKalendaの興味深い論文や論説も掲載されている。Albert Parkerの書簡は、コンピューターがつくりだす、実際の事実 に基づいていないモデル計算を、依然として各国政府が基 本政策に掲げ続けていることを告発している。既刊号の編集 方法がよくわからなかったので、今号の編集に時間がかかっ た。私は、オーストラリア地球科学研究所ニュース(Australian Institute of Geoscientists News)の編集長を7年間ほど務め たので、専門の出版社が「Word」ではなく「LaTex」を好 む理由を理解できた。すなわち、Word はウェブ上の jpeg 画 像表示が過大に情報を失うために、画像フォーマットが png あるいは tiff 方式で落ち着き、そのために LaTex へのプラッ トフォームの移行がゆっくり進んでいるからである。

プレートテクトニクスとそれに替わる学説の間での論争は、未 だにお互い1インチも譲らないとげとげしいものである.大西 洋は、アメリカ大陸がヨーロッパやアフリカから分離してできた ことは明白であるとされる.しかし、この分離に必要な物理的 な動力を誰も発見できず、論争は今も続いている.故Fred Hoyle が指摘したように、地球科学者はあらゆる仮説におい て、とくに、重力理論とその万物への適用に極めて貧弱なア イデアしか思いつかない.そのため私は、ハンガリーの電気 技師 Michael Csudi が著した絶版になっている小著「電気的 地球 Electric Earth」を再販するつもりである.この著書は、 テクトニクスに関する新しい知見を導くであろう.大陸移動に ついての彼の説明と同様に、彼のモホ面に関する解釈は特 に興味深い.

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

(赤松 陽 [訳])

ホノルルおよびマカオにおける海水準の推測 Sea Level Speculations in Honolulu and Macau Albert Parker

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

要旨:マカオでは海水準が2060年までに50m,ホノルルでは2050年までに0.91m上昇するかもしれないとの報道がある. これらの新聞紙上での報道は、ある場合にはしっかりとした査読さえもなく、別の場合には査読されてはいるが、大衆的科 学論文を論拠にした推測にもとづいた報道にすぎない.沈下量の小さいマカオでの1925年1月~1985年5月の海水準 は-0.0880mm/y²というマイナスの加速度で、0.26mm/yという微速度で上昇している. 沈下量のより大きいホノルルでは、1905 ~ 2018 年に海水準が -0.00535mm/y² のマイナスの加速度を示し、1.45mm/y の速度で上昇している. 世界の長期 傾向としての潮位の標準値はすべて一貫して比較的小さい上昇速度をもち、ほとんどの場合はプラスもあればマイナスもあ る局所的な沈下と、ほんのわずかな加速度によって決定されたものである. したがって、マカオで海水準が 50cm 上昇する には 42 年ではなく、2000 年かかるかも知れないし、ホノルルで 0.91m 上昇するには、32 年ではなく 571 年かかるだろう.

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)

原著論文 ARTICLES

自然な「大災害」:「予測」と管理的義務論的な義務と常識 Natural "Catastrophes":

"Forecast" and Management Deontological Obligation and Common Sense

Giovanni P. Gregori: gregori.giovanni@idasc.cnr.it Bruce Leybourne (IASCC):www.iascc.org Louis A. G. Hissink, (IEVPC): louis.hissink@bigpond.com

IDASC - Istituto di Acustica e Sensoristica O. M. Corbino (CNR), Rome, Italy (now merged into INSEAN of CNR) [e-mail: gregori.giovanni@idasc.cnr.it]

IEVPC - International Earthquake and Volcano Prediction Center [http://ievpc.org/index.html]

ISSO - International Seismic Safety Organization, Rome, Italy

IASCC - Institute for Advanced Studies in Climate Change, Aurora, CO 80014 ICES - International Center for Earth's Sciences

(柴 正博 [訳])

要旨:技術水準について簡潔に念押しさせてもらう.いくつかの自然災害の課題に効果的に立ち向かうために、立法者や 意思決定者は現代科学の現実的能力を認識するべきである.常識と義務論的な義務は、すべての人の行動と役割にとっ て主要な原則であるべきである.最大の責任は、社会のすべてのメンバーによって共有されている.科学自身が提供でき るのは、いくつかの限られた助けだけである.それとは対照的に、立法者、意思決定者、マスメディアによる常識と適切な 行動は、すべての決定的役割を果たす.間違った情報一未解明、便宜的、経済的利益、メディア、権力などに起因一は、 今日の社会ではよくあることで、誰も告訴されていない.その告発は、一般に認められている潜在意識の文化のいくつか の誤りに他ならない.自分の責任に関係するすべてのものを一他の人ではなく一自分でつくりだすと主張することは誰もで きない.

実際,因果関係が自然の大災害によって起こるたびに,誰もがその出来事に対して共同で責任を負うべきであると感じる はずである.現時点では,科学界,マスメディア,立法者,意思決定者の間のコミュニケーションには,深刻で受け入れ がたいいくつかのギャップがある.最終的には,いくつかの因果関係に対して倫理的に責任を負うことができる技術水準が 成立すれば,そのような条件は一正式で合法性な場合には一殺人として起訴されることさえありうる.このような状況を克服 するには,多大な努力が急務である.これは,科学者,立法者,意思決定者またはマスメディア運用者のいずれかによっ て共有される義務論的な義務である.

 $\neq - \nabla - F$: natural "catastrophes", "forecast", diagnosis and prevention, deontological obligation and criminal responsibility, legislators, decision makers, mass media, "greasers"

(2018年8月15日受付, 2018年8月16日受理)

大陸の岩石に蓄積された太陽エネルギーの計算 Calculation of Solar Energy Accumulated in Continental Rocks

Pavel Kalenda¹, Ivo Wandrol², Karel Frydrýšek³, Vítězslav Kremlík⁴

¹Pavel Kalenda, CoalExp, Pražmo 129, 73904 (Corresponding author – pkalenda@volny.cz)

²Ivo Wandrol, Silesian University in Opava, Na Rybníčku 1, 746 01 Opava
 ³Karel Frydrýšek, VŠB-TU, Ostrava, 17 listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba
 ⁴Vítězslav Kremlík, Charles University, Celetna 20, Prague, 116 42, Czech Republic

(柴 正博 [訳])

要旨:我々は,地球の地殻に蓄積された太陽エネルギーの一部,ならびに,熱放射/蓄積パラメータの半減期を推定で きる再帰的手法を開発した.この種のパラメータは,蓄積されたエネルギーの半分が宇宙に放出される時間として示される. その理論関係は,土壌学における長期観測によって確認された.

過去 11000 年間について、ウルフ数を代用太陽放射照度パラメータとして使用することによって、我々は大陸地殻の熱パ ラメータの半減期を推定できた.このパラメータ t1/2 の最も可能性の高い値は 270 年である.これは、地殻全体のエネルギー 量が現在最大になっていることを示していて、それは小氷期の後に始まる異常に活性化している太陽活動に由来する.

太陽活動の3つのシナリオにもとづいて、将来の地殻内の蓄積太陽エネルギーを推定した.3つの結果はすべて、2060年までは累積エネルギーのわずかな増加を示し、それ以降は累積エネルギーの減少幅が小さくなったり大きくなったりするため、地球表面温度が低下する.

 $\pm - 7 - F$: solar irradiation, heat accumulation, recursive calculation, OLR, climate, scenario

(2018年7月17日受付, 2018年8月17日受理)

前縁沈降帯の熱的形成モデル Thermal Model of Foredeeps Formation

Alexander B. Medvedev

Russian Federal Nuclear Center – All-Russia Research Institute of Experimental Physics 607188, Sarov, Nizhniy Novgord region, Mira Avenue, 37 e-mail: postmaster@ifv.vniief.ru

(角田 史雄 [訳])

拡大要旨:

基盤が変成岩のような硬い岩盤からなる安定陸塊あるいは台地に隣接して分布する変動帯では、柔らかい地層群から構成される地向斜があり、その縁辺に衝上岩体などが集合して発達する前縁沈降帯(FD)がある.こうした前縁沈降帯(FD)は「コーベルゲン」とも呼ばれるが、筆者は、幅150kmの北アルパイン前縁沈降帯(FD)の軸を地向斜の最大沈降部に設定した.そして、軸から安定陸塊側をFD台地縁辺部、変動帯側をFD山地縁辺部と名付けた.このような設定のなかで、衝上断層で区切られた岩体に注目して、そのなかから、冷たい結晶水で満たされた鉛直衝上岩体をモデル岩体として選んだ.そして、このモデル岩体が、マントルからの熱で高温化して熱膨張して隆起して、直線的な山地へと成長するとのモデルを設定した.

このようにモデル設定した場合,一般的に,変動帯側の衝上岩体が隆起していく変動速度は,安定陸塊側のそれより 変動速度が速いと考えられる.そして,それらの衝上岩体はマントルからの熱で高温化する hot plate と仮定する.さらに, 高温化の過程で,結晶水が排出されて蒸気に変わり,蒸気圧が高まって,岩体が熱膨張しながら隆起していく,とモデル 化した.その場合,1つの鉛直衝上する岩体の結晶水域および高温化していく領域の幅,高さ,隆起量,隆起率,隆起 速度などの基礎的データの設定値をあらかじめ計算で確かめた.

つぎに, FD 山地縁辺部における隣り合わせになった2つの衝上岩体について,初期条件を同じにして,1つの衝上岩体(hot plate)が高温化して,隣接するもう一つの岩体を加温していくことを想定して,両者の温度上昇速度,隆起量,隆起率,隆起速度などの値を計算した.

実際の北アルパイン FD(前縁沈降帯)における,衝上岩体の差動量と対応させながら,FD 山地縁辺型(piedmont type) 岩体を2つにわけて,温度による蒸気圧,想定される隆起量,隆起にかかる時間などを計算した.また,同じようにして,台地縁辺型(platform edge) 岩体の場合についても同じような計算を行った結果,FD 山地縁辺型岩体の高温化による隆起速度は速いが,いったん隆起量は大きくなるものの,急激な温度降下で隆起量が減る.そして,再度,隆起量が増えていく,というパターンが得られた.一方,台地縁辺型岩体の場合は,隆起場所を軸から移動させながらゆっくりと隆起量を増やしていった.そして,その隆起した時間は1000万年から1億年と計算された.

こうした結果から、実際の北アルパイン前縁沈降帯の地史と変動史とてらしあわせてみた.その結果、上部マントル物質 中で高温化による凝固も起こる可能性があることも踏まえて、台地縁辺型岩体から得られた「隆起した期間は1000万年か ら1億年」という数値が妥当であると考えた.こういうことから筆者は、台地縁辺型衝上岩体の高温化による隆起が最適な モデルと考える.

 $\neq - \nabla - F$: foredeep, thermal plume, upper Earth mantle, density, temperature, negative coefficient of thermal expansion

20 世紀半ば~ 21 世紀末期における中国沿岸での相対的海水準上昇の考察 Discussion of Relative Sea Level Rise along the Coast of China from Mid-20[™] to End of 21st Centuries

Albert Parker

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

(小泉 潔[訳])

要旨:本論は、"中国沿岸の平均海水面(MRSL)が過去半世紀に1~6mm/年で上昇している"ことを主張する.この 見積もりは、中国・韓国および日本の験潮儀の良質な低い上昇速度を無視しているが、中国と韓国の験潮儀の大きな上 昇速度を任意に選択した結果である.NOAAによる中国の最良の験潮儀を使うことによって、過去半世紀の中国の海水準 に関する上昇速度は-1.23~+3.22mm/年で、本論の筆者により無視された先駆的論文によってより良く評価されており、 またそれらの筆者により無視された NOAAによる良質なLUSIを含むと-0.04~+4.97mm/年で、LUSIを除くと-0.04~ +2.92mm/年である.

キーワード:海水準計測,海水準上昇速度,海水準加速

はじめに

験潮儀の海水準時系列は、月平均海水準(MSL)の直 線的および放物線的な近似により、信頼できる上昇 速度(v)と加速度を計算するために長さと品質の要 件を満たさなければならない.西太平洋の海水準は 準周期20年と準周期60年の振動を特徴とするため (Chambers, Merrifield and Nerem, 2012; Devlin, Jay, Zaron, Talke, Pan and Lin 2017; Parker, 2014; Schlesinger and Ramankutty, 1994), Parker (2014)などは記録のある最低でも60年が速 度を計算するために必要で, Parker (2017)は加速 度を計算するためには、60~105年が必要である としている.十分な年月を加えるためには、験潮儀 の記録には、計測機器の損傷・計測機器の再移動・ 記録におけるデータのギャップまたはシフトの存在 などの品質上の問題がないことが必要である.

中国の験潮儀

Parker (2016) で議論されているように、中国の験 潮儀はそれらの要求を満たしていない.品質上の要 求の欠如をもつ論点が直感的に理解できれば、図1 は香港の北角と鰂魚涌・日本の細島およびオースト ラリアのシドニーのフォートデニソンの合成記録を 考慮することにより短期間の記録の結果を示してい る.60~70年以下の期間の記録の場合、すべての 計測が同じ位置で同じ計測機器で収集されてはいた としても、速度の見積もりは正確ではない. 計測機器の再移動で、相対的海水準上昇への修正 された海陸の寄与は、さらに信頼に堪えない見 積もりがなされている. 験潮儀データは、平均海 水準に関する恒久的事業 (PSMSL) から得ている. Parker (2016) と NOAA (2018a) による中国の最良の 験潮儀は、Chen・Han and Yang (2018) によって考案 された験潮儀とは違っている.

PARKER(2016) による解析

- Parker (2016) は,次に示す中国の験潮儀を使った; 秦皇島 < 中国河北省 > (1950 ~ 1994 の 45 年間, 完全性 99%, v 約 +0.04mm/年);
 - 厦門<中国福建省>(1954-2004の51年間,完全 性99%,v約+1.10mm/年);
 - マカオく中国特別行政区>(1925~1985の61年間, 完全性 97%, v 約 +0.25mm/年);
 - 北角<香港>(1950~1985の36年間,完全性 100%,v約-1.23mm/年);
 - 大埔滘<香港>(1963~2016の54年間,完全性 94%,v約+3.00mm/年);
 - 鰂魚涌 < 香港 > (1986 ~ 2016 の 31 年間, 完全性 100%, v約 +3.22mm/年);
 - 大連 < 中国遼寧省 >(1954 ~ 2016 の 63 年間, 完 全性 82%, v 約 +2.13mm/年);
 - 闸坡<中国広東省>(1959~2016の58年間,完
 全性99%,v約+2.22mm/年),
 - 坎門 < 中国浙江省 > (1959 ~ 2016 の 58 年間, 完 全性 99%, v 約 +1.97mm/年).



図1 見かけ上の海水準上昇速度が, (a) 北角 / 鰂魚涌 < 香港 >, 検潮器の 移動に苦労しているにもかかわらず, 中国の最良の記録である,(b)細島, シナ海の最良の記録および(c)シド ニーフォートデビソン,記録期間の長 さの関数として最良の西太平洋の記録 で計算された.数10年周期の変動の ため, 見かけ上の海面上昇速度は記録 の長さとともに劇的に変化している. 準20年と60年の変動,および上昇速 度を記録している60年未満の記録で のこの地域の特定の位相が、北角/鰂 魚涌〈香港〉・細島およびシドニーで 長さ25~50年の記録の場合のように, 上昇速度がほとんど過大評価されてい るためである.

Parker (2016) は、さまざまな沈降速度、最初と最 後の時間的遅延、および相対的に短期間の記録の長 さによって部分的に説明される、最小/最大/平均 速度が約-1.23/+3.22/+1.41mm/年という、彼が選 択した一連のデータにわたって大きく変動する速度 を発見した.

NOAA による解析

NOAA (2018a) はまた, Parker (2016) により使用され た験潮儀を使っている.しかし,北角と大埔滘を複 合させた記録が北角と大埔滘の個々の記録に置き換わっている.

北角 / 大埔滘 < 香港 > (1929 ~ 2016 の 88 年間, 完全性 77%, v 約 +1.36 mm/ 年)

さらなる違いとして,NOAAは1950年に一般に受け入れられた記録の開始に先立つ1929年の北角の疑わしいデータを使用している.

NOAA は, 次の2つの験潮儀も使っている. LUSI(1961~2016年の56年間, 完全性83%, v 約 +4.97mm/ 年) [PSMSL が "旗印する良質な 験潮儀"であるにもかかわらず]

尖鼻咀 < 香港 > (1974 ~ 2016 の 43 年間, 完全性 82%, v 約 +0.41mm/年)

NOAA は、それらと類似した一連のデータの中に同じ値を発見した.LUSI での最小/最大/平均速度、v約-0.04/+2.92/+1.34mm/年がないと、最小/最大/平均速度は-0.04/+4.97/+1.70mm/年である.

CHEN, HAN and YANG (2018)の解析

Chen, Han and Yang (2018) は, Parker (2016) と NOAA (2018a) より顕著に高い速度を算出し た. ちなみに, 最小/最大/平均速度はv約 +1.1/+5.4/+2.91mm/年で,それは2012年までのデー タのみを考慮し,それら一連のデータにおける験潮 儀が主に主観的選択されているためである.

彼らは、中国の上昇速度の低い次の四つの験潮儀を 勝手に無視している、

秦皇島<中国河北省>
 マカオ<中国特別行政区>
 北角<香港>
 鰂魚涌<香港>

彼らは、これらの4つの験潮儀を、中国では全部で はないが高い上昇速度を持つ4つの験潮儀に置き換 えている.

それらの1つ,西沙諸島は中国にあるが,それはまた期間が非常に短い:

西沙諸島(1990~2012年の23年間, 完全性 99%, v約+4.9 mm/年)

図1に示した結果を考慮すると、この特定の地域で のわずか23年の験潮儀の記録は、明らかに上昇速 度を過大評価している. さらに、PSMSLは2010年 の異常に高いデータについて、"2010年7~12月 の期間、西沙諸島のプロットが大幅に上昇している ように見える. 相対的に離れた場所にあるため、デー タは他の隣接する観測所と'相互点検'されているが、 その現象が実際のものであるかどうかを確認するこ とは困難である"といくつかの疑問を述べている.

そこで,彼らは韓国に関して,NOAA によって検討 された観測所の最高上昇速度を記録した済州島を選 んだ (NOAA, 2018b).

済州島 < 韓国 > (1964 ~ 2012 年の 48 年間, 完全 性 99%, v 約 +5.4 mm/年)

最終的に,彼らは韓国と日本の二つの追加の験潮儀 を使っている.

那覇 <日本>(1967~2012年の45年間,完全性

99%, v 約 k+2.3 mm/年), 仁川 < 韓国 > (1960 ~ 2012 年の 52 年間, 完全性 91%, v 約 +1.1 mm/年)

那覇は,NOAA が言及した日本国内の多くの観測所 のうちで最低の上昇速度ではなく(NOAA, 2018c), 最高の上昇速度である.

しかしながら、日本には、東シナ海に近い細島<日本,宮崎県日向市>に、考慮すべき非常に良質で長期間の験潮儀がある.

細島 < 日本 > (RLR データの期間 1930 ~ 2016 年の 87 年間,完全性 98%, v 約 -0.13)

測定データのある期間はここでは 1900 ~ 2016 年の 合計 117 年で,完全性は 99% であるため,細島のデー タは速度だけでなく加速度も適切に評価できる.

さらに、それらは 1969 年以来のデータのみを考慮 し、1961 ~ 1969 年のデータを無視するため、それ らは LUSI に関して、NOAA に対してより高い上昇速 度を算出している.

PSMSL によるさらなる解析

図2は、PSMSL (2018)から引用したシナ海における 相対的な海水準変動の傾向を持つ験潮儀の位置を示 している.この地図は、1900年以降の世界的平均 海水準の変動傾向の双方向性の調査を可能にしてい る.(a)の傾向の計算の時間枠は1957~2016年(60 年)で、(b)は1900~2016年(117年)である.

少なくとも 30 年という期間を選ぶべきである.地 図は、使用しうる選ばれた期間以上の適切なデータ を持つ各観測所の年間海水準の傾向を示している.

時間枠 1957 ~ 2016 年の最低 30 年間のデータを満 たす 5 つの験潮儀の結果は次のものである.

闸坡 < 中国広東省 >, +2.29mm/年 大埔路 < 香港 >, +3.33mm/年 厦門 < 中国福建省 >, +1.23mm/年 坎門 < 中国浙江省 >, +2.39mm/年 大連 < 中国遼寧省 >, +3.21mm/年

東朝鮮・東日本およびベトナムのすべての験潮儀間 には、+4mm/年以上の赤い矢印が1つだけある.そ れは済州島 < 韓国 > の +5.27mm/年である.

すべてのほかの験潮儀ははるかに小さな上昇速度を 示している.済州島 < 韓国 > の選択は極めて疑わし いように見える.

より長い時間枠では、十分なデータがある観測点は 3つしかない. 細島 < 日本 >, -0.04mm/年. 輪島 < 日本 >, -0.03mm/年. 油壺 < 日本 >, +3.65mm/年.

より長期間(100周年の験潮儀,加速度を評価する ことを可能にする唯一のもの)にわたって,4mm/ 年を超える相対上昇速度の単一の験潮儀がないこと



図2 PSMSLから引用した中国周辺の (a)1957 ~ 2016 年および(b)1900 ~ 2018 年の相対的海水準の傾向を示す検潮器. コピーされた画像は PSMS(2018)を修正. PSMSLから引用した太平洋全域の1900 ~ 2016 年の相対的海水準傾向のある検潮器. コピーされた画像は PSM(2018)を修正.

(図2c)に注目することは興味深いかもしれない.
 アメリカ・カナダ・パナマ・オーストラリアとニュージーランドの他の関連のある観測所は以下の通り.
 ホノルル〈アメリカ,ハワイ州〉,+1.44mm/年.
 オークランド〈ニュージーランド〉,+1.29mm/年.
 シドニー〈オーストラリア〉,+0.66mm/年.
 ケチカン〈アメリカ,アラスカ州〉,-0.33mm/年.
 プリンスルパート〈カナダ,ブリティッシュコロンビア州〉PRINCE TUPERT*,+1.18mm/年

^{*}訳者注; PRINCE RUPERTの間違い

ヴィクトリア < カナダ, ブリティッシュコロンビ ア州 >, +0.75 mm/ 年

シアトル〈アメリカ, ワシントン州〉, +2.03mm/年 アストリア〈アメリカ, オレゴン州〉, -0.19mm/年 サンフランシスコ〈アメリカ, カリフォルニア州〉 +1.89mm/年

- ロサンゼルス〈アメリカ,カリフォルニア州〉, +0.96mm/年
- ラホヤ<アメリカ,カリフォルニア州>, +2.20mm/年
- サンディエゴ〈アメリカ合衆国,カリフォルニア州>+2.14mm/年
- バルボア <パナマ >, +1.45mm/ 年

考察と結論

Chen, Han and Yang (2018) によるより高上昇速度 は、長さも品質もより劣っている高上昇速度の験潮 儀により任意に置き換えられた中国の無視された低 上昇速度の験潮儀のために弱点がある.

中国は、シナ海で Chen, Han and Yang (2018) によっ て主張された相対的な海面上昇速度の最低 +1mm/ 年をはるかに下回るいくつかの験潮儀記録をいく つか持っている (秦皇島・マカオ・北角・TSIMBEI TSUI).

それに対し、すべてのデータを考慮すると,ほぼ +5mm/年の質が低いLUSIおよび同じく+5mm/年以 下の極端に短期間のXI SHAを除いて,中国はシナ 海のChen, Han and Yang(2018)によって主張され ている+6mm/年の半分をはるかに超える上昇速度の 験潮儀はない.

NOAA による中国の最良の験潮儀を使うことによ り,過去半世紀における中国の海水準に関する上 昇速度が,-1.23~+3.22mm/年とParker (2016) に よってより良く評価され,NOAA (2018a) により質の 低いLUSI を含むと-0.04~+4.97mm/年で,LUSI を含まないと-0.04~+2.92mm/年である.Chen, Han and Yang (2018) の評論がParker (2016) と NOAA (2018a) の存在に気付いておらず,Chen,Han and Yang (2018) によって行われた験潮儀の恣意的 な選択に疑問を投げかけたのは残念な状況である. また、このコメントが、Chen、Han and Yang(2018) が掲載されている雑誌の出版に関連があると見なさ れてこなかったことは残念な状況である.

謝辞:筆者は論文を査読した匿名の査読者に感謝し ます.筆者はまた、本論を点検した Per Michelsen にも感謝したい.

筆者は資金を受け取っておらず, 競合する利益を表 明しない.

本論は,2018年3月22日発行のInternational Journal of Environmental Planning and Management誌に,論文番号:70150051として受理 され,掲載された,

一般的に地球温暖化の物語に懐疑的なシーンの出版 に対する舞台裏の圧力のせいであるが、PSMSLによ る海水準の発表のために、この論文ともう2つの論 文の出版が、"筆頭筆者が所属していない"との言 い訳をもって編集者によって拒絶され、そのため、 筆者はより良い雑誌に掲載することを求める機会を 保留していた.

公正な査読で, 論文が受理された後は誰でも確実 にコメントを提出することができるが、コメント された論文の筆者はすぐに通知され、コメントと 回答の両方が公開される.同時に、これは一般的 に地球温暖化の論題と PSMSL による海水準の提案 に懐疑的な論文の場合ではない.メディアの注目 を集めた研究の Parker and Ollier (2017) の場合, Earth Systems and Environment 誌の公正な査読 の機会はこれ以上はなかった. Earth Systems and Environment 誌の編集者は、筆者に知らせることさ えせずに、論文に否定的なコメントを投稿するだけ でなく,実際に評価を下した.彼らはまた,明らか に回答を評価するために, コメントの同じ人々につ いて尋ねた筆者による回答を拒否した. PSMSL デー タベースは、不正確なアラインメントの複数の験潮 儀に起源がある一方で、より多くの透明性と単一の 記録として提案された多数の細分化された記録の品 質チェックを明確に必要としている.

文 献

- Chen, N., Han, G. & Yang, J., (2018). Mean relative sea level rise along the coasts of the China Seas from mid- 20th to 21st centuries. Continental Shelf Research, 152:27-34.
- Parker, A., (2016). Sea Level Rise and Land Subsidence Contributions to the Signals from the Tide Gauges of China. Nonlinear Engineering, 5(2):115-122.
- NOAA (2018a), tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends_ global_country.htm?gid=1272

Chambers, D., Merrifield, M. A., & Nerem, R. S. (2012).

Is there a 60-year oscillation in global mean sea level? Geophys. Res. Lett., 39(18).

- Devlin, A. T., Jay, D. A., Zaron, E. D., Talke, S. A., Pan, J. & Lin, H. (2017), Tidal variability related to sea level variability in the Pacific Ocean. Journal of Geophysical Research: Oceans, 122(11):8445-8463.
- Parker, A (2014). Minimum 60 years of recording are needed to compute the sea level rate of rise in the Western South Pacific. Nonlinear Engineering, 3(1):2-10.
- Schlesinger, M. & Ramankutty, N. (1994), An oscillation in the global climate system of period 65-70 years. Nature, 367:723-726.
- Parker, A. (2017), There Is no Indication That the Extreme Water Levels in Rhode Island have Strongly Accel- erated Since the Start of the 20th Century, American Journal of Environment and Sustainable Develop- ment. 2(4): 37-42.
- NOAA (2018b), tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/ sltrends_global_country.htm?gid=1274 NOAA (2018c), tidesandcurrents.noaa.gov/sltrends/sltrends_global_country. htm?gid=1273

PSMSL (2018), www.psmsl.org/products/trends/

Parker, A. & Ollier, C. D. (2017). Is the Sea Level Stable at Aden, Yemen?. Earth Systems and Environment, 1(2), p. 18.

地球上の構造プレートの発散型・収束型・平行移動型境界 2. ユーラシアプレート

Divergent, convergent, and transform margins for the world"s tectonic plates 2. Eurasian tectonic plate

N. Christian Smoot

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

(杉山 明[訳])

要約:大西洋中央海嶺と北極中央海嶺は発散型の軸を構成している. IYTSZ(インダス-ヤルン・ツァンポー縫合帯)は、 (ユーラシアプレートの)南部境界の一部である.しかしながら、そのすべてが定義通りであるようには思えない.インドとア ジアはこれまで衝突したことはない.発散型境界での新たな地殻の生産は、若い地殻を除去する場としての収束型境界を はるかに上回っている;収束型境界の大部分は乗り上げている.トランスフォーム断層と圧砕帯は多数ある.ユーラシアプ レートは実に興味深いプレートである.

キーワード:発散型境界, 収束型境界, 縫合帯, マイクロプレート, 地震, 衛星高度計, 海底地形

(2018年7月16日受付, 2018年8月10日受理)



ここで再度言っておくが、本研究は、プレートテク トニクスが独自に定めた最初の7つの主要なプレー ト、すなわち、北アメリカ、南アメリカ、ユーラシ ア、南極、アフリカ、太平洋、インド-オーストラ リアの提唱されている境界に関するものである.そ れらは、地殻の生産量と消費量が釣り合っていると 想定されているプレートである.ここでは、創設者 たちが、自分たちの定義をつくるうえで必要な情報 をすべて持っていることを前提としている.本研究 は、なんの目論見もなしに、これらが正当な前提で あるかどうかを示そうとするものである.

本章ではユーラシアプレートについて述べる(図 1).ユーラシアプレートは、主要なプレートの中で は3番目に大きなものである.名前が示唆するよう に、それは大陸ヨーロッパとアジアのすべてだけで なく、いくつかの海や島も包含している.ユーラシ アプレートは、北極点近くの北極海および地中海を



図1. 多くの文献で提案されているプレートマップ. 理論的なマ イクロプレートのすべてではない. 1= オホーツク, 2= アムール, 3= ヤンツー, 4= スンダ, 5= フィリピン, 6= アラビア. 発散型境 界は赤, 収束型境界は紫.

通って、大西洋から太平洋にまで広がっている.多 くの重要な山脈がその境界に存在し、そのうちのい くつかは境界そのものである.それらは深く議論さ れている.ユーラシアプレートは北アメリカ、太平 洋、フィリピン、インド-オーストラリア、アラビ ア、アフリカの各プレートと接している.いくつか のサークルでは、かなり多くの小さなマイクロプ レートをつくり出してきたが、そのようなグループ はまとめて、通常"スプリッター(木片をつくる人)" と呼ばれる.

再度言っておくが、プレートは、(1) 発散型境界、(2) 収束型境界、(3) トランスフォーム断層で輪郭が定め られる.トランスフォーム断層は、大部分、大洋中央 海嶺(MORs)内で相殺されるので、境界を生産した り消費したりはしない.地球をほぼ一定の大きさに維 持するためには、発散型境界は収束型境界と長さが近 似的になるべきである.これは収縮説や膨張説に理 由を与えるものではないが、どちらの説も、どのみち、 この惑星に一般的に適用されることはない.

収束境界の一例は縫合帯という結果になる. 縫合帯 (SZ)は、かつての沈込み帯が、後に閉じた場所である. それは大陸地殻が沈み込むことができないためであ る.大陸地殻は(海洋地殻に較べると)厚過ぎるし、 軽過ぎる.それは海洋地殻中に"浮かんでいる".代 わりに、それは山脈として盛り上がろうとしてきた. だから、提案されているインド-アジア衝突帯がヒ マラヤ山脈を生み出したと想像されたのだろう(こ れはヒンドウー教の真言である).このようなことは 生じたのか?このアイデアをここで検討しよう.

手段

海底地形図作成は,誰もがマルチビームソナーシス テムを入手できるようになった時点で進歩した.し かし,すべてのソナー所有者が等しく"買主危険負 担"をするわけではない.汎地球測位システム(GPS) の民間への解放にともなって,間違った地図を作成 する理由はなくなった.それに加えて,航海が増え るにつれて地形図作成機関が収集する情報は増大 し,DBDB-5やGEBCOの地図や海図が絶えず更新さ れている.そうした努力は,合衆国では国立地球物 理センター(NGDC)により進められてきたが,現在 は国立環境情報センター(NCEI)の管轄になってい る.問題はここに生じる:人が引き出すどのような 仮説も,それは海底地形図に一致しなければならな い.地形は嘘をつかない.

衛星高度計は、重力データが収集できるという点だけではなく、シングルビームソナーが等深線を描く際にフィルターとしての手助けをする海面高度データも収集できるという点で進歩した.1つの例として、1979年のGEBCOの海底地形図Sheet 5.17は、

2000 年に北極海国際海底地形図(IBCA0) として更 新された.2.5×2.5km グリッドは,砕氷船,潜水 艦による測深,さらに最近のロシアの海図からの 水深により精度を高めた.それに加えて,GEOSAT (1985-1986),ERM (1986-1990),ERS - 1 (1991-2000) および OPEX/Poseidon (1992-1995)のデー タが,セディメントトラップのようなデータがほとん どない地域を強化するために利用された.海底地形 図を衛星データから作ることはできないが,そのデー タは等深線を描く際のすぐれたドライバーになる.

地震情報はプレート境界を確認するうえで特に重要 である.合衆国地質調査所(USGS)は、国立地震研 究センター(NEIC)という、その目的にふさわしい 部門を持っている.本論で利用された情報はすべ て、1990年から2013年までの間に集約された個々 のNEICデータからプロットされたものである.

地震イベントは、一般に沈み込まれたプレートの下 の傾斜角を示す.この傾斜は、ときには、アセノス フェアに達する約 650km まで続いている.しかし、 深部地震は、沈み込み過程が妨げられる場合(Smoot, 1997)、または、深部に造構過程が存在する場合に のみ生じることが立証された(Choiの多くの論文). この現象は、初めに考えられたように、しばしば生 じるというものではない.大部分のイベントは、本 質的に、約 50km より浅い部分での地球の地鳴りで ある.また、多くの提案されているプレートには、 その境界に沿った地震活動がない.

超長距離基線干渉計(VLBI)技術が出現したことで, 多くの研究者がプレート運動の研究を始めた.機器 だけでなく,その結果を研究する人々も同じくらい すぐれている.若干の例でいえば,学校はまだこの 技術に関して埒外にあるが,誰が,何が正しく何が 間違っているということになっているのか?大部分 は漠然とした合意である.

入手可能なデータを最大限利用して,我々はユーラ シアの地形を解明することを始めよう.

発散型境界

ユーラシアプレートと北アメリカプレートを分ける 線として、アゾレス諸島から始まる大西洋中央海嶺 (MAR)を、慣例的に最初にとりあげることにする. 通常の境界は、そのまま、シベリアのチェルスキー (Chersky)山脈へと続く.

大西洋海盆内の東西方向のプレート境界は確立され てはいないが、イベリア南西境界(SWIM)断層群に もとづいて大西洋海盆内を 600km 以上にわたって延 びるアゾレス諸島での独断的なものが、その部分 として扱われている(Zitellini et al., 2009). より綿密な調査では,最も重要な手がかりはジブ ラルタル (Gibraltar) 海峡入口のホースシュー (Horseshoe) 海山群とされている.北アフリカのア トラス山脈の南を陸上での境界とすると,ホース シュー海山群の南支脈がその直接の線になる.ハイ エス / オセアノグラファー (Hayes/Oceanographer) メガトレンド (図 2-9) が大西洋中央海嶺からその 地点へ正確に入り込む. そのメガトレンドは, MAR 上の北緯 33.6°と 35.1°の間にある. そのどこかが, ユーラシアプレートとアフリカプレートの境界であ る. MAR は,西と北では,ユーラシアと北アメリカ の境界である.

SWIMデータとグロリア (Gloria) 断層が正しいとす ると、陸上でのプレート境界は、モロッコとスペイ ンを通るベチック-リフ (Baetic-Rif) 山脈に沿う. これはアルプス造山運動の北部ルートである.研究者 の多くは 1941 年の津波とその震源位置にもとづいて いる. 我々は数学より海底地形に従うことにしよう.

MAR は、それが北緯 52.6° でチャーリー - ギブス断 裂帯(C-GFZ)と交差するまで、その方向を北へひ ねる(図 2-5). C-GFZは、東部の北で、別の平行な



図2. 実際の海洋底に対する高高度測定の類似性を示すために用いられた,北大西洋のGEOSAT アルチメータによる構造トレンド (上)と,全域をカバーする SASS (Sonar Array System)データ(下)の比較.1=アイスランド,2=レイキャネス海嶺,3=グリーンランド,4=ラブラドール,5=チャーリー-ギブス断裂帯,6=アイルランド,7=スペイン,8=ピコ/アゾレス断裂帯 9=ハイエス/オセアノグラファーメガトレンド,10=モロッコ.

海嶺を伴う二重の断裂である (Smoot and Sharman, 1985). 南の支脈は西で MAR を 120km オフセットし ている. 北の支脈は MAR を別に 230km オフセットし ている. これは MOR 上の最後のまともな断裂帯であ る. ここでの拡大方向は海嶺に直交し,したがって, 断裂はその同じ MOR に垂直である.

次に,北緯56.7°でのバイト(Bight)トランスフォーム断層は、この地点で、直交する拡大軸方向から分れて、レイキャネス(Reykjanes)海嶺(RR)とアイスランドを通り北極海へ向かう斜めの拡大軸方向へ移行する(図3).この地域は,2013年に、レイキャネス海嶺プロジェクトの一部として、ウッズホール海洋研究所とチャールストン大学の共同調査がなされた.RRは、トランスフォーム断層を伴わない、北に向かって開いた10本の密に配列した火山性海嶺の集合体である(Hoskuldsson et al., 2007).

アゾレス諸島のポンタデルガーダ (Ponta del Gada,)からアイスランドのレイキャネスまでの距 離は2,948 kmである.

RR はアイスランドに入ると東にオフセットし,3 ないし4本のエシェロン状の火山システムに広がる:2本のトランスフォーム断層を伴い,レイキャ ネス半島,西部火山帯,東部火山帯,北部火山帯 の4帯である(図4).火山活動は旺盛であるが, 拡大速度はほとんど無視できる.シンクベトリル (Thingvallir)のアルシング(Althing)の会議*後, 1100年たって訪れたところ,その間に1mmも動き がなかったことが分かった.シンクベトリルは中軸 リフト帯である.

*アルシングの会議:930年にバイキングにより基礎がつく られた議会.建物の土台に1100年後の今日まで変化がな いことを言っている.

MAR は少し西へ曲がってアイスランドを離れ, コル ベンジー (Kolbeinsey), モーンズ (Mohns), クニ



図3. 南西からアイスランドに接近するレイキャネス海嶺のマル チビーム音響測深機の記録(図2の番号2)



図4. 南のRRから北のコルベンジー海嶺へ向かうMARの拡散拡大. アイスランドは海洋底の海嶺上に形成された数少ない海山の1つで,そのタイプの海山の形成の格好の事例である.



図5. NGDC (2003) により示された地球頂部の地図. これは MOR のルートを詳細に示している. 1= チェルスキー山脈, 2= ガッケ ル海嶺, 3= ロモノソフ海嶺, 4= スピッツベルゲン, 5= クニポビッ チ海嶺, 6= グリーンランド, 7= モーンズ海嶺, 8= コルベンジー 海嶺, 9= ヤンマイエン断裂帯 10= アイスランド

ポビッチ (Knipovich), ガッケル (Gakkel) などの 海嶺に変わる (Jakobsson et al., 2012). これら の海嶺は,地殻の厚さ,リフト帯の幅,マグマの有 効性,拡大の傾きに規制されている (Dubinin et al., 2013). バレンツ (Barents) 陸棚とスピッツ ベルゲンでの地殻の厚さも,経路と拡大速度に影響 を及ぼしている. ガッケル海嶺は拡大速度が最も遅 く,どこでも 1cm/yr 以下である.

コルベンジー海嶺(図5)は,共存したが消滅した 拡大センター地域にある (Brandsdottir et al., 2015). コルベンジー海嶺は26 Ma までに形成を開 始したが,それを作り上げるために時々マグマの流 出を伴った (Yeo et al., 2016). こうして, リフ ト軸は東から西へ繰り返し移動しつづけたので, 拡 大は遅れた. これはアイスランドの南の動きと対照 的にみえる (Brandsdottir et al., 2015). コル ベンジー海嶺は, 北緯 73.3°でマヨン (Mayon) 断 裂帯によりモーンズ海嶺からオフセットされてい て, それはほぼ漸新世〜中新世前期に達成された (Gernigen et al., 2012). それは RR により伝播さ れた.

クニポビッチ海嶺 (図 5) は、モーンズ海嶺屈曲部 とスピッツベルゲン断裂帯の間の 550 ~ 600km の間 を、北極海盆を横断して MOR へと続く、それは V 字 形の中軸谷を有し、リフト帯は横ずれ引張性である (Kokhan et al., 2012)、走向移動は南で優勢、断 層運動は北で優勢である.

ガッケル海嶺(図5)は、グリーンランドからシベ リア陸棚上のラプテフ(Laptev)海リフトまで、地 球の頂点を通って、MORを1,800kmも運ぶ.これは 世界で拡大速度が最も遅い海嶺で、グリーンランド の近くでは1.28 cm/yr、シベリア縁辺では0.6 cm/yr である(Cochran, 2008).2007年のAGAVE 探検は、 2つの新たに形成された海山の上で火山砕屑性堆積 物を発見した(Global Volcanism Program, 2009).

ガッケル海嶺の延長にあるラプテフ海リフトは,発 散型境界として,北西ロシアの大陸棚を横断してい る.それがチェルスキー山脈と出会うとき,造構レ ジームは,引張から圧縮に変わり,収束が始まる. レイキャビックからの全長は約3,400 km である.

こうしてユーラシアプレートの発散型境界は完了する.

収束型境界

北極海でMORを離れ、シベリアの長さ1,500kmのチェ ルスキー山脈において、リフト型グラーベンの形で、 我々はユーラシアプレートの最初の収束型境界に出 会う.

この山脈は、ラプテフ海リフトの末端からインディ ジルカ(Indigirka)川まで延び、北アメリカプレー トとユーラシアプレートの間の縫合帯となってい る.塩基性岩および超塩基性岩が異なる6地点で発 見されている(0xman et al., 1995).サンプルの うちの5つは山脈の東側で、1つはデボン紀〜オル ドビス紀(370-430 Ma)の炭酸塩岩プラットフォー ムの西から得られた.深海成の堆積岩とともに産す るこれらの岩石は、オフィオライトと解釈されてい る.それらは170~174 Ma である.

その地域の重力・熱流量・地震のデータを用いると, ユーラシアプレートの境界は,この地点から,延長



図6. モーンズ海嶺は,初め,シービームシステムで調査された (Renard et al., 1989). その時以後は,サイドスキャンソナー で探査・更新された (Dautiuel and Brun, 1996). 海嶺の軸は曲 げられた. 地震活動パターンは海嶺拡大速度と異なり斜めである ことが見いだされた (Pirli et al., 印刷中). 著者により等深 線間隔 200m で描き直された.

800kmのモマ(Moma)リフトゾーンでカムチャツカ を横断し,アリューシャン海溝と千島海溝の会合点 に達する.地震の大部分は75km以浅で発生してい る.この地域で,スプリッターたちは,そのどちら も地震学的境界によっては規定されていないオホー ツクとアムールの両プレートの集合体に野外演習を させてきた*.モマ・リフトシステムの起源,現在 のテクトニクス,発達史についてかなり議論がなさ れ,それは新生代初期におけるガッケル海嶺の延長 という結論になった.それは,リフトシステムとし てはもはや活動していないが,横ずれ圧縮の場にあ る.そのほかには,この境界については,あまり分 かっていない.これはオホーツクプレートの北の境 界についても同様である(Sunuwar et al., 2004). *Smoot 独特の表現だが,意味不明.

結論から言うと、1,520kmの千島海溝は、太平洋プレートとユーラシアプレートの境界であり、モマ



図7. 東南アジア地域で1900年から現在までに発生した M2.5~ 9の1,000個の地震イベントを示す NEICの地震プロット(灰色= 古いイベント,白色=先月のイベント,黄色=先週のイベント, オレンジ色=私がプログラムを作動させた2018年5月11日のイ ベント). 我々は以下の考察に当たってこの図を参照する. 個別 のイベントを云々することは不可能であるが,収束境界を辿るの は容易である.バイカル湖からのイベントの線が注目される.ユー ラシアプレートから切り離されたアジアプレートは存在するか? 唯一欠けている断片は北の境界であり,モマリフト帯はその半分 である.

リフトゾーンは北アメリカプレートとユーラシア プレートの境界である (Neo-Tectonics Breakout Group, 2004). 日本に向かうロシアからの別のルー トは,その境界の大部分にわたって地震活動が欠け ているので,疑わしい.このように,境界も海溝も 地震もないので,我々は,これらのマイクロプレー トについては議論しない. どの場合も,ユーラシア プレートは太平洋プレートに乗り上げている.ワー キンググループの結論は,"グローバルテクトニク スの大きな未解決の問題は,その会議の結果である" というものである.

その接合点から、フィリピン海プレートとインド-オーストラリアプレートがユーラシアプレートに接 する. 千島海溝を離れ, 我々は本州と日本海溝に向 かう. 房総三重点 (34°N, 142°E) でその境界は西 へ曲がり, 延長 340km の相模トラフになる (図8). それは西で,南海トラフ(139°E あたり)とフィリ ピン海プレートに出会う. これはユーラシアプレー トがフィリピン海プレートに乗り上げる収束型境界 である.実際、ユーラシアプレートは、ここから、 マニラ海溝を例外として, すべての収束型境界に乗 り上げている. 726kmの長さの南海トラフは,海山 群と堆積物により全体的に埋め立てられていない 海溝として分類される.活動的な弧は海溝の陸側 150kmに位置し、中程度の地震レジームは、ユーラ シアプレートの下の海溝軸から 240km にある. 南海 トラフの海底地形はパラオ - 九州海嶺で終わる. そ のトレンドは、琉球海溝の海底地形が始まるまでの 440kmの間, 見えなくなる.



図8. 等深線間隔 200 mで描かれた,日本海溝と伊豆-小笠原海溝の接合部,相模トラフ支脈,それと南海トラフとの合併(日本海 上保安庁,1991).この海底地形図は,当時の日本水路部長の大島章一氏から私に提供された.これはランベルト円錐投影によるも ので,シービーム測量で全域がカバーされた.フィリピン海地域は本州の南である.



図9. 南海トラフと琉球海溝の接合部. 接合部は奄美海台の接 近により遮断されている(図8と同じシリーズ).

地震データによると, 沈み込みは被覆物を通して連続し, 琉球海溝はそれらの島々を経て1,398km で台湾に続く. 接合点は奄美海台で隠されている(図8). 海溝軸は27°N, 130°E で出現し, 南へ台湾まで続く. 地震レジームは活動的な弧の下へ続いている.

屈曲点 (Smoot et al., 2001; 2015) あたりから, 収束方向は,南シナ海のマニラ海溝で西から東へ 転換する (図10). この現象は、台湾中央部からモ ルッカ海衝突帯(MSCZ)までの南北線上で生じてい る.マニラ海溝も、ミンダナオの西の13°N*までの 1,000kmの間に,ネグロス (Negros) 海溝とスールー (Sulu) 海溝を含んでいる. これはスンダプレート と呼ばれるユーラシアプレートの領域であり,実際, それはフィリピン変動帯の下に沈み込んでいる.こ の海溝の北部は、徐々に、沈み込みレジームから台 湾造山運動の産物である衝突帯に変わっている.提 案されている収束型境界の両端ではユーラシア側に 断裂が期待される.私は、海底地形図でどちらも見 出さなかった.NEICの地震データは、フィリピン 諸島を横断して跳ね返り、フィリピン海溝へ乗り上 げる前に, 琉球海溝への乗り上げからマニラ海溝で の沈み込みというジャンプを示している.

*13[®] と書かれているが, 7[®] の間違いと思われる.

MSCZ(モルッカ海衝突帯)では、マイクロプレート



図10. ユーラシアプレート南部地域の構造図(Hall, 2002). ここで興味深いのはフィリピン海溝とマニラ海溝の南端,およ び,それがチモールトラフへ抜けるところである. ユーラシア が沈み込んでいるマニラ海溝の小区間以外は,それはどこでも 乗り上げているように見える.



図 11. ポルトガル沖のタグス (Tagus) 平原(左) をとりまく 渦巻構造とブラルタル海峡沖のホースシュー海山群(右)の SASS データにもとづく 3D 画像. アゾレス / ジブラルタル海嶺 の北の支脈が 2 つの低地を隔てている. どこに混乱があるのか, いつそれらが絡み合ったり広がったりしつつ断裂帯の通り道を 遮断したのかを見ることができる.

の融合体が、2つの沈込み帯の間で直角に衝突する ような混乱を作りだしている.サンギへ(Sangihi)・ ハルマヘラ (Halamahera)・モルッカ海 (Molucca Sea)の3つのプレートは、ハルマヘラ弧・サンギ へ弧と混在している.混乱に加えて、フィリピン海 溝がルソン島の東の15[®] で始まり、ハルマヘラの 南の赤道まで約1,320km 続いている.この地点で、 収束型境界は、沈み込む帯から衝突型境界に戻る.

ここでフィリピン海溝はバンダ海渦巻構造の泥沼 に巻き込まれて消滅し(Smoot and Leybourne, 1998),その地域を通過し、ジャワ海溝として西へ 向かう(図7).ここは、フィリピン海溝とパラオ 海溝がチモールトラフと出会い、カロリン・フィリ ピン・インド-オーストラリア・太平洋の各プレー トがすべて出会う複合的な会合部である.もしそれ がお好みなら、モルッカ海・サンギへ・ハルマヘラ・ バンダ海・チモール・カロリン・バーズヘッド*と いったマイクロプレート群がすべて出会うところと 考えることができる.これらのすべてはユーラシア プレートの南東部である.インド-オーストラリア プレートはユーラシアプレートに対して沈み込んで いる.それは乗り上げている.

 * バーズヘッド (Bird's Head):鳥の頭の形に似たニューギ ニア島西端のドベライ (Doberai) 半島の通称.

南のチモールトラフは、長さ3,200kmのジャワ(ス ンダ二重)海溝に接続している.この沈込み帯は、 南東で小スンダ列島からジャワとスマトラを通り、 インド洋のアンダマン諸島で北西〜北へ向かう.そ の地点から、沈込み帯は IYSZ と合わさってユーラ シアプレート南東部の衝突型境界となる.

ユーラシアプレートの西端であり, MAR の始まりで ある地点へ戻る間は,いくつかの断裂帯がユーラシ アプレートとアフリカプレートの境界になり得る (Smoot, 1989). ピコ (Pico) / アゾレス (Azores) 断裂帯は東方でジブラルタル海嶺とホースシュー 海山群に続き(図11)、海側ではポルトガルとジブ ラルタル海峡に続く (36°N, 13°W まで 1,800 km). 北の支脈は、アルプス造山運動の北の圧縮境界と して、スペインのベチック (Baetic) 山脈に入る. これはアルプスとカルパチアへと続く.この経路 の南で,ハイエス (Hayes) / オセアノグラファー (Oceanographer) メガトレンドは、ホースシューの 南支脈を通って、直接、北アフリカのアトラス山脈 に入る. その境界はアトラス山脈から抜け出てヘレ ニック弧(Hellenic Arc)の沈込み帯に接合する. どちらのトレンドも活動は穏やかで、どちらもアフ リカプレートとユーラシアプレートの境界になりうる.

陸上では、アフリカ・インド-オーストラリア・ ユーラシアの各プレート間の境界は、一般にアルプ ス造山帯に従う(図13).アルプス造山帯は暁新世 後期~始新世に位置づけられる.ロディニア前期と パンゲアの超大陸、古生代前期のカレドニア造山運 動、古生代後期のバリスカン造山運動の構築では、 これらのどの山脈にも地層が欠けている(Agard et al., 2005).

この一連の山脈(図13)は、西から東へ、アトラ ス(2,500 km)・アペニンアルプス・ディナルアル プス・カルパチア・ロードペス(バルカン;約240 km)・ヘレニデス(230 km)・コーカサス・アルボルツ・ タウルス・ザグロス(1,500 km)・ヒンドウークシュ (966 km)・パミール・カラコルム(500 km)・ヒマ ラヤ(2,400 km)といった衝突型境界を含んでい る.その大部分はインダス-ヤルンツァンポー縫合 帯(IYTSZ)に含まれ、それはアフリカ・アラビア・ インド-オーストラリアの各プレートとユーラシア プレートの間の衝突帯である.



図 12. 提案されているアフリカ-ユーラシア境界に対して NEIC が作 りだした地震の震央.より強い境界 は南支脈であるように見える. 混乱 が納まるのはユーラシアプレート上 である.



図13. ユーラシアとアフリカ-ア ラビアの間のプレート境界を創りだ す試みにおいて、インターネット上 のEGUblog*がアルプス造山運動に おけるテクトニクスの要点を解説し ている.提案されているアドリア・ エーゲ・アナトリアというマイクロ プレート群はすべて断層の間におさ まっている.

* EGUblog : http://blog.egu.eu/ divisions/gd/page17/

大規模な衝上断層がアフリカ-ユーラシア衝突帯に 沿って生じている. アトラス山脈はスペインのべ チック山地に対して衝上している. この地域とトル コのザグロス山脈の間には、可能性というスプリッ ターの夢が詰まっている. アドリアプレートはアペ ニン山脈とディナルアルプスの間にある.エーゲプ レートは、ヘレニデス (Hellenides) 山脈とロドピ (Rodopi) 山脈の間にある. さらに東には、タウル ス(Taurus)山脈とポンテック(Pontic)山脈の間 で、トルコとアナトリアの大部分を含むアナトリア プレートがある.東アナトリア断層は、それとアラ ビアプレートの境界を形成している. 北アナトリア 断層はアナトリアプレートとユーラシアプレートの 境界を形成している.面白いことに、これらの提案 されているプレートのどれもが、その接合部に発散 型境界を持っていない. 接合部はすべて, 大陸地殻 に押された大陸地殻の脇の正断層と衝上断層からな る圧縮帯に過ぎない、小規模な沈込み帯がギリシャ の南に存在する.

ザグロス山脈中のテクトニズムは、アラビアプレートが南からヨーロッパプレートに沈み込んでいる オマーン湾の北縁に沿っている(Ross et al., 1986). これは、結果として一連の背斜と山嶺を 作った衝突に対する造山性の反応である(Agard et al., 2005). ザグロス単純褶曲帯・高ザグロス "圧砕帯", 主ザグロススラスト (MZT)・サナンダ イ (Sanandaj) - シリャン (Sirjan) 帯・ウルミー (Urumieh) - ドクタール (Doktar) マグマ集合帯と いう5帯がZCZを南西から北東に特徴づけている. 衝突のタイミングは、漸新 - 中新世の礫岩の堆積前 に定置したオフィオライトの上に衝上している始新 世の火山岩類である. イラン南東に分布するテチス のオフィオライトは、白亜紀後期に定置した(Babaie et al., 2001). MZT (主ザグロス衝上) は, 深く 根をはっていて,おそらくモホにまで達している. Konert and others (2001)は、中央イランの堆積 物が三畳系あるいはそれより古い地層の固結した表 面,ときには先カンブリアの基盤さえ覆って分布し ていると結論付けた.したがって,地質学的に若い 第三紀の山脈によって覆われたアルボルツ(Alborz) やザグロスのような多少とも安定な先カンブリア楯 状地構造の残骸の並びが, 疑いのないテクトニック フロントを示している (Smoot, 2007). 先カンブリ ア後期と三畳紀中期からの造山運動は欠けている (Stump et al., 1993).

ZCZ は、56.6°E でミーナーブ(Minab) 断層を通り、 長さ900km のマクラン(Makran)海溝および褶曲帯 と出会う(図14).この海溝はペルシャ湾内でほぼ 65°E ~ 66°E まで連続し、そこでチャマン(Chaman) およびオルナック - ナル(Ornach-Nal)断層群と出 会う. この海溝は、ユーラシアプレートが、沈み込 むアフリカプレートに乗り上げている場所である. この断層群は、ヒマラヤ造山帯へと続くユーラシア プレートとインド-オーストラリアプレートの境界 である.

IYTSZ はパミールとヒンドウークシュを通り、カ ラコルム山脈まで続く (Meyerhoff et al., 1992; Smoot, 2007). シアクー (Sia Kuh) 山脈は北西で ヒンドウークシュと合流する.マクラーン海溝はマ クラーン褶曲帯の一部で、その褶曲帯はマクラーン





図14. マルチビーム測深機によるマクラーン収束境界. ザ グロス圧砕帯としてのペルシャ湾沖からの収束過程で押し上 げられた海嶺の褶曲帯を示している (Cotton et al., 1995; Smoot, 2015).

山脈とスライマーン (Sulaiman) 山脈を含む. これ らはインダス川の北に位置している.パキスタンと アフガニスタンの大規模な渦巻構造は、シャガール (Chagal) 火山帯・ヒマラヤ - キルタール (Kirthar) 褶曲帯・カラコルム衝上断層帯・マクラーンフリッ シュ盆地に囲まれている.したがって, IYTSZ は, インド衝突を認めるなら、かなり複雑な縫合帯である.

IYTSZ に沿っていくと、それは西太平洋の海溝で終 わる. カラコルムおよびヒマラヤ地域のテクトニ クスと地質は、提案されているインド-ユーラシ ア縫合帯の最も重要な焦点とならざるをえないの で,我々はこれを考察することにしよう.カラコル ム山脈北部~ヒンドウークシュ東部の調査地域の層 序シーケンスは、中軸バソリスと北部堆積帯 (NSB) を有し、そのそれぞれが、3つの明瞭な構造層序ユ ニットを有している (Gaetani et al., 1996). 先 オルドビス紀の基盤は結晶質で,オルドビス紀~デ ボン紀、デボン紀後期~ペルム紀前期、ペルム紀前 期~ジュラ紀の層相を示す両者のレジームを経験 し、先オルドビス紀の浅海性海進と、ペルム紀のテ チス海の拡大を伴っている.ペルム紀の1地点を除 いて,深海相はない.

こうして、強い変形・マグマ活動・ミグマタイト化・ 造山時階後期の花崗岩質岩類などを伴いながら、大 陸地殻の形成が 370my にわたって浅海環境下で続い た. オルドビス紀とシルル紀の全期間は海の大陸棚 環境のもとにあった.中生代/新生代初期の変形は, ユーラシアに対するコヒスタン弧 (Kohistan arc) * の衝突で中断された. これはスラストシートの中の 上部地殻のスタッキングとカラコルム中軸バソリス の定置を招く原因となった.

*コヒスタン弧 (Kohistan arc):原文ではKorhistanとなっ ているが,正しくはKohistan.パキスタン北部,カラコ ルムの南に位置する面積 30,000km²のテレーン.



ヒマラヤ山脈(図15)は、南から3つの構造層序 ユニットに区分される(Bhat, 2001):主中央衝上 断層帯(MCT)は、北方で非変成被覆堆積岩(テチ ス堆積層シリーズ)を含む高ヒマラヤ基盤片麻岩-片岩(高ヒマラヤ結晶質岩[HHC])と低ヒマラヤ帯 (ミッドランド層)の間のコントラストを際立たせ ている.低ヒマラヤ帯は南で主境界衝上断層帯(MBT) により仕切られている.

HIC 内の4つのユニットは、始生代後期の盆地形成 後、カンブリア紀前期まで、堆積作用が楯状地から 低ヒマラヤを通り高ヒマラヤまで続いたことを示唆 している.古生代前期までに海洋環境は楯状地でも 低ヒマラヤでも終わった.このような環境は、差別 的隆起と浸食が進行する間、北方へと続いた(LeFort et al., 1986)堆積作用は広範な花崗岩のマグマ活 動を伴った.これは、高ヒマラヤのカンブリア紀~ オルドビス紀の花崗岩を生み出した.そのときから 堆積中心はゆっくり北へ移動し、そこに膨大な堆積 物が蓄積された.

こうして, IYTCZ のリフト化したグループに沿って, ヒマラヤ地域の火山 - 堆積性シーケンスが, 2.51Ga から始新世まで揃っている. それ故, 縫合帯とは何 であろうか?

我々がこの地域にととまっている間に, 部屋の中で は800 ポンドのゴリラ*が横になって待っている. エベレストの上の海棲化石はどうなっている?ど のようにしてクジラ**はヒマラヤに行き着いたの か?彼らはすべての人の伝説の中にある洪水で行き 着いたのか?ワディアヒマラヤ地質研究所(Wadia Institute of Himalayan Geology) によりなされた 研究にもかかわらず、インドは山を押し上げるよう なことをしたのか?答えはチベット高原にある.ク ジラは、その進化系統の早期の形である Pakicetus であった、このクジラは4本の足を持ち、どこでも 望むところへ歩いて行くことができた. あるグルー プは,高度15,000フィートのチベット高原を研究 してきた (Florida State University, 2008). 彼 らは、海棲ではなく、湖沼棲の化石を発見した、そ して, 極地の氷河が全部一度に融けたとしても, 海 水準はわずか200~300フィートしか上昇せず, 29,000 フィートでないことは確かである.答えは, 高原で見いだされる石灰岩の柔らかくて熱い層にあ る. その層は南へ流れ, 花崗岩でできたエベレスト 山に岩脈として貫入した (Searle et al., 2003). それはウミユリ類のようなものではなく,腕足類が, HHC 内の目立たない地点でのみ、そこいら中に発見 された.

* ゴリラ:Smoot 特有の表現だが、やっかいな問題の喩えか?

** クジラ:パキスタン北部とインド西部で発見され, Pakicetus と名付けられた四足の哺乳動物.クジラの祖 先とされ,約5,300万年前に水陸両域に生息していた (Gingerich, D., 1981). ヒマラヤ山麓で発見されたヒ マラヤクジラ (Himalayacetus) はその近縁種.

そして、そこでユーラシアの境界は完結する.

考察

母体となるユーラシアプレート上に提案されている マイクロプレートは、この調査者(著者)にとって は謎である.定義によると、プレートは発散型境界 と収束型境界のどちらも有する.さもなければ、地 球は沈み込みがないために膨張するであろう.もし くは、新しい地殻が生産されないために収縮するで あろう.これが真実なら、ユーラシアプレートは 困ったことになる.あるいは、この惑星が困ったこ とになる.(ユーラシアプレートの)発散型境界は、 収束型境界の長さの1/4よりずっと短い.これは、 南極とアフリカのプレートに関する前の論文とまさ しく正反対である(Smoot, 2018).

ユーラシア上のマイクロプレートは多数にのぼる: 東部では、アムール・オホーツク・ヤンツー(揚子 江)・スンダ・モルッカ海・サンギヘ・ハルマヘラ・ バンダ海・チモール・カロリン・バーズヘッド. 南 部ではアドリア・エーゲ・アナトリア. スペインプ レートを含める人もいる. これらをよく見ると、大 部分は、プレートを規定するためのクライテリアの 1つまたは2つが欠けている. それ故, それらは考 慮に値しない.アムール・オホーツク・ヤンツーの"プ レート"は地震境界では定められない.スンダプレー トは(分割されたマイクロプレートの中では)最大 の例である.それは海溝システムによって定義され, 発散型境界を伴わない.しかし、それは、フィリピ ン変動帯・MSCZ・モルッカ海プレート・バンダ海プ レート・チモールプレート・オーストラリアプレー ト・ビルマプレート・ユーラシアプレート・ヤンツー プレートで取り囲まれている.

小さな環状の地形についての1つの説明は、渦巻構 造としての可能性である.オロゲン陥没構造・重複 拡大センター・プルアパートベーズン・マイクロ プレートのようないくつかの異なったテクトニッ クタイプがこのカテゴリーに含まれる(Meyerhoff et al., 1992).それが形成されるのは、2つまた はそれ以上の加熱されたチャンネルが出会うことに よる.メイヤーホッフの、バイカル湖地域(図7の 地震により輪郭が描かれる)から南へ向かうユンナン(雲南)チャンネル(Yunnan channel)の例は、 東南アジアの小規模なプレートのすべての西縁と完 全に一致している.しかし、その輪郭はゴビ砂漠と 約1,000kmにわたって交差している.残念なことに、 その線に沿った、収束型境界の指標である南北方向 の山脈はない. メイヤーホフの共同研究グループのサージアイデア の最初のパラグラフでは、南北方向のユンナン大陸 幹線チャンネルは、38^N(ユンナンコーベルゲン)、 35^N(ヘタオーインチュアンリフト)、33^N(フェ ンウェイリフト)で東へ向かう3本の決壊チャンネ ルを備えている.地球物理学的・地質学的な証拠は 多数あり、これらの地形もまた、中国東部で提案さ れたマイクロプレートの境界を形成する.決壊チャ ンネルは、ヤンツープレートの北の東西方向の境界 を画するが、その輪郭は地震によっては規定されて いない.東西方向の山や河谷でヤンツープレート、 あるいは、スンダプレート北端の南の境界をなぞる ものはない.自然の境界が無く、地震の線も無しに、 私はユーラシアプレート東部の境界の中に小規模な マイクロプレートを設定する理由を思いつかない.

インドとアジアの衝突の代わりに、層序的記録か ら別なテクトニックシナリオを示すことができる. 石炭紀後期から白亜紀後期までのテチス海の形成 は、リソスフェアの隆起・伸長と正断層の発達をは らんでいた (Bhat, 1987). 浅い水路は最大で幅が 500kmに過ぎなかった. その記録は,始生代後期に 形成された盆地の1つで、その後、すべての方向か ら高ヒマラヤへと向かう堆積作用が続いた.海の環 境は, 楯状地と低ヒマラヤユニットでは, 古生代前 期までに終わった.海の環境は、盆地が差別的隆起 と浸食を受けた北の地域では続いた、広範なマグマ 活動は高ヒマラヤのカンブリア紀~オルドビス紀の 花崗岩類を生み出した. その時から現在まで, 低ヒ マラヤ地域が海面下にあったことはない;そこは陸 化していた.知られているように、海棲化石は、後 に, チベット高原から貫入した岩脈として定置した (Searle et al., 2003). そして, 少なくとも指示 者として、ヒマラヤ山脈が2つの大陸の衝突として 形成されたものではない.

この事実は、どのような形であれ、大陸移動の概念 が誤っていることを示している.縫合帯は、超塩基 性岩が存在することで,大陸間の衝突がどこで生じ たかを示すものとして提案されてきた.しかし、そ のモデルはすべての構造帯が同じ起源であり, 圧縮, 走向移動, 引張のすべてが同じ場所で同時に生じた ことを如実に示すことはできていない. プレートテ クトニクス仮説の基礎が築かれて以来、多くの野外 研究がそれとは矛盾してきた. IYTSZ は、現在は、 古くて引張性で、リフト化しつつある造構環境にあ り、そこでは塩基性および超塩基性岩類が断層シス テムに沿って上昇していると考えられている(Smoot et al., 2001). IYTSZ は縫合帯でないとさえ言え る. テチスの水路は、それほど深くはないが、ちょ うど北アメリカ西部の内水路のような水路であっ た. また, それは白亜紀までに役割を終えた.

ヘレニック"沈込み帯"について見ると、それは

地中海盆東部のプリニー (Pliny) 海溝とストラ ボ (Strabo) 海溝である. その帯は左水平ずりの 走向移動断層のように見える (Peters and Huson, 1985; Ozbakir et al., 2013). むしろ,薄くなっ た大陸縁辺は,実際は,地殻ウェッジである可能性 が高い. このウェッジはロードス (Rhodes) スラス トと褶曲帯により担われている (Ozbakir et al., 2013).

エーゲプレートに関していうと, それは完全な渦巻 構造である (Meyerhoff et al., 1992; Meyerhoff et al., 1996).

アドリア (Adriatic) / アプリア (Apulian) プレー トは南アルプスを通る大陸性のアドリア縁辺シーム 断層により画されている (図 13). 東縁は,走向移 動断層と衝上断層が混在したディナアルプスである (Picha, 2002). 西では,アドリアプレートが,イ オニア海に向かってイタリアのアペニン山脈の下へ 沈み込んでいる. それは,アドリア海の中央を走る 発散型境界を持っていない. したがって,私は,そ れはまったくマイクロプレートではないと考える. それはアフリカで生まれ収束過程にある単なる別の 圧砕帯である.

加えて、極移動は、インドをヨーロッパへと動かす 可能性のあるプレートテクトニクスの駆動源として 考えられてきた.ここで再びメイヤーホフグループ によると、彼らは、アセノスフェアに関連した大陸 の地球物理を研究するうちに、大陸の根が、80~ 200km と見積もられるリソスフェアの下のアセノス フェアを貫くほど深いことを地震トモグラフィーに より発見した.大陸は約500kmの深さに根がある. これは、Lowman (1986)に、(大陸の)断片はどこ へでも動くというわけではなく、海洋底拡大が可能 なのは海洋地殻の断片の間のみであるという結論に 至らせた.大陸地殻が大洋地殻に乗り上げられると いう地殻の薄化は、もう1つの可能性である(Smoot, 2018)

MOR の 6,348km という直線距離もまた大きな問題で あり,16,934km というユーラシアプレートの収束 境界はこれをはるかに凌駕している(図1).これ は南部およびアフリカプレートの関係と正反対であ る.しかし,どの地殻もユーラシアプレート上では 失われていない;それは沈込み帯に乗り上げている. 拡大速度が地球上のどこよりも遅いのに,購入率(沈 み込みの速度?)はさらに遅い.それは九分通り実 在しない.地殻はマニラ海溝でだけ失われている. それは,モマリフトと2,600kmのアゾレス断裂帯で はトランスフォームレジームになっている.

提案されているプレートの動きは関連する動きの原 因にもなる.動くプレートは多少塑性的なものとさ れてきた.しかし,提案されているプレートの動く 方向が異常なものに対しては,別の新しいマイクロ プレートが提案されている.ここで提案したいこと は,我々が海底地形,地震情報など多様な研究グ ループに注意を払い,テクトニックプレートが,そ うでなければならないという厳密な定義を如実に示 すことである (Smoot, 2001).事実,スプリッターが, アフリカプレートをヌビアとソマリアのプレートに 分けることにそれほど興味を持つのであれば,ユー ラシアプレートがアフリカと接合せず,ヨーロッパ +アジアのプレートになるのは不思議である.同じ 量の情報がどちらでも失われている.引用するなら, "デンマーク国では何かが腐っている"*のである.

* シェークスピアの戯曲「ハムレット」の中でのマルセラス のセリフ.ハムレットはデンマークの王子.

駆け足で、南極/南部、アフリカ、ユーラシアとい う3つのテクトニックプレートを議論してきた.発 散型境界は沈込み型/衝突型境界の直線距離よりは るかに長い.海溝が存在するところでは、ユーラシ アプレートが大部分乗り上げて(沈み込まれて)いる.

謝辞:本論文は Dong Choi と匿名の査読者により修 正され受理された.正しい方向に向けてくれた両者 に感謝する.

補遺

NEIC データベースの利用に慣れていない方々のために

- 1. "NEIC"で検索
- 2. 左の"Geologic Hazards Science Cente"をクリック
- 3. "NEIC"(青)をクリック
- 4. 左の青いボックス"Data and Products"をクリック
- 5. 下の"Products"のうちの"Google Earth/KML Files"をクリック
- "Earthquakes in Catalog" をクリックしてパラ メータへ
- 7. あなたのコンピュータの "Print Save" をクリック

文 献

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros, Iran: constraints from collisional and earlier deformation. International Journal of Earth Sciences 94, 401-419.
- Babaie, H.A., Ghazi, A.M., Babaie, A. and others, 2001. Geochemistry of arc volcanic rocks of the Zagros Crush Zone, Neyriz, Iran. Journal of Asian Earth Sciences 19:1-2, 61-76.
- Bhat, M.I., 2001. Untenability of the Neo-Tethys: Okeanos was not a polygamist. In: J.M. Dickins, A.K. Dubey, D.R. Choi, and Y. Fujita (eds) Special Volume on New Concepts in Global Tectonics, Himalayan Geology 22:1, 5-16.
- Bourget, J., Zanagos, S., Ellouz-Zimmerman, N. and others, 2011. Turbidite system architecture and sedimentology pro-

cesses along topographically complex slopes: the Makran convergent margin. Sedimentology 58:2, 376-406.

- Brandsdottir, B., Hooft, E.E.E., Njelde, R., and Murai, Y., 2015. Original evolution of the Kolbeinsey Ridge and Plateau, N-Atlantic. G3 16:3, 612-634.
- Cochran, 2008. Seamount volcanism along the Gakkel Ridge, Arctic Ocean. Geophysical Journal International 174:3, 1153-1173.
- Cotten, J.E., Leybourne, B.A., Lowrie, A., and Villalobos, E., 1995. Acoustic geomorphology of the Makran margin: northern Gulf of Oman basin. In: Proceedings of the Third Thematic Conference on Marine and Coastal Environments II, 576-587.
- Dauteuil, O. and Brun, J-P., 1996. Deformation partitioning in a slow spreading ridge undergoing oblique extension. Tectonics 15:4, 870-884.
- Epp, D. and Smoot, N.C., 1989. Distribution of seamounts in the North Atlantic, Nature 337, 254257.
- Florida State University, 2008. Fossils found in Tibet revise history of the elevation, climate, Science Daily 12 June 2008.
- Gaetani, M., Le Fort, P., Tandi, S. and others, 1996. Reconnaisance geology in Upper Chitral, Baraghil, and Karambar districts (northern Karakoram, Pakistan), Geolische Rundschau 85:4, 683-704.
- Gernigon, L. and others, 2012. The Norway Basin revisited:From continental breakup to spreading ridge extinction.Ma- rine and Petroleum Geology 35:1, 1-10.
- Global Volcanism Program, 2009. Report on East Gakkel Ridge at 850E (Undersea Features). In: Wunderman, R. (ed),
- Bulletin of the Global Volcansm Network 34:5, Smithsonian Institution.
- Hall, R., 2002. Cenozoic geologic and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific. Journal of Asian Earth Sciences 20:4, 353-431.
- Hoskuldsson, A., Hey, R., Kjartansson, E. and Gudmundsson, G.B., 2007. The Reykjanes Ridge between 63o10'N and Iceland. Journal of Geodynamics 43, 73-86.
- Imaeve, V.S., Imaeva, L.P., Kozmin, B.M. and others, 2009. Recent geodynamics and evolution of the Moma Rift, North- east Asia. Geophysical Research Abstracts 11, EGU General Assembly, p. 3548.
- Jakobsson, M., Mayer, L.A., Coakley, B. and others, 2012. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IB- CAO) Version 3.0. Geophysical Research Letters, doi:1029/2012GL052219.
- Japanese Maritime Safety Agency, 1991. Bathymetric Chart of the Southern Seas of Nippon. Surveys of the Hydrographic Department, Lambert Conformal Conic Projection, scale 1:2,500,000.
- Konert, G., Afifi A.M., Al-Hajri, S.A. and others, 2001. Paleozoic stratigraphy and hydrocarbon habitat of the Arabian plate. In: Petroleum Provinces of the Twenty First Century, AAPG Memoir 74, 483-515.

- Le Fort, P., Debon, F., Pecher, A., Sonet, J. and Vidal, P., 1986. The 500 Ma magmatic event in alpine southern Asia, a thermal episode at Gondwana scale. In: P. Le Fort, M. Colchen, and C. Montenat (eds) Science Terre 47, 191-209.
- Lowman, P.D., Jr., 1986. Plate tectonics with fixed continents: a testable hypothesis II. Journal of Petroleum Geology 9:1, 71-87.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Martin, B.D. and Meyerhoff, H.A., 1992. Surge tectonics: a new hypothesis of Earth dynamics. In: S. Chatterjee and N. Hotton III (eds.) New Concepts in Global Tectonics (Texas Tech University Press, Lubbock), p. 309-409.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-Kayerm N,m Bha, M.I., Smoot, N.C. and Choi, D.R., 1996. Surge tectonics: A new hypothesis of global geodynamics. Kluwer Academic Publishing.
- NASA, http//slideshow.jpl.gov/mbh/all/images. (plate flow diagram
- Neo-Tectonics Breakout Group, 2004. Joint U.S.-Russia Workshop on the Plate Tectonic Evolution of Northeast Russia. National Science Foundation Workshop, Stanford University.
- Oxman, V.S., Parfenov, L.M., Prokopiev, A.V. and others, 1995. The Chersky Range ophiolite belt, northeast Russia. The Journal of Geology 103:5, 539-557.
- Ozbakir, A.D., Sengor, A.M.C., Wortel, M.J.R. and Govers, R., 2013. The Pliny-Strabo trench region: a large shear zone resulting from slab tearing. Earth and Planetary Science Letters 375, 188-195.
- Peters, L.M. and Huson, W.J., 1985. The Pliny and Strabo trenches (Eastern Mediterranean): integration of seismic refle - tion data and SeaBeam bathymetric maps. Marine Geology 64:1-2, 1-17.
- Picha, F.J., 2002. Late orogenic strike-slip faulting and escape tectonics in frontal Dinarides-Hellenides, Croatia, Yugoslavia, Albania, and Greece. AAPG Bulletin 86:9, 1659-1671.
- Pirli, M., Schweltzer, J. and the IPY Project Consortium, 2018 (in press). Seismicity along the Mohns-Knipovich Ridge Bend and its correlation to ridge spreading rate. Journal of Geodynamics.
- Renard, V., Avedik, F., Geli, L. and others, 1989. Characteristics of the oceanic crust formation of the part of the Mohns Ridge, near 72oN, in the Norwegian-Greenland Sea, Morphological study and underway geophysics. Terra Cognita 1, 206.
- Ross, D.A., Uchupi, E. and White, R.S., 1986. The geology of the Persian Gulf-Gulf of Oman Region: a synthesis. Reviews of Geophysics 24:3, 537-556.
- Searle, M., Simpson, R., Law, R. and others, 2003. The

structural geometry, metamorphic and magmatic evolution of the Everest massif, High Himalaya of Nepal-South Tibet. Journal of the Geological Society 160:3, 345-366.

- Singh, B.P., Lokhok, K., Kishore, N., and Virmani, N., 2014. Early Cambrian Icnofossils from the Mussoorie Syncline and revision of the trace fossil biozonation of the Lesser Himalaya, India. Journal of the Geological Sciences of China 88:2, 380-393.
- Smoot, N.C., 1989. North Atlantic fracture-zone distribution and patterns shown by multibeam sonar, Geology 17, 11191122.
- Smoot, N.C., 1997. Aligned aseismic buoyant highs, acrosstrench deformation, clustered volcanoes, and deep earthquakes are not aligned with the current plate-tectonic theory, Geomorphology 18:3/4, 199-222.
- Smoot, N.C., 2001. Earth geodynamics hypotheses updated. Journal of Scientific Exploration 15: , 465-494.
- Smoot, N.C., 2007. Wherefore the Tethys Sea(s)?, New Concepts in Global Tectonics Newsletter 45, 21-30. Smoot, N.C., 2015. Marine Geomorphology 3rd Edition (MindStir, Portsmouth), 265 p.
- Smoot, N.C., 2018. Is the placement of Pacific basin plateaus and rises dependent upon megatrend intersections? New Concepts I Global Tectonics Journal 6:1, 37-72.
- Smoot, N.C., and Sharman, G.F., 1985. CharlieGibbs: a fracture zone ridge, In: G.F. Sharman, III and J. Francheteau (eds), Oceanic Lithosphere, Tectonophysics 116, 137142.
- Smoot, N.C. and Leybourne, B.A., 1998. Remotely sensed data contribute to the paradigm shift of ocean basin tectonics: the Banda Sea vortex structure as an example, Proceedings of the International Symposium on New Concepts in Global Tectonics, pp. 262-267.
- Smoot, N.C., Choi, D.R., and Bhat, M.I., 2001. Active Margin Geomorphology, (X-libris Corp. Philadelphia USA), 164 p.
- Stump, T.E., Connally, T.C., and van der Eem, J.G.L.A., 1993. Major events in the late Precambrian to early Triassic geohistory of the Arabian Peninsula. AAPG Bulletin 77, 1668-1669.
- Sunuwar, L. Cuadra, C. and Karkee, M.B., 2004. Strong ground motion attenuation in the Sea of Japan (Okhotsk-Amur plate boundary) region. 13th World Congress on Earthquake Engineering, Paper Number 197.
- Yeo, I.A., Devey, C.W., LeBas, T.P. and others, 2016. Segmentscale volcanic episodicity: Evidence from the North Kolbeisey Ridge, Atlantic. Earth and Planetary Science Letters 439, 81-87.
- Zitellini, N., Gracia, E., Matias, L. and others, 2009. The quest for the Africa-Eurasia plate boundary west of the Strait of Gibraltar. Earth and Planetary Science Letters 280:1-4, 13-50.

大陸地殻,海洋地殻,マントル中の希土類元素:地球物理学的な結論 Rare Earth Elements in Rocks of the Mantle and Crust of Continents and Oceans: Geodynamic Consequences

Boris Blyuman

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

(小坂共栄・久保田喜裕・矢野孝雄 [訳]・宮城晴耕 [訳編])

要旨:深海域と大陸域の造山帯におけるカンラン岩,大陸地殻基底部の塩基性グラニュライトと海洋地殻基底部のハンレ イ岩,中央海嶺玄武岩 (MORB) と大陸域の洪水玄武岩 (CFB),それぞれの岩石中の希土類元素 (REE)の存在度 (濃度) を比較検討した. Archean (始生代)のアルミナに枯渇したコマチアイト (ADK) と Paleoproterozoic(古期原生代)のアル ミナに富むコマチアイト (ANK)の REE 存在度パターンは異なっている. ADK ではコンドライト的な REE 組成を,また ANK は軽い希土類元素成分に富んでいる (LREE). このような違いは,それぞれが大陸地域,海洋地域の岩石グループに由 来しているためである. 先カンブリア時代初期に ADK や ANK が存在していたことを考えると,カンブリア紀以降の大陸域 や海洋域ではそれを引き継いだ火成活動が起きたと考えられるのである. したがって,大陸や海洋の空間的な配置は,先 カンブリア時代の初期から固定されていたと考えられる.

 $\neq - \nabla - F$: rare earth element, peridotites, komatiites, gabbros, granulites, basalts, continents, oceans, geodynamics

はじめに

中生代に存在していた大陸と海洋それぞれの地域に おける玄武岩質の火成活動は,基本的な点で異なっ ていた.海洋地域において何度も繰り返された火山 活動の規模は,大陸地域でのそれをはるかに凌駕す るものであった.今日,海洋地域には大陸地域と は異なって,花こう岩,グラニュライト,片麻岩, キンバーライト,エクロジャイト,ザクロ石カン ラン岩などの岩石が分布していないという点で異論 はないであろう.海洋と大陸とのこのような違いを 説明するためには,次にあげるような疑問に答える 必要がある.

○深海域でのかんらん岩と大陸の造山域でのカンラ ン岩の間には何かしらの違いがあるのか?

○大陸地殻基底部の塩基性グラニュライトと海洋地 殻の第三層であるハンレイ岩−結晶質苦鉄質岩の間 には違いがあるのか?

○海洋玄武岩と大陸玄武岩との間には違いがあるのか?
○先カンブリア時代初期のマントルを代表すると考えられるコマチアイトには、海洋域と大陸域とでどの程度の違いが認められるのか?

○先カンブリア時代後の大陸地殻基底部の塩基性グ ラニュライトや海洋地殻第三層などに引き継がれた とみられる先カンブリア時代初期のマントルの地球 化学的な特徴はどんなものであったのか?

これらの疑問に対する答えを見つけるべく,筆者は 各地域,各時代の岩石中のREEの存在度(濃度)の データを比較・検討することにした.

大陸地域の造山帯のかんらん岩の REE と 深海域のかんらん岩の REE

カンラン岩やコマチアイトは,大陸地域のリソス フェアマントル由来の深成岩的なもの(カンラン岩) と火山岩的なもの(コマチアイト)である.現在の 世界の海洋地域の造山性カンラン岩やマントルは深 海性のカンラン岩(abyssal peridotites)である. この造山性 カンラン岩は,大陸地域のbasalt中の ゼノリスやキンバーライト中のゼノリスとして認め られている.造山性カンラン岩と深海性カンラン岩 の記載岩石学的な特徴はともによく似通っており, レールゾライト,ハルツバージャイト,まれにダ ナイトなどを含んでいる.先カンブリア時代初期の キンバーライト中のゼノリス中に普通に見られるザ クロ石カンラン岩(Floyd, 1991)は,海洋域の中 には認められない.

海洋域の深海性カンラン岩に関する REE のデータ が、大西洋の St. Peter and Paul 岩礁の西方 300 kmでの海底ドレッジによるカンラン岩で得られた (Brunelli, 2010). このカンラン岩は何らの変形も していなくて、粗粒な粒状組織をもった典型的な深 海性カンラン岩であった.また、地表部に露出した 形跡もないものであった (Brunelli, 2010).造岩 鉱物中には何らの累帯構造も認められない.鉱物中 の melt inclusion 内の REE の存在度について検討 した (図 1). これを見ると、軽い REE (LREE) が減 少していることが分かる.

インド洋中央海嶺 (MOR) の南西にある Atlantis II ridge の Site735B で得られた深海性カンラン岩につ いても、同様に REE の存在度の検討を行った.そこで はドレッジと潜水によってカンラン岩が採取された (Warren, 2010).このカンラン岩中の小球内や単斜輝 石結晶外縁に沿う部分の REE 存在度を検討した(図2). それによれば、このカンラン岩中の LREE の減少傾向

6

e



Stelmeyt ridge(太平洋)の単斜輝石,蛇紋岩,アポレー 図 3 ルゾライト蛇紋岩中の REE. 凡例:上から下に向けて順に,深 海性カンラン岩, アポダナイト蛇紋岩, アポレールゾライト蛇 紋岩, enrich した輝石のスペクトル (アポレールゾライト蛇紋 岩) (Krasnova, 2014)

と、Indian MOR の玄武岩中の "平らな" コンドライ ト的な傾向は、それぞれ独自の特徴を示している.

太平洋の Stelmeyt ridge で採取されたカンラン岩 のREE存在度についても検討された(Krasnova, 2014). ここのカンラン岩中の REE は大西洋のそれ と同じである(図3).

紅海のZabargad Islandの深海性カンラン岩の LREE は少ない傾向にあるが、それは深海性カン ラン岩特有の特徴とみられる (Piccardo et al., 1988) (図4).

図1カンラン岩の溶融体中のREE. 灰色のゾーンはSt. Peter and Paul 岩礁地域から採取された玄武岩とアルカリ玄武岩の REE (Brunnelli, 2010)

図2 カンラン岩に含まれる単斜輝石中の REE の変 化. 6K-465-2 と RC-9-6-5 中の単斜輝石粒子の edge から中央部にかけての REE 値はオレンジ色で示し てある. 両粒子とも, REE 値は deplete している, edge に向かっては増加する傾向にある. 6K-462-2 の単斜輝石は, LREE に関して deplete しているも のと enrich しているものとの中間的な値を示して いろ (Warren et al.,2010).



図 4 Zabaragad の代表的なカンラン岩サンプルの REE. 白丸, 黒菱形, 黒星形などはそれほど deplete していないが,黒三角はそれよりやや deplete したレールゾライト, 白三角はそれ以上に deplete したレー ルゾライトである. コンドライトで規格化された REE 値の(R)はマグ マ形成の溶融残存物, (F) は溶融液である (Piccardo et al., 1988)

今度は、大陸地域の造山性カンラン岩-玄武岩中に みられる深部由来のゼノリスやキンバーライト中の カンラン岩、オフィオライトに伴われるカンラン岩 中の REE の存在様式などについても検討してみよう.

図5の(a)は、先カンブリア時代の無数の構造体 中のキンバーライトやランプロアイト(lamproites) のカンラン岩ゼノリスのREEである.(b)は Central Asia belt中のアルカリ 玄武岩中のREE である(Glebovisky et al., 2004).

Bodinier et al. (2005) は, Ronda, Pyrenees, Lanzo 地域のカンラン岩中の REE についてのデータ を提供している (図 6).

両事例には、コンドライト的なの REE の分布傾向が よく記録されており、これらの岩石がすでに考察し たLREE (Light Rare Earth Element:軽希土類元素) の枯渇が著しい深海のカンラン岩とは明瞭に区別さ れることが示されている.

海洋と大陸地殻の下部にある苦鉄質岩の希土類元素

海洋地殻第3層におけるハンレイ岩中の REE は、イ ンド洋や世界の海洋における深海掘削のコアサン プルで検討されている (南西インド洋中央海嶺の サイト 735B,大西洋中央海嶺のサイト U309). 図7 (Coogan et al, 2001)は、REE、カンラン石ハンレ イ岩、ハンレイ岩、ハンレイ岩-ノーライト、酸化 ハンレイ岩のスペクトルを示している.

トロクトライトから酸化ハンレイ岩へ変化するに つれ、REE 含有量が直線的に増加することに注目さ れたい.REE 分布の同様の動向は、南西インド洋 中央海嶺、大西洋 II の高まり(the Atlantis II elevation)サイト 735B における海洋地殻第3層の



図5 (a) 先カンブリア時代の構造体中のキンバーライトとラン プロアイト中のカンラン岩ゼノリスの REE. (b) Central Asia fold belt のアルカリ玄武岩中のゼノリスの REE (Glebovitsky et al., 2004).



図 6 Ronda, Pyrenees, Lanzo 地域のレールゾライト, ハルツバー ジャイト, ダナイトの REE (Bodinier et al., 2005)



図7 サイトU309のハンレイ岩のREE a) カンラン石に富むト ロクトライトとトロクトライト; b) カンラン石ハンレイ岩と ハンレイ岩-ノーライト(斜方輝石 5%以上)+, c);酸化ハン レイ岩と優白質貫入岩.サイトU309における玄武岩と輝緑岩の REE とカンラン岩組成のもの(灰色実線)が比較して示されて いる.岩石名は図に挿入してある(Coogan et al, 2001).

 ハンレイ岩に現れている (Coogan et al, 2001).
 ここでは (図8), 中央海嶺 (訳者注: MAR は MOR の誤 植か) のグラフは, ハンレイ岩だけでなく, 玄武岩 (MORB) とカンラン岩とを比較したものも示されている.

グラフに示されているハンレイ岩,カンラン岩,玄 武岩の枯渇度は高い.塩基性大陸のグラニュライト は,海洋のガブロとは異なり,LREE に富み,Eu(ユー ロピウム)の顕著な高異常といった特徴がみられ る.Taylor, McLennan (1988)によれば、グラニュ ライトのこの地球化学的特性は、大陸の下部地殻を 代表するものと想定される.

図9(Taylor, McLennan, 1988)には、アフリカ・ヨー ロッパクラトンにおけるグラニュライトのREE スペク トルが示されており、また図10には、江西省・河北省 (中国)におけるグラニュライトのREE スペクトルが 示されている(Geochemistry of the Archea, 1987). REE 塩基性岩の既存の地球化学的データを要約する と:海洋地殻の基本をなすガブロと大陸地殻下部の



図8 サイト735B のハンレイ岩の REE,酸化ハンレイ岩,アパ タイトハンレイ岩 (インド洋中央海嶺).玄武岩中 (暗灰色) とペリドタイト中 (淡灰色)の REE.各図の暗灰色線は代表的 な岩石の平均値:a)ハンレイ岩;b)酸化ハンレイ岩;c)含ア パタイトハンレイ岩,アパタイトを伴う二つの酸化ハンレイ岩は 除く (Coogan et al, 2001).

苦鉄質グラニュライトは、体系的に異なっているこ とが指摘できる:海洋のハンレイ岩が LREE に枯渇 していることとは反対に、大陸の苦鉄質グラニュラ イトのそれは肥沃である.

海洋と大陸の玄武岩のレアアース

南西インド洋中央海嶺 (MOR) と McGuire 島の玄 武岩と比較すると、わずかな REE の含有量と分 布 (Nguen, 2013) が、北極の玄武岩 (Lena から Gakkel Ridge) で見られる (図 11).

大陸を覆う玄武岩の REE の地球化学的報告は、シベ リア卓状地の古生代後期の玄武岩、英国北極地方 (the Brito-Arctic province)の第三紀ないしはそ れより若い玄武岩、および米国北西地域とコロンビ ア台地の玄武岩のサンプルでなされている.いくつ かの州では、噴出の初期段階の玄武岩は、コンドラ イトの REE がなすトレンド、主に先に検討された造 山時の大陸性カンラン岩に特徴的に見られることを 示している.さらに、火山活動が大規模になり、大 陸地殻物質と玄武岩メルトの混合が拡がると、肥沃 な LREE メルトがすぐさま生ずる.

図 12 には、シベリア卓状地の REE 玄武岩の特徴 が示されている (Zolotukhin and Almukhamedov, 1988): Meimecha-Kotui と Norilsk-Kharaelakh 地 域のそれを代表的な N-MORB と比較した.図 13 には グリーンランド東部玄武岩 (英国北極地方の第三 系)中の REE が示されている (Dickin, 1988).



図9 REE スペクトル,下部地殻の多様な岩石のユーロピウムに富む様子を示す.これらはLewis,Skurianなど,および Lesotho, Burnak, Hoggar Conventional などのグラニュライト複合岩体のものが含まれる.サイト番号は上から順に: 3197-Burnak, 91-14-Hoggar, Lesotho, 4741-Sovjat-sur-Vizh. Lewis, 65-18-Skurian など (Taylor, Mc Lennan, 1988).







図 11 Lena の中央部および北部から、Gakkel Ridge (WVZ) の (CLT, NLT) とインド MOR (SWIR) の南西部、McGuire 島 (Nguen, 2013) を通る北極玄武岩のガラス中の微量元素と希土類元素の分布.



図 12 シベリア卓状地トラップにおける REE:1- Meimecha-Kotui 地方, 2- Norilsk-Kaharayelakh 地方;3- MORB 玄武岩 (Zolotukhin, Almukhahamedov, 1988).



図13 東グリーンランド北部のさまざまな層群から採集された玄 武岩類の REE. 上方及び下方の破線は、それぞれ海洋島ならびに MORB 玄武岩類の平均組成を示す. 下方の MORB および上方の 0IB 岩系と比べると、下部火山岩シリーズ (LPLS) におけるコンドラ イト様 REE トレンド、ならびに上部火山岩シリーズ (UPLS) の REE に富むトレンドが示されている (Dickin, 1088).

コロンビア台地の新期玄武岩には、前述の傾向に類 似した REE 分布が見出されている.そのような分布 が形成されるダイナミクスは、玄武岩溶岩が堆積 する割合が時間とともに減少することに現れてい る(Dickin, 1988)(図14).図15に、溶岩流の 連続的な形成過程における REE の変化傾向を示す (Dickin, 1988).

Imnach の最新期玄武岩(1600-1700万年前)は、 コンドライト様の REE 分布動向で特徴づけられる. また、玄武岩中の LREE に富む傾向は、時間の経過 とともによりいっそう明瞭になる.このことは、メ ルトと大陸地殻物質との相互作用が進んだことによ るもので、結果的にコンドライト様の REE 分布傾向 を示すようになった.

コマチアイトの希土類元素



図 14 コロンビア高原における玄武岩類の堆積速度の時間変化 (Dickin, 1988).



図 15 Columbia River 玄武岩類の REE. 1,2,3—Pikchur 峡谷 の試料群 (1-2:1つの谷の全分布範囲,3:もっとも進化した 玄武岩類,▲:Imnaha のグループA・Bと Imnaha (RC)の玄武 岩類一般 D, 縦線領域:Grand Ronde 玄武岩溶岩),A:Éclair 山 地の short stroke,R:Robinete 谷,Sh:Shoemaker 峡谷の玄武 岩溶岩,一点鎖線:Saddle Mountain 玄武岩溶岩,A:Astotin, U:Imatilla (Dickin, 1988)

コマチアイトは主に始生代および原生代-古生代に 広く分布している;中生代ではきわめてまれであ る.図16には (Dostal, 2008),コマチアイトの 時代別 分布が示されている;最大の分布は,38~ 35億年前と27~25億年前のグリーンストン帯に 明瞭に示されている.

世界各地のさまざまなグリーンストーン帯のコマ チアイトは、アルミニウムに枯渇(ADK)したもの とアルミニウムに肥沃(ANK)な2種類に分けられ る(Geochemistry of the Archean, 1987). コンド ライトで正規化された図(Dostal, 2008)におい



図 16 グリーンストーン帯の火山岩類中のコマチアイト含有率の 時代的変化 (Dostal, 2008)

て、ANK における REE の傾向(LREE の枯渇に伴う傾向) と ADK コンドライトの傾向がまったく異なるこ とは、すでに議論したカンラン岩でよく知られている.Dostal(Dostal, 2008)は、ANK の REE の傾向 と中央大洋海嶺の玄武岩(N-MORB)における REE の 傾向との類似性に注目することが重要と考えている .REE の分配方法(コンドライトと原始マントル) に関係なく、さまざまなタイプのコマチアイトにお ける REE の傾向の違いの動向に注意することが重要 である:LREE の枯渇を伴う ANK 傾向と REE のコン ドライト的分布パターンを示す ADK 動向(図 17).

ADK と ANK の "異なる "地球化学的特性に関するき わめて興味深い疑問は, Barberton グリーンストー ン帯の北西部に位置する Valtvreden 地域のコマチ アイトの REE を考察した Kareem (2005) の研究で ある (図 18, 19).

Barberton グリーンストーン帯の北部では, A1 に枯 渇したコマチアイトが発見された. Kareem (2005) のデータによると、このコマチアイトはKomati 層 よりも2億年若く、この図面よりも下側の領域に プロットされる. 3.28Gaの3つの衝突帯は, コマ チアイトと玄武岩の組み合わせ(コマチアイト質 玄武岩 80% とコマチアイト約 5%) に特徴づけられ る. 玄武岩とコマチアイトの層序と量比の組み合 わせは, Al 非枯渇コマチアイト (カナダの Munro タイプ)に似ている.以上のデータにもとづくと, Barberton のような巨大グリーンストーン帯に限っ ていうと、ADKs はそれらの中央部に位置し、いっ ぽう,カナダ Abitibiの ANK 帯と同様の条件で形成 された ANK 複合岩体は周辺部に位置する. Munro タ イプコマチアイトのREEは図20に示される(Stosch, 2000). 図示されている REE は、コマチアイトだけ ではなく、玄武岩類にも特徴的である.いずれの場 合も,軽い REEs を伴うこのタイプ (ANK) のコマチ アイトの関与が明瞭に認められる.



図 17 Al-枯渇コマチアイト (ADK) と Al-非枯渇コマチアイト (ANK) の REE. a: N-MORB と比較した Pike Hill および Munro 産 ANK コマチ アイト (S: spinifex 組織をもつ ANK, C: 沈積性 ANK). b: Barberton 帯の Komati 層産 ADK (S: spinifex 組織をもつ ANK, C: 沈積性 ANK).



図 18 さまざまなグリーンストーン帯のコマチアイトの Al203 (重 量%) -TiO2 (重量%) 図:コマチアイトの 3 つの岩石化学トレ ンドを示す (Kareem, 2005). Weltvreden・Menden:南アフリカ Barberton コマチアイト-グリーンストーン帯, Munro-Abitibi グ リーンストーン帯 (カナダ), Belingve:語源になったグリーンス トーン帯 (アフリカ), Veltvreden 層 (アフリカの Barterton 帯). 灰色領域:枯渇および非枯渇コマチアイト(カナダの Abitibi 帯).



図19 Veltvreden層(アフリカのBarterton帯)のコマチアイトのREE(Kareem, 2005). 灰色領域:枯渇および非枯渇コマチアイト (カナダの Abitibi帯).



図 20 カナダおよびバルト楯状地の始生代コマチアイトの REE (Stosch, 2000).



図 21 南部 Munro のコマチアイトおよび玄武岩溶岩類の模式層 位断面図 (Arndt, Nesbitt, 1982)

ANK と ADK の地球化学的相違の理由を解明するために、ANK (Munroタイプ) 領域に入るカナダの Abitibi グリーンストーン帯の層序と ADK の中央部 を占める南アフリカの Barberton グリーンストーン 帯のコマチアイトを比較してみよう.大きな違い は、Munto (ANK) の層序がソレアイト玄武岩にはじ まり、その後にコマチアイトとコマチアイト玄武岩 が出現する (図 21) のに対して、Barberton 断面で はコマチアイトの厚層にはじまりソレアイト玄武



図 22 南アフリカグリーンストーン帯断面図の主要構成物の比較



図 23 Munro 地域のコマチアイト, コマチアイト質玄武岩, ソ レアイト玄武岩などの REE パターン (Viljohen, Viljoen and Pearson, 1972)

岩が重なる (図 22) という事実である (Arndt and Nesbitt, 1982).

Munro タイプのコマチアイト (ANK) は軽い REE の 枯渇傾向が明瞭で (図 23), Barbreton のコマチア イト (ADK) ではコンドライトに似た"平坦な"REE トレンドが特徴的である.

コマチアイトと同様に,造山帯(大陸性)かんらん 岩と海洋底かんらん岩にも,同じ2つの傾向が知ら れている.すなわち,それらは,35億年前以前の 軽い REE に枯渇した ADK と 27-25億年前の平坦なコ ンドライト様コマチアイト (ANK)である.間の差 異を海洋や大陸において保持していることは大陸が 動かないで地球表面の固定された位置に初期先カン ブリア時代から存在していたことを示している.

大陸と海洋におけるマントルおよび地殻の岩石に ふくまれる希土類元素:地球史的まとめ

大陸と海洋におけるマントルと地殻の岩石に含まれ る地球化学的(REE)特徴から,信頼できる方法に よって行われた比較結果を総括することができる. そのためのサンプルが選ばれた:大陸のリソスフェ ア(マントルと地殻)の最初期から初期の先カンブ リア時代の構成物としては:カンラン岩,コマチア イト,苦鉄質グラニュライト,およびその上の他の 岩石類である,それらのうちグラニュライトを除く すべては,マントル組成や起源を示している;海洋 の玄武岩や大陸の表層を覆っている玄武岩は,最初 のグループと関連しており,若い時代(古生代 - 中 生代 - 新生代)岩石である.しかしこれらも最初の グループ同様にマントル起源のものである.

それゆえ起源による両方のマントル生成物について はは次のような疑問が生じる:すなわち両方のグ ループの生成物の間には何らかの地球化学的つなが りがあるのか,あるいは異なっているのか:一つの グループ内もしくは両方のグループでの生成物間の 何らかの確かな地球化学的連結性があると立証する ことができるのか?などである.もしそのような連 結性が存在する場合,それらの地史的変動の解釈は 可能なのであろうか?

そのような関係を立証する地球化学的-生成の証拠 あるいは地球化学的-生成の類似性をつかむための 可能性ある道具として希土類元素が選ばれた.これ の全てを概観したとき、人々は再び基本的な疑問を 明確に述べることができる.しかし以前よりいくら か異なった

ものとして:

- 上記に述べた大陸と海洋の岩石の間の地球化学的 (REE) 差異はあるのか?
- そのような差異はいつ頃からあると想定できるか?
- これらの大陸および海洋のマントルと地殻の差異 はいつ形成されたのか?
- これらの地球化学的差異の性質は何だったのか, さらに分布パターンの性質の差異を説明する方 法はあるのか?

REE の分布パターンの性質にみられる傾向につい ては次のように予備的に説明される.海洋地域で は-MORB 玄武岩において-REE の分布パターンにみ られる枯渇した LREE からの進化はこれらの元素が だんだん増加していくというものである.ここから 進めていくと, MORB 玄武岩の起源海洋性マントル は非枯渇の Munro タイプのコマチアイトのトレン ドに似ておりそれと比較することができる,同様 にLREE における分布パターンが MORB と似ている深 海性カンラン岩と比較することもできる. MORB 玄 武岩の起源物質である海洋マントルは約25億年前 の初期先カンブリア時代のものであり、そのような 海洋マントルは 25 億前(Munro タイプのコマチア イト)以降の地球規模の変換には従っていない筈で ある. そのような推測は中央海嶺におけるマントル カンラン岩の放射性年代によって裏付けられる:た とえば大西洋中央海嶺,インド洋中央海嶺, Gakkel 海嶺の場合のように. Coltorty et al. (2010) は Cape Verde 諸島のマグマ性岩石から得られたマン トル起源のカンラン岩ゼノリス (スピネルレール ゾライトおよびハルツバージャイト)の放射性年 代値を求めている。135 個の硫化物粒子が研究され た. その結果, 1050 m.y. を主ピークにして, 750, 1450, 2075 m.y. など広い範囲にピークをもった モデル年代値が得られている.14粒子(13%)か らは始生代(25億年以前の年代値)が得られ、そ のうち5個の粒子からは3000から3750 m.v.の 間の年代値が得られている. 与えられたデータに よると、Ontong Jawa 海台のリソスフェアマント ルでも同様の値が得られている(Ishikawa, 2011 私信); Pearson, 2005). カンラン岩ゼノリスは Ontong Jawa 海台の深部マントルの起源を調べる目 的で研究されている. 調べられたサンプルにはス ピネルレールゾライト,スピネルハルツバージャ イト, Maltaite アルノーアイト貫入岩などが含ま れる. レニウムーオスニウム年代測定法では二つ のグループが識別された:主体(70のうち55)は 0.2-0.8 b.v. の年代を示し、副(70のうち11)の 方は原生代モデル(1.1-1.8 b.y.)を示す一方で 290 m.y. と120 m.y. の値も含まれる. Ishikawa et al. (2011) によると, Ontong Jawa 海台の初期 時代の枯渇マントルは、放射性オスニウムによって ではなく、周囲の対流しているマントルから十数億 年にわたって孤立したことを反映した初期時代のモ デル年代によって特徴づけられるとしている.同 じようなシナリオが Kergulen 海台でのハルツバー ジャイトゼノリスによる研究によって推定されてい る. それらの結果から,海洋性上部マントルは対流 性の混和に逆らっていることを証明する初期時代の 溶融イベントを示すオスミウム同位体を含むことが 示された. これらのデータはGakkel Range(南極海) においてドレッジされた初期時代のカンラン岩の年 代値のものと一致する (Liu Ch.-Z et al., 2008). Gakkel Ridgeの深海カンラン岩の削除は非放射性 ¹⁸⁷0s/¹⁸⁶0s 比を決定した初期時代の溶融イベントを 示している.

このようにして、N-MORB 玄武岩における REE 変化 の地球化学的パターン傾向は、初期先カンブリア時 代のコマチアイトである Munro type ANK, これら は削除されていない古期原生代マントルの存在を示 すある種の証拠であるが、地球化学的成因論におい て深海、海洋カンラン岩の生き残りであることを導 くと共に、N-MORB もそこから受けついだ地球化学 的 code をもっていることを示している.

大陸のマントルと地殻の岩石に対しては,REE 分布 パターンにおける安定な初期のコンドライト的傾向 があらわれる.このような分布パターンは造山帯 のカンラン岩類や大陸性玄武岩質の溶液からの初期 分化物においても確認されている.初生的な分布パ ターンは,それが溶液の初生的な性質を示すもので あって,溶液の移動経路によこたわる大陸地殻との その後の相互作用により攪乱されたものでなく,大 陸地殻物質や普通のマントルと異なるエンリッチマ ントルなどとのコンタミナーションなどがなかった ことを示している.

海洋の初生的(のちに変化していない)深海カンラン岩や MORB の一連の岩石類において,REE の初生的分布があらわれており,これらのカンラン岩や N-MORB は著しく特徴的なスパイダーグラムとして LREE に乏しい性質を示している.

片やコンドライト的な大陸と一方LREE に乏しい海 洋という REE 分布パターンは初期先カンブリア時代 における二つのグループのコマチアイトが分析され るまでは説明がうまくつかなかった:

a) 3.7-3.5 b.y. のもっとも古い年代をもつ Barberton (南アフリカ) コマチアイトタイプは アルミニウムに枯渇したコマチアイト (ADK) で A1203/TiO2 の比が約 20 の値をもつ;

b) 古期原生代(2.7-2.5 Ga)のアルミニウムに枯 渇していない Munro タイプのコマチアイト(ANK) (カナダ Abititbiのグリンストーン帯に出現)は A1₂0₃/TiO₂の比が約10の値をもつ.

同じ頃, Barberton グリーンストーン帯ではその 周辺(Veltreden 累層)に沿って, ADK にともなっ て ANK も存在している.多くの研究者達(N. Arndt, E. Nesbit, S. Sun)は ADK の地層の形成が,コマチ アイト溶融物の形成に際し高圧状態の下でザクロ 石(majorite)からrestiteへの転移がおこなわれ たことに関連があるとしている,一方でマントルの 基質部の直接の溶融で,ザクロ石のrestiteへの分 離なしに,アルミニウム非枯渇のコマチアイトが出 現したと結論している.ザクロ石を含む母体岩石 (majorite)から溶融残査物岩石(restite)の出現は, 巨大な隕石衝突物(giant impactors)がマントル 基質部の溶融を引き起こし,そのおよぼす影響に よる結果生じたものとして解釈されている(Abott, 2000; Kareem, 2005; Liu Ch.-Z, 2008).

地球の先カンブリア時代初期に活発な衝突の影響を うけた地域があることが推測される,おそらくそこ で ADK の性質をもったマントルの一部分が形成され たのであろう.しかし,一方でそのようなマントル 変化は限定されており,明らかになっていないとこ ろもある,その場合はANKの性質をもつが形成された筈である.上記のような状況の地史的変動,それらはおそらく自然において予備的なものであったが現代の地史的変動の構造を詳しく研究するために広く用いられる.これらの結論は次のようになる:

先カンブリア時代の初期以来,現在の大陸と海洋の 輪郭は安定でありかつ固定されている;

そのような配置は次のような事実から決定される, すなわち地球初期時代の表面のいくつかの部分は巨 大な微惑星の衝突に従って系統的に生じた大陸であ り,一方,他の部分はそのような衝突が起こらな かったか,あるいは起こったとしても取るに足りな い程度であった地域でありそれが海洋や海洋地域の 海台となっている.マントルの流動化の形成,大陸 の根の形成などはそれらの空間的な安定化に寄与し たが,先カンブリア時代初期以来広範囲におよぶ水 平の移動はおこなわれなかった.

結 論

始生代および古期原生代のマントルを代表する先カ ンブリア時代のコマチアイトの希土類元素 (REE) の存在分布パターンの比較がおこなわれた. そのよ うな比較により、これらのコマチアイトの希土類元 素(REE)の含有量および存在分布パターンの系統 的な差異を知ることができた. これらの差異は時代 を超えて大陸や海洋を覆っている先カンブリア時代 以降の玄武岩類に受け継がれている.同じ時代にお いては、かんらん岩(造山帯)と大陸を覆う玄武岩 類はいくつかのコマチアイト希土類元素の存在分布 パターンをうけついでおり、内部かんらん岩(深海 性)と海洋の玄武岩類はその他のコマチアイトの存 在分布パターンを受け継いでいる. これらのこと全 てから、始生代と古期原生代のマントルの間の差異 を海洋や大陸において保持していることは大陸が動 かないで地球表面の固定された位置に初期先カンブ リア時代から存在していたことを示している.

謝辞: Dr. Don Choi 氏による私の仕事に対する恒久 的で親切な態度に対して再び感謝の気持ちを示すこ とは私にとって大いなる喜びである. N. Pavlenkova 氏によるこの論文の原稿の批評的査読に対しても感 謝申し上げる.

文 献

- Geochemistry of the Archean. 1987.Ed. A.Krenera, G.N.Henson, A.M.Gudvin. M. Mir. 315 P. 2.
- Glebovitsky V.A.,; Nikitina LP; Ovchinnikov N.O.Saltykova AK; Egorov KN; Ashchepkov I.V.2004Geochemistry of mantle xenoliths from kimberlites and alkaline basalts as a reflection of

the real heterogeneity of the continental lithospheric mantle.Deep magmatism, its sources and their connection with plume processes: Proceedings of the IV International Workshop / Irkutsk - Ulan-Ude p. 166-194

- Gian BM, Zhang Z-K. Radiometric age and geochemistry of rare-earth elements in the Archean gran- ulite gneisses in the eastern part of Hebei Province, China. Geochemistry of the Archean. A.Krenera, G.N.Hensona, A.M. Gudvinaia M.. 250-285
- Krasnova E.A., 2014 Magmatic and metamorphic evolution of the mantle substrate of the lithosphere of the northwestern part of the Pacific Ocean. The dissertation author's abstract on competition of a scientific degree of the candidate of geologo-inorganic sciences. Moscow –
- Taylor, McLennan. The continental crust: its composition and evolution. M. Mir.1988.384 P.
- Abbot D.H. 2000 Do large Impact Strengthen Mantle Plumes and Produce Komatiites. //Geol. Soc. of America , Annual Meeting, Reno, Nevada, abstract 50 659
- Arndt N.T. Nesbitt R.W. 1982 Geochemistry of MunroTownship basalts.//Komatiites, Oxford, London,
- Arndt, Lesher. 2004. Komatiite.. Encyclopedia of Geology., Elsevier, .260-268.
- Bodinier J.L.,M. Godard. 2005. Orogenic Ophiolitic, and Abyssal Peridotites//The Mantle and Core. Treatise on geochemistry, vol.2.,Elsevier, ,103-171
- Brunelli D. M. 2010. Asthenospheric percolation of alkaline melts beneath the St. Paul region (Cen- tral Atlantic Ocean) //Earth and Planetary Science Letters 289.393–405
- Coltorti V., C. Denadiman, S.O' Reilly, W. Griffin, N.Pearson. 2010. Buoyant ancient continental mantle embedded in Oceanic Lithosphere (Sal Island, Cap Verde Archipelago) // Lithos, , 223-233
- Coogan L.A., C.J. Mac Leod , H.J.B. Dick , S.J. Edwards et al. 2001. Whole-rock geochemistry of gabbro from the Southwest Indian Ridge: constraints on geochemical fractionations between the up- per and lower oceanic crust and magma chamber processes at very/ slow-spreading ridges //Chemical Geology 178. 1–22
- Dickin A.P 1988, The North Atlantic Tertairy Province1988//Continental flood basalts. Kluwer Academic Publishers. 11-151.
- Dostal Y. 2008. Series Igneous Rock Associations 10.Komatiites //Geoscience Canada, Volume 35, Number 1.

Floyd, P.A. 1991. Oceanic Basalts, 476 P

- Ishikawa A., D.G.Pearson and Ch.W. Dale. 2011. Ancient Os isotopy signatures from Ontong Java Plateau lithosphere: Tracing lithosphere accretion history. // Earth and Planet. Sci. Lett., vol.301 . 159-170.
- Kareem K. 2005, Komatiites of the Weltwreden Formation, Barberton greenstone belt,South Africa; implications for the chemistry and temperature of Archean mantle.// Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of therequirements for the degree of Doctor of Philosophy inThe Department of Geology and Geophysics.
- Liu Ch.-Z., J. Snow, E. Hellebrand; D. Brugmann, A. von der Handt, A.Buche and A.W. Hofmann. 2008 Ancient hghly heterogenous mantle beneath Gakkel Rilge, Arctic Ocean. //Nature, vol 452, March.
- Nguen N.H. 2013, Tracing Enriched Mantle Components along the Gakkel Ridge, Arctic Ocean /A Thesis Presented to the Faculty of the Department of Earth and Atmospheric Sciences University of Houston in Partial Fulfillment of the requirements for the Degree Master of Science December,
- Niu Y., Charles H. Langmuir , Rosamond J. Kinzler. 1997 The origin of abyssal peridotites: a new perspective // Earth and Planetary Science Letters, 152, 251–265.
- Pearson D.G.et al. 2005. Mantle Samples Included in Volcanic Rocks: Xenoliths and Diamonds //The Mantle and Core. Treatise on geochemistry, vol.2, Elsevier, 171-277.
- Piccardo G.B, Messiga B., Vanucci.R. 1988. The Zabargad peridodtite-pyroxenite association: perological constraits on its evolution. //Tectonophysics. Sp.Iss.vol.150, N1/2,135-162.
- Stosch H.-G .2000. Geochemie der Seltenen Erden. Vorlesungen am Mineralogisch-Petrogra- phischen Institut der Universität zu Köln, 1988 – 1993, Skript mit Ergänzungen von 1998 und Som- mer
- Viljoen M.J., Viljoen R.P., Pearson T.N. 1982. The nature and distribution of Archean komatiite vol- canics in South Africa.//Komatiites, Oxford, London
- Warren J. M., N. Shimizu, C. Sakaguchi, H. J. B. Dick, and E. Nakamura 2010. An assessment of up- per mantle heterogeneity based on abyssal peridotite isotopic compositions //Journal of Geophysicsal Research, vol. 114, B12203,
- Zolotukhin V.V. and Almukhamedov A.I. 1988. Traps of Siberian Platphorm 1988.//Continental flood basalts. Kluwer Academic Publishers .273-311.

随 筆 ESSAY

グローバルテクトニクスについてのエッセー #2 海洋の起源について Essays on global tectonics #2 On the origin of the oceans

Peter M. James,

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

(村山 敬真 [訳])

よく知られているモビリストの海洋起源モデルは, 全球規模の大陸塊内にある大規模リフトから外側へ の,漸進的な1つの拡大である.この提案は主に海 底の溶岩帯のパターンに基づいていて,そのパター ンが年代の段階的変化と極性反転の両方を表す.し かしながら,これらのパターンはより小さい海域で の他の観察では一般的に一致せず,海洋底のパター ンが別の説明を受け入れないのかどうか疑問が生ず る.この代替案を以下に説明するが,まず最初に小 さな海から始めよう.

日本海は深く,年代測定可能な磁気縞模様の証拠と して採用されるまたはされた「海底パターン」を持っ ている.それゆえ,拡大する海洋地殻という解釈が 喜んで提案された.しかしながら,ごく最近 Dong Choi 博士によって,海底パターンが隣接する陸地 の主要断層帯と一致しており,それゆえ海洋底拡大 の産物でないことが発見された.さらにこの同じ海 の一部地域では,海洋地殻として採取されたものが 古生代の海洋堆積物を伴う大陸地殻であることが実 際に明らかにされている.すなわち,言われている ゴンドワナ分裂のかなり前にこれらの堆積物は存在 していた.

グリーンランドとカナダの海岸線の平行性は、ウェ ゲナー以来ずっとモビリストによって注目されてき た.一旦連続していた地塊の現在の分離を説明する ために、約400kmの移動が提案された.ラブラドー ル海底での磁気縞の年代測定もまた確認され、その ような拡大の確認としてとらえられた.この解釈は ナレス海峡での現地調査によって強く疑問視され た:カナダ石油地質学速報のGrant(1980)および石 油地質学速報のLowman(1985).どちらも現地調査 について報告しており、先カンブリアとシルル紀の 鍵層が横方向の動きの証拠なしにナレス海峡を横 切って追跡可能であることを明らかにしている.

紅海は、白亜紀に拡大を開始した別の初期の海-主 要な海洋よりいくぶんかゆっくり-と主張される. しかし、紅海の中央に位置するのは、先カンブリア 時代の超塩基性のブラザーズ諸島である.これ以上 の長期的安定性の証拠を見つけるのは難しいだろう.類似の状況が大西洋で発生する.そこでは中央 海嶺から少し離れたところにセントピーター島と ポール島が存在する.その中央海嶺は海洋底拡大モ デルではおそらく1000万から3000万年の年代を示 すだろう.しかしながら,島々はその側腹にその時 代の堆積物を持っている一方で,島々自体の超塩基 性岩は,ある場所では2億年,他の場所では8億年 の年代を記録しており,海洋底拡大がなかったこと を少なくとも大西洋の赤道帯では再度証明する.

東アフリカリフトは、第一段階の海洋拡大過程とし てしばしば引用される.これはごく最近、わずか 2000万年程前に始まる.しかし、この広大なリフ トシステムに沿ったどこにも海洋マグマが湧き出て いるという証拠はない.確かに私は間違っているか もしれないが、リフト系は先カンブリア時代から存 在していたと思われる大きな横ずれ断層に沿って整 列していると考えられている.

従来,2つの重大な誤解釈と2つの孤立した海が, 海洋底拡大説を支持するために誤用されてきた.他 の異常は大きな海洋で起こる.

図1は、北米の沈み込み帯に向かって移動している と言われているファン・デ・フカのようなプレート を含む地域,北東太平洋を示している.(ちなみに, この付近の北アメリカの下の地震活動は、沈み込み が疑わしくなる約200 kmの深さで止む.)しかし, ここでより重要なのは、海洋底拡大という一般的な 考えに合った磁気縞を囲む海底の細長い断裂であ る.しかしながら、深刻な障害がある:これらの長 い断裂のいくつかの間で主張されている拡散速度は 異なる. 例えば、モロカイ断裂の両側の地帯には磁 気縞が含まれていて,それは年に2センチほど違っ た速度を示している:サン・アンドレアス断層で記 録されたものと同様の割合である.しかし、太平洋 では、これらの数千km に及ぶ長い断裂はすべて無 地震性である.つまり,静的である!同様の静的な 状況は,南太平洋オーストラリアの下のわずかに複 雑なパターンの剪断でも見られる.



静的な海底のより説得力のある証拠は、海底堆積扇 状地によってもたらされる.これは、すべての海洋 底およびごく最近に一度または二度干上がったこと が知られている地中海でも見られる.地中海を含む すべての場合において、これらの扇状地は大陸斜面 の海底谷に確実に遡ることができ、さらに陸上の主 要な排水地形へと追跡できる.重要なことは、これ らの堆積物扇状地は完全に無傷の状態にあり、堆積 物の年代は白亜紀にまで遡るという事実である.た とえ扇状地が今は陸地から何百キロメートルも離れ ていて、乱泥流の活動の証拠を示していないとして も、しばしば陸性物質をともなって時には石膏をと もなう水平成層が典型的である.

これら堆積の特徴に関する論理的な説明は,通常の 三角州扇状地の場合と同様の浅水域起源である.し かしながら,これは海水準の大幅な変化を意味する ので,ほとんどの地球科学者たちはこの考えに難色 を示す.しかし,大規模な海水準変動のメカニズム は,後に扱われる極移動イージスのもとに存在する.

最初に対処する必要があるのは、これらの堆積扇状 地が海洋地殻の移動によって運ばれると主張するモ ビリストのパラダイムである. それらは沈み込みの ところで削り取られてしわくちゃの山脈を作り出す ように示されさえする.これは単なる希望的な考え にすぎない.もう一つの案は,もちろん海洋底が扇 状地の下を破壊することなく滑ることができると想 定することである.しかしながら,移動する基盤上 の典型的な扇状地の分析は,特に多くの扇状地の年 代が白亜紀にさかのぼることに関連する長い期間を 考えると,もし基盤が移動している場合,静止した ままでいられないことを示す.進行中の破壊作用, 進行中のしわくちゃ,および扇状地全体での剪断破 壊と衝上断層形成の繰り返しの発生が,移動する基 盤の上で起こるだろう.海底扇状地にはそのような 現象の証拠はないー確かに北米海岸線に近い1つか 2つのそのような扇状地がいくらかの緩やかな褶曲 を示すとしても.それ以上何もない.

最後に、現世のリフトとマグマの湧昇を伴う中央海 嶺の現象としてモビリズムにとって「有名な裁判事 件」であるアイスランドがある.しかし、押し出さ れた溶岩中に砂岩とドロマイトの証拠もまたあった (Sigursden, Geol. Mag., 1968) -明らかに、リソ スフェアから直接押し出されると予想される種類の 物質ではない.

焦眉の問題は、海底拡大仮説と上記との衝突のすべてをどのように解決するかである.代替案は、海底

がおそらく広がってこなかったし、また広がってい ないことを示唆することである. どのようなメカニ ズムがこの問題を解決する可能性があるのだろう か.以下は個人的な提案であり、必ずしも最終的な 解決策としてではなく、海底拡大の主張が代替案の 静的プロセスによって説明できることを主に示すた めに提示されている.

以下の提案は、2つの前提に基づいている:i)回 転する地球は双極子つまりダイナモとして機能し, そのため現在の状況のように磁極は地理的な極と関 連した状態を保つ. ii) 地理的極がふらつき始める と、磁極もそれに追従する. iii) 地球は真の極移 動を受けているため、磁極反転がそれに続く. iv) したがって, 磁極反転は完全な地理的極反転の指標 となるだろう、最後のは最初のもの同様、非現実的 に思われない. エジプトの先史時代と北西ヨーロッ パの巨石の並び方の両方から,太陽が西から昇った ことが2回あり、最初の記述された場合は紀元前 3000年に近い,エジプト第1暗黒時代という,エッ セイ#4で与えられる証拠がある。また逆転する地 球は快適な地球でないことにも言及する必要があ る.現在のモードで軌道を回る地球はワルツのカッ プルと同じ運用法で回転する. つまりダンス場を反 時計まわりに回りながら、同じ反時計まわりに回転 する.「逆さま」の状態である反時計まわりの軌道 で時計まわりの自転は、ワルツのカップルにとって もおそらく惑星にとっても快適なことではない、し たがって、地球が「転倒」したのであれば、ふたた び最初の機会に戻すことを望むだろう. これを念頭 に置いて、上記の提案を続ける.

静的な海洋底

地球が逆転の過程にあり、そのためその赤道が図2 aに示すように海岸線に垂直な配置で海を移動する と仮定する.移動する赤道のふくらみは-おそらく

この状況では十分に発達していないが-それが通過 するときに地殻に引張応力を加え,海洋地殻の引 張破壊を引き起こすことが依然として予想される. エッセー #1 で指摘されているように,破壊は地殻 境界面の近くで最も発生しやすく,大陸地殻または そこから少し離れたところでのリフティングの形を とるだろう(距離は、おそらく海洋地殻の厚さに依 存する). そしてこの旅では、移動する赤道のふく らみが海岸線に平行な一連のリフトを生み出すだろ う.しかし、地殻の脆性のため、この平行性は連続 的な外形ではなく、示されたような階段状の外形と なるだろう. 各リフト段間の横方向の調整は、リフ ティングに垂直な, すなわち移動する赤道方向に平 行な横ずれ断層運動によって果たすことができる. 極の逆転と逆転の間では、これらの横ずれ断裂は、 我々がすでに太平洋と南極海でみたように,非地震 性となるだろう.

完全またはほぼ完全な極の逆転は、この同じゾーン が後により高緯度に到達し圧縮応力を受けることを 意味する.圧縮の主要な応答はおそらく新しいリフ トへの溶岩の押し出しだろう.これはリフトの両側 に破砕帯があることで間違いなく助けられる.この ようにして、溶岩はリフトの床に広がり、年代と極 性の両方を提供することができるだろう.

やがて、極が地球のより普通の状態に戻るならば、 以前と同じ方向、逆の方向、どちらの場合も同様の 結果が起こるだろう.溶岩流によってすでに塞がれ ている初期のリフトは、おそらく別の引張破壊に抵 抗することができ、そのため、最初のリフトから一 定の距離離れたところに第2のリフトが形成され る.分離距離は、海洋地殻の厚さによって規定され る.この場合もやはり、以前と同様に階段状の平行 状態となり、横ずれ断層は延長する必要がある.こ の2番目のリフト系列の逆赤道移動は、再びより高 い緯度の影響をうけるようになり、以前と同様に圧





図3 交互磁気符号のデータ化可 能な溶岩縞の,赤道移動の繰り 返しによる進行開始

縮と溶岩流が続くだろう.その結果,2番目の溶岩 流は最初の溶岩流より若くなり,極性も反対になる.

さて、この極の逆転が繰り返し現象になると、(ちょ うど磁極逆転がそうであったように)大陸からの距 離が増すにつれて各縞が若くなり交互極性を示す、 一連の平行または準平行の階段状の磁気縞が生じ る.やがて、ついに中央海嶺に達するまで.

さて、中央海嶺である.これで何ができるか?海の 反対側でも同じ一連のリフティング、溶岩注入など が進行中であると仮定しよう.そこにある磁気編も また、同じく「大陸からの距離とともに年代が若く なり、極性が反転する」というパターンで発達する. このように、中央海嶺は海洋の両側からのプロセス が衝突した衝突帯を表すに過ぎない.そして、大西 洋でのように海洋の両側の海岸線が大体ほぼ平行で ある場合、中央海嶺もまた同じ形(ウェゲナーと後 にケンブリッジの先生たちに、大陸がかつて結合し ていたにちがいないと提案するのを促進した形)に なるだろう.

これらすべてが,帽子から別のウサギを引っ張って いるように見られるかもしれない.しかし,私は静 的な大陸および地理的極逆転の見地が,よりトラウ マの少ないメカニズムであるように見えるだろうこ とを示唆しよう.漂流する大陸の概念よりも.すな わちプレートの概念よりも.

文 献

- Dawes ER & Kerr JW (Eds), (1979). Nares Strait and the drift of Greenland, a conflict in plate tectonics. Geoscience 8, Mendeleser on Gronland.
- Choi DR (1984). The Japan basin a tectonic trench. Jnl Pet. Geol. 7:4:437-450.Choi DR (2006). Where is the subduction under the Indonesian arc? NCGT #39:2-11
- Grant AC (1980). Problems with plate tectonics: the Labrador Sea. Bull. Canadian Petroleum Geology, 28:252-278.
- James PM (2016). Deformation of the Earth's Crust Cause & Effects. Copyright Publ., Bris.
- Lowman PD Jr (1985). Plate tectonics with fixed continents: a testable hypothesis. Jnl Pet. Geol., 8:4: 373-388 & 9: 1: 71-885.
- Sigurdson H (1968). Petrology and acid xenoliths from Surtsey. Geol. Mag. 105: 440-453.
- Smoot NC, Choi D & Bhat M (2001). Active Margin Geomorphology. Xlibris Corp. USA.

書 評 BOOK REVIEW

プレートテクトニクスの中国版 A CHINESE VERSION OF PLATE TECTONICS

Cliff OLLIER

University Of Western Australia, Crawley, Western Australia 6009 cliff ollier@uwa.edu.au

(岩本 広志 [訳])

プレートテクトニクスと地形的痕跡: ユーラシアと太平洋の構造地形の応答

- Volume 1. Laurasia System. Gondwana System. Tethys Intercontinental Belt. 494 pages + 43 pages of English Introduction.
- Volume 2. East Asia Circum-Oceanic Belt, Seafloor Plate
 System, Eurasian Continental Dynamic. 514 pages
 + 37 pages of English Introduction
- Chen Zhiming. China Map Publishing House. infomaps@sinomaps.com, 2017. Hardback. Price 346 yuan (= \$A 70)
- 第1巻 ローラシアシステム. ゴンドワナシステム. テチース大陸間帯. 494 頁 + 43 頁英文要旨
- 第2巻 東アジア環太平洋帯,海底のプレートシス テム,ユーラシア大陸ダイナミック.514頁+37 頁英文紹介.
- 陳志明.中国地図出版社.ハードカバー 価格 346 人民元(70豪\$)

これらの本は中国語で、私は中国語を話せないので、 私のコメントは英語の要旨をベースにしている.表 現上の誤謬を避けるために英訳からの直接の引用を 可能な限り用いた.この作業は今日のプレートテク トニクスについての中国の研究者達が思考している ことを提供する.

第1巻の始めの近くに位置しているのは要旨で、プ レートテクトニクスは剛性プレートの基本概念を 伴った大陸漂移から進化したという.最近の20年 間で次の2つの新概念が生まれた.①リソスフェア (岩石圏)層序と回転衝突.剛性プレートはクラト ン(大陸塊)にとって受け入れ可能な概念であるが、 縁辺変動帯のリソスフェアは成層していて、浅層部 の沈降を伴う差動的運動を被っている.②プレート 衝突は成層線に沿うわけではなく、2つのプレート の衝突時における領域の衝突と変換である.

The concept of lithospheric layering effect リソスフェア成層効果の概念

単刀直入とは言えない定義はあるが,最も信頼され るのは「大陸リソスフェアは垂直方向に成層し,水 平方向に不均質であり,あたかも層序が堆積層に よって規定されたかのように,さまざまな層間滑動 断層と地震源の層状分布によって規定される」.

Chen は地殻 / 上部マントル,および,それとモホ とコンラッド不連続面といった伝統的区分について 述べている.リソスフェア・プレート概念とサブプ レート,ならびに,関連する断層の概要を述べた.

困惑させるようなサブプレートの配列が以下のよう に存在する.①超地殻または結合サブプレート,幾 つかのサブプレートが隣接して第1次プレートの超 地殻を形成する.②地殻全体のサブプレートまたは マイクロプレートは小規模な第2次サブプレートで 構成される.③中部地殻のサブプレートまたはスラ ブは小さいスケールの第3次サブプレートでできて いる.

Chen は、サブプレートがどのように認識されるの かを詳細に説明する.「下位のサブプレートは、上 位のサブプレートの動きに反応する.その結果、そ れらの運動システムは深いレベルでの統合された運 動と、浅いレベルでの独立した運動をつくりだす.」

事例として次の2つを紹介する.

- 1. 現代のチベット高原は大規模な第1次サブプ レートである
- 2. 非常に長大な大陸間ゾーンは多くの統合サブプ レートを含んでいて,西の地中海からイランと アフガニスタンの東方,さらに東南アジアまで 伸びている.

これらの解釈を導くためには実際の観測をが何である かを見るために、中国語版をすべて読む必要がある.

The concept of plate rotational collapse/ convergence プレート回転衝突 / 収束の概念

この概念は、球体上のプレートの水平方向の動きに

関連する.「水平方向の動きには,球体上のプレートの地球中心をめぐるさまざまな方向への回転,その質量中心を中心とした時計回りおよび反時計回りの回転が含まれる」.

リソスフェアでの差別的は層形成の可能性. ' 例え ば,東アジアのいくつかの超地殻サブプレートでは, 中部地殻の三角形または菱形の最上部層は回転しな いが,下部地殻とその下の上部マントルは古地磁気 データによって証明されるように差別的に回転す る. 北部中国のサブプレートのような,一見したと ころ表層の三角形形状では回転とは無関係であり, 異なった層の古地磁気の計測値がどのように,これ ら主張の証明を提供するものとして,中国語の文書 を読みこなす必要がある.

地球自転による力は無視できず,「アラビアプレートは…北から南にほぼ 30°にまたがるので、南端での回転線速度は北端の約 150 倍になり」.「古地磁気 データを使用してプレートの左右の回転を繰り返す ことを示すためには,そのオイラー極を定義するこ とよりも重要である」.

第4節は、3サイクルのインド - アジア回転衝突 を用いて回転の規則を例示する事例研究である. この衝突は3つのサイクルのうち,次の6つのステー ジを含む.各サイクルは右回転で始まり左回転に終 わる.「第1サイクルは210~130Maの間に大きな 右回転で始まり.第3サイクルは20~10Maのイン ドプレートのほぼ80°の右回転に終わる.」他のサ イクルはこの英語要旨では述べられていない.

大陸下への海底プレートの沈み込みが回転であるか どうかの問題が議論されている.「…我々の新しい 解析では大陸の回転衝突に加え,海底プレートの沈 み込みも回転的」

ホットスポットによって明らかにされた太平洋の海 底プレートの運動の変化は他の証拠と対立する. これは詳細に議論され、そして多くの個々のプレー トの解釈された方向が述べられている.

駆動メカニズムについて, Chen は造構運動を駆動 するための2つの主要なメカニズム(海底底拡大は プレートを圧縮し, 沈み込みはそれらを引張する.

1. 圧縮

…インド洋の拡大はインドプレートをチベットのアジアと衝突させ、衝突後の大陸での広範囲にわたる変形をもたらす.…この応力は大西洋と北極海を拡大しユーラシア大陸内部を長距離に渡って移動する,結果的に大規模な地殻変形は,大陸の反対側で

別の衝突を起こす.

2. 引張

「……アクティブな大陸縁では、大陸 - 大陸間の相 互作用力が移行帯に作用. すなわち、古い海洋性リ ソスフェアが沈み込んで大陸縁の海溝に沈み込ん で、あたかも吸引メカニズムを生成している...」

差別的な運動は応力:「…上部マントルの可塑性の イントラプレートとしてそれが沈み込む…上部から 下部へ順々にそれらの抵抗は弱くなっていく,深度 が増すことによって加速度が増加することを導き… 地殻とマントルの差別的水平運動量も存在する証拠 に数えあげられる.

Gravity sliding of seafloor 海底の重力すべり

3番目のメカニズムは別に説明されているが、ここ で言及する。

Chen は、海洋の下の層について説明し、「蛇紋岩を 伴った部分は低速度の層を生成し、これは海洋リソ スフェアのサブプレートのイントラプレート運動が すべり面として機能」「このようにアセノスフェア 上の海洋リソスフェアは、重力によって海嶺付近の 高所から海洋底の低所にむかって滑動しうる」「勾 配が 1/3,000 で 40mm/ 年の割合で滑る」

Morphotectonics 構造地形

とはいえ構造地形的特徴はこの本の標題で、プレー トテクトニクスの説明への専心さでは、地形はこの 本ではあまり多く気づかれていない. ミャンマーか らの一例では「交互に平行した山脈と川谷は…イン ド前縁に向かって伏臥し、右旋回したインドはナガ 山脈に向かってアンダースラストする」.

Maps and diagrams 地図とダイアグラム(図表) 231の地図とダイアグラム(図版) 23表,残念な がらキーと凡例は訳がない,それで,この情報に沿っ た話の追跡は簡単ではない.最後にかなり質の落ち たカラー版のアジアの地形図とプレート構造地形図 が添付されている.

まとめ

これらの巻は基礎的なプレートテクトニクスが幾つ かの新しい概念によって複雑化していること.読む のも容易ではない、しかし英語読者にとってはプ レートテクトニクスの将来的な発展を垣間見ること ができる.

NCGT 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.