=ュースレター グローバルテクトニクスの新概念



NEWSLETTER

New Concepts in Global Tectonics

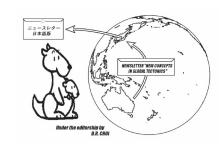
[英語版 No. 62 <http://www.ncgt.org/> から翻訳]

日本語版 No. 64(2013年1月)

■ Print edition ISSN 2186-9693

多数のカラー図面は、下記のオンライン版をご覧ください

■ Online edition http://kei.kj.yamagata-u.ac.jp/ncgt/



編集長: Dong CHOI, 編集委員会: Peter JAMES, Australia (PO Box 95, Dunalley, Tasmania 7177); Leo MASLOV, USA (maslovlev@yandex.ru); Cliff OLLIER, Australia (cliffol@cyllene.uwa.edu.au); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dpratt@xs4all.nl); Giancarlo SCALERA, Italy (scalera@ingv.it); Karsten STORETVEDT, Norway (Karsten@gfi.uib.no); Boris I. VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru); Takao YANO (yano@rstu.jp)

■ 編集者から + ■ 編集者への手紙 [小松宏昭 訳] ………… ■ 原著論文 Whence the Caribbean? Keith JAMES カリブ海はどこからきた? [柴 正博 訳] 10 Planetary fracture systems and recent seismic activities in the northwestern Pacific Ocean Dong CHOI, Arun 「柴 正博 訳] ……… 13 BAPAT and Sergei PULINET 北西太平洋における惑星断裂系と最近の地震活動 The Atlantic and its bordering continents – a wrench tectonic analysis: lithospheric deformation, basin histories and major hydrocarbon provinces Karsten STRORETVEDT and Biju LONGHINOS 大西洋とそれに接する 大陸‐レンチテクトニクスによる解明:リソスフェアの変形,盆地の歴史,大規模炭化水素区 [杉山 明(支援翻訳者)・小泉 潔訳] ………… 17 ■コメントと回答 Annulling the "Marriage of convenience" between Earth expansion and seafloor spreading William Carnell [山内靖喜 訳] …… 45 地球膨張と海洋底拡大との政略結婚を無効にすること Erickson のコメントへの回答 [矢野孝雄 訳] 52 Reply to the Erickson comment Stephen FOSTER Comment on Pavlenkova's fluid-rotation model David PRATT 流体回転モデルへのコメント [矢野孝雄 訳] 54 Reply to the comments by Storetvedt and Pratt Nina PAVLENKOVA [小坂共栄 訳] ……… 45 Storetvedt 氏と Pratt 氏からのコメントに応える Migration of seismic and volcanic activity VIKULIN, A.V. et al. 地震 - 火山活動の移動 [矢野孝雄・川辺孝幸訳] ………… 60 Derivation of the Gutenberg-Richter empirical formula MASLO, Lev A. et al. G-R 経験式の微分 [岩本広志 訳] …… 72 Dogmatism in Science and medicine BAUER, H. 科学と医学のドグマ ■ 地球科学の政治欄 Fukushima and "Forseeability" GRESSER J. 福島と「予見可能性」 [岩本広志 訳] 75 ■ ニュース Earthquake session at the EGU + IGC34 NCGT session report [矢野孝雄 訳] ……… 76 [赤松 陽・久保田喜裕 訳] …………… IGC34 NCGT session abstracts ■ エベレスト高解像度画像サイト / 財政的支援について / ニュースレターについて

連絡・通信・ニュースレターへの原稿掲載のためには、次の方法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; 1ファイルは 5 MB(メガバイト)以下, 2) ファックス(少量の通信原稿):+61-2-6254 4409, 3) 郵便・速達航空便など:6 Man Place, Higgins, ACT 2615, Australia (ディスクは MS Word フォーマット,図面は jpg または pdf フォーマット),4) 電話:+61-2-6254 4409。 放棄 [DISCLAIMER] このニュースレターに掲載された意見,記載およびアイデアは投稿者に責任があり,編集者と編集委員会にお問い合わせいただく必要はありません。 NCGT NEWSLETTER は,3月,6月,9月,12月に発行される一般公開の国際季刊オンラインジャーナルです.

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

連絡先 〒 680-8551 鳥取市湖山町南 4-101 鳥取大学地域学部地域環境学科 矢野孝雄 Phone/Fax 0857-31-5113 EM yano@rstu.jp 翻訳・編集:NCGT ニュースレター翻訳グループ(赤松 陽 岩本広志 川辺孝幸 国末彰司 窪田安打 久保田喜裕 小泉 潔 小坂共栄 小松宏昭 佐々木拓郎 柴 正博 角田史雄 宮川武史 宮城晴耕 山内靖喜・輝子 矢野孝雄,

編集者から

FROM THE EDITOR

(小松 宏昭[訳])

さしせまったカムチャツカ地震の予知;自然の力の壮大な現出

われわれはついに信頼できる短期的地震前兆現象を見出した。それは、アメリカのシアトルと日本の観測点の間で 10 月 1 日と 3 日に早川正士氏によって発見された VLF 電磁波の伝達異常(電離層の乱れ)である。氏は大きな地震の発生を 10 月 10 日とその前後数日に設定し、2012 年 10 月 6 日にわれわれに通知した。電磁波信号が示したとおり、10 月 $14 \sim 18$ 日にカムチャツカの大陸棚~千島列島中央部で $M=4.6 \sim 5.8$ の中規模群発地震が発生した。これらの地震はすべて、ENE-WSW、NNW-SSE、N-S方向の 3 つの深部断裂帯で発生している (NCGT本号 p. 26 参照)。われわれは、これらの地震を、最近の数か月間にわたって構造運動と地温活動が集中的に起こっている南部カムチャツカ半島沖を中心とする大地震の前震と捉えている。国際地震火山予知センター (IEVPC)は、現在、この地域を注意深くみまもっている。

ここで私は、われわれが最近の1週間で観察した最も目立った2つの現象を紹介したい.1つは隆起する地殻の構造的指標としてギャップ断層群、2つ目は北西太平洋の主要断裂帯から2012年10月20日に出現した巨大な雲である.それは、2011年3月東日本巨大地震の前に14日間にわたって現れた雲に匹敵する.

これらの現象以外にも、われわれは多くの興味深い前兆 現象を目撃してきた. それらは今後発表される論文で1 つずつ紹介されるであろう。NCGT 本号 p. $24 \sim 28$ の Choi et al. の論文は、巨大な深部断裂帯に焦点をあてている。それは衛星画像にみられ、地質学的・地球物理学的に、そして高度測量データによって立証されているものである。

2つ目は、2012年10月14日・15日に発生した割れ目である(図1). それらは前震が起こっている間に大陸斜面に出現した. (黄色の矢印で示した)波打つ黒い線が地殻とマントル中に発達した割れ目である. 画像はMTS静止衛星によって得られ、http://www.sat.dundee.ac.uk/geobrowse/geobrowse.phpで入手できる. 活動地域は北西 - 南東方向の構造的高まりに属する. そこでは裂罅群が、大きな破砕帯 — Mauma Megatrend —とそれに平行な断層群に沿って出現した. 裂罅の発達している場所では、直交する断裂パターンが認識できる.

図2の左の写真は2011年3月の東日本巨大地震前に14日間にわたって現れた壮大な雲の群れである。右の写真は2012年10月20日同じ地域に現れた雲群である(ただし規模は小さい).カムチャツカとオホーツク海は泡状の形態を示す集中的な雲の模様で特徴づけられる。これらの写真は、巨大地震の起こる前には膨大なエネルギーが放出され、その影響が広範囲に及ぶことを証明している。

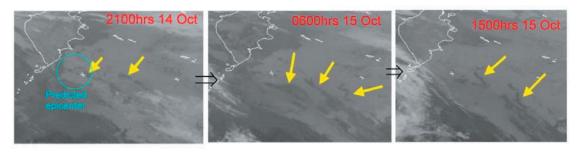
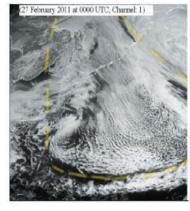


図 1





編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

(小松 宏昭[訳])

(注解: Paul Burrel は次のメールを Steven Foster に送り,編集者へもコピーメールを届けた. Paul と Steven は、その手紙を NCGT の読者に公開することに同意した.)

親愛なる Stephen Foster 博士

私は今読み終えた NCGT No. 63 に掲載されたあなたの意 欲的な手紙に敬意を表したいと思います.

私は、ロシアの科学者たちがわれわれ西側の科学者たちが気づく前にずっと正しい考えを持っていたことに同意したいと思います。(それは、私にとっては、最近の10年間になってグローバルテクトニクスを見る目からウロコを落としてくれました。)

私は東南アジアの鉱山会社の管理部門で働いておりますので、今すぐ次世代に伝えることはできませんが、私は、様々な科学的概念の"金鉱山"として毎号のNCGTを楽しみにしています. 私はNCGTが真の科学的な方法にしたがっていることに同意いたします.

話は変わって、私は一方では、大学生や後輩の地質学者 を指導するときに、彼らに対していつも彼らが学んだ事 柄のすべてを鵜呑みにしないようゆるやかに指導してい ます. すると反応には驚くべきものが生れます. そして、 観察が続けられるにつれて、そこには検証および再検証 された申し分のない健全な仮説と論理がきわめて多数生 まれます. それらは、科学的な方法を握りつぶしている 流行のパラダイムとは、まったく違っています.

Dong Choi 博士は、すばらしいニュースレターのためにもう一度祝福されるべきです.Foster 博士の手紙にあらためて感謝します.

ではまた.

2012年8月4日

Paul BURRELL SEPON EXPLORATION MANAGER paul.burrell@mmg.com

MMG I MINERALS AND METALS GROUP

A member of the Minmetals Resources Limited group of companies (HKEx: 1208)

http://www.minmetalsresources.com/

LANE XANG MINERALS LTD

VILABOULY DISTRICT, SAVANNAKHET PROVINCE, LAO PDR

地熱プラントにおける圧力増加とハチの失踪:大地震の前駆的シグナルか?ポー渓谷平原(イタリア)における最近の群発地震の事例

Pressure increases in geothermal plants and the disappearance of bees:
Premonitory signals of strong earthquakes?
The case of the recent seismic swarm in the Po Valley Plain (Italy)

Valentino STRASER

e-mail: fifurnio@tiscali.it

ポー渓谷平原 (イタリア) における最近の地震活動 (図 1) 一それは 2012 年 3 月 20 日に始まった長い群発性のもので、結果的に 10 日間で 1000 回の地震を記録した一は強い地震によって生じる自然界と人間社会の現象に、さらに多くの情報をもたらした。最も強い揺れは 3 月 20 日と 29 日に起き、マグニチュードは 6 に達した。そして多くの被害と死者を出した。Ferrara 市においては本震の 2 日前の 2012 年 3 月 18 日に地熱プラントの数値が異常な数値とピークを示した (Bignami, 2012)。そして、無数の魚が用水路で死んでいるのが見つかった。

そのほかの奇妙な出来事は、群発地震の始まりと同時に

巣を放棄したミツバチの失踪(図2)である.この現象はSan Carloで観察された.そこでは、幅が1m,長さが何mにもわたる割れ目が口を開けており(図3),落差は場所によっては50cmにも達していた(図4).またSan Carloでは地震動が河床に堆積した岩屑や砂、粘土の液状化現象を引き起こした.建物の内部やその周辺、こわれた床など様々な場所で、砂や泥が噴出した.また噴出の圧力は、駐車中の車を地面から1m以上持ち上げるほどであった.これらの泥火山の現象は、Emilian平原で100年以上にわたって観察されてきた.Anelli(1915)は、塩水や泥を貫いて次のような化学組成一二酸化炭素(4.25%)、一酸化炭素(0.12%)、酸素(0.90%)、窒素(3.20%)、

図1 群発地震の位置図



図 2 Apis mellifera (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Apis_mellifera _carnica_worker_hive_entrance_3.jpg)



図3 San Carlo 郊外で地震によって出現した地割れ

不飽和炭化水素 (0.04%) そしてメタン (91.40%) 一を持つガスがごぼごぼと音を立てている現象を記載している. Emilian 平原の地下は炭化水素が豊富で、San Carloでの現象がこの豊富な炭化水素を伴っているということは十分予想されることである. 一方、地熱プラントでの地熱の数値の増加は、将来予想される大地震に先行する現象の研究にとって新しい分野になっている. 地熱プラントは閉鎖回路として造られているので、計器測定による圧力の上昇は、プラント地下の割れ目系を通ってくる流体の循環による岩石の温度上昇が原因かもしれない.



図 4 2012 年 5 月 20 日の本震後に San Carlo 集落内に現れた 地面の段差

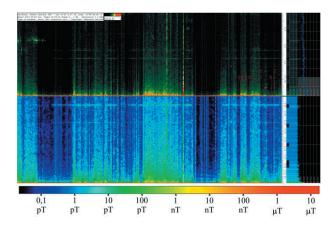


図 5 2012 年 5 月 20 日の地震動に先立つ電波干渉 (Gabriele Cataldi 博士の好意による)

この現象の観察は、予知に至る新しい方法と、将来の地震の予兆の分析という役割を担うものとして機能する1つの探査部門であることを示している.

もっと奇妙なことは、地震によって引き起こされた大き な地面の割れ目近くでミツバチが突然いなくなったこと である. その割れ目は農場と San Carlo の住宅地近くを 横切っている. 過去数年間, 地震前の動物の異常な行動 の研究は、アペニン山脈北西部のパルマ付近で 2008 年 12月23日と2012年の1月27日に起こった地震の震 央から 100km 以内のハ虫類の研究 (Straser, 2012) に 集中していた. もしハ虫類が地面の振動や温度に敏感で あるとしたら, 魚やミツバチは特殊な受容体によって 地球の磁場を感知できることが知られている (Balmori, 2005-2007; Ishay and Gavan, 1999; Walker et al., 1989; Walker, 2008). 電磁波, ELF レンジ中の低周波 そして電波干渉が発生する(図5).われわれは、地球磁 場における不可解な現象が原因で発生する電磁波や低周 波が、動物たちを混乱に陥れているのではないかという 仮説を立てることができる. Richiter スケールによるマ グニチュード5と6の間の地震が生み出す電磁波の変化 は, 震央から遠く離れた昆虫の神経受容体に変化を与え, 彼らを他の場所に分散させる.

文 献

Anelli, M., 1915. Cenni geologici sui dintorni di Traversetolo e Lesignano Bagni. Bollettino Società Geologica Italiana, v. XXXIV, Roma.

Balmori, A., 2005 - Possible Effects of Electromagnetic Fields from Phone Masts on a Population of White Stork (*Ciconia ciconia*). Electromagnetic Biology and Medicine, v. 24, p. 109-119.

Balmori, A. and Hallberg, O., 2007. The urban decline of the house sparrow (Passer domesticus): a possible link with electromagnetic radiation. Electromagn Biol Med., v. 26, no. 2, p.141-151.

Bignami, L., 2012. La pianura trema. Focus, n. 237, p. 24-32.

- Ishay, J.S., Gavan, J., 1999. "Hypothesis stipulating that a natural radar navigational system guides hornet flight". Journal Electrom., v. 13, no. 12, p. 1611-1625.
- Straser, V., 2012. "Sensitive Zones", seismic precursors and earthquake. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 63, p. 4-6.

Walker, M.M., Baird, D.L. and Bitterman, M.E., 1989. Failure of stationary but not for flying honeybees (Apis mellifera) to respond to magnetic field stimulate. Jour. Comp. Physiol., v. 103, p. 62-69.

Warnke, U., 2008. Bees, birds and mankind, destroying nature by "electrosmog". www.buergerwelle.de (pdf). http://www.google.it/imgres/

原著論文 ARTICLES

9/56 年周期: 世界の巨大火山噴火 9/56 YEAR CYCLE: WORLD MEGA VOLCANIC ERUPTIONS

David McMINN mcminn56@yahoo.com Independent Cycle Researcher, Twin Palms, Blue Knob, NSW 2480, Australia

(矢野 孝雄[訳])

要旨: 9/56 年周期が,世界中のさまざまな地域や国々における地震発生時に適用されうることがみいだされた. さらに,9-45 年周期が,1900 年以降の主要な世界的地震 ($M\ge8.5$) において確立された.このような周期が過去数世紀にわたる巨大火山噴火の発生時にもみられる,との仮説も設定される.9/56 年周期が,世界中のより静穏な火山噴火 (VEI=4) で確証された.しかし,これはより大規模な事件 (VEI>5) には見られず,これらの巨大事件には 9-27/56 年格子がより適切であることが見いだされた.不思議なことに,多くの人命の損失をもたらす噴火は 9/56 年格子に関係していて,異常な状況にある.9 年および 56 年の倍数にもとづくパターンは,巨大地震・噴火事件をひきおこす月 - 太陽潮汐の調和級数に起因すると推測される.

キーワード: 9/56 年周期, 地震, 火山, 噴火

まえがき

9/56 年周期が、さまざまな地域や国々における地震発生時について確立された (McMinn, 2010a, 2010b, 2010c). しかしながら、世界中の巨大地震事件 (M≥8.5) は 9/56 年格子には適合せず、9-45/46 年格子がはるかに適切であることが証明された (McMinn 2011b の表 12 参照). 後者は、横軸に 9, 45, 9, 45, 9......... の繰り返し周期が、縦軸に 56 年周期がとられた格子である.この格子は巨大火山噴火に適用されるものと思われるが、重要な成功はおさめていない.たとえそうだとしても、9-27/56 年パターンは、スミソニアン研究所による1600 年以降の大規模噴火 (VEI≥5) カタログにもとづいて十分に確立されるだろう.より中規模の事件 (VEI=4)は、9/56 年格子に選択的に見いだされる.

地震および火山カタログは、時代を遡るほど信頼性が失われ、より不完全になる。そのため、スミソニアン研究所による古期の噴火データのいくつかは、推測年代にす

ぎなくなる. たとえば、1650年の Shiveluch 噴火には \pm 10年、1660年の Long Island 噴火には \pm 20年の誤 差が与えられている. これらのデータを評価に使うこと はできない. 1809年には、位置不明の大噴火が起こった. Cole-Dai et al. (2009)が、氷床コア分析によって 1809 および 1810年層に大量の火山性硫黄が含まれていることを解明してこの結論に到達したのである. この発見は グリーンランドおよび南極試料にも適用され、噴火が熱帯地域で起きたことが明らかにされた. Crowley et al. (2008)は、氷床コアの研究によって次のような巨大噴火が発生したことを見いだした:

- * 1694 年: 熱帯域での大規模噴火. おそらくは, ニューギニア沖の Long Island
- * 1804 年中頃~後半
- * 1809 年: 未知の熱帯域での噴火

残念なことに、古いデータの信頼性が乏しいことから生 じる問題は避けられない.

9/56年周期は、地震および金融恐慌の発生時の基本的

特徴であり、横軸(副次周期と呼ばれる)に9年間隔、 縦軸(系列と呼ばれる)に56年間隔を配した格子で構 成される. 56 年系列は McMinn (2002 の付録 2) にした

3/	6/56 YE	AD CE	oine v	ND W		Table 1		TIONS	SINC	F 1600	VFI =>	. 5
30	5/30 I E	AKGI		l on a li						E 1000	V E1 ->	- 3
				Y		ding Oc		20				
-				l c		Grid A		l c		l c		
Sq 19		Sq 55		Sq 35		Sq 15		Sq 51		Sq 31		Sq 11
17		33		33		13		31		31		1603
								İ		1623	+ 36	1659
						1607	+ 36	1643	+ 36	1679	+ 36	1715
				1627	+ 36	1663 0813	+ 36	1699	+ 36	1735	+ 36	1771
1611	+ 36	1647	+ 36	1683	+ 36	1719	+ 36	1755 1017	+ 36	1791	+ 36	1827
1667 0923	+ 36	1703	+ 36	1739 0819	+ 36	1775	+ 36	1811	+ 36	1847	+ 36	1883 0827
1725	+ 36	1759	+ 36	1795	+ 36	1831	+ 36	1867	+ 36	1903	+ 36	1939
										1902		
4880	. 26	4045	. 26	1051	. 26	4005	. 26	4000	. 26	1024	. 26	100#
1779	+ 36	1815 0517	+ 36	1851	+ 36	1887	+ 36	1923	+ 36	1959	+ 36	1995
1835 0120	+ 36	1871	+ 36	1907 0328	+ 36	1943	+ 36	1979	+ 36	2015		
1891	+ 36	1827	+ 36	1963 0317	+ 36	1999	+ 36	2035				
1947	+ 36	1983	+ 36	2019								
2003												
-				l c		Grid B				l c		
Sq 48		Sq 28		Sq 08		Sq 44		Sq 24		Sq 04		Sq 40
												1632 1631
												1216
								1616	+ 36	1652	+ 36	1688
				1600 0219	+ 36	1636	+ 36	1672	+ 36	1708 1707	+ 36	1744
<u> </u>	-	1620	+ 36	1656	+ 36	1692	+ 36	1728	+ 36	1216 1764	+ 36	1800
		1020	7 30	1030	7 30	1092	7 30	1/28	7 30	1/04	7 30	0115
1640 0731	+ 36	1676	+ 36	1712	+ 36	1748	+ 36	1784	+ 36	1820	+ 36	1856
1696	+ 36	1732	+ 36	1768	+ 36	1804	+ 36	1840	+ 36	1876	+ 36	1912 0606
1752	+ 36	1788	+ 36	1824	+ 36	1860	+ 36	1896	+ 36	1932 0510	+ 36	1968
1808	+ 36	1844	+ 36	1880	+ 36	1916	+ 36	1952	+ 36	1988		
1864	+ 36	1900	+ 36	1936	+ 36	1972	+ 36	2008				
1920	+ 36	1956	+ 36	1992	+ 36	2028						
		0330										
1976	+ 36	0330 2012										
1976	+ 36			VEI =>								
1976	+ 36			VEI =	5 erupt	tions pre	sented	in Red.				

Abbreviation: VEI - Volcanic Explosivity Index.

Source of Raw Data: Smithsonian Institute. Global Volcanism Program. Large Hol

		LAK			listin	g by th	e Smit	ERUPT hsonia			£ 1600	VEI=	> 5
		-		-	Year	ending	Octo			-		-	_
Sq 48		Sq 19		Sq 28		Sq 55		Sq 08		Sq 35		Sq 44	
								1600 0219	+27	1627	+9	1636	+2
		1611	+9	1620	+27	1647	+9	1656	+27	1683	+9	1692	+2
1640 0731	+27	1667 0923	+9	1676	+27	1703	+9	1712	+27	1739 0819	+9	1748	+2
1696	+27	1725	+9	1732	+27	1759	+9	1768	+27	1795	+9	1804	+2
1752	+27	1779	+9	1788	+27	1815 0517	+9	1824	+27	1851	+9	1860	+21
1808	+27	1835 0120	+9	1844	+27	1871	+9	1880	+27	1907 0328	+9	1916	+2
1864	+27	1891	+9	1900	+27	1827	+9	1936	+27	1963 0317	+9	1972	+2
1920	+27	1947	+9	1956 0330	+27	1983	+9	1992	+27	2019	+9	2028	
1976	+27	2003	+9	2012									
Conti	nued.												
Sq 15		Sq 24		Sq 51		Sq 04		Sq 31		Sq 40		Sq 11	
												1603	
								1623	+9	1632 1631 1216	+27	1659	
1607	+9	1616	+27	1643	+9	1652	+27	1679	+9	1688	+27	1715	
1663 0813	+9	1672	+27	1699	+9	1708 1707	+27	1735	+9	1744	+27	1771	
1719	+9	1728	+27	1755 1017	+9	1216 1764	+27	1791	+9	1800 0115	+27	1827	
1775	+9	1784	+27	1811	+9	1820	+27	1847	+9	1856	+27	1883 0827	
1831	+9	1840	+27	1867	+9	1876	+27	1903	+9	1912	+27	1939	
								1902 1024		0606			
1887	+9	1896	+27	1923	+9	1932 0510	+27	1959	+9	1968	+27	1995	
							-	-					
1943	+9	1952	+27	1979	+9	1988	+27	2015			l		

VEI = 5 eruptions presented in Red

Dates denoted as YYYYMDD.

Abbreviation: VEI - Volcanic Explosivity Index.

te. Global Volcanism Progran Source of Raw Data: Smithsonian Institu

がって数値が与えられ,系列1に1817,1873,1929, 1985, 系列 2 に 1818, 1874, 1930, 1986, などの ように配置される. 最適年が、この論文に掲載された さまざまな表に適用された. 略号 E° は黄道上の昇月点 の位置に適用され、春分点 (000E°) とのなす角に相当す る. 以下,本論では,火山爆発指標 (Volcanic Explosive Index) という用語に VEI との略号が適用される.

9-27/56 年格子にみられる VEI≥5

スイソニアン研究所のリスト (付録1参照)にもとづく と、1600年以降の世界の大噴火 (VEI≥5) の発生時に、 9/56年周期はみられず、詳細に検討しても留意すべき ことがらは見いだされなかった. たとえそうであっても, 横軸の36年と縦軸の56年のくりかえし間隔をもつ2 つの格子は重要である(表1). この表の格子 A は格子 B に関係して9年ごとに示されていて,格子Aに9年を加 えることによって格子Bがえられた. これら2つの格子 を組み合わせると、横軸に 9, 27, 9, 27, 9, 27... 年、およ び縦軸に56年間隔をもつ系(9-27/56年周期と呼ばれる) ができる. 1600年以降に関するスミソニアン研究所に よってリストされた34の巨大噴火のうち、約18が表 2に示されている (確立 p<.001). 1950 年以前の VEI≥ 6の5つの噴火がこのパターンを示すが、これは未詳の 1694年および 1809年の噴火, あるいは, より最近の 1991 年ピナツボ火山噴火には適用できない. 1804 年 中頃~後期の提案されている噴火 (Crowley et al., 2008) は系列44に起きていて、これらの表に適合する.

9-27/56 年格子に示されている季節性が、表 2 にまとめ られている. 系列 48~15 において, すべての噴火は5 月20日に終わる4ヶ月間(6件)または9月25日に 終わる2ヶ月間(3件)に発生している. 系列51~11 において、噴火は6月8日に終わる1ヶ月間(2件)ま たは 12 月 16 日に終わる 3.7 ヶ月間 (5 件) に起こって いる. 1800年のセントヘレンズ火山の噴火に関するデー タは, 1月12日±120日であるので, 信頼できない.

1800 年以降, VEI≥5 の噴火は, 1822 年の Galunggung 火山の噴火を皮切りに20~30年ごとに集中して発生 するのが一般的である. 先回の噴火群での最後の噴火 に20年を加算すると、次の群の始まりがほぼ判明する. 1991年のピナツボ火山と Cerro Hudson 火山以来 21年 になるので、次の巨大噴火はこの10年のうちに発生す るだろう.

Mega Eruptions VEI => 5	Approximate Duration
1800, 1804*, 1809*, 1815	15 yrs
1822	Anomalous
1835, 1854	19 yrs
1875, 1883 , 1886	11 yrs
1902 , 1907, 1912 , 1913	11 yrs
1932, 1933	2 yrs
1956, 1963	7 yrs
1980, 1991 , 1991	11 yrs

^{*} Mega eruptions according to Crowley et al (2008).

Source of Raw Data: Smithsonian Institute.

VEI≥6 の 9-27/56 年格子

巨大噴火 (VEI \geq 6) は、9/56 年パターンの中に含まれる傾向にある。3 つの巨大噴火が、わずか 2 つの 56 年系列 (系列 08 と 55) に発生した。氷床コア分析にもとづいて Crowley et al. (2008) はある"熱帯域における大規模噴火"が 1694 年に起きたことを信じていて、この年は表の系列 46 に配置される。

	,	Year ended	May 31	
Sq 46		Sq 55		Sq 08
				1600 0219
1638	+ 9	1647	+ 9	1656
1694 ????	+ 9	1703	+ 9	1712
1750	+ 9	1759	+ 9	1768
1806	+ 9	1815 0410	+ 9	1824
1862	+ 9	1871	+ 9	1880
1918	+ 9	1927	+ 9	1936
1974	+ 9	1983	+9	1992 1991 0615

スミソニアン研究所によってリストされた VEI≥6 の残る 3 つの噴火は、次の 9/56 年格子に配置され、よくわからない 1809 年の噴火も同様である.

			Yea	r ending A	ugust 31			
Sq 31		Sq 40		Sq 49		Sq 02		Sq 11
								1603
1623	+ 9	1632	+ 9	1641	+ 9	1650	+ 9	1659
1679	+ 9	1688	+ 9	1697	+ 9	1706	+ 9	1715
1735	+ 9	1744	+ 9	1753	+9	1762	+ 9	1771
1791	+ 9	1800	+ 9	1809 ????	+ 9	1818	+ 9	1827
1847	+ 9	1856	+ 9	1865	+ 9	1874	+ 9	1883 0827
1903 1902 1024	+ 9	1912 0606	+ 9	1921	+ 9	1930	+ 9	1939
1959	+ 9	1968	+ 9	1977	+ 9	1986	+ 9	1995
2015								

VEI=4 の 9/56 年格子

VEI=4の歴史噴火も、スミソニアン研究所によってリストされている (付録 4 参照). これらのより穏やかな噴火は、表 3 の 9/56 年パターンに含まれる傾向を示す. $1590\sim1940$ 年の 110の噴火のうち、約 33 がこの格子に配置される (確率 p<.01). 1940年以降では、わずか5つの噴火がこのパターンに配置され、それは偶然として考えることもできる.

人的災難

Blong (1984) は,1600 年以降の死者 500 人以上の火山噴火リストを提示し,それは広く引用される文献となった.表 4 に示されるように,リストされた 23 の火山災害のうち 12 が 9/56 年格子に発生したものである (確率p<0.01).この特有の格子は,完全な 9/56 年周期の同様の領域にみられ,それは次の事象にも密接に関連する:

- * 1590 \sim 1940 年の期間における VEI=4 の噴火時期 (表 3)
- * ハワイ火山の噴火の開始 (McMinn, 2011c の表 13 参照)
- * 1760 年以降の合衆国およびヨーロッパの金融恐慌 の発生時期 (McMinn, 1995)

	9/56 Y			listing		RUPTIC Smithso			VEI = 4	
Sq 52	Sq 05	Sq 14	Sq 23	Sq 32	Sq 41	Sq 50	Sq 03	Sq 12	Sq 21	Sq 30
							1595	1604	1613	1622
	1597	1606 **	1615	1624	1633	1642	1651	1660 ***	1669	1678
1644	1653	1662	1671	1680	1689	1698	1707	1716	1725	1734
1700	1709	1718	1727 *	1736	1745	1754	1763	1772	1781	1790 *
1756	1765	1774	1783	1792	1801	1810	1819	1828	1837	1846
1812 **	1821	1830	1839	1848	1857	1866	1875	1884	1893	1902
1924 **	1933	1007					1021			

					Ta	ble 4					
	9/56	YEAR (ONS pos	t 1580	
			В	ased on	the listi			84)			
						ar Year	~			_	
Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq	Sq
23	32	41	50	03	12	21	30	39	48	01	10
											1602
					1604	1613	1622	1631	1640	1649	1658
								*	*		<u> </u>
1615	1624	1633	1642	1651	1660	1669	1678	1687	1696	1705	1714
1671	1680	1689	1698	1707	1716	1725	1734	1743	1752	1761	1770
1727	1736	1745	1754	1763	1772	1781	1790	1799	1808	1817	1826
					*						
1783	1792	1801	1810	1819	1828	1837	1846	1855	1864	1873	1882
**	*										
1839	1848	1857	1866	1875	1884	1893	1902	1911	1920	1929	1938
							**	*			
1895	1904	1913	1922	1931	1940	1949	1958	1967	1976	1985	1994
1951	1960	1969	1978	1987	1996	2005	2014	2023	 	1	
**						"					
2007	2016	2025	1	1	Ì		1	1	i –	1	
* Den	otes a vo	lcanic e	runtion o	ausing a	at least 5	00 death	ıs				•

John Seach による壊滅的噴火カタログ (付録 3 参照) も、表 4 に示される 9/56 年格子に関係している可能性がある。計 36 の破壊的噴火が示されていて、そのうち 16 がこの配置で発生した (確率 p < .01)(付録 5 参照). 興味深いことに、4,000 人以上の死者をだした最悪の 12 の噴火のうち、67% がこのパターンを示す。ところが、500 \sim 3,999 人の死者をだした噴火の場合には、その数値は 32% にすぎない。

国立地球物理学データセンター (NGDC) のデータベースから、1600 年以降に 500 人以上の死者をだした噴火の世界リストを作成できる。9/56 年格子との対応関係 (確率 p > .50) はみいだされず、そのため、Bong (1984) と John Seach の編集結果から導かれた発見と矛盾する。

議論

巨大地震 (M≥8.5) は 1900 年以降 9-45 格子に配置される傾向を示すのに (McMinn, 2011b), 巨大噴火は過去410 年間にわたって 9-27 パターンで選択的に発生したことは (表 2), 異常なことのようだ. これら 2 つの事象のタイミングは一致せず,最近の数世紀にわたって別の周期傾向にしたがっているようだ. あまり過酷でない噴火 (VEI=4) は,おもに 9/56 年の傾向をもって発生してきた (表 3). 暗に,巨大噴火 (VEI≥5) もまた,あまり過酷でない噴火 (VEI=4) とは異なる周期的タイミングをもっているのかもしれない. これはまったくの憶測であり,結論を導く前により多くの研究が不可欠である.

9-27 年格子は、1600 年以降の巨大噴火 (表 2) と約

1830年以来のハワイ島の噴火の開始 (McMinn, 2011c の表 14 参照) の顕著な特徴である. しかしながら, 両パターンには 56 年系列 (系列 48) が現れるだけであり, これら 2 つの現象は別の周期的タイミングの関数であるようにみえる.

9/56 年格子と多数の人命をうばった噴火との関係性は予期せぬものであり、この観測を説明できる提案はみつかっていない. 最大規模の噴火がもっとも壊滅的被害(たとえば、1815 年の Tambora 火山や 1883 年の Krakatau火山の噴火)をもたらすものと予測されるかもしれないが、Blong火山の多くの噴火は、スミソニアン研究所のVEI≥5 の噴火リストに含まれていない. それは、著しく活動的な火山の周辺地域における人口密度に大きく依存しているのであろう.

9年および56年の倍数にもとづく周期が、噴火と地震の タイミングにみいだされる. それらは、McMinn(2011a の付録5参照)によって提案されたように、おそらく 月-太陽の潮汐によって始動されたのであろう。表1に 示される 35/56 年格子 A のすべての事件は、黄道上で 070~215E°(145°の範囲)に位置する昇月点で発生し ているが、格子Bでの昇月点は235~035 E°(160°の 範囲)にみいだされる.いずれの例においても,例外なく, 月-太陽周期から予期された9/56年パターンに従うあ らゆる現象において(たとえば、表3に示される世界中 の VEI=4 の噴火), 昇月点は, 例外なく黄道のほぼ反対 側に位置する2つの区間に常に位置しているようだ。年 間のほぼ同時期に発生し、9/56年格子に配置される事 件に対応する遠地点は黄道上の 120°隔たった 3 つの区 間に例外なく位置するだろう. 同じ 56 年系列に配置さ れる事件に対応する昇月点は、例外なく、黄道上の幅狭 い区間に位置する.

9-45/56年(巨大地震)あるいは9-27/56年(巨大噴火)の格子に配置される周期は、造構事件の世界的パターンの暗号解読に役立つ手がかりになるだろう。全般的傾向は、月-太陽潮汐調和性が地震と噴火のタイミングを決定する旋回軸の役割をはたしているとの仮定から生じるのかもしれない。そのような力が世界中に働いていて、それは、評価されるべき地球の特定の位置によって変化する。

18年の Saros 黄道周期において、月、太陽、上昇点、および遠地点の間の相対的角度は 223 陰月あるいは 6585.32 日ごとに最接近をくりかえす.後者の数値 .32 は、223 陰月ごとにたいへん類似する月、太陽、上昇点および遠地点の形状が、地球が 1/3 だけ余分に回転するために、経度でほぼ 120° 西側にくりかえし現れることを意味する.Saros 周期の 2 倍は 36 年にあたり、この形状は 2/3 だけさらに西側にくりかえし現れるが、54年にあたる 3 倍の Saros 周期になると、同じ配列が同じ経度に再現されるだろう.111.5 陰月 (Saros 周期の半分の 9年) ごとに、月は昇月点から同じ角度に位置し、太

陽とは黄道上で180°隔たった反対側にみられる.111.5 陰月は3292.66 日に等しく、後者の数値の.66 は、この形状が地表では240°西側で繰り返されることを意味する.地球上の特定の地点における月-太陽の南中周期という基準でこれをすべて表示する方法は、未だ考案されていない.残念なことに、この課題に関するすぐれた文献をすぐには入手できず、重要な基礎的情報を提供できない.3次および6次の潮汐調和性が鍵になることは明白であるが、それについてはほとんど述べるところがない

結 論

これまでの 4 世紀にわたって,表 2 に示されるように,巨大火山噴火 (VEI \geq 5) が 9-27/56 年配置で選択的に発生してきたが,9/56 年格子がより平穏な噴火 (VEI=4) に適用される (表 3). 世界的に壊滅的な噴火は,表 4 に示されるように 9/56 年パターンに選択的に発生した.この発見は,Blong (1984) および John Seach(しかし,NGDC データでは支持されない) のリストにもとづいている.9/56 年格子と壊滅的火山噴火との関係性は,謎めいている.

この論文に記述された発見はたいへん興味深く,9/56年周期に関する本質的研究に貢献するものである.この新しいパラダイムを確証あるいは否定するには,より多くの研究が必要である.月-太陽潮汐調和性を判読することができれば,今後の大きな噴火と地震を正確に予測することが可能になるだろう.これは過去1世紀にわたる造構研究の聖杯であったが,この目標の達成はとらえどころのない状況にある.

謝辞 査読者には論文の評価をいただいたことを,編集者 Dong Choi 氏には 9/56 年仮説への支持をいただいたことを,著者は感謝している.氏ら示唆に厚く御礼申し上げる.

文 献

Blong, R J. 1984. Volcanic Hazards: A Sourcebook on the Effects of Eruptions. Academic Press, 1984.

Cole-Dai, J., Ferris, D., Lanciki, A., Savarino, J., Baroni, M. and Thiemens, M.H., 2009, Cold decade (AD 1810–1819) caused by Tambora (1815) and another (1809) stratospheric volcanic eruption. Geophys. Res. Lett., 36, L22703, doi:10.1029/2009GL040882.

Crowley, T.J. et al., 2008. Volcanism and The Little Ice Age. PAGES News. Vol 6. No 2. p. 22-23. April.

Mason, B.G., Pyle, D.M., Dade, W.B. and Jupp, T., 2004. Seasonality of Volcanic Eruptions. Journal of Geophysical Research. Vol 109, B04206, 12 PP. doi:10.1029/2002JB002293

McMinn, D., 1995. Financial Crises & The 56 Year Cycle. Twin Palms Publishing. 103p.

McMinn, D., 2002. 9/56 Year Cycle: Financial Crises. http://www.davidmcminn.com/pages/fcnum56.htm

McMinn, D., 2011a. 9/56 Year Cycle: Californian Earthquakes. New Concepts In Global Tectonics Newsletter, no. 58. p. 33-44.

McMinn, D., 2011b. 9/56 Year Cycle: Record Earthquakes. New Concepts In Global Tectonics Newsletter, no. 59. p. 88-104.

McMinn, D., 2011c. 9/56 Year Cycle: Earthquakes in Selected Countries. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 60, p. 9-37.

McMinn, D., 2012a. 9/56 Year Cycle: Earthquakes in Peru, The Philippines and Selected US States. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 62, p. 23-30.

McMinn, D., 2012b. Financial Cycles: A Key to Deciphering Seismic Cycles? New Concepts in Global Tectonics Newsletter. No 63. p 15-36. June.

Seach, J., Volcano Eruption Fatalities. Smithsonian Institute. Global Volcanism Program. Large Holocene Eruptions. http://www.volcano.si.edu/world/largeeruptions.cfm

	WORLD VOLCANIC M	Appendix 1 EGA ERUPTIONS SINCE 16	00 VEI => 5
	Listing by	y the Smithsonian Institute	
VEI	DATE	VOLCANO	COUNTRY
6	1600 Feb 19	Huaynaputina	Peru
5	1625 Sep 02	Katla	Iceland
5?	1630 Sep 03	Furnas	Azores
5	1631 Dec 16	Vesuvius	Italy
5	1640 Aug 31	Komaga-Take	Japan
5?	1641 Jan 04	Parker	Philippines
5	1650 ± 10 yrs*	Shiveluch	Kamchatka Russia
6	1660 ± 20 yrs*	Long Island	Papua New Guinea
5	1663 Aug 16	Usu	Japan
5	1667 Sep 23	Shikotsu	Japan
5?	1673 May 20	Gamkokora	Indonesia
5?	1680 ?? ??	Tongkko	Indonesia
5	1707 Dec 16	Fuji	Japan
5?	1721 May 11	Katla	Iceland
5	1739 Aug 19	Shikotsu	Japan
5?	1755 Oct 17	Katla	Iceland
5	1800 Jan 15	Mt St Helens	Washington USA
	± 120 days		
7	1815 May 10	Tombora	Indonesia
5	1822 Oct 08	Galunggung	Indonesia
5	1835 Jan 20	Cosiguina	Nicaragua
5	1854 Feb 18	Shiveluch	Kamchatka
5	1875 Mar 25	Askja	Iceland
6	1883 Aug 27	Krakatau	Indonesia
5	1886 Jan 11	Okataina	New Zealand
6	1902 Oct 24	Santa Maria	Guatemala
5	1907 Mar 28	Ksudach	Kamchatka Russia
6	1912 Jun 06	Novarupta	Alaska USA
5	1913 Jan 20	Colima	Mexico
5	1932 Apr 10	Azul Cerro	Chile
5	1933 Jan 08	Kharimkotan	Kuriles Russia
5	1956 Mar 30	Bezymianny	Kamchatka Russia
5	1963 Mar 17	Agung	Lesser Sunda Is
5	1980 May 18	Mt St Helens	Washington USA
6	1991 Jun 15	Mt Pinatubo	Philippines
5	1991 Aug 12	Cerro Hudson	Chile

* Imprecise date could not be used in the calculations.

Events in **bold** fell within the 9-27/56 year cycle as shown in **Table 2**.

Abbreviation: VEI - Volcanic Explosivity Index

Source: Smithsonian Institute. Global Volcanism Program. <u>Large Holocene Eruntion</u>

VOLCANIC ERUPTI	Appen		ACT 500 DE ATHE
VOLCANIC ERUFTI	Listing by B		AS1 500 DEATHS
Volcano	Year	1. Deaths	Major cause of deaths
Tambora, Indonesia	1815	92,000	Starvation
Krakatau, Indonesia	1883	36,417	Tsunami
Mount Pelee, Martinique	1902	29,025	Ash flows
Ruiz, Colombia	1985	25,000	Mudflows
Unzen, Japan	1792	14,300	Volcano collapse, tsunami
Laki, Iceland	1783	9,350	Starvation
Kelut, Indonesia	1919	5,110	Mudflows
Galunggung, Indonesia (a)	1822	4,011	Mudflows
1. Vesuvius, Italy	1631	3,500	2. Mudflows, lava flows
Papandayan, Indonesia	1772	2,957	Ash flows
Lamington, Papua New Guinea	1951	2,942	Ash flows
El Chichon, Mexico	1982	2,000	Ash flows
Soufriere, St. Vincent	1902	1,680	Ash flows
Oshima, Japan	1741	1,475	Tsunami
Asama, Japan	1783	1,377	Ash flows, mudflows
Taal, Philippines	1911	1,335	Ash flows
Mayon, Philippines	1814	1,200	Mudflows
Agung, Indonesia	1963	1,184	Ash flows
Cotopaxi, Ecuador	1877	1,000	Mudflows
Pinatubo, Philippines	1991	800	Disease
Komagatake, Japan	1640	700	Tsunami
Ruiz, Colombia	1845	700	Mudflows
Hibok-Hibok, Philippines	1951	500	Ash flows

Eruptions highlighted in **bold** fall in the 9/56 year grid as presented in **Table 3**.

(a) The 1822 eruption was incorrectly listed by Bong (1984) as occurring in 1882. The table included "All eruptions with more than 500 known human fatalities." **Source:** Blong 1984.

E	RUPTIONS POST 1580 C		DEATHS
		by John Seach	
Fatalities	Volcano	Location	Year
92 000	Tambora	Indonesia	1815
36 000	Krakatau	Indonesia	1883
29 000	Mt Pelee	Martinique	1902
28 000	Nevado del Ruiz	Colombia	1985
15 000	Unzen	Japan	1792
10,000	Kelut	Indonesia	1586
10 000	Laki	Iceland	1783
6 000	Santa Maria	Guatemala	1902
5100	Kelut	Indonesia	1919
5000	Santiaguito	Guatemala	1929
4000	Galunggung	Indonesia	1822
4000	Vesuvius	Italy	1631
3500	El Chichon	Mexico	1982
3200	Awu	Indonesia	1711
3000	Merapi	Indonesia	1672
2951	Papandayan	Indonesia	1772
2900	Lamington	PNG	1951
2806	Awu	Indonesia	1856
2000	Nyiragongo	DR Congo	1977
1700	Nyos	Cameroon	1986
1500	La Soufriere	Saint Vincent	1902
1500	La Soufriere	Saint Vincent	1902
1500	Awu	Indonesia	1892
1480	Oshima-Oshima	Japan	1741
1330	Taal	Philippines	1911
1300	Merapi	Indonesia	1930
1200	Mayon	Philippines	1814
1200	Asama	Japan	1783
1100	Agung	Indonesia	1963
1000	Raung	Indonesia	1638
1000	Nevado del Ruiz	Colombia	1845
960	Awu	Indonesia	1812
800	Cotopaxi	Ecuador	1742
740	Pinatubo	Philippines	1991
500	Iliwerung	Indonesia	1979
500	Rahaul	PNG	1938
500	Hibok-Hibok	Philippines	1951

Eruptions highlighted in **bold** fall in the 9/56 year grid as presented in **Appendix 5**. The appendix included all events causing 500 or more fatalities. **Source:** John Seach. Volcano Eruption Fatalities.

	WORLD VO	DLCANIC MEGA E	endix 4 RUPTIONS SINCE nithsonian Institute	1600 VEI = 4	
Vocano Name	Region	Date	Volcano Name	Region	Date
Merapi	Java Id	2010 Nov 5	Kliuchevskoi	Kamchatka	1829 Sep 9
Evjafjallajokull	Iceland	2010 Apr 14	Avachinsky	Kamchatka	1827 Jun 27
Sarychev Peak	Kuril Is	2009 Jun 11	Kelut	Java Id	1826 Oct 11
Kasatochi	Aleutian Is	2008 Aug 7	Isanotski	Aleutian Is	1825 Mar 10
Okmok	Aleutian Is	2008 Jul 12	Usu	Hokkaido Jp	1822 Mar 12
Chaiten	Chile	2008 May 2	Colima	México	1818 Feb 15
Rabaul	New Britain	2006 Oct 7	Raung	Java Id	1817 Jan 16
Manam	New Guinea	2005 Jan 27	Mayon	Luzon Ph	1814 Feb 1
Reventador	Ecuador	2002 Nov 3	Suwanose-Jima	Ryukyu Is Jp	1813
Ruang	Indonesia	2002 Sep 25	Awu	Indonesia	1812 Aug 6
Shiveluch Ulawun	Kamchatka New Britain	2001 May 22 2000 Sep 29	Soufriere StV	West Indies New Britain	1812 Apr 27
Rabaul	New Britain	1994 Sep 19	Pago Westdahl	Aleutian Is	1795
Lascar	Northern Chile	1993 Apr 19	San Martin	México	1793 Mar 2
Spurr	Alaska	1992 Jun 27	Alaid	Kuril Is	1793 Feb
Kelut	Java Id	1990 Feb 10	Kilauea	Hawaiian Is	1790 Nov ?
Kliuchevskoi	Kamchatka	1990 Jan 30	Etna	Italy	1787 Jul 18
Chikurachki	Kuril Is	1986 Nov 20	Pavlof	Alaska	1786
Augustine	Alaska	1986 Mar 27	Asama	Honshu Jp	1783 Aug 3
Colo	Sulawesi Id	1983 Jul 23	Grimsvotn	Iceland	1783 Jun 8
Galunggung	Java Id	1982 May 17	Sakura-Jima	Kyushu Jp	1779 Nov 8
El Chichon	México	1982 May 17	Raikoke	Kuril Is	1778
Pagan	Mariana Is	1981 May 15	Usu	Hokkaido Jp	1769 Jan 23
Alaid	Kuril Is	1981 Apr 30	Cotopaxi	Ecuador	1768 Apr 4
Augustine	Alaska	1976 Jan 22 ?	Helka	Iceland	1766 Apr 5
	77 1 1	i	Michoacan-		
Tolbachik	Kamchatka	1975 Jul 6	Guanajuato	México	1764
Fuego	Guatemala	1974 Oct 17	Miyake-Jima	Izu Is Jp	1763 Aug 1
Tiatia	Kuril Is	1973 Jul 14	Planchon-Peteroa	Central Chile	1762 Dec 3
Fernandina	Galápagos Is	1968 Jun 11	Makian	Halmahera Id	1760 Sep 22
Awu	Indonesia	1966 Aug 12	Michoacan- Guanajuato	México	1759 Sep 29
Kelut	Java Id	1966 Apr 26	Taal	Luzon Ph	1754 Nov 21
Taal	Luzon Ph Ph	1965 Sep 28	Ksudach	Kamchatka	1750 ?
Shiveluch	Kamchatka	1964 Nov 12	Taal	Luzon Ph	1749 Aug 11
Agung	Indonesia	1963 May 16	Cotopaxi	Ecuador	1744 Nov 3
Carran–Los Venados	Central Chile	1955 Jul 27	Oshima-Oshima	Hokkaido Jp	1741 Aug 2
Spurr	Alaska	1953 Jul 9	Fuego	Guatemala	1737 Aug 2'
Bagana	Bougainville Is	1952 Feb 29	Oraefajokull	Iceland	1727 Aug 3
Kelut	Java Id	1951 Aug 31	Cerro Bravo	Colombia	1720 ± 150 yr
Lamington	New Guinea	1951 Jan 21	Raoul Island	Kermadec Is	1720 ± 50 yrs
Ambrym	Vanuatu	1951	Fuego	Guatemala	1717 Aug 2
Hekla	Iceland	1947 Mar 29	Taal	Luzon Ph	1716 Sep 2-
Sarychev Peak	Kuril Is	1946 Nov 9	Chirpoi	Kuril Is	1712 Dec 31 ± 365 days
Avachinsky	Kamchatka	1945 Feb 25	Komaga Take	Hokkaido Jp	1694 Jul 4
Michoacan-					1
Guanajuato	México	1943 Feb 20	Serua	Banda Sea	1693 Jun 4
Rabaul	New Britain	1937 May 29	Hekla	Iceland	1693 Feb 13
Kuchinoerabu Jima	Ryukyu Is Jp	1933 Dec 24	Chikurachki	Kuril Is	1690 ± 10 yr
Suoh	Sumatra Id	1933 Jul 10	Katla	Iceland	1660 Nov 3
Fuego	Guatemala	1932 Jan 21	Guagua Pichincha	Ecuador	1660 Oct 2
Aniakchak	Alaska	1931 May 11	Teon	Banda Sea	1660 Feb
Kliuchevskoi	Kamchatka	1931 Mar 25	Taranaki	New Zealand	1655 ?
Komaga-Take	Hokkaido Jp	1929 Jun 17	Santorini	Greece	1650 Sep 2
Avachinsky	Kamchatka	1926 Apr 5	Makian	Halmahera Id	1646 Jul 19
Iriomote-Jima	Ryukyu Is Jp	1924 Oct 31	Kelut	Java Id	1641
Raikoke	Kuril Is	1924 Feb 15	Komaga-Take	Hokkaido Jp	1640 Jul 31
Manam	New Guinea	1919 Aug 11	Llaima	Central Chile	1640 Feb
Kelut	Java Id	1919 May 19	Raung	Java Id	1638
Katla	Iceland	1918 Oct 12	Raoul Island	Kermadec Is	1630 ± 50 yr.
Tungurahua	Ecuador	1918 Apr 5	Colima	México	1622 Jun 8
Agrigan	Mariana Is	1917 Apr 9	Katla	Iceland	1612 Oct 12
Sakura-Jima	Kyushu Jp	1914 Jan 12	Colima	México	1606 Dec 1
Lolobau	New Britain	1911	Colima	México	1606 Nov 2
Vesuvius	Italy	1906 Apr 8	Momotombo	Nicaragua	1605
Lolobau	New Britain	1905	Suwanose-Jima	Ryukyu Is Jp	1600 ?
	Iceland	1903 May 28	Hekla	Iceland	1597 Jan 3
Grimsvotn		1700 1110) 20			

			Ruiz		
Soufriere StV	West Indies	1902 May 6	Colima	México	1585 Jan 10
Pelee	West Indies	1902 May 2	Fuego	Guatemala	1582 Jan 14
Dona Juana	Colombia	1899 Nov 13	Fuego	Guatemala	1581 Dec 26
Mayon	Luzon Ph	1897 Jun 25	Katla	Iceland	1580 Aug 11
Calbuco	Southern Chile	1893 Jan 10	Cayambe	Ecuador	1570 ?
Colima	México	1890 Feb 16	Aniakchak	Alaska	1560 ± 50 yrs*
Suwanose-Jima	Ryukyu Is	1889 Oct 2	Maly Semiachik	Kamchatka	1550 ?
Bandai	Honshu Jp	1888 Jul 15	Pago	New Britain	1550 ?
Niuafo'ou	Tonga Is	1886 Aug 31	Katla	Iceland	1550 ?
Tungurahua	Ecuador	1886 Jan 11	Augustine	Alaska	1540 ± 100 yrs*
Augustine	Alaska	1883 Oct 6	Cotopaxi	Ecuador	1534 Jun
Fuego	Guatemala	1880 Jun 28	Cotopaxi	Ecuador	1532 Nov 15
Cotopaxi	Ecuador	1877 Jun 26	Telica	Nicaragua	1529
Suwanose- Jima	Ryukyu Is Jp	1877	Hekla	Iceland	1510 Jul 25
	Ryukyu Is Jp	1877 1873 Jan 8	Hekla Katla	Iceland Iceland	1510 Jul 25
Jima					
Jima Grimsvotn	Iceland	1873 Jan 8			
Jima Grimsvotn Merapi	Iceland Java Id	1873 Jan 8 1872 Apr 15			
Jima Grimsvotn Merapi Sinarka	Iceland Java Id Kuril Is	1873 Jan 8 1872 Apr 15 1872			
Jima Grimsvotn Merapi Sinarka Makian	Iceland Java Id Kuril Is Halmahera Id	1873 Jan 8 1872 Apr 15 1872 1861 Dec 28			
Jima Grimsvotn Merapi Sinarka Makian Katla	Iceland Java Id Kuril Is Halmahera Id Iceland	1873 Jan 8 1872 Apr 15 1872 1861 Dec 28 1860 May 8			
Jima Grimsvotn Merapi Sinarka Makian Katla Fuego Komaga-Take Usu	Iceland Java Id Kuril Is Halmahera Id Iceland Guatemala	1873 Jan 8 1872 Apr 15 1872 1861 Dec 28 1860 May 8 1857 Jan 15 1856 Sep 25 1853 Apr 22			
Jima Grimsvotn Merapi Sinarka Makian Katla Fuego Komaga-Take Usu Fonualei	Iceland Java Id Kuril Is Halmahera Id Iceland Guatemala Hokkaido Jp Tonga Is	1873 Jan 8 1872 Apr 15 1872 1861 Dec 28 1860 May 8 1857 Jan 15 1856 Sep 25 1853 Apr 22 1846 Jun 11?			
Jima Grimsvotn Merapi Sinarka Makian Katla Fuego Komaga-Take Usu	Iceland Java Id Kuril Is Halmahera Id Iceland Guatemala Hokkaido Jp Hokkaido Jp	1873 Jan 8 1872 Apr 15 1872 1861 Dec 28 1860 May 8 1857 Jan 15 1856 Sep 25 1853 Apr 22			

Based on the listing by <u>John Seach</u> Calendar Years											
Sq 23	Sq 32	Sq 41	Sq 50	Sq 03	Sq 12	Sq 21	Sq 30	Sq 39	Sq 48	Sq 01	Sq 10
				1					1584	1593	1602
			1586	1595	1604	1613	1622	1631	1640	1649	1658
1615	1624	1633	1642	1651	1660	1669	1678	1687	1696	1705	1714
1671	1680	1689	1698	1707	1716	1725	1734	1743	1752	1761	1770
1727	1736	1745	1754	1763	1772	1781	1790	1799	1808	1817	1826
1783 **	1792	1801	1810	1819	1828	1837	1846	1855	1864	1873	1882
1839	1848	1857	1866	1875	1884	1893	1902	1911	1920	1929	1938
1895	1904	1913	1922	1931	1940	1949	1958	1967	1976	1985	1994
1951 **	1960	1969	1978	1987	1996	2005	2014	2023			
2007	2016	2025		1				1	1		1

カリブ海はどこからきた? WHENCE THE CARIBBEAN?

Keith JAMES frayiago@yahoo.com

Consultant Geologist, Plaza de la Cebada 3, 09346 Covarrubias, Burgos, Spain. Honorary Fellow of the Institute of Geography and Earth Sciences, Aberystwyth University, Wales, UK.

(柴 正博[訳])

(編集者注: この論文は、2012 年 8 月に AAPG Explorer の p. 24-26 で公表された著者のオリジナル論文から主として修正されたものである。再発表については AAPG の許可を得た。)

カリブ海は長い間地質学者を当惑させてきた. 20世紀前半にはその地殻の起源について、大陸になりかけている海洋、もしくは、海洋になりかけている大陸という2つの意見に分かれていた. しかし、大陸はどちらにも関係していた.

1966 年に Tuzo Wilson は、小アンティル火山弧が南北アメリカに対して東方に動き、太平洋に対して隆起させた岩石圏リフトの先端の縁辺であったこと—それはカリブ海が海洋起源であること—を示唆した。その同じ時に「プレートテクトニクス革命」が具体化していた。

その時から、カリブ海の起源についての最も引用される モデルは、それが太平洋のジュラ紀の海洋地殻として形成されたというものであり、それは白亜紀に厚化して厚さ 20km の玄武岩層になった。これは、ひとつの海洋内部火山弧に衝突し、東に移動して大アンティルと小アンティル諸島を形成した。

最も引用の少ないモデルは、その地域が北と南アメリカの間の分離している場所に発展したという、私を含む (ガリラヤ人の) 少数派の意見である.

Wilson は自らの考えを推進したが、ロシアの海洋学者たち (例えば Beloussov, 1970) はさらなるデータが入手されるまでは、という警告を強く主張した。今日、彼らはとりわけ深海底から得られた大陸の岩石の大量の試料に注意を払うことを続け、現在では大西洋やインド洋、太平洋の $1 \sim 7 \text{km}$ の深さにある中期ジュラ紀~中新世の浅海性堆積物と陸上風化岩石などの深海掘削 (DSDP) 試料に最も注目している (たとえば、Ruditch, 1990;

Vasiliev and Yano, 2007; Yano et al., 2009 and 2011).

西側諸国では、ウッズ・ホールの科学者 Maurice Ewing (1948, 1949) を当惑させた大西洋中央海嶺の海浜砂と大陸の岩石は、一般には、プレートテクトニクスのパラダイムによって(黙殺された不都合として) 闇に葬られた.

データによると

それ以前に、Alfred Wegener (1912, 1929) は大陸が分離れて漂流したことを示唆した。南大西洋における堆積学や古生物学、海岸線の幾何学的適合によって示唆された最初の連続性は、水深 2,000 メートルの大陸縁辺に沿った大陸を想定した Bullard (1965) の有名なコンピュータによる接合によって強化された。しかし、これは、中米とブレイク - バハマ - フロリダ海台の部分が重複することや、無視されたカリブ海のデータなどの問題を含んでいた。英国の地質学者 Anthony Hallam (1971)は「大陸の接合についての代案のなかでは、地磁気静穏帯の境界に沿うものが好ましい」と書いた (後述).

Bullard 後のモデルは、メキシコ湾と南西メキシコに沿った Maya(ユカタン) と Chortis (ホンジュラス - ニカラグア - ジャマイカ) の大陸のブロック (図1) を置くことによって、中央アメリカを創造的に再構築した。 そしてそこから今日の位置まで、それらは反時計回りに狂ったように 135° ならびに 180° も回転した。

そうではなくて、両者ともメキシコ湾から時計回りに回転することもできたはずで、あらゆる種類の可能性がある.しかし、他の方法でデータが得られるであろう.

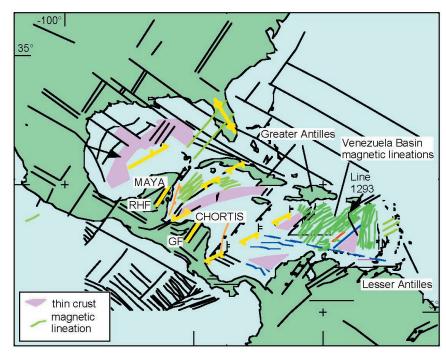


図 1 中央アメリカの構造的配列. RHF: Rio Hondo Fault, GF: Guayape Fault. (James, 2009: Fig. 3)

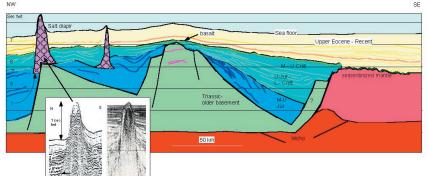


図 2 ベネズエラ海盆における 1293 測線の震探の再解析. 挿入図は掘削された「海山」とメキシコ湾の Challenge 岩塩ダイアピアとの比較.

北東へのびるジュラ紀の地溝 (Guayape 層) は Chortis を横切り、Maya (ユカタンの Rio Hondo 層)と類似の構造地形に正確に平行している。これらの地溝は、メキシコ湾の三畳紀 - ジュラ紀の地溝の方向である東へ分枝をのばし、海岸平野の下と北アメリカの東部に沿って続いている。そしてそこは、沖合の震探では海側に傾斜したくさび状の反射面が見られ、掘削では岩塩ダイアピアに到達する。Mayaと Chortis のいずれも回転していない、つまり Chortis は常にカリブ海の西の端にあり、その存在は太平洋からのどんなプレート移動も必要としない。

厚いカリブ海地殻ーカリブ海台ーの上で掘削された 2,3 の DSDP サイトは、白亜紀の浅海~陸上で噴出した玄武岩にとどいている。地震のデータでは、ここでも同様に、玄武岩の下にくさび状の反射面が見られる。「海洋性」という見方では、これらを火山堆積物、すなわちモート(堀)に囲まれた海底から隆起する高まりは海山であると解釈する。

しかし、これらのデータは、厚さ $5\sim 10$ km の堆積層と玄武岩に覆われた大陸基盤がある北大西洋の Vøring、Møre および Rockall 海台に類似する。これは海面下のひきのばされた大陸の典型的な特徴である。それため、掘削井 Caribbean I は大陸地殻に達した。この大陸地殻は、

三畳紀 - ジュラ紀にひきさかれ、ひきのばされ、白亜紀には炭酸塩が堆積し、周辺向斜をともなう岩塩デイアピアができ(図 2)、北アメリカ東部沖の地質に連続していて、玄武岩溶岩流を伴っている.

いくつかの証拠の出現

図3に南大西洋上の磁気データを示す。磁気縞模様の原因は、大洋の中央に出現した8,400万年間の海底拡大に帰されている。これらと大陸との間では、重要なことに、南アメリカとアフリカの磁気的構造が沖合へ連続している。これらの地域は、「白亜紀の地磁気静穏帯」すなわち地球が4,000万年間その磁界を逆転させるのを忘れていたときに形成された海洋地殻ではなく、ひきのばされて沈降した大陸地殻なのである。

これらのひきのばされた大陸縁に沿って南アメリカ-アフリカの接合を復元すると、Hallamの良い「パンゲア」(図3に挿入)が得られる。それは、現在認められているものよりも際立ってより大きい大陸塊である。沈降以前には、恐竜、淡水魚とカタツムリ、哺乳動物と顕花植物が、ヨーロッパ、南アメリカ、アフリカおよびマダガスカルを直接むすぶ陸路に沿って、幸いにも「生物放散問題」に気づくこともなく、陽気に移動した。

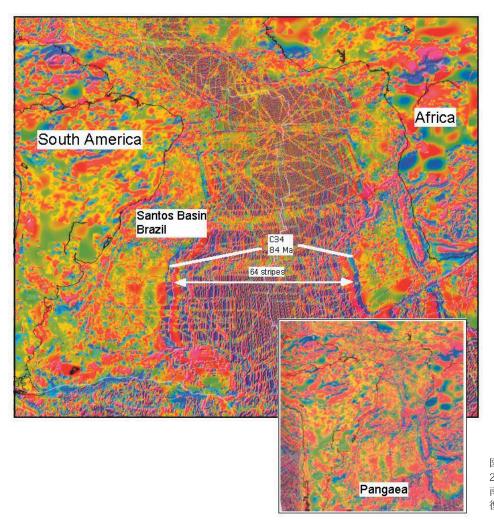


図3 磁気データ (Korhonen et al., 2007, 世界の磁気異常図から)の 南大西洋. 挿入図は "Pangaean" の 復元.

深海部へしだいにに拡大してきた掘削(最近の深海油井掘削は水深4kmに及ぶ)によって、この重要な大陸の沈降の証拠が提供されるようになった。ブラジル沖では、2km以上の海水下に厚い岩塩層に覆われた白亜紀浅海性石灰岩が存在し、現在では海面下7kmまで沈降している。新たな地質学的概念と類推から導かれた深海化の段階、そして、そこ(Tupi/Lula)での最近の発見は、北海とメキシコ湾からもたらされた。

これはどのようにカリブ海に関連しているか?

もしあなたの好奇心がそそられるなら,サントス盆地とカリブ「海台」の震探データを比較してみなさい(ヒント:可動的な岩塩と陸棚外縁における炭酸塩礁の成長).

カリブ海に関する磁気データは、典型的な海洋性磁気縞 模様が存在しないことから、ひきのばされた大陸の特徴 を示している。詳細な磁気データは線状の特徴を示す が、これらは地殻構造の反映である。それらは Maya や Chortis、北米の地溝に平行していて、北東方向を示す。

カリブ海の大陸起源を支持するデータとしては、他にどんなものがあるか? 地殻の厚さ、地質構造の配置、高珪酸火山岩、重力データ、層序と古生物学などすべてがこの方向に収束する.

バハマ海台では始新世と漸新世の浅海性石灰岩が現在では数 km の深度にあり、ここでも地質学的最近に沈降が起きたことを示す.

大きな質問

カリブ海に炭化水素は存在し得るか?

北米沖合との類似性は、すくなくとも、DSDP によって玄武岩下に掘削された岩塩をともなうジュラ系が存在することによって示される.

玄武岩は問題ではない. すなわちアイルランドの Corrib Field のタップガスは玄武岩の下の砂岩から産し、日本の由利原の石油は玄武岩体の間隙/裂罅に産している. 玄武岩下の探鉱は北海やインドの沖合でも行われている.

私は、カリブ海が重要な炭化水素資源を持っていること に賭けたい. 見方の変化がそれらとカリブ海と全地球プレートテクトニクスのパラダイムの転換を導くであろう と私は予想する.

どちらのモデルを選ぶかは、石油地質学の根本に影響を 与える:

・もし完全に玄武岩質で、そして太平洋から派生した

- ものであるなら、カリブ海には炭化水素がないだろ っ
- ・もしその場で形成され、南アメリカ北部とメキシコ湾、北米東部…と歴史を共有している場合場合には、 まったく別の話になる.

文 献

- Beloussov, V.V., 1970. Against the hypothesis of ocean-floor spreading. Tectonophysics, v. 9, p. 489 511.
- Bullard, E.C., Everett, J.E. and Smith, A.G., 1965. The fit of the continents around the Atlantic. Royal Society of London Philosophical Transactions, Ser. A., v. 258, p. 41-51.
- Ewing, M., Walker, J., Henry, T.R., Llocke, J.N., Watson, D., Culver, W.R., Vosburg, F.G., Stewart, B.A., And Wharton, C.H., 1948, Exploring the Mid Atlantic Ridge. National Geographic Magazine, September, v. XCIV, no. 3.
- Ewing, M., 1949. New Discoveries on the Mid Atlantic Ridge. National Geographic Magazine, September, v. XCVI, no. 5.
- Hallam, A., 1971. Mesozoic geology and the opening of the North Atlantic. Jour. Geology, v. 79, no. 2, p. 129-157.
- James, K.H., 2009. In-situ origin of the Caribbean: discussion of data: In: James, K.H., Lorente, M.A. and Pindell, J. (eds.), Origin and evolution of the Caribbean Plate. Geological Society of London, Special Publications, v. 328, p. 75-124.
- Korhonen, J.V., Fairhead, J.D., Hamoudi, M., Hemant, K., Lesus, V., Mandea, M., Maus, S., Purucker, M., Ravat, D.,

- Sazonova, T. and Thebault, E., 2007. Magnetic Anomaly Map of the World Commission for the Geological Map of the World, Paris.
- Ruditch, E. M., 1990. The world oceans without spreading, Part I. Shallow-water facies of the World Ocean. In, Barto-Kyriakidis, A., (ed.), Critical Aspects of the Plate Tectonic Theory, 1990. Theophrastus Publications, v. 2, p. 343-395.
- Vasiliev, B.I. and T. Yano, 2007. Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 43, p. 3-17.
- Wegener, A., 1912. Die Enstehung der Kontinente. Geologische Rundschau, v. 3, no. 4, p. 276-292.
- Wegener, A., 1929. Die Ehstehung der Kontinente und Ozeane, 4th edition, translation.
- Biram, J., 1966, The Origin of Continents and Oceans by, Dover Publications, 248p.
- Wilson, J.T., 1966. Are the structures of the Caribbean and Scotia arcs analogous to ice rafting? Earth and Planetary Science Letters, v. 1, p. 335-338.
- Yano, T., Choi, D.R., Gavrilov, A.A., Miyagi, S. and Vasiliev, B.I., 2009. Ancient and continental rocks in the Atlantic Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 53, December, p. 4-37.
- 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, no. 58, December, p. 9-28.

短 報 SHORT NOTES

北西太平洋における惑星断裂系と最近の地震活動 PLANETARY FRACTURE SYSTEMS AND RECENT SEISMIC ACTIVITIES IN THE NORTHWESTERN PACIFIC OCEAN

Dong CHOI¹, Arun BAPAT² and Sergei PULINETS³

- 1 International Earthquake and Volcano Prediction Center (IEVPC), Operations Center, Australia. dchoi@ievpc.org;
- 2 Consulting Seismologist and IEVPC, India, arunbapateg@gmail.com;
- 3 Fyodrov Institute of Applied Geophysics and Moscow Center for Ionosphere Monitoring, Russia, pulse 1549@mail.ru

(柴 正博[訳])

要旨:カムチャツカ-千島と北西太平洋地域における2012年の初めからの地震を研究している間に、多数の特有で、非常に長く線形の雲のパターンが衛星画像に注目された。これらの線の大部分は、利用可能な地質学的、地球物理学的そして人工衛星測量データの中で示された惑星断裂系と一致していることが見いだされた。大地震(M6+)のすべてが主要断裂帯上あるいはそれらの近くで起きていて、特にENE-WSW方向の破砕帯はそれらが局地的な地震において決定的な役割を果たし、主要な地殻構造に関連したそれらのエネルギーの伝達移動路を規制していることを意味している。深所断裂系と地殻構造の正しい理解は、地震の過程とメカニズムを理解するために、すなわち、それらの今後の予測のために不可欠である。

キーワード: earthquake, prediction, planetary fracture system, crustal structure

はじめに

新たに設立された IEVPC チームによる最近の数ヶ月におけるカムチャツカ地震についての集約的で包括的な研究の過程で、我々は主要な地震の準備段階に起きる多数の現象を観察した。我々の研究は以下の広汎な分野を含んでいる;地質学とテクトニクス、雲、含有電子総量 (TEC)、放出される長波放射線 (OLR)、表面海水温 (SST)、VLF電磁波、惑星間磁場 (IMF)、惑星の整列と歴史的な地震活動と火山噴火、これらについての、特に中期予測のための決定的な情報が、NEODAAS (NERC 地球観察データ獲得と分析サービス)の無料で利用できる静止衛星画像 (http://www.sat.dundee.ac.uk/geobrowse/geobrowse.php) からの雲画像としてえられる.

特に地質学・地球物理学的データと比較した衛星画像の解釈は、研究地域の多くの主要断裂系を識別することを可能にした。それらのいくつかには我々が以前に知らなかったものもある。それはまた、深部断裂系と地震、熱現象の間の関係を分析することを可能にした。その結果、我々は地震発生メカニズムを理解するために価値ある情報を得て、それらは将来の大地震を予測する手がかりになった。

この論文で、我々は研究地域で観察された深部断裂系と地震/熱の特性の間の関係を簡潔に記述する。カムチャツカ地震についての我々の幅広い研究のうち、他の発見は、時間的制約のためにこの論文に含めることができなかった;それらは将来の論文で報告されるだろう。

人工衛星雲映像に出現した主要断裂系

静止衛星によって得られた雲画像は、3時間ごとに利用

可能で、海底あるいは地表の下で何が起きているかを理解するための豊かな情報を含んでいる:圧縮された加熱ガスはマントルと地殻に発達する開口裂罅と断層を通って地面あるいは海底から放出され、大気と相互作用していろいろなユニークな雲または曇のない地域を形成する.一般的な入門として、また地震雲の特性と雲を基礎とした地震予知のために、読者は Shou(2006と http://www.gisdevelopment.net/proceedings/tehran/p_session2/bampf.htm)を参照されたい.

Pulinets (2009) は、彼の岩石圏 - 大気圏 - 電離圏 (LAI) 結合モデルにおいて、地震雲形成をラドンガス発散と大気イオン化の観点から、電離圏と熱はラドンによって生成されたイオン化過程を通して結合する;すなわち対流圏に発散された陽イオンが増加したときに雲が形成され、負イオンは雲の減少を導くと説明した。前者は「蒸気雲」、後者は雲のない地域で、前者は Shou(2006)によって「地熱噴火あるいは地噴火」とよばれた。

我々はしばしば衛星画像の上に現われる 1,000km よりはるかに長く、横に拡張した惑星断裂系に気づく. それらの出現は、衛星画像上では 3 つの形態がある; 1) 線状の白雲(図1), 2) しばしば小さく不連続な雲の小山をともなう線状の雲のない地域(図3), さらに, 3) 内円に雲がなく外円に沿って一連の小さい雲をともなう同心円状の雲配置. 我々はこの円形パターンがいくつかの予測能力を持っていると思うが、将来の論文でこの興味深い特徴に関して論じたい.

抽出された線状の雲,または雲のない地域が,利用可能な地質学的-地球物理学的地図と人工衛星測量データ,検証と分析のための他の出版物と比較された.この手続きによって,長い線状配列の大部分が地球の深部構造,

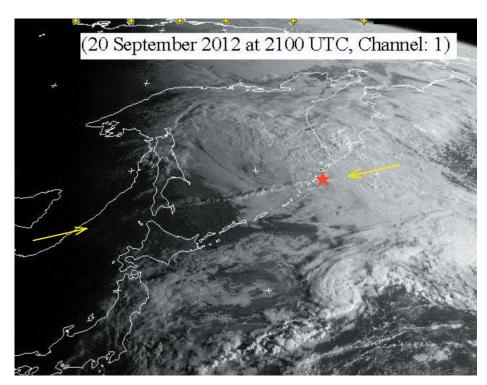


図1 2012年9月20日世界標準2100時に、長さ1,000km以上の雲の線がオホーツク海に現われた. 出版された地質学/地球物理学図と人工衛星測定データは、それが、深部地震帯の1つを形成するアジア大陸の中にのびる主要断裂系であることをまさに証明している. いくつかの地震(2012年7月20日のM6.0、地図の赤い星を含めて)が、これまでの数カ月(図2)の間に、断裂帯と千島弧の交点、または千島列島北部に起こっている. そしてそれは、断裂帯がしばらくの間活動的であったことを示している.

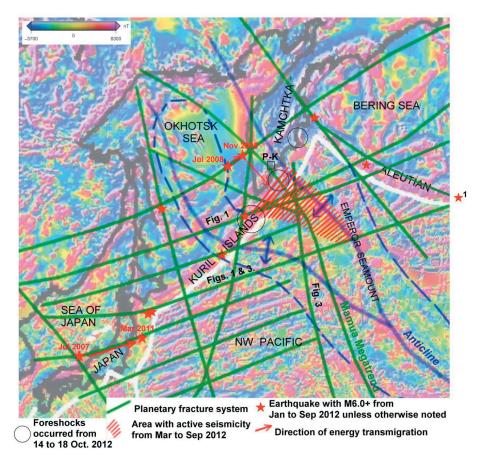


図2 惑星断裂帯地域,地震-地質 構造図、千島-カムチャツカーア リューシャン地域で最近9ヶ月間 (2012年1月~9月)に起こった マグニチュード6以上の大地震(赤 い星)の震央を示す、注釈では、他 の重要な地震も示されている. 背 斜軸は,入手可能データの不足の ために部分的に不確かである. ★1 = M6.9 はこの原稿が完成した後の 2012年9月26日(世界標準時) に起きた. P-K = ペトロパブロフス ク-カムチャツカ、多くの大陸性岩 石が、磁気縞模様が発達する北西太 平洋の海山からドレッジされてい 7 (Vasiliyev, 1986; Vasiliyev and Evlanov, 1982, そして他の人たち), 縞模様パターンは断裂系の反映であ ることを示唆している.

特にマントルに深く根ざした主要な惑星断裂系を反映していることを,自信を持って結論された.

結果と討論

北西太平洋における惑星断裂系と強い地震活動

人工衛星観測データ (DeKalb, 1990; Smith and Sandwell, 1997; Jatskevich et al., 2000; Smoot, 2005 and 2012; Choi, 2005 and many others と多くの他の人たち)を含めて、これと他の研究によって識別された主要断裂システムが、世界磁気図 (Korhonen et al., 2007) に重ねられた(図 2). この図は、2012年1月~9月に起きた M6.0 またはそれ以上の大地震の位置を示している。さらにこの図には、これまでの数年に起こった非常に強い深発地震とそれらの浅部への移動を、エネルギー移送方向として赤い矢印で示してある.

地震 - 地質構造図(図 2)において、研究地域における M6.0+のすべての大地震が NNW-SSE 断裂系とその近くに例外なく位置しており、ほとんどがそれに直交する ENE - WSW 断裂系と交差していることが明瞭である.この論文の完成後、最近になって Aleutian の Andreanov 島で起きた 2012 年 9 月 26 日の M6.9 の地震は完全にこの規則に適合している.

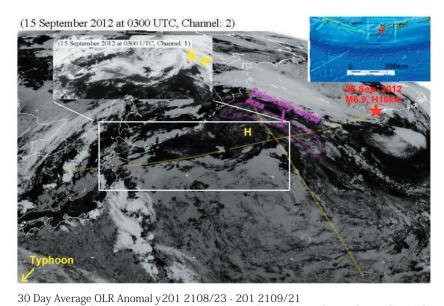
これらの事実は、主要な深所断裂系が地震形成メカニズムー地球深部から放出された最初の熱エネルギーと、その移動路、浅所での大地震までーと強く関係があること

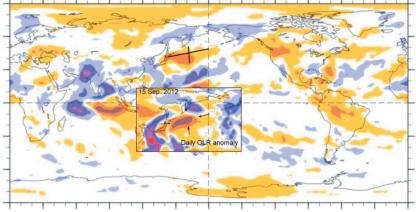
を明示している。それは、地殻ブロックの鉛直方向の運動が研究地域における主要テクトニクスのスタイルであることも示唆する。本論文の筆頭著者はこのことを再三文書化している (たとえば、Blot and Choi, 2007; Choi, 2005, 2007 and 2011)。この文脈においては、プレートテクトニクスモデルが適合するための余地はない。磁気縞模様は、いかなる意味でも (Agocs et al., 1992; Storetvedt, 2010)、海洋底拡大とは関係をもちえない。

熱系に影響を与える惑星断裂系 - 海水表面温度 (SST) と放出される長波長放射 (OLR)

次の図 (図 3) は毎月の SST(下) と OLR (中) 異常と, 2012年9月15日0300時 (世界標準時) の雲画像 (上) を示す. ここで雲画像は中央-赤外線の周波数帯 $3.5 \sim 4.0 \mu m$ (チャンネル 2) とともにとられたが、挿入した図は比較のためにチャンネル 1(緑~赤外線に近い可視周波数帯) の画像を引き伸ばしたものである. SST と OLR はともに $8 \sim 9$ 月の 30日間の平均異常を示し、挿入した図は 9月 15日の 1日間の異常である.

雲画像に見られるように、磁気縞模様で特徴づけられる 北西太平洋の大きな地殻ブロックを鉛直断層が境している(図2). 縞模様のブロックには比較的雲がなく、そしてそれは同じデータセットのチャンネル1の画像でも確認される. 雲のないブロックは、毎月の OLR と SST の非常に高い異常でも分かるように高温領域と一致する. この傾向は、挿入図に示された9月15日におけるそれらの1日間の異常にも適合する.





Monthly SST Anomaly 2012/08/19 · 2012109/15 Base Period: 1981-2010

図3 雲の写真(上,2012年9月15日), 毎月の放出されている長波放射エネルギー (中, OLR), および海水表面温度異常(下, SST)、上図の右の挿入図は断裂帯に発生した 2012年9月26日のM6.9地震である。下 の2つの図の挿入図は2012年9月15日の 1日間の異常である.

ここで我々は, 主要な惑星断裂系がどれほど強く地球の 地震と熱系を支配しているかを見ることができる. 明ら かにそれらはマントルに深く根ざしていて、そして地球 のジオダイナミックス作用に影響を与えている. 地殻の ブロック構造, 地磁気現象, 熱現象のような他の地質学 的要素をともなう惑星断裂系によって表される地球構造 の詳細な理解なしに, 我々が現在従事している地震予知 の仕事を行うはできない.

結 論

1. 地震発生メカニズムを理解するために、この研究は

再度,深部断裂系の地質構造が特に重要な役割をはたし ていることを示した.

- 2. 深部断裂系は、水中と大気の熱系および他の全地球的 または局地的な地球物理学的・電磁気的シグナルを含め て, 前震と浅発大地震の前に現われる多くの現象の両者 に影響を与える.
- 3. 大陸から海洋底へ連続する深部断裂系は、プレート テクトニクスが北西太平洋と隣接陸域へ適用できないこ とを示す.

謝辞 我々はこの原稿の準備の間に与えられた多くの IEVPC の同僚の激励とコメントに感謝する.

文 献

- Agocs, W.B., Meyerhoff, A.A. and Kis, K., 1992. Reykjanes Ridge: quantitative determinations from magnetic anomalies. In, Chatterjee, S. and Hotton, N. III, "New Concepts in Global Tectonics". Texas Tech Univ. Press, p. 221-238.
- Blot, C. and Choi, D.R., 2007. The great twin earthquakes in late 2006 to early 2007 in the Kuril Arc: Their forerunners and the seismicity-tectonics relationship. NCGT Newsletter, no. 43, p. 22-33.
- Choi, D.R., 2005. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zones: a new interpretation of the Wadati-Benioff zone. Boll. Soc. Geol. It., vol. spec. no. 5, p. 79-118.
- Choi, D.R., 2011. Geological analysis of the Great East Japan Earthquake in March 2011. NCGT Newsletter, no. 59, p. 55-68.
- DeKalb, H.F., 1990. The twisted Earth. Lytel Eorthe Press, Hilo Hawaii, USA. 156p.
- Jatskevich, B.A. [ed.], 2000. Geological Map of the World. 1:15,000,000. Ministry of Natural Resources of Russian Federation, RAS.
- Korhonen, J.V. et al., 2007. Magnetic anomaly map of the world. Commission for the Geological Map of the World, scale 1:50,000,000. 1st edition. Paris.

- Pulinets, S., 2009. Lithosphere-atmosphere-ionosphere coupling (LAIC) model. In, Hayakawa, M. (ed.), "Electromagnetic phenomena associated with earthquakes", p. 235-254.
- Shou, Z., 2006. Earthquake vapor, a reliable precursor. Mukherjee, S. (ed.), "Earthquake prediction", p. 21-51. Brill Academic Publisher, Leiden-Boston.
- Shou, Z., Bam earthquake prediction & space technology. http://www.gisdevelopment.net/proceedings/tehran/ p_session2/bampf.htm
- Smith, W.H.F. and Sandwell, D.R., 1997. Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. Science, v. 277, p. 1957-1962.
- Smoot, N.C., 2005. Seamount chains, fracture zones, and Ocean megatrends. Boll. Soc. Geol. It., vol. spec. no. 5, p. 23,52
- Smoot, N.C., 2012. North-central Pacific basin lineaments and mobilist: really? NCGT Newsletter, no. 2, p. 5-21.
- Storetvedt, K.M., 2010. World magnetic anomaly map and global tectonics. NCGT Newsletter, no. 57, p. 27-53.
- Vasiliyev, B.I., 1986. The results of dredging of some submarine mountains in Japan marginal oceanic rampart. Tikhookeyanskaya Geologiya (Pacific Geology), no. 5, p. 35-42 (in Russian).
- Vasiliyev, B.I. and Evlanov, Y.B., 1982. Geological structure of submarine mountains in the region near Kuril- Kamchatka and Japan Trenches. Tikhookeyanskaya Geologiya (Pacific Geology), no. 4, p. 37-44.

随 筆 ESSAY

大西洋とそれに接する大陸 - レンチテクトニクスによる解明: リソスフェアの変形,盆地の歴史,大規模炭化水素区

THE ATLANTIC AND ITS BORDERING CONTINENTS – A WRENCH TECTONIC ANALYSIS: LITHOSPHERIC DEFORMATION, BASIN HISTORIES AND MAJOR HYDROCARBON PROVINCES

Karsten M. STORETVEDT Karsten.storetvedt@gfi.uib.no Institute of Geophysics, University of Bergen, 5014 Bergen, Norway Biju LONGHINOS Biju.longhinos@gmail.com University College, Trivandrum City, Kerala, India

(杉山 明・小泉 潔[訳])

- ・・・我々は分かりきったことに目をつぶり, 自分が目をつぶっていることにも気がつかない—

Daniel Kahneman, in: Thinking, fast and slow*1

*1 ダニエル・カーネマンはイスラエル生まれの米国の心理学者であり経済学者. 経済学に心理学の知見を取り入れた行動経済学を確立して 2002 年にノーベル経済学賞を受賞. (本稿中の*1~14 は訳者による注記)

要 旨:大陸半球のアルプス造構変動の主要な局面をグローバルレンチテクトニクスの考え方で評価する. おそらく 始生代後期に形成され、原生代と後先カンブリア紀を通して強化されたと思われる汎地球的な直線状断裂システムに 特に注目する、中生代を通して、地殻の薄い深海盆が発達したのと並行して、力学的作用でリソスフェアの機械的解 体が徐々に進行し、白亜紀後期のリソスフェアはかつてないほど造構的に変形しやすい状態にあった。したがって、 アルプス変動は力学的に避けられないものであった、中生代後期を通して地殻が次第にマントルへ失われていった結 果、地球の回転が幾分加速され、外側の脆い層には慣性による捩れが生じた。この過程では大陸塊はマントルに深く 根を下ろして留まった。大西洋に接する大陸の方位変化はさほど大きくなく、結果として大陸と大洋盆の間の形は初 期の平行に向きあう縁辺から現在の扇状に南へ開いた形へと僅かに変化しただけである。アルプス変動期の大西洋海 盆の変形は、既存の直線的な断裂システムの剪断作用をかなり復活させた。これは線状の海洋磁気異常の原因となる 断層沿いの鉱物変化を含むものであった. この捩れ過程で, 多数の大洋断裂帯の現在の曲線的形状が完成した. 大き な大陸塊が内部的に変形するにつれて隣接する大洋盆も同時に変形し、発達途上の大陸縁辺に沿った構造的不連続は 最小になる(太平洋)か、なくなった(大西洋)、したがって、多くの陸上の造構性構造は深海盆に向かって自然な形 で連続することになった. 例えば、中央アフリカのペルシウム (Pelusium) 構造システムは、赤道大西洋と南米北部を 横断し、隣接する赤道太平洋にまで延びている、中生代~新生代にリソスフェアの変形が強まった結果、地球の地殻 の変化は明らかに加速した。流体が作用した地殻下のエクロジャイト化とそれに伴う大陸の元々の表層のデラミネー ションは様々な規模の盆地を作りだし、マントルの液体と気体が上昇する通路を開き、地質・生物・環境に一連の影 響を与えた、作業と推理の道案内にレンチテクトニクスを用いて、著者らは世界のすべての大規模な石油・天燃ガス 区がマントルの揮発性物質の上方への移動を促す大規模な通路に関連していると考える、水・高濃度の塩水・原油・ 天燃ガス, そしてときにはマグマも地球の脱ガス作用の産物として地表に向かって移動するということになる. 今日, すべての大規模な石油区が地球深部から供給されたもので、おそらくその多くが永久に生産可能であると考えるに足 りる確かな理由がある.

キーワード:基本断裂システム,リソスフェアの慣性力による変形しやすさ,盆地の歴史,マントル起源の炭化水素,大規模石油田の造構的前提条件

まえがき

本誌の最近の記事の中で、著者らは北大西洋海盆と北極海盆のアルプス変動期の造構史について批判的な見解を述べた(Storetvedt and Longhinos, 2011). このとき著者らは、プレートテクニクス(PT)にもとづく推測では何も明らかにできなかった複雑で構造・地形的に強調された特徴に特に注目した. 大洋基盤に広く見られる剪断変形, いわゆる微小大陸の無秩序な分布, 数多くの当惑するような地殻の厚さの変化は、今日のグローバルな地質学における喫緊の課題である. 著者らは構造的な事実の根幹を概観することにより、既存のどこにでも存在する直交断裂システムがアルプス変動期に再活動したことが大西洋海盆の発達と形状決定に、そして明らかにその他の大洋と大陸が獲得するに至った地形学的特徴にも重要な役割を果たしたと考えたい.

大西洋とその他の深海の基盤を特徴づけている多くの造構性剪断構造と世界的な大洋海嶺から採集された動力変成岩および極めて古い岩石を併せて判断すると、薄い地殻をもった広大な大洋は、薄くなった大陸地殻が後に広い大洋の構造地形帯に転換したものと結論づけるのが合理的と思われる.深海盆が白亜紀中~後期以前に多少とも存在したという証拠は何もないので、地球規模の主要な変形時階はアルプス変動最盛期(白亜紀後期から第三紀前期の造構発達の間)からと考えざるをえず、広大な大洋はそれ以前の地球上には決して見られなかった大陸間の褶曲帯に転じた(Storetvedt, 1990).このような見方に従うと、すべての地球規模の造構的大変動の引き金であるアルプス変動は、地球史に生じたすべての古い変

動と同様, 地球の回転の変化, すなわち慣性モーメント の変化に直接結びつくものであるに違いない. このよう に、地球内部の脱ガスとそれに関連する全体的な再構成 が、その回転速度の断続的な変化だけでなく空間的方位 の周期的変化 (真の極移動) をも引き起したと推測され る. そのような回転の変化は、気体と液体に富み発達途 上にあるアセノスフェア内の静水圧の増大―これは 1) 表層ガスの噴出 (クレーターの形成)と2)火山活動によ り相殺される―を引き起こし、3)環境と4)生物の大異 変へとつながるものであった. それに加えて, 地球回転 の断続的な変化はそのリソスフェアに対して緯度に応じ た慣性モーメントを誘発し、 古赤道地域は最大の造構応 力を獲得したであろう. そのようなリソスフェアの捩れ は,主要な大陸塊の原位置での多少の回転を含めて,あ る程度大洋盆の形状を変えた. さらに長期的に見ると, 地球回転の顕著な変化は地質時代の境界を決定する表層 過程の違いを生み出す引き金となる動力学的メカニズム である. 大まかにいえば、これが新しい地球進化理論で あるグローバルレンチテクトニクスの最も重要な基本原 理である (Storetvedt, 1997, 2003, 2010b and 2011).

1) 地球の全体的な古気候システムの変化, 2) 真の極移動現象, 3) 褶曲帯のパターンの変化が連動して生じることを説明するグローバルな造構作用における地球回転の役割は,すでに1世紀前にDamian Kreichagauerが彼の著作Die Äquatorfrage in der Geologie (1902) の中で実証した.しかし,当時の地質学の型にはまった考え方との間に大きなギャップがあったため、Kreichgauerの全地球的な造構作用の総合化は彼の同時代者たちによって事実上却下された.しかし、Kreichgauerの著作は、地

球全体の空間的方位が顕著に変化することを意味する極移動の動力学的メカニズムの点から(化石と岩石の証拠にもとづいて)地球の古気候帯が時代とともに移動するとした Alfred Wegener の労作中の基本的な主題の1つであった. Kreichgauer によると,地球回転の変化はその造構システムを理解するための鍵となるものである.つまり,1)古赤道地域に対応する地帯(例えば,アパラチア,ヨーロッパのヘルシニア,アルプス),2)個々の古赤道帯から分離してリフト化した地区(例えばグレンビル地域,中央アフリカ帯,ウラル帯)のような地球を横断する主要な造構帯はコリオリ効果のような緯度に応じた慣性力によって形成されたというのである.

白亜紀後期に加速された大洋盆の形成と歩調を合わせて、現在の大洋/大陸の輪郭は基本的には K/T 境界 ¹² までにほぼ完成した. 地球の回転速度が増大するのに伴って地殻が上部マントルへ失われたことが引き金となって、地球力学的なイベントーアルプス変動のクライマックス―が地球を次々と造構的な災難に引っぱり込んだ. 脱ガスに関連した地殻の大洋化の過程で、発達したアセノスフェアは一定程度上昇し、そのためリソスフェアは以前より造構的に一層不安定になった. このため、アルプス変動の間、地球のリソスフェアは古赤道地域で最大の効果が現れる西向きの捩れを蒙った. つまり、古リソスフェアの北部は時計回りに捩じれ、他方南部は反時計回りに捩じれ、介在するアルプス変動帯は全体的に横ずれ圧縮帯 ¹³ になった.

- *2 K/T 境界:白亜紀と第三紀の境界.
- *3 横ずれ圧縮 (transpression)/横ずれ引張 (transtension):横ずれ断層系にはしばしば主断層と斜交する副断層が伴い,断層の屈曲部には圧縮領域や引張領域が生じる. これらの領域 (domain/zone)を横ずれ圧縮領域,横ずれ引張領域という. 前者では逆断層が卓越してリッジ (pressure ridge)が形成され,後者では正断層が卓越して盆地が (pull-apart basin) 形成されることが多い.

このグローバルな造構シナリオでは、地殻が薄くて力学 的に弱い大洋盆は緯度に応じた造構活動が復活し,ある 程度の幾何学的変形が生じた. このグローバルな変形の 図式内では、大陸-大洋の構造的な不調和が特に顕著 になることはなかった. 大陸と大洋のリソスフェアは同 じ全体的捩れを蒙ったが、弱くて薄い地殻を有する大洋 の基盤は、より抵抗力のある大陸ブロックよりも強く内 部が変形した. しかし, 主要な大陸塊は, グローバルな 捩れ過程の産物として(部分的には造構的相互作用によ る)、程度の差こそあれ、原位置で一定程度の相対的な 回転を蒙った. しかし、結果的に造構的な効果は薄い地 殻を有する広大な大洋地域全体に及び, 既存の共役断裂 システムを再活性化させる引き金となり、大洋中央海嶺 のジグザグなパターンに現れているような造構性の曲げ や剪断性の地形を作り出した. 大陸の山脈とともに第三 紀末期に地形的な高まりとなった大洋中央リフト帯は, 同様にアルプス変動期のリソスフェアの捩れの産物と見 ることができる. レンチテクトニクスの地殻構造発達に 従うと、大陸と大洋の盆地は発達の程度がやや異なるが、同じ地球内部物質の再構成の産物である。さらに、古地磁気データに関係がある全体的に適度なリソスフェアの可動性により、大陸の顕著な断層帯が周辺の大洋盆を切って(あるいは深部へ)延びているように見えることに注目することは重要である。本論の意図は、大西洋半球の造構運動に関連した炭化水素ポテンシャルをレビューすることに加えて、同半球の造構的発展と盆地の歴史の主要な局面をレビューすることにある。

直線状の断裂ネットワーク

ほぼ垂直の汎地球的な直交断裂システムは始生代後期に 初めて形成されたと考えることに都合のよい根拠があ る. その時までに、地球の外被はかなり冷却し、それに よって地殻の造構応力に対する反応の仕方は変化した. 地球の初期の外被の延性的な反応は放射性崩壊と潮汐摩 擦と化学的過程による熱によって得られたものであるが (Storetvedt, 2003, 2011 を参照), 明らかにもっと脆性 的な状態に取って代わられた. 例えば、始生代と原生代 の境界(約25億年前)よりかなり前に、基本的に下方撓 曲もしくは断層で区切られたトラフに沿って形成された グリーンストーン帯が発達した. これは、その時までに 大規模な脆性的断裂が形成されていたことを暗示してい る. 現代の地球では、直交した岩石破砕ネットワークが、 ある場合は水平な更新世の堆積物も含めて,複雑な岩相 と異なる年代の岩石を切って普遍的に見られる(図 1a, b). 実際,変動する地球では,岩石破砕の基本的システ ムがずっと若い表面の地層に引き継がれることは十分あ りうる. 従って、初生の大陸地殻がその下底で不均等に 薄化した結果が多様な大洋基盤であるなら(それについ ては現在十分な証拠がある), 発達途上の大洋地殻のよ り若い岩石が大陸と同じ直交断裂システムを受け継がさ れるであろう.

露頭規模では、岩石不連続の特徴的なシステムは、一般 に、垂直に近い節理の微細組織ネットワークである(図 1c, d が良い実例). 節理は比較的滑らかな平面をもった 変位のない岩石の不連続であり、そのうちで最も広く認 められるのは、普通、垂直に近い2つの急傾斜面のセッ トであるが、多くの場合2つのセットのうちの1つが 顕著である. 節理が地球の地殻における脆性断裂の最も ありふれた型を代表するにもかかわらず、それらの起源 は謎のままであり、そのため、ほぼ完全に無視されてき た. 原因として提案された諸説をレビューしたものとし ては Pollard and Aydin (1988) を参照. 地殻の歪が関係 していることは疑いなく、何人かの研究者は、鮮明に交 差し平滑な面を有する特徴的なほぼ垂直の節理面が地殻 の剪断により形成された可能性を論じた (Bucher, 1921; Scheidegger, 1982; Hancock, 1985). この考えでは, 2 つの垂直な節理のセットに加えて, 造構的な捩れがある 段階で作用したことを示唆する不規則な水平に近い破断 システム (図 1c, d を見よ)が広く観察されるという点に 注意することが重要である.

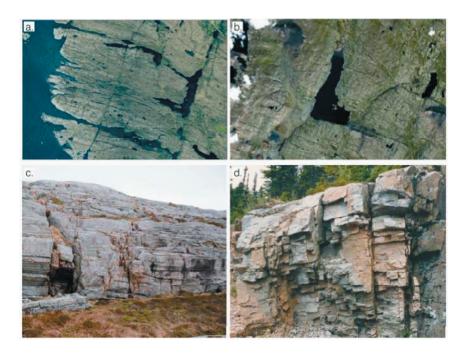


図1 共役直交断裂システムはすべての時 代の岩石を切る地球上で最も普遍的な造構 作用の痕跡である. グーグルアース (Google Earth) の写真は, (a) がノルウェー南西の ゴルタスンド (Goltasund) におけるエイガ ルデン (Øygarden) 片麻岩体, (b) がアイス ランド南西のランガバン (Langavatn) の第 三紀後期の火山地域で、どちらも真の地理 的方向で表示されている. 比較の目的で示 した (c) はノルウェー西部の変成基盤にお ける海岸の露頭, (d) はニューファンドラ ンドのアパラチアでの道路の切り割. 写真 はそれぞれ、Frank Cleveland と Karsten Storetvedt による.

平坦なリソスフェアが分裂したということは、大洋盆が 形成される間に地殻下のエクロジャイト化とデラミネー ションの過程を疑いなく促進した. アイスランド西部の ランガバン (Langavatn) 地域 (Passerini et al., 1991) か ら報告されているような鏡肌 (摩擦によって生じた引っ 掻かれて汚れた面)が時々存在するということは、剪断 が関係していることを明瞭に示している. Muehlberger (1961) や Segall and Pollard (1983) のような研究者はこ れらの '研磨と条線' を二次的な (重ねられた) 構造と解 釈している. それにもかかわらず, 顕著な節理のセット は一般に断層あるいは断層帯に平行し, 節理の頻度は断 層に向かって増大している. そのような観察事実は、た とえ節理の大部分が主要な造構変形の時代より若いとし ても, 断層運動と節理形成の間に因果関係があることを 示唆している. 概して微細構造組織は地殻の脆性化の歴 史の比較的早期に刻印されたように思われ、この線状の 構造組織の一定要素は、後にさらに顕著な構造的不連続、 例えばメガスケールの走向移動断層へと発達したように 見える.

一般に, 同時代の応力場(の主軸の方向)は卓越する広 域的な断裂面のうちの1つの方向で示されると言われて いる (Engelder, 1993). 始生代後期に形成された基本的 な断裂構造が地球の挿話的な造構史の間に強化されたと 仮定すると、それとは別な方向の新しい断裂セットの形 成は困難であったろう. この仮説は同じ構造方向が大ス ケールの構造帯で繰り返し形成されたことが珍しくない という事実を説明できる (例えば O' Driscoll, 1980). こ の原理は、細長い盆地と構造帯が再活動した長い歴史を もっている北米東部で十分証明される. 例えば, 古生代 前~中期のアパラチア褶曲帯は、西方で10-13億年の グレンビル構造 - マグマ区に沿っているか,その一部を 切っている. 重なりあった構造帯は北米東部の卓越する 断裂/節理システムと整列している(以下を参照). 同 時代の水平応力の方向と特徴的な断裂の主要なセットの

間に密接な相関があることは北米で十分実証されている (Zoback and Zoback, 1980; Engelder, 1982).

PT(プレートテクトニクス)が一度に地球の歴史を,大 洋に浮かぶコルクのように漂う大陸を伴う際限なく可動 的なリソスフェアのシステムに変えた時に、直線状の断 裂システムが系統的な方向をもって広大な範囲に分布し ていることを知るのは重要である. ニューファンドラ ンドに広く発達している NE-SW と NW-SE の走向を示 す構造的なリニアメントと地形の方向 (図 2a, b) は北半 球の広い地域を特徴づけ、北米の北東海岸からバフィ ン (Buffin) 島を通り (Scheidegger, 1998), ヨーロッパ 西部へと延びている (例えば, Ramberg et al., 1977; Storetvedt and Scheidegger, 1992; Engelder, 1993). Zoback (1992) によると、同じ北半球の応力方向とリニ アメントシステムは明らかにアジアを横断して太平洋の 縁まで延びている (Storetvedt et al., 2003 も参照).

ヨーロッパ西部からニューファンドランドまで北大西洋 を横断する極めて一貫した全体的な節理の方向は,2つ の大陸塊が有意の相対的な固体ブロック回転をしたと は考えにくいことを思わせる. しかし、中央大西洋の西 部に縁辺が平行する横断性の断裂帯が、南に曲がった弧 状の形で広く存在することは、何らかの慣性による時計 回りの運動が北米と隣接する広大な大洋に影響を及ぼし たことを示唆している. それに加えて、ヨーロッパと合 衆国の白亜紀後期~第三紀前期の古地磁気の方向は、北 米のサンプル採取位置がヨーロッパ西部のそれに対し て時計回りに30°回転したという考えを支持している (Storetvedt, 1990, 1992 and 1997). 節理方向のデータ と古地磁気方向の間の見掛け上の矛盾に対する答は、北 米大陸の内部変形の中に見出されるであろう. 図 2c は 合衆国北東部の、卓越する広域節理セットの平均的な 走向に一致する最大水平圧縮応力の方向を示している (Engelder, 1982). 図 2a, b に例示したようなニューファ

ンドランドの構造方向と比較して、大陸内部のクラトン地域の直交する節理/断裂システムは、南に向かって最大30°まで増大する垂直な軸の周りの時計方向の回転をしたように見える.

PT は基本的に内部が固い大陸塊を想定するのに対し、 レンチテクトニクスはそのような前提条件を設けない.

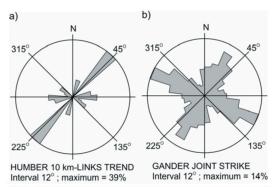




図 2 ニューファンドランドの地形 - 造構特徴を示すローズダイアグラム. (a) はハンバー (Humber) 帯における連結方向 (河川流路の要素と湾入部の方向), (b) はガンデール (Gander) 帯における節理の走向を示す. 比較のために示した (c) は合衆国北東部における卓越した節理のセットの方向で, これはその地域の最大水平圧縮応力の方位を決定している. ニューファンドランド (約 N040E) から合衆国北東部 (約 N070E) へ向かって構造的方位が約 30° の時計回りの回転をしていることに注目. (a) と (b) は Miller et al. (2001), (c) は Engelder (1982) による.

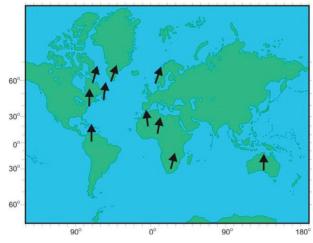


図 3 メルカトール投影図にプロットされた北を指す節理軸の走向方向(太い棒). アルプス変動期の造構回転を補正した後,大陸の方位変化はないものとした. 地球全体に広げると,これらの節理方向は現在の地理的な極の付近で交差し,単純な地球規模のパターンを作る. データベースとその他の詳細は Storetvedt (2003, p. 315 - 325) 参照.

リソスフェア全体は深部断裂のネットワークによって分 割されているので、諸条件は大陸塊だけでなく大洋地域 でも慣性によるリソスフェアの変形を容易にする. この ように、地球の外側の固い殻は断続的な捩れを受けてき たので、形状変化、内部の造構的回転、断層運動、応力 が関係した地殻の再磁化などを様々な程度に蒙ってき た (例えば, Rother and Storetvedt, 1991). 例えば, 北 米の節理/応力結合システムが南にスウィングしたとい うことは、古地磁気の証拠により確立されたヨーロッパ の西方への造構的回転と調和的である. また, 空間の測 地学的計測は北米の大陸内部の変形が現在も生じている ことを示している (例えば Fallon and Dillinger, 1992; Argus and Gordon, 1996). 慣性を基礎とした捩れシステ ムの中では構造的不連続は広大な大洋地域にも及ぶ. 大 陸の運動 / 変形過程はどれも隣接する大洋基盤に広がっ た類似のゆがみに関連したものであり、海洋造構性リニ アメントが陸上へ連続することをまったく妨げないとい うことを示唆している.

慣性効果は緯度によって異なり、古赤道帯で最大変形す るので、中央大西洋はアルプス変動期の捩れ造構作用 に対し特別な傾向を示したであろう (Storetvedt, 2003). ちなみに, 同時代の中央大西洋を横断する赤道は地中海 の南縁に沿って走り、中米南部に向かって連続する(以 下を参照). 基本的断裂の E-W 方向のセットはこの変形 過程で再活動し、著しく大きくなってメガスケールの横 断断層を形成する. そして, 盆地の変形がその後に隆起 した大西洋中央海嶺の特徴的なジグザグパターンを作り 出した. 図3は Scheidegger と共同研究者による節理方 向に関する事例研究 (Storetvedt, 2003 の参考文献を参 照) から選び出した大西洋に接する大陸 (+ オーストラリ ア)で北を指す断裂軸を示している. なお,すべてのデー タは Scheidegger (1965) と Kohlbeck and Scheidegger (1977) によるものである. この明らかに大まかで初歩的 な調査からでさえ, 読者は極めて一貫した 'N-S' 及び 'E-W' 方向の断裂軸に驚かれるに違いない. また, 垂直で断層 に規制されたインド洋の東経 90 度 (Ninety-east) 海嶺及 びブロークン (Broken) 海嶺の方向は、図3に示された 先アルプス変動期の断裂軸(これは恐らく先カンブリア 紀の断裂ネットワークで、後の地球表層の造構 - 地形発 達の鋳型の役割を果たしたものであろう)の方向に一致 している.

アルプス変動期の大西洋:一次オーダーの構造図

中生代後期の間、地殻下部の薄化過程、すなわち、主として含水流体が引き金となったエクロジャイト化とそれに伴う地殻の上部マントルへの消失がかなり進行した。発達する大洋盆が繰り返し隆起・沈降する原因となった上部マントルの静水圧の上昇と解放は、低い大陸地域に影響を及ぼす海進と海退のパルスに明らかに同調するものであった (http://www.youtube.com/watch?v=gOC7T gAlhV8&feature=channelを参照). 推測であるが、海退イベントが続いたことで大洋盆は次第に深くなっていっ

た. 中生代後期まで、残っていた大洋を横断する陸橋の接続はまだそれほどの障害ではなかった. しかし、普遍的に存在する既存の平行断裂セットにより、発達する大陸縁辺は次第にぴったりと平行するようになった. 言い換えると、マントルを切る既存の深部断層帯(これに沿って流体がエクロジャイト化を促進した)に沿って発達したこれらの縁辺が特に目立つようになった. 世界の多くの大陸縁辺に沿う顕著な重力異常の存在はこのような推測を支持する. さらに、大洋と大陸の境界断層帯に沿って加速されたエクロジャイト化/デラミネーションは、予想されるように多くの大陸縁辺の海側に、地殻の特に薄い帯状域、盆地の沈降、異常に厚い堆積体をも作り出した. 中央および南部大西洋の縁辺に平行な厚い堆積物が、図4に描かれている.

白亜紀後期~第三紀前期の地球リソスフェアの捩れは大西洋に接する大陸の相対的方位の変化をもたらし、それに伴う薄化した広大な大洋の形状変化は、メガスケールの横断断層の形成に加え、北大西洋と南大西洋の現在の南に扇状に開いた形を作り出した。中生代中期の間、深海盆は極めて限定されていて、無酸素状態と閉じた小盆地内での黒色頁岩の堆積がしばしば生じたと考えることができる。推測するところでは、発達する中央及び南大西洋は大陸と準大陸の残骸のモザイクで特徴づけられ、現在の北大西洋のそれに似た地形状況にあったろう(Storetvedt and Longhinos, 2011を参照)。しかしながら、白亜紀末に向かって内部の脱ガスが、広範な浮力を与えるほど十分なレベルにまでアセノスフェアのガス圧を高め、それは地殻の薄い大洋盆に特に影響を及ぼした。結果として、残っていた陸塊(現在の大西洋大陸を含む)

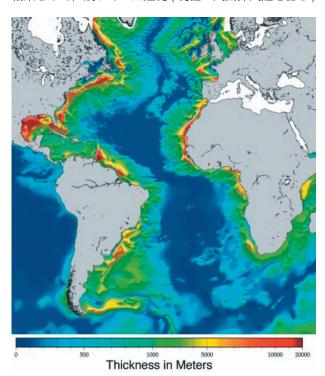


図 4 国立地球物理センター (NGDC) の海洋地質・地球物理部門によって編集された中央及び南大西洋の堆積物の厚さを示す数値図. 本図は http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/sedthick9.jpgの一部である.

の大部分は海水面が上がって (セノマニアン海進) 比較 的浅い縁海になり、アルプス変動期の造構発展の前提が 整った.

先アルプス変動期の白亜紀の間、大西洋の輪郭は、概略 図 5 に描かれているようなものであったと推測できる (Storetvedt, 1997 and 2003). 大陸縁辺は走向が 'N-S' の (先に論じた) 基本的断裂システムのうちの顕著なものに沿って発達し、それに沿って揮発性物質による地殻のエクロジャイト化が特に効果的に進行した。そういうわけで、重力による地殻の上部マントルへの消失は、(断層で規制された)発達途上の縁辺に沿って特に活発で、多くの縁辺セグメント沿いに異常に薄い地殻、異常に厚い堆積盆、正の重力異常の存在という組み合わせが生まれた (これは PT の論文ではしばしば謎とされている). 白亜紀後期における地殻下のデラミネーションの活発化が引き金となって、慣性駆動の (コリオリの力に支配された)地球規模の造構作用が地球全体に及ぶ造構過程を押し進めた、大きめの大陸塊では慣性による方位変化が最

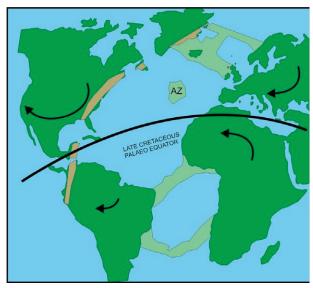


図 5 大西洋の発達段階の早期に、対向する大陸縁辺は現在のそ れよりもっと近い距離で平行していた. 海盆内の大陸性リッジと 台地の遺構 (一部は露出) はまだ豊富に存在している (薄緑色で 表示). 中生代の大部分の間, 大西洋海盆はゆっくり発達したが, 白亜紀末に向かって地殻のマントルへの消失が加速したことによ り,海盆の沈降が強まり,地球の回転が加速された.地球の回転 の変化が力学的に弱い大洋リソスフェアとあいまってレンチテク トニクスに特徴的な種々の現象を顕在化させた. 今日までに、ア ルプス造構変動は全力を出し切った. 慣性駆動のリソスフェアの 捩れは主要な大陸塊に対して種々の、しかし穏やかな方位の変化 を引き起し、北及び南大西洋を南へ扇状に開いた形状にした. ア ルプス変動期のクライマックスの後、以前の大洋を横断する陸橋 と微小大陸は大部分が上部マントル過程によって吸収され、第 三紀前期までにヨーロッパ - アイスランド - グリーンランドの陸 橋のみが無傷に近い形で残った. 北米の (先アルプス変動期の配 列である) 古生代アパラチア褶曲帯(薄茶色)は、当時の南米北 西端の造構帯に自然な形で連続していたことに注目. 曲がった黒 色の矢印は古地磁気データから推測される原位置に近い場所での 回転の大きさを描いている. 南米の造構性のスウィングはわずか 10°前後と見積もられるのに対し、北米の回転は全体で55°前後 に達した. 北米の回転の本質的部分は明らかに慣性的な大陸変形 によって引き起こされ、同大陸の南半分には時計回りの捩れが大 きく現われた.

大でも数 10° 程度であったが、相対的に小さな大陸の原位置でのスウィングは、観測された古地磁気パスとの不一致を簡単に相殺するほど大きかった (Storetvedt, 1990, 1997 and 2003). 現在までのところ、地球史の第一段階では'動きやすい大陸'という話は適切である.

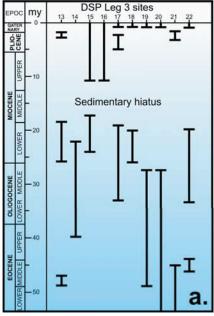
アルプス造構変動以前,ウォルビス (Walvis) 海嶺とリ オグランデ (Rio Grabde) 海嶺は明らかに南大西洋を横 断する陸橋を構成していた. 例えば、赤道大西洋の地形 と地質構造の研究で、Timofeyev et al. (1990) は、それ がかつて "大陸間の一種の構造的障害であり、長い間北 大西洋と南大西洋を分離していた"と結論づけた. 同様 に、北大西洋ではアイスランドとアゾレス (Azorean) 諸 島の表層の玄武岩が大陸基盤の上に載っており、構造的 に複雑なノルウェー - グリーンランド海には大陸の残骸 が多数ある (Storetvedt and Longhinos, 2011 の参考文献 と討論を参照). 先アルプス変動期に浅海もしくは大気 の下にある地塊は、ケープヴェルデ (Cape Verde) 海嶺, バミューダ (Bermuda) 海嶺, ニューイングランド (New Engrland) 海山列, マデイラ (Madeira) - トーレ (Torre) 海嶺などを含めて著しく広くなった(Storetvedt, 1985) and 1997 を参照).

大西洋の孤立した多数の小盆地は、しばしば中生代後期の間に世界の大洋に広く分布した黒色頁岩の層準に当たる黒色の瀝青質泥岩が堆積する停滞水の状態になった(例えば Fischer and Arthur, 1977; Thiede and van Andel, 1977). 例えば、中央大西洋の有機性堆積物の鉱物組成と含有化石の研究から Arthur (1979) は泥質堆積作用が嫌気性条件のもとで行われたことを明らかにした。これらの停滞条件はチューロニアンの早期、すなわち約9,000万年前頃にかなり唐突に終わり、多くの深海コアは、その後長期の堆積の中断を挟んで、白亜紀末期の酸素が十分あるという条件のもとで形成された堆積物が出現するという特徴を示す。侵食と無堆積を伴う明らかに大洋地殻の隆起を反映した顕著な白亜紀末期のハイ

エイタスは、当時の大規模な海水準の上昇、すなわちセノマニアン海進に同調したものである.

白亜紀の間に生じたと思われる地球(の回転運動)の加 速は、基本的にはコリオリ効果に支配された一定の可動 性をリソスフェアに与えた. 大陸間の力学的干渉を除く と,アルプス変動期の造構運動は純粋に慣性的である. 古北半球の表層は時計回り方向の捩れを受け、他方、(当 時の赤道に関して)相対する古南半球は反時計回りの捩 れを受けた. 全地球的な慣性システムでは、アルプス変 動期の北米 - カリブ構造境界や本来のアルプス褶曲帯に 実際現れているように, 多少幅が広い古赤道帯は剪断変 形に対して特に弱いという点に留意することが重要であ る (Storetvedt, 2003 and 2009 参照). 古地磁気データ にもとづくと、どちらの大陸も時計回りにそれぞれの方 位を変えたが、それが比較的小さく可動性の高い北米は、 大きくて不活発なユーラシア陸塊に対して約30°回転し た. コリオリの効果も古南半球の捩れに著しく影響した が、比較的狭い赤道トランセクトと、アフリカ - 南米間 の造構的相互作用により、同半球の大洋セクターは隆起 し,造構的に歪んだ.中新世後期になってさえ,大洋の 赤道トランセクトは、小さな島々が繰り返し出現すると いう現象を伴う剪断作用と著しい垂直変動のイベントの 影響を受けた(Storetvedt, 1997 の考察とその中の参考 文献を参照). 大洋地殻の中新世中期における広範な隆 起は、海洋の侵食もしくは無堆積に加えて、いくつかの 大陸にまたがる広範な海進を引き起した. 図6は南大西 洋地域のデータを示している.

リソスフェアの相互作用により、最も幅の狭い大西洋のトランセクトであるスパールバル (Svalbard) - グリーンランド水路 (Storetvedt and Longhinos, 2011 とその中の参考文献を参照)と赤道セグメントは造構性の歪に特に弱くなった。例えば、コートジボアール - ガーナの沖で、その縁辺は白亜紀の堆積シーケンス内に顕著に見られる強い褶曲・断層・剪断などの作用を受けてきた (例



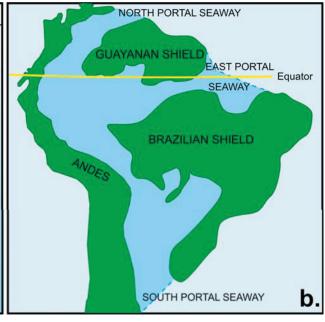


図 6 a) は 30°S で南大西洋を横断するDSDP Leg 3 の中新世中期の堆積中断を示している。この堆積中断は明らかに大洋基盤のして規模な路り、結ま海のして低い土地は浅海のして低い土地ははそのような氾濫の例として、Webb (1995) により簡略化された南米の中新世中期の海進を示す。

No. 64

えば Mascle et al., 1995 and 1998). ブラジル北部山脈は、ブラジルの北海岸に沿って 1,300 km にわたって走る現在では埋没された地形的リニアメントであるが、おそらくアフリカの反時計回りの回転がもたらした赤道トランセクトに斜交する横ずれ圧縮力の産物であろう(以下を参照). この推定と調和するのは、ブラジル北部縁辺に接する地域で観察される白亜紀後期の逆断層と圧縮性褶曲である(Campos et al., 1974).

赤道大西洋は大洋を横断する密度の高い剪断帯システムで特徴づけられているが、それは中央アフリカを奥深くまで切っているだけでなく南米のアマゾン地域も切って連続している(以下を参照).中央アフリカから太平洋の深部まで一気に走っている広域的な断層システムは疑いもなく基本的断裂ネットワークの 'E-W' 方向のセットの捩れが再活動したことを示している. 古地磁気学的考察から求められた南米の比較的小さな回転量は、図7に示される南米北部の節理の方位データにより一層支持される.南米の比較的小さな全体的回転のおかげで、節理軸の方位は先アルプス変動期の全地球的な配置にぴったり一致している.

赤道大西洋を横断するアルプス変動期の著しい造構歪に より、PT では説明できない垂直変動がこのトランセク トに現れている. 例えば、ロマンシ (Romanche) 断裂帯 に沿う延長 500 km 以上の地形的高まりは、頂部が海水 面に近いかそれより上にあった時に形成された炭酸塩岩 の堆で覆われている. それらの海山の1つで実施され たサンプリングでは、500万年前の古い礁性石灰岩が 採取された (Bonatti et al., 1977; Bonatti and Chermak, 1981). 事実, 挿話的な地殻の振動*4 は明らかに大洋盆 が発達するときの特徴であり、海水準変動の海進・海退 パルスと協調して作用する. 問題となっている大西洋ト ランセクトでは、ブラジル盆地における DSDP Site 355 が実際に地球の動力学的なパルスを反映した海洋堆積史 の古典的な実証例といえるであろう. 図8に示された白 亜紀後期・始新世後期・中新世中期というの3回の堆積 中断は、おそらく大洋基盤の隆起に関係した侵食/無堆 積の時期であり、深海堆積物に挟まれるマグマ性イベン トに関係するものであろう (考察については Storetvedt, 1997 を参照). 主要なアルプス変動期のマグマ性パルス の発生時期は、セノマニアンとチューロニアンの境界あ たり、マーストリヒシャン、始新世後期、中新世前~中 期である. これらの造構火成層準は南大西洋を横断する DSDP Leg 3 の掘削地点でも見られる(Storetvedt, 1997 and 2003 参照).

*4 地殻の振動 (crustal oscillation): 地殻の隆起・沈降のことであろう.

アメリカセグメント

アメリカ大陸の先アルプス変動期の形状では、当初、古 赤道に整列した(地球を取り巻く)構造帯であるアパラ チア-カレドニア褶曲帯が南米の北西端に沿って自然な

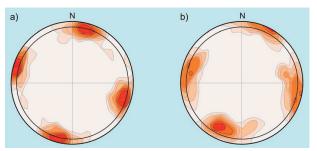


図 7 Scheidegger (1982) によるベネズエラアンデスの節理の極密度データ. (a) はプレサ・ホセ・アントニオ・パエツ (Presa Jose Antonio Paez) 地域での方向, (b) はトバール (Tovar) 地域での観察結果を示す. 直交する節理軸は先アルプス変動期の地球規模の断裂ネットワークとよく一致する. 内円が下半球, 外円が10°重なった上半球を表すランベルト投影図にプロット.

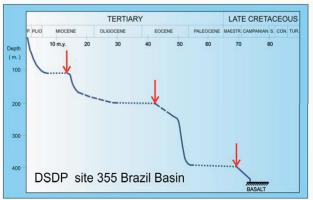


図8 ブラジル盆地の DSDP Site 355 における堆積史. 赤色矢印は推定される大洋基盤の隆起と同調した磁気イベントを示す. 考察については本文参照. 本図は Supko et al. (1977) にもとづく.

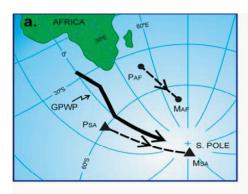


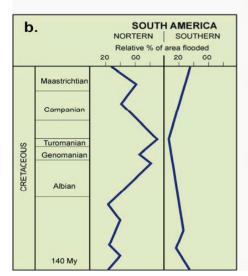


図 9 (a) は初生的な太平洋ベニオフ帯の大円が先アルプス変動期の両アメリカの方位配置にフィットしていることを示している. 大陸の形状は直交メルカトール投影で描かれている. (b) はアルプス変動期のリソスフェアの回転後のベニオフ帯の深部の位置を示す. 北米東部に沿って南米北西へと連続して走っていた初生的なアパラチア褶曲帯 (薄茶色)がアルプス変動期のリソスフェアの捩れによりどのように分裂したかに注目.

形で連続していた (Storetvedt, 1997 and 2003). 先アルプス変動期のアメリカの古地形配列は、環太平洋ベニオフ帯が始生代後期に大円の短縮転位によって形成されたという Wilson (1954) の提案に符合する. 後の,特にジュラ紀と白亜紀に、この深部断裂帯は発達途上の太平洋大陸縁辺に対する天然のデタッチメント構造となった. 図9a は先アルプス変動期の古地理状況、図9b は想定されるアルプス変動期の大陸回転後のベニオフ帯深部の相対的位置を示している.

上述のように、赤道大西洋をまたぐ造構的な相互作用





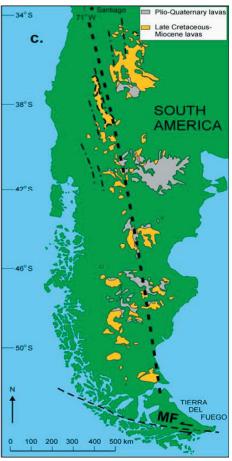


図10 南米の僅かな時計回りの回 転という結論を裏付けるもう一つの 観測結果. a) は全地球標準極移動 曲線 (GPWP) と比較した二畳紀 (P) から中生代後期 (M) のアフリカと 南米の古地磁気の極移動経路.2つ の大陸の極移動経路が GPWP に関 して反対側にあることに注目. こ のことは、2つの大陸が反対向きの センスで回転したことを示唆して いる. アフリカ (25 - 30°) に較べて 南米のはるかに小さい回転角度(約 10°) が目立つ. 南米の僅かな時計 回りの回転はある程度の陸の隆起を 引き起したチリのベニオフ面のより 深部のセクションが大陸に重なる原 因となった. 他方、そのような効果 は北部セクターには及ばなかった. b) は結果としての白亜紀後期の海 水準変化の違いを示している. c) は白亜紀後期~現世の火山活動の 内陸における分布と大陸南端でのマ ゼラン断層帯 (MF) の左水平ずれの 性質. これらは共にレンチテクトニ クスの図式に都合のよいもう1つ の証拠である. a), b), c) は, それ ぞれ Storetvedt (1997), Macellari (1988), および Munoz and Stern (1988) にもとづいている.

はブラジル北部の発達途上の縁辺に沿ってかなりの造 構的圧力を加え、南米をある程度南西に回転させた。古 地磁気のデータは、南米が全体として 10° オーダーの 時計回りの回転をしたことに加え、緯度で結果として 約20°南へ変位する力を与えられたことを証明している (Storetvedt, 1992 and 1997). 古南半球の全体的な反時 計回りの捩れも南米に影響を及ぼしたが、その慣性運動 は発達途上のブラジル北部縁辺に沿う比較的強い横ずれ 圧縮力によって減殺され、大陸を全体として僅かに時計 回りにスウィングさせるにとどまった. 慣性力と造構力 が組み合わさった(力の)多角形から、南米は、ボリビ ア地域に造構的なヒンジができる一定程度の内部変形を 蒙った (Storetvedt, 1997 とその中の参考文献を参照). アフリカが反時計回りに捩じられるにつれて, 南米は, 正味は僅かであるが時計回りに動いた. また, 南大西洋 海盆は造構的に歪んで形を変え、現在の南に開いた扇状 の形になった. それとともに直交断裂システム, 特に 'E-W' のセットが影響を受けて再活動した. 古地磁気の 証拠から推測される南米の全体的に僅かな時計回りの回 転は 図 10a に示されている. 全地球標準極移動曲線に 対して、アフリカと南米の古地磁気極のパスは反対側に 位置するが、このことは2つの陸塊が反対のセンスで回 転したことを示している.

古南半球に位置する南米は慣性が引き金になった反時計回りのリソスフェアの捩れによって部分的な影響をうけてきた.この捩れパターンは南東太平洋で卓越する断裂システムに見事に表れている.東太平洋海膨とチリ海嶺

を横断して、これに直交する顕著な断層システムのセッ トが、明白にSSW方向に凸面を向けている. それに加 えて、先アルプス変動期と推測される方向に対して20。 程度の反時計回りの回転が全体に及んでいる(前述). し かしながら, ブラジル北部縁辺への横ずれ圧縮力により, 南米の前縁はチリの縁辺に沿う浅く傾斜したベニオフ面 に乗り上げ、他の造構的効果とあいまって一定の付加 ウェッジを作り出したに違いない. 例えば、チリ南部で はチリ海嶺との接合部で、大陸縁辺に沿う変成した古生 界からなる基盤が白亜紀後期~第三紀初期のパタゴニア 底盤によって貫入されている (Mpodozis and Forsythe, 1983). ODP Site 863 では、同じ全体的な地域の中の 断層起源の海溝斜面で更新世の堆積物が掘削されたが, 強く褶曲した厚い堆積物に遭遇した (Behrmann et al., 1994). また、タイタオ (Taitao) 火成岩複合体の古地磁 気学的研究は、少なくとも2回の回転イベントを含む変 形史があったことを示唆している (Veloso et al., 2005).

ペルー・エクアドル・コロンビアの縁辺沿いでは、南米海溝は推定される南米北部の東向きの回転と調和的な広範にわたる横ずれ引張の地形を示している。例えば、ペルー海溝では海溝にほぼ平行して走る無数の断層が記載されていて、その多くは幅が3~5km、走向方向に最大100kmにわたって延びる地溝を形成している(Warsi et al., 1983)。南米海溝北部沿いには広域的な造構性ウェッジがないことは十分立証されている。この縁辺造構運動の違いが、垂直造構運動における違い、次には海水面変動史の違いに発展したものと思われる。Macellari (1988)

は、北部セクター(ベネズエラ - コロンビア - エクアド ル - ペルー)の白亜紀の海水準変化とチリ - アルゼンチ ンのそれを比較して, 海成層の分布に際立った違いがあ ることを発見した. 北部セクター全体について, 彼は チューロニアンに最大水深をもつ海進、すなわち平均的 な (グローバルな)海水準変化に容易にフィットする観 測結果を発見した (Hag et al., 1987). これは南米北部の どんな広域的・造構的隆起も取るに足りないものであっ たに違いないことを示唆している. 図 10b から読みとれ るように、南米南部の状況は全く異なっていたことが分 かった、地球規模のセノマニアン - チューロニアン海進 イベントは海退時階にとって代られる. この南部の異常 な海退は南米南部の中程度の西へのスウィング―これは チリ縁辺の東に傾斜したベニオフ帯に沿う造構的な隆起 を促した―と調和する.

南米南部の西向きの回転は、ベニオフ帯のリソスフェア 下の断面を自然と大陸に対して東へ変位させた. した がって、上昇する揮発性物質とマグマに対する天然の供 給経路/帯となっているベニオフ帯のより深部は、太平 洋の縁辺から南方へ離れるほど内陸火山活動として表れ ることが期待されるであろう. 白亜紀後期~現世の広域 的な火山帯の全体的な方向 (Hervé et al., 1987; Munoz and Stern, 1988) は大西洋海岸のティエラ・デル・フェ ゴ (Tierra del Fuego) からチリ北部の海岸地域へと延び ている(図 10c). 実際,火山軸はチリ北部縁辺と極め て浅い角度 (10-15°), すなわち南米に関して推測される 回転値に見合った観測値で交差する. 大規模なマゼラン (Magellanes) 断層帯 (図 10c) の大陸南端付近での左ずれ の性格はレンチテクトニクスのシナリオを支持するもう 一つの証拠である.

大西洋縁辺大陸に対して, アルプス変動期の慣性による 回転は最大でも数 10° に過ぎなかった. しかし, 古半 球の捩れの構成要素であるこれらの比較的控えめな回転 は, 古地磁気の極移動曲線で観測された不一致の理由を 簡単に説明できる. アメリカの相対的な回転により、中 生代後期の間、その地殻が薄化していくつかの準大洋盆 に分割されたカリブ地域は何度も活動を繰り返し、幅の 広い左ずれの剪断帯になった(図11). カリブ・北米構 造境界の左水平ずれの性質は種々の地球物理学的・地質 学的研究によって裏付けられてきた (Weyl, 1980 とその 中の参考文献を参照). 例えば、メキシコと中米を通る 漸新世の火山弧の軸は、モタグア (Motagua) 断層帯を切 る左水平ずれのセンスとオフセットの関係にある. 言い 換えると、 北米と南米の間の相対的な回転はアルプス変 動期のクライマックスの間には完成しなかった. 実際の 境界地域における最近の GPS 観測 (Dixon et al., 1998) は、走向移動の動きがまだ作用していることを示してい

グアテマラを縦断するモタグア断層に沿って形成され た主要な構造境界, すなわち古赤道分裂帯のセグメン トは、プエルトリコ海溝の北翼に沿ってさらに連続す

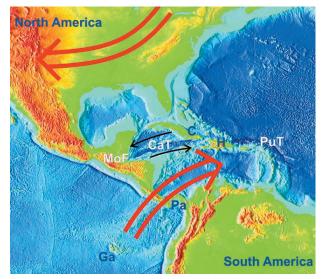


図11 大きな白抜きの矢印(赤色)はアルプス変動期の間の南北 アメリカの相対的な回転を示す. その結果できた主要な造構境界 であるモタグア断層帯 (MoF) とケイマントラフ (CaT) は黒の矢 印で示されている. アメリカの相対的な回転は準大洋性のカリブ 地域を幅広い左水平ずりの剪断帯に変えた. この構造境界の南で は太平洋縁辺(中米と南米北部の沖)が引張性地形を示している. いっぽう, この境界の北の海溝 (プエルトリコ海溝:PuT) は堆 積ウェッジをある程度含む圧縮性の特徴を示す(本文参照). 略 号は、CaT:ケイマントラフ、MoF:モタグア断層帯、PuT:プ エルトリコ海溝, C:キューバ, H:ヒスパニョーラ, Pa:パナマ, Ga:ガラパゴス諸島.

る. この剪断作用の結果として, 固体状態で造構的に定 置した上部マントル物質が産することに加えて、青色片 岩帯とその他の高圧低温岩類が主要断層帯に沿って形成 された (例えば Nagle, 1974). 南米北部とカリブの全体 的な東への造構的スウィングは中米太平洋海溝に沿って 広範にわたる諸条件を作り出した。このことは、その地 溝のような構造と広域的な構造ウェッジが欠如する理由 を説明する. 構造境界の南米側における太平洋海溝の引 張状態は、メキシコ南西沖の IPOD Site 67 での深海掘 削によって検証されている. 他方, この主要な構造境界 の北の IPOD Site 66 では、北米の西向きの捩れが一定 の付加ウェッジをもたらした. この造構シナリオでは, カリブ地域は、ほどほどの時計回りの回転の間に小ア ンチル (Lesser Antiles) 諸島に沿う浅く傾斜した構造性 の弧を作り出した南米の一部であると考えられている. Storetvedt (1997, 2003 and 2009) はさらに深く検討し ている.

北米南部は白亜紀後期~第三紀前期の赤道により近く, それ故, アルプス変動期のクライマックスの間, 慣性 が引き金になった捩れを大陸の北部より強く蒙った. こ れは、特徴的な直交する断裂軸がなぜ南方向に時計回り の回転を示しているかを合理的に説明するように思える (図2参照). 増大する南向きの捩れ過程は北米大陸だけ でなく北部の古リソスフェアにも影響し、中央大西洋西 部に顕著な造構変形をもたらした. 大洋のこの部分では, 普遍的に存在する直交断裂システムのセットが再活動す るに至り, 初生的磁性酸化物の様々な分解を伴う鉱物学 的変質が、明らかにいずれの断裂セットに沿っても生じ、

周囲の磁場による誘導によって磁化された磁気異常の直 交帯を作り出した (Storetvedt, 2010b; Storetvedt and Longhinos, 2011).

レンチテクトニクシステムでは慣性駆動で緯度に依存し た動きに従っているのは古半球の頂部であり、その間、 やや幅の広い古赤道地域は特に大きく歪んだという点に 注目することが重要である. この過程で, 突出した陸と 低平な大洋の間の慣性効果の違いにより、大陸と大洋の 間の構造的な断絶は通常わずかなものである. それ故, 主要な海洋構造は通常, 陸上にも自然な形で連続してい る. 上述したように、古地磁気学的証拠から示唆される 北米の比較的大きな時計回りのスウィングは、陸塊全体 が原位置で回転した結果というよりは、まず第一に、大 陸の南部における全体的な西向きの捩れを伴う内部変形 の結果であるように見える. しかしながら、北米リソス フェアの西向きの捩れの過程で, 太平洋縁辺に沿うベニ オフ帯の上部はそのマントル深部の断面から切り離され るに至った. 結果として, 広域的なベニオフ帯の下部 断面は 図 9b に示すように現在の内陸に位置することに なった. この北米のベニオフ帯深部の西方への変位は、 北米西部の現在の火山活動が太平洋岸から大きく離れて 生じているという事実で説明がつくだろう.

図 9b から読みとれるように、メキシコ南部のユカタン 地域は、ベニオフ帯とカリブ - 北米構造境界の深部マン トル断面が交差する辺りに位置している. レンチテクト ニクスの枠組みの中では, この構造交差部は上部マント ルのガスや揮発性物質が脱出する経路となる. それ故, アルプス変動期の造構発達の間, モタグア・ケイマント ラフに沿った左ずれ変位がそのピークに達した時、造構 運動は広い範囲のアセノスフェアの静水圧を著しく増大 させ,2つの主要な断裂帯の交差部におけるガスの噴出 を引き起した. それ故, K/T 境界付近の年代を示すユカ タン北部の巨大なチクシュルーブ (Chicxulub) クレーター*5 は、圧力が過大になったマントルガスを解放する一種の 圧力弁になったであろう. 火山活動・造構作用・生物学 的大異変などを伴うクレーター形成が通常、地質時代の 境界で観察されるということを強調することは重要であ る. 言い換えると、クレーターの形成は地球の歴史を作 り上げた造構的なパルスと密接に結びついているように 見える (以下も参照).

*5 チクシュルーブ (Chiczhulub) クレーター:メキシコのユカタン半島北部で発見された直径約 160 km のクレーター. 地磁気異常・重力異常・セノーテの分布・岩石種などから小惑星の衝突跡とされているが、著者 (Storetvedt) は地球自身の脱ガス作用で形成されたと主張している.

アフリカとヨーロッパの造構関係

中生代の間に大洋盆が次第に深くなったことにより,潮 汐による制御が強まり,地球の回転を遅くしたことが考 えられる.しかしながら,大洋の深化と同時に,かつて の大陸地殻のかなりの部分がマントルへと失われた結

果,地球加速度に実質的な変化は生じなかった(このデー タをまとめた Storetvedt, 2003 の 図 5.12b, 5.13b を参 照). この加速度(東向き)は, K/T 境界でピークに達し, 地球の古リソスフェアの西向きの慣性による捩れを招い たが、その造構効果は現在の地中海地域に沿って走る当 時の赤道帯(図5参照)で最も大きかった. しかしなが ら, 白亜紀後期~第三紀前期の間, 古赤道の相対的位置 はアルプス帯とアフリカ北縁の間で緯度にして 15° 前後 まで変化したように見える (Storetvedt, 1997 and 2003 を参照). 言い換えると、アルプス変動期の地殻変動の間、 古赤道は先カンブリア紀早期の2つの顕著な収縮変位の うちの一方の帯を通過した (Wilson, 1954 参照). その ように地球を取り巻く深い断裂帯 (それに沿って地殻下 の薄化と盆地の沈降が容易に起こる)の存在は、大陸間 に横たわる比較的浅いテチス海が長期にわたって発達し たことを説明する (例えば Süss, 1893; Wolfart, 1967).

アルプス - ヒマラヤ軸に沿った造構変動のずっと前、こ のメガスケールの構造地形地域は東西に走る水路である テチス海が占めていた. 南の比較的狭いテチス海はアフ リカ・インド・アラビアの台地に接していたが、古生代 の間, その海は繰り返し海進を受け, アラビア半島と北 サハラに向かって深くなった. 北の狭い大陸性リッジが 広大なテチス海の水路をもう1つの縁海(準テチス海) から隔てた (多数の文献については Sonnenfeld, 1981 を 参照). 準テチス海は中央ヨーロッパと中央~北部アジ アの主要な部分を繰り返し覆った. Sonnenfeld (1981) によると, テチス海を横断して層相を対比すると, 古生 代と中生代を通してこの縁海はゆっくり沈降する盆地で あったが、その南北の海岸は、頻繁に局地的(地理的に 閉じた)性質を示す動物相を伴う同じ気候帯にあったこ とを示すという. 長いテチス海の堆積史はアルプス変動 期に終ったが、現在の地中海盆はかつてのテチス海の名 残りではないということは重要な事実である. 例えば, Pannekoek (1969 とその中の参考文献) によると, 周 囲の陸地における多数の地質学的観察事実が、現在西地 中海の深海盆が占めている地域から堆積物の供給を受け ナップが運搬されたことを示唆しているように, 西地中 海は第三紀前~中期に今日とは基本的に異なる地形を有 していた. さらに、Nesteroff (1973) はフランスの海岸 に平行する中新世の河川跡を観察した. これは明らかに その流路 (すなわち, 現在のアルボラン (Alboran) - リ グリア (Ligurian) 海 *6 へ向かう方向) に直交する深海斜 面が存在しない時に形成されたものである. これは中新 世後期の間に垂直的沈降によって形成された西地中海 の深海盆という伝統的な (PT 以前の) モデルを支持する (Wezel, 1985 参照).

*6 アルボラン海:スペイン・モロッコ・アルジェリアに囲まれた地中海最西端の海. リグニア海:イタリアのリビエラとコルシカの間の海. これら2つの海とティレニア海(イタリア半島とコルシカ・サルディニア・シチリアで囲まれた海)を合わせた海域が西地中海.

アフリカ/ヨーロッパのアルプス変動期の慣性駆動力学

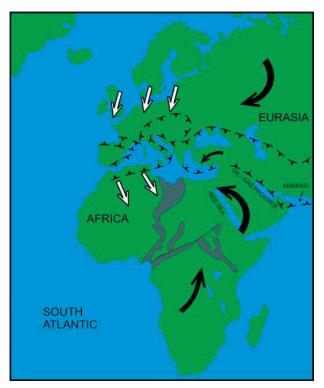


図 12 古地磁気データにもとづくアフリカ/ユーラシアの相対的な運動を示す模式図. 共通の境界地域はアルプス変動期の古赤道帯のセクションを表す. 介在する褶曲帯は全体として斜め圧縮帯を形成し、これがアルプス変動帯に相当する. 大陸の回転は古い基本的な断裂システムを再活性化し、直交配列にある大陸性盆地の形成を容易にした. ここではアフリカに示されている(灰色部分). 慣性駆動のアルプス変動期の大陸回転が先アルプス変動期のアフリカとヨーロッパの古地磁気方向(白矢印)をどのようにして現在の編角の不一致へ導いたかに注目. 本図は Storetvedt (2003) を簡略化. 中東の反時計回りの回転は現在の GPS から求めた速度データ(図 13 参照)によって強く支持されている. 超巨大なアラビア湾の石油区はアルプス・ヒマラヤ褶曲帯の南部広域境界に沿っている.

システムに目を転じると、2つの大陸塊は古赤道帯の反 対側に位置していた (西は中央大西洋を切ってカリブと 中米に続いていた). この全地球的造構過程では、アフ リカとヨーロッパ (ユーラシア) は反対のセンスで動い た. このため慣性効果は両者に挟まれたアルプス褶曲帯 にダイナミックな強制力として働いた. 地質学的・地球 物理学的に特異な山脈を作り出した相対的な回転は、ア フリカとヨーロッパの間の十分実証された古地磁気編角 の不一致(図12参照)をもたらし、ついには長期的に 存在したテチス海の崩壊を招いた. この過程で, "地殻 上の凹所を満たす物質は隆起と変形を蒙り、そのいくら かは隣接するブロックに衝上した. アルプス変動期の衝 上断層は早期の高角ブロック断層とは異なり, 地殻を十 分には断ち切らず、最深部での角度は浅い"(Sonnenfeld, 1981, p. 35). テチス海は動物相が局地性を示す時代が 長く続いたが、白亜紀後期にその状態は終止符をうった. セノマニアンの大海進により外洋性の動物がテチス海に 入ってきたのである.

アフリカとユーラシアが原位置で回転する間,2つの大陸塊の縁辺速度は全体として似たようなものであったに違いない(Storetvedt,1990 and 1997). しかしなが

ら,瞬間的速度が違ったことにより,緯度に応じた内部変形を含め,アルプス構造軸に沿う個々の断層に右水平ずれと左水平ずれの変位が共に生じたであろう.その結果,レンチテクトニクシステムでは,全体として横ずれ圧縮にあるアルプス褶曲帯内部の微小ブロックに複雑な回転運動が生じたと予想する.ちなみに,中央ヨーロッパ〜地中海地域における多数の古地磁気学的研究結果はこの予想に一致している.しかしながら,一次オーダーの構造境界は,通常言われているような現在の地中海に沿ってではなく,アルプスとピレネーの軸に沿った位置にあったと思われ (Storetvedt, 1990),このことは局地的な微小ブロックの力学史を全く変えるものである (Storetvedt et al., 1990 and 1999 参照).

ヨーロッパアルプス内では青色片岩とエクロジャイトが 比較的広く分布しており (Droop et al., 1990), これらの 岩石が示唆する高圧 / 低温条件はレンチテクトニクスの シナリオと全く矛盾しない. 多数の研究者が示してきた ように、藍晶石を含む青色片岩をもつ高圧帯は基本的に アルプス変動期のものである. Ernst (1972) はひすい輝 石・石英とあられ石の組み合わせが白亜紀後期~第三紀 後期の変成岩地域に限って出現することを発見したが、 これは特に重要である. 時間に応じた鉱物学的変化が観 察されたが、それは変成帯における造構圧力が時間とと もに増大した, すなわち, それ以前の地質時代の間より もアルプス変動期のイベントの間で造構力がはるかに強 かったことを示唆している. それに加えて, 基本的には 初源的な直交断裂ネットワークの再活動要素である盆地 の形成を伴う局地的な横ずれ引張場が必然的にあちこち に発達したであろう. したがって, 延性的な上部マント ル物質は、容易に、深部断裂を通って上方へ造構的に注 入された(約500℃で)であろう. 造構性の超塩基性物 質(上部マントル由来の)は、通常、蛇紋岩・緑泥石・ 緑れん石・アルバイトに富む浮力のある岩石に変質し, しばしば火山岩や地向斜性堆積物を伴ってオフィオライ トと呼ばれる. このように、アルプス・ヒマラヤ構造軸 に沿う全体的な剪断性造構作用は周囲と断絶したこれら の外来性岩石体の性質を無理なく説明する. レンチテク トニクスの予測と一致して, Brookfield (1977) は, オフィ オライトは剛性の高い台地の間の垂直的に不安定な狭い 帯の中で、高角の走向移動断層が活動する間に定置した と推測した.

地球の地殻が広範に分裂し、初源的な直交断裂システムの少なくともある部分がモホ面の下まで切っているという事実 (Storetvedt, 2003, p.176-177) に直面すると、地球規模の捩れ運動が大陸塊の再活動とある程度の形状変化を共に引き起したであろうことが確実性を帯びてくる。そして、そのような内部的造構変形は慣性力が最大効果をもたらす古赤道地域付近でとくに強く現れる。大陸のリフトと既存の構造的組織の間によく見られる平行性はこの原理を証明する。例えば、アルプス変動期の間、中央アフリカの先カンブリア紀のリフトシステム (図12) はマグマ性及び造構性の活動から繰り返し影響を受

けた. 例えば, 長さ 1,000 km, 幅 50~100 km で NE-SW 走向のリフト性凹地であるベヌー (Benue) トラフ*7 では, 白亜紀後期及び第三紀前期に種々の組成のマグマ 活動が、トラフ内の限られた数地点で発生した(例えば Maluski et al., 1995). ベヌートラフ内に幅 400 km の正 の重力異常が存在するということは,一般に,薄化した 大陸地殻が上昇した密度の高いマントルで置き換えられ た結果と解釈されてきた. 例えば Fairhead and Okereke (1990) は,90 mGal の異常振幅にもとづいて,トラフ の幅 300 km 前後にわたる地殻下が約 14 km 薄化した という結論に達した. こうした結論は、レンチテクトニ クスの図式が密接に関わる地殻の大洋化の証拠と全く調 和的である.

*7 ベヌー (Benu) トラフ: 中央アフリカリフトシステムの一 部で、ナイジェリア南部を NE-SW 方向に延 びている埋 没トラフ.

上で概述したように、大洋を横断する陸橋とそれらの間 の発達途上の盆地を伴った先アルプス変動期の南大西洋 の形は、アルプス変動期の造構発展の間に終わった。1) 地球規模の慣性効果と、2) 比較的狭い赤道大西洋の水路 に交差する造構性相互作用は、アフリカと南米の原位置 での反対向きの適度な動きを促し、現在の南に向かって 扇状に開いた南大西洋の形を作り出した. 南米の最小回 転により 'E-W' セットの初源的な断裂の広域的なセグメ ントは赤道太平洋から南米北部を通ってアマゾン河口ま であまり邪魔されることなく連続し、赤道大西洋を越え、 ギニア湾でアフリカに上陸している.

アフリカ大陸を横断するペルシウム (Pelusiun) 線と名づ けられた断裂帯は Neev (1975 and 1977), Neev and Hall (1982), Neev et al. (1982) により研究されてきたもので、 全体的に左水平ずれの剪断帯と主張された. Neev と共 同研究者は、LANDSAT 画像のモザイクを利用して構造 マッピングの範囲を広げ、その断層帯が中央アフリカを 切って一連のエシェロン状の剪断帯を形成していると結 論づけた. さらに、彼らはその断層システムが北東方向 に収束し、北東アフリカにおいてかなり鮮明な反時計回 りのスウィングをしていることを発見した. ペルシウ ム "収束は赤道断裂帯がそのシステムのアフリカ部分と 接合するギニア湾に近いところと、システムの曲率が目 立って大きくなる地中海の南東隅に達するところで最も 目立つ. そこではこのシステムの曲率が顕著に増大して いる" (Neev and Hall, 1982, p.10,689). 推定されたペル シウム巨大剪断の略地図を 図 13 に示す. 地中海地域に 向かって増大する反時計回りの曲がりはレンチテクトニ クスとも十分調和的である. 先述のように, 地中海地域 はアルプス変動期の変動の間、コリオリ効果がその最大 の重要性をもつ古赤道の位置にあった. ちょうど我々が 北米の例で見たように、 当時の赤道帯の反対側では、 慣 性駆動の大陸内変形 (回転)が古赤道帯に向かって増大 している.

古地磁気学的に求められたアフリカの反時計回りの回



図 13 アルプス変動期~現世のアフリカとヨーロッパの造構関 係を示す略図、灰色の大きな曲がった矢印は古地磁気データから 定めたアルプス変動期のクライマックスにおける2つの大陸塊 の原地性回転 (それぞれ,約 25°) を示す (Storetvedt, 1990). こ れらの動きはセンスが反対である点に注目. それは 1) 当時の古 赤道 (地中海の南縁にそって走る)の位置と, 2) 半球捩れの慣性 原理に矛盾しない. 赤色矢印はアラビア - イラン - エーゲ地域内 の GPS の動きを定性的に示したもので、顕著な循環運動が南の 古半球の慣性による捩れ(反時計回り)と調和して動いている縁 辺造構ブロックを決定している. 比較のために、示唆された中央 アフリカを切るペルシウム大剪断帯 (Neev and Hall, 1982 にもと づく)は、白破線によって描かれている. 古赤道地域における増 大した反時計回りの湾曲に注目. これは慣性にもとづくグローバ ルレンチテクトニクスの原理と調和的である. 中央アフリカを切 る灰色の矢印は推定されるペルシウム線に沿った左水平ずれの剪 断を示す. 細い黒色の矢印は西ヨーロッパに関する十分確立され た全地球測位システム (GPS) の現在の例を提示している. 北大西 洋の GPS データは海洋底拡大の考えとは矛盾し、中央大西洋リ フト帯の剪断起源説 (Storet vedt and Longhinos, 2011 参照) と 調和している. ヨーロッパの GPS 観測点の動きと調和して, ユー ラシア全体は現在, 古地磁気によって知られるアルプス変動期の 動きを引き継いだ時計回りの回転をしている (Zemtsov, 2007) よ うに見える. 略号は SWIR: 南西インド海嶺, CR: カールスベル グ (Carlsberg) 海嶺, OF:オーエン (Owen) 断層帯, MA:マクラ ン (Makran) 圧縮フロント, ZA:ザグロス (Zagros) 斜め圧縮帯, SR:シェバ (Sheba) 海嶺.

転 (Storetvedt, 1990) は、ペレシウム線の構造的曲がり とともに、今日では'アフリカ'変動ブロック北東隅の GPS が明らかにした速度パターンにもとづく広範囲の大 陸変形によって支持されている. ちなみに、GPS 研究は ヌビアとソマリア(北東アフリカ)の一部・アラビア半島・ ザグロスの一部と中央イラン・トルコ・エーゲ (Aegean)/ ペロポネソス (Peloponnesus) 地域をカバーしている (McClusky et al., 2000; Reilinger et al., 2006). 極めて ゆっくり動くユーラシアに関する全体的な速度パターン は図13に描かれている.循環的な速度パターンは、エー ゲ弧に沿った構造フロントで終わる内部変形を伴う一貫 した動きを示している. Reilinger et al. (2006) はアラビ

ア・アナトリア (トルコ)・エーゲ地域を取り巻く大スケー ルの反時計回りの捩れによって支配された比較的急速な 動き (約 20-30 mm/yr) に注目している. 彼らはトルコ 北部の北アナトリア断層の南の大陸地域全体と、その南 東延長のイラン中央~南部が、このかなり明瞭な循環的 速度/構造パターンに巻き込まれていることを強調して いる. Reilinger et al. (2006) は更に、アナトリア断層シ ステムを動かす主要な力は、直接はエーゲ弧 / ヘレニッ ク (Hellenic) 海溝が南に凸形になった原因と直接関連し ていることを示唆している. 調査地域内では速度場は内 部変化がかなり大きい. すなわち、北東アフリカにおけ る数 mm/yr からアラビア半島を横断する 20-30 mm/yr まで変化に富み、エーゲ地域における 40 mm/yr 前後と いう最大値に達する. 古い直線状断裂システムが存在す るために、それにアルプス変動期のリソスフェアの捩れ が重なった結果、主要な構造境界に沿う小規模な曲がっ た変形ができやすくなった. したがって, エーゲ・小ア ンチル・スコチア・インドネシア・アリューシャンなど の弧はレンチテクトニクスのシナリオの範囲で予測でき ることである.

地中海セクター

古生代後期から第三紀前期まで、中央~南ヨーロッパで は多数の古赤道が交差した(以下を参照). したがって, アルプス変動期の剪断変形が南ヨーロッパを横断する時 までに,大陸の幅広い地帯がすでに造構的に再活動し, 力学的に弱くなっていた. これは、ヨーロッパの奥深く に見られる多くの北向きのスウィングを含むヨーロッパ アルプスの複雑なパターンを説明するであろう. 西地中 海では一次オーダーの構造境界が、PT によって推測・ 主張されている現在の南地中海に沿ってではなく, 現在 のアルプスとピレネーの軸に沿って位置を定めたと思わ れる. その後, アルプス変動のクライマックス期のイベ ントで、地中海とアルプス地域はアフリカの北縁に沿っ て位置を定めた(そこは反時計回りの捩れを蒙るアルプ ス南部の古半球の一部であった). 西アルプスが凸面を 西方へ向けているのは、アフリカの反時計回りの結果 であろう. この点について, この地域の GPS 探査から, E-W 方向への一定の伸張に関連した比較的一貫してはい るが小さな西向きの動きが見出された. PT が押しつけ る全体的に N-S 方向の圧縮を予測するモデルとは調和し ないが、Vigny らは"西アルプス帯内部とコルシカ・サ ルジニアブロックの GPS 観測点の大部分の北向き成分は ユーラシアに関してほとんど 0 mm/yr である"と主張 している (Vigny et al., 2002, p. 74).

地中海西端のアルプス帯は北側をピレネー軸に接し、南側を北西アフリカの横ずれ圧縮でできたアトラス帯に接している(図12参照). それに加えて、大規模なアゾレス・ジブラルタル断層帯(これは広域的なアルプス剪断帯を分割し、イベリアのジブラルタル弧を強く西向きの凸形にした張本人)が造構的に極めて不安定化した。他の多くのアルプス地域のように、北ピレネーの伸

張盆地は白亜紀最末期に圧縮あるいは横ずれ圧縮の変形を受け、その結果、褶曲・劈開が発達し、低温高圧変成作用が進行した。覆瓦した構造ユニットが盆地からかなり遠くまで運搬されるような圧縮時階が始新世まで続いた(Choukroune, 1976; Munoz et al., 1986). 北ピレネー断層下のモホ面で見積もられた垂直オフセット(Daignièrs et al., 1982) は、断層帯に沿った白亜紀後期~第三紀早期の横ずれ圧縮の間、厚さの異なる地殻セグメントが並列した結果であると見ることができる。他方、ピレネーのアルプス造構変動は、隣接するビスケー湾が開口したという疑わしい歴史、つまりイベリアの反時計回りの回転という伝統的な説明とはうまく整合しない。

イベリアの推測される反時計回りの回転は、ピレネー地域で当時生じたプルアパート盆地とアルカリ性マグマ活動を共に説明する横ずれ引張場を作り出した (Storetvedt et al., 1999). つまり、 $75\sim60$ my 前からイベリアは時計回りに約 70° 回転した. したがって、ビスケー湾における白亜紀後期の正味の造構効果は時計回りに 30° であり、その結果、同湾は一般に信じられているような伸張を蒙ったわけではなく、閉じた (圧縮された)のである. 実際、正味の圧縮は同湾の強い変形、圧縮性縁辺、深い縁辺海溝を説明する。図14は白亜紀最末期におけるイベリアの推定される力学的歴史の模式図である.

最近の論文で、Gutscher と共同研究者 (Gutscher et al., 2002; Gutscher et al., 2009) は, アルボラン (Alboran) 地域が地殻下のデラミネーションによって形作られた, つまり、密度が高くなり剥がれたリソスフェアが垂直に 上部マントルのあるレベルまで沈み、それによって現在 の深いアルボラン盆地が生じた、という長く支持され広 く受け入れられた意見 (例えば Calvert et al., 2000) に反 対し、ジブラルタルの下でのサブダクションを提案した. 境界のベティック (Betic) 及びリフ (Rif) 地域*8 における 36 km からアルボラン盆地東部における 12 km までと いうアルボラン地殻の著しい薄化は、中新世中期以降8 km 前後の堆積物を蓄積した. 薄化 / 沈降モデルを支持 するものとして, アルボラン盆地西部の基盤の高まりで 実施された ODP Leg 161 の Site 976 における結果があ る. そこでは、"盆地基底に大陸起源の変成岩(高変成 の片岩、ミグマタイト質の片麻岩、大理石、炭酸塩珪酸 岩, 花崗岩岩脈の貫入) が分布している" (Comas et al., 1999).

*8 ベティック地域:スペイン南部のシェラネバダ山脈を中心とした地域.リフ地域:モロッコ北部のアトラス山脈を中心とした地域.両者が地中海西端のアルボラン盆地を囲んでいる.

イベリア半島の通俗的な反時計回りの回転という考えに代わって、古地磁気と同位体年代の研究 (Storetvedt et al., 1990, 1999) は、北ピレネー断層とジブラルタル断裂帯の間の不安定な造構環境をもたらした 2 時階からなる回転という考えに達した。(ヨーロッパに対して)約 40°の反時計回りの回転が 100-90 my 前に生じ、ベ

図14 古地磁気及び同位体年代の研究にもとづいたイベリアの白 亜紀後期の力学史 (Storet vedt et al., 1990). (a) は年代決定のされたポルトガルのアルカリ貫入岩類から得られた白亜紀後期の古地磁気方位の時間的変化を示している. (b)~(d) は, 関連するイベリアの造構発展を示している. 推定される 2 時階の回転, すなわち反時計回りとそれに続く時計回りの捩れはベチック (Betic)帯とリフ (Rif) 帯におけるアルプス変動期早期の変形, つまり, (c)アルボラン海地域結晶質基盤全体に及んだ変成作用だけでなく,ピレネーにおけるアルプス変動期の造構作用の開始も説明する.この可動的な図式によると,ポルトガルだけでなくピレネー地域の白亜紀後期のアルカリ貫入岩類はイベリアブロックの反時計回りの捩れの結果である横ずれ引張体制の間に定置した. 2 時階の動きの結果, (b) 先アルプス変動期の湾を圧縮し, (d) ビスケー湾を30°回転短縮した. 基盤の強い変形, 圧縮性縁辺とそれに接する海溝は明白にその表れである. 図は Storetvedt (1990) から.

ティック帯 (スペイン南東部) とリフ帯 (モロッコ北部) — この2つの構造地形帯は延長400 km,幅200 kmのアルボラン海を取り巻くジブラルタル弧を構成している — の褶曲・衝上帯で強い圧縮変形が生じたことが分かった.イベリアとアフリカの反時計回りの回転を仮定すると、ベティック地域は、おそらく全体的な右水平ずれを含む横ずれ圧縮変形をすることになるであろう.最近の地殻地震とGPSの速度データにもとづいて実際にこのセンスの動きが示唆されている(Gutscher, 2012の図1).

アルボラン海の地殻の歴史は地中海地殻帯全体の歴史を 適切に反映するものになるであろう. 例えば, 西地中海 全体は、アルプス造構運動のクライマックスの後、中新 世後期の垂直性地殼崩壊の前には比較的高い大陸地域 で、そこから河川が周辺の陸地に流下していたと想像 される (Pannekoek, 1969 参照). 例えば Wezel (1985) は、中新世後期にチレニア地域は立派なアルプス大陸地 殻内部にあり、そこは鮮新世~第四紀に、上部マントル 過程により活性化された様々な程度の地殻の薄化と垂直 的な崩壊を蒙ったと論じた. 正断層は既存の構造方向が 若返ったもので (Fabbri and Curzi, 1979), 最大 2,000m の落差を示す、Sonnenfeld (1984) は地中海の垂直造構 運動の鮮新世〜第四紀における証拠をレビューし、シシ リーにおけるメッシニアン後の 3,000 m に達する垂直 落差を示唆する研究と、エーゲ海とレバント (Levantine) 海*9のイオニア地殻はおそらく第四紀に崩壊したという

研究を引用した. エジプト本土での 30-40 km という正常な大陸地殻の厚さとは対照的に, レバント盆地の下ではモホ面深度が約 20 km という中間の厚さの地殻ができている (Abdel Aal et al., 2000).

*9 レバント (Levantine) 海:クレタ島とリビア北東端を結ぶ線より東側の地中海.

アラビア - イラン - エーゲの構造セクターに関する GPS の水平的な速度に比較して、'安定的な' ヨーロッパの各 地点の動きは比較的ゆっくりで、10-20 mm/yr 前後で ある. 古地磁気データから見積もられ (Storetvedt, 1990, 1997 and 2003), 地磁気異常の考察によって支持され る (Storetvedt, 2010b) ユーラシアのアルプス変動期の 時計回りの回転は、明らかにまだ続いている. したがっ て、ユーラシアに関する GPS の動きをまとめると、こ の大陸は現在、ゆっくりした時計回りの回転をしている ことが分かる. Caltech/NASA による中央大西洋リフト 帯東側の基準点を含むヨーロッパのアルプス前線北側の GPS データは 図 13 に模式的に示されている. 大陸は北 大西洋北東部とともに北東へ、すなわち、海洋底拡大仮 説が要求する方向に対して垂直な方向へ動いているとい うことが認められている. 中央大西洋海嶺の剪断起源説 は、北大西洋のアイスランドその他の多くのセグメント からの構造的な証拠に調和し、今やずっと確かなように 見える (Storetvedt and Longhinos, 2011). 北東大西洋 の一般に北東向きの速度場はアイスランド北東の観測点 も含む. アイスランドの中央大西洋西翼上の GPS 調査 (Hreinsdóttir et al., 2001) では、レイキャビックの基準 点について NUVEL が予測した動きが遅くなった時、レ イキャネス (Raykjanes) リフトの西翼での GPS 基準点の 速度は南西方向の動きを獲得したことが示された. した がって、アイスランドと北大西洋リフト北部の残りの部 分は左水平ずれの剪断を蒙っているように見える.

脱ガス / レンチテクトニクスから見た 地球の大規模塩類盆地と炭化水素区

伝統的見解に反する事実

西側世界の伝統的見解は、原油が生物学的過程で形成さ れたとする化石燃料説である. 生物の視点からの圧倒的 支持にかかわらず、ある種の前提条件である '圧力鍋に よる調理'過程のもとにおかれた後に生物が分解して原 油になるメカニズムを実験的に証明するような科学論文 はまったく不足しているように見える. 化石起源説が当 然と思い込まれている時でさえ、Wilson (2005)—彼は 石油(炭化水素の複雑な混合物)の起源・生成・移動や 集積についての伝統的な考えを取り巻くたくさんの障害 を再検討した―は、"深部に埋没した原岩からの石油の 排除は満足に説明されたことがなく, 地球化学者による と謎のままになっている. 深部における初期の移動を全 く説明できていないということは、有機物の分解という 建物*10から最も重要な礎石をはずすことである"と述べ ている. Wilson は伝統的な石油の生成や移動に関する仮 説に反するたくさんの野外事実に言及し、極めて重要な

事実についての無知が石油地質学の考え方の重大な誤りを招いたと主張している。科学的に確かめたというより、単に推測しただけという説が多すぎる。炭化水素は堆積性の石油に富む地層(ほとんどが頁岩と炭酸塩岩)から形成されるというのが多数意見であるが、実際の根源層を特定することはしばしば未解決な問題とされてきた(例えば、Myhfoud and Beck, 1995; Myhfoud, 2000).石油の起源の問題は Robinson (1966) によって提起されたが、彼はそれらの資源には 2 つの起源—生物と非生物—があると結論づけた。

*10 有機物の分解という建物:原文では catagenic edifice となっている. catagenesis は石油地質学の用語で、複雑な組成の有機物であるケロジェンが簡単な構造の炭化水素に変化する分解過程 (cracking) とされているのでこのように訳した.

おそらく化石燃料説の最も強力な初期の批判者は, ロ シアの化学者 Dmitry Mendeleyev [1837 ~ 1907] であ る. 彼は、原油と天然ガスは地球深部から湧き上がって くる炭化鉄の水和作用により生成された根源的な物質で あろうと示唆した. これらの初期のアイデアに基づい て, Kudryavtsev (1951) が最初に石油が非生物起源で あるとする現代のロシア・ウクライナ説を明確に述べ, Porfir' ev (1974) のような研究者が炭化水素の大部分は 上部マントルで生成され、そこから深部断裂に沿って地 殻の浅部に運ばれたと示唆した. 世界中で、明らかにマ ントル起源の炭化水素が、噴出孔から排出される火山ガ スや流体として放出されているように見える. 例えば, Welhamand Craig (1983) は東太平洋海膨上の北緯 21° で熱水中にメタンと水素が濃集していることを報告し、 Lupton and Craig (1981) は同じ海膨の南緯 15°で、一 般に根源的成分と見なされる He^{-3*11} の大規模な源を記載 した. Melton and Giardini (1974) は、上部マントルに 起源があると考えられている天然ダイヤモンド (爆発性 火道であるキンバーライトパイプの中で急速に地表へ運 ばれてきた)が、メタンや二酸化炭素のような炭素を含 む液体の包有物をしばしば含んでいることを発見した. Hunt et al. (1992) はこれらの炭素を含む液体を,深部マ ントルから湧き出した炭化珪素の反応生成物と考えた. 後者の視点と一致するものとして, Leung at al. (1990) は撫仙 (Fuxian,中国) のダイヤモンドを含むキンバーラ イト様岩石からダイヤモンドと共存する炭化珪素を発見 した.

*11 He³: ヘリウムの安定同位体の1つ. 地球上にはほとん ど存在しないが、宇宙塵の構成成分として、あるいは恒 星の中で核融合により大量に作られるので、地球深部に は存在すると考えられる.

太陽系内ではメタンは外惑星の大気の主成分であり、土星の月であるタイタンの北半球では、液体のメタンやエタンに満たされた大面積の凹地が最近発見された(例えば、Stofan et al., 2007; Metri et al., 2007). 炭化水素の氷は太陽系に普遍的に存在し(例えば、Kaufmann, 1988), 炭素質隕石中の多くの炭素物質は固体・液体

両方の炭化水素を含んでいる(例えば、Studier et al., 1965; Gelphy and Oro, 1970; Hodgson and Baker, 1964) ので、地球は酸化されていない水素化物の形で 大部分の種類の炭素を獲得したように見える (例えば、 Gold, 1985, 1999; Gold and Soter, 1982). Gold は、初 期段階での地球が熱い液体からなっていたら、それらの 根源的な炭化水素は酸化されたであろうと主張してい る. 酸化されていない炭化水素が結晶化した地殻を通り 抜けて連続的に放出されてきたという事実は、全体と して地球の内部温度が常に比較的低かった (Storetvedt, 2011a を参照)という証拠を提供している. 地球が実際 に断続的な脱ガス作用を受けているなら, その外側地域 は高い静水圧の影響下にあり、外方向に向かう静水圧が 内部に向かう重力を上回る深度レベル以下では開口断裂 システムが維持されている. これはヨーロッパ(コラ半 島と南ドイツ)の2つの大陸超深度ボーリング孔で観察 されてきた事実である.

伝統的に信じられているところに従うと、数 km 以浅で は上載荷重は最も耐性のある岩石でさえ、その内部の断 裂が断裂間隙をすべて閉ざされるほど大きいことが是認 され、それによって、より深いところからの液体の流れ は可能性を失なう. しかし, 脱ガス地球では事情は全く 異なってくる. それぞれの深さレベルで、岩石と流体は 共通の圧力下にあり、上載荷重が比較的小さい地表付近 の岩石のように断裂空間は開いたままになっていて,一 種の圧力槽の状態にあると考えられる (Gold の孔隙理論, Hoyle, 1955 を参照). この原理は, コラ (Kola, 最大深 度 12.2km) と南ドイツのヴィンディヒエッシェンバッハ (Windischechenbach) 近郊の KTB 超深度ボーリング計画 (最大深度 9.1km) で見事に示されている. どちらの場合 も伝統的考えに反して, 断裂空間は深さと共に増大し, 多くの深度レベルで水素・二酸化炭素・窒素・メタンな どの各種のガスを伴う水和した流体の自由な流れが見出 されている. カラカラに乾いていると考えられていた大 陸性結晶質基盤内の KTB ボーリング孔の深度 3.4km で, 高濃度のメタンを伴う流体の流入が数箇所で見つかって いる. メタン・エタンは別として, エタンとプロパンの ような不飽和炭化水素の痕跡だけでなくプロパンとブタ ンもまた、ボーリング孔の多くの深度レベルで検出され ている (Zimmer and Erzinger, 1995). 炭化水素中に取り 込まれているヘリウムガスの原子核同位体重量比に基づ いて、炭化水素はマントル起源であることが確認された.

石油は普通に化石片を含んでいる.従って,これらの生物成分は何らかの未解明の石油生成過程で生じた残骸であるのか,あるいはより深いところからの炭化水素を含む溶液の単なる上方への流れに捕えられた胞子・花粉やその他の生物片なのか?という問題が生じる.ウクライナのドニエプル・ドネツク (Dnieper - Donetsk) 凹地は大規模な炭化水素埋蔵盆地で,そこに産する石油は種々の古代植物に由来する大量の発光性(?)微化石を含んでいるので,この問題を解決するのに役立つかもしれない.例えば,いくつかの研究は,石油が取り出された貯

留岩や深度とは無関係に、ウクライナ盆地の石油中に見つかった胞子花粉全体の $70\sim75\%$ が原生代起源であることを示している (Corsi and Smith, 2005 と文献参照). ドニエプル・ドネツク盆地の炭化水素ポテンシャルに関する 2001 年レポートでは、すべての科学的解析が調査され、次のような結論が導きだされた;"これらの成果は、個別にまとめても、先カンブリア系の結晶質基盤とそれを被覆する堆積岩のどっちらからも発見された石油と天然ガスは、(中略)深部のものであり非生物起源であるという科学的結論を承認する。"—The Drilling and Development of Oil and Gas Field in the Dnieper-Donetsk Basin; http:// www.gasresources.net/DDBflds2.htm に関するレポート中の個々の論文を参照のこと。

観察によって圧倒的に立証されたように、水蒸気・二酸 化炭素・種々のガス状炭化水素といった揮発性物質の安 定した上方への流れは、地球内部物質の分離・揮発が惑 星誕生以来現在も続いている過程、すなわち完了までに はほど遠い内部の物質移送過程であると信じる理由を提 供している (Storetvedt, 2003の文献参照). この文脈で、 Gold(1987, 1999) は内部物質移送システム-熱化学的 平衡に向かう恒久的過程―における主要な営力である浮 力のある流体に注意を払っている;彼は太陽系(と宇宙 にも) に明らかに広く分布している炭化水素の役割に特 別な注意を払った. 結晶質岩石を通じてのメタンの流出 は世界的な現象である;例えば、南西インド海嶺上の深 海掘削地点 (ODP Leg118) から, Evans (1996) と Kelley (1996) は、大洋中央の MORB 玄武岩の下のハンレイ岩 質岩石の 0.5km コアから発見した事実を記載した. そ こではメタンはコア全体にわたって見られる液体包有物 中の豊富な揮発性成分であり、いくつかの層準では唯一 の揮発性物質であるメタンの濃度は、海底噴気孔流体の 最高 40 倍までのものが見出された.

メタンはいろいろな場所から見出される:それは明らか に地球表面の岩石と海洋の大部分から漏れ出ており、沼 沢地や動物の糞中に見出され,下部/上部マントル起 源のダイヤモンド中に発見され、石油に普通に伴って いる. しかし、それはまた、構造帯内のような石油が 比較的少ないか欠如している地質区にも産する (Howell et al., 1992). Gold は、湧き上がる酸化されてない炭 化水素ガスの連続的な流れ - 火山・非火山地域を問わ ず、おそらく多くの大陸縁辺の深部に沿って発見される 世界中の大規模なガス水和物の産出に関与している-は、地球の始まりが冷たいとする説の明白な証拠である と主張した. ある段階の惑星が溶けているか非常に深く まで熱かったとすれば、揮発性成分は逃げ去ってしまっ たであろう. これに対して、始めが冷たい惑星体が徐々 に加熱される場合は, 内部温度が上昇する場所がある限 り脱ガス過程は続くであろう (Gold, 1985). メタンの一 般的な流れに加えて,深部断裂帯沿い,とくに環太平洋 ベニオフ帯のセクターと大洋中央リフト上での石油の産 出 (例えば, Czoshanska et al., 1986; Kenvolden and Simoneit, 1990; Bazhenova et al., 1998) は, 生物起源

説に対する謎として残ったままである.

今日、結晶質基盤の貯留層内の炭化水素の場合は確実に報告されるが、このような一般的でない発見は未だに '掘り出し物' 扱いである (Farooqui et al., 2009). 世界中のたくさんの生産量の多い石油・ガス田は結晶質基盤中の貯留層から産出している (www.geoscience.co.uk 参照). Shutter (2003) は炭化水素を産する火成岩の不完全ではあるが広範なリスト (生産地区、漏出、外観を含む)を提示し、それらが世界中に分布することを示している. 1970 年代後半以来、中央大西洋海嶺に沿う熱水場が相次いで発見されてきた;それらの特徴的な様相は、マントルの露出であるカンラン岩上か、それに隣接するというその位置にある。カンラン岩の蛇紋岩化作用は水との反応で、一連の化学物質を作り出し、最終産物はメタンと二酸化炭素 (海底噴気孔で普通に見られるガス)である (Konn et al., 2008 を参照).

造構作用を受けたカンラン岩や捕獲カンラン岩のよう なマントル起源の岩石を分析した Sugisaki and Mimura (1994) は、それらの岩石がより重たい炭化水素を含んで いることを発見した.彼らは自分たちの研究から、"炭 化水素はマントル内の高圧高温状態で存在するかもしれ ないが、それらは低圧でCH4のようなより軽い炭化水素 ガスに分解される(以下略)"と結論づけた. これらの発 見に対する後のコメントの中で Kenney (1995) はこれに 同意した. 彼はロシアの Mogarovskiy et al. の以前の結 果-分散した炭化水素物質の濃度は明らかにマントル起 源の岩石中で最も高く, グラニュライトや関連する塩基 性岩では低いということを発見―をまとめた. ロシアで の発見によると、それらの研究された岩石中の原油は、 無機起源(マントル由来)ということになる. それに続 く研究で, Kenney et al. (2002) は水素 - 炭素系の特性 を記載し、地球のマントルでメタンは不安定であると結 論した. 彼らは, 熱化学的な理由で, マントルの圧力で はメタンは分解されて天燃の石油中に見出されるものと は異なる型の油になると考えた. そうであれば、地球の 地殻を通り抜けるメタンの流れは、上部マントルあるい は下部地殻における化学的な過程ということになり, そ れはマントル起源と見られるキンバーライトパイプ中に 発見されるダイヤモンド中にメタン包有物が観察される ことと調和する. しかしながら、最近の高圧化学実験 (Kolesnikov et al., 2009) によると、メタンは上部マント ルの条件下では安定しており、メタンより重たい炭化水 素は上部マントルにおける非生物的過程で形成されうる と結論されている. これに加えて、Hunt et al. (1992) は 上部マントルと下部地殻の減圧レベルで、流体の炭化物 や水素化物(地球深部から上昇してきたもの)は水素/ 酸素と反応して,水素化珪素 (SiH4) やメタン (両者とも 可燃性で潜熱を持っている)のような他の揮発性物質に なることを示唆した.後者のアイデアによって、各種の ガスやマグマだまりがある不均質なアセノスフェアとい うものの説明がつくかもしれない. 全体から見ると, 原 油と天然ガスは生物遺骸を経由してというより、ほかの

メカニズムで作られたことが圧倒的に論証されている. これは、炭化水素貯留層が花崗岩質基盤を含むすべての タイプの岩石中に産する可能性があることを意味している.

最近, GEO no. 365 (ノルウェー語の雑誌) は北海のカ レドニア基盤中での最初の大規模な油田 (テルスフィー ルド: Tellus field) の発見という記事を掲載した (http:// www.geo365.no/olje_og_gass/mettet-medolje/). この 記事は、花崗岩質基盤中の石油産出の徴候は、1970年 代初期までに得られていたが、当時は花崗岩質岩石が炭 化水素を含むとは誰も想像できなかったので、基盤の探 査はひどく先延ばしされてきたことにも言及した. テル スフィールドは, 著しく破砕され風化された花崗岩質岩 ないし変成岩である. これらはおそらく先カンブリア紀 であるが、約400 ma に強いカレドニア造山運動を受 けた. 石油の起源に関して, 基盤の貯留層からの石油と 上を覆うジュラ紀の砂岩からの石油を区別することは不 可能であるように見える. 両者の貯留層内の石油はより 深い供給源から急上昇してきたことを示している. ノル ウェー海域の驚くべき発見は、同様な産状のほかの場所、 ベトナム沖の破砕された花崗岩(クーロン盆地:Cue Long Basin), インドのアラカン山脈 (Arakan Range) の 花崗岩—ボローラ・シャンパンフィールド (Borhola and Champang field)(www.dghindia.org), イエメンの花崗岩 と変堆積岩 (Gutmanis, 2009) などの中での発見と比較 される. Farooqui et al. (2009, p. 47) は現在の状況につ いて、"オペレーターの中には'基盤'にぶつかると掘削 を止めてしまう者がおり、火山岩のポテンシャルを理解 している者はそれを他の有望な貯留岩と同様に扱ってい る"と的確に述べている.

大規模な塩類堆積物の謎:蒸発物か沈殿物か?

古生代の北方の大陸は、表面に塩類が集積するというイ ベントを繰り返し経験してきた. 例えば, 原生代後期~ カンブリア紀前期に、石油・ガス田が最も多いソルト レンジ (Salt Range) 地域 (パキスタン) は塩類に規制さ れた構造を持つ; それ故, しばしば塩の盆地と呼ばれて いる. その間、パキスタン・アラビア湾・中央イラン は, すべてテチス初期の局地的沈降盆地内の塩類集積場 所だった (Husseini and Husseini, 1990). その当時, 地 球は現在とは著しく異なる空間的方位を持っていた. 例 えば, 古地磁気と古気候のデータによると, 当時の赤道 は大西洋の長軸沿いに現在のカナダ北極圏を切って走っ ており、パキスタンとその周辺は極めて高緯度にあった (例えば、Storetvedt, 2003, 2005);北極は南東太平洋 に位置する南極に対応してアフガニスタン付近に位置し ていた. それらの地域が高古緯度にあったにもかかわら ず、西パキスタン・アフガニスタン・イラン・アラビア 湾の地域には先カンブリア紀最末期~カンブリア紀初期 の炭酸塩相の岩石があり、その最大層厚は 1,000m 規模 に達する. そして、それは塩化物・硫酸塩・硝酸塩の層 状堆積物に徐々に変わる. この多様な化学組成を持つ塩 類の大規模な濃集は、初期に報告されたその種で最大の

シーケンスである (Zharkov, 1981 とその中の参考文献 を参照). 凍結乾燥は塩水(と,ついには現在の南極で観 察されるような高緯度の湖内での塩類の堆積)を生産す るかもしれないが、極地の環境における蒸発は層状の塩 類を沈殿させるには不適当で、そのような乾燥物の量は 塩類盆地の大多数の量に比べると無視しうるほど僅かで ある. Sonnenfeld (1984) が述べたように, 生じた大規 模で大量の蒸発物の沈殿を満足すべき環境条件は、実際 どのような緯度でも極めて特殊で、それ故頻繁に起こる ことはなさそうである. しかし, そうであっても, 大規 模な塩類の堆積は顕生代のほぼすべての時期に生じてい る. 従って、(カンブリア紀から後期中新世の間の)テチ ス地域の大規模な塩類盆地は、もともと表面蒸発の産物 として形成されたというより, むしろ断層に規制された 脱ガスに伴われた高濃度の塩水から沈殿した産物だった のではないかという疑問が生じる.

塩類の最も厚いシーケンスは、最大の沈降速度を経験 した盆地域、すなわち地溝あるいは断層に規制された 盆地内にあることが知られている(考察としては、例え ば Sonnenfeld, 1984); 凹地内の層状の岩塩堆積物は, 一般に, 明瞭な線状方向が断層に規制されていること を示唆するところに産する. ヨーロッパでは最も重要 な塩類盆地は中央ヨーロッパの苦灰統 (ゼヒスタイン: Zechstein)*12 帯・北海盆地・ウクライナのドニエプル -ドネツク盆地・カスピ海北部の深い盆地内における大規 模なケングリアン (Kengurian) 塩類シーケンス・ウラル 帯沿いで発見されている。図 15 はそれらの塩類盆地の 分布を示し、それらはペルム紀の古赤道に関連している ように見える. 苦灰統とドニエプル-ドネツクの塩類シー ケンスが赤道と整列する断層帯に沿って形成されたのに 対し、北海とウラル凹地のペルム紀の塩類は同じ古赤道 に対し急角度の方向に伸びたリフト盆地内に形成され た. この塩類盆地の直交に近い配列は、地球の脱ガスと それに関連した内部物質の再構成によって駆動されたリ ソスフェアの地球規模の捩れ作用による動力造構的な結 果である (Storetvedt, 2003, 2007). 脱ガス地球説を考慮 に入れると, 大規模な塩類盆地は, 塩水・炭化水素・水・ マグマなどを含むマントル流体とガスに必要な通路を提 供するリソスフェア深部を切る断層に関係した横ずれ引 張地域に限られるであろう.

*12 苦灰統 (Zechstein): 中・西部ヨーロッパの上部ペルム系. 上部が苦灰岩 (ドロマイト)・頁岩・蒸発岩類からなる.

Sonnenfeld (1984) は、蒸発起源ではない塩類集積に関する種々の説を概観して、文献に散見される非伝統的な記録、例えば堆積性塩類シーケンスの深成起源、ある種の塩基性火山噴火の後に岩塩の比較的厚い層が続いていること、中米のいくつかの火山の周りの噴気孔が塩類シーケンスに特徴的な一連の主要鉱物(岩塩・カリ岩塩・石膏・硬石膏が卓越)を沈殿させていることなどに言及している。さらに、グラニュライトや深部に定置した花崗岩質貫入岩類に関するたくさんの研究論文は、固体の岩塩と高濃度の塩水・二酸化炭素・メタン・水の

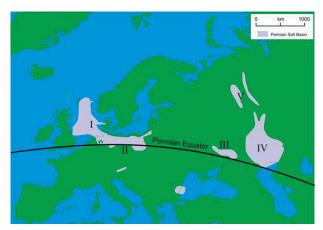


図 15 同時代のヨーロッパの塩盆地と関連していると見られるペルム紀の古赤道. I: 北海, II: 中央ヨーロッパの苦灰統, III: ドニエプル-ドネツク+北部カスピ海, <math>IV: ウラル+ 北部カスピ海, V: ウラル.

包有物を記載している (例えば, Bradley et al., 1978; Konnerup-Mydsen, 1979; Frezzotti et al., 1994; Lira et al., 2007; Srikantappa et al., 2010). 例えば Lira et al. (2007) は、マグマ条件のもとで結晶化した火成岩中の 石英と長石の中の岩塩とカリ岩塩の固体包有物を記載し た. 同じ脈絡で、アセンション (Ascension) 島の花崗岩 貫入岩(赤道大西洋)の鉱物組成を研究している Harris (1986) は、元のマグマはアルカリ塩水に対して飽和して いるので、観察されたケイ酸塩メルトと塩水の混合物は マグマ起源とするのがもっと妥当であると主張した. つ いでに言うと、我々は KTB の大陸深部ボーリング孔は南 東ドイツの古期結晶質地殻で 4 km 以下に到達したとき, "50 万リットル 以上の海水の 2 倍濃いガスに富むカルシ ウム・ナトリウム・塩素を含む塩水が、ボーリング孔に 流れ込んだ. 大量の流体が 6km までの深度からほとば しった" (Kerr, 1993) ということを忘れるべきではない.

DSDP Leg13 は、地中海の深海底下に苦灰岩・石膏・無 水石膏・岩塩からなる膨大な一連の塩類堆積体が存在す ることを明らかにした. その結果は、'深い盆地、浅い 水域'乾燥モデル (Hsü, 1972; Hsü et al., 1973) に拍車 をかけた;約500~600万年前(メッシニアン期)に 地中海盆地は大洋との接触を断たれ、それに続く地中海 の乾燥と周期的な(ジブラルタル水路を通じた)洪水の 時階に合計 2~4kmの蒸発岩が徐々に集積したと結論 された. 塩類層の '深い盆地' 起源が広く容認されたに もかかわらず、それらの多くの形成様式は明らかにきち んとは説明されてこなかった (例えば, Hübscher et al., 2007). 例えば, Wezel (1975) は, DSDP Leg13のコア からの層序学的情報は、大規模なメッシニアンの塩類堆 積物が '深い盆地' 乾燥モデルと矛盾すると主張してい る. 彼は西地中海の反射法地震探査記録から, 塩類シー ケンスとその上位の鮮新統ユニットが堆積盆地の縁辺に 向かって徐々に尖滅すると結論づけた. Wezel の解釈で は, それらの観察結果は西地中海深海盆に関する伝統的 な (PT 以前の) 沈降モデルに都合のよいものであった. Debenedetti (1976) によると、塩類全体の分析結果は、 地中海の塩類が塩水から沈殿したものであり、蒸発が繰



図 16 地中海地域のメッシニアン期の岩塩と石膏 / 無水石膏層の分布概略図. Rouchy (1980) による.

り返されて全体的に乾燥した結果の産物ではないことを示唆している.

また、Nesteroff (1973) や Sonnenfeld (1985) のような 研究者は、地中海塩類堆積物の '深い盆地、浅い水域' 起源に対して反対の主張をし、両者は蒸発モデルに反対 する見解の長いリストを提示している。最近、異常に厚い塩類の集積が '深い盆地、浅い水域' で形成されたと する考えは、Hardy and Lowenstein (2004) 及び Mynzi et al. (2005) によって異議を唱えられている。図 16 は、現在の海底構造や海岸線の形状にはほとんど注意を払っていないが、メッシニアン期の岩塩と石膏 / 無水石膏の地域全体における分布を示している。事実、これらの層状の塩化物と硫化物の集積は、現在の周辺陸地の 3,000m 前後の高地だけでなく深海環境にも見つかっている (例えば、Sonnenfeld、1984).

レンチテクトニクスの見方によると、中新世中~後期 のユースタティックな著しい海退 (例えば, Haq et al., 1987) は、大陸地殻の特定地域が海洋型構造に変換する という地殻海洋化作用があった最新の主要時階と密接に 関連している. 例えば、アルプス変動期のクライマック ス後、西地中海地域は周辺の陸地に向かって排水するよ うな相対的高地になっていたように見える. そのような 視点と調和して、Wezel (1985) は、中新世後期にティレ ニア海―現在、その他の地中海と同じように、厚さの変 化が著しく大きい移行的地殻が下にある―はアルプス変 動期の大陸地殻内の高地であったと主張した. 次いで、 鮮新世~第四紀に、地殻は局地的に様々な程度に薄化し、 上部マントル過程によって活性化された垂直的な構造性 陥没―現在は個々の輪郭が円~卵形の陥没になってい る―が生じた. 中新世〜鮮新世に地球をひと撫でした動 力造構の波は、広範囲の地質過程に影響を及ぼす水圧装 置のように作用した. その地殻薄化のメカニズムに加え て、アセノスフェアの各種流体とガス(塩水・二酸化炭 素・石油・炭化水素ガスなど) はリソスフェアを切る断 層/移動通路を通って急激に上昇した. このような観点 では、2 km までのメッシニアンの塩類シーケンスを胚 胎するレバント (Levant) 盆地 (地中海内) が現在, 巨大 な石油と天然ガスの有望地と見込まれていることは驚く に当たらない.

レンチテクトニクスから見た大規模炭化水素区

上記の考察から、少なくとも地殻中の炭化水素 (ガス・ 液体及び固体の状態)の大部分はマントル内における化 学的過程に起因するものである可能性が高いように見え る. 著者らは、高濃度の塩水・処女水・石油・天然ガ ス・硫化水素などは、断続的かつダイナミックに働く地 球の水圧装置の中でマントルから吐き出されると信じ るに至った (例えば, Storetvedt, 2003). 効果的な急上 昇過程には深部リソスフェアの破砕帯が必要だろう. そ れはレンチテクトニクスの考えによると、例えば、海 洋 - 大陸の明瞭な境界が発達するために必要な条件であ る. 事実, 十分な液体の供給に応え, 静水圧条件が満足 させられると, エクロジャイトへの交代反応がリソス フェアの顕著な破砕帯に沿って急激に進み, 岩石の体積 は 10~15% 減少する (Austrheim et al., 1996). それに よって、地殻下の薄化と、関連する海洋地域のアイソス タティックな沈降から生じる大陸縁辺の横ずれ引張的な 性質が加わる. 上方へ進行するエクロジャイト化作用に よる断層沿いの体積の減少は, 発達途上の大陸縁辺の破 砕幅を広げ、流体の浸透を高め、地表へ向かうより効果 的な液体の通路を提供するだけでなく、関連する変成反 応をも促進する. 炭化水素類の他に, 揮発性物質の運搬 システム中の重要な構成物質は水で、これはマントル最 上部に期待される温度条件で超臨界状態にある(例えば、 Bellissent-Funel, 2001). 一般論として, 超臨界状態に ある液体はガスと液体の特性を合わせ持っており、超臨 界状態にある水の溶解度と拡散性は相まって固体の岩石 を破壊して泥にするような能力を持っている. 地球は明 らかにマントルから未成熟な揮発性物質を絶え間なく排 出している. そうした排出物は、地表にクレーターを作 り、時に熱いマグマをともなう爆発性であるかもしれな いが、世界中の多くの地点で揮発性物質はむしろ穏やか な泥火山の構成物質のように地表に達する. しかし, 多 くの研究者によって報告されてきているように、結晶質 岩体に充満している放出ガスはしばしば可燃性で,アル カン炭化水素・硫化水素・水素のような成分を含んでいる.

このような背景が分かれば、ガスハイドレートと泥火山 の組み合わせがリソスフェアの深い断裂帯地域で発見さ れていることは驚くに当たらない. メタンと含水揮発性 物質が表面に脱出するルートを持っているところは、大 陸縁辺沿いか大規模な構造帯の中のどちらかである. 固 体のガスハイドレートは氷に似ていて、水分子の中にメ タンまたは他のガスの分子が含まれている. 天然のメタ ンハイドレート堆積物は、主として深い縁辺環境の表 面に近い層の中に発見される (例えば、Kenvolden and McMenamin, 1980; Milkov, 2000; Buffett and Archer, 2004). それらは分離した層として産し、堆積物の組織 を押して引き離す. 各種の天然ガスと処女水の上方への 流れに加えて、縁辺断裂帯もまた、マントル起源の石油 と塩水を安定的な流れとして表層へ運ぶ傾向がある. ア ルプス変動期の全地球的なリソスフェアの捩れ運動の 間,多くの大陸縁は過度の横ずれ引張状態となり,流体 に強いられたエクロジャイト化 / デラミネーションの過 程が加速され、薄くなり破砕された海洋地殻の随所にマントル岩石が露出するようになった。その過程で多くの深い縁辺に平行な堆積帯 (ガスハイドレート層、石油と天然ガスの集積及び高濃度塩水からの塩類の沈殿を含む)が生じた。レンチテクトニクスによると、大西洋の縁辺は元来過度の伸張状態にあり、それらの複雑な塩類の変形構造と石油資源を持つ塩類盆地が発達する造構条件を備えていた。大西洋の境界地帯の多くは実際に豊かな炭化水素区となったが (図 17 参照)、将来はさらに多くの発見がなされるであろう。

南北アメリカ

アルプス変動期のクライマックス (白亜紀後期~第三紀 前期)の間の北米の西方へのスウィングは、その地域の 太平洋縁辺ベニオフ帯の深部断面を太平洋岸から離れた 内陸の位置へもたらした. この時, 白亜紀後期の海水準 上昇(セノマニアン海進)によりメキシコ湾からカナダ 北極圏に広がる比較的浅い西部内陸海路が生じた. レン チテクトニクスのシナリオによると、セノマニアン海進 は、すでに地殻が薄くなっていた大洋基盤を隆起させた アセノスフェア中の揮発性物質の著しい圧力増加の結果 である. さらに, 流体に強制された大洋地殻の薄化が, K/ T境界付近での大規模な沈降と顕著な海退を招いた.マ ントルへの地殻の消失が加速されたことは、北米の西方 へのスウィングを含むアルプス変動期のリソスフェアの 捩れ作用を動力慣性的に駆動することになった. 図 17 が示すように、 北米西部の大規模な炭化水素区の地理的 分布は, 白亜紀後期~第三紀初期のクレーターとともに, 北東太平洋ベニオフ帯のマントル部分の関連した位置に 一致している.第三紀後期に,西部内陸海路地域は現在 の山脈 / 高原状態へと隆起した (当時の隆起は明らかに 地球全体に及ぶ山脈を形成した). それはおそらく地殻 の伸張を引き起し、そこに沿った帯は上昇するマントル の液体とガスの通路になった. 様々な観察事実 / 現象の このような結びつきは、表層の炭化水素のマントル起源 説に有利な強力で確からしい証拠である;このように筋 道立った解釈では、クレーターは高圧の内部ガスと液体 の強制的な噴出である. クレーター形成についての通俗 的な衝突理論はかなりぐらついた足場にのっているよう に見える.

ホートン (Houghton)・ミスタンティン (Mistantin)・ワナピテイ (Wanapitei) 湖・モンタグナス (Montaignais)・チェサピーク (Chesapeake) 湾などの北米のアルプス変動期の若いクレーターは、大部分、約37 ma前の始新世/漸新世境界付近 (van Eysinga, 1975 の時間尺度による) に卓越する。著者らによって火山ガスの噴出構造であると解釈されたこれらの若いクレーターは、この大陸の北縁及び東縁に沿って位置し、北米が第三紀中期に2回目の可動時階 (時計回り回転)を迎えたことを示唆している。その時、北極と大西洋縁辺に沿って流体の通路が開かれた。それ故、これらの大陸の境界地帯が未発見の炭化水素資源を胚胎している可能性のあることが予想される。

図 17 '陸半球'の大規模な炭化水素区 (赤色). 曲がった黒色矢印は、古地磁気から推定される大西洋に接する大陸の (内部の) 慣性が駆動した捩れ回転 (アルプス変動期に地球のリソスフェア全体が捩れた結果としての動き)を示す. 比較的小さな '地殻'の変形が、発達途上の先アルプス変動期の大陸縁辺の元来の平行性を変え、南及び北大西洋を現在の扇を開いた形にした. この地球規模の捩れが過度に伸びた大西洋縁辺を作り、マントルの炭化水素と塩水のための効果的な移動通路を広げた. アルプス変動期クライマックスの北米の時計回りの回転が、リソスフェア下にある地域的な環太平洋先カンブリア深部収縮断層の断面 (黒の点線)を、北米西部の広大な炭化水素区の位置に当たる内陸へ変位させた. アルプス変動期のクライマックス (約 100~65 ma)の年代を示すクレーター (白丸) が西部炭化水素区に沿ってプロットされていることに注意. それらはガス噴出構造である (衝突ではない!). 番号を付けたクレーター (括弧におよその年代を示す)は、1:チクシュルーブ (65ma)、2:シエラマドレ (100ma)、3:ミルケス (60ma)、4:隆起ドーム (65ma)、5:マンソン (75ma)、6:イーグルブッテ (65ma)、7:ステーン川 (95ma)、8:アバック (<95ma)、9:ホートン (38ma)、10:ミスタスティン湖 (38ma)、11:ヴァナピティ (37ma)、12:モンタグナス (50ma)、13. チェサピーク湾 (35ma). ヨーロッパセクターで番号を付けてないクレーターは、ほぼジュラ紀/白亜紀境界 (約 142ma) と年代測定されているバレンツ海メニール構造. 古生代前期及び後期の赤道はピンクの点線で示されている. クレーターの情報は、http://robslink.com/SAS/democd28/impact.htm に公表された隕石衝突クレーターマップに基づいている.

始新世/漸新世境界で明確に輪郭を表した極移動という 出来事は、地球が赤道付近の膨らみ(グリニッジ子午面 付近での全地球的な回転)で35°の変位を受けた期間に 生じ、その時、地球はほぼ現在の空間的方位になった. それに加えて、気候帯の重要な変化を作り出した(ヨー ロッパでは冷涼になり、アフリカでは全体的に温度が上 昇する). この極移動という出来事は、とくに海洋にお ける広範な造構 - マグマ活動をきっかけにしたアルプス 変動期の主要造構過程の最後の発作と見ることができ る. 当時の北米のクレーターに加えて、ロシアのポピガ イ (Popigai) クレーターやエチオピア洪水玄武岩の噴出 のような出来事の発生は、当時のグローバルな地質現象 をさらに多様化している. さらに, 再び約35 my とい う年代が得られたイタリアのマッシナノ (Myssignano) 層序断面の火山灰は、衝撃石英とともに明瞭なイリジウ ムのピークを含んでいる (Montanari et al., 1993).

南米に目を転じると、超横ずれ引張場にあった大西洋縁 辺は多くの将来性のある石油・ガス区から成っている可 能性がある。それは、現在炭化水素を多産しているサン トス (Santos)・カンポス (Campos) 両盆地から南のフォー クランド台地へと伸びている。北部では、カリブ/南米 結合体の穏やかな時計回り回転が、地球規模の直交断裂 パターンの方向を大きく乱すことはなかった(上述). しかし,この回転によって小アンチル弧は湾曲したスラストフロントとなり,広域的な捩れ作用が基本的断裂のN-Sセットを横ずれ引張場のもとで再活性化させた. 南米北縁に沿うリソスフェアの穏やかな分裂は,上部マントルからのガス/液体の通り道を広げるために必要不可欠な造構条件と見ることができる大部分,約37 my前の始新世/漸新世境界付近(van Eysinga,1975 の時間尺度による)の年代が卓越する.そして,これはおそらく北部ベネズエラとコロンビアがなぜ豊富な炭化水素区になっているのかという疑問に対する本当の理由である.

この小さなアルプス変動期の全体的造構性回転にもかかわらず、南米は内部的に変形されてきたように見える。例えば、南緯 $10\sim30^\circ$ の間の中央アンデスの構造方向の顕著な変化は、Carey (1955) に大陸の造構的な曲げを推測させたが、このアイデアは後に古地磁気学的データによって実証された。例えば、Heki et al. (1983) と Kono et al. (1985) は、太平洋の海岸線の明確な変化と調和したかなり明瞭な偏角の不一致があるという結論に達し、数 10° オーダーのオロクライン *13 的な曲げがボリビア北部のヒンジライン周辺で起ったことを示唆した。次の古地磁気学的研究 (Roperch and Carlier, 1992)

は、いわゆるボリビア・オロクラインの概念に一層の内容を加えた。Roperch and Carlier は、造構的な曲げのかなりの部分は、漸新世前期より前に起きたことを示唆した。それ故、白亜紀後期~第三紀前期に南米に影響を及ぼした造構力と慣性力が結合した力は、大陸内部のリソスフェアの変形を引き起こしたように見える。それはマントルから上方への流体が流れやすくなるための道を整え、今日のボリビアにおける炭化水素ブームを呼んた。

*13 オロクライン (olocline): 造山帯や島弧がある点 (ヒンジ) を中心に曲がっている状態. 対曲構造ともいう. アンデス山脈はボリビア辺りで NW-SE 方向から N-S 方向に大きく曲がっているので,これをボリビア・オロクラインと呼ぶ.

現在の深海地域のほとんどを含む薄くて機械的に弱い大 洋リソスフェアが発達する前は、地史の大部分で、地球 規模の造構作用はほとんど明瞭な褶曲帯に限定された. これらの先アルプス変動期の地帯は、全体的な横ずれ圧 縮か横ずれ引張のどちらかで変形された古赤道に整列す るリソスフェアまでを切る造構セクターからなるが、し ばしば外側を深い堆積盆地に囲まれるか、対応する古赤 道と急角度をなす方向のリフト帯を形成した(例えば、 Storetvedt, 1997, 2003). 一度壊れてしまうと, それら の深部破砕帯はそれに続く全地球的な動力造構イベント の間に造構的に復活し、長い間その状態に留まる傾向が あるうえに、マントルのガスと液体を上方へ運搬する潜在 的な移送通路として機能する. 地球の動力学的不安定-断 続的な極移動(赤道付近の膨らみを変化させる)及び/又 は自転速度の変化―により、地球は一種の水圧ポンプと して機能してきた; これに慣性的な造構運動のイベント が重なると、処女水・塩水・マントル由来の炭化水素類 の間欠的な上方への流れが生じることが予想される.

ヨーロッパ地域

慣性が引き金となったリフトの形成 (実際の古赤道に対 して平行と急角度方向の両方で生じている)と、捩れ褶 曲作用とそれに続く石油の豊富な塩類盆地の発達が結び ついた例は、ヨーロッパの古生界で見事に実証されてい る. 例えば, (先アルプス変動期の方位で) 北米東部から はるか東グリーンランドの縁辺に沿って伸びる古生代前 期の赤道の北極セクターは、バレンツ (Barents) 海中央 を横断している (図 17). 北米と東グリーンランドを結 ぶトラセクトでは、アパラチア/カレドニア褶曲帯が当 時の赤道に従っているが、西スカンジナビアと西スピッ ツベルゲンのカレドニアセグメントは、明らかにほぼ垂 直なリフト盆地を形成し、次の古生代前~中期のリソス フェアの捩れ時階が重複している (例えば, Storetvedt, 2003). 東グリーンランドの古赤道方向に整列したカ レドニア褶曲帯は、再活動した先カンブリア基盤岩類に よって特徴付けられ、最大層厚 9km の古生代前期の堆 積岩層に影響を及ぼしているが、北緯70°と81°の間で、 長さ 1,300km, 最大幅 300km の海岸に平行な幅広い変 形した地向斜帯として見事に露出している (www.geus. dk). Whittaker et al. によると、沖合の塩類盆地ははる

か北緯80°まで北方に延びている.

古生代前期の赤道の東方延長はバレンツ海 (Barents Sea) を通っていて (Neprochnov et al., 2000; Ritzmynn et al., 2007)、そこではクラトン内部のモホ面の深さが西部セ クターの 25km から東部セクターの 35km 前後へと変 わっている. この大きな北極陸棚地域には, 造構性の弧 と卓状地によって隔てられたいくつかの堆積中心があ り、南東部地域の南バレンツ海盆は深さ 20km で基盤に 達する (O' Leary et al., 2004; Werner et al., 2012). し かし, バレンツ海陸棚地域の全体構造は、多数の南北走 向の小地域に細分されるかもしれない. それらは西から東 へ, 西バレンツ縁辺・バレンツ北部/南部卓状地・北部/南 部バレンツ盆地・ノバヤゼムリヤ (Novaya Zeemlya) 盆 地・ノバヤゼムリヤ島・カラ (Kara) 海盆となっている. Neprochnov et al. (2000) は、"地溝とリフトからなる深 い盆地は厚い被覆堆積物とブロック状の地殻の断片で特 徴づけられている"と論じた. その堆積史は古生代と三 畳紀に明らかなピークがあるが、活力を減少させながら も中生代を通して存続した. この結論は、古生代前期の 大規模なリフト盆地(地向斜)(古生代前~中期の間に横 ずれ圧縮 - 横ずれ引張が重複)としての北西ヨーロッパ のカレドニア山地の説明と調和的であるだけでなく, レ ンチテクトニクスモデルの予想とも調和的である. それ 故, グローバルレンチテクトニクスの文脈では, 古赤道 の位置で形成された褶曲帯と、 当時の赤道に対して急角 度をなすリフトから発達してきた褶曲帯を識別すること は不可能である.

石油資源について, バレンツ海のアセスメントは始まっ たばかりである.しかし、ノルウェー最北端沖の西バレ ンツ縁辺・ハンメルフェスト (Hammerfest)・ノルカッ プ (Nordkapp) の東方延長は、生産性の高い塩類盆地で あることが判明し、南バレンツ海盆の巨大なストックマ ン (Stockmyn) ガス田が実証された. しかし, バレンツ 陸棚地域の炭化水素の有望性は、おそらくジュラ紀 / 白 亜紀境界 (およそ 141 my) あたりと年代決定された直径 40km のメルニール (Mjølnir) クレーター (図 17 中の番 号のついてない白丸)によって実証されるだろう. 著者 らが本稿を通じて主張したように、クレーターはアセノ スフェアの(水蒸気・二酸化炭素・炭化水素のような) 過剰なガス圧を解放する地球の自然の圧力弁と見ること ができるだろう. この解釈では、南バロー (Barrow)・東 バロー・シクリク (Sikulik) のガス田が北部アラスカのア バック (Avak) クレーターの外側境界から離れたところで 発見された (Kirschner et al., 1992) と同様、ガス田はメ ルニールクレーターの外側で発見される可能性がある. ここでは, 北米東部の古生代赤道帯に沿ってオルドビス 紀から中生代中期におよぶ年代のたくさんのクレーター が報告されてきた (SAS/ Meteorite Impact Crater Map を 参照)と言っておくべきだろう.

南東へシベリアを横断して続いていた発達途上の南バレンツ海・カラ海の両盆地,あるいはリフト地溝(萌芽的

なウラル構造帯を確立していた)は、オルドビス紀~シ ルル紀の間,対応する古赤道から離れて南で分裂した. 輪郭のはっきりした比較的狭いウラル地殻帯内に数 km の堆積物が古生代に集積した. この観察と調和的に, 反 射法地震データに基づく可能な地殻モデルの1つは、ウ ラル主断層帯方向に地殻が薄化しているという解釈を支 持する (Juhlin et al., 1995 を参照). この解釈は、上昇 するマントル流体の通路となるリソスフェアを貫く深い 剪断帯が存在することを示唆している (Carlowicz, 1995 参照). 事実, ウラル断層帯の '古子午線' 環境は, と くに古生代の間、流体に強制された地殻下のデラミネー ション・盆地の沈降・剪断作用の復活が起こりやすくなっ た. ヘルシニア期に、古赤道帯は南の中央ヨーロッパへ と移動し, 発達途上のカスピ海盆地北部地域を横切り東 方に延びていた. ウラル帯は再び分裂と剪断に適した古 地理環境を備えたのである. この時, 造構断裂と捩れ変 形の場は南から始まった. 非常に厚いウラルの堆積物か ら判断すると、この帯は、例えばペルム紀後期の最終的 な造構イベントの期間のように、時には横ずれ圧縮状態 に置かれたかもしれないが、横ずれ引張の環境が歴史を 通じて支配的であったようである(レンチテクトニクス の考察については Storetvedt, 1997, 2003 を参照).

重要なウラルリフティングとヘルシニア期の古赤道に整 列すると思われる破砕帯の交差は、超巨大な周カスピ海 油田区の構造的背景と見ることができるだろう. そのよ うな構造的な交差は、マントルの塩水と炭化水素の効果 的な移動通路であると考えることができる. この原理に 従えば, 巨大なストックマンガス田は, 周カスピ海炭化 水素区の北の同等な構造的位置に当っているように見え るし、中央北海リフト帯はこのカテゴリーのもう1つの ケースである. 北大西洋北部では, 古生代前期の赤道が 想定される西スピッツベルゲン / 北西ヨーロッパカレド ニアリフト帯 (中・新生代に発達した大陸 - 海洋境界に 沿うリソスフェア深部の断裂帯)を横断しているが、西 バレンツ縁辺は有望な油田地帯になるかもしれない. そ の地域のハンメルフェスト (Hammerfest) 盆地はすでに 炭化水素ポテンシャルの高いことが実証されている. さ らに、超巨大なメキシコ湾炭化水素区は、マントル流体 とガスが脱出しやすいルートに関連したもう1つの例であ り、それはその地域のベニオフ帯のマントル断面と南北ア メリカの間のリソスフェア剪断境界 (モタグア断層 / ケイ マントラフ)が交差するところに位置している(図11・ 17を参照).

北アフリカと中東

アルプス変動期のクライマックスの間,アフリカの反時計回りの回転は古い断裂ネットワークを再活性化させ,直交する大陸盆地の形成に道を開いた。その結果,セノマニアン海進の間,大陸内部の海路がギアナ湾と地中海地域の間の現在のサハラを横断して存在した。アルプス変動期の古赤道はアフリカの北縁に沿って通るので(図5参照),北アフリカ盆地の慣性が引き金となった南方へのリフティングが,マントルの塩水と炭化水素を供給

する通路を開いた.アルプス剪断帯の南縁内に位置していたので、天然の揚水メカニズムはおそらく長期にわたって北アフリカの石油・ガス区を涵養するであろう.

次に、世界中でもっとも生産量の多い炭化水素区である ペルシャ湾を見ると、この地域は中東アルプス構造帯の 南の境界(アラビア半島の南東端を切っている)である ことに注目することが重要である. アルプス造構過程 で,アフリカは反時計回りに回転した古リソスフェア南 部の構成要素であり、その間、著しい捩れ作用が薄い地 殻を持ったインド洋に影響を及ぼした. 後期中新世~ 現在の山脈 (海洋・大陸とも)の地形的な隆起によって (Storetvedt, 2003), 斜めの剪断作用がとくに中央海嶺に 沿って現れている. そして大洋断裂帯の曲線状のパター ン (Friedrich and Leduc, 2004) が深海のいたるところに 生じ、それは線状の海洋磁気異常の構造 - 鉱物学的基礎 となっている (Storetvedt, 2010b). 南西インドとカール スベルグ (Carlsberg) 海嶺の地形学的なイメージ (図 13 参照) に見られるように、全体的な剪断方向は、実証さ れたアフリカの反時計回りの回転と調和している. しか し、カールスベルグ海嶺の北部では、剪断強度が西方へ 減少して、構造パターンは一方の周縁部がアデン湾に変 わる扇状パターンになっている. もっとも重要な剪断パ ターンはオマーン沖のオーエン (Owen) 盆地になってい る. そこではそれは明らかに2つに枝分かれして,1つ は曲線状のオーエン断裂帯に拘束されて北東方向をと り, 見掛け上圧縮/横ずれ圧縮性のマクラン (Makran) フロントにアバットする. 他方, 2つ目は反時計回りに 回転し、オマーンでアラビア半島南東を横断している. それらはペルシャ湾 / イラク石油盆地の至る所に広がる 堆積盆地を形成している. 東方へ, この豊富な油田区は ザグロス断層系に沿う顕著な横ずれ圧縮帯に接してい る. シェバ (Sheba) 海嶺 (アデン湾) の雁行状の枝分かれ— 東方へ増加し、オーエン断裂帯に沿う左ずれの動きと全 体的な反時計回りのスウィング(アデン湾に沿う北東方 向からザグロス地域とペルシャ湾に沿う北西方向に変わ る)は、GPSが決定した観測点の速度によって実証され た中東地域の反時計回り回転と調和的である (Reilinger et al., 2006)(図13に略図).

東側で曲線状かつ造構的に活発なオーエン断裂帯に接する幅 250~400km の準大洋であるオーエン盆地 (Whitmarsh, 1979)では、比較的弱い磁気異常が北東方向を示し、岩脈と交差するマシラ (Masirah)島(オマーンの南東海岸沖)の造構的に露出する上部マントルメランジは、オーエン盆地の磁気リニエーションに平行する方向をとっている (Moseley and Abbotts, 1979を参照)、マシラ・オフィオライトコンプレックスの定置モデルに関する様々な考察の中で、Moseley and Abbotts は、そのコンプレックスがオーエン断裂帯に平行なほぼ垂直でNNE 走向の深部断層に沿って発達途上のオマーン大陸縁上へダイアピル状に衝上したというモデルを提示した、北オマーンは複雑な構造システム (波状の向斜/背斜/逆断層の組み合わせ)で特徴付けられている、それ故、

北オマーンのセメイル (Semail) オフィオライトコンプ レックスも、アルプス変動のクライマックス期にダイア ピル状に衝上して形成されたように見える. 十分な水が 存在する条件下では、上部マントルのカンラン岩は蛇紋 岩化作用を受けやすいだろう. そして蛇紋岩は比較的密 度が低く延性的な岩石であるので、浮力を得て、とくに 高角剪断帯の横ずれ引張セグメントに沿ってダイアピル 的に上昇する. オーエン断裂帯の断面で, Bonatti (1978) は負の重力異常を引き起こしている蛇紋岩の大きな垂直 断面の産状を記載した. このように、固体蛇紋岩が突出 する際の捩れが要因となった定置というのが、一貫性の ないオーエン海嶺地形のもっともらしい解釈かもしれな い. 同様に、オーエン断裂帯から伸び、アラビア大陸縁 辺で複雑に交差するオーエン盆地南端のシャルビタット (Sharbithat) 海嶺 (第13図を参照) も、負の重力異常が 特徴で (Stein and Cochran, 1985 を参照), それ故, 蛇 紋岩化した上部マントル物質のもう 1 つのアップスラス トかもしれない.

アラビア半島とペルシャ湾盆地の捩れ造構環境に順応し て、この地域は基盤ブロック、特にイラン縁辺の離れ離 れの北東に傾斜する基盤ブロックの断層運動によって特 徴付けられ、それは次に被覆している堆積物を褶曲させ た (Comby et al., 1977); この過程で、豊富なダイアピル 状の岩塩と石油をともなう多くの大規模な背斜が形成さ れた. Edgell (1996) によって述べられているように、し ばしば活性化したペルシャ湾地域の基盤の引張と捩れに よる断層運動は, 塩類構造の形成に重要な役割を果たし た. 炭化水素の非生物的起源がここで支持されているこ との次に、交差している断層及び/又は走向移動断層が 塩水の上方への移動に利用された通路と見られる、そこ にはマントル由来の原油・天然ガスとともに局所的に厚 い塩類のかたまりが沈殿している. GPS 速度の分布 (図 13) によって実証された中東リソスフェアの反時計回り の回転は、おそらくアルプス変動の始まり(白亜紀後期) 以来続いている過程であろう. それ故, ザグロス帯に影 響を及ぼしている長期にわたる横ずれ圧縮力(これは大 規模な急傾斜の前面逆断層帯を作り, 基盤を南西に傾か せた)は、ペルシャ湾盆地をひどく非対称的(アラビア 楯状地内陸での数 100m から主ザグロス逆断層のすぐ 南での 18,000m まで厚くなる堆積物を有する)(Edgell, 1996) にした原因であるように思われる.

結論として、アラビア - ペルシャ湾の超巨大な炭化水素 区は、主要なアルプス造構境界に沿って位置していて、 そこはマントルから地表近くの貯留層への流体とガスを 運搬する多数の通路を持った比較的広いが、ほとんど薄 くなっていないリソスフェアの破砕帯である。したがっ て、炭化水素の有望性ではペルシャ湾地域は永遠に生産 できる明らかな可能性がある。

謝辞 図についての注意深い仕事をしてくれた Frank Cleveland に感謝する.

文 献

- Aal, A. et al., 2000. Tectonic evolution of the Eastern Mediterranean Basin and its significance for hydrocarbon prospectivity in the ultradeep water of the Nile Delta. The Leading Edge, Oct. 2000, p. 1086-1102.
- Argus, D.F. and Gordon, R.G., 1996. Tests of the rigid-plate hypothesis and bounds on intraplate deformation using geodetic data from very long baseline interferometry. Jour. Geophys. Res., v. 101, p. 13555-13572.
- Arthur, M.A., 1979. North Atlantic Cretaceous black shales: the record at site 398 and a brief comparison with other occurrences. In: Sibuet et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 47, Washington DC, US Govt. Print. Office, p. 719-752.
- Austrheim, H. et al., 1996. Garnets recording deep crustal earthquakes. Earth Planet. Sci. Lett., v. 139, p. 223-238.
- Bellissent-Funel, M.-C., 2001. Structure of supercritical water. Jour. Mol. Liq., v. 90, p. 313-322.
- Bazhenova, O.K. et al., 1998. Oil of the volcano Uzon caldera, Kamchatka. Org. Geochem., v. 29, p. 421-428.
- Behrmann, J.H. et al., 1994. Tectonics and geology of spreading ridge subduction at the Chile Triple Junction: a synthesis of results from Leg 141 of the Ocean Drilling Program. Geol. Rundsch., v. 83, p. 832-852.
- Bonatti, E., 1978. Vertical tectonism in oceanic fracture zones. Earth Planet. Sci. Lett., v. 37, p. 369-379.
- Bonatti, E. et al., 1977. Neogene crustal emersion and subsidence at the Romanche F.Z., equatorial Atlantic. Earth Planet. Sci. Lett., v. 35, p. 369-383.
- Bonatti, E. and Chermak, A., 1981. Formerly emerging crustal blocks in the equatorial Atlantic. Tectonophysics, v. 72, p. 165-180.
- Bradley, W.C. et al., 1978. Role of Salts in Development of Granitic Tafoni, South Australia. Jour. Geol., v. 86, p. 647-654.
- Brookfield, M.E., 1977. The emplacement of giant ophiolite nappes; Mesozoic-Cenozoic examples. Tectonophysics, v. 37, p. 247-303.
- Bucher, W.H., 1921. The mechanical interpretation of joints. Jour. Geol., v. 29, p. 1-28.
- Buffett, B. and Archer, D., 2004. Global inventory of methane clathrate: sensitivity to changes in the deep ocean. Earth Planet. Sci. Lett., v. 227, p. 185-199.
- Calvert, A. et al., 2000. Geodynamic evolution of the lithosphere and upper mantle beneath the Alboran region of the western Mediterranean: Constraints from travel time tomography. Jour. Geophys. Res., v. 105, p. 10.871-10.898.
- Campos, C.W.M et al., 1974. Geology of the Brazilian Continental Margin. In: The Geology of Continental Margins, Berlin, Springer-Verlag, p. 447-470.
- Carey, S.W., 1955. The orocline concept in geotectonics. Proc. Roy. Soc. Tasmania, v. 89, p. 255-288.
- Carlowicz, M., 1995. URSEIS Peaks Under Urals for

- Mountain-Building Clues. EOS, v. v. 76, no. 52, p. 533.
- Czoshanska, Z. et al., 1986. Organic geochemistry of sediment in New Zealand. 1. A biomarker study of the petroleum seepage at the geothermal region of Waiotapu. Geochem. and Cosmochem. Acta, v. 50, p. 507-515.
- Choukroune, P., 1976. Strain patterns in the Pyrenean chain. Phil. Trans. Roy. Astron. Soc., v. A 283, p. 271-280.
- Comas, M.C. et al., 1999. The Origin and Tectonic History of the Alboran Basin: Insights from Leg 161 Results. In: Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, v. 161, p. 555-580.
- Comby, O. et al., 1977. An approach to the structural studies of the Zagros Fold Belt in the EGOCO Agreement Area. Proc. 2nd Geol. Symp. of Iran, Teheran, p. 103-159.
- Daigniers, M. et al., 1982. Implications of the seismic structure for the orogenic evolution of the Pyrenean range. Earth Planet. Sci. Lett., v. 57, p. 88-100.
- Debenedetti, A., 1976. Messinian salt deposits in the Mediterranean: Evaporites or precipitates? Bull. It. Geol. Soc., v. 95, p. 941-950.
- Dixon, T.H. et al., 1998. Relative motion between the Caribbean and North American plates and related boundary zone deformation from a decade of GPS observations. J. Geophys. Res., v. 73, p. 2087-2100.
- Droop, G.T.R. et al., 1990. Formation and distribution of eclogite facies rocks in the Alps. In: Eclogite Facies Rocks, Glasgow, Blackie, p. 225-259.
- Edgell, H.S., 1996. Salt tectonism in the Persian Gulf Basin. In: Salt Tectonics, Geol. Soc. London Spec. Publ., no. 100, p. 129-151.
- Engelder, T., 1982. Is there a genetic relationship between selected regional joints and the contemporary stress within the lithosphere of North America? Tectonics, v. 1, p. 161-177.
- Engelder, T., 1993. Stress Regimes in the Lithosphere, Princeton NJ. Princeton Univ. Press, 475p.
- Eppelbaum, L. and Katz, Y., 2011. Tectonic-Geophysical Mapping of Israel and the Eastern Mediterranean: Implications for Hydrocarbon Prospecting. Positioning, v. 2, p. 36-54.
- Evans W.C., 1996. A gold mine of methane. Nature, v. 381, p. 114-115.
- Ernst, W.G., 1972. Occurrence and mineralogic evolution of blueschist belts with time. Am. Jour. Sci., v. 272, p. 657-668.
- Fabbri, A. and Curzi, P., 1979. The Messinian of the Tyrrhenian Sea: sismic evidence and dynamic implications. Giorn. Geol., v. 43, p. 215-248.
- Fairhead, J.D. and Okereke, C.S., 1990. Crustal thinning and extension beneath the Benue Trough based on gravity studies. J. Afr. Earth Sci., v. 11, p. 329-335.
- Fallon, F.W. and Dillinger, W.H., 1992. Crustal velocities from geodetic very long baseline interferometry. Jour. Geophys. Res., v. 97, p. 7129-7136.

- Farooqui, M.Y. et al., 2009. Evaluating Volcanic Reservoirs. Oilfield Review, v. v. 21, p. 36-47.
- Fischer, A.G. and Arthur, M.A., 1977. Secular variations in the pelagic realms. In: Deep water carbonate environments. SEPM Spec. Publ., v. 25, p. 19-50.
- Frezzotti, M.I., et al., 1994. Evidence of magmatic CO2-rich fluids in peraluminous graphite-bearing leucogranites from Deep Freeze Range. Contrib. Mineral. Petrol., v. 117, p. 111-123.
- Friedrich, J. and Leduc, G.G., 2004. Curvilinear patterns of oceanic fracture zones. J. Geodyn., v. 37, p. 169-179.
- Gelphi, E. and Oro, J., 1970. Organic componds in meteorites-IV. Gas chromatographic-mass spectrometric studies of isophrenoids and other isometric alkanes in carbonaceous xhondrites. Geochim. Cosmochim. Acta, v. 34, p. 981-994.
- Gold, T., 1985. The origin of natural gas and petroleum, and the prognosis for future supplies. Ann. Rev. Energy, v. 10, p. 53-77.
- Gold, T., 1987. Power from the Earth: Deep Earth Gas Energy for the Future. London, Dent and Sons, 208p.
- Gold, T., 1999. The Deep Hot Biosphere. New York, Springer Verlag, 235p.
- Gold, T. and Soter, S., 1982. Abiogenic methane and the origin of petroleum, Energy Exploration and Exploitation, v. 1, p. 89-104.
- Gutmanis, J.C., 2009. Basement Reservoirs A Review of their Geological and Production Characteristics. Int. Petro. Tech. Conf., IPTC 13156, p. 1-7.
- Gutscher, M.-A. et al., 2002. Evidence for active subduction beneath Gibraltar. Geology, v. 30, p. 1071-1074.
- Gutscher, M.-A. et al., 2009. Tectonic shortening and gravitational spreading in the Gulf of Cadiz accretionary wedge: Observations from multi-beam bathymetry and seismic profiling. Mar. Petrol. Geol., v. 26, p. 647-659.
- Gutscher, M.-A., 2012. Subduction Beneath Gibraltar? Recent Studies Provide Answers. EOS, Trans. Am. Geophys. Un., v. 93, no. 13, p. 133-134.
- Hancock, P.L., 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. Jour. Struc. Geol., v. 7, p. 437-458.
- Haq, B.U. et al., 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. Science, v. 235, p. 1156-1167.
- Hardie, L.A. and Lowenstein, T.K., 2004. Did the Mediterranean Sea Dry Out During the Miocene? A reassessment of the Evaporite Evidence from DSDP Legs 13 and 42A Cores. J. Sed. Res., v. 74, p. 453-461.
- Hayes, D.E. and Ewing, M., 1970. North Brazilian Ridge and adjacent continental margin. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., v. 54, p. 2120-2150.
- Heiki, K. et al., 1983. Rotation of the Peruvian Block from paleomagnetic studies of the Central Andes. Nature, v. 305, p. 514-516.
- Kenney, J.F. et al., 2002. The evolution of multi-component systems at high pressures: VI. The thermodynamic stability of the hydrogen-carbon system: The genesis of

- hydrocarbons and the origin of petroleum. Proc. Nat. Acad. Sci, v. 99, 10976-10981.
- Hervé, F. et al., 1987. Chronology of provenance, deposition and metamorphism in the southern limb of the Scotia arc.In: Geological evolution of Antarctica, Cambridge (UK), Cambridge Univ. Press, p. 429-435.
- Hodgson, G.W. and Baker, B.L., 1964. Evidence for porphyrins in the Orgueil meteorite. Nature, v. 202, p. 125-131.
- Hoyle, F., 1955. Frontiers in Astronomy. Melbourne, Heinemann, 360p.
- Howell, D.G. et al., 1992. Compressional tectonics point to more gas reserves. World Oil, v. 213, p. 117-120.
- Hreinsdóttir, S. et al., 2001. Crustal deformation at the oblique spreading Reykjanes Peninsula, SW Iceland: GPS measurements from 1993 to 1998. J. Geophys. Res., v. 106, p. 13.803-13.816.
- Hsű, K.J., 1972. Origin of saline giants: A critical review after the discovery of the Mediterranean evaporite. Earth Sci. Rev., v. 8, p. 371-396.
- Hsű, K.J. et al., 1973. Late Miocene deciccation of the Mediterranean. Nature, v. 242, p. 240-244
- Hunt, C.W. et al., 1992. Expanding Geopheres. Energy and Mass Transfers from Earth's Interior. Calgary, Polar Publishing, 422p.
- Husseini, M.I. and Husseini, S.I., 1990. Origin of the Infracambrian Salt Basins of the Middle East. Geol Soc Lond. Special Publ., v. 50, p. 279-292.
- Hübscher, Ch. et al., 2007. Global Look at Salt Giants. EOS, v. 88, no. 16, p. 177, 179.
- Juhlin, C. et al., 1995. Project Conducts Seismic Reflection Profiling in the Ural Mountains. EOS, v. 76, no. 19, p. 193.
- Kahneman, D., 2011. Thinking, fast and slow. London, Allen Lane Penguin Books, 499p.
- $Kaufmann, W.J., 1988.\ Universe.\ New\ York, Freeman, 634p.$
- Kelley, D.S., 1996. Methane-rich fluids in the oceanic crust. Jour. Geophys. Res., v. 101, p. 2943-2962.
- Kenney, J.F., 1995. Comment on 'Mantle hydrocarbons: Abiotic or biotic?' Geochim. Cosmochim. Acta, v. 59, p. 3857-3858.
- Kenvolden, K.A. and McMenamin, M.A., 1980. Hydrates of Natural Gas: Their Geologic Occurrence. U.S. Geological Survey Circular, no. 825.
- Kenvolden, K.A. and Simoneit, B.R.T., 1990. Hydrothermally derived petroleum: example from Guaymas Basin, Gulf of California and Escanaba Trough, northeast Pacific Ocean. Am. Assoc. Petrol. Geol., v. 74, p. 223-237.
- Kerr, R., 1993. Looking deeply into the Earth's crust in Europe. Science, v. 261, p. 295-296.
- Kirschner, C.E. et al., 1992. Impact origin of the Avak Structure, Alaska, and genesis of the Barrow gas fields. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 76, p. 651-679.
- Kohlbeck, F. and Scheidegger, A.E., 1977. On the theory of evaluation of joint measurements. Rock Mech., v. 9, p. 9-25.

- Kolesnikov, A. et al., 2009. Methane-derived hydrocarbons produced under upper-mantle conditions. Nature, v. 2, p. 566-570.
- Konn, C. et al., 2009. Hydrocarbons and oxidized organic compounds in hydrothermal fluids from Rainbow and Lost City ultramafic-hosted vents. Chemical Geology, v. 258, p. 299-314.
- Konnerup-Madsen, J., 1979. Fluid inclusions in quartz from deep-seated granitic intrusion, southern Norway. Lithos, v. 12, p. 13-23.
- Kono, M. et al., 1985. Paleomagnetic study of the central Andes: Counterclockwise rotation of the Peruvian block. Jour. Geodyn., v. 2, p. 193-209.
- Kreichgauer, P.D., 1902. Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl, Missionsdruckerei, 304p.
- Kudryavtsev, N.A., 1951. Against the organic hypothesis of the origin of petroleum (in Russian). Petroleum Economy, v. 9, p. 17-29.
- Leung, I. et al., 1990. Natural occurrences of silicon carbide in a diamondiferous kimberlite from Fuxian. Nature, v. 346, p. 352-354.
- Lira, R. et al., 2007. Solid inclusions of magmatic halite and sylvite in felsic granitoids, Sierra Norte, Córdoba, Argentina. Lithos, v. 99, p. 363-384.
- Lupton, J. and Craig, H., 1981. A major helium-3 source at 15° S on the East Pacific Rise. Science, v. 214, p. 13-18.
- Lyatsky, H.V., Friedman, G. And Lyatsky, V.B., 1999.Principles of Practical Tectonic Analysis of Cratonic Regions. New York, Springer-Verlag, 369p.
- Macellari, C.E., 1988. Cretaceous palaeogeography and depositional cycles of western South America. Jour. South Am. Geol., v.1, p. 373-418.
- Mahfoud, R.F., 2000. Theory links lithospheric rotation to possible abiogenic oil re-charge. Offshore, May 2000, p. 102-108.
- Mahfoud, R.F. and Beck, J.N., 1995. Why the Middle East fields may produce oil forever. Offshore, April 1995, p. 56-62.
- Maluski, H. et al., 1995. Argon-40/Argon-39 chronology, petrology and geodynamic setting of Mesozoic to early Cenozoic magmatism from the Benue Trough, Nigeria. Jour. Geol. Soc. London, v. 152, p. 311-326.
- Manzi, V. et al., 2005. Deep-water clastic evaporates deposition in the Messinian Adriatic foredeep (northern Apennines, Italy): did the Mediterranean ever dry out? Sedimentology, v. 52, p. 875-902.
- Mascle, J. et al., 1995. The Cote d'Ivoire-Ghana transform margin: an example of an ocean-continent transform boundary. In: Rifted Ocean-Continent Boundaries. Dordrecht, Kluwer Academic, p. 327-339.
- Mascle, J. et al., 1998. A geological field trip to Cote d'Ivoire-Ghana transform margin. Oceanologica Acta, v. 21, p. 1-20.
- McClusky, S. et al., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern

- Mediterranean and Caucasus. Jour. Geophys. Res., v. 105, p. 5695-5719.
- Melton, C.E. and Giardini, A.A., 1974. The composition and significance of gas released from natural diamonds from Africa and Brazil. Am. Mineralogist, v. 59, p. 775-782.
- Metri, G. et al., 2007. Hydrocarbon Lakes on Titan. Icarus, v. 186, p. 385-394.
- Milkov, A.V., 2000. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas gydrates. Marine Geology, v. 167, p. 29-42.
- Miller, H.G., Storetvedt, K.M. and Scheidegger, A.E., 2001.

 The main structural trends of Newfoundland: interpretation within a new dynamo-tectonic framework. Proc Int. Workshop on Global Wrench Tectonics, Oslo 9-11 May 2001
- Montanari, A. et al., 1993. Iridium anomalies of Late Eocene age at Massignano (Italy), and ODP Site 689B (Maud Rise, Antarctica). Palaios, v. 8, p. 420-437.
- Mpodozis, C. and Forsythe, R., 1983. Stratigraphy and geochemistry of accreted fragments of the ancestral Pacific floor in southern South America. Paleogeogr., Paleoclimatol., Paleoecol., v. 41, p. 103-124.
- Moseley, F. and Abbotts, I.L., 1979. The ophiolite mélange of Masirah, Oman. Jour. Geol. Soc. Lond., v. 136, p. 713-724.
- Muehlberger, W.R., 1961. Conjugate joint sets of small dihedral angle. Jour. Geol, v. 69, p. 211-218.
- Munoz, J.A. et al., 1986. Thrust sequences in the eastern Spanish Pyrenees. Jour. Struc. Geol., v. 8, p. 399-405.
- Munoz, J.B. and Stern, C.R., 1988. The Quaternary volcanic belt of the southern continental margin of South America: Transverse structural and petrological variations across the segment between 38°S and 39°S. Jour. South Am. Earth Sci., v. 1, p. 147-161.
- Nagle, F., 1974. Blueschist, Eclogite, Paired Metamorphic Belts, and the Early Tectonic History of Hispaniola. Geol. Soc. Am. Bull., v. 85, p. 1461-1466.
- Neev, D., 1975. Tectonic evolution of the Middle East and the Levantine Basin (easternmost Mediterranean). Geology, v. 3, p. 683-686.
- Neev, D., 1977. The Pelusium Line: A major transcontinental shear. Tectonophysics, v. 38, T1-T8.
- Neev, D. et. al, 1982. The Pelusium Megashear System Across Africa And Associated Lineament Swarms. Jour. Geophys. Res., v. 87, No. B2, p. 1015-1030.
- Neev, D. and Hall, J.K., 1982. A Global System of Spiralling Geosutures. J. Geophys. Res., v. 87, No. B13, p. 10.689-10.708.
- Neprochnov, Y.P. et al., 2000. Comparison of the crustal structures of the Barents Sea and the Baltic Shield from seismic data. Tectonophysics, v. 321, p. 429-447.
- Nesteroff, W.D., 1973. Un modèle pour les évaporites messiniennes en Méditerranée des bassins peu profonde avec dépôt d'évoporites lagunaires. In: Messinian Events in the Mediterranean. Amsterdam, North-Holland, 272p.

- O'Driscoll, E.S.T., 1980. The double helix in global tectonics. Tectonophysics, v. 63, p. 397-417.
- O'Leary, N. et al., 2004. Evolution of the Timan-Pechora and South Barents Sea basins. Geol. Mag., v. 141, p. 141-160.
- Pannekoek, A.J., 1969. Uplift and subsidence in and around the western Mediterranean since the Oligocene: a review. Verhandelingen Kon. Ned. Geol. Mijnbouwk.,v. 26, p. 53-77.
- Passerini, P. et al., 1990. Slickensides in western and southern Iceland: data from Langavatn, Burfell and Vördufell. Ofioliti, v. 15, p. 191-196.
- Peck, J.M., 2008. Giant oil prospects lie in distal portion of offshore East Mediterranean basin. Oil & Gas Journal, 6 Oct. 2008.
- Pollard, D.D. and Aydin, A., 1988. Progress in understanding jointing over the past century. Geol. Soc. Am. Bull., v. 100, p. 1181-1204.
- Porfir'ev, V.B., 1974. Inorganic origin of petroleum. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 58, p. 3-33.
- Ramberg, I.B., 1977. Analysis of fracture patterns in southern Norway. Geol. Mijnbouw, v. 56, p. 295-310.
- Reilinger, R. et al., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. J. Geophys. Res., v. 111, B05411, doi: 10.1029/2005JB004051.
- Ritzmann, O. et al., 2007. A three-dimensional geophysical model of the crust in the Barents Sea region: model construction and basement characterization. Geophys. Jour. Int., v. 170, p. 417-435.
- Robinson, R., 1966. The Origins of Petroleum. Nature, v. 212, p. 1291-1295.
- Roperch, P. and Carlier, G., 1992. Paleomagnetism of Mesozoic rocks from the Central Andes of Southern Peru: Importance of rotations in the development of the Bolivian Orocline. Jour. Geophys. Res., v. 97, p. 17.233-17.249.
- Rother, K. and Storetvedt, K.M., 1991. Polyphase magnetization in Lower Carboniferous rocks of S. Scotland. Phys. Earth Planet. Inter., v. 67, p. 251-267.
- Rouchy, J.M., 1980. La génèse des evaporates messiniennes de Méditerrané: un bilan. Bull. Cent. Rech. Pau, v. 4, p. 511-545.
- Scheidegger, A.E., 1965. On the statistics of the orientation of bedding planes, grain axes and other sedimentological data. US Geol. Surv. Prof. Paper 525C, p. 164-167.
- Scheidegger, A.E., 1982. Principles of Geodynamics, Berlin, Springer-Verlag, 395p.
- Scheidegger, A.E., 1998. Morphotectonic indications for the opening of Davis Strait. In: Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Rotterdam, Balkema, p. 95-100.
- Schutter, S.R., 2003. Occurrences of hydrocarbons in and around igneous rocks. Geological Society of London, Special Publications, v. 214, p. 35-68.
- Segall, P. and Pollard, D.D., 1983. Joint formation in granitic

- rock of Sierra Nevada. Geol. Soc. Am. Bull., v. 94, p. 563-575.
- Sigisaki, R. and Mimura, K., 1994. Mantle hydrocarbons: Abiotic or biotic? Geochim. Cosmochim. Acta, v. 58, p. 2527-2542.
- Sonnenfeld, P., 1981. The Phanerozoic Tethys Sea. In: Tethys, The Ancestral Mediterranean. Stroudsburg (US), Dowden, Hutchinson and Ross, p. 18-53.
- Sonnenfeld, P., 1984. Brines and Evaporites. New York, Academic Press, 613p.
- Srikantappa, C. et al., 2010. CO2-H2O, Highly Saline and Carbonic Fluids from the Mesozoic Mashhad Granitoids, NE Iran. Iranian Jour. Earth Sci., v. 2, p. 163-169.
- Stein, C.A. and Cochran, J.R., 1985. The transition between the Sheba Ridge and the Owen Basin: rifting of old oceanic lithosphere. Geophys. Jour. R. Astron. Soc., v. 81, p. 47-74.
- Stofan, E.R. et al., 2007. The lakes of Titan. Nature, v. 445, p. 61-64.
- Storetvedt, K.M., 1985. The pre-drift Central Atlantic; a model based on tectono-magmatic and sedimentological evidence. Jour. Geodyn, v. 2, p. 275-290.
- Storetvedt, K.M., 1987. Evidence for ocean-continent boundary beneath the abyssal plain of the East Central Atlantic. Phys. Earth Planet. Inter., v. 48, p. 115-129.
- Storetvedt, K.M., 1990. The Tethys Sea and the Alpine-Himalayan orogenic belt; mega-elements in a new global tectonic system. Phys. Earth Planet. Inter., v. 62, p. 141-184.
- Storetvedt, K.M., 1992. Rotating plates: new concept of global tectonics. In: New Concepts in Global Tectonics. Lubbock, Texas Tech. Univ. Press, p. 203-220.
- Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet, Bergen, Alma Mater (Fagbokforlaget), 456p. Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics, Bergen, Fagbokforlaget, 397p.
- Storetvedt, K., 2005. Polar wander and global tectonics. Boll. Soc. Geol. It, Volume Speciale, no. 5, p. 177-187.
- Storetvedt, K., 2007. Global Wrench Tectonics and Evolution of the Tethys. In: Proc. Second Int. Conf. on Geol. of the Tethys, Cairo, Tethys Geol. Soc., p. 1-26.
- Storetvedt, K.M., 2009. The Caribbean evolution a new account. Geoscientist Online 2 December 2009; http://www.geolsoc.org.uk/gsl/site/GSL/lang/en/page6816.html.
- Storetvedt, K.M., 2010a. Falling Plate Tectonics Rising New Paradigm: Salient Historical Facts and the Current Situation. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 55, p. 4-34.
- Storetvedt, K.M., 2010b. World Magnetic Anomaly Map and Global Tectonics. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 57, p. 22-47.
- Storetvedt, K.M., 2011. Aspects of Planetary Formation and the Precambrian Earth. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 59, p. 60-83.
- Storetvedt, K.M. and Løvlie, R., 1983. Magnetization properties of intrusive/extrusive rocks of East Maio, (Rep. of Cape Verde) and their geological implications. Geophys.

- Jour. Roy. Astron. Soc., v. 73, p. 197-212.
- Storetvedt, K.M. and Scheidegger, A.E., 1992. Orthogonal joint systems in the Bergen area, southwest Norway, and their regional significance. Phys. Earth Planet. Inter., v. 73, p. 255-263.
- Storetvedt, K.M. and Longhinos, B., 2011. Evolution of the North Atlantic: Paradigm Shift in the Offing. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 59, p. 9-48.
- Storetvedt, K.M. et al., 1990. A new kinematic model for Iberia; further palaeomagnetic and isotopic age evidence. Phys. Earth Planet. Inter., v. 62, p. 109-125.
- Storetvedt, K.M. et al., 1999. Alpine remagnetization and tectonic rotations in the French Pyrenees. Geol. Rundsch., v. 87, p. 658-674.
- Storetvedt, K.M. et al, 2003. New structural framework for SE Asia, and its implications for the tectonic evolution of NW Borneo. Geol. Soc. Malaysia, Bull. 47, p. 7-26.
- Studier, M.H., 1965. Organic componds in carboniferous chondrites. Science, v. 149, p. 1455-1459.
- Sugisaki, R. and Mimura, K., 1994. Mantle hydrocarbons: Abiotic or biotic? Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 58, p. 2527-2542.
- Supko, P.R. et al, 1977. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Leg 39, Washington DC, US Govt. Printing Office.
- Süss, E., 1893. Are great ocean depths permanent? Natural Sci., v. 1, p. 180-187.
- Timofeyev, P.P. et al., 1990. Equatorial segment of the Mid-Atlantic Ridge as a possible structural barrier between the North and South Atlantic. Trans. USSR Acad. Sci., Earth, v. 312, p. 133-135.
- Thiede, J. and van Andel, T.H., 1977. The palaeoenvironment of anaerobic sediments in the Mesozoic South Atlantic Ocean. Earth Planet. Sci. Lett., v. 33, p. 301-309.
- Torne, M. et al., 2000. Lithospheric Structure Beneath the Alboran Basin: Results from 3D Gravity Modeling and Tectonic Relevance. Jour. Geophys. Res., v. 105, No. B2, p. 3209-3228.
- Van Eysinga, F.S.B. (compiler), 1975. Geological Time Table, 3rd Edition. Amsterdam, Elsevier.
- Veloso, E.A.E. et al., 2005. Tectonic rotations during the Chile Ridge collision and obduction of the Taitao ophiolite (southern Chile). The Island Arc, v. 14, p. 599-615.
- Vigny, C. et al., 2002. GPS network monitors the Western Alps' deformation over a five-year period: 1993-1998. Jour. Geodesy, v. 76, p. 63-76.
- Warsi, W.E.K. et al., 1983. Convergence structures of the Peru Trench between 10° S and 14° S. Tectonophysics, v. 99, p. 313-329.
- Webb, S.D., 1995. Biological implications of the Middle Miocene Amazon Seaway. Science, v. 269, p. 361-362.
- Welhan, J.A. and Craig, H., 1983. Methane, hydrogen and helium in hydrothermal fluids at 21°N on the East Pacific Rise. In: Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centres, New York, Plenum Press, 810p.

- Werner, S.C. et al., 2012. Structural interpretation of the Barents and Kara Seas from gravity and magnetic data. In: Arctic Petroleum Geology, London, Geological Society Memoirs, v. 35, p. 197-208.
- Wezel, F.-C., 1975. Critical re-examination of cores from leg 13 cruise of DSDP, Show and Tell seminar on the evaporate facies of the Messinian, Erice/Palermo/, Abstract 3p.
- Wezel, F.-C., 1985. Structural features of basin tectonics of the Tyrrhenian Sea. In: Geological Evolution of the Mediterranean Basin. New York, Springer Verlag, p. 153-194.
- Weyl, R., 1980. Geology of Central America. Berlin, Gebrűder Bornträger, 371p.
- Whitmarsh, R.B., 1979. The Owen Basin off the south-east margin of Arabia and the evolution of the Owen Fracture Zone. Geophys. Jour. Roy. Astron. Soc., v. 58, p. 441-470.
- Whittaker, R.C. et al., 2011. The NE Greenland Shelf: Full Crustal Imaging of Salt Tectonics and the Wandel Sea Mobile Belt. Recovery. CSPG CSEG CWL5 Convention, p.1-4.

- Wilson, J.T., 1954. The development and structure of the crust. In: The Earth as a Planet, Chicago, Chicago Univ. Press, p. 138-214.
- Wilson, H.H., 2005. A review of geological data that conflict with the paradigm of catagenic generation and migration of oil. Jour. Petrol. Geol., v. 28, p. 287-300.
- Wolfart, R., 1967. Zur Entwicklung der paläozoischen Tethysin Vorderasien. Erdöl u. Kohle, Erdgas u. Petrochemie, v. 20, p. 168-180.
- Zemtsov, V.A., 2007. Influence of Earth rotation on continental motions. Jour. Gondwana Res., v. 12, no. 5, p. 242-251.
- Zharkov, M.A., 1981. History of Palaeozoic Salt Accumulation. Berlin, Springer Verlag, 308p.
- Zimmer, M. and Erzinger, J., 1995. On the geochemistry of gases in formation and drilling fluids results from the KTB. Scientific Drilling, v. 5, p. 101-109.
- Zoback, M.L. and Zoback, M.D., 1980. State of stress in the conterminous United States. Jour. Geophys. Res., v. 85, p. 6113-6156.

コメントと回答

COMENTS AND REPLIES

地球膨張と海洋底拡大との政略結婚を無効にすること NCGT Newsletter, no.63, p.82-86 の Stephen Foster 論文へのコメント.

Annulling the "marriage of convenience" between Earth expansion and seafloor spreading. Comment on Stephen Foster paper in NCGT Newsletter, no. 63, p. 82-86.

William Carnell ERICKSON berickson@frontier-knowledge.com
Frontier Knowledge 会社 郵便私書箱 297, アメリカ合衆国ノースカロライナ州マウンテインホーム, 郵便番号 28758

(山内 靖喜[訳])

2012年6月発刊のNCGT Newsletter 掲載の論文において、Stephen Foster (2012) は地球膨張説についての彼の考えを変え、今ではそれを否認していることを発表し、かつて膨張を唱えたことは彼の責任であると言った。Foster 博士は以前に沈み込みを否認したが、しかし最近になって海洋底拡大と地球膨張を受け入れたことを書いている。とはいえ、現在 Foster 博士は沈み込みと同様に海洋底拡大が神話であることを信じており、海洋底拡大仮説を論破するデータの価値あるまとめを発表している。そのまとめは、世界の海洋底に古い大陸性岩石が広く存在することを記述した本ニュースレター掲載の幾つかの論文を要約したものである。

もし、海洋底拡大と沈込みの両方が神話であるならば、 もっともらしい仕組みをもたない海洋拡大と大陸移動も また神話に違いなく、その神話はおそらく地球膨張を含 めたそれらを説明すると称した不必要な学説のために尽 くしていると Foster 博士は信じているようである. 私の 考えでは、Foster 博士は間違った結論を引き出した. 海 洋底拡大は膨張する地球上で海洋が広がるために有効な機構であると彼は明らかに思いこんでいる。それはそうでない、けれども、S. Warren 以降の膨張論を唱えるものの多くが同じようにかんがえてきたのであるから、彼がそのように考えたことは驚くことではない。

一方は"創造者達の心の中にのみ"存在する神話として Carey (1976) によって捨て去さられた沈み込みともう一方の海洋底拡大の"出来ちゃった結婚"として Carey (1976) はプレートテクトニクスをみなした。そして、Carey はこの海洋底拡大を支持し、彼の膨張モデルにくみいれた。"プレートテクトニクス学派と膨張学派は海洋底拡大に関しては賛成である。両者は主に海溝の解釈において異なっている。そして、この点が論争の要点である。"言い換えるならば、沈み込みはダメ、海洋底拡大は良い。不幸にして、Carey は海洋底拡大を支持したことによって膨張テクトニクスと海洋底拡大を支持したことによって膨張テクトニクスと海洋底拡大の説が現在直面している多くの問題を考慮するならば、この結婚

は幸福ではなかった.しかし,夫婦の一方の失敗がもう一方に泥を塗ってはならない.膨張と海洋底拡大は腰でつながっているのではないので,彼等の運命は手が付けられないほど絡み合っているのではない.この点についてもっと多くことがあるので,さしあたり結婚の比喩はここまでにすると,海洋底拡大を論破することは地球膨張とはなんの関係もなかった.

Carey (1976) によると、多くの膨張論者は暗黙の内にあるいははっきりと海洋底拡大の"コンベヤーベルト"モデルを受け入れている。それどころか、多くの膨張年代表、たとえば Owen (1983) と Maxlow (2005) が提案したものなどは Vine and Matthews(V-M) 仮説 (1963) と Hertzler et al. (1968) のような関連した極逆転年表とに基づいている。後者は海洋地磁気異常を信頼できる"アイソクロン" として扱っているが、それはまったく海洋底上の石に書かれており、称するところでは中生代初期から現在までの海洋底拡大の歴史を明らかにしている。V-M に暗示されている漸進主義を受け入れることによって、これらの膨張年代表は常に中生代初期以降連続的に膨張し続けたことを示している。

*1:クロンは地質学的年代区分の基本単位で,期 (age または stage) より下位である (地学事典). アイソは "等しい" を意味することから,アイソクロンは "同年代" というような意味で使われているようである.

しかしながら、Vine-Matthews を、あるいはついでに海洋底拡大 (対流駆動の両側への"コンベヤーベルト"を漸進的に受け入れたという意味)も決して受け入れない一人の大陸移動論者でかつ膨張論者がいる。南アフリカの地質学者で地形学者である Laster C. King は Vine-Matthews と海洋底拡大を初期の頃に批判した一人である。彼は現れてきたプレートテクトニクスのドグマに異議を唱えただけでなく、V-M に基づいたプレートテクトニクス理論のようにトリアス紀以降に漸進的で連続した過程とは逆に、主に中生代に限られた一連の不連続なテクトニクスのエピソードを通して大陸移動 (すなわち、膨張) は展開したことを彼もまた主張した。そして膨張理論はそれを持たなかったであろう (Erickson, 1988).

1983 年に出版された彼の著書「膨張する地球上で移動する大陸と拡大する海洋底」において、V-M 仮説と一般的な大陸移動の基礎をなす仮定に挑戦した. 将来本ニュースレター上に論文を書きたいと私が考えている King の考えをここで完全に述べることは不可能であるが、彼の著書からの以下の若干の引用で充分であろう.

- ・海洋底の岩石中に逆転したパターンを固定することが要求される Vine and Matthews (1963) 仮説は唯一の推定である.しかし, [Vine and Matthews (1963) 中の図に]描かれているように,逆転のブロックは原データによっていまもって保証されていない信頼の程度を伝えている. (King,1983, p.111.)
- ・ [船上]磁力計が測定した[も]のは現在の全磁場

である. これは本来のゾーンから水平方向に離れるような移動によって発達したとしても,今磁気的衝撃が通過している岩石それ自身が時間と共に水平方向に動いている. (96)

- ・極性反転のパターンがあることは賛成する.これらが岩石中に固定されることは仮定されており、またそのパターンが海洋底下の岩体の物理的な輸送を証明するということは、もし磁性が海底の玄武岩とその他の岩石中に固定されるならば真実であるという仮定である. (96, 原本ではイタリック)
- ・海嶺軸からの溶岩の対称的貫入と流出は仮定されたことである.しかし、自然界ではそのようなことはありそうもない.要求される磁極性逆転の境界は溶岩の自然流出と一致していないようである. (76)
- ・磁気現象は大洋中央海嶺に関して発生し、とくに海洋を横断した磁力計によって記録された対をなす磁極性逆転の細長い縞は、多分"信号"パターンだけであろう。そして、海底そのもののなんらか必要な変位なしにあるいはそれを加えて、そのパターンは恐らく海洋底を通っている海嶺の稜線帯から両側に向かって離れるように進んでいる。この観点から、海洋底拡大は不必要であり、恐らく悪い仮定である。(105、原本ではイタリック)
- ・この著者に対して"海洋底拡大"は見事にその動き を現している。しかし、彼は"コンベヤーベルト" の科学技術の証拠を何一つ見ていない。事実、彼 は地球内部のマントル体の一般的な増大を理解し ていた。

また、本ニュースレターの他の論文に先んじて"いくつかの海嶺稜線からドレッジで採集された古生代の岩石の膨大なリスト"を King は書いた. 事後に特定の異常を単に"説明する"だけで、新しい発見や予測をまったく産み出さない二番目でその場限りの仮説に頼ることなしに、これらを海洋底拡大と調和させることは不可能であり、このような仮説は"堕落的科学研究計画"の徴候である (Lakatos, 1970).

Vine and Matthews 仮説と海洋底拡大の両方に対する King の批判は、プレートテクトニクス中に暗示されている漸進主義を拒絶することを表し、同時にその正当性を示している。プレートテクトニクス(及び V-M を信頼している膨張年代記)によって想像されているような古生代後で現在にいたるまでの連続した海洋底拡大と大陸移動に代わって、海盆中での全地球的テクトニクス的"活動"の大半は中生代のジュラ紀と白亜紀に生じたと King は以下のように主張した:

・大陸の分裂と移動は中期ジュラ紀と後期白亜紀のそれぞれの2つの時期があり、それに続いて前期新生代の大半の時期に構造運動が起きないで広範囲の平坦化作用一陸上での削剥と海洋での堆積作用一が起きた。前期新生代中にインド-オーストラリア-南極大陸地塊のみが広範囲に移動した。後期漸新世か

ら前期中新世にかけて構造運動は (局部的な移動のみを伴って)全地球的規模で再開し、少なくとも更新世まで強まった (広範囲にわたって同時に無活動の間隙を伴った). (120-121)

- ・幾人かの研究者は海盆の堆積物中に構造運動の明瞭な欠如に注目し、非常に広大な範囲にわたってこのような水平性が対流による拡大の概念と確かに調和しないことに気がついた。現在の海洋地域のほとんどがこの時代にすでに存在していたことを示すかのように白亜紀の堆積物の広がりは大変広大である。言い換えるならば、ゴンドワナ古陸の後期中生代の分裂に引き続いて南方の大陸が大変急速に分散し、新生代には相対的にほとんど移動しなかった。(80)
- ・岩石中の地磁気逆転パターンの研究から議論は海洋 底ゆっくりとした拡大がなめらかに継続したとい う結論に一般的に導いてきた. けれども, 地質学的 記録は "発作的に"短いテクトニクスの出来事とそ の後に続く相対的無活動の長い中断の一つである. (79)
- ・海洋底拡大とプレートテクトニクスが流行の概念に なると、続いてすぐに大陸移動が受け入れられた. そして大陸移動はすでに地質学的データによって立 証されていた. しかし, du Toit [1937] に続いて地 質学者は大陸移動を後期中生代のテクトニクスの活 動、これは挿話的活動であるがそれと関連させるこ とに対して用心深くなっていた. ネオテクトニクス 研究者はこの点を無視し、 プレートテクトニクスを 側方の変化の一般的で連続した過程として考えた. 彼等は幾つかの海洋において水平方向の平均速度, 過去1億年間の平均を主張している. 地質学にお いて、時間は長くそしてテクトニクスの平均はほと んど意味がない. テクトニクス上の出来事(垂直と 水平の両方)は挿話的であり、全地球的に広がるこ とはまれではなく、陸上での広範囲な平坦化作用と 海盆での広大な堆積作用が起きた長く静かな中断を 伴った. (120) [下線は強調のため加筆]

もし、狭義の海洋底拡大が機能しないならば、これは事実のように思えるが、それなら、海洋の拡大は別の地質学的過程によって引き起こされたに違いない。もちろん、King はこの必要条件を認めており、本ニュースレターの読者には大変なじみ深いであろう過程に頼った。

非常に重要なことに玄武岩質の下部地殻の性質がある.大陸の動きと同時の台地玄武岩の広範な分布によって示されているように、これは大陸の分裂と漂流の大半が起きた後期中生代の間に潜在的に噴出しやすかった.玄武岩質の下部地殻のタイプは大陸と海盆の下に同じように普遍的に存在する.同位体と微量元素の証拠は、ときどき斑れい岩複合岩体層とかんらん岩質岩石層を伴った下部地殻が上に重なる上部マントルの部分溶融の産物に起源をもつことを示している.しかし、まだある.この上部マントルは高温で低粘性の始原的揮発物

を十分に含んでおり、それは溶解物に驚くほどの 可動性と活力を与える。(74-75).

大きな堆積トラフと盆地が前もって形成されていたゴンドワナ古陸の中生代の分裂の記載、King は次のように書いている:

超大陸が沈降したので、上方に伸びる引張性割れ目が落ち込みつつある地殻の基底に生じたであろう。上部マントルの強力なマグマが揮発物と共にその上に存在する超大陸の地殻中に大規模に侵入し始めるのにこれらは利用されたであろう。そして広範囲での貫入活動(適当な岩石層(頁岩)へのシルの貫入)は落ち込みつつある地殻を逆動させ、代わりに超大陸の基底と表面の両方においてドーム運動が始まった…… ゴンドワナ古陸の地殻は浮き上がったマントルをむさぼるように取り込むようになり、そして新しいドーム運動は一組の遠心力(一部は重力)のもとにおかれたため、外側(または前方)に向かって傾いているドーム縁辺地域は飛びちるようにバラバラになるように準備された……

結局,中期ジュラ紀にマグマは表面に達したため,ブラジル,南アフリカ,インド及び南極大陸において台地玄武岩の莫大な洪水を前面に注いで数100km²の面積を覆った.これが分裂の瞬間であった......

この後、現在南にある大陸はそれら自身のものの上にいる。各娘大陸はゴンドワナ古陸の城壁を構成していた褶曲山脈の主要な縁を引き継ぎ、それぞれは移動方向の前方に向かって傾斜しており、それぞれの運動力を補わなければならなかった......

各大陸は浮上したマントルのクッションの上に あったので、それらは浮かんでいた。力のみなも とは最終的には弱まってしまうと考えられたよう だが、ロケットのように動力が供給された各大陸 でもって始まった。その後の力の大波は前期白亜 紀(ブラジルと南アフリカ)と後期白亜紀から始新 世(インド)において台地玄武岩のさらなる流出に よって示される。そして、推進力は白亜紀末に消 えた……しかし、取り残された南方の陸塊からは新 生代の漂流を示す有無を言わせない地質学的証拠 は今もってなく、ただその場での垂直な変位のみ がある。新生代の地殻下の対流あるいは海洋底拡 大のオーソドックスな地質学的証拠は確かにない。

ゴンドワナ古陸の分裂と中期ジュラ紀の明瞭な漂流,後期白亜紀と中新世の一時的な漂流そしてそれらの間の安定した静かな中断からなるその破片の遠心性離散に伴われる現象は、構造地質学者が果たさなければならない規定を作る. それは北大西洋の開口よりも壮大な問題である. この開口は

不相応なほどの注目を受けている。(89-91)[強調 のため下線を加筆]

ゴンドワナ古陸をバラバラにした地質過程という King の 考 え は, Beloussov (1992), Rezanov (2003), Storetvedt (2003, 2010) 及びその他によって本ニュー スレターやその他の場所で発表された"新固定論"の構 造運動モデルと多くの類似性をもっている. 地球はかつ てシアル (大陸) 地殻によって完全に取り囲まれ、そし て海盆は後古生代のものであることで膨張モデルと新固 定論モデルは一致している. さらに、大陸はマントル深 くの根まで固定されおり、そのため常に大体同じ場所に 在り続け, 揮発物に富むマントル物質が弱帯に沿って大 陸地殼基底部中に侵入したことによって海盆が作られた ということも彼等は一致している. とはいえ、膨張して いる地球表面のいろいろな陸塊の下でマントルは膨張し ているので、陸塊は地球上で垂直方向に (平面図内で水 平に)変位するようになったという点で膨張は新固定論 とは異なっており、従って海盆の発展に関してもまた異 なっている.

プレートテクトニクスと同じく, 新固定論モデルは一 定の大きさの地球を仮定している. しかし, プレート テクトニクスとは違って,新固定論モデルは海盆形成 の近似の原因として大陸地殻の"大洋化"を考えている (Beloussov, 1992). これらのモデルによると、大洋化は 古い地向斜 (縁海)から外側に向かって側方に広がって いる. 古い地向斜は漸進的な様式での引張性断層活動, 薄化,玄武岩質火成活動(塩基性化作用)及び地殻下の 非積層化作用によって最後には大陸地殻を海盆に変化さ せる. この漸進的な様式は水平方向への伝播という点で は海洋底拡大と類似しているが、地殻の変位がまったく ないから完全に異なっている.

逆に, King (1983) に基づく膨張モデルは, マントルが 膨張して地表に露出したので、古い超大陸のいろいろな "浮遊した"残物の間に新しい海洋地殻が形成されたこ とを想像している. 従って, 大陸の陸塊は, その縁辺部 を除いて大部分は大洋化作用の影響を表面上はうけてい ない. 縁辺では、狭い縁海(弱帯)は広がりそして広大 な地球規模の大洋へと進化した. 膨張する地球表面の地 殻―地殻のすべて―の根本的な構造運動の動きは放射状 に外側に向かう動きと発散する半径上の上方に向かう動 きであるので、"浮遊した"大陸はそれらのマントルの 根に固定され続けた(図1). バラバラに引き裂かれ、大 洋化している古い大陸地殻の破片は、同じく放射状に外 側と上方に向かって運ばれ、従ってその場所で新しい海 洋玄武岩と混ざり合ったことは驚くことではないであろ う. たとえば、インド洋のマダガスカルとセーシェル、 中部大西洋の St. Peter-Paul Rocks (James, 1997), 北大 西洋の Jan Mayan Ridge (Yano et al., 2009), 世界中の 無数の海底台地、及びすべての海洋からドレッジで採集 されたきた沢山の大陸の岩石である (Vasiliev and Yano, 2007).

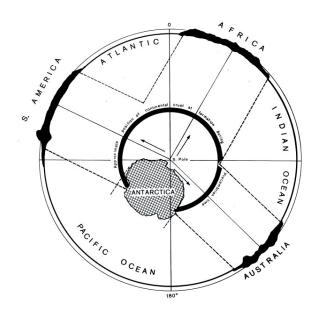


図1膨張している地球上で現在南にある大陸と海盆. 大陸地殻 の最初の大きさは極太線で描かれた内側の円弧である. 大陸移動 は発散する半径上での大陸の垂直な上昇と大きくなる円周上での 大陸間の距離が増加することによって示される. 地球が膨張す る間に大陸地殻の地域は拡大しないので、表面の増加はくさび形 になる海洋地域において引き受けられる. 海盆形成のおおよそ の順序は以下の通りである: (1) 太平洋, (2) インド洋, (3) 大西 洋. 南アメリカとアフリカは赤道部分から引き寄せられているが, オーストラリアは南緯 15° にある. 平面では南極大陸は現在の 位置近くに示される. (図と説明文は King,1983の図 31 からの

King に基づくこの代理のモデルにおいて、膨張テクトニ クスは海洋底拡大と離婚し,大洋化作用と結婚したが, しかしその結婚は自分自身の言葉だけとはるかに狭い意 味において行われた、実際に、この膨張モデルは、どう やってそしてなぜ大洋化作用は第一の場所において引き 起こされたのかを説明している. 地球は膨張したので-地球規模でマントル内で鉱物相変化を確かに伴ったに違 いない―大陸地殻は薄化し、あるいは側方で古い地向斜 に直角に伸びた. そして古い地向斜では新しい海盆が作 られることが始まった. 大陸地殻のこのような伸張, あ るいは側方への拡大は最初の内はいろいろな形態を持っ たであろう. すなわち, 地表近くでの地溝 - 地塁, 低角 のリストリック断層及び脆い変形 (断層角礫岩とガウ ジ),同じく大陸地殻のより深く、より高温で、より塑 性的水準における延性的変形 (マイロナイト, 片岩と片 麻岩)である. 薄化は大陸地殻を弱くし, 地塊断層運動 は揮発物質に富むマントル物質が高角断層に沿ってある いは単に岩石中の割れ目や節理を通っての貫入するため の通り道を提供し(たとえば、平行岩脈、オフィオライ ト及び一般に玄武岩の火成活動), そして陸上での"暗 黒色火山岩"と海底での枕状玄武岩によって表面が覆わ れる. 最後には、古い地殻の塊、裂片あるいは破片をあ ちらこちらに取り残したままで、広範囲に及ぶ洪水玄武 岩は海盆中に残されていた大陸の岩石の大半を埋めてし まった―その場所において.

北アメリカ南西部は地殻の伸張, 薄化及び火成活動の劇

的な証拠を提供しており、生まれかかった先海洋ステー ジかもしれない. それは Basin and Range 地域であり (Dickinson, 2006; 図 2), 地溝 - 地塁, リストリック状で 低角のデタッチメント断層*1,マイロナイト(図3,4) 及び変成コアコンプレックス*2(Coney, 1980;図4)のよ うな 無数の伸張性構造によって特徴づけられている;リ オグランデ地溝 (Wilson et al., 2005; 図 2) では, 大陸 は "タフィー^{*3} のように伸ばされている" (Hill, 2005); 北アメリカ山系中心部のイエローストーンカルデラ(図 2, 5) とスネークリバー平原 (図 2, 6) では, 地殻は極 めて薄くなっており、上部マントルは地表の大変近くに ある (Christiansen et al., 2010; 図 5); コロンビアリバー 洪水玄武岩は地球上で最大のものの一つである (Bryan et al., 2010; 図 2). 盆地 - 山脈の全伸張は 50% から 300% までの範囲にあると推定されている (Liu and Shen, 1998、及びそれに関する引用あり).

*1: 断層・褶曲で変形した上盤と変形を被っていない下盤と の境界をなす低角度の断層. (地学事典より)

*2:大陸ないし島弧内の張力場で,薄化した地殻上層に地殻 下層の変成岩・火成岩層がドーム~背斜状の上昇したも の.(地学事典より)

*3:砂糖とバターなどを煮詰めて作った一種のキャンディー.

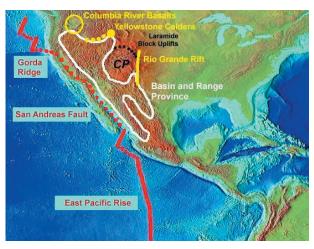


図2 北アメリカ南西部の白線で囲った Basin and Range 地域と 本文中で述べており黄色で示したその他の新第三紀の構造の地理 学的背景. この地域は東太平洋海嶺が大陸に接近しているところ の北側である. 図中の "Laramide" の文字の左側で "Yellowstone" の文字 "ll" と文字 "s" の下に僅かにみえる Big Horn Mountains と Black Hills に注目. これらは逆断層で境された先カンブリア代の 結晶質基盤からなる隆起部であり、さらに南の黒点線に沿っての Wind River Range と Laramie Mountains と同じである. これら のブロック状隆起体はララミー造山運動すなわち "深部での圧縮 性の出来事"と関連している. この造山運動は後期白亜紀から古 第三紀にかけて起きて、カナダからメキシコまで広がっていた. "大変深くに発達した衝上断層によって地殻全体が褶曲し、壊さ れている" (Coney, 1978). アメリカ西部の偶像的な地形 (たとえ ば、モニュメントバレー、The Arches*4、Zion*5、グランドキャ ニオン [図 7], など) であるコロラド台地 (文字 "CP" で示す) 丁 度この構造運動の大混乱の中央にある. この地形は地殻が安定し ている紛れもなく島であり, 周りを取り囲んでいる新生代の地殻 変動の作用をほとんど受けていない.

*4: ユタ州のコロラド川西岸地域にある国立公園. 橋状の大規模な天然アーチがある.

*5: ユタ州南西部のコロラド川支流の峡谷を中心にした国立公園.

膨張テクトニクスによれば、基本的な構造運動は垂直方向と放射状に外側に向かっている。これらの新生代伸張性構造と火成活動の構造は大陸地殻が地球の増加した表面に順応するための単なる手段である。そして、もし膨張が続いていれば(あるいは再び始まっていれば)、それらは大規模で主に玄武岩からなる海盆の発達、または多分膨張の有無に関係なく海洋化による太平洋海盆の東方への拡大の前兆であろう(Carey, 1976と Storetvedt, 2003を参照せよ)。

意義深いことに、Basin and Range 地域はまさに東太平洋海嶺の線上にあり、従って北アメリカの地下でのその構造の北方への連続であろう(図2). プレートテクトニクス理論はこれを否定して、代わりにトランスフォーム断層すなわちサンアンドレアス断層がこの"拡大中心"を西に変位させており、そして西海岸沖の Gorda 海嶺とJuan de Fuca 海嶺に続くと言い張っている.

プレートテクトニクス論者は北アメリカ南西部の新生代 地質を収斂性の沈込み帯という背景において一般的に解 釈している (Dickinson, 2006). 盆地 - 山脈の地形とその 他の伸張性構造は、ララミー変動中の後期白亜紀から古 第三紀にかけて発達した厚く、重力的に不安定な地殻の

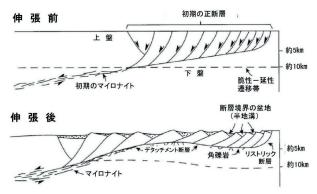


図3 地殻の伸張前後の盆地 - 山脈の地質の模式的断面図:正断層,リストリック断層,低角デタッチメント断層,覆瓦状の断層ブロック,及び脆性 - 延性遷移帯近くのマイロナイト. Michaelsen を修正.

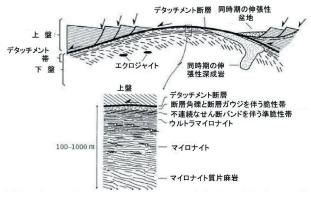


図 4 地表に露出したデタッチメント断層と変成岩の基盤を伴う変成コアコンプレックスの模式断面図. この伸張モデルの基盤露頭はララミー型とは著しく異なっている. ララミー型は圧縮を示す逆断層系のブッロク断層を伴う. 多くの場所での変成コアコンプレックスの発達は後ララミーの伸張の始まりの印である(Coney, 1987).

縁飾りの崩壊によるものと、少なくとも最初は考えられる (Coney, 1987; Lie and Shen, 1998 参照せよ). そして、この変動は北アメリカ山系全体において生じた. し

かしながら、プレート論者は沈み込み論に助けを求めて、どのようにして、なぜララミー変動が最も近い活動的縁辺域から約1,000km内陸側で起きたことを相当難

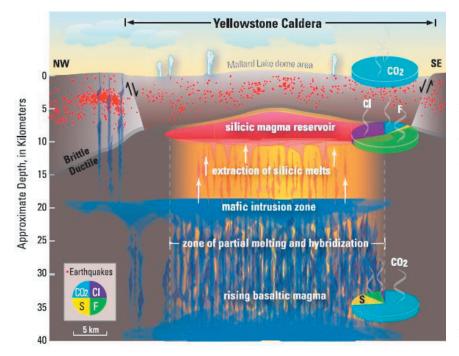


図5 イエローストーンカルデラ下の地殻 の模式断面図 [引用部を含む]. 赤点は地 震の震央を示す. 珪長質マグマ溜まりは過 去 210 万年間にわたる火山活動の大半の 原因であり、マントル由来の玄武岩によっ て侵略された中・下部地殻の上に在る. 珪 長質マグマは地殻の溶融物と苦鉄質マグマ が冷却し鉱物を晶出した残りの溶液との混 成物である. マグマは復活したドームにお いて地表のごく近く (深さ 5-7km)まで上 昇している. 図中の円グラフはイエロース トーン熱水系から放出される揮発物の相対 的な多さ(上部)とイエローストーン流紋 岩中に溶けている揮発物 (中部)及びホッ トスポット玄武岩中のそれ(下部)とを比 べている. CO2 に富む熱水系は地下の地殻 では玄武岩が優勢なことを反映しているよ うである (図と説明文は Lowenstern and Herwitz, 2008).

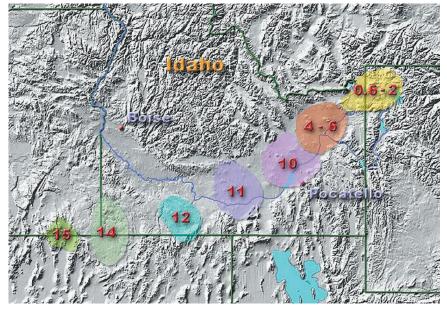


図 6 Basin and Range 地域北縁の Snake River 高原に沿っての過去 1500 万年間のイエローストーン "ホットスポット"の 軌跡 (Wikipedia: イエローストーンカルデラ). 軌跡の南側には盆地 - 山脈地形がみられるが、北側にはないことに注目せよ. 軌跡は北東への方向性をもつ(そして前進している?)構造運動の境界を暗示している.

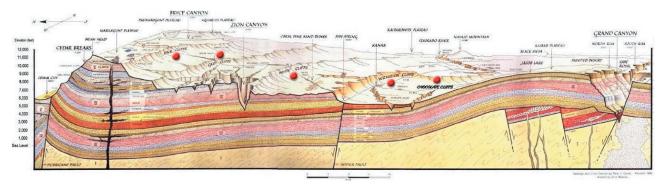


図7 コロラド高原南西地域の "The Grand Staircase" の鳥瞰的断面図 (Coney, 1985). 図の左から右 (北から南) に Cedar Breake, Bryce Canyon, Zion Canyon 及びグランドキャニオンがある. 中期原生代の基盤の上にカンブリア紀〜始新世末の (断続的な) 地層が不整合に重なる. コロラド台地を取り巻く新生代の地殻変動 (ララミー変動, Basin and Range の変動など) に関わらず、顕生代の変形がほぼ完全に欠如していることに注目せよ. *6:地名で"大階段"の意味. 国定記念物に指定されている.

しい解釈をしている。激しいララミー変動について提案されているメカニズムのどれもが、この大陸内での大陸規模の変動の形態、なぜこの時代に起きたのか、その広がりを充分に説明していない (Englisha and Johnston, 2004)。アメリカの Basin and Range とイタリア南西方の Tyrrhenian 盆地—現在地中海の地下数 km の深さにある—との間に著しい類似性がある。Tyrrhenian の伸張性盆地はかつて衝突造山運動の場であったところの厚くなった大陸地殻内に生じた (Kastens and Mascle, 1990)。

コロラド高原(図2,7)はこのような構造地質学的大混 乱に取り囲まれているが、その影響をほとんど受けな かったようであり, さらに海水準より 2~3km 高かった. このことはこのこともまた説明することが難しい. "こ のかつては安定したクラトン的な地域が新生代に高度を 増進させたのはなにか? 高原の隆起のための浮力の原 因は地殻、リソスフェアーのマントルそれともアセノス フェアーから起きたのか、あるいはこの3つの組み合 わせによるのか? なぜ,この低い高まりの高原は隆起 の間に上部地殻のかなりの歪みを免れたのか? このこ とは周囲のロッキー山脈、リオグランデ地溝及び Basin and Range 地域の高い起伏をもつ地形において大変はっ きりしている新生代の地表の変形とは対称的である." (Flowers, 2010). これらの問題は未解決のままである. 北アメリカ南西部は地球上で最も魅力的で、解きがたく そして重要な地質の幾つかをもっており、それ故に綿密 で徹底した研究を行う価値がある.

終わりに、新固定モデルのすべてでなければそのほと んどは本ニュースレターに提起されており、海盆の形 成は本質的には中生代の現象であるということに他の場 所で意見が一致している (たとえば、Beloussov, 1992; Rezanov, 2003; Storetvedt, 2003; Choi and Vasiliev, 2008; Storetvedt and Longhinos, 2011). しかしなが ら、この大変に重要な地史学的事実は極めて概略的な説 明は除いてこれらのモデルによって説明されないままで あり、従って彼等によれば単なる偶然の出来事にすぎな い. しかし, もし King が正しければ, その後での広大 な海盆の突然で空前の創造は中生代における急激な地球 の膨張の直接的で必然的な結果である. この膨張は以前 に小さな地球を覆っていた超大陸を壊し、残った大陸間 の空間を満たすために必然的に何かを必要とした―たと えば、若いマントル起源の玄武岩が古い大陸地殻のかけ らと混合することなど―. その理由は、残った大陸は3 次元の地球上では垂直にそして 2 次元の地図上では水平 方向に変位されたからである. 自然は空虚を嫌う.

もっぱら海洋底拡大の欠点に基づいた地球膨張を拒絶した Foster 博士は、赤ん坊を風呂の水とともに投げ出した。従って、彼が彼の過ちを考え直し、新鮮な目で膨張仮説をみることを私は彼に勧めている。それはたとえば King (1983) に基づいた膨張による構造運動の代わりとなるもの、Vine-Matthews と海洋底拡大を避けたものそして地殻の薄化と海洋化作用を包含するものである。

文 献

- Beloussov, V.V., 1992. Endogenic regimes and the evolution of the tectonosphere. In, Chatterjee, S., and Hotton, N., III (eds.), New Concepts in Global Tectonics, Lubbock, Texas Tech University Press, p. 411-420.
- Bryan, S.E., Peate, I.U., Deate, D.W., Self, S., Jerram, D.A. and Mayby, M.R., 2010. The largest volcanic eruptions on Earth. Earth-Science Reviews, v. 102, p. 207-229.
- Carey, S.W., 1976. The Expanding Earth. Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Co, 488p.
- 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. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 46, p. 28-34.
- Christiansen, R.L., Foulger, G.R. and Evans, J.R., 2002. Upper-mantle origin of the Yellowstone hotspot. Geological Society of America Bulletin, v. 114, 1245-1256.
- Coney, P.J., 1978. The plate tectonic setting of southeastern Arizona. In, New Mexico Geol. Soc. Guidebook, 29th Field Conf., Land of Cochise, p. 285-289.
- Coney, P.J., 1980. Cordilleran metamorphic core complexes. In Crittenden, M.D., Coney, P.J. and Davis, G.H. (eds.), Cordilleran Metamorphic Core Complexes, Boulder, GSA Memoir 153, p. 7–34.
- Coney, P.J., 1985. The Grand Staircase. Artwork by Dick Beasley. Wikipedia: Grand Staircase.
- Coney, P.J., 1987. The regional tectonic setting and possible causes of Cenozoic extension in the North American Cordillera. In Coward, M.P., Dewey, J.P. and Hancock, P.L. (eds.), Continental extensional tectonics. Geological Society, London, Special Publications, v. 28, p. 177-186.
- Dickinson, W.R., 2006. Geotectonic evolution of the Great Basin. Geosphere, v. 2, no. 7, p. 353–368.
- Du Toit, A.L, 1937. Our Wandering Continents: An Hypothesis of Continental Drifting. Westport, Conn., Greenwood Press, 366n.
- English, J.M and Johnston, S.T., 2004. The Laramide Orogeny: What were the driving forces? International Geology Review, v. 46, p. 833–838.
- Erickson, W.C., 1988. Ever since Wegener: A brief history of the expanding Earth hypothesis. http://www.frontier-knowledge.com/earth/papers/Ever%20since%20Wegener. pdf.
- Flowers, R.M., 2010. The enigmatic rise of the Colorado Plateau, Geology, v. 38, 671-672.
- Foster, S., 2012. Mea culpa: The Earth is not expanding but the continents are not moving either. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, v. 63, p. 82-86.
- Heirtzler, J. R., Dickson, G. O., Herron, E. M., Pittman III, W. C. and LePichon, X., 1968, Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals, and motions of the ocean floor and continents. Jour. Geophys. Res., v. 73, p. 2119-2136.
- Hill, K., 2005. The Rio Grande Rift: A Continent "Stretched

- Like Taffy". http://www.nmt.edu/news/all-news/96-2005/2787-23feb02g.
- James, P., 1997. A synthesis of major objections to mobile plate tectonics. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 2, p. 6-12.
- Kastens, K. and Mascle, J., 1990. The geological evolution of the Tyrrhenian Sea: An introduction to the scientific results of ODP leg 1071, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, v.17, p. 3-26.
- King, L.C., 1983. Wandering Continents and Spreading Sea Floors on an Expanding Earth. Chichester, John Wiley & Sons, 232p.
- Lakatos, I., 1970, Falsification and the methodology of scientific research programmes. In, Lakatos, I. and Musgrave, A. (eds), Criticism and the Growth of Knowledge. Cambridge, Cambridge University Press, p. 91-196.
- Liu, M. and Shen, Y., 1998. Crustal collapse, mantle upwelling, and Cenozoic extension in the North American Cordillera, Tectonics, v. 17, p. 311-321.
- Lowenstern, J.B. and Hurwitz, S., 2008. Monitoring a supervolcano in repose: heat and volatile flux at the Yellowstone Caldera, Elements, v. 4, p. 35-40.
- Maxlow, J., 2005. Terra Non Firma Earth: Plate Tectonics Is a Myth. Perth, Terrella Press, 156p.
- Michaelsen, J., Date unknown. Basin and Range (Transierra) region physical geography. http://www.geog.ucsb.edu/~joel/g148_f09/readings/basin_range/basin_range.html.
- Owen, H.G., 1983. Atlas of Continental Displacement, 200

- Million Years to the Present. Cambridge, Cambridge University Press, 159p.
- Rezanov, I.A., 2003. Geologic history of continents and oceans. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 26, p. 3-8.
- Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics. Bergen, Fagbokforlaget, 397p.
- Storetvedt, 2010. Falling plate tectonics Rising new paradigm: Salient historical facts and the current situation. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 55, p. 4-33.
- Storetvedt, K.M. and Longhinos, B., 2011. Evolution of the North Atlantic: Paradigm shift in the offing. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 59, p. 9-48.
- Vasiliev, B.I. and Yano, T., 2007. Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 43, p. 3-17.
- Vine, F.J. and Matthews, D.H., 1963. Magnetic anomalies over ocean ridges. Nature, v. 199, p. 947-949.
- Wilson, D., Aster, R., West, M., Ni, J., Grand, S., Gao, W., Baldridge, W.S., Semken, S. and Patel, P., 2005. Lithospheric structure of the Rio Grande rift. Nature, v. 433, p. 851-855.
- Yano, T., Choi, D.R., Gavrilov, A.A., Miyagi, S. and Vasiliev, B.I., 2009. Ancient and continental rocks in the Atlantic Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 53, p. 4-37.

Erickson のコメントへの回答 Reply to the Erickson comment

Steven FOSTER hero5.premiere@blueyonder.co.uk 13 Chislehurst Close, Maidstone, Kent, United Kingdom (矢野 孝雄[訳])

あなたは、私のエッセイを正しく読まれた. しかし、私 は言葉足らずであったために、地球膨張という考え方を 変更した理由を十分には説明できず、また、私が考慮し た証拠のすべてを紹介することもできなかった. そのた め、2012年3月に私がGeoscientist 誌編集委員の1人 に宛てた1通の手紙のコピーをここに添付する. この手 紙では、海洋底拡大が無効であると私が考えた証拠をよ り詳しく記述している. これによって、地球膨張のすべ ての学説を反証すると私が考えていることを, あなたは 正しく推論された. 地球膨張学説には, 故 L.C. King 氏 の説も含まれているが、それについて私は今まで知らな かった. 著者のそれに関する簡明な説明に感謝する. 私 は地球膨張が海洋底拡大によってのみ説明されうるとは 決して考えていないが、膨張を説明しようとするために 仮設されたあらゆる作用とそれを支持するのに使われた 証拠に深刻な疑念をいだいている. 私の学生たちにいつ も語ってきたとおり、いかなる地球膨張学説においても それは大きな問題であり、大きな弱点であると私は考え ている.

King 氏の仮説の欠点は海洋の拡大と山脈の形成を説明しようとした氏の試みにある、と私は思っている.

海洋の拡大

King 氏の著書が、今日よりもさらに海洋底地質に関する知識に乏しい (DSDP 報告書に記録されたデータの詳細な取り扱いがなされていない) 時代に著されたこと、そして、Wegener、Holmes および du Toit によるさまざまな大陸地質の間の対比に対する Meyerhoff and Meyerhoff の重要な批判に気がついていなかったか、あるいはそれを無視していたことを、私は理解している。その当時、米国海軍作製の重要な海底地形図を一般の人々が入手することはできず、また、断裂帯や断層に関する次のような重要な情報も提供されていなかった。すなわち、断裂帯や断層が、海洋底から大陸を横断してふたたび海洋底へと連続していて、それは、海洋の起源と歴史に関するいかなる学説にもとりいれられ、説明されなければならない、という情報である。私は、パンゲアの復元が有効に機能するとして北米と西アフリカを接合させようとす

る試みに対して、Hayes-Oceanographer 断裂帯が反証になることについて論述した。東アジアへ連続する北西太平洋の大規模な中生代堆積盆地の存在とともに、日本、ジャワ、その他の海溝の下に存在する厚く、造構運動によって撹乱されていない堆積層も考慮されなくてはならない。もちろん、King 氏は、著述当時にこれらの重要な事実は報告されていなかったので、それらを知る由もなかった。しかし、今日では、私たちはそれらを考慮しなくてはならず、それは、私が行おうとしていることがらである。いかなる地球膨張説も、これらの現象をきちんと説明することはできない。大陸の岩石だけを研究していたのでは、海洋底の地質史を理解することはできないだろう。調査船「ちきゅう」が展開しているような系統的な深海掘削によって得られるような、さまざまな側面からの深海底データが必要である。

ともあれ、Beloussov とその弟子たちは、プレート学説や地球膨張説よりも、より正確で有効な海洋起源説―海洋盆と海水の主要部分は中生代~第三紀のものであること―を提案したというのが私の熟考した意見である。地球表層の水の量は地質時代とともに著しく変化し、地球は今日、過去のいかなる時代よりもより多くの水を保持していて、海洋底に存在する"ブラックスモーカー"や"ホワイトスモーカー"を通じて依然として水の放出(脱ガス)がつづいている。この場合、広く受け容れられている斉一主義は適用できず、パンサラッサは、それらを満たす海洋水がなかったために存在しなかった。

山脈の形成

あなたは、いくつかの大陸の縁辺に存在する山脈の起源に関する次の試論を引用している。「それ以降、現在の南半球の大陸は、それらの自らの位置に存在していた。それぞれの娘大陸には、ゴンドワナ大陸の周縁にめぐらされた塁壁の一部を形成していた褶曲山脈の前縁部が遺っていて、それぞれは移動方向へむかって傾動して、自らの運動力を供給しなければならなかった」(L. C. King)

この考え方は、Kingにとっては新しいものではなかっ た:他の多くの人々(Wegenerを含む)は、とくに太平 洋周辺の褶曲山脈の分布を説明する同様の学説を提示し ていたが、その弱点は、たとえば内陸部の山脈のような 大陸縁には存在しない山脈の起源, あるいは, 地球の他 の場所に存在するより古期の褶曲山脈の存在を説明でき ないことにある. King は、大陸縁に位置していない山脈 からの証拠をすべて無視していた時期に、側方変位(漂 移)によって若い褶曲山地の隆起を説明しようと試み た. 大陸縁に位置していない山脈が、大陸縁の山脈と同 時に時々の隆起をしてきた多くの証拠, ならびに, 中生 代および彼が提案した地球膨張時相よりも古期の南米ア ンデスと北米西部コルディレラで造構活動が起こった証 拠がある. 褶曲山脈は局所的な地殻短縮と圧縮の産物で あるとの議論を展開する Geike たちを踏襲する学派の研 究者は、ダイアピル貫入岩体によって火山岩 - 堆積岩厚 層が時々に隆起することを重要な証拠とみなす. Occam のカミソリ (確実な道具ではないことが公認されている が、それにもかかわらず有用なもの)を使うと、地球の 限られた領域における中生代以降の造山帯における学説 を, そして地球の残りの領域には別の学説を適用するよ りも、褶曲山脈を説明する単一の包括的学説を受容する ことが私たちに強いられる. ベンガル海底扇状地も問題 である. この海底扇状地は、現在のデータからみる限り、 白亜紀に形成されはじめ、それ以降ずっと成長しつづけ ている. 地殻膨張は、世界中の他の多くの大規模海底扇 状地と同様に、ベンガル海底扇状地にその痕跡を確実に 遺しているだろう. 膨張説では、海洋底の急速な隆起・ 沈降,とくに海洋底の広大な範囲における最近(すなわ ち,中期中新世以降)の相対的沈降,そして,とくに海 溝における相対的沈降を説明する明瞭な証拠が考慮され ていないようだ.

中生代に始まった海洋化作用は、この仮説によっては 説明されないで残っている"単なる偶然的できごと"で あった、とあなたは記述している. なぜ地球膨張が中生 代になって突然に発生したのか、King も何ら説明でき なかったと私は考える. Maxlow は連続的な地球膨張に 関する議論を行っているが、それがなぜ起こりつづける のか、彼もまた信頼に足る説明を行っていない. 膨張の 原因を明らかにしようとする Carey の試み (Theories of the Earth and Universe という著書に記述されている)は、 ビッグバン学説の産物である膨張宇宙という、より巨大 な考え方にかかわっている. 私は宇宙物理学的研究に触 れたいとは思わないが、ビッグバン学説は物質科学では なく、まさに数学物理分野に含まれると考えうる. あな たの批判に応えるとすれば、地球は、時間とともに不可 逆的変化を被る複雑な進化を遂げつつある熱 - 化学的シ ステムであり、これらの作用が働く速度は時間とともに 変化することは、他の研究者たちによってすでに解明さ れている. 中生代以降の海洋化作用とそれに付随する大 量の水の脱ガスは、海洋化の多くの結果のうちの1つで ある. 海洋化作用は、この惑星の進化史において現在の 変化状態を決定しているので、比較的新しい現象である といえる. 私たちは、惑星内部の運動のほとんどを知ら ず, また, 先中生代史についてはあまりにも多くを理解 していない状況であるため、それ以上のことについては ほとんど言及することができない.

この惑星の大規模な地形の起源を説明しようとするいかなる試みも、主要な問題からそれてしまうことになる.というのは、含まれている多くの作用についても、また、それが機能する時間スケールについても、私たちは理解できていないからである.これは、故 S.J. Gould が進化について記述したとおり、私たちはテープを巻き戻すことも、それを再生することもできないために一同じことは地球史にもあてはまる一、やむなく推測にたよらざるえないことを意味する.しかしながら、私たちは、PT 学説や他の学説の信奉者が行ったように局所的詳細から全地球的規模を推測することなく、現実的で体系的

な地球学説によって, できるだけ多くのことがらを説明 することが必要である. 私は、あなたのコメントを歓迎 する. というのは、それらのコメントが PT の枠内に入 らない議論や思考―これらは、私のエッセイの本来の目 的である―を醸成するからである. このような目的は, Geoscientist の編集委員会によってもみ消された. 編集委 員たちは、いかにせよ、そのような議論が起こるのをさ またげたい、あるいは、選ばれてアカデミーの殿堂の崇 められた入口を入った 2,3 名の委員の中にそれを留め たいと思っているようだ. 私たちがこのような議論を行 うことができなくなると、私たちは死霊科学と弁明研究 に陥ってしまう. 新しい知識を発見し、よりよい理解を うるという試みに代わって、私たちは、既知のことがら を単に確認したり、あるいは、私たちの理解が多かれ少 なかれ暫定的であることを自認したくないという段階に 止まってしまう. つづいて, 理性的疑念が排除され, 教 義に置き換えられる. 膨張地球説の弱点が何であろうと も、それらは少なくとも異なった思考や観点を示すもの であり、そのため、それらを学術的議論の一部として私 は歓迎する.

文 献

Carey, S.W., 1988. Theories of the Earth and Universe. Stanford Univ. Press.

- Choi, D.R., 1998. Geology of the southeast Pacific, parts 1-3, New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 7, p. 11-15; no. 8, p. 8-13; no. 9, p. 12-14.
- Choi, D.R., 1999: Geology of East Pacific: Middle America Trench, New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 12, p. 10-16.
- Choi, D.R., 2000: Subduction does not exist from seismic data interpretation. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 15, p. 9-14.
- Choi, D.R., 2006: Where is the subduction under the Indonesian Arc? New Concepts in Global Tectonics Newsletter, No. 39, p 2-11.
- Meyerhoff, A.A. and Meyerhoff, H.A., 1972. The new global tectonics: major inconsistencies. Am. Assoc. Petrol.Geol. Bull., v. 56, p. 269-336.
- Ollier, C. and Pain, C.F., 2000. The Origin of Mountains. Psychology Press.
- Shepard, F.P. and Dill, R.F., 1966. Submarine Canyons and other Sea Valleys, Rand McNally.
- Smoot, N.C., 1989. North Atlantic fracture-zone distribution and patterns by multi-beam sonar. Geology, v. 17, p. 1119-1122
- Smoot, N.C., 2010. Global tectonics: an ocean floor structure and age reality check. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 56, p. 9-31.

Pavlenkova の流体回転モデルへのコメント Comment on Pavlenkova's fluid-rotation model David PRATT dp@davidpratt.info

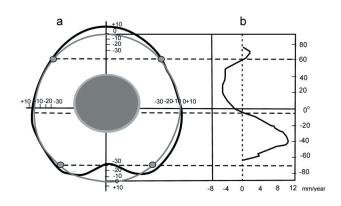
(矢野 孝雄[訳])

Pavlenkova, N.I., "The Earth's degassing, rotation and expansion as sources of global tectonics". NCGT Newsletter, no. 63, p. 49-71, 2012.

Nina Pavlenkova は、地球テクトニクスに関する彼女の流体回転モデル論文において、地球の南半球が中生代に膨張しはじめたことを議論している。Karsten Storetvedtは、すでにこの仮説のいくつかの問題をとりあげた(NCGT 63, p. 94-105)。膨張説の主張を評価する1つの簡単な方法は、地球の実際の規模を検討することである。Pavlenkova は、南半球が「北半球に比べて膨張する」ことの証拠として彼女の図12(下に再録)を提示した。それによると、地球はきわめてわずかながら洋梨状の形態を示すという。南半球における半径の増大は10m以上になることはなく、赤道半径に示される地球の膨らみの約1/2,000にすぎない。これは南緯45°の緯度円でちょうど45mの増加に相当し、海洋中央海嶺の起源を説明するにはきわめて不十分である。

図 12 によると、現在の南半球における膨張速度は約5mm/年である。もしこの状態が200万年にわたって持続したとすると、南半球の緯度円は、北半球に比べて1,000kmほど長くなるだろう。これのようなことが起こりえないのは明白で、南半球における現在の膨張および北半球の部分的収縮は、永続的に一定方向へ進行する現象ではない。

私はこの課題について Nina Pavlenkova に問題提起を行い、彼女は次のように回答した (2011年6月17日):「私は、今のところ、地球膨張について何かを言うことはできず、図12をそのような評価に使うことは不可能であると考える.」 南半球の膨張は、地球の真の形状を維持するために、地球全体の膨張を呼び起こすことになった. 膨張速度は海洋中央海嶺の幅にもとづいて評価されうるかもしれないが、私たちはそれらの拡大速度を知らないので、そのような評価は困難である.



Storetvedt 氏と Pratt 氏からのコメントに応える Reply to the comments by Storetvedt and Pratt

Nina I. PAVLENKOVA ninapav@ifz.mail.ru Institute of Physics of the Earth RAN, Moscow, Russia

(小坂 共栄[訳])

まえがき

NCGTニュースレター no.63 における論説 "The Earth's degassing, rotation and expansion as sources of global tectonics" (Pavlenkova, 2012) で、私は global tectonics に関する一つのモデルを提起した。その論説に対しては、同時に Storetvedt 氏からのいくつかの重要なコメントも掲載された。それらのコメントは、単に私の論説に関してのみではなく、グローバルテクトニクスに関する新しい概念 (New Concept of Global Tectonics) を議論する上でもよい機会となるものである。

Karsten Storetvedt (以下, KSと略記する)氏のコメントは、二つの主要な部分に分けられる。その一つは、私の論説では触れていない地質学的データについてかなりの部分を割いている。それらは確かに重要なことではあるが、すでに KS 氏や他の研究者によって述べられていることでもあるので、ここでそれらを繰り返すことはしない。他のもう一つの重要なコメントは"Nina Pavlenkova(NP)のモデルに対しては、それを否定する地質学的・地球物理学的な一連のデータがある"というものである。また彼の最後の結論"彼女は、驚くことに自己の論説が新しい global theory の完全バージョンだとみなしている。彼女が提起した新しいモデルは真の科学的理論にとっては何らの貢献もしない"も重要である。

私は、自己の theory(他の研究者の新しい考えも同様だ と思うが)が完全無欠の科学的理論であるとは考えてい ない.一般に、地球の起源やその造構史的などんなモデ ルも、それを構築する上で十分なデータが得られている わけではない. 私は "fluid-rotation model (流体 - 回転モ デル)"という、一つの可能性あるモデルを提起したの である. そのモデルでは、地質構造の主要な発達過程の 原因と結果の間に, 地球規模での構造上の関係があると 述べている. このモデルの提起の主たる目的は、global tectonics に関して未解決の問題に関しての議論を巻き 起こすこと、またそれによってより良い結論を見つけ出 すことにある. その意味で KS 氏は、この NCGT ニュー スレター上で議論を提起してくれたわけであり、新しい global tectonics を構築したいと願っている NCGT に加 わっている多くの科学者にとっては好ましく, 肯定的に 受け止められることであろう.

地球の global な構造に関するいかなる理論でも、地質学的・地球物理学的なデータと矛盾していてはならない.

私のモデルは、地球の構造に関する以下のような重要な 問題に答えることにある.

- (1) 大陸と海洋は、どのようにして形成されたのか?
- (2) 南半球における中央海嶺が、軸の両側でなぜ対称的なシステムを示しているのか? その起源は何なのか?
- (3) 太平洋縁辺での特別な特徴,たとえばどこも共通して地震帯となっていることの起源は何なのか?
- (4) グローバルな運動の主要なエネルギー源は何なのか?

私の提唱したモデルが、このような疑問にどのように答えているか、また私の論説が KS 氏が言うように地質学的データと矛盾しているか否かについて述べてみたい.

大陸と海洋の形成に関する問題

plate tectonics 説, 地球膨張説, Storetvedt 氏の wrench tectonics 説, これら3つの global tectonics 説は, いず れも大陸地殻が最初は地球規模の大きくて結晶質な被 覆層から生まれたと考えているが、その後の海洋の形 成過程に関する考えがそれぞれ異なっている. すなわ ち plate tectonics 説は拡大と沈み込み過程 (spreadingsubduction process) という考え、地球膨張説では沈み 込みなしの拡大という考え (Scalera and Jacob, 2003), wrench tectonics 説では大陸地殻の化学的遷移という考 え (Storetvedt, 2003) などである. plate tectonics 説が, 地質学的データと合致していないということはすでに証 明されているようなもので、NCGTの読者のみなさんに は、そのことをあえてここで繰り返す必要もないことで あろう. すべての海洋が地球の膨張の結果だとする考 え(地球膨張説)もまた、それが地球の歴史上で短期間 に二度もその半径が大きくなったとする点で疑わしい. Storetvedt(2003, 2011) は、海洋の生成に関してこれら とは異なった次のようなプロセスを考えている. すなわ ち "海洋地殻が、初生的状態の大陸地殻が化学的に変化 したものと考えることにさしたる努力はいらない. 地殻 物質から生じた sub-crustal なエクロジャイトは、その 周囲のマントルよりも密度が高いため、上部マントル内 のより深部へと沈んでゆく. そのような下部地殻物質の エクロジャイトへの置換や浸食が次第に上方へ進行する ことによって、モホ面自体が上方へ移動する. その結果、 地殻そのものが次第にアイソスタティックに沈降し,海 洋盆が生まれるのである".

私は、地殻物質のエクロジャイト化に関する Storetvedt 氏のこのようなすぐれた記述に感謝したい. 私は、こ

図 1a 地殻のタイプ

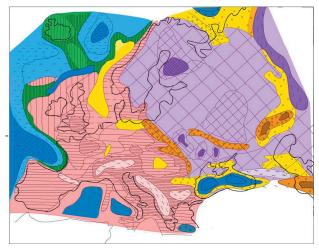


図 1b ヨーロッパと北大西洋の地殻のタイプ分け.カラーシンボルは図 1a を参照.

のことに関してはこれまで、Artushkov et al. (1980)、Frolova et al. (1992)、Perchuk (1987) などのロシア研究者の論説しか知らなかった。また、私はこれまで自分の論文の中で、大陸地殻下部のエクロジャイト化作用や塩基性化作用が、特に大陸縁辺部での地殻の薄化や深い堆積盆の形成にとって重要であることを繰り返し述べてきた。KS 氏は、私が"大陸地殻がしばしば大陸縁辺部に向かって薄くなっている事実"、"大陸的な性格が、海洋部では深部へ続いているという事実"などを述べているように結論付けているが、それは全くの誤りである。

たとえば、私は Pavlenkova (2006)で、地殻構造がユーラシア大陸内部から大陸縁辺部~海洋へ向かって次第に変化していることを地震のデータが示していると述べている。図 1a・図 1b では、この地域の地殻構造の 4つのタイプが示されている (Beloussov and Pavlenkova, 1984). この図に示されている地殻の三つの基本的な層とは、地震波速度が 5.8-6.4km/s の上部地殻 (あるいは花こう岩質層)、6.5-6.7km/s の中部地殻、6.8-7.2km/sの下部地殻または塩基性地殻である。地殻は、厚さが場所によって違い、またそれは上部地殻の厚さの違いでもある。この 3層の厚さが、それぞれ 10-15km の厚さ

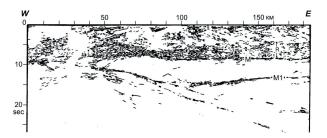


図 2 ヨーロッパ大陸の北西縁で得られた地震 CDP 速度断面 (Synder, 1991). M はモホ面境界. M1 は私の提起した古モホ面境界.

を有するのが continental type である. このことは,大 陸内部では共通してみられる特徴である. ヨーロッパ 大陸西部の地殻は、一般的な大陸地殻より薄い. ここ での地殻の薄化は海洋に向かって連続的である. 典型 的な海洋地殻は 5-7km の厚さで、平均的な地震波速度 ~6.5km/s の microcontinents 地域では, 地殻の厚さは約 10-20km, 地震波速度 6.5-7.0km/s (suboceanic crust と言ってもよい) であるか、地震波速度 6.0-6.4km/s の 薄い花こう岩質層からなる subcontinental clust からなっ ている. Iceland-Faeroe Ridge, Vöring Plateaus, Rockall Ridge などの大西洋北部が、そのような特徴を典型的に 有している. 大西洋中央海嶺上にある Iceland でさえ, 地殻の厚さは25kmにも達している(Pavlenkova and Zverev, 1981). 大西洋北部での深海掘削データは、海洋 の広い領域がかつて浅い海に覆われていたことを示して いる (Rudich, 1990). そのデータは、大西洋北部地域が 急速に沈降する前には大陸地殻を有していたことを示し ている.

北海の震探断面 (図 2) もまた、ヨーロッパ大陸西部の地殻の薄化を明確なものにしている。深さ 40km にみられる M1 境界、それはユーラシア大陸内部におけるモホ面であるが、それは古いモホ面である。

私 は、これまで South Caspian, South Barents, Kuril Basin などの深い堆積盆においては、厚い花こう岩質地 殻が wedge out によって薄くなって suboceanic crust になっていると強調してきた. そこでは、モホ面の残存物 (Moho relict: doubble Moho) がみられるのである (Pavlenkova, 1995).

しかし同時に、これら北部大西洋地域の事例は、大陸地 殻の崩壊過程でさまざまに厚さの異なる複雑な構造の海 洋地殻がつくられるプロセスがあることを示している。 このような構造は、太平洋の西部でも認められるが、そ の主部では地殻の厚さが一様で、薄い海洋地殻で特徴づ けられている。

図3(これはNCGTに掲載した私の論文の図7の引用)は、 大西洋南部の震探-重力探査断面である (Pavlenkova et al., 1993). ここでは、地殻の厚さが 1,000km にもわたって一様な厚さで広がっている. 厚い地殻が複雑な薄化作用の過程で、どうしてこんなに一様な厚さの単純な地殻

になったのだろうか?

Storetvedt 氏は、この問題に関する答えを上部マントル内に低速度層レンズ (またはアセノスフェアレンズ)が存在することに求めている。彼は、リソスフェアの流動物質の供給ルートとして中央海嶺を考え、そこでの subcrustal エクロジャイトの形成や葉片状の sub-crustal 物質の蛇紋岩化 (serpentinization) によって低速度のアセノスフェアが存在することをよく説明できるとした。しかし、図3の震探-重力断面はこの説明とはうまく合致しない。エクロジャイトの地震波速度は、8.0-8.1km/s で

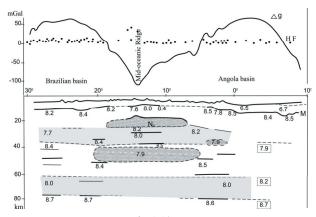


図 3 Angola-Brazil 間 の 地 震 断 面 (Pavlenkova et al., 1993). Ag: 重力異常, HF: 熱流量. この図中の数値は地震波速度 (km/s). 網掛け部分は低速度帯. 実線は地震波速度の境界. このデータは, 中央海嶺の下に何層かの低速度帯が存在すること, 中央海嶺部分が2つの高い重力異常帯の境界部になっていることを示している. この構造は, そこが深部での流体の移動部分にあたっていることを示している.

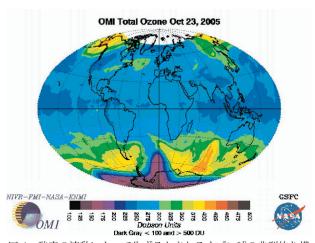


図4 酸素の流動によって生ずるとされるオゾン球の典型的な構造 (Syvorotkin, 私信). この図は、酸素の流動が南半球で特に強いことを示している.

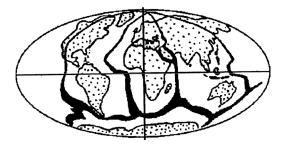


図 5 地球の脱ガス化作用によるリフトシステム (Syvorotkin, 2002).

ある. Angola basin の最上部マントルの速度は 8.5km/s もある. このような速い速度構造は、主要鉱物としてオリビンからなる最上部マントルの不均質な性質を示している.

Angola basin の2つの震探断面では、そのような地震波速度の不均質性が確実に認められている (Zverev et al., 1996). 従って、この地域では上部マントルがエクロジャイトからなるという提案を支持する事実はないのである. しかもまた、一般に海洋域での低速度帯というのは中央海嶺の下にのみ確認されている.

KS 氏の考えにもとづくと、初期の厚い地殻というのは海 嶺下にのみ存在していたことになるわけであり、Angola basin 下の地殻はそれとは別のものということになり、 それはまた奇妙な話となってしまう.

他のもう一つの重要な論点. それは下部地殻の塩基性岩がエクロジャイト化することは可能であるが, 上部地殻の酸性岩のエクロジャイト化というのは不可能であるという点である. とはいえ, このエクロジャイト化というプロセスが, マントルを300kmもの深さに根をもつ大陸地殻に変えるという明白な事実もないのである.

海洋地殻の形成様式は、大陸地殻の薄化という様式だけ ではないという考えを、なぜ私が提唱したかの理由はこ こにある. 大陸地殻の伸長に伴うリフティングというこ ともまた重要なことである. また私は、大陸地殻が地 球表層部のすべてを変えたものではないことを述べた. Lutz (1980) によれば、大陸地殻は深部の流体部でマント ル物質が飽和状態に達することで、そこから形成される とされる. 流動化したマントル物質の断片は、相当量の 地殻物質を生み、そのことが Proterozoic という時代の誕 生に関係した (Lutz, 1994). 大陸地域の古地磁気データ から、地殻物質をこのような期間に生み出す流体物質の 存在するエリアは南半球だとされる. 現在の海洋(主に 太平洋地域)地域では、そのような流体物質の動きは微 弱である. KS氏はこう述べている. "太平洋が二分でき ることは、この海洋の表層部の地域的な特徴からであり、 NPでは述べられていない". このことは、太平洋西部で は東部よりも流体物質の流れが高いと説明されている.

Dupal 異常もこのような説明とは矛盾しない. KS 氏は、このことに関して次のように述べている. "Dupal 異常は、実際の異常とはちがう. これは初生的な地殻が海洋的な地殻モードへ化学-物理学的に遷移することとみなすべきである". 私のモデルでは、海洋は大陸地殻的部分を大なり小なり持っており、まったくそれを持っていない海洋はない. それらの大陸地殻の遷移が Dupal Anomalies を生んでいるのである.

Storetvedt 氏 は, 私 の 提 案 が CMB (core-mantle boundary) の構造に関するトモグラフィの実験データと 矛盾していると述べている. 彼は "CMB に関して Morelli

図 6 大西洋縁辺部における trappean formation の時代と地質構造. I:南部, II:北部, III:parts(?). 1:ソレアイト玄武岩, 2:塩基性貫入岩を伴う堆積物, 3:アルカリ岩.

and Dziewonski, 1987) は、CMB が直立した地域があることを示している。それは CMB の海洋地域への反映だ"と述べている。また、"CMB の上昇部は、大規模な地球物理的活動域であるとともに脱ガス作用の激しい地域でもある。このことは、活動度の低い地域で CMB が低位 (深部) の部分は脱ガス作用の低いことに対応し、陸塊部分にあたることを意味する"と述べている。このような彼の結論は、CMB の最高値を示す部分が地殻の薄い海洋地域にあたるとする私のモデルには合致していないのである。地球の脱ガス作用によって、現在の地球表層部の流れが、オゾン球の形を壊していることが示されている。

オゾン球の特徴は、脱ガス作用を起こした主たる地域が 南半球であったことを示している(図4). 海洋域での大 規模な CMB の上昇は、より小さな海洋の形によって補 償されるとの簡単な説明もある.

大洋にける中央海嶺と環太平洋の規則的な形

流体 - 回転モデルという私のグローバルテクトニクスは、大洋の中央海嶺が南半球の大規模な膨張を伴った地球膨張の結果であると主張している。KS 氏は"南半球の膨張という考えは、南極大陸から北へ延びる中央海嶺の形成に依拠している。しかし、この2つのことがらは結びつかない"と述べている。しかし、地質学的データによれば、大西洋中央海嶺は明らかに大西洋縁辺の南の大陸縁から始まって北へ向かって延びている。そしてそれは ridge system という規則的な形をとっている (図5). このことは、他のことで説明できないような難しいことだろうか。KS 氏はこのことを無視しているが、こうも述べている。"つまるところ、現実的に有効なグローバルテクトニクスというものは、それによって地球表層部に形成されている地質学的な現象をうまく作り上げられるものでなければならない"。

私はこの結論に賛成である. 私のモデルの主たる目的も, 中央海嶺のグローバルで規則的な形や地震の環を説明す ることにある. これらの事実を KS 氏は重要視していない.

南半球の膨張に関するデータ(私の論説の図12や、そ

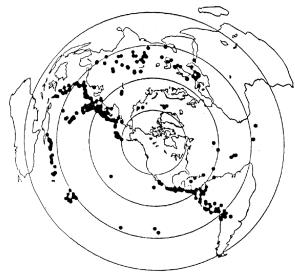


図7 太平洋と Alpine-Himalaya 帯という二つのグローバルな地 震帯のリング (Wilson, 1954).

れに対する Pratt 氏のコメントなどを参照のこと)もまた、そのことが可能だということを示すものである.とはいっても、私は Pratt 氏の言う "これらのデータは、過去の引張ということまでを説明するために使えるものではない"との結論にも同意する.どんな方法によっても、膨張の速度を見積もることは不可能なのである.上にあげたことがら、すなわちすべての海洋が地球膨張の結果であるとの膨張説は信用しがたい.また、中央海嶺の幅を膨張の速度の計算に用いることもできない.なぜなら、それは単なる局地的な膨張の結果に過ぎないのであるから.そうであっても、そのことが地球膨張を否定する理由になるわけではない.

Pratt 氏は、私のモデルでは、半球の膨張の原因を説明できていないと述べている。私の説では、地球という造構球体の形成について3つの基本的なステージがあるとしている。Archean-Proterozoicにおける古地磁気データにもとづけば、いくつかの大陸が南半球に存在していた。厚い大陸性リソスフェアが南半球に形成されたことで不均衡が生じた結果、古生代になると第2のステージに入る。核の周囲のマントルの回転の開始と、それに伴って大陸の集中する南半球の陸の北への移動が起こった。この陸の北への移動自体が地球の重心の不安定化を生み、南半球の膨張と中央海嶺の形成という第3のステージへと進んだのである。

私の流体 - 回転モデルでは、中生代における南半球の大規模な膨張の原因をこのように説明している。このモデルの優位性は、造構球体である地球の発展の原因にかかわる各ステージ間の関係を示していることにある.

グローバルテクトニクスに関する他の説が述べていないことの1つに、太平洋の特殊な構造がある。太平洋は、その周囲にリング状に深いベニオフ帯をもっている。また、このリングは他の Alpine-Himalaya 帯と交叉している(図7)。これらのリングの形も地球の膨張の結果と考

える理由の1つである. KS 氏の "これらのリング状のベニオフ帯が島弧内に入り込んでいる" という言葉自体は、このリング構造の重要性を否定するものではない.

太平洋を、地球規模の主要な構造と考える他のもう1つの理由は、この大洋を取り巻く負の重力異常帯の存在である(Choi and Pavlenkova, 2009). この負の異常帯は地球を全く異なる二つの領域に分けている. すなわち、1つは地形的に低まり海洋地殻をもった大洋であり、他の1つは地形的に高まり厚い大陸性地殻を持った大陸である. それらはそれぞれ異なった地史をもっている.

エネルギーの主要な源:地球の脱ガスと回転

すでに述べたように、私の流体 - 回転モデルは地球規模 の脱ガス作用や深部での流体移動など、大規模な地球物 理的な力が重要な役割を担っていると考えている.

Storetvedt 氏も、造構的には流体が重要な役割を担うということに同意している。しかし、その役割についての述べ方は不十分である。彼は"核の密度欠損は広く受け入れられている。そのためには、酸素のような軽い物質の大きな塊の存在が必要だ"、"しかし、核に軽い物質がある程度の大きさで存在し、一方で重い放射性物質がその外側にリムをつくるような造構過程が考えられるだろうか?"と述べている。これは重要な疑問である(Storetvedt, 2011を参照)。

実験データーによれば、酸素は"核内での軽い成分ではなく、核のPT条件下では大きな密度を持っている(Larin, 1995). 地球の核のような部分では、物質はH-, He-, 金属などと混合した高い密度の固体状態で存在している. それが核から分離するとH-, He やほかの化学物質とともに次第に分解していく(Gilat and Vol, 2005). このことは、電気化学的あるいは核物理学的法則でうまく説明できる(Krivitsky, 2003). この観点でみると、大陸地殻中に大量の放射性物質が存在することはKS氏の言うような問題ではなくなる.

私は、KS 氏の論文の中に、流体論に対してそれを一部受け入れる部分があることを喜んでいる。それは例えば"地球が温度的に2つの部分、すなわち深部の冷たい部分、逆に外側の熱い部分に分けられることを信ずるに足る十分な理由がある (Storetvedt, 2011)"である。

地球が温度的に対照的な断面を有するという提案は、シベリア地域の上部マントルについての地震波速度断面がそれを示している。熱流量の高い部分での地震波速度は、200-300kmの深さ部分でのそれより高い (Pavlenkova, 2011).

脱ガス以外の重要なエネルギー源は、地球そのものの回転による外部からのエネルギーである. グローバルテクトニクスにおけるこの役割については前述したとおりで

ある.

私の理論では、地球の回転についての重要なデータの多くを扱っていないことは認めたい。たとえば、このことについて KS 氏はこう述べている。"NP 氏の、コア周辺でのマントルの回転仮説に関して言えば、彼女はコア周辺でのマントルの回転が不均質に起こると述べているが、これに関しての彼女の説明は何もない"。これに関しては、私は次の論文でロシアの科学者のより詳細なデータを用いて述べてみたい。

結 論

私の提起した流体 - 回転モデルでは、他の説ではまれにしか扱われていない地球の外側のグローバルないくつかの要素について述べている.Storetvedt 氏の論説内では、彼が私の説を可能性ある考えとして論じている部分を残念ながら私は見つけていない.私のモデルでは、地球表層部の地質学的状況を説明している KS 氏の wrenchtectonics と対立するものではない.KS 氏は、彼のコメント内でも wrench tectonics について語っており、それらは多くの地質学的課題を解決する上で極めて有益な考えである.

流体 - 回転モデルでまだ検討されていない問題は、中生代という短い期間に形成された海洋の起源のことである。 KS 氏は"白亜紀初期,地球の表面の海洋と大陸の2つの側面は現在よりももっと均一であった"と述べている。この問題はもっと検討されなければならない。このことに関して私が思うところ、厚い大陸地殻は南半球でそれが形成される間はアイソスタティックに均衡を保っていた。その均衡は、それが北半球へ移動してからは破られ軽いブロックは上昇しはじめたのであろう。

一般的にいえば、どんな仮説であれ有用である。なぜならそれは別の新しい考えの弱点を指摘するものだからである。もっと有益なのは、その問題に関してより良い結論を提起している場合である。KS氏の重要なコメントは、地球の構造形成に関しての第2のオーダーのことがらに関係している。彼は、中央海嶺の規則的なシステムの起源については何も述べていない。太平洋の固有な構造についてもしかりである。それらの議論がこれまで述べてきたようなグローバルテクトニクスに関するより良いモデルづくりの刺激になればうれしい限りである。Storetvedt 氏の論述は厳しいが、また一方では粗雑である。しかし彼がこの議論をオープンにしてくれたことは大変にうれしい。なぜなら、NCGTの主要な目的は、新しい概念を創造することにあり、それはさまざまな分野の科学者らの共同作業によってのみ可能だからである。

文 献

Artushkov, E.B., Shlesinger, A.E. and Yanshin, A.L., 1980. The origin of vertical crustal movements within lithospheric

- plates. In, Bally, A.V. (Ed.), Geodynamics of Plate Interiors. Am. Geophys. Union., Geodyn. ser., 1, p. 37-51.
- Choi, D.R. and Pavlenkova, N.I., 2009. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 5. Outer low gravity belt of the Great Pacific Ring structure. NCGT Newsletter, no. 50, p. 46-54.
- Beloussov, V.V. and Pavlenkova, N.I., 1984. Types of the Earths crust of Europe. Jour. of Geodyn., v 1, p. 3-14.
- Frolova, T.I., Perchuk, L.L. and Burjakova, I.A., 1992. Magmatism and transformation of active areas of the Earth's crust. Oxford & IBH Publishing CO.PVT.LTD., New Delhi, 271p.
- Gilat, A. and Vol, A., 2005. Primordial hydrogen-helium degassing, an overlooked major energy source for internal terrestrial processes. HAIT Journal of Science and Engineering B, v. 2, Issues 1-2, p. 125-167
- Krivitsky, V.A., 2003. Nuclear dissociation of chemical elements in the geochemical history of the Earth's evolution. Geoinformatika, no. 1, p. 42-50 (In Russian).
- Larin, V.N., 1995. Hypothesis of the original hydride Earth (new global conception). Moscow, Nedra. 101p. (In Russian)
- Lutz, B.G., 1994. Magmatic geotectonics and the problems of the Earth's continental and oceanic crust formation. Regional geology and Metallogeny, no. 3, p. 5-14.
- Makarenko, G.F., 1997. Periodicity of the basalts, biocrisis and structure symmetry of the Earth. Geoinfornmark, Moscow, 96p. (In Russian)
- Pavlenkova, N.I., 1995. Double Moho in the Dnieper-Donets basin. C.R. Acad.Sci. Paris (Academie des Sciences). T. 321. Serie 11a, p. 85-93.
- Pavlenkova, N.I., 1996. Crust and upper mantle structure in Northern Eurasia from seismic data. In, Dmowska, R. and Saltzmann, B., eds., Advances in Geophysics, Academic Press, Inc., v. 37, p. 1-134.
- Pavlenkova, N.I., 2005. Fluids-rotation conception of global geodynamics. Bull. Soc. Geol. It., Volume Speciale, n. 5, p. 9-22.
- Pavlenkova, N.I. 2011. Seismic structure of the upper mantle along the long-range PNE profiles rheological implication. Tectonophysics, v. 508, p. 85-95.
- Pavlenkova, N.I., Pogrebitsky, Yu.E. and Romanjuk, T.V.,

- 1993. Seismic-density model of the crust and upper mantle of the South Athlantic along Angola-Brazil geotraverse. Physics of the Solid Earth, v. 10, p. 27-38.
- Pavlenkova, N.I. and Zverev, S.M., 1981. Seismic model of Iceland's Crust. Geologischau Rundschau, Band 70, p.1-6.
- Pavlenkova, N.I., 2012. The Earth's degassing, rotation and expansion as sources of the global tectonics. NCGT Newsletter, no. 63, p. 49-71.
- Pavlenkova, N.I., 2006. Structure of the Earth's crust and upper mantle from seismic data. In, Morozov, A.F., Mezhelovskii, N.V. and Pavlenkova, N.I., eds., Structure and dynamics of the Eastern Europe. Results of the EUROPROBE studies. Issue 2. Moscow, GEOKART, GEOS. p. 559-599
- Perchuk, L.L., 1987. Basification as magmatic replacement. Sketches of Physics-Chemistry Petrology, 14. Moscow, Nauka, p. 39-64
- Rudich, E.M., 1990. The world ocean without spreading. In, Barto-Kiriakidis, A., ed., Critical aspects of the plate tectonics theory. v. 2, Theophrastus Publication, S.A., Athens. p. 343-396.
- Scalera, G. and Jacob, K-H. (eds), 2003. Why expanding Earth? A book in honour of Ott Christoph Hilgenberg. Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, 465p.
- Snyder, D.B., 1991. A Caledonian age for reflections from a relic Moho in Scotland. Am. Geophys. Un. Geodyn. Ser., 22, p. 307-313
- Storetvedt, K.M., 2003. Global wrench tectonics. Fagbokforlaget. 397p.
- Storetvedt, K.M., 2011. Aspects of planetary formation and the Precambrian Earth. NCGT Newsletter, no. 59, p. 113-136.
- Syvorotkin, V.M., 2002. Deep degassing of the Earth and global catastrophes. Geoinformcentre, Moscow. 250p. (In Russian)
- Wilson, J.T., 1954. The development and structure of the crust. In, Kuiper, G.P., ed., The Earth as a planet. Chicago Univ. Press., Chicago. p. 138-214.
- Zverev, S.M., Kosminskaja, I.P. and Tulina, Yu.V., eds., 1996. Deep seismic sounding of the lithosphere along the Angola-Brazil geotraverse. Results of researches on the International geophysical projects. Moscow. Russian Academy of Science. 149p. (In Russian)

出版物 PUBLICATIONS

波動ジオダイナミクス作用の現れとしての地震 - 火山活動の移動 MIGRATION OF SEISMIC AND VOLCANIC ACTIVITY AS DISPLAY OF WAVE GEODYNAMIC PROCESS

A.V. VIKULIN¹, D.R. AKMANOVA¹, S.A. VIKULINA² and A.A. DOLGAYA¹

- 1 Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, vik@kscnet.ru
- 2 Kamchatka Branch, Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky

(矢野 孝雄・川辺 孝幸[訳])

60

編集者注: この論文は、元版 (Geodynamics & Tectonophysics, v. 3, p. 1-18, 2012) をいくぶん修正して転載された. 出版者 Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences から転載許可.

要旨:震源移動に関する出版物がレビューされる.このような研究の1つの重要な結論は,2つのタイプの回転波動によって生じる地震活動移動の波動特性を確立したことである.このような波動は,震源とさまざまな速度の伝播との間の相互作用を説明することができる.震源の長期にわたる相互作用を決定する波動は,タイプ1に分類される.それらの限界速度範囲は $1 \sim 10$ cm/s である.Bykov (2005) に記載されたこの分類にしたがうと,これらの 2 つのタイプの移動波は,低速および高速の造構波動に相当する.地球における地震(周期 > 410 万年)および火山噴火 (>1.2万年)に関するもっとも完全なデータは,筆者によって開発された方法によって統一的な系統的書式で収録・分析されている.地球上でもっとも活動的な地帯である環太平洋,アルプス - ヒマラヤ帯,および大西洋中央海嶺に関して,地震 - 火山活動の時空的分布様式が新しく解明され,これらはタイプ 1 の回転波動に該当する.地震 - 火山活動移動の波動特性が確認された.地球ダイナミクス問題を解明するための新しい研究方法が,地震 - 火山活動の移動に関するデータを用いて提案される.これは,造構的プレート境界の移動速度に関するデータを組み合わせて,本研究によって確立される.この方法は,ブロック化された地質媒体に現出し,対称的応力テンソルをもつ回転波動と相互作用する地震,火山および造構作用を総合した概念にもとづいている.そのような相互作用において,この研究で得られたデータは,力学的には衝撃に類似する地球力学値が一定であることを示唆する論拠となる.地球力学的活動の波動移動作用は,著しく非線形な運動方程式によって記述されるべきであろう.

一等三角点の改測資料によるひずみの分析データは、環状配列を伴うそれぞれの単元における脈動を示している。 キーワード:移動、波動、回転、地震活動、海山活動、地球力学、保存法則、reidity

まえがき

地震活動のもっとも重要な特性の1つは、研究者に よって古くから注目されているとおり、周期性、すなわ ち, ある特定の場所における最強の地震が一定の時間 間隔で周期的に発生することである (Davison, 1936; Ambraseys, 1970). 機器地震学の発達,全世界地震観 測網の完成, 地震マグニチュード概念の普及, 機器地 震観測用マグニチュード (Richter, 1935; Gutenberg, 1945)、および、この概念にもとづく全地球的および広 域的地震カタログの整備 (Gutenberg, Richter, 1954; Duda, 1965; Rothe, 1969) によって, 地球の地震地 理のきわめて完璧な記述が可能になった. その結果, 地震帯という概念が導入され (Morgan, 1968; Isaks, 1968), 地震帯が地球の全表面に数千 km にわたって延 びていることが明らかになった. もう1つの重要な科 学的結果は地震ギャップという学説 (Fedotov, 1966; Kelleher, 1973; Mogi, 1968b) であり、それは大規 模地震の予測にとても有効である (Fedotov, 1972; Proceedings, 1978; Sykes, 1971).

初めて作成された地震活動図において、移動現象が地震活動の1つの特性であることが明らかになった。地震帯に沿う距離l/時間tをプロットした直交座標系で、震源位置はある直線をなし、その傾斜(dl/dt=V)は震源移動速度Vを示す。大規模地震(M-8)の震源移動が初めて記述されたのは1950年代後半であり(Richter, 1958)、トルコのアナトリア断層 Anatolian fault 沿いの地震群をまとめた時のことである。1960年代後半に、茂木は太平洋全周~アルプス-ヒマラヤ帯東端におけるより小規模な地震群の移動をまとめた(Mogi, 1968a)。両者とも、地震帯に沿う地震移動速度は類似していて、V-200(170-230)であった。研究対象とされたマグニチュード範囲の震源のほぼすべてが移動経路にならんでいること

も指摘された. いいかえると、大規模地震の震源移動と いう現象は明白であるので, いかなる証明も不要であっ たのである. 機器地震学の発達, 全世界的地震観測網の 完成,機器地震観測における地震マグニチュード M 概 念の導入 (Richter, 1935; Gutenberg, 1945), この概念 にもとづく全地球的および地域的地震カタログデータの 整備 (Gutenberg, Richter, 1954; Duda, 1965; Rotle, 1969) によって、地球の地震活動の地理的分布がかな り完璧に記載された. その結果, 地震帯概念が導入さ れ (Morgan, 1968; Isaks, 1968), 地震帯 [複数]が全 地球表面に数 1,000km にわたって延びていることが明 らかになった. もう1つの重要な科学的結果は, 地震 空白域学説 (Fedotov, 1966; Kelleher, 1973; Mogi, 1968b)であり、それは大地震の予知にたいへん有効 である (Fedotov, 1972; Froceedings, 1978; Sykes, 1971).

地震特性の1つのである移動は、最初の地震活動図で明らかになった。直交座標 (地震帯に沿う距離l/時間t)でみると、震源がある直線に沿って配列し、その傾斜 (dl/dt=V) は震源移動速度 V を与える。トルコの Anatolia 断層沿いの地震群をまとめた Richter (1958) によって、1950 年代後半に、最大規模の地震 ($M \sim 8$) の震源移動が初めて記載された。1960 年代後半には、茂木 (1968a) は、環太平洋とアルプス - ヒマラヤ地震帯東端部に沿って同様なマグニチュードの地震の移動をまとめた。両方とも、地震帯に沿う地震移動速度は類似していて、 $V \approx 200(170-230)$ km/year の値であった。研究された地震規模をもつ震源のほぼすべてが、移動経路上にならんでいた。いいかえると、最大規模の地震の震源移動現象が明瞭であったために、それにはいかなる論証も必要でなかった。

1960 年代前半には、Tamrazyan、Duda 他の多くの研究者が個々の地震の震源における大きな ($M \ge 5$) 前震と余

震をまとめ、世界のすべての地域における移動現象が解明された。これらの地震の移動速度は $10 \sim 1,000$ km/year の範囲にある。1961 年には、Takaranov と Duda (Duda、1963;Duda and Bath、1963) は、カムチャツカ地震 (1952、M=9.0) とチリ地震 (1960、M=9.5) の震源縁における大きな余震位置がともにほぼ 1,000m の距離にわたって振動したことを明らかにした。その後、この現象を記述するために、境界地震活動"との用語が用いられた。地震カタログの電子データが整備された 1970 年代前半には、Keilis-Borok、Prozorov、Vilkovich、Shnirman 他によって、強い地震 ($M \ge 6$) の震源移動現象を確証した (Kasahara、1979;Tadocoro、2000 も参照). 1970 年に金森は、岩石試料の室内研究によって弾性波発生によって移動現象を記録し (Kanamori、1970)、同様の実験が他の研究者によって繰り返し行われてきた.

1975年に、Guberman は地震移動の波動性という自らの概念を公表し、D 波効果という考え方を紹介した。多くの実データの解析結果にもとづいて、地震移動の効果は全地球的現象の一部であり、地震は時空的に群を形成し、震源で解放される弾性エネルギー値によって分類されることがあることが信頼できるかたちで提示された。地震活動と多くの地球物理作用との間の関係が確立された。力学モデル (Elsasser、1969; Savage、1971; Nikolaevsky、1996) にもとづいて、地震活動が造構的プレートの運動に関係していて、そのために、地震移動の造構特性が明瞭に出現することを解明することができた。地震移動現象は地球科学において重要な位置を占め、造構波の概念に独自に関係していた。

地震移動に関する考え方の進化史と多数の文献が,詳細な総説に見いだされる (Bykov, 2005; Vikulin, 2003). 地震移動速度と地殻の緩慢な運動に関して (2003 までに) 出版されたすべてのデータが Vikulin(2003) に集大成された. 研究の現状において1つの重要な結論がBykov(2005) によって,次のように述べられた. 「地震活動が移動することは古くから認められてきたが,そのような移動の本質は依然として不明である.」

理論と実践にとって重要であると思われる波動的地震移動の研究は $1960 \sim 1970$ 年代に活発に進められたという事実にもかかわらず,この研究分野では 1980 年~ 1990 年代以降なると適切な進展がえられなかった. その原因になっているかもしれないことがらが,Vikulin(2011, p. 2003) に記述された.第 1 に,地震移動は低速度であることが特徴で,地震波速度より $3\sim 5$ 倍 (か,それ以上)も小さい.対称的応力テンソルをもつ波動方程式は,たとえ適切な非線形性を含むにしても,そのような波動特性を説明することはできない.第 2 に, 造構波(そして,地震移動)の波動特性を説明するために開発されてきたすべてのモデル(Schallamach,1971;Comninou,1977;Elsasser,1969;Savage,1971;Gershenzon,2009)は,著しく非線形性の運動方程式 (sine-Gorden,Schrodinger,その他)にもとづいている.

事実として、そのような数学的方程式は対称的応力テンソル概念にもとづいている。そのようなモデルの数学的 厳格さと多数の造構的 - 地球物理的現象を記述する能力は、私たちはこれらの方程式を物理的モデルとして認識することができない。というのは、これらのモデルに含まれるモーメントの弾性的モジュールも、そのようなモジュールに対応する速度も、これまでに経験的に決定されていないからである。さらに、地質媒体の粘性と弾性モジュール、および地殻とリソスフェアの層厚など、これらのモデルの構成パラメータの値は、まったく"曖昧な"値によって決定されている。これらの値は、常に影響が大きく、最適の場合の値とは数桁にわたって変化する。

ブッロク地質媒体という概念のもとで、地球上でもっとも活動的な太平洋帯の地震活動解析は、地震移動波問題の解明ならびに地震移動と造構 - 地震波の関係の確立のための方法に注目した (Vikulin, 2008, 2010). さまざまな研究者によって独立に行われた研究によって、"エネルギー (地震マグニチュード M)と速度 (速度の対数 LgV)"の直交座標系に表示されたさまざまなマグニチュードの太平洋帯地震の移動速度値が 50 以上求められている。これらのデータベースにもとづくと、2つのタイプの移動様式が明瞭に識別され、それらは2つの狭い領域にプロットされる。プロット領域1の地震は全地球的ひろがりを示し、太平洋周辺にのび、速度は小さい値を示す。領域2は局所的にみられ、それには、より大きな速度をもつ前震 - 余震型地震が含まれる。これら2つの領域の"傾斜"は次のように異なっている:

$$M_1 \approx 2 \text{Lg} V_1$$
, $M_2 \approx \text{Lg} V_2$

これら2つの領域の間の境界は、極端な値の全地球的移動速度にあたる (Vikulin, 2010).

$$M_{1.\text{max}} = 1-10 \text{ sm/s}$$

対称的応力テンソルをもつ回転モデルにおいて,この極限値は速度と理解される.

$$c_0 \approx [\Omega R_0 (G/\varrho)^{1/2}]^{1/2} \approx (V_R V_S)^{1/2} \sim M_{1,\text{max}}$$

ここで、 Ω : 地軸のまわりの自転角速度、 ϱ と G: 地球の密度と剪断モジュール、: 地殻 / リソスフェアブロックの特性サイズ、 V_R と V_S : 遠心および剪断地震速度.

上記方程式で求められた速度は、縦および横弾性波が、通常、の固体に固有であるのと同様に、ブロック回転媒質に固有である (Vikulin, 2008). 回転運動モデルにおける前震 - 余震震源の局所的移動速度の極限値は、弾性地震波速度 1-10 km/s である (Vikulin, 2010). この分類 (Bykov, 2008) にしたがうと、震源移動の全地球的および局所的波動は、緩慢および急速な造構波に相当する.

こうして, 太平洋縁における地震移動過程を解析するこ

とによって、私たちは、自転惑星における震源の間の相互作用を制御している 2 つのタイプの回転速度を識別することができた (Vikulin, 2008, 2010). 第 1 のタイプ (極限速度は c_0) は、全太平洋縁におけるブロック間相互作用の長期間メカニズムを説明するもので、第 2 のタイプ (極限速度は地震波速度) は個々の地震の震源における前震と余震の短期間を説明する (Vikuin, 2011). 地球力学ではよく知られている変位クリープ, 拡散クリープ, 構造的超流動,他のメカニズムが働くことなく,回転波メカニズムによって地質媒質の Rheid 特性が説明される (Vikulin, 2011, p. 384-394). 地質渦構造 (Lee, 1928; Xie Xin-sheng, 2004; Vikulin and Tveritinova, 2007)を含む地質媒質の超流動変形が " 固体物質流動 "(Corey, 1954; Leonov, 2008) とみなすことができる,というのがその意味するところである.

大規模地震の震源域における前震および余震の移動軌跡 はひどく複雑で (Vikulin, 2011, p. 109-118), それらは, 振動、すなわち、震源のざまざまな辺における活動の交 互的増大に単純化されることがしばしばである. 緯線に 沿って発生した最大規模の 1957, 1964 および 1965 年 のアリューシャン地震 $(M \approx 9)$ の震源域において、東か ら西へ向かう余震移動は、西から東へ向かう速度よりも 速く、その速度差は地球自転にかかわるドップラー効果 によって決定されている. 経線に沿う巨大 (M > 9) なチ リ地震(1960年)とスマトラ地震(2004年)の震源域 では、余震移動速度は北→南、南→北にかかわらず同じ であった (Vikulin, 2011, p. 109-118). 大規模地震の前 震および余震移動に関するこれらのデータは、地震移動 の波動性の直接的な物理学的証拠であり、とくに、惑星 極のチャンドラー動揺を説明するものである (Vikulin, 2002; Vikulin, 2011, p. 244-258).

この惑星のもっとも活動的な地震帯に例示されるように、地震の時空的分布にみられる規則性を詳細に研究すると、地震移動を波動作用として新たな質的段階において考察することができ、定量的には地震 - 造構波に関連づけることができる (Vikulin et al., 2010).

これらの得られたデータは、(地震活動と同様に)火山

活動事件は再発する傾向を示し (Gushchenko, 1985), すなわち、律動的に発生して (Ehrlich and Melekestsev, 1974; Civetta, 1970; Gilluly, 1973; Schofield, 1970) 移動し (Leonov, 1991; Sauers, 1986; Berg, 1974; Kenneth, 1986; Lonsdale, 1988), それらは, 緯度経 度によって (Gushchenko, 1983; Fedorov, 2002), ま た, 規模によって (Golitsyn, 2003; Tokarev, 1987; Hedervari, 1963; Tsuya, 1955) グループ化される. 実 際のデータは、破壊的な地震と火山活動が密接に関連し ていることの直接的証拠となる (Melekestsev, 2005; Bolt, 1977; Khain, 2008). この研究プロジェクトの目 的は,入手可能なすべてのデータにもとづいて,震源お よび火山噴火の経度方向への移動過程を、太平洋縁、ア ルプス-ヒマラヤ帯、および大西洋中央海嶺において研 究し、それらの過程を相互に関連した現象として総説す ることにある.

基礎としたデータベース

世界地震 - 火山噴火カタログから得られたデータは、特 殊目的データベースに集約され、このデータベースの書 式は Vikulin et al. (2010) に簡明に記述されている. こ のデータベースは、新しいデータによって定期的に更新 されている. それには、地震および火山活動に関する次 のようなパラメータが含まれている:期日(年月日),時 刻(時,分,秒),地震/火山の緯度経度(緯度と経度の 度表示), および深度(火山噴火の場合は0として記述). 地震のエネルギー規模はマグニチュード M で、噴火規 模はW値で表示される. W=1, 2, ..., 5, ..., 7は, 噴出物 の体積の指数 $10^{-(4-5)}$, 10^{-3} , ..., 1, ..., 10^2 km³ に相当する. 地震カタログには、この 4.1 千年間に発生した 12,725 個の地震, 2150年BC~1899年の期間の既知地震, 1900~2010年に発生した大規模地震 (M≥6) が含まれ る. 噴火カタログには、この惑星の627基の火山に関す る過去 12 千年間, すなわち, 9,650 年 BC ~ 2,010 年 の 6,850 噴火が含まれている.

カタログのデータにもとづくと、地震および火山噴火の再発曲線 (それぞれ、 $LgN=b\cdot M+a$ 、 $LgN=B\cdot W+A[N$: 件数、M、W および b、B の値: 頻度の傾斜角、a および b:定

表 1 地球力学的に活動的 な地域における地震 (b) および火山噴火 (B) の再発を示す曲線の傾き。

	Earthquakes				Eruptions			
Region	$M_{min} \div M_{max}$	ΔT, years	N	b	$W_{min} \div W_{max}$	ΔT, years	N	В
Worldwide	6 ÷ 9.5	4 160	10 495	-0.9±0.3	2 ÷ 7	11 658	6 850	0.52±0.05
Margin of the Pacific ocean	6 ÷ 9.5	1 362	8 527	-0.8±0.1	2 ÷ 7	11 658	5 877	0.53±0.05
Kamchatka Peninsula	6 ÷ 8.7	273	464	-0.8±0.2	2 ÷ 7	10 058	536	0.48 ± 0.06
Bezymianny volcano, Kamchatka Peninsula					2 ÷ 5	2 460	53	0.38±0.13
Alpine-Himalayan region	7 ÷ 9	4 160	435	-0.7±0.1	2 ÷ 7	10 490	1 600	0.57±0.05
Raung volcano, Java island					2 ÷ 5	422	65	0.55±0.09
Etna volcano, Italy					2 ÷ 5	3 508	186	0.63±0.15
Mid-Atlantic Ridge	6 ÷ 7.6	100	124	-1.2±0.1	2 ÷ 6	10 920	311	0.42±0.09
Laki volcano, Iceland					2 ÷ 6	10 234	63	0.34±0.12

凡 例 M_{\min} M_{\max} $(W_{\min}$ $W_{\max})$:M(W) の最小値 / 最大値, ΔT :カタログの時間軸,N:カタログに含まれる件数.

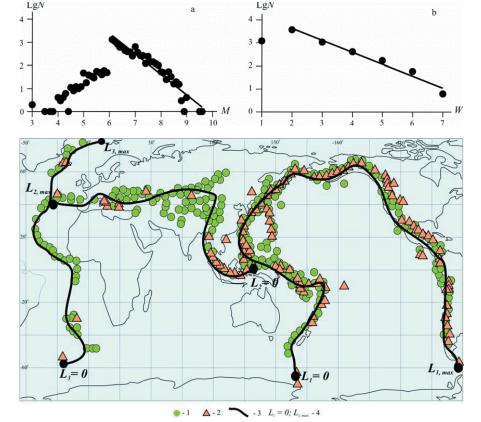


図 1 地震 (a) と火山噴火 (b) の再発曲線. N: 地震および火山噴火の数.

図 2 この惑星の活動帯、1:震源、2:噴火した火山、3:活動帯の軸線で、地震-火山座標の計算基準、4:活動帯末端 (L_i =0; L_i , max). (i=1:太平洋縁、i=2:アルプス-ヒマラヤ帯、i=3:大西洋中央海嶺)、

数で、数値は地震および火山噴火の正規化値]) を描くことができる(図1). この惑星のさまざまな地域における再発曲線の傾斜角が表 1 に示され、さまざまな地球力学場の領域では地震過程 $(M \ge 6)$ は再発曲線の傾斜角の違いによって特徴づけられることを示す.実際、太平洋縁とアルプス - ヒマラヤ帯の圧縮領域では、傾斜角は類似していて、 $b=-(0.7\div0.8)\pm0.1$ であるが、大西洋中央海嶺の"拡大"領域では傾斜角は著しく小さく、 $b=-1.2\pm0.1$ である.この惑星の地震再発曲線の平均傾斜角は, $b=-0.9\pm0.3$ である.

 $W \ge 2$ の代表的範囲では、世界のさまざまな地域における火山噴火の再発を示す曲線の傾斜角は、統計的にはあまり相違しない.一般に、多くの噴火 (N>50) を経験した領域と個々の火山において、傾斜角は $B=-0.5\pm0.1$ となる.研究対象となった 3 つの地帯のすべてにおいて火山噴火の再発を示す曲線を考慮すると、本質的に"拡大域"であるこれらの地帯における地球力学条件が均一であるために、傾斜角は一定である.

この研究で得られたデータは、火山噴火再発則の存在 に関する結論 (Tokarev, 1991; Golitsyn, 2003; Hedervari, 1963; Tsuya, 1955) を確証する。この法則は、地震マグニチュードMが個々の噴火、噴火群、あるいは一般的な火山作用に固有のエネルギーとみなされうるのと同様に、火山噴火が、その規模、すなわちパラメータWによって分類されることを実際に示唆するものである。

研究方法

集合体と考えられる地震および火山事件は、すなわち、かなり狭く ($\Lambda=100\sim200$ km) 長い地帯 (最大長 L_{max} は数ダースの 10^3 km になる) に沿ってちらばって発生する、というたいへん顕著な特徴を示す。そして、このような地帯は、惑星全体にわたってのびている。 事件の時空的分布の研究において、これらの地帯 ($L_{max}>>\Lambda$) のそのような形状は、3 軸 (緯度、経度および時刻) にかわって2 軸を使って平面上での表現を可能にする。その軸は地帯の長さに沿う距離 $l(0 \le l \le L_{max})$ と時刻 $t(0 \le t \le T_{max})$ であり、 $T_{ea,er,max}$ は地震 (ea) と火山噴火 (er) の最大持続時間カタログである。

この研究では、事件の地理的座標を線に沿う距離lに変換するために、次の方法が使われる。地理的経度・緯度に関するカタログデータは、事件のセット (新しい座標lを用いた)に変換され、そして、事件セットは空間 (0 $\leq l \leq L_{max}$)—時間 (0 $\leq t \leq T_{max}$) 表示された移動として表現され、事件の時系列、すなわち移動軌跡として復元される。この惑星におけるもっとも活動的な3つの地帯—太平洋縁、アルプス-ヒマラヤ帯、および大西洋中央海嶺帯—が研究される。震央、火山および座標線lが図2に示されている。

軸線 l は、それに沿って地震および火山活動の移動が研究される線で、節点系 (the system of nodal points) を記入することによって構成される。世界海洋の統合津波データベース (WinITDB) ソフトウェア (Babailov et al., 2008) は、節点列を求め、地震および / あるいは火山を示す地図における研究領域を示すために使われる。節点のセットは、もっとも活動的領域 (事件の最大集中で代

表される)のために決定され、それらは典型的な場合には、造構プレートの接合線に沿う.このセットのすべての地点に対して地理座標が与えられる.

座標線lは、太平洋縁(基準点は59)、アルプス-ヒマラヤ帯(39)、大西洋中央海嶺(33)に沿って設定される。それぞれの線において、記入曲線のパラメータ方程式が得られる。

$$\begin{cases} \theta = \theta(\tau) \\ \lambda = \lambda(\tau) \end{cases} \quad \tau \in [0, N-1]$$

ここで、地理的な緯度 θ (τ)と経度 λ (τ)は cubic twice differentiable splines[立方 2 倍差分縦せん]で、N は座標線上の点の数である。始点(τ = 0)から問題の座標 θ (τ) λ (τ)までの地表沿いの距離は、次のように計算される:

$$l = R_{Sarth} \int_{0}^{s} \sqrt{\left(\frac{d\theta}{ds}\right)^{2} + \cos^{2}\theta \left(s\left(\frac{d\lambda}{ds}\right)^{2}\right)} ds \qquad (1)$$

ここで、緯度 θ と経度 λ は半径で与えられる。 $R_{\rm Earth}$: 地球の半径、 $0 \le l \le L_{\rm i,max}$: 地球で最も活動的な 3 つの地帯の延長は次のように決定される(図 2)。太平洋縁はBuckle 島火山(南極 $)L_1=0$ から Desepson 火山(南シェトランド島) $L_{1.\,max}=45,000$ km k。アルプス - ヒマラヤ帯はチモール島(インドネシア)k2=0 からアゾレス諸島k3=25,000km k5。大西洋中央海嶺は南サンドイッチ諸島(南大西洋)k3=0 からアイスランド(北大西洋)k3.k3.k4=18,600km k5=3.

個々の地帯における地震および火山事件の移動連鎖を選択するためのアルゴリズムは、次のとおりである。時刻 t_i および座標 t_i をもつカタログでt番目の事件に対して、t+1番目の事件が選択できるので、その時刻と座標は $t_{i+1} \ge t_i$ 、 $t_i+1 \ge t_i$ という条件を満足させる。移動連鎖は $M \ge M_0$ 、 $W \ge W_0$ のさまざまなエネルギー段階に応じて形成され、そのなかでの境界値は t_i+1 6 t_i 6 t_i 6 t_i 7 t_i 8 t_i 7 t_i 8 t_i 8 t_i 7 t_i 8 t_i 8 t_i 8 t_i 8 t_i 8 t_i 9 t_i 1 t_i 8 t_i 9 t_i 1 t_i 9 t_i 9 t_i 9 t_i 9 t_i 1 t_i 9

移動事件の連鎖例

最強の地震 $(M \ge 8)$ と火山噴火 $(W \ge 6)$ を、以下に紹介する。入手可能なカタログは、そのような事件を長期間にわたって収録していて、そのため、移動事件の連鎖群の間隔について総合的な情報をもたらす。

図 3 ι , 太平洋縁 ($L_{1, max}$ = 45,000km) において 18 世紀~21 世紀に発生した太平洋震源 ($M \ge 8$) の 4 つの連続的連鎖 (IX,X,XI, および XII) を示す (図 2 参照). 表 2 に示されるように、計 23 連鎖が決定されている. 図 5 に示さ

表 2 調査地域で解明された地震および火山噴火の移動過程パラメータ. 凡例 M: 地震マグニチュード, W: 噴火 'エネルギー', M_0 および W_0 : 解析データベースにおける M と W の最小値, k: 1 事件が 1 つの移動過程に含まれる場合の解明された移動過程数 (いくつかの移動過程に 1 つ,および,それと同一の事件が発生する場合には,そのようなすべての移動過程の k 値はおおよそ 10 の階乗で増加する),T: 移動過程の平均時間線 (年),L: 移動過程の平均長 (km),V: さまざまな "エネルギー"階級の地震および火山噴火の平均移動速度 (km/年),km/、km/ km/
Earthquakes										
$M \ge M_0$	k	N±ΔN	T±ΔT	L±ΔL	V±∆V					
The Pacific margin										
<i>M</i> ≥6	177	35±11	110±100	18 900±6 600	150±60					
<i>M</i> ≥6.5	113	24±8	140±130	18 800±6 500	190±40					
<i>M</i> ≥7	85	18±6	170±150	17 200±7 600	190±90					
<i>M</i> ≥7.5	52	12±3	190±170	17 700±6 600	240±90					
<i>M</i> ≥8	23	8±2	260±240	19 600±4 900	400±230					
<i>M</i> ≥8.5	7	4±1	320±370	13 300±7 800	640±500					
The Alpine-Himalayan seismic belt										
<i>M</i> ≥7	30	10±3	550±720	6 700±2 300	280±290					
<i>M</i> ≥7.2	24	9±2	520±660	7 100±2 100	160±70					
<i>M</i> ≥7.5	20	7±2	450±530	7 000±2 400	370±150					
<i>M</i> ≥7.7	15	5±1	100±90	6 800±2 100	330±160					
<i>M</i> ≥8	4	4±1	110±60	3 800±2 200	590±280					
The Mid-Atlantic Ridge										
<i>M</i> ≥6	19	6±2	40±30	5 900±2 500	340±250					
<i>M</i> ≥6.2	14	6±2	40±30	5 900±2 500	160±120					
<i>M</i> ≥6.5	8	5±1	50±20	5 100±2 600	170±130					
<i>M</i> ≥6.7	6	5±1	50±10	6 000±2 100	120±70					
<i>M</i> ≥7	5	4±0.3	50±10	4 700±1 600	90±30					
<i>M</i> ≥7.2	1	7	80	6 400	90					
Volcanic eruptions										
$W \ge W_0$	k	N±∆N	$T\pm\Delta T$	$L\pm\Delta L$	V±∆V					
The Paci	fic mar									
W≥1	110	51±17	2 150±2 790	19 900±8 400	70±50					
W≥2	103	45±16	2 280±2 890	19 400±8 900	60±40					
W≥3	56	23±9	3 490±3 370	20 300±8 300	60±80					
<i>W</i> ≥4	34	14±5	4 470±3 390	21 800±7 800	20±20					
<i>W</i> ≥5	18	9±3	5 010±3 120	22 700±9 700	13±14					
<i>W</i> ≥6	10	6±2	5 050±2 370	15 400±5 200	3±1					
		alayan sei:			,					
<i>W</i> ≥1	43	37±15	1 130±1 420	4 700±3 300	13±7					
<i>W</i> ≥2	42	31±14	1 150±1 440	4 700±3 300	11±6					
<i>W</i> ≥3	23	13±6	1 890±2 020	4 300±3 400	9±8					
<i>W</i> ≥4	10	6±2	2 750±2 860	4 300±3 400	4±3					
<i>W</i> ≥5	5	4±1	3 390±2 500	4 900±3 600	3±2					
The Mid-				1	1					
<i>W</i> ≥ <i>1</i>	12	21±12	3 360±2 840	4 200±3 500	2±2					
<i>W</i> ≥2	12	20±13	3 110±2 770	3 400±2 900	3±4					
<i>W</i> ≥3	7	16±9	4 260±2 450	6 100±3 300	1±0.5					
<i>W</i> ≥4	4	14±4	5 620±1 220	6 200±3 100	1±0.7					
<i>W</i> ≥5	2	5±1	1 690±1 560	2 700±2 100	0.30±0.01					

れるいずれの連鎖も、 $7 \sim 10$ 件の事件を含むので、十分に代表的である。平均的な連鎖パラメータ:持続期間 ΔT =150 \pm 80 年,長さ ΔL =26.5 \pm 3.4(L=38) 千マイル、および、移動速度 V=260 \pm 160km/ 年はデータ全般と調和的であり (表 2 参照)、これらの連鎖は重複しながら太平洋縁をほぼ完全に覆っている。

20世紀に発生した大西洋中央海嶺地震 $(M \ge 7)$ において、5つの連鎖 $(I \sim V)$ がみいだされた。これらの連鎖も、重複しながらこの地帯の全長を覆っている (図 4). しかし、連鎖そのものは $L_3 = 0$ へ向かって移動する傾向を示す (図 2 参照).

十分に大きな火山噴火 ($W \ge 6$) に 8 つの連続的連鎖 (表 2 に示される 10 の連鎖のうちの $I \sim VIII$) が、太平洋縁

における過去 11 千年にわたって入手可能なデータにもとづいて決定された.最初の 2 つの連鎖 (I および II) は,重なり合って,太平洋縁の主要領域 (ΔL = 22,000 \sim 25,000km; ΔT = 5.6 \sim 9.4 千年;V = 2.3 \sim 3.8km/年)をおおう.連鎖 III,IV,V および VI は,おもに北部 (ΔL = 7,600 \sim 16,000km; ΔT = 4.8 \sim 8.4 千年;V = 1.2 \sim 2.5km/年)をおおう.連鎖 VII および VIII は,それぞれ東部と南東部をおおう (ΔL = 8,800 \sim 14,000km; ΔT = 3.0 \sim 3.4 千年;V = 2.4 \sim 2.5km/年).

図3および図5は世界一長い地帯である太平洋縁 ($L_{3, max}$ = 45,000km)を示し、そのデータベースは1,400年間にわたる地震事件と11,000年にわたる火山噴火事件に関する情報を含む。この最長の地震-火山連鎖は重複しながら太平洋縁の主要部をおおう。図5に示されるように、最長の火山列よりも短いものは、長さと時間の両者においてより小さい傾向にある。しかし、火山噴火の移動速度においては顕著な違いは認められない。この連鎖に含まれる個々の事件は、それゆえに、以後の復元においては議論されない。これは、最後の連鎖の長さと持続期間

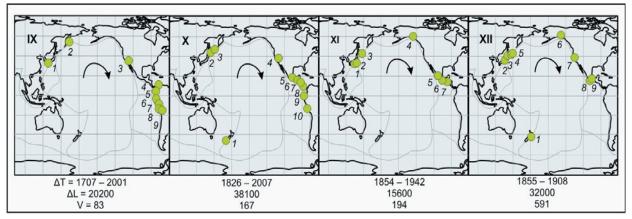


図 3 1707 ~ 2007 年の期間に発生した太平洋地震 ($M \ge 8$) 震源にみられる 4 つの連続的連鎖の配置. I = IX, X, XI, および XII: 連鎖の連続番号, i = 1 ~ 10: 連鎖する事件の連続番号, ΔT [年]= $t_2 - t_1$: 連鎖時間長 (t_1 と t_2 は, 連鎖の最初と最後の事件の時刻), ΔL [km]= $l_2 - l_1$: 連鎖の最後の事件 (l_2) と最初の事件 (l_1) の座標差としての連鎖距離, 矢印:事件連鎖における移動方向.

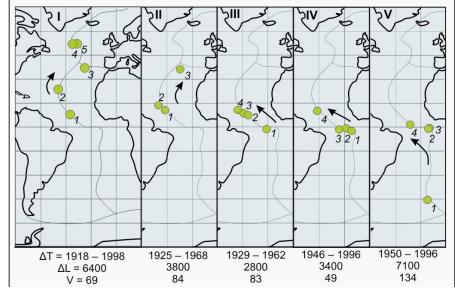


図 4 20 世紀に発生した大西洋中央 海嶺地震 (M ≥ 7) の震源位置にみられる 5 つの連鎖. 凡例は図 3 参照.

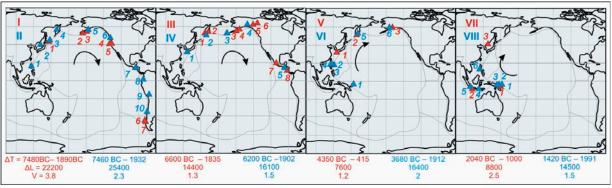


図 5 7,480 年 BC \sim 1991 年の期間に太平洋縁で発生した火山噴火 ($W \ge 6$) にみられる 8 つの連続的連鎖の位置.凡例は図 3 参照.

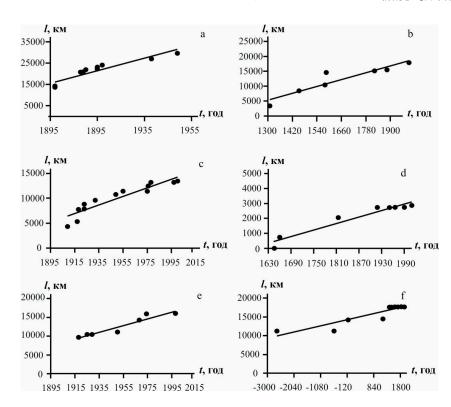


図 6 移動過程の例。 $a \cdot b$: 太平洋縁における震源 ($M \ge 8$) と火山噴火 ($W \ge 5$), $c \cdot d$: アルプス - ヒマラヤ帯における震源 ($M \ge 7$) と火山噴火 ($W \ge 4$), $e \cdot f$: 大西洋中央海嶺における震源 ($M \ge 7$.2) と火山噴火 ($W \ge 4$). 図 6 に示される過程における速度 V と線状過程 / 後退の対比係数 R_2 : それぞれ、 $V = 300, 90, 20, 7, 2 km/年,<math>R_2 = 0.88, 0.86, 0.86, 0.93, 0.90, 0.84.$

の変化と、そして $L_{1,3}$ =0 に向かう移動傾向の理由をも説明するだろう。これは、これらの地帯におけるより長い再発期間と長さの限界と同様、大規模事件カタログから先行する連鎖によってこれらの事件が打ち負かされた結果であると考えられよう。

より小規模な事件の連鎖の移動群間隔は、詳細には研究されていない、小規模な地震 (M<8) および火山 (W<6) の事件はきわめて頻繁に発生し、頻度曲線 (図1 参照) に示されるように、より小規模な事件ほどよりしばしば発生する。事件のエネルギー指標が減少するにしたがって、移動連鎖の数は増加する。しかしながら、下記の通り (表2)、連鎖の継続時間と長さには顕著な変化がみられない、小規模な事件からなる連鎖の大半は、相互に大きくかさなりあうようにして地帯全体を著しく"均一に"密に覆っているものと考えられる。

移動と地球力学的セッティング

移動の連鎖の最も典型な例は図 6 に示される。それらの地震と火山活動パラメータは表 2 に示されているが,それには,我々の初期の研究 (Akmanova,and Osipova,2007; Vikulin,2003,2010; Vikulin et al.,2010) によるデータも含まれている.

太平洋縁におけるデータと同様,表2および図6に示されたアルプス-ヒマラヤ帯と大西洋中央海嶺におけるデータは,地震と火山活動の移動が一般的に起こり,波動の形態をとる典型的な過程であることを示している.

実際,表2は,この惑星における最も活動的な地帯における地震および火山活動の移動に関するもっとも総合的

$$M = (3.7 \pm 0.6) \text{Lg}V - 1.6$$
; $M = (1.5 \pm 0.7) \text{Lg}V + 3.7$; $M = (-1.9 \pm 0.4) \text{Lg}V + 10.7$, (2 a, b, c)

$$W = (-2.3 \pm 0.3) \text{Lg}V + 7.2$$
; $W = (-3.8 \pm 1.2) \text{Lg}V + 6.6$; $W = (-2.0 \pm 2.1) \text{Lg}V + 3.6$. (2 d, e, f)

3つの地震 (2a-c) および火山 (2d-f) の関係式のそれぞれは,太平洋縁,アルプス-ヒマラヤ帯および大西洋中央海嶺に対応する. 関係式 (2a-f) は図 4a-f に,それぞれ示される. 地震 (2a-c) および火山 (2d-f) の関係式の傾斜角の決定における最小二乗法誤差は,次の範囲にある:

$$\Delta p_{MW} = 0.3 \sim 2.1 , \Delta p \approx 0.9 ,$$
 (3)

ここで、 Δp は標準偏差である.

関係式 (2a) は、太平洋縁の関係 M(LgV) が、私たちが以前に規定したように波動的性質をもつことを確定する。したがって、他のすべての関係式 (2b-f) が調査対象の 3 つの地帯における地震 - 火山活動の移動が波動的性格をもっていることが、論理的に結論されるだろう。

異なる地球力学場に位置する地帯の地震曲線の勾配 $LgV \approx pM_iM$ は,著しく異なっている.圧縮場として知られている太平洋縁 (i=1, (2a)) およびアルプス - ヒマラヤ帯 (i=2, (2a))

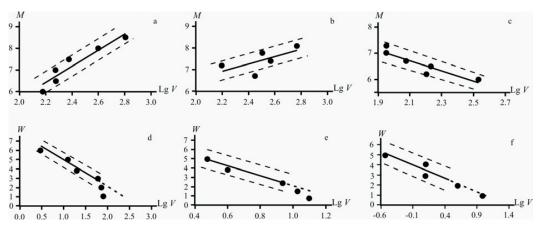


図 7 地震 (a, b, c) および火山噴火 (d, e, f) の移動速度 V とそれらの事件のエネルギー指標 M と W の関係。 a · d: 太平洋縁, b · e: アルプス - ヒマラヤ帯, c · f: 大西洋中央海嶺:曲線 (a-f) の線形関係式の係数: R_2 = 0.90, 0.61, 0.88, 0.96 (0.87), 0.93, 0.49 (0.88).

(2b)) では, 比 $p_{M,1,2}>0$ であることがはっきりしている (それぞれ図 7a, b). 展張帯として知られている大西洋中央海嶺 (i=3, (2c)) では, $p_{M,3}<0$ である (図 7c).

火山噴火の移動特性を示す火山曲線の勾配 $LgV \approx pWiW$ は、研究対象とする 3 帯のいずれにもおいても負である: $p_{Wi} < O(i=1, 2, 3, (2d-f), 図 7d-f)$. W 値の増大にともなって火山噴火の移動速度がそのように減少するのは、すべての火山帯における引張応力に関係しているのだろう;引張応力は深部からのマグマ貫入に起因する.

この研究の結論は、地震 - 火山活動の時空的パターンの特性 (波動の移動過程)は、"エネルギー"分布(さまざまな値の頻度曲線勾配)特性と同様に、活動的地帯とその近傍における地球力学的(地震 - 火山の)運動—圧縮("沈み込み")/展張("拡大")—に非常に"敏感"である.

この研究の目的のために、数千年間におけるこの惑星の 地震および火山噴火に関するもっとも完璧なデータベー スが系統的に整備され、著者が提案した独自の方法で解 析された. 太平洋, アルプス-ヒマラヤ, および大西洋 中央帯における地震と火山噴火の移動が波動性をもって いることが確証された. 地震 - 火山活動の時空パターン にみられる新しい規則性が、これらの作用のもつエネル ギー特性の関数として解明された. 組み合わせて考察す ると、それらは、いっぽうで地震と火山活動に、他方で は地帯の地球力学場に密接に関係していることを示唆し ている. これらのデータを造構プレート境界での運動速 度に関する情報 (Vikulin and Tveritinova, 2008) と総合 すると, ある新しい研究が, 相互に関連する地震, 火山 および造構作用から構成されている地球力学の問題を解 くために開発されるだろう (Vikulin, 2011). これらの作 用の移動速度とエネルギー特性の間の関係式(式2)は、 移動過程を記述する運動法則の著しい非線形の型式をと ることは確実である.

最近,この問題が、広域的規模の基本データの収集と解析にもとづく他の研究で指摘された.ロシア科学アカデミーSBの地球地殻研究所において、造構物理学研究者と地質研究者たちは、長年にわたってリソスフェア内の断層運動について研究をすすめてきた.彼らは、中央アジ

アの断層深部構造モデルを提案し,次の研究を仕上げた:

リソスフェアの展張帯における大規模断層の物理的形成 モデル,および,そのような地帯に発生する変形作用の 定量的特徴の決定 (Sherman, Cheremnykh, Bornyakov et al., 2001)

バイカル地域とトランスバイカル地帯のリフト盆地の時空的発達に関する独創的地球力学モデルの開発 (Lunina et al., 2009)

地震帯の造構物理モデルの開発 (Sherman, 2009). それは、リソスフェアのプレート間およびブロック内運動によって、断層群が低変形波の励起によって活性化して (Sherman and Gorbunova, 2008), 地震の低速度移動帯 (すなわち、リソスフェアブロックと考えられる地震群発帯) に発生する (Novopashina, 2010; Sherman, 2009; Sherman et al., 2011) ことを確証した.

上述した地震帯の造構物理学的モデルという概念には、次のようなものが含まれる:断層ブロック媒質,変形波による断層の瞬時的活性化、および、連続して発生する地震群. Sherman (2009) によると、地震作用の総合的造構物理学的モデルの開発と解は、「地震の時空的パターンに関する知識を得て、地震を予知するためのもっとも近道になるだろう.」しかしながら、私たちの研究結果は、広くみると難路となるこの方法は (Sherman et al., 1992, 1994, 2001, 2008, 2011; Sherman, 2009), それほどの近道ではないとが証明されるだろう.

Sherman and Gorbunova (2009) によれば、 $K \ge 12$ 級 ($M \ge 4 \sim 5$) の地震の移動速度は $1 \sim 100$ km/年で変化するという.この結論は、ともに "沈み込み帯"である上述の太平洋縁とアルプス - ヒマラヤ帯における関係式 (2a, b) と調和的である.しかし、それは、"拡大"帯である大西洋中央海嶺の関係式 (2c) に矛盾する.Sherman とその仲間は、リフト ("拡大"帯)である中央アジア地域を研究している.私たちの研究結果からみると、中央アジアにおける地震移動に関する彼のデータと拡大帯に関する私たちのデータの間には矛盾がある.そうでなければ、中央アジアの研究対象地域がリフトでないか、かれ

らの地震移動に関するデータがリフトの片側だけから得られているためリフト帯の全体を反映していないか,のいずれかであることが認められなければならない.

私たちは、さらに、中央アジアの上述した地域から得られた結果にかんする彼らの造構物理的解釈を認めることはできない。 Sherman and Gorbunova (2008) によると、変形波によって活性化した断層群の長さをl,その断層群を変形波が通過した長さをLとすると、典型的には $L \ge l$ の関係がある。断層 (いかなる波動も放出せず、単に活性化されるだけ) はどのようにして波動が通過した長さを知りうるのか、という疑問が生じる。筆者は、この疑問に次のように回答する。すなわち、断層の活性化期間と地震移動速度は、断層を通過する波の波長に関係している。

Sherman とその仲間によって行われた研究は、バイカルリフト帯とアムール地域における2つの関連した大規模断層帯に関する基本的情報をもたらした:1)活動的断裂が確認され、断層活動は地震活動を通じて行われる、2)地震活動は特定のメカニズムによって発生する、3)そのメカニズムには、この過程において主要な役割を果たす低速変形波が含まれる(Sherman et al., 2011). いずれにしても、バイカル-アムール地帯の地震-地球力学場の全般的特徴は全地球的なプレート内境界と考えられ、依然として、まったくよくわかっていない. いくつかの孤立した場所に関してのみ、"広域的"な仮設性の相互関連が認められるにすぎない.

この問題に関するうまく一般化された研究によって、地球科学の探求を理解し、解明されるべき地球力学的課題を新しく規定することが基本的に可能になるだろう.この点で、私たちの研究の第1の結論は、地球力学的関係式と規則性の物理学的解釈に新しい選択肢になるだろう.

Vikulin and Tveritinova (2008) にしたがうと、地震 - 火山作用のエネルギーと同様に、造構的プレート運動のエネルギー ET は運動速度に比例する:

$$LgET \approx pTLgV$$
, (4)

そして,比例定数は太平洋縁の地震関係式におけるそれに等しい:

$$pT \approx pM_1$$
 (5)

この惑星の地球力学的活動は地震,火山および造構作用によって決定され,それらは統合的に考察される.この惑星の3つの最も活動的な地帯は,地球の地震-火山エネルギーの98%以上を解放していて,最大の被害をもたらす地震や火山噴火がそこで発生している.

Vikkulin and Tveritinova (2007, 2008) で公表された関係式 (4) および (5) は、この惑星の造構プレートの最も活動的境界のほとんどすべてから見積もられた運動速度

の解析から得られた。私たちは、地球力学的作用 (地震+火山+造構運動)のエネルギー特性は地震と火山の関係 ((2a-f)から、そして、補足的に造構運動の関係 ((5)) によって決定されるべきであると信じている。そのなかで、(p-r)) 地震性の太平洋縁の関係式 ((2a)) で特定される勾配に等しいと考えられる。

とくに興味深いのは、関係式 (2a-f) および (5) における係数 p の値分布である. 地震 (2a-c),火山 (2d-f) および造構運動 (5) の関係式の勾配の合計は、それらの決定精度を考慮すると、0 になる:

$$\sum_{i=1}^{3} p_{M,i} + \sum_{i=1}^{3} p_{W,i} + p_{T} \pm 7\Delta p = -1.1(\pm 6.3) \approx 0,$$
 (6)

勾配は"正"および"負"の値(それぞれ、 $p_{+}=\{p_{M1,2.7}>0\}$; $p_{-}=\{p_{W1,2.3M3}<0\}$)をもち、絶対値では等しくなる:

$$p_{+} = +3.0 \pm 0.6$$
; $p_{-} = -2.5 \pm 1.0$; $|p_{+}| \approx |p_{-}|$ (7)

合計すると相互に相殺する係数pが2つの値のセット p_+ と p_- に分離ことは(7)、不規則におきるわけではない.

 p_{MWT} 値の組み合わせは,さまざまな物理 - 化学的条件で,また,様々な地球力学場で,別々にまとめられた地域や地球全体で発生するさまざまな作用 (M: 地震, W: 火山, T: 造構運動)を記述し,そのような作用の時間線はきわめて広くのびる。そのような条件の変化にもかかわらず,地球力学作用 $(\text{地球} \text{O}^*\text{M} \text{ FW}^*\text{M})$ とよぶことができる)が起こり,それは,式(6)に示されるように,火山,地震,および造構運動が相互に補償 / 均衡するように発生している。言いかえると,式(6)・(7) に記述されるきわめて単純な組み合わせになる係数pの値をグループ化すると,保存則に本質的に適合する。こうして,値のすべての組み合わせ

$$p = \{p_M, p_W, p_T\} = \{p_+, p_-\}$$
 (8)

が、実際には、保存された地球力学的値pとなる.

地震 (M), 火山 (W), 造構運動 (T) の値 $p = \{p_M, p_W, p_T\}$ が 2 つのセット $p = \{p_+, p_-\}$ (それぞれは特定の地球力学場,すなわち, p_+ は沈み込み, p_- は拡大に対応)へ 1 対 1 に分離することにもとづくと,物理学的に明快な仮定を記述することが可能になる:保存される地球力学的値 p は,作用方向に依存しているので,ベクトル変数である.

式 (2) にしたがうと、パラメータp は次のように決定される:

$$p = \frac{dM}{d(LgV)} = \frac{d(LgE)}{d(LgV)} = \frac{V}{E} \frac{dE}{dV},$$
 (9)

ここで、震源で放出される地震のマグニチュードMとエネルギーEは、周知の関係 $M\approx$ LgEにしたがう. Landau and Lifshitz (1973) によると、dE/dV 値は力学にひろく

知られたモーメントとよぶことができる.

速度とマグニチュード (エネルギー) の値は,表 2 に示されるように、あまりよくわかっていない.これは、次のことを意味する.研究期間内で、点 (V_0 , M_0) の十分に大きい隣点 (ΔM_0 , ΔV_0) において、たとえば、 M_0 =7 ± 1、 V_0 =280 ± 290km/ 年)、地球力学値 $p \cdot E_0/V_0$ (あるいは定数 E_0 と V_0 の場合の p 値) は、地球力学システムのモーメントとして理解することができる.

造構プレート活動に関するデータと組み合わせると、地球上の地震および火山噴火パターンの規則性の研究データは地球力学作用のパラメータを決定し、それは、力学的モーメントに相当する。今後の研究では、この惑星の活動的地帯に発生している地球力学作用を記述するために、地震、火山および造構データにもとづく根本的に新しい物理モデルをデザインすることが可能であろう。

筆者は、この論文を効果的に査読され、この発表の中心的課題に対する筆者の関心に注目された Melekestsev と Karakhanyan に感謝する. 筆者らは、この研究課題に関する Prof. S. Sherman 教授の有用な議論に感謝する.

この研究は, the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Grant 12-III-A-08-164 と Russian Foundation for Basic Research, Grant 12-07-31215 のサポートを受けた.

文 献

- Akmanova, D.R. and Osipova, N.A, 2007. On seismic and volcanic processes relation: case study for the pacific margins. Bulletin of Kamchatka regional association "Educational-scientific center". Earth sciences, no. 10, p. 144–155 (in Russian).
- Ambraseys, N.N., 1970. Some characteristic feature of the Anatolian fault zone. Tectonophysics, v. 9, no. 2-3, p. 143 165
- Babailov, V.V., Beizel, S.A., Gusev, A.A., Gusyakov, V.K., Eletckii, S.V., Zyskin, I.A., Kamaev, D.A., Fedotova, Z.I., Chubarov, L.B. and Shokin, Y.I., 2008. Some aspects of construction of a new generation of the tsunami warning systems. Computational technologies, v.13, Special issue no. 2, p. 4–20 (in Russian).
- Berg, E. and Sutton, G.H., 1974. Dynamic interaction of seismic and volcanic activity of the Nazca plate edges. Physics of the Earth and Planetary Inter., no. 9. p. 45-68.
- Bolt, B.A., Horn, W.L., Macdonald, G.A. and Scott, R.F.,1977. Geological hazards. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 440p.
- Bykov, V.G., 2005. Strain waves in the earth: theory, field data, and models. Russian geology and geophysics, v. 46, no. 11, p. 1176–1190 (in Russian).
- Civetta, L., Gasparini, P. and Adams, J.A.S., 1970.
 Geocronology and geochemical trends of volcanic rocks

- from Campania, South Italy. Eclogae Geological Helv., v. 63, no. 1, p. 57-68.
- Comninou, M. and Dundurs, J., 1977. Elastic interface waves involving separation. Journal Applied Mechanics, v. 44, no. 6, p. 222-226.
- Carey, S.W., 1954. The Rheid concept in geotectonics. Bulletin Geology Society Australia, v. 1, p. 67-117.
- Davison, Ch., 1936. Great earthquakes. Thomas Murby Co. London, 286p.
- Duda, S.J., 1963. Strain release in the Circum-Pacific belt, Chile 1960. Journal Geophysical Research, v. 68, p. 5531-5544.
- Duda, S.J., 1965. Secular seismicity energy release in the circum-Pacific belt. Tectonophysics, v. 2 (5), p. 409-452.
- Duda, S.J. and Bath, M., 1963. Strain release in the Circum-Pacific belt, Kern County 1952, Desert Hot Springs 1948, San Francisco 1957. Geophysical Research, v. 7, p. 554-570.
- Elsasser, W.M., 1969. Convection and stress propagation in the upper mantle. The Application of Modern Physics to the Earth and Planetary Interiors. Ed. S.K. Runcorn. N.Y. Wiley. p. 223-246.
- Erlikh, E.N. and Mekekestsev, I.V., 1974. Problem of rhythm and of synchronic of Kenozoic volcanism. Geodynamics, magma-forming and volcanism. Petropavlovsk-Kamchatsky: IV, p. 104–123 (in Russian).
- Fedorov, V.M., 2002. The Latitude Distribution of Volcanic Eruptions. Journal of volcanology and seismology, no. 4, p. 39–43.
- Fedotov, S.A., 1966. On regularities of strong Kuril-Kamchatka earthquakes location and long-term prediction. The eleventh Pacific science congress, Tokyo. Abstracts of papers related with geophysics. Proceedings, v. 3. Divisional Meeting Solid Earth Physics I, Seismology, p. 37.
- Fedotov, S.A., Gusev, A.A. and Boldyrev, S.A., 1972. Progress of earthquake prediction in Kamchatka. Tectonophysics, 14 (3/4) p. 279-286.
- Gershenzon, N.I., Bykov, V.G. and Bambakidis, G. 2009. Strain waves, earthquakes, slow earthquakes, and afterslip in the framework of the Frenkel-Kontorova model. Physical Review, E 79. 056601. p. 1-13.
- Gilluly, F., 1973. Steady plate Motion and episodic Orogeny and magmatism. Geology Society of America Bulletin, v. 84, no. 2, p. 499-514.
- Golitsyn, G.S., 2003. An explanation of the dependence between frequency and volume of volcanic. Doklady Earth Sciences, v. 390, no. 3, p. 394–396. (in Russian).
- Guberman, Sh. A., 1975. About some regularities of earthquakes. Doklady Academy of Sciences USSR, v. 224, no. 3, p. 573-576.
- Gushchenko, I.I., 1983. Patterns of distribution of volcanic activity centers around the globe. Journal of volcanology and seismology, no. 6, p. 10–29.
- Gushchenko, I.I., 1988. Volcanoes of the world: Eruption

- Cycles. Journal of volcanology and seismology, no. 7, p. 189-218.
- Gutenberg, R., 1945. Amplitudes of surface waves and magnitudes of shallow earthquakes. BSSA, v. 35, p. 3-12.
- Gutenberg, R. and Richter, C. 1954. The seismicity of the Earth 1904-1952. Prinston University Press, 310p.
- Hedervari, P., 1963. On the energy and magnitude of volcanic eruptions. Bulletin volcanism, v. 25, p. 1-18.
- Isaks, B., Oliver, J. and Sykes, L.R., 1968. Seismology and the new global tectonics. Journal Geophysical Research, v. 73, no. 18, p. 5855-5900.
- Kanamori, K., 1970. Recent developments in earthquake prediction research in Japan. Tectonophysics, v. 9, no. 2-3, p. 291-300.
- Kasahara, K., 1979. Migration of crustal deformation. Tectonophysics, v. 52, no. 1-4, p. 329-341.
- Kelleher, J., Sykes, L. and Oliver, J., 1973. Possible criteria for predicting earthquake locations and their application to major plate boundaries of the Pacific and Caribbean. Journal Geophysical Research, v. 78, no. 14, p. 2547-2585.
- Kenneth, L., Tanaka, E.M., Shoemaker G. et al., 1986.
 Migration of volcanism in the San Francisco volcanic field,
 Arizona. GSA Bulletin, v. 97, no. 2, p. 129-141.
- Khain, V.Y. and Khalilov, E.N., 2008. Space-time regularities of seismic and volcanic activity. Burgas: SWB, 304p.
- Kuzmin, Yu. O., 2009. Tectonophysics and Recent Geodynamics. Izvestiya, Physics of the Solid Earth, v. 45, no. 11, p. 973-987.
- Landau, L.D. and Lifshitz, E.M., 1976. Mechanics. Course of Theoretical Physics. V. 1. Butterworth-Heinemann; Edition 3, 224p.
- Lee, J.S., 1928. Some Characteristic Structural Types in Eastern Asia and Their Bearing upon the Problems of Continental Movements. Geology Magazine, LXVI, p. 422-430.
- Leonov, M.G., 2008. Tectonics of the consolidated crust. Transactions of Geological Institute, v. 575. Moscow: Nauka, 457p. (in Russian).
- Leonov, V.L., 1992. Some regularities in the development of hydrothermal and volcanic activity in Kamchatka. Journal of volcanology and seismology, v. 13, no. 2, p. 165-180.
- Lonsdale, P., 1988. Geography and history of the Louisville hot spot chain in the southwest Pacific. Journal Geophysical Research, v. 93, no. 34, p. 3078-3104.
- Lunina, O.V., Gladkov, A.S. and Nevedrova N.N., 2009. Rift basins in Pribaikal'e: tectonic structure and development history. Novosibirsk: GEO, 316p. (in Russian).
- Melekestsev, I.V., 2005. Natural disaster of 1737-1742 in Kamchatka as a model for future regional disasters in island arcs of Northwest Pacific // Modern and Holocene volcanism in Russia / Ed. by N.P. Laverov. Moscow: Nauka, p. 553–571 (in Russian).
- Mogi, K., 1968a. Migration of seismicity activity. Bulletin of the Earthquake Research Institute, v. 46, p. 53-74.

- Mogi, K., 1968b. Sequential occurrence of recent great earthquakes. Journal Physics Earth, v. 16, p. 30-36.
- Morgan, W.J., 1968. Rises, trenches, great faults and crustal blocks. Journal Geophysical Research, v. 73, no. 6, p. 1958-1982.
- Nikolaevsky, V.N., 1996. Geomechanics and Fluidodynamics. Dordecht-Boston-London: Kluwer Academic Publishers, 448p.
- Novopashina, A.V., 2010. The analysis of dynamics of seismic structure of the lithosphere in the Baikal region based on GIS technologies. Avtoreferat of dissertation for the degree of PhD. Geology and Minerology Sciences. Irkutsk: Institute of Earth's Crust SB RAS, 22p. (in Russian).
- Proceedings of conference VI methodology for identifying seismic gaps and soon-to-break gaps, 1978. California, 924p.
- Richter, C.F., 1935. An instrumental earthquake magnitude scale. BSSA, v. 25, p. 1-32.
- Richter, C.F., 1958. Elementary seismology. San Francisco. W.H. Freeman and Co, 768p. Rothe, J.P., 1969. The seismicity of the Earth 1953-1965. Unesko, 336p.
- Sauers, J., 1986. The westward migration of geophysical events in the Aleutians, Springs, 1986. Cycles, 37, no. 9, p. 203–204.
- Savage, J.C., 1971. A theory of creep waves propagation along a transform fault. Journal Geophysical Research, v. 76, no. 8, p. 1954-1966.
- Schallamach, A., 1971. How does rubber slide? Wear, v. 17, p. 301-312.
- Schofield, J.C., 1970. Correlation between sea level and volcanic periodicities of the last millennium. New Zealand Journal Geology and Geophysical, v. 13, no. 3, p. 737-741.
- Sherman, S.I., 2009. A Tectonophysical Model of a Seismic Zone: Experience of Development Based on the Example of the Baikal Rift System. Izvestiya, Physics of the Solid Earth, v. 45, no. 11, p. 938-952.
- Sherman, S.I., Cheremnykh, A.V., Bornyakov, S.A. and Shishkina, L.P., 2001. Modeling of large faults in zones of lithospheric extension and numerical constraints on deformation. Russian geology and geophysics, v. 42, no. 7, p. 1052-1057 (in Russian).
- Sherman, S.I. and Gorbunova, E.A., 2008. Wave origin of fault activation in the Central Asia on the basis of seismic monitoring. Fiz. Mezomekh, v. 11, no.1, p. 115-122 (in Russian).
- Sherman, S.I., Seminsky, K.Zh., and Bornyakov, S.A., et al., 1992. Fanlting in the lithosphere. Extensional zones. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch, 228p. (in Russian).
- Sherman, S.I., Seminsky, K.Zh., and Bornyakov, S.A., et al., 1994. Fanlting in the lithosphere. Compressional zones. Novosibirsk: Nauka, Siberian Publishing Firm

- All-Russian Inc., 263p. (in Russian).
- Sherman, S.I., Sorokin, A.P., Sorokina, A.T., Gorbunova, E.A. and Bormotov, V.A., 2011. New data on active faults and zones of the recent fracturing of the lithosphere of Amur region. Doklady of the Academy of Sciences, v. 439, no. 5, p. 685-691 (in Russian).
- Sykes, L.R., 1971. Aftershock zones of great earthquakes, seismicity gaps and earthquake prediction for Alaska and Aleutians. Journal Geophysical Research, v. 76, no. 2, p. 8021-8041.
- Tadocoro, K., Ando, M. and Nishigami, K., 2000. Induced earthquakes accompanying the water injection experiment at the Nojima fault zone, Japan: seismicity and its migration. Journal Geophysical Research, v. 105, NB3, p. 6089-6104.
- Tokarev, P.I., 1993. Volcanic activity on Kamchatka and the Kuril Islands in the 20th century and its long-term forecast. Journal of volcanology and seismology, v. 13(6), p. 703-710.
- Tsuya, H., 1955. Geological and petrological studies of volcano Fuji. Part 5: On the 1707 eruption of volcano, Fuji. Bulletin Earthquake Research Institute of Tokyo University, v. 33, p. 341-384.
- Vikulin, A.V., 2006. Earth rotation, elasticity and geodynamics: earthquake wave rotary model. Earthquake source asymmetry, structural media and rotation effects / Eds. R. Teisyre, M. Takeo, E. Majewski. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 273-289.
- Vikulin, A.V., 2003. Physics of wave seismic process. Petropavlovsk-Kamchatsky: KGPI, 150p. (in Russian). Vikulin, A.V., 2008. Energy and moment of the Earth's

- rotation elastic field. Russian Geology and Geophysics, v. 49, p. 559–570.
- Vikulin, A.V., 2010. New type of elastic rotational waves in geo-medium and vortex geodynamics. Geodynamics & Tectonophysics, v. 1, no. 2, p. 119–141.
- Vikulin, A.V., 2011. Seismicity. Volcanism. Geodynamics. Selected Works. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamGU, 407p. (in Russian).
- Vikulin, A.V., Akmanova, D.R. and Osipova, N.A., 2010. Volcanism as the indicator of geodynamic processes. Lithosphere, no. 3, p. 5–11. (in Russian).
- Vikulin, A.V., Ivanchin, A.G. and Tveritinova, T.Yu., 2011. Moment vortex geodynamics. Moscow University Geology Bulletin, v. 66, no. 1, p. 29–35.
- Vikulin, A.V. and Krolevetz, A.N., 2002. Seismotectonic processes and the Chandler oscillation. Acta Geophysica Polonica, v. 50, no. 3, p. 395-411.
- Vikulin, A.V. and Tveritinova, T.Y., 2007. Energy of tectonic process and vortex geological structures. Doklady Earth Sciences, v. 413, no. 3, p. 336-338.
- Vikulin, A.V. and Tveritinova, T.Y., 2008. Moment wave nature of geological medium. Moscow University Geology Bulletin, no. 6, p. 10–16 (in Russian).
- Vilkovich, E.V. and Shnirman, M.G., 1982. Waves of migration of the epicenters (examples and models). Mathematical model of the Earth and earthquake prediction. Computational Seismology, no. 14. Moscow: Nauka, p. 27–37 (in Russian).
- Xie, Xin-sheng, 2004. Discussion on rotational tectonics stress field and the genesis of circum-Ordos landmass fault system. Acta Seism Sinica, v. 17, no. 4, p. 464-472.

一般化したロジスティック方程式の解からグーテンベルグ - リヒター経験式の微分 Derivation of the Gutenberg-Richter empirical formula from the solution of the generalized logistic equation Lev A. Maslov and Vladimir M. Anokhin, 2012. Natural Science, v. 4, Spec. Issue p. 648-651.

(岩本 広志[訳])

要旨:我々は、地震分布の統計的研究から得られた新しい方程式を著した。我々はこの方程式を「一般化したロジスティック方程式」と呼ぶ。グーテンベルグ - リヒターのマグニチュード頻度式は一般化したロジスティック方程式から微分され、大規模マグニチュードの概算値への漸近ケースとされている。一般化したロジスティック方程式の解がどのように機能するかを説明するために、それが 4 つの異なった地質区:中央大西洋 (40N-25N,5W-35W)、カナリ諸島、マゼラン海山群 (20N-9S、148E-170E)、および日本海で観察された地震の累積分布の概算に用いられた。この概算は、理論曲線とマグニチュード $1\sim9$ の地震に関する観測データとの間によい対応があることを示している。

科学と医学のドグマ: いかにして、主流理論が研究を独占し、真実の研究が抑圧されるのか Dogmatism in Science and medicine: How dominant theories monopolize research and stifle the search for truth

著者:Henry Bauer,化学・科学研究名誉教授,バージニア科学技術研究所芸術・科学名誉学部長,州立大学 (バージニア工芸技術大学) 301 頁,35\$, ソフトカバー (6 x 9). 11 図,5 表,参考文献一覧,索引

ISBN 978-0-7864-6301-5. Ebook ISBN 978-0-7864-8574-1. 2012. www.mcfarlandpub.com. 発注: tel +1-800-253-2187

(岩本 広志[訳])

最近の半世紀の間に科学活動の特質は劇的に変化し、かつて規定された証拠の客観的で厳格な研究が放棄されるようになった。この著書が主張するように、ドグマが信頼の置ける科学に次第に取って代わるようになった。

この研究は、組織と個人の両方において関心の混乱が科学界にいかに広がっているか、そして、研究資金をめぐる困惑した状態や専門家による査読プロセスの欠陥についても検討する。すなわち、ビッグバン宇宙論、人為的地球温暖化、AIDs に起因する HIV、抗鬱剤効果を含むいくつかの特定の学説が支配的であることを注意深く見つめる。著名な専門家が反対意見を持つ事を回避する科学環境にあって、この本は科学的異説を見なおす重要な貢献となる。

目 次

- 1. 3つの目立った知識独占と研究カルテル
- 2. 知識独占の共通的特徴
- 3. 検閲の公的機能:エルゼビア社と医学仮説
- 4. 追加的カルテルと覇権
- 5. 科学における新しい現象としての知識独占
- 6. いかにして科学が信頼されるものになってきたか, そして,もはやそうではないのはなぜか
- 7. 科学に関する公衆の知識
- 8. 公的報告書は科学的出版物ではない
- 9. 21世紀の科学:知識独占を伴ったポストモダン
- 10. まとめ
- 11. 21 世紀の科学は再び信頼を取り戻せるか?

まえがき

誰もが同じことを知っている状況は、知識独占と呼びうる:公衆の知識は、この推測された真実に独占される.

先進国の大半のように、教育が合理的で、しかも行き渡っているところでは、誰もが同じ事一たとえば、地球が平らではなく、ほぼ球状であること一を知っている(信じている). 当然のことながら、誰もが知っていることを論争する奇妙な人達も常に存在する. いかなることがらについてであっても、"flat-earther(平たい地球信者)"という言葉が、誰もが本当と思っていることに反対する人々を中傷する.

文字通りの"平たい地球信者"には、2つの特徴がある。第1は、そのような人々がいることは秘密ではないことである。第2に、"平たい地球信者"が間違っている証拠一たとえば、船舶が水平線に消えていくこと、人工衛星が地球を周回して通信を可能にしていること、月の宇宙飛行士によって撮影された地球の写真一は明快で、理解し易いことである。

この本は、知識独占について一群のさまざまなことがらを述べている。一般的な意見に反対する誰かがいること、また、反対意見の存在そのものが秘密とされ、それは自

然の成り行きとして秘密にされるいっぽうで、実際には、 反対意見が彼等の側での貴重な証拠として使われている ことが、一般的公衆に、とくに政策決定者に対して秘密 とされていることは重要である.

教育を受けて知識をもつ男女、あるいは、おしゃべり仲間の誰かに、化石燃料の燃焼が地球の温暖化を危険な速度・危険な度合いまで進めているかどうかを尋ねると、「そうだ」と答え、おそらくは「勿論」とつづけるだろう (=Yes, of course).

さらに、「それに関する幾ばくかの疑問が存在するか?」、「反対する科学者がいるのか?」、といった補足的質問をする.

それらに対する答えはふつう「No」であるが、おそらく、まれに、次のような回答があるかもしれない.「そう、おそらくは、いかなる集団にも1人くらいはいるので、科学者のなかにもいると思う」とか、あるいは「確かに、一部には、資本家、自由主義者、右翼の変人がいて、彼等はイデオロギーに反するために、受け容れたくないのだ」といったものもあるだろう.

似たような反応は、次の質問でも起きるだろう:「HIV の原因は AIDs であるか?」、「宇宙はビッグバンで始まったのか?」、「大陸は漂移をつづけているか?」、「隕石は 恐竜を全滅させたか?」。

これらの論点の各々について、そして、他の同様な論点についても(4章により多くの事例)、ごくわずかな人々だけが次の事情を知っている。すなわち、誰もが信じていることに対して、確実な証拠にもとづいて反対しているきわめて有能で知識豊かな科学者が実際にいること、そして、これらの反対論者たちによって提供された証拠と議論が、彼らと同分野の専門家たち―彼らは、公平にすべての証拠を評価しないで、権威にすがろうとする―によって、いとも簡単に無視されている。

有能な意見が無視されるのは、科学のありかたに逆行する. 原型的なガリレオの場合は、科学の権威による異端的な科学的見解への抑圧ではなく、一般には、科学に対する宗教的抑圧の一例として取り上げられる. 科学者自らの手による科学そのものの中の抑圧には、象徴的なガリレオの場合ほどよく知られてはいないで、いずれの事例も、ほとんどの人々には信じられないことだろう.

主流になっている合意に疑問を投げかけたために、専門家集団から突然に排斥されるという事態は、有能な専門家にとっては信じられないことであろう。プレートテクトニクス(以前は、大陸漂移とよばれていた)に問題をなげかけながら、主流の専門家たちからは無視されていることに不満を抱く地質研究者たちには、ビッグバン説、地球温暖化説、HIV/AIDS 説に関しても同様な事態が存在し、それぞれ、分野内の少数者が主流派には認められ

ていないという問題は知られていない.

異議を唱え、無視され、中傷された専門家は、自らの専門分野の問題についてのみ気づいているのが普通であるために、それがきわめて一般的で幅広い現象であることを認識していない。異論の提出者は誰しもそうであり、また、科学はあるべき道をたどり、数世紀にわたってそうしてきたと思い込んでいる。そして、有能な専門家が自由に参加する批判的討論を通じて科学が前進し、究極的には、権威や科学に無関係な力の序列ではなく、得られた証拠によって決定されるために、しだいに客観的な結論に到達すると信じている。

このような科学に関する伝統的な見方は、はもはや実在しない. 拡大をつづけてきた科学や医学の分野では、覇権をもとめる知識独占が生じている. それは、イデオロギー的・教義的で、有能な少数者の見解や疑念のない証拠の重要性を無視するという意味で非科学的である. 矛盾のない証拠に満ちた研究課題を申請するという非科学性は、公正に再評価すべきである.

科学・技術研究 (science & technology studies, STS) という比較的新しい研究分野—科学史,科学哲学,科学社会学などの学際的融合分野—では、このような事態が認識されはじめていて、そのような事態をもたらした原因についても理解が進みつつある。このような専門分野の研究者たちは、真実をもとめる科学研究者の公平な知的自由市場のような状況から、官僚的、組織的、独占的企業へゆっくりと変化していることを観察・記載・予見してきた。そして、このような企業は、現状から執拗に利益を求め、教義として祭りあげられた合意をかたくなに守ろうとする。

この変化は、一般に気づかれることもなく、きわめてゆっくりと起こっている。しかし、それらの累積的影響は十分に大きくなっていて、科学の伝統的観点は今日では危険なほどにとりちがえられている。大まかに言って20世紀の中頃以降の科学は、2~3世紀前のいわゆる近代科学とはまったく異なった生き物に変わってしまった。近代科学の成功は、いっぽうで、科学とは何か、それはどのような役割をはたすのか、といった一般的概念を人々にひろく植え付けてしまい、時代が変わっても、このような一般的見方は変わっていない。科学は、私欲をもたず、公正な真理探求の営みであるとの伝統的信念は、いまだにひろくいきわたった社会通念になっている。それは、メディア、公衆、政策策定者、そして、ほとんどの科学者自らによって広く共有されていている。このよ

うな伝統的な見解が、引き続き、学校の児童やカレッジ の学生に教えられている.

そのため、対照的にかたくなで、覇権的な知識独占が、 ほとんど気付かれないまま存在している. しかしながら, この本に示された例は、実際には、知識独占がきわめて 一般的であることを示している. どのようにして、そし て、なぜこのような事態にたちいたったのかという問題 を説明する第5章・第6章では、最近の数10年間の科 学活動における確かな変化がうきぼりにされる. おそら く、もっとも重要な変化は、広義の科学活動(しばしば、 " 研究と開発 " と記述される) が GDP の数パーセントを も消費し、その結果、商業と政治に表裏一体の関係で結 びついたことにある (Grandin, Wormbs and Widmalm, 2004). 推論として、科学という文化とその精神は劇的 に変化し、科学研究に、かつては異常に稀であった不正 行為や詐欺が広がるようになった. そして, それらが十 分に注目に値する重要な情報となり、学術雑誌が研究の 道義的な問題とそれらの意味に焦点を当てるようになっ た. このような新しい環境の中で、今では、人々が科学 と医学の中に未だ知られていない覇権的な知識独占を見 つけ出すことになろう.

知識独占は、まったく真実でないことを真実として祭り上げるので、機能不全になる。それ故に科学的な助言と医学的行為は、危険なまでに信頼できないもの、あるいは、当てにならないものとなる。長らく究極の権威とみなされてきた科学は、証拠の解釈における論理的相違に検閲や抑圧が加わることによって信頼できないものになってしまった。もしメディアや公衆、それに為政者が、同分野の大多数の専門家たちとは異なる見解をもつ有能な熟達者や専門家に注意をはらえば、それは大きな公益になる。それらの人々の見解が、彼らの同業者の多数の好むものと異なっていたとしても、それは公衆の利益に大いに貢献する。その結果、彼等は、自らの責任によって独立の判断をおこない、もっとも合理的可能性をもつ知識が公共の目的のために用いられる。

科学・医学分野の幾つかの最も重要な問題に関して少数者の見解が勝利したことを,長い歴史は教えてくれる. それが,今日の知識独占の幾つかに対しても妥当する可能性が大きい. 我々の時代を,未来の歴史家は,科学が全世界を迷路に導いた時代としてふりかえるだろう.というのは,自己本位の商業主義やイデオロギーの力が共謀することによって,科学がかたくなな教義に屈服してしまったからである.

ジョン・グローバーの著書の販売

JOHN GROVER BOOK FOR SALE

(岩本 広志[訳])

コピーライト出版社 (ブリスベーン、オーストラリア)は、故ジョン・グローバー著『火山噴火と巨大地震一命がけの科学を習得するための早期警戒技術』が、在庫処分のために売り出されている。これは、クラウデ・ビオーが英語で綿密に著した。熱 - 地震エネルギーの移動。に関する唯一の著書で、現在世界から注目が集まっている地震・火山噴火予知科学に踏み込んだものである。値

引価格 30AU\$ (オーストラリアドル) に加えて,包装料 + 送料 = 5AU\$ でオーストラリア国内のあらゆる郵便番号住所に配送される.海外の住所へのパッケージ価格については,ウェブサイトを参照されたい.部数限定の販売であり,購入に興味があれば editor@ncgt..orgか johnmcrobert@bigpond.com かウェブサイト < http://www.copyright.net.au/details.php?id=19> へ連絡を.

地球科学の政治欄 GEOPOLITICAL CORNER

2011 年 3 月の東日本大震災 : 福島と「予見可能性」 The March 2011 Great East Japan Earthquake: Fukushima and "Forseeability"

Julian GRESSER jgresser@aol.com; http://gii.us.com Co-Chairman, Global Innovation Integrators, 世界革新技術統合者協会 副議長

(岩本 広志[訳])

もし我々が未来を知ることができたら、我々の行動はど のように違ってくるだろうか?

現在のところ、予見が我々を助ける可能性については未解明で、大部分は解っていない。我々は新しくパワフルなコンピューターを持っている。ソーシャルメディア、とりわけ、誘導された"スマートな"物語の影響力には新しい可能性がある。しかし、我々は[未来を]知ることを本当に望んでいるのか?これは疑問である。もし我々と未来との関係が変化した場合、どのような結末が生じるのだろうか?

福島での2011年3月11日の地震と津波に起因する核の大惨事は、これらの問題を考える助けになる。というのは、この瞬間にも、次のような悲劇がとどまるところを知らず続いているからである。すなわち、福島からの放射性漂流物が太平洋を越えてハワイ、カリフォルニア、オレゴン、ワシントン、アラスカとカナダの海岸に伸びているのである。

ほとんどの法体系は無視という学理を認定していて、その基本要素の1つは「予知可能性」である.無視という原因が認定されるには、原告は、発生した事故が"予見可能"であり、それの無視が事故原因として十分な可能性をもち、"他にはない"、という明確な注意義務違反を提示しなければならない.解り易く言えば、事故はそれなしには起こりえなかったということを、、である.

福島大惨事には、被告の可能性をもった幾人かがいる。彼らは、事業者たる東京電力、Mark1 反応炉 6 基のうちの5 基を製造した海外メーカー、地震と津波に脆弱であることが知られていた地域に設置認可した地方および中央の行政当局者である。福島の予見可能性の問題は、次のように細分される:1)事故そのものの結果として生じ

た人的損失が予見可能であったか?, 2) 福島において現在も続けられている放射性廃棄物の海洋投棄は,日本のみならず他の人間集団・財産・国際環境に長期的ダメージを引き起こすのか?,そして,これらの損害は予見可能なのか?

Mark1の設計に関わった3人の核科学者が、1976年2月に辞職している。その理由は、福島で起こった状況と全く同じメルトダウンという場合の炉の封圧能力に関する守秘義務を著しく欠いたことにあるという。法的観点からは、この証拠だけにもとづいて、36年前に遡って、現時点で責任を立証するのはとても困難である。現実的で興味深い疑問は、次の点にある。我々が手にしている新しい賢明な道具と方法を、この災害にいかに適用することができるのだろうか?というのは、特に、福島から毎日放出されている放射能が太平洋の食物連鎖に浸透し、海外の海岸へも到達するだろうからである。このような損害は、法的意味で予見可能とみなされるのか?

個別の事例を考慮して、我々自身をネイル・アバークロンビー(現在のハワイ州知事)の立場においてみよう.日本の原子力機構は放射性瓦礫が2013-2014年の何れかの時期にハワイに到達すると予測する。もしそうなると、ハワイは浄化という大問題を抱えることになるだろう。もっと悪いことに、ハワイの沿岸漁業・旅行産業は深刻なダメージを受け、ハワイ住民は今後5,10,15年も魚を食べることによって深刻な健康被害に直面することになる。知事のアバークロンビーは今日何をなさねばならないか?これらの将来の危険を予測することが、彼に可能なのか?加害が発生するのを手放しで待つことが、彼にできるのか?州政府には、彼自身に伝える法的責任があるのか?他の太平洋沿岸国の政府についてはどうか?これらの疑問に答えるために、我々は幾つかのきわどい課題を考えざるをえない:

- ・予見可能性は何に依拠するのか? 将来は不確定であるが、私の研究は、多くの事件が高い確率で予測可能であり、我々は自らの行動によってこれらの確実度を、驚くほど増すことができることを示唆する. 我々は、シナリオ立案、リスク解析、発見技術、協同的なイノベーション、協同的な制御オートメーション化、および他の技術力という、多くのすぐれた道具を持ち合わせているが. しかし、それらは、福島からの越境汚染といった重大な公的災害には系統的に適用されていない. その上、多くの心理学的研究によると、我々が見るものは我々の性癖と意思によって大きく影響される. そして最後には、我々は、見たいと思うものしか見なくなる.
- ・もし予見可能性が学習可能な能力であるならば、この スキルを得るか、少なくとも予測資源を配置するため に、公務員は何に注意しなくてはならないのか? そ れを得るために、瀬戸際の知事アバークロンビーはあ まり先を見る必要はない. 世界のこの分野を先導する 専門家の一人、カリフォルニア大学サンタバーバラ校 機械工学教授イーゴル・メジックの仕事から、彼はそ れを容易に得ることができる. メジック教授はブリ ティッシュ・ペトロレアムによる石油漏洩の進行経路 を週単位で、そして、それによる湾岸州への影響を正 確に文書で記録した. ところが、米国政府機関に責任 を持つ NOAA(国家海洋気象局),米国沿岸警備隊,海 軍は、それを単純に間違っていると判断した (http:// engineering. ucsb. edu/news/460/). 不幸な事にメジッ ク博士の差し迫った警告は無視され、避けることがで きた巨大な被害が発生した. 私はアバークロンビー知 事自らが認識する公的義務を果たし, できれば知的な 危機対応声明を準備していることを信じている.
- ・ 誰が科学の不確実性に対し法的責任を負うべきか? いかにパワフルであろうとも,我々の予測ツールは常

に不完全である. 我々は不確実性,確実性,それに危険性を常に均衡させて考えている. 開発中の戦略のなかで,アバークロンビー知事は日本の法的革新の重要性に言及することできるだろう.

1973年7月24日に結審した四日市大気汚染裁判で、6つの石油化学会社(福島の原子力発電炉と同数)は地域住民の肺疾患(喘息、気管支炎、肺気腫)を引き起こしたことに責任を負った。被告の責任を述べた際に、法廷は、原告が予見可能性と因果関係についての十分な証拠を提示したことを、そして、6つの会社に証明責任を追わせることを理由づけるために注意義務違反を、裁判所の全責任で認めた。同じ理由によって、四日市とその他の先例は、日々の放射線放出に責任をもつ東京電力と原子力発電所は予測義務を負っているので、その結果、放射性放出物が今後に被害をもたらさないことへの責任を負っている。彼らがそのようにする法律的動機づけがあれば、人間の予見能力には目をみはるものがある。

未来を予測するのに役立ちうる有力な方法が、同時に、 大きな損害を防止・軽減するために有効な方法の考案に も利用できる. これは、すばらしい朗報である.

注:ジュリアン・グレッサーは国際弁護士,発明家,そして、日本研究の専門家である.氏の最初の著作は『Environmental Law in Japan(日本の環境法)』である.これは、MIT Press から 1976年に出版されたもので、環境保護における日本の法的革新を論述した.氏の近刊本『Piloting Trough Chaos—The Explorer's Mind(探索者の心―混沌をすり抜けた飛行技術)』(ブリッジ21出版社、11月/12月、2012年)は、世界を探求し、調和のための独創的な方法を提案している.

ヨーロッパ地球科学ユニオン (2013 年 4 月) の地震セッション Earthquake session at the European Geosciences Union, April, 2013

(矢野 孝雄[訳])

ヨーロッパ地球科学ユニオン (EGU) の全体会議 (2013 年 4 月 7 ~ 12 日にオーストリア Vienna で開催) において、"自然災害"の部門として地震の危険性というテーマで 1 つのセッションが開催される予定である。このセッションは「地震の前兆と予知」と題され、地球科学の科学的思考に"小さな革命"をもたらす。

自然に対する歴史的研究にながらく関わってきた地質学は、予測科学にもなるために変貌を遂げる準備を進めている。そして、EGU セッションは、このような科学的革新の一里塚になっていくだろう。

「地震の前兆と予知」というテーマは、それが今まで常に科学的変遷に依存してきたという意味で、きわめて繊細な課題である。したがって、Viennaでの開催は、世界中のすべての地球科学者にとって、研究・調査・成果および方法を発表し、全地球的にもっとも重要な自然の脅威の1つについて確実に、そして、きちんとした科学的根拠にもとづいて討論することができる希少な機会を提供する。

詳細は、www.egu2012、または招聘者 Valentino Straser <vstraser@ievpc.org> へ

第 34 回万国地質学会の NCGT セッション報告 34th International Geological Congress NCGT session report

Dong Choi and Karsten Storetvedt (招聘者)

(矢野 孝雄[訳])

第 34 回 IGC の NCGT セッション「あたらしい地球ダイナミクスパラダイムの探求」が、2012 年 8 月 9-19 日に開催された. 公式に受理された 37 論文のうち、実際には 23 論文が NCGT セッションで発表された (口頭論文 15+ ポスター論文 8). これらの論文は 8 ヶ国 15 名の参加者によって発表され、日本人参加者 (6 名、40%) が圧倒的多数を占めた. 公式に受理されたすべての論文の要旨を、次項に再録する.

論文を発表した参加者リスト

Australia Dong Choi, Frank Lee

Inida Vinayak Kolvanker, Biju Longhinos

Iran Soheila Bouzari Italy Valentino Straser

Japan 足立久男,赤松陽,飯川健勝,

川辺孝幸, 久保田喜裕, 矢野孝雄

Norway Karsten Storetvedt United Kingdom Dmitriy Gurevich USA Bruce Leybourne

残念なことに、最終段階になって、いくつかの重要な口頭論文、とくに Louis Hissink(キーノート発表) および日本人(花田、鈴木、角田)の3論文が、発表されなかった。登録されながら、その後に取り消しされた多くのポスター発表者の発表も行われなかった。

初期段階でのいくつかの困難にもかかわらず、私たちの2日間のセッションを通じて多くの熱心な聴衆の参加があった。議論された主要な話題は、テクトニクスと地震、地震予知、世界海洋に産する古期大陸性岩石、海洋底地質構造と磁気異常、地球の電気的特性、惑星間相互作用、および、全地球造構モデルである。すべての発表は、強力な論拠にもとづいて十分に準備されていた。発表者と聴衆との間で、しばしば熱い討論が行われた。私たちの論拠にもとづく議論は、多くの非 NCGT 参加者たちに圧巻であった。

回の IGC ブリスベン会議は、多数の参加者を擁した大成功が喧伝されるいっぽう、最近の大規模国際会議にかかわる多くの深刻な問題—過度に商業化され、ますます高価なものになっている—をうきぼりにした。発展途上国からの参加者にとっては、不利な為替レートのために、登録料は科学者の支払い能力をはるかに超えていた。先進国からの多くの参加者にとってさえも、費用対効果、すなわち、わずか 15 分という非常に短い発表時間に対する費用という観点から IGC への参加が大きな負担にならざるをえない。これは、多くの口頭論文およびポスター

論文のキャンセルとして、私たちのセッションにも反映された。NCGTからの財政的援助がなければ、インドおよびイランからの3名の参加は実現しなかったであろう。その結果は、先進国だけのための会議となり、私たちのセッションへの海外からの参加者のうち60%を日本人が占めるといった偏った状況をうみだすことになったのであろう。International Geological Unionは、ますます過度に商業化されたIGCの状況—それは、本来のIGCの使命からほど遠いものである—を深刻に考えなくてはならないだろう。

しかしながら、これらの弱点にもかかわらず、私たちのセッションは、プレートテクトニクスにとってかわる考え方や学説が存在することを公に示すことができた。すでに、IGC後に、マスメディアによる注目、多数の新しい仲間の加入など、さまざまな影響が現れている。今日では、この潮流を誰も止めることはできない。

関連行事: 2012 年 8 月 10 日夕刻に会議場近くの Greek Club で開催されたカクテルパーティーに、20 名が参加した. Peter James がこのパーティーを主催した. 退職した現地の古生物学者 John Rigby も, 思いがけず参加してくれた. 飲食をともにしながら,楽しい会話と深い討論が行われた. 席上, イタリアの Straser およびインドの Longhinos から NCGT の次の集会が提案された.

財政的援助:この会議に参加するのに財政的困難を抱えている参加者へ、NCGT は機関や個人からの醵金をよびかけた.次の3名の参加者が、NCGT からの財政的援助をうることができた:Vinayaku Kolvanker, Biju Longhinos,および Soheila Bouzari. その基金は、Raax Australia Pty Ltd. によって提供され、その一部は NCGT 口座からも支出された.

IGC34 主題 27.2

"全地球ジオダイナミクスの新しいパラダイムの探求"

口頭発表セッション

2012年8月9日15:30-17:30

議長: Dong Choi and Karsten Storetvedt

- Dong Choi and Karsten Storetvedt: 開会にあたって― NCGT の歴史と基本的問題と今後の課題
- 矢野孝雄 (基調報告):世界の海洋に産出する古期・ 大陸性岩石
- Biju Longhinos:大西洋の海洋底拡大に矛盾するシェトランド—グリーンランド陸橋

- Soheila Bouzari:全地球ねじれ造構史にもとづくイラン卓状地の地球ダイナミクスの新シナリオ
- 久保田喜裕:中部日本,新潟におけるブロック造構論 と地震活動 — 山地形成に起因する"孤立丘陵"の形 成と活断層
- Karsten Storetvedt:全地球からみたカリブ海の進化

2012年8月10日08:30-10:50

議長: Dong Choi and Karsten Storetvedt

- Karsten Storetvedt(基調報告):全世界磁気異常図と 全地球造構学説
- 赤松 陽:日本列島および周辺域における深発地震の 等深線
- 川辺孝幸:2011 年の東北太平洋沖地震による誘発地 震の発生メカニズム―温泉の水位・温度の変化,余 震活動,および東北日本の地殻構造にもとづいて―
- Dong Choi: 巨大地震の予知は可能である—先駆現象と地球ダイナミクスの新展望
- Bruce Leybourne: 地球物理学的方法による自然災害 気象と地震の予知

2012年8月10日13:00-15:15

議長: Biju Longhinos and Takao Yano

■ Dong Choi(基調報告):全地球造構運動の新パラダイム

- Valentino Straser: 惑星間磁場の電波異常特性と M6+ 地震に先行する IPDP 信号
- 飯川健勝:日本、中部本州における脈動的地殻変動
- Dmitriy Gurevich: 渦地球ダイナミクス: 大気圏台風〜 地球台風
- Vinayak Kolvanker(基調報告):太陽、月、および地震

ポスターセッション

2012年8月9日

- Lee, T.: 各大陸プレートの過去の位置を決定する既報 磁極を用いた非主観的方法
- Lee, T.: 磁気. 地球磁場の起源を説明するための鉄原 子間にみられる d-原子の一軸性移動
- Lee, T.: 太陽系の段階的発達を説明するために用いられる基礎物理学
- Straser, V.: M6+ 地震発生の 60 ~ 2? 日前に現れる 地震前兆現象
- 足立久男:中部日本,フォッサマグナにおける新生代 造構-火成活動
- Leybourne, B.: 地球物理学的方法による自然災害気象と地震の予知
- Leybourne, B.: フロリダのハリケーンと地球電気回路 のアース

第 34 回 IGC "新しいグローバル・ジオダイナミクス・パラダイムの探求"アブストラクト

34th IGC "Pursuit of a new global geodynamic paradigm" abstracts

(赤松 陽・久保田 喜裕[訳])

中部日本,フォッサマグナにおける新生代造構 - 火成活動 足立久男

東京農業大学東京 q.adachi@au.auone-net.jp

フォッサマグナは,西側の糸魚川 - 静岡構造線と東側の 柏崎-銚子線, または棚倉構造線によって境された日本 列島の大構造区の一つである. フォッサマグナの関東 山地中央部では中新世初期に構造線に沿って堆積盆が 生じ、それらは中新世中期に広く拡大した、初期~中 期中新世の堆積盆の雁行状の配列と堆積中心の移動は, フォッサマグナ地域における造構 - 火成活動の発展は, 深部に存在する細長いマントル溶融体のふるまいにたえ ず制御されていたことを示している. 中期中新世の終わ りに,海域は陸域に変化した.後期中新世には,激しい 火山活動が、フォッサマグナの軸の中で陥没の成立と結 合して起こった. 南部フォッサマグナ地域における後期 新生代の構造火成活動は、しばしば衝突テクトニクスで 説明されている. しかしながら、後期中新世の火山性陥 没盆地の階層的な構造の形成メカニズムと、提案されて いる衝突イベントの前後で矛盾しない構造的機構との両 方を説明することは困難のようである.

日本列島とその周辺地域における深発地震の等深線

赤松 陽*・原田郁夫**・島弧深部構造研究グループ*191-002 東京都日野市多摩平 7-3-8

yo-akam@m2.hinocatv.ne.jp

**960-0605 福島県伊達市保原字元町 5-6

ikuo-bharada-dtbhbhr@seac.plalac.orc.njp

ターナー (1922) は、南アメリカの北西部で深発地震の発生を初めて指摘した。和達は (1927) は、日本の本州中央部を横切るゾーンに沿って起こった 12 個の深発地震を明らかにした。彼は、海溝からアジア大陸に向かって傾斜する深発地震の等深線を引いた。和達は浅発地震と深発地震の間には密接な垂直の関係があることを主張した。ベニオフ (1954) は、環太平洋における浅発地震、中・深発地震の傾斜した分布について論文を公表した。彼は、傾斜した地震震源面は逆断層によるものとした。リヒター (1958) は、中・深発地震に伴う断層はフィリッピンやインドネシア地域では逆断層ではなく正断層であるとして、ベニオフの逆断層説を批判した。宇津 (1974) は、日本列島とその周辺の地震の分布を検討した。彼は、それぞれの地域における深発地震の震源について滑らかな面を示す一般的な方向の線を描いた。島弧深部構造研究グループ (2009) は、日本列島とその周辺部の地震の地形との関係について研究を行い、

等深線を描くことを試みた. 等深線は、和達や宇津が示したような単純な線ではなくより複雑で、地質とそれぞれの地質単位の垂直的な深い根に関係したブロック状の配列をしていることを述べた. その形状はマントルのブロック構造を示唆している.

コロンビアアンデスの横断構造

Oscar Javier AREVARO

C.I. Explotacion Minera Columbiana S.A., Columbia. oarevalo@exminco.com

コロンビアアンデスに沿う支配的な構造の方向は、NE-SW 方向である. しかしながら、斜めに横切るリニアメ ントと断層はこの地方の構造の枠組みにおける卓越した 要素でもある. 地質図, 地球物理図, リモートセンシン グイメージなどのマルチスケールの調査によって、きわ めて多数の異なる規模の横断構造がみとめられた. これ らの横断構造は、山脈の巨大な地形、火山の中心や地震 の震源の分布、古い時代の堆積層や鉱床の配置といった ような、多くの異なる地質学的・地球物理学的特徴をお おきく規制している. 2つの異なるタイプの横断構造が, コロンビアアンデスに存在する. NW-SE という方向は、 北部アンデスの NE-SW の断層の方向に直交する構造の 一般的な方向を表している. これら2つの構造の方向は, 地球の歴史のごく早期に形成された初期直交構造の一例 として理解できるかもしれない. グローバル・レンチ・ テクトニクスモデルで仮定されているのだが、提案され ている南米 (大陸)全体の右回りの回転の後, これらの 断裂の配置は、その現在の位置にずっとあったに違いな い. もう1つのタイプの断裂は、若い歴史をもちE-W 方向に延びている. これらの構造は、それが広域的な鉱 化帯や泥火山活動を伴ういくつかの顕著な地域を支配し ているコロンビア北部でより一般的である. 広域的な垂 直運動が推測されているとはいえ, これらの構造は主に, 右ずれ変位のセンスを示している. 横断構造のこの2番 目のグループの起源は、カリブ海 - 南米構造境界の発生 に関係しているはずである.

太陽の突起物から、地球における火山および地震活動へ Pencho BINEV

Union of Chemits in Bulgaria, Sofia, Bulgaria pbinev@abv.bg

地球の起源についての理解は、その構造と物理化学的な 進化を明らかにすることが重要である。問題はここでは、 太陽突起からの地球における主要なプラズマの発達についての私たちの概念に基づいて扱われている。私たちは 化学者として、主な地球型の天体は、無機化合物と水蒸 気からなるということを肯定している。冷却過程は、高 融点・高密度の物質からなる核と、そのような特徴とは 異なる物質からなるマントルを生み出した。水の臨界点 はやがて表面に達した。そこは、一般的な変成作用が海 洋タイプの地殻を形成したところであった。マントルに しみこんでいる海洋水は、カーバイトや他の物質と影響 しあって、新しい化合物や主要な炭化水素類を生成した。 それらの地下での燃焼は火山活動の場や岩石の溶岩への溶融を引き起こした。高い圧力はこの溶岩を押し上げ、鉱脈、山脈、地下の大洞窟を形成した。地滑りや洞窟崩壊は地震の原因となった。海底下深くで見つかったシストガス (schist gas) は私たちの概念を支持している。地球におけるあらゆる物理化学的な変化は、任意の条件の下における自然法則に調和して発展してきた。したがって、広く流布した仮説でしかないプレートと実在しない仮想の運動についての概念は受け入れがたい。

グローバル・レンチ・テクトニクスに基づいたイランの プラットフォーム・ジオダイナミクスの新しいシナリオ

Soheila BOUZARI

Department of Geology, Islamic Azad University North Tehran Branch, Tehran, Iran, S_tectonic@yahoo.com

地質学のデータに基づけば, 重要な地質構造の大変革 は、白亜紀の末期と新生代初期の間にイラン高原におい て起こった. 新テチス海盆は南のアラビアプレートと北 の中央イランの間で閉じた. たとえイランやその他のほ とんどの地質家がプレートテクトニック理論を利用して この出来事を説明しているとしても、解答のない多くの 疑問を残している. たとえば、ザグロス (Zagros) 主断層 に沿う衝突帯における地殻の厚さは非常に厚いに違いな い. また, 始新世に大規模なマグマ活動が, 特にザグロ ス断層の近くであった. 地球化学的な分析は規則的な分 布を示していない. 大きな疑問は, なぜ大陸地殻はこの 地域で拡大したのか?である. グローバルレンチテクト ニクスに基づけば、ザグロス断層帯に沿う構造的大変革 と新第三紀海盆モデルは、イラン高原はアルプス帯の一 部とみなすことによって、そして、この帯に沿って2つ の巨大な大陸が接続したことによって説明できる. 北部 は時計回り(右回転)を経験したが、南部は脆くストレ スの多い地域を生み出しながら半時計回りに回転してい る. その脆いゾーンに沿って Uromieh-Dokhtar マグマ帯 と Sanandaj-Sirjan 変成帯が形成された. 主断層帯に沿っ てガスと炭化水素が発生した. Zagros 地域の褶曲構造は 主要な炭化水素貯留体である. 新生代後期にイラン高原 の構造堆積的ベイスンが形成された. それらのあるもの は、断層に沿う強い垂直的な運動のあと形成され、急速 に小ブロックを陥没させた. 別のベイスンはリフトモデ ルによって形成された. また, 反時計回りのねじれはい くつかの新第三紀ベイスンの周りに目立っている.

Vernal Point と地球自転

Teodosio CHAVEZ C¹., Israel CHAVEZ-SUMARRIVA², Nadia CHAVEZ S³.

¹National University of San Marcos, Lima, Peru and National University of Engineering, Lima, Peru. Av. Pablo Carriquiry 451, Lima-27, Peru. Email: tchavezcampos@hotmail.com; ²National University of Engineering, Lima, Peru; ³National University of San Marcos, Lima, Peru.

1940年3月21日, バーナルポイントは水瓶座に入り, 地球上で3つの自然現象-(1) 南米における電磁気的現 象, (2) 赤道面上の高層電流, (3) 南米における気候変化― が確かめられている. 磁気赤道の標準安定性と赤道面上 の高層電流がより大きな強度で得られる所はおおよそ南 緯 13° である. 太陽の平均赤緯は南緯 13° で、およそ年 2日, すなわち2月15日と10月28日に, それは起こ る. 均時差は, 平均太陽時(通常は時計で計られる)と 視太陽時(日時計で計られる時間)の間の差である. 日々 の異なる長さは均時差として表されており、その原因は 地球の軌道周期, つまり, 春分点(秋分点)の歳差運動, 黄道傾斜,離心率である.平均赤緯南緯 13° における太 陽位置と均時差から、私たちは地球の自転運動の動きの 研究のための参照・論究・関連 制度・組織・手順・体制 を持っているということがわかる. それゆえ, 私たちは 地球の自転運動とその影響を研究するための観測システ ムの設置を提案する.

新しいグローバル・テクトニック・パラダイム: 最近の新しい進展

Dong CHOI¹ and Bruce LEYBOURNE²
1 Raax Australia Pty Ltd., Australia. raax@ozemail.com.au
2 Climate-Stat LLC, USA. geostreams@climatestat.com

きちんと立証された事実-1)海洋地殻の大陸的性質,2) 大陸から海洋への原生代構造の連続, 3) 中生代まで海洋 地域であった今日の古代陸地, そして 4) 下部マントルに 達している海洋と大陸の深い根―に加えてはっきりして きていることは、根本的造構作用は外核から放出される 熱/電磁気エネルギーに関係していて、マントルと地殻 に集積されていることである. この核からのエネルギー 放出と地震活動は、太陽と他の惑星の力と相互作用する. わきあがるドームあるいは背斜構造は通例, マントルや 地殻の至る所に認められ, フラクタルパターンを形成し ている. エネルギーの移動の2つの様式は1)南西太平 洋のフィジー地域に集中している外核からの幅広い湧昇 ゾーンを通り、中部~上部マントルで横に広がる場合、 および、2) 主に西太平洋の周縁で、狭い線状の深部テク トニックゾーンを通る場合である. しかしながら, 前者 (幅広い湧昇ゾーン)は、紋切り型の平凡な熱の対流運動 かもしれない.後者(狭い線状帯)は、よりいっそう電 気的な性質をもつのかも知れない. とくに, 西太平洋縁 では、40日にわたる地震エネルギーの北から南への振 動が、太陽自転にともなうバークランド電流の消長に関 連したセクター境界変化によって駆動されているように 思われる. 太陽磁気の大きな変化は、歴史的火山活動の 噴出物や地震の原因となった電気エネルギーの"サージ" を創出し、おそらく地質の記録における急激な絶滅やハ イエタスに関係していると推定される.

巨大地震は予知できる

Dong CHOI¹ & Fumio TSUNODA²

- 1 Raax Australia Pty Ltd., Canberra, Australia.
- 2 埼玉大学名誉教授

壊滅的な地震によって想像を絶する荒廃が発生し、科学 的な地震予知が、すべての地球科学者にとって切迫した 仕事になっている. この課題は、太陽サイクルの動向に 基づくと、地球は2008年以来、おそらく異常に強い地 震と火山活動が起こった17世紀末のマウンダー小氷河 期に比較されうる小氷河期に入ったと考えられることか ら, 今日では一層重要である. 近年の多数の破壊的な地 震・火山噴火や非常に激しい気象現象は、より長期の太 陽周期-361 年や 206 年周期, これらはマウンダーと ダルトン極小期にかかわった―のうちの急速な活動低下 期に発生している. 地震は予知できないという主流の地 震学者たちによる一致した主張にも関わらず、確かな科 学的根拠に基づいて首尾よく予知されてきた多数の大地 震がある. すべての破壊地震は、強い深発地震、霧雲、 電磁気現象 (電離圏の動揺など),重力/磁力異常,地温 異常,大地の運動,動物行動などのある種の前兆信号を 伴っている. 加えて、私たちの研究は、地震と地質構造 の間の関係、新しいグローバル・ジオダイナミック・モ デルの考え方での地震発生過程, そしてその誘因作用を 変調している太陽 - 地球 - 月の相互作用を明らかにした. 地震を発生させたり、その引き金となる地質学的、地球 物理学的そして惑星のプロセスから推定されるすべての 利用できる前兆シグナルを結合することによって,強い 地震, 特に M7.0 あるいはそれ以上の規模の地震は正確 に予知できる, つまり, 私たちの予知技術における進歩 は、現在、週、月、年のオーダーで発展していて、破壊 地震を首尾よく発見することを可能にしている.

ウクライナの鉱石濃集帯

Leonid GALETSKIY

Institute of Geoscience of National Academy of Science of Ukraine, Kiev. geos@geolog.kiev.ua

ウクライナ地方のために,新しいタイプの鉱床胚胎構 造が選択される. それらは, ブロック間縫合帯とブ ロックを貫く巨大活性化ゾーンである. 前者はある 傾向をもつ進化的発達を遂げた構造要素によって示さ れており、後者は、重複した破壊的性格をもったブ ロック貫通帯である. ブロック間縫合帯は、Nemyryv-Kocheriv, Golovanivka-Traktemyriv, Ingulets-Kryvyi Rih-Kremenchuk, Orekhiv-Pavlohrad. などであり、こ れらの構造は子午線方向に延びている. 北部, 中部, 南 部各ウクライナ帯は活性化した巨大ブロック貫通帯に属 している. まさしくこれらの構造には、生産性のある鉱 化作用やユニークで豊富な多様な鉱物の埋蔵、さらに希 金属・貴金属・有色金属、ウラニウム、ホタル石、そし てさらに,石油やガスが関係している. ほぼ子午線に沿っ た構造帯とほぼ緯度に沿った活性化帯の交叉する地域は 重要である. というのは、引張と圧縮の流れ(振動テク トニクス)が交互に作用した兆候がみられる特別な過程 がみられるからである. 急勾配の引張力変化をもつ構造 場は、鉱液流を輸送・集中させ、鉱石やオイル-ガスの 濃集のために, 地球力学的, 地球化学的, 地球電気的バ リアーを作り出す. 高い勾配をもつ造構環境が長期間に

わたって存在することは、鉱石形成システムの自己組織 化と維持機能に必須である.

地球内部ダイナミクスにおける変形作用の基本的機能

Hatam GULIYEV

Department of Tectonophysics and Geomechanics, Institute of Geology, Azerbaijan hatam@lan.ab.az

地球内部ダイナミクスのさまざまな問題に関する地球力 学の一般的原則は,非線形力学方程式,データ,よく知 られている Green, Ringwood, Liu らの実験的結果で構 成される基本システムの特性にもとづいている. 媒体の 密度分布の不安定性は、さまざまな地質的媒質におきる 変形作用に示される. ここでは, 圧縮歪硬化—一連の変 形過程の別の段階においては軟化をおこす―をとりあげ る. 不安定性は、地質媒体組成の中に、溶融帯や小規模 な剪断固化帯の形成に適した構造を生み出す. 剥離破壊 はさまざまな規模の空隙をもたらすにちがいない. これ らの自由表面や遊離物質で満たされた空隙では不安定性 がさら増し、圧縮場でも融解が起こるようになる.棒状・ 砕片状・板状・円柱状のより硬い局部的物体や、空間が、 マントルのさまざまな深さに存在するだろう. これらの 物体は,圧縮状態で安定性を失うはずである.であるから, これらの物質や環境は部分的に遊離し, 再び減圧状態が 生まれる. このようなゾーンにおいては部分溶融が起こ り、それらの中には、鉱物組成・岩石化学的特性・熱圧 力状態・深度などにしたがって希釈物質が生じるだろう. これらの溶融帯のあるものは, 希釈物質の中心をなし, さらに別の方向に向かって物体流動をひきおこすだろう.

ヴォルテックス (渦)ジオダイナミクス: 大気圏サイクロンから地質圏サイクロンへ

Dmitriy GUREVICH

SRK Exploration Service, Cardiff, UK. dmgurevich@srkexploration.com

アセノスフェアとリソスフェアは構造的な流れに密接な 関係を持ち, さまざまな規模のマントル対流とスラブの 沈下/吸い込みによって動かされている. この造構流は 非線形自己形成作用によるものであり、わずかな時間 的経過にも敏感で、ある誘因の間で進化していく、渦 vortex は、誘因のなかではもっとも重要なタイプで、ポ ロイダルおよびトロイダル循環や水平流および鉛直流を 統合する. ヴォルテックス (渦) 構造あるいはそれらの 一部は、これまでにも、地質学・地理学・地球物理学・ リモートセンシングなどのデータの解釈に用いられてき た. 活動的な渦は GPS による追跡, 地震の分布とメカニ ズムの分析, 断層変位, ひずみ像, 剪断波の分裂を利用 して, 地図上に描くことが出来る. 近年, 数値モデル化 は、サブダクション帯のいくつかのかどや会合点(アラ スカ,カムチャツカ,日本,エーゲ海)の下で渦型の流 れを明らかにした. これらの構造と(形成)過程は、永 続的な回転力に影響された長期間にわたる収束粘性流の 中に形成された誘導渦と考えられる. アセノスフェア内 における収束水平流 (海溝に平行な傾いた流れを含む)が、サブダクションの中央付近で観察される.流れの回転は、コリオリの力、すなわち、平行 (剪断力)あるいは非平行 (衝突)なマントル流によって誘発される.大気圏の非熱帯性サイクロンにたとえて、筆者はこれらのシステムをジオサイクロン (GC)と呼ぶことを提案する.GCの直径は数100~数1000kmの変化を示し、それらの寿命は20~100MAである.発達した典型的なGCによって形成された構造は、伸張帯 (くさび状亀裂、リフト)に交差する弧状の圧縮帯 (衝突帯、走向移動断層帯、逆断層帯、縫合帯)の間の対曲構造 (orocline)をもたらす.筆者は、いくつかの活動的なGCやGC群、そして太古のGCによって形成された構造の例を紹介する.

DSDP データの全体像から見た大洋底の沈下

Masaaki HANADA¹ and Michihei HOSHINO² 1 1631-11 Ouchi, Shimizu, Shizuoka, 424-0061, Japn and Department of Earth Sciences, University of Queensland, Australia, kevin1573459@ma.tnc.ne.jp 2 Emeritus Professor of Tokai University, Japan

この論文は、深海掘削において、浅海性の物質の分布は 中生代中頃以降のそれぞれの時代によりいっそう浅くな ることを述べる。これは次に含まれているさまざまな現 象に起因すると言われている. すなわち, 中生代/第三 紀境界における海水量の増加, 大陸地殻の海洋地殻への 変換、プレート冷却による大洋底の深化、そして受動 的大陸縁におけるリフト形成に伴う大洋底の沈下などで ある. しかしながら, これらの学説は古生物学的, 物理 化学的あるいは古地理学的な困難をはらんでおり, 妥当 な解釈を得ることが出来ない. 浅海相物質が若い年齢を もっている場所の物質よりもより深部の海洋底では、中 - 新生代玄武岩マグマが大洋底にアンダープレーティン グするために, 現地性浅海相物質が時代とともに大洋底 に運ばれるという現象が起こっていると、と私たちは信 じている. 大洋底の増加に伴って海水準が上昇すると, 元々の浮揚点 (floating point) は時間とともに次第に深部 に移動していく.

ジオプラズマ・コネクション

Louis HISSINK

Consulting Geologist. Field Geology Services, Perth, Australia. Ihissink@yellowstoneentp.onmicrosoft.com

地球は負の帯電体と考えられ、高電気伝導度の表層フィルム (海洋)によって部分的に被覆されていて、電離圏と磁気圏の2層のプラズマ層によって太陽プラズマから隔離されている。地球-大気圏-電離圏システムは、太陽-地球巡行における漏れやすいコンデンサーとして機能している。地球の充電の源は太陽であり、主に、表面と(あるいは)地下の複雑な電気回路(など)を形成している極バークランド電流を媒介にしている、と提案されている。修正されたアルヴェーン太陽電気回路モデルが、通常、地球の電場を説明するために使われている。固体-液

体 - 気体のプラズマシーケンスを通り抜ける電流は、固体からプラズマまでの物質の異なる状態を通り抜けるにつれて減少する熱的影響よりも、増大する力学的影響の結果であると解釈されている。これらの影響は、二次的な熱的影響を伴う地球表面での重要な物理力であると考えられている。地球磁場は、主に、帯電した地球の自転によるものである。地球電流の大部分は、電気伝導度がより大きい海洋の上に発達する赤道大気の低気圧系を通って流れている。蓄積された電荷の漏出も、よく起こる稲妻と同様、トルネード、サイクロン、ハリケーン、台風として一般に知られている大気放電として起こっている。これらの大気放電は太陽黒点現象に似ているところがある。他の地質現象もプラズマ理論の見地から解釈される。

日本の本州中央部における地殻脈動運動

飯川健勝*, 小林和宏 (日本) *940-1166 新潟県長岡市今井 186-2 Tel&Fax 0258-23-1724 k-iikawa@sea.plala.or.jp

日本列島にはおよそ 1000 個の一等三角点が $40 \sim 50 \text{km}$ おきに設置されている。一等ベンチマークは主要な道路に沿って 2 km おきに設置されている。三角点は、ほぼ 1880 年代,1958 年,1979 年に測量された。隣り合う 3 つの三角点の変位に基づいて,膨張,回転,最大剪断,2 つの主歪軸,および,主要応力方位が計算される。水準測量は,隆起と沈降が膨張と収縮とに対応することを明らかにした。はじめの段階では,隆起は本州の中央部で卓越していた。そして沈降は北部で卓越していた。前者の地域では 2 つの主軸ともに伸張を示し,後者の地域では収縮を示している。後者の地域では、そのような運動が反転した。そのような運動はさらに後で反転したので,脈動は一般的な地殻変動であった。破壊地震は最大剪断が 10^5 より大きい地域で起こった。

東北日本の温泉の水位と温度の変化、余震活動、地質構造にもとづく、2011年の東北地方太平洋沖地震による 誘発地震のメカニズム

川辺孝幸¹,中野啓治²

1 山形大学地域教育文化学部 kawabe@kescriv.kj.yamagata-u.ac.jp 2 Terra-Fluid Systems

東北太平洋沖地震直後の 2012 年に、温泉水の水位と温度の変化と多くの誘発地震が本州東北部で起こった. 温泉水のほとんどは、地下の断層や断裂のいずれの空隙にも存在する. 地下水位の低下した場所は、南北方向の断層に沿って配列している. これは、地下水を含んでいる南北方向の断層や断裂の空隙の幅が広がったことを意味している. GSI による GPS 解析によれば、本州東北部は東方向へ5m以上拡大した. これは上部地殻のひずみが減少して、相対的に引張状態に変化したことを意味している. これは、温泉水の水位と温度の変化をひきおこした. このようなひずみの変化はまた、上部地殻の下部にあらゆる種類の流動体に生み出され、それらは既存の断層や

断裂を通して上部地殻の上部を押し上げ、上方へ移動させた. これが、本州東北部の誘発地震の原因となった.

太陽, 月, 地球

Vinayak KOLVANKAR

Retired scientist, Seismology Division, Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai 400051, India. vkolvankar@yahoo,com

地震の発生における地球潮汐の影響を見つけるための研 究を行っている間, 高い地震活動度地域のなかの小領域 において,世界標準時 (GMT) で示される太陽の位置は, 太陽 - 地球 - 月 (SEM) のなす角度に加えて、震源位置と 地球上の月のフットプリントの間の距離 (EMD) に連動し ていることに気がついた. この論文は、世界の40カ所 以上の高地震活動域についての地震データの研究にもと づいて、この関係の詳細を報告するものである。1973 年~2008年の期間に世界中のさまざまな地域で発生し た地震の 98% 以上は,太陽 - 地球 - 月の角度 (SEM) に加 えて、太陽の位置と、地震活動域と地球上の月のフット プリント間の距離に直接に関連することがわかった. 時 刻が 00 時から 24 時まで変化すると, EMD と SEM の角 度の合計は360°にわたって変化する. そして, さまざ まな地震に対するこれら2つの変数をプロットすると, それらの間には単純な 45° の直線的関係があることが明 らかになる. この研究は、世界中の地震の大部分 (98%) が太陽と月によって制御されていることを示している. マグニチュードが2~3というより小規模な地震でさえ, 忠実にこの関係に従っている. また, 多数の余震は, ど のような大きな地震の場合でも、(EMD+SEM)対 GMT 時 刻グラフをつくると,直線的なカーブに忠実に従うこと がわかる. この研究は、この関係に確証を与えるために、 さまざまな地域とさまざまな期間における地震について 多数のグラフを描いて, 記述する.

日本列島中央部,新潟平野におけるブロック構造と地震 活動—山地隆起による"孤立丘陵"の形成と活断層

久保田喜裕, チーム新潟平野

新潟大学理学部 kubota@env.sc.niigata-u.ac.jp

日本の中央部,新潟平野は日本海に面した沖積平野で、その周辺地域は"信濃川地震帯"と呼ばれてきた.最近、2004年 (M6.8)、2007年 (M6.8)、そして"2011年3月M9.0東日本大地震"の翌日である2011年 (M6.7)に大きな地震が発生した.しかし、新潟平野の北部はまだ地震の空白部として残っている.中新世の火山岩類が卓越している角田-弥彦山地は、新潟平野の北西縁に位置している.山麓には丘陵地域が配置されている.これらの丘陵は、山地と丘陵の間に沖積低地が存在する孤立丘陵を形づくっている.そこでは北北東-南南西方向の活断層帯が走っている。これら丘陵と活断層帯の構造は角田-弥彦山地のブロック隆起によって形成された。プレートモデルにとっては、サブダクション帯から遠く離れた上に述べたような内陸地震の原因を説明するのは困難で

あるように思われる. 最近, トモグラフィーによる低速 度帯がこれらの地域の真下 30km 以深で見つかった. 低 速度帯の隆起に起因するブロック構造運動と地震の発生 の間の関係に注意が払われている.

既知の古磁極だけでは, 過去の単一大陸プレートを表せない

T Frank LEE

Retired academic, geologist and civil engineer. admin@pld.net.au

本研究は,地球の大陸プレートの漂移軌跡と,地球大円 上の磁極を結ぶ N-S 線上の中心から球の外側へ向かう 圧力によって引き起こされた鉛直方向の主応力および剪 断面の地表軌跡との関係を示した. 大陸プレートの古地 磁気極が、完新世の二つの磁極に一致する、磁極をもつ 自転極であると想定せよ. 古地磁気極の位置はステレオ ネットを使って決定せよ.極1が地球表層で磁極の方 へ移動したとき、最も古い次の極 2 はその面の表面軌 跡上か、その付近に描かれる. この図から、プレートの 移動距離と方向が角度として与えられる. カンブリア紀 には18のプレートがさまざまに描かれ、いろいろ試さ れてきた. すべてが, 支持することができるものであっ た. Re. Gondwana 地図では、オルドビス紀中期には Gondwana 大陸 (less S. America) がわずかに分岐しなが ら2つに裂け、西方へ移動する部分は更に分裂が起こっ た. 回転する南米は、デボン紀前期にアフリカに接合し たが、その後には元に戻り、ジュラ紀中期には一時的に 豪州とニュージーランドに接合した. それらのジュラ紀 中期の経線に沿ってこれらの分裂部分を移動させれば, 今日解釈されているゴンドワナ大陸が得られる.

磁力. 鉄原子間における d- 電子の一軸性移動が 地球磁場の起源を説明する

T Frank LEE

Retired academic, geologist and civil engineer, admin@pld.net.au

磁鉄鉱の単位格子は、Fe原子6個と0原子8個からな る面心立方格子である. 8個の O原子は外側の L 殼を埋 めるために16個の電子を必要とするが、円軌道をもつ s- 電子 12 個だけが Fe の外側の N 殻を占める. 4 個の電 子欠損は, M 殻の最大楕円軌道をもつ d- 電子によって 埋められなければならない. 中立の d-電子を放出し, O 原子の4個の電子の外側L 殻を埋めるには、d-電子が6 個必要である. 私は、これらの電子が磁場を作り出すこ とを認めている. なぜなら, もしエネルギーが非一軸的 に適用されるならば、余剰 d- 電子はエネルギー方向に 並行して整列し、付近の Fe 原子 N 殻に触れ、通過する であろう. このことは3個の電子を二つの軌道に与える が、パウリの排他原理では、原子1個に対して電子2個 で安定であるため、1個のd-電子においては近くの原子 中に適用エネルギーの方向が移動してしまい、退けられ る. こうして電流が発生し、物体は磁性を帯びる. 供給 エネルギーの中断は、O原子が向きを変えるのを妨げ、磁性が継続する:純鉄では異なっている.ここ数年の理論的研究から、著者は次のように確信している.固体内核は地球の中心にはなく、中心から北方の太平洋側へ幾分偏っている.結論:ポスターで説明されたさまざまな状態のもとで、内核を覆う流体外殻の一軸性傾斜らせん状の外皮(すなわち.一軸的エネルギー供給)が傾斜した磁場を作り出す.

太陽系の段階的発達を決定する基本的物理学説の活用

T Frank LEE

Retired academic, geologist and civil engineer. admin@pld.net.au

ガスと少量の固体で構成された回転球体はタマネギ状構 造をとって著しく分化するが、この分化は不完全である: 中心から外側へ, 水星 M- 金星 V- 地球 E- 火星 Ms- "ケイ 酸塩 " 衛星・" 氷 " 衛星—海王星 N- 天王星 U- 木星 J- 土 星 S. (Pluto 冥王星, Charon 冥王星の衛星, Triton 海王 星の衛星, "Asteroid 小惑星" はここでは無視する.) そ れは徐々に長楕円形になり、原型」と不活性Sの中の Jacobi 分岐点で分かれる - ≈78:22 -(4 proofs). 原型 J は 内部で分割の後、以前とは異なる閉じた力場になるよう 調整される. 核は中央で接するケイ酸塩とガス状球に分 かれる (N/U-E/V/My = 半径 4:1, 質量 16:1). 外側のガ スの穏やかな内部崩壊は、球状ケイ酸塩のはるか前方(火 星を含む) に, ひも状の "sil." sats (訳者注: "ケイ酸 塩"衛星?)と球状ガスのはるか後方に "gas" sats (訳者 注: "ガス" 衛星?) を生じた. これらは 推進力によって もたらされた. 火星は太陽の規制の下で通過し, 他の軌 道 J. Further は消失した:内部球状体は、吹き寄せられ た N/U and E/V/My と E/U に分かれた. Mn を捉えた E (同速度); タイタン(訳者注:Titan, 土星の第6衛星)は, 衛星亜間力 (satellite force sub-system) の平衡を保つた めに軌道を外れ、土星に捉えられた. 最後の崩壊: N と V/My がもたらされた:J は現在均衡を保っている. その 天体は木星から螺旋状に外れ、最終的な均衡系を創るた めに、太陽の制御のもとで通過した:海王星が最後だっ た. 少しずつ崩壊する場合は、ほとんどの天体間に厳密 な数学的な関係が認められた. たとえば、密度、半径、 軌道速度, 傾度, 回転, 同位体, 隕石. 40以上がほと んど公理で決定されてきた.

核分裂速度を変化させる時間と気候との関係

Bruce LEYBOURNE¹ and Wallace THORNHILL²
1 Climate-Stat LLC, Mississippi, USA.
geostreams@climatestat.com;
2 Holoscience, Canberra, Australia.

放射性壊変の過程には未だ不明な点が多いし,原子核崩壊速度の経時変化の最新の事実によると, 10^3 のオーダーで核崩壊速度を変えてしまういくつかの周期をもつ太陽の影響が示されている.この変化は,地球のマントル内部で,通常 H_3 同位体が H_2 へ変化する β 崩壊(電

子を放出する中性子の陽子への転換) ―励起している " 電気的地球 "と仮定されたが一、および "地震光 "をつ くり出すような γ 崩壊 (高エネルギー核から放出された 光子) のふたつにほぼ同等に壊変する. ニュートリノ 束との関係は深く追求されていない. たとえば, "振幅 [壊変速度における]は地球の楕円軌道には同期してい ないし、地球が太陽へ接近する際にふらつく壊変速度に も同期していない (そこではさらにニュートリノにさら されるであろう), そして次第に遠くへ離れていってし まう."興味深いことに、太平洋西縁の地震活動を揺さ ぶる南北振動は、太陽の自転によって生ずる Birkeland 電流を最大限に一掃する太陽極性のセクタ境界 (sector boundaries) によるものと仮定されたが、Madden-Julian 振動のパワースペクトラム (power spectrum) における 直接的な気候制御として現われている. これらの議論も、 太平洋 10 年振動や 30/60 年地球温度周期の概念に到達 するが、この概念は 2004/2005 年のハリケーン洪水の 前兆や、Hale サイクルに関連したエルニーニョ南方振動 の前兆地震として、メキシコ湾で倍増している稲光を規 制している太陽磁気へ収束しつつある.

地球物理学的手法で予測する気象と地震の自然災害

Bruce LEYBOURNE

Climate-Stat LLC, Mississippi,USA. geostreams@climatestat.com

太陽磁気活動に関連した地震と異常気象の発生予測に関 する地球物理学的モデル化が可能である. 気圧変化と重 力との間の遠隔力学関係は~0.30 ugal/mbar であるが, それは地電流に関連した太陽の磁気転換要因の理解に結 びついている. 大気振動様式に対する稲光と地震との遠 隔的関連については、大気循環の潜在的旺盛さを変化さ せる重力や電磁気, 遠隔要因に基づいたものなど, さま ざまなモデルが提案されている. 地理的交代作用は地球 内部エネルギーモデルに基づいているが、それは磁気双 極子モーメント%減衰率の傾きが、海洋/大気の温度 と循環の変化に関連している核 - マントル境界イベント の仕事率と運動量に関連した交代要素を与えることに拠 る. 出力は入力に対して慣習的な大気循環モデルで計算 されるだろう、観察に基づくと、そのようなイベントの 引き金となるメカニズムは、地球と太陽、月、さらに惑 星間システムのそれぞれを結びつけている電磁気 / 重力 相互作用における軌道物理と多様性であることを示して いる. 地球の内部放電は、原子核壊変の多様性によって 調節され、地震活動を増加させる太陽磁場強度によって 促進されている. このことは全球大気振動の変化の前兆 として公表された.

フロリダハリケーンと大地の全球地電流循環

Bruce LEYBOURNE

Climate-Stat LLC, Mississippi,USA. geostreams@climatestat.com

2004年にフロリダを横切った多くのハリケーンの進路

は、全球地電流循環に関係しており、ハリケーンを電磁 的に呼び寄せる伝導性異常のあるかつての三畳紀リフト に沿って、落雷が増加しているであろう. Tampa Bay-Lakeland 地域は、米国のどの地域よりも落雷が多く、 2004年のハリケーンシーズンに、3つのハリケーンが 直接通過した伝導性異常域に重なっている。2003年と 2004年の落雷は、Tampa 湾と Lakeland 地域を含む 1° × 2°の範囲内で, 600,000~1,000,000 を超え, 前年平 均に比べてほぼ倍増した. 北~北東 Tampa 湾を通過し た大多数の落雷は、大地の伝導性が最も高い地域である ことを明らかにした. 全球地電流循環が活発化している 期間には、中央フロリダのリフト帯のスイッチが"オン" になったと思われる. その結果, かつての伝導性異常リ フトに沿うハリケーンの進路と強さに影響を及ぼし, さ らに多くの落雷を呼び寄せたと思われる. 南ミシシッピー の Wiggins Arch の地磁気異常に重なるもうひとつの稲妻 異常は、まさにハリケーン、キャサリンの上陸が最も激 しく破壊し尽くした地域内にある. そこは Wiggins, MS の近くで、カトリーナが通過している間、とくに激しい 竜巻が突然発生した。2005年8月のカトリーナが襲来 する以前から増加している稲妻はミシシッピー Gulf 海岸 で報告された. 稲妻の前兆が 2004 年と 2005 年の突然 のハリケーン/竜巻事変に発生したが、それは全球磁気 減衰周期の運動量の変化に関係していると思われる.

地球システムダイナミクスの基本と応用

Dewei LI

Faculty of earth Science, China University of Geosciences, Wuhan, China. dewei89@sina.com

流体流が地球のエネルギーを保っている. 地球の内核は 不安定で,流体である外殼の状態によっては,地球の中 心から容易にずれてしまい、外殻の薄層流 (laminar flow) を引き起こす.核-マントル境界で著しく増加した流れは、 ホットライン (hot line) をつくり、中央海嶺を形成する板 状のマントル流になる; さらに柱状のマントル流はホッ トスポットと火山性島弧を形成する. 板状マントル流は 上部マントルの部分溶融を起こし, アセノスフェアを形 成する. アセノスフェア流体の多くは、中央海嶺から大 陸へ薄層流として流入し、海洋プレート運動を起こし、 大陸の垂直付加のきっかけをつくる. 板状ないしは薄層 流として大陸に湧昇し、一部に集中したアセノスフェア は,大陸下部地殻の薄層流をもたらし,続いて大陸性リ フトや堆積盆地を形成し、同時に造山帯を形成する. そ れは周囲の堆積盆地から来る下部地殻の流れの増加に起 因する. そのため、地殻に堆積盆地 - 造山帯システムの 循環が生ずる. 板状深部マントル流が弱くなると, 海洋-大陸相互作用は,大陸縁で海洋プレートのもぐり込みを 引き起こし、堆積盆地-山地システムを形成する. 板状 深部マントル流が消失すると, 大陸移動は海洋の縮小を 規制するようになる. 最後に大陸は衝突するが、大陸付 加は造山運動と言うよりむしろ造陸運動である. 地球シ ステムダイナミクスは資源, エネルギー, 環境, 自然災害, さらには他分野にも適応されるだろう. たとえば、地熱 エネルギー開発はエネルギー構造を改良するだけでなく, 災害や温暖化ガス放出をも減ずるであろう.

中国北部における造構的再活性化 (tectonic reactivation) の動力学的メカニズムとモデル

Zian LI $^{\rm 1}$, Ge LIN $^{\rm 1}$, Lu ZHANG $^{\rm 2}$, Guanghao CHEN $^{\rm 1}$, Jing YI $^{\rm 1}$, Jiangjian ZHU $^{\rm 1}$

1 Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China. 2 Centre for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101, China

中国北部楯状地における動力学的再活性化メカニズムの 研究から得られた結果とデータに基づき、熱的浸食メカ ニズム (the thermal erosion mechanism) と剥離メカニ ズム (delamination mechanism) と名づけられた,2種 類のリソスフェアの薄化メカニズムが本論で簡潔に議論 される. これら二つのメカニズムは次の二つの科学仮 説に密接に基づいている: Rayleigh-Benard 不安定仮説 (instability theory) と Rayleigh-Taylor 不安定仮説であ る. これら二つの仮説の制約により、熱移送と物質移動 に起因する孔隙波について, 中国北部楯状地の崩壊に関 する動力学的メカニズムに関連したエネルギー集積過程 を研究する必要性が生じた. 現存する Rayleigh-Benard 不安定仮説と Rayleigh-Taylor 不安定仮説をさらに改良 すれば、膨大なシミュレーションを通して、中国北部楯 状地の動力学的再活性化過程を復元するための必要条件 を抽出することが可能になる.

大西洋海洋底拡大を否定する シェトランドーグリーンランド陸橋

Biju LONGHINOS 1 and Karsten M. STORETVEDT 2 1 University College, Trivandrum City, Kerala, India. biju,longhinos@gmail.com;

2 Institute of Geophysics University of Bergen, 5014 Bergen, Norway. karsten.storetvedt@gfi.uib.no

シェトランド - フェロー諸島 - アイスランド - グリーン ランド海嶺は、北西方向の水深約 400m の、非震性の広 大な平頂性大洋横断山脈である. この地域はこれまで慣 例的に、北米とヨーロッパを結ぶ生物地理学的陸域とし て扱われてきた. これは、それら二つの大陸間の先-後 第三紀の動物相と植物相との強い関連を説明するためで あった. その仮説を立証するため、フェロー諸島 - アイ スランド海嶺の北縁における深海掘削では、層厚約 10m におよぶ中期 - 後期始新世の陸上風化断面と堆積学的証 拠から、この海嶺がラテライト層の形成後、1kmのオー ダーで沈降したことが示唆された. このように,フェロー 諸島 - アイスランド台地が一般的に言われている拡大す る地殻の鋳型の中に高くそびえ立っていることを説明す るために, 浅海ないしは陸上での海底拡大といった場当 たり的な説明がなされてきた. しかしながら, 膨大な地 球物理学的研究は、この海洋横断海嶺が次第に薄くなる 大陸基盤で構成されていて、35km オーダーに及ぶ異常 な厚さの地殻をもつとの結論に到達した. さらに,海嶺の不規則な磁気異常は典型的な大陸の特徴を示している. シェトランド - グリーンランド海嶺は, グリーンランドと西ヨーロッパのそれぞれにおいて, 二つの浅く比較的狭い北北東 - 北東方向のトラフによって断ち切られている. 厚い地殻をもつ海洋横断山脈におけるこれらの造構的切断関係は, 西部ヨーロッパと隣接する北大西洋のGPS速度構造に一致していて, さらに他の事実を付け加えれば, アイスランドは北大西洋断裂系に影響された現地性の大陸断片である. 地殻の拡大一プレートテクトニクスと地球膨張モデルによって引き合いに出された考え方—には証拠が見あたらない.

地殻変形力と地殻変形

Mansour Samimi Namin

Managing Director of TOZCO. m.samiminamin@yahoo.com

パスカルの基本原理の形にみられるニュートンの鉛直重 力とニュートン - キャベンディッシュ (Cavendish) の水 平引力は、地殻変形の推進力になっている. 原始地球は 中心対称であると仮定される. 鉛直重力(極氷塊)は,1) パスカルの基本力を生む唯一の自然力であり, 可塑的で 粘性的な溶融物質は,重力限界 (gravity horizon: 自動均 衡帯)のなかで地球自体の重力均衡を保つために、水平 に押す要因となり、2) リソスフェア (弾性的皮殻)の応 力配置は,極の氷塊の外縁にほぼ一致する環状に集中し たものと, 赤道の環状引張といった二つの環状応力をつ くる. いったん主要な可塑帯中に一定のパスカルの圧縮 力が働けば、おそらくモホ帯はリソスフェアの強度を超 える. 地殻は北半球で破壊する. その後, 大陸は上部マ ントルを浮遊する. 同時期の火山活動は氷期を招きやす い. 山岳氷河は動き始め, 巨大な氷山の上に循環する斧 のような山地 (the rotation axe mounting) をその間に運 ぶ. 氷河が融解する間, 斧はその位置を変え, さまよい 出す. しかし、氷塊ないしは火山活動の復活という制限 の中で、常に回転するためのモーメント力が最小に働く ようしむける.2回目の地殻の破壊は、よく知られてい るように, ウェゲナー (1924) が規定した. 大陸 (密度 は約2.8)は、周囲を取り巻く海洋地殻(密度2.9-3.3) のため、水平応力のもとにおかれている. 大陸を収縮さ せた水平力は、その結果として、海洋を拡大させ、マグ マを中央海嶺から押し出した.

世界磁気異常図とグローバルテクトニクス仮説

Karsten STORETVEDT

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

近年公開された世界磁気異常図は、グローバルテクトニクス仮説に対して、数多くの本質的で重要な特徴を呈している。深海の'縞状'異常パターンは一般的に、水平拡大する海底に刻まれた地磁気極性の周期的な変化によってつくられるとされている―しかしながら、これは、すべての厳密な試験に失敗しているモデルである。広く多

様性に富む深海の事実,一1)中央海嶺沿いには火山活動はほとんどない,2)一般的には低熱流量,3)多数の動力変成岩,4)膨大な沈水大陸塊,5)刻印された剪断変形一は,海洋地殻が薄化した大陸地殻(ほとんど後期中生代の作用)であることを示しているという結論に到達する.アルプス期の造構的ねじれ,これは磁気-鉱物変化に関連し,本来はある基本的で(凡世界的な)一連の直線状断裂に沿って発達しているが,これは海洋と大陸の磁気異常に関する全般的メカニズムのように思われる(磁化強度差モデル:the susceptibility-contrast model).グローバルテクトニクスシステムを支持する世界磁気異常図は,地球の自転の変化に直接結びついている.プレートテクトニクス,地球膨張,そしてサージテクトニクスは支持できないようにみえる.

地球的展望におけるカリブ海の進展

Karsten STORETVEDT

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

カリブ海域の構造発達史は、地球のダイナモ造構システ ム (dynamo-tectonic system) に密接に結びついている. そのシステムは, 多様に分布する内部からの脱ガスによ り、最初は厚かった全球の大陸地殻の大部分を薄化し -結果として、海洋盆の地殻は薄くなった. 地殻物質と上 部マントルの世界規模での消失は,後期白亜紀~前期第 三紀に加速され、惑星自転の急激な変化を引き起こす地 球の慣性モーメントを変化させた. 緯度に依存した内部 力は, 大規模な大陸塊をその場で控えめに回転させ, 力 学的に弱体化した海洋地殻を変形させた. アメリカ大陸 が相対的に回転している間に, カリブ海域が南アメリカ に形成され、Polochic-Motagua 断層系に沿った主要な構 造境界が生じた;この過程で,玄武岩岩質および花崗岩 質火成活動が、地殻がやや薄化したカリブ海堆積盆地の 極めて多くの場所で発生した. カリブ海の東向きの造構 的振動は, その内部と縁辺に沿って, 重要な剪断テクト ニクスをもたらした. その結果, 浅部で西傾斜の小アン チル弧のスラスト前線が消滅した. カリブ海の歴史は, 隣接するアメリカと付近の海洋地域の主要な構造特性に 直接結びついている.

放射能異常,惑星内磁場の特徴的配置と M6+地震に先立つ IPDP 兆候

Valentino STRASER

Independent researcher. fifurnio@tiscali.it

マグニチュード M6+ の大地震は、地球規模で3つの特徴的な現象に先立つ:

惑星内部磁場 (IMF) の変化

電波異常の出現

振動間隔減少期の発生頻度 (IPDP)

GOES 衛星に記録された大地震前の IMF グラフの特徴的 パターンは逆 "S" 字状で, 磁場 $2 \sim 8$ nT に関連している. この IMF 変化は、周波数が 0-3Hz の範囲および、IPDP

0.1-0.6Hz 間隔の電波異常に伴う.逆 "S"字状の先端と M6+ 地震間の一時的な間隔は 60′~8′の範囲である一方,電波異常と the seism (地震活動)間の経過時間は 60分から2分に変化する.これらの現象の繰り返しは,2009年以来,歴史解析と前兆期の両面から立証されてきた.IMFとIDPDの両者とも,太陽のダイナモ効果に依存している.逆に,このことは太陽系重心の変化に関連している.造構応力を受けた地域における太陽からのエネルギー伝播は,重力タイプである;IMFとIDPDの変化は太陽自転の変化を反映している一方で,低周波の電磁波と電波異常の出現を通して,地球に明瞭な応力が生じる.

M6+ 地震の 60 日~ 2 分前の前兆現象 学際領域研究手法の提案

Valentino STRASER

Independent researcher. fifurnio@tiscali.it

地震前兆に関する固有の統計的モデルをつくるために, 地震の前兆の同時性と使用された手法・解析法の妥当性 とを確かめるための1つの方法は、学際的な研究を組み 合わせることであろう. これらは以下のように始まるは ずだ:地震の約50日前の地面からの発光現象;震央域 における本震約1月前の地震雲とジオエラプションの発 生. 地震に先立つ造構力の増大のさらなる確証は、以下 のことから分かる:地震約10日前の熱異常;1週前に 起きる電波障害の増加;地震の3日前のラドンガス放出; 低周波の磁気的バックグラウンドの増加; IMF と IDPD の変化;実際の地震の8~2分前にはあらゆるところに 現れる電波障害. マグニチュードは,2011年3月の日 本における事例のように、放出された蒸気雲のタイプと 地震に先行する電波障害数の異常な増加とに比例する傾 向にあった. 地震データと結びつけた地球力学モデルの 適用は、予知の質を全般的に高めるだろうが、さまざま な分野を統合した国際研究グループの立ち上げが地球規 模での地震リスクのより定量的な規定をもたらすことに まちがいはないだろう.

日本に最近続発する破壊的地震

Yasumoto SUZUKI* and the Research Group of Deep Structure of Island Arcs *4-4-15, Sugano, Ichikawa, 272-0824 Japan yasu-suzuki@vega.ocn.ne.jp

日本列島の本州南西部には、1995年の兵庫県南部地震 (M7.2) の発生以来、2000年の鳥取県西部地震 (M7.3)、2001年の芸予地震 (M6.7)、2005年の福岡県西方沖地震 (M7.0)が相次いで発生した。本州東北部では2004年の中越地震 (M6.8)を先駆けとして、2005年の宮城県沖地震 (M7.2)、2008年の岩手・宮城内陸地震 (M7.2)、2011年の三陸・常磐沖地震 (M9.0)、同年の長野県北部地震 (M6.7)が次々に起きた。本州西南部では、浅発地震に伴う断層が平行してともに環状分布をとる。後者の地域では浅発地震と深発地震が鉛直方向に同時期に活動する傾向

が指摘されている.このことは環状の断層構造が深部から浅部にほぼ鉛直に延びていることを暗示すると考える.このような構造は、中-深発地震面に沿ってプレートが斜め深部に潜り込むというモデルを成立させない.なおプレートは、マントルトモグラフィによって日本列島下にまでは追跡できるが、日本海下にまでは追跡できない.

南太平洋におけるスーパーホットプリュームの 火山 - 地震エネルギーの多様性

Fumio TSUNODA

Emeritus Professor, Saitama University, Japan tsunochan@sky.email.ne.jp

南太平洋に在るスーパープリュームは、外核につながる 巨大な熱の移送路であり、これが地球で最大の熱供給源 である. 火山作用を発生させる熱エネルギーは、地震 を起こす運動エネルギーにも変換される. 40° N $\sim 40^{\circ}$ S, 150°E~140°Wの区域における噴火規模に基づい て1年間の噴火エネルギー総量を求めると、そのピー クは1978, 1980, 1985, 1988, 1994, 1998, 2000, 2004, 2006 の各年に現れた. 全世界的に見ても, こ れらの年以外には、火山活動のピークは現れていない. 一方,同じ区域において,地震エネルギーのピークは 1975, 1980, 1995, 1997, 2000, 2002, 2007年にあ る. さらに、地球全体でも、これらの年以外には活動ピー クは認められない. 以上の結果から, 火山と地震の活動 のきっかけは外核の高温化である、と考えられる. つづ いて、スーパープリュームが高温化し、そのエネルギー が全地球へと広がっていく. そして, その熱の移送経路 にそって地震と噴火が起こるものと想定される.

地殻波モザイク構造仮説の一般性

Guang Cheng XIE ¹, Xiao Qi LIU ², Wei HUANG ¹, Yan ZHANG ¹ and Guo Min FU ¹

1 Geotectonic Institute, Chang' an University, China xieguangcheng@yahoo.com; 2 Sinopec Service, China

筆者らが第32回IGCで"石油/ガス沸騰包有物 (boiling inclusion) とその地質学的意義"を公表して以降、断裂系 に伴う3箇の試料を見いだした. これらの試料のすべて に石油 / ガス沸騰包有物が含まれ、この地質学的現象が 単なる稀少事象ではないことを示すために, 地質学的に 重要な地震ポンプモデルを育ててきた. より多くの石油 試料の解析を通して,石油/ガス減圧沸騰は普遍的に起 こりうる地質学的現象であることを確信した. 著者らは、 地塊波運動と動水圧原理を結びつける "沸騰帯の減圧" 概念を提案する. そのため, 減圧沸騰は地殻の分化と溶 融の主要メカニズムであり、造構的活動帯は減圧沸騰帯 として頻繁にマグマや地震、噴火活動などを生じさせる 地帯であると考えられる. 同様の考えから, 筆者らは環 太平洋構造帯の深発地震帯の分布と日本の 3.11 地震を 解析した. 例として説明すると, 環太平洋火山 - 地震帯 は太平洋地塊の波動運動によって引き起こされたもので, それは現世の最も活動的な減圧沸騰帯であり、海洋地殻

と大陸地殻の融合帯である. それゆえ, 地殻波モザイク 構造仮説は最も一般的な造構論になると信じられる.

世界の海洋から産出する古期・大陸性岩石

Takao YANO¹, Boris VASILIEV² and Dong CHOI³
1 Department of Environmental Science, Tottori University, Japan. yano@rstu.jp; 2 Institute of Pacific Oceanology, RAS, Vladivostok, Russia; 3 Raax Australia Pty Ltd, Higgins, Australia

世界中の海底底の 100 地点以上から古期・大陸性岩石が 産出するという事実は、地球科学界にほとんど知られて いない. 私たちは, それらを4つのタイプに分類して, それらの海洋形成における意義について考察する. タイ プAの岩石(大陸-海洋遷移帯において,海洋底深度よ りも深部に存在する大陸性岩石)は、大陸の一部が沈水 して,海洋底に転化したことを証明する.タイプBおよ び C の岩石 (大洋中央海嶺~海盆に分布し、それぞれ、 大陸性岩石および大陸的地球化学特性を示す岩石)は, 海洋がもともとは大陸的性質をもっていたことのなごり である. タイプ D(予想された海洋プレート年代よりも 有意に古い岩石や化石)は、海洋リソスフェアが長寿で あり、1.9 Ga あるいはオルドビス紀にまで遡ることを示 す. これら4つのタイプの岩石が広く産出することは, 世界の海洋底の下に古期大陸性リソスフェアが存在し, 中 - 新生代の厖大な火成活動と沈降によって破壊された ことを示唆する. 海洋地質調査は依然としてきわめて疎 らであり、今後の深海掘削やドレッジ調査の進展によっ て,世界の海洋底の下に古期大陸性リソスフェアが系統 的に分布すること、ならびに、それらの破壊プロセスが 解明されるだろう.

2008 年文江地震で立証された地震を引き起こすエネルギー Zhong Qi YUE

Department of Civil Engineering. The University of Hong Kong, Hong Kong, China. yueqzq@hku.hk

目下,多くの人々が,地震は活動的な地質断層の突然の 破壊によって生ずると信じている. この仮説に基づけば, 地震を引き起こすエネルギーは、プレートテクトニクス 説に関連した断層に沿う、変形した地殻の岩石における 弾性応力と歪エネルギーとなる. 演者は地震を引き起こ すエネルギーのさまざまなタイプを紹介する. 地震を引 き起こす新しいタイプのエネルギーは,強く圧縮され, 地殻深部断層帯から流出した濃密な天然ガス(メタン) に由来する物理的膨張エネルギーである. それゆえ, 地 震過程は、上方への流出作用と強く圧縮された天然ガス の大規模な膨張作用による瞬時の噴出に関連した断熱過 程と記すことができる. そのガスは、現位置応力と岩石 の剛性と強度, さらに下向きに作用する重力によって頂 部の深部断層帯とその周辺や上方の岩石中にトラップ・ 密閉され、それが流出したものである. ガスの膨張力が 能動的力であり、地盤の断層運動は地震時の受動的結果 である. 演者は 2008 年 5 月 12 日, 中国四川の破壊的 な Wenchuan 地震の絶え間ない徹底的研究から、このガスエネルギーを発見した. 演者はその地震の実態を精査し、地震前や地震時、地震後に生じた多くの関連現象を見いだした. 現在の岩石の弾性反発エネルギー説では、この現象の論理的で首尾一貫した説明はできない. しかし、ガスエネルギー説をもってすれば、首尾一貫してそれらの現象を説明でき、充分に関連づけて論理的予測も可能になる.

新生代の破壊的連環 (Concenters 造語?) -地球環状構造の新しい範疇-

Irina ZHULANOVA

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute of Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia. metamor@neisri.ru

"新生代破壊的連環 (CDC)"という用語は、著者によって

提唱されたもので、中心対称 (環状)構造の新しい範疇 をさす. CDC は地球表層における最新期のある破壊のこ とである:大きな河川,険しい海岸線,海底急斜面.集 中した研究により、そのほとんどは理想的な円弧である ことが分かった. 弧の半径は数 1000m に達し, 空間分 布は同心円状で, その中央には玄武岩質火山活動がしば しば現れる低地となっている. CDC は非常に多く, 共存 原理のもとに互いに重なっている. 典型例は Bering CDC で、中心は Eponymous 海峡に位置している. 深部から 到達する地震波による固体の破壊錐体の断面としては, CDC モデルだけが適合している. さらに、Bering CDC は、 圧縮 (Chukchi および Seward 半島) と引張 (Bering およ び Chukchi 海)の対称的象限のなかで、直径によって二 分されている. 環状破壊系は衝撃波(地震)のエネルギー 流によって生じたと考えらえる. そのエネルギー流は、 マントル-核起源で、圧縮と膨張象限の転換は回転(水平) 力の結果である.

エベレストの高解像度画像:一見の価値あり!



ブリスベン IGC にインドから参加された Biju Longhinos さんから, エベレストの高解像度パノラマ画像(パン・ズーム可)をみることができるサイト < https://s3.amazonaws.com/Gigapans/EBC_Pumori_050112_8bit_FLAT/EBC_Pumori_050112_8bit_FLAT.html > を紹介いただきました.

財政的支援について FINANCIAL SUPPORT

多くの読者からの示唆にしたがって、NCGT Newsletter は公開雑誌になった。今や、登録することなく、誰でもすべての号にアクセス可能である。これは、この雑誌の発行費用を賄うために、私たちは読者からの善意・無償の寄付と広告収入に頼らなければならないことを意味する。私たちは読者の寛大な財政支援を歓迎する。印刷版の購読費は、US\$140/年(あるいはユーロ相当額)+郵送費である。広告費は、裏表紙 (Premium position)半ページで US\$60/号、US\$220/年、全ページで US\$100/号、US\$360/年(あるいはユーロ相当額)である。他のページでは、10%割引。詳細は editor@ncgt.org.へ.

■ もしあなたが PayPal 口座をお持ちであれば、下記

口座へ送金されたい (PayPal はクレジットカード Visa・MasterCard で支払い可能. この方法の利用を推奨する.

http://paypal.com/cgi-bin/

口座名:New Concepts in Global Tectonics

E-mail:ncgt@ozemail.com.au (editor@ncgt.org ではない)

■ 銀行振替あるいは小切手でお支払いの場合は

宛名:New Concepts in Global Tectonics 郵送先:6 Mann Place,Higginns,ACT2615,Australia

■ 現金で銀行送金する際の銀行口座の詳細

銀行名: Commonwalth Bank (Swift Code: CTBAAU25),

Belconnen Mall ACT Branch (BSB 06 2913)

口座番号:06 2913 10524718

口座名義:New Concepts in Global Tectonics

ニュースレターについて ABOUT THE NEWS LETTER

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

目的は次の事項を含む:

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

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