

ニュースレター グローバルテクトニクスの新概念

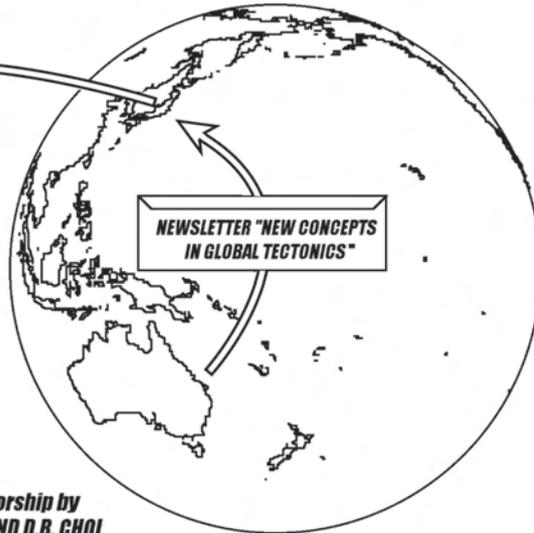
NEWS LETTER *New Concepts in Global Tectonics*

No. 35 2005年6月(日本語版 2005年10月) 編集: J.M. Dickins and D.R. Choi

ニュースレター
日本語版



Under the editorship by
J.M. DICKINS AND D.R. CHOI



本号のハイライト

★ 戦いは続く (p.2)

NCGT 創設者・本ニュース編集者のお一人 JM Dickins 博士の足跡と遺産。

★ スマトラ地震 (pp.4-20)

スマトラ地震の前兆現象と地球力学的意味が、2つの論説で解析される。

★ 火星と地球の二極性

(pp.27-28)

火星と地球にみられる惑星規模の非対称性と、その起源に関する議論が展開される。

も く じ

■ われわれの戦いは続く	2	赤道大西洋中央海嶺—拡大異常	21
■ ニュースレターについて	3	火星と地球 二極分離	24
■ 編集者への手紙	3	地球自転減速と地表の規則性	26
■ 論 説		■ 出版物	29
スマトラ地震と前兆現象	4	■ ニュースレターについて	32
スマトラ大地震の地球力学的意義	8		

連絡・通信・ニュースレターへの原稿掲載のためには、次の方法(優先順に記述)の中からお選び下さい: NEW CONCEPTS IN GLOBAL TECTONICS 1) Eメール: ncgt@hotmail.com; 2) ファックス(少量の通信原稿): +61-7-3354 4166, 3) 郵便・速達航空便など: 14 Bent Street, Tuner, A.C.T., 2612, Australia (ディスクはMS Word フォーマット), 4) 電話: +61-2-6248 7638. 次号は2005年9月下旬に発行予定. 投稿原稿は2005年9月上旬までにお送り下さい.

放棄 [DISCLAIMER] このニュースレターに掲載された意見, 記載およびアイデアは投稿者に責任があり, 当然のことながら編集者の責任ではありません. 本号は Mary K. Choi の援助をえて, J. Mac Dickins と Dong R. Choi が編集しました.

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

翻訳・編集: NCGT ニュースレター翻訳グループ

赤松 陽 岩本広志 川辺孝幸 国末彰司 窪田安打 久保田喜裕 小泉 潔 小坂共栄

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

<翻訳に関心をおもちの方, ご連絡下さ〜!>

われわれの戦いは続く OUR BATTLE CONTINUES

(赤松 陽 [訳])

私たちは、心ならずも、本号の冒頭で、このニュースレターの共同編集者の一人であり、NCGTのリーダーそして創設者の一人である James Macgregor (Mac) Dickins 博士が、2005年6月8日、キャンベラで逝去されたという悲しいニュースをお伝えしなければなりません。この35号は、彼の編集者としての最後の号になりました。

私たちは一人の偉大な地質家を失いました。彼は、グローバルな地質学においても、また地域社会の仕事においても、才能豊かな組織者であるとともに、正義と民主主義のための強靱な闘争者でした。彼は、生涯の最後までNCGTグループの活動とその将来をたいへん気にかけていました。

Mac Dickins は、地質図幅調査、層位学・岩石学・化石の調査、地質構造の解明、そしてあるの地域の古地理と地質構造発達史の復元、といった地質家が直接フィールドを歩き回っていた地質学の黄金時代に生まれました。それは偉大なフィールド地質家そして地質家魂が生まれ育った時代でした。Mac Dickins もその一人でした。彼は、地球の隅々から集めた膨大な量のフィールドのデータに基づいてものを言ったシュティレ、ペロウソフ、メイヤーホフなどと同等に、崇敬された伝統的な地質家でした。私はこの20年の間の多くの時間を彼と共に過ごしました。私たちは、地質科学の現在の状況や未来をめぐって、大きな懸念を引きおこす地質学のあらゆる局面について議論しました。私たちはプレートテクトニクスの独断を乗り越えなければなりません！

その目標を目指して、New Conceptsグループの組織化は慎重に計画され、ついに1996年の第30回IGC北京大会で実現のはこびとなりました。Macはつねにグループへの愛情を持ち、グループを正しい方向へと導きました。彼の数々の意見やアイデアは、論文とともにニュースレターの論説という形で何度も述べられてきました。彼の問題への接近のしかたは総合的でした。彼は、独断的な方法や考えを排除し、地質学の考え方ではチームワークと公平さを力説し、また、考える際には、実際の地球のしっかりした証拠に基づくことを心がけていました。彼のリーダーシップのもと、グループは、幾多の国際会議を成功裏に組織しました。そして現在、世界中の200以上にのぼる個人と図書館の購読者を持ち、本号で35号に達するこの季刊のニュースレターの発行を維持してきました。読者の数は継続的に増加しています。



1923年9月7日～2005年6月8日

私たちのニュースレターは、格式ばったものではありませんが、定着した国際誌です。このような業績はMacの優れたリーダーシップと彼の強靱な戦闘的精神そのものの産物です。彼はNCGTグループがより大きく発展することを強く望んでいました。そして、ある日にはこのグループが、しっかりした根拠をもった確固不動の地球ダイナミック理論を、組織的に定式化できであろうことを夢見ていました。しかし、彼が病院のベッドの中にいる時に、私たちは、このグループとニュースレターに関するいくつかの技術的なことがらについて議論しました。彼はいくつかの提案と任務を残しました。その一つは、自由で開かれたコミュニケーションの気風をもち、ざっくばらんなかなりの働きかけを行いつつ、より広範な支援者グループの支えを得て、ニュースレターの質をいっそう向上させること、そのほか、編集会議の確立、電子フォーマットと発信の広範な利用、しっかりした財政基盤、合法的な手続きでのグループの公式の登録、などを含んでいます。私は、グループ創設に関わったり / 本誌を購読しているメンバーと、後日適当な時期に、これらの問題について接触をもちたいと思います。我々戦いは続く—これはマックの遺産であります。

D. R. Choi

財政的支援について FINANCIAL SUPPORT
銀行銀行預金口座細目の変更 CHANGES IN BANK ACCOUNT DETAILS

(赤松 陽 [訳])

私たちは、個人で可能な方からは30米ドル(45豪ドル)あるいは相当額以上の、また、図書館に対しては50米ドル(75豪ドル)あるいは相当額以上の財政援助をお願いしております。少額ですので、ばかにならない銀行手数料の支払いを避けるために、私たちは、銀行為替手形か、New Concepts in Global Tectonics宛での支払い可能な個人小切手を発行してもらうことをお願いします。あて先は 6 Mann Place, Higgins, ACT2615, Australia.

銀行を通じて送金する方のための銀行預金口座細目：
 銀行名 - Commonwealth Bank, Belconnen Mall ACT
 Branch (BSB 06 2913)10524718.
 口座加入者名： New Concepts in Global Tectonics.

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

もし領収書が必要な場合には、送金して下さる際に一言、お知らせ下さい。

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITORS

(矢野 孝雄 [訳])

私のウェブサイト (<http://newpole.nm.ru>) の次の内容に、興味をお持ちいただければ幸いです。

最初は、地球、水星、金星、火星および月の初期構造がイメージされた。それは、各惑星の表面における断層配置をコンピュータ解析することによって得られた。これらの惑星の初期地理極は、現在の位置から20°～40°の距離にあったことがわかった。地球の過去の大陸の等高線が、求められた。各大陸は、現在のものと同じ位置を占めている。これらのデータの分析、ならびに古地磁気データも、「マントルの回転テクトニクス」あるいは「マントル回転仮説」とよばれる新しい造構仮説創造の基礎となった。造構作用の物理モデルを記述した文章が、55枚の絵として図示されている。モス

クワ大学からきた教授たちは、彼らの数学モデルとコンピュータプログラムの製作を完了した。物理学モデル記載を入手することができ、ウェブサイトで見ることができる。数学モデル準備の進行状況についても、サイトでわかる。

このプロジェクトに興味をもたれ、それに関する情報(含: サイトアドレス)を、地質研究者・地球物理研究者および古生物研究者に知らせていただければ幸いです。また、これらの研究のいっそうの発展にご助言をいただければありがたいと思う(この書籍の要旨は、本号 p. 31 参照)。

Alexander DOLITSKY avdolitsky@mail.ru

私は、TAG (*The Australian Geologist*) の2004年9月号に美しく紹介されたビクトリア州の地質について、コメントをしたい。いくつかの点で、それは私を失望させた。第1のビクトリア州を横断する東西方向の広域的地質断面図には、オールドビス系の閉じた褶曲が示されているが、それが意味するかなりの量の地殻短縮について、編集者は何の記述もしていない。私は、第25回IGCアブストラクトに投稿し、その後、私自身が出版したある論文で、実際に計算をおこなった。短縮量は、410kmになる。密な褶曲軸間隔(6km)は、デコルマ帯

がかなり浅部に存在することを示す(Laing, 1976)。

2番目に、オールドビス系がタービダイトとして記載されている。それらは、KuenenとMiglioriniのいう意味ではタービダイトではない。タービダイト(ニュージーランドでは、通常、級化層を示す)は、ふつう1回に約35cmの厚さで堆積し、基底部がより粗粒で、上端へ向かって細粒化する。それは、粒度でいうと、粗粒砂からシルトに相当する。下位層の頂部が、その堆積に続いて発生したスランピングによって浸食されると、

そこにはトラフ構造が見いだされる。いくつかの大露頭では、上下の同様に傾斜した地層の間に孤立したスランプ構造が存在する。私がみた最良の例は、ニュージーランド東海岸地向斜の Attonian (下部中新統) のものである。各地の大露頭では、ふつうに、傾斜した上・下位層の間に曲がったスランプ層をみることができる。

最後の問題は、二畳系 Pykes Creek 層がティライト (tillite) として記述されていることである。しかしながら、私の調査でも、また、彼らの本文中での記載によっても、それらは二峰性の粒度分布をもつ礫質砂岩であり、まったく淘汰されていないすべての粒度サイズを示すティライトとは異なる。

真のタービダイトや真のティライトを示すために、堆積地質学を担当している地質研究者のためのニュージーランド野外見学旅行を誰かが準備すべきである。

すべての地質学的特徴が、すべての大学の地質学科の

影響がある地域にみいだされる傾向があることに (かならずしも同じ特徴ではないが)、私は注目している。父親にちなんで Moresby 港と命名した船長 Moresby の精神にしたがって、私は、著名な懐疑論者である私の父にちなんで、この観察に Laing の法則と命名したい。

文 献

KUENEN, P.H. and MIGLIORINI, C.I., 1950. Turbidity Currents as a cause of graded bedding. *Jour. Geol.*, v. 58, p. 91-126.
 LAING, A.C.M., 1976. Crustal Shortening in the Australasian Plate. Abstract 25th International Geological Conference and Bulletin 1. Australasian Geological Institute 1978.

Colin LAING
 3319 Moggill Rd, Bellbowrie, QLD 4070, Australia
 cla18650@bigpond.ne.au
<http://www.powerup.com.au/~acmlaing>

論 説 ARTICLES

最近のスマトラ地震とその前兆現象について

ON THE RECENT SUMATRAN EARTHQUAKES AND THEIR FORERUNNERS

Claude BLOT

Villa Mariette, 112 Impasse des Mesanges, 83210 La Farlede, France
 claude.blot@wanadoo.fr

(小泉 潔 [訳])

1. 巨大ニアス地震, M = 8.7, 2005/03/28

北部スマトラの広域テクトニクス (Bolt and Choi, 2004) と地震エネルギーの伝播概念 (Bolt, 1976) によると、巨大ニアス地震の前兆現象は、浅発地震の発生域の北東側で起きていると考えられる (図1・表1)。

これらが発生すると考えられる二つの明確な地帯は、次の1と2の緯度経度範囲に限られている。

- 1 : 深発地震については、スマトラ島下の北緯 3.5° ~ 2.5° , 東経 98.5° ~ 97.5° の範囲。
- 2 : 浅発地震については、ニアス地震域を中心とした北緯 2.5 ~ 1.5, 東経 97.5° ~ 96.5° の範囲。

これらの地理的範囲内で決定された全ての地震活動の時系列リストが国際地震学センター (NEIC と ISC) によって提供されてきた。

地帯1では、1998年以前は深発地震がほとんど発生していないことが注目される (NEIC のデータによると、1991 ~ 1997年の間の地震は0、そして1998 ~ 2004年

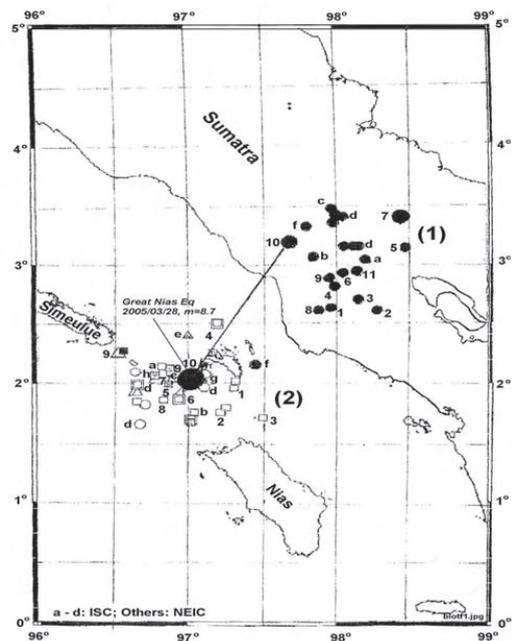


図1 ニアス島付近の浅発地震に関連する (スマトラ島下の中深度における) 前兆的地震

表1 北部スマトラ, 巨大ニアス地震 M: 8.7, 2005年3月28日 —浅発地震と深発地震同士の相互関係—

Table 1
NORTHERN SUMATRA, THE GREAT NIAS EARTHQUAKE M : 8.7 , 2005 / 03 / 28
CORRELATIONS BETWEEN DEEP SHOCKS RORERUNNERS OF SHALLOW EARTHQUAKES

A n°	Data from Date y m d	NEIC: Deep quakes				Parameters of Correlations						Shallow Earthquakes				
		Epicentres °N °E		h km	m	t days	h 1 / h 2 km km	K	d°	a°	k	Date y m d	Epicentres °N °E		h km	m
1	1998 03 29	2.60	97.98	100	3.7	514	100/30	983	1.0	55	563	1999 08 25	1.96	97.26	33	4.7
2	1998 06 04	2.62	98.42	121	3.9	669	121/30	1105	1.3	60	552	1999 09 07	1.76	97.21	33	4.9
3	1998 08 03	2.70	98.19	102	4.0	609	102/30	1146	1.0	60	573	1999 10 08	1.71	97.47	33	4.4
4	1998 11 08	2.71	97.90	100	3.9	512	100/30	979	0.8	55	561	2000 04 03	2.49	97.22	33	5.0
5	1999 10 24	3.25	98.50	150	4.4	773	150/30	1160	2.2	62	545	2001 12 05	1.98	96.83	33	4.3
6	2000 04 17	2.86	98.11	100	4.3	665	100/27	1169	1.6	62	549	2002 02 11	1.93	97.00	27	5.0
7	2000 07 16	3.36	98.41	146	4.7	1001	146/20	1159	2.1	62	544	2003 04 13	2.03	96.88	25	4.7
8	2000 12 26	2.64	97.77	100	4.7	1260	100/10	1260	1.4	63	572	2004 06 08	1.82	96.71	10	4.5
9	2001 11 13	2.81	97.90	100	4.5	646	100/32	1305	1.6	65	551	2003 08 21	2.25	96.53	33	5.1
												2003 09 10	2.08	96.82	33	5.8
10	2002 08 13	3.15	97.69	112	4.7	958	112/15	1097	1.3	60	548	2005 03 28	2.07	97.01	30	8.7
		3.18	97.69	112	5.1								2.09	97.02	21	8.1
													1.64	96.98	15	
11	2003 01 12	2.89	98.13	100	4.6	806	100/21	1189	1.4	62	558					

B Deep Earthquakes from ISC .

a	1998 09 07	3.04	98.20	102	4.5	885	102/22	1328	1.8	65	561	2001 02 08	2.11	96.61	22	4.4
b	1999 01 13	3.06	97.85	115	3.4	670	115/30	1148	1.5	62	539	2000 12 23	1.70	97.02	33	4.8
c	1999 03 11	3.46	97.97	129	3.6	871	129/30	1375	1.9	66	559	2001 04 20	2.03	96.75	33	4.4
d	2002 02 08	3.15	98.16	128	4.0	707	136/35	1199	1.8	63	544	2004 01 17	1.92	96.63	35	4.7
	2002 02 09	3.34	97.90	133	4.1							2004 08 25	1.97	97.11	14	4.4
	2002 02 09	<u>3.55</u>	<u>98.11</u>	<u>148</u>	4.1							2004 10 05	1.65	96.68	10	4.2
		3.35	98.05	136												

c Noteworthy ascent of shocks under the Nias Earthquake: analogy with volcanic eruption:

e	2004 03 23	2.41	96.99	87	4.7							2005 03 28	2.07	97.01	0	
		2.14	96.90	103	4.6	370	103/370									
f	2004 08 22	2.16	97.44	78	4.6											
g	2004 10 07	2.02	97.07	48	4.4	172	48/172									
h	2005 02 09	2.13	96.64	30	4.3											

の間の地震は 11 である)。これは、スマトラ海岸の南西方で浅発地震活動が切迫していることを警告する。

地帯 1 の深発地震と地帯 2 の浅発地震との間のつながりを研究するために、筆者は次の公式に示される地震移動の法則を適用した： $t=k \cdot \log(h_1/h_2) \cdot 1/\cos a$ 。

第 1 表は図表や計算によって得られたこれらの調査結果を一覧表にしたものである。NEIC からのデータ（予備的な決定）(A) は ISC (B) の最新速報で完全なものになるだろう。この表で 1998 ～ 2002 年の深発地震のマグニチュード（エネルギー）の増加が注目される。事実、地帯 2 においてすべての浅発地震は地帯 1 のすべての深発地震と密接に関係している。これらの時間的関連性は、得られた～550 という値の係数“k”の計算によって確認される。しかしながら、地震の震源の深さの決定は未だに不明確であり、各地震の間の相互関係を解決するのは往々にして難しい。（深さ 33km というのは震源を決めるのに独断的に決められた。）

2002 年 8 月 13 日の顕著な深発地震（北緯 3.15°，東経 97.69°， $h = 112\text{km}$ ， $M = 4.7 \sim 5.1$ [表 1 の no. 10]) は、1999 年以後に起きたいくつかの浅発地震に先立つ巨大ニアス地震に関する最後の前兆現象だろう。2002 年に深部で起きた群発地震（ISC データの B グループの no. d) に注目すると、大地震の直前の 2004 年に一組のより浅いところの地震を引き起こしている。

第 1 表の (C) で、震源の顕著な上昇（2004 ～ 2005 年に巨大地震の場所が地下 100 から 30km へ）が、NEIC 速報で注目される。これらの地震は垂直的な“エネルギー移動現象”に一致していない（公式 $t = \dots$ が適応されない）。深度/時間関係は $V = 0.28\text{km/日}$ ということになる。この速度は、スマトラの地震と火山噴火活動（深さ 100km 前後）との相互関係のそれと類似している。

この観察は、火山の地下に見られるように、地震地帯に“流体”が上昇している可能性を示す。そしてそれは、地殻の応力を和らげ、断層活動の引き金を引くだろう。この現象は、たとえば 1995 年 1 月 16 日に日本の神戸の巨大地震において、観察された (Mizuno & Zhao, 1998)。

2. 南部スマトラの Kepulauan Mentawai 地震 (M=6.7, 2005 年 4 月 10 日発生)

Kepulauan Mentawai 地震の前兆的な深発地震は、たぶん 2003 年 7 月 14 日（浅部での兆候の約 2 年前）の $M=5.7$ のスマトラの地下 144km で発生した顕著な地震だろう（第 2 表 & 第 2 図）。

2001 年以来静穏だったタロング火山が、2005 年 4 月 12 日に噴火を始めた。この火山は、Kepulauan Mentawai 地震の深発地震の前兆の起こる場所とこの浅発地震の震源との間に位置している。John Seach (2005) によると、“40000 人がタロング火山の斜面から避難した。”

タロングが噴火する前の数ヶ月、北方に位置するマリピ火山が 2004 年 8 月 5 日に活性化した。それは地下 56km ($V=0.28\text{km/日}$) で $M=5.2$ の 2004 年 2 月 16 日に発生した地震は、その前兆的な出来事と考えられる。

3. 二つの最新のニアス地域の地震；1) M=6.9 (2005 年 5 月 14 日発生)，2) M=6.7 (2005 年 5 月 20 日)

2005 年 3 月 28 日と 4 月 10 日に起きた二つの大きな地震の震源にはさまれたニアス島の南付近で、最近強い地震 ($M=6.9$) が 2005 年 5 月 14 日に発生した（図 3・表 3a）。

地震の顕著な上昇系列（深度；184 ～ 75km）が先に起きた。この地震の上昇系列は、引張バクトル、 $T = 39^\circ$ (USGS モーメント引張解、図 3 参照) の方向に正に一致して、海洋でこの大地震の方向にスマトラの地下で NE—SW 方向を保っている。

これらの地震の相互関係はまた、エネルギー伝播概念の法則と一致している（表 3 a と図 3 参照）。しかしながら、パラメーター“k”の値は、震源、特にそれら深さの決定（深さ 33km [30km ± 20km] のトリックを読者に気づかせるだろう）において、不正確さのために軽く分散される。この不確実さにもかかわらず、浅発地震と深発地震との間の考えられ得る相互関係（図 3）は次のように示される：

深発		浅発
No. 1	=	b
No. 2	=	c
No. 3	=	a
No. 4～7	=	e
No. 8	=	g

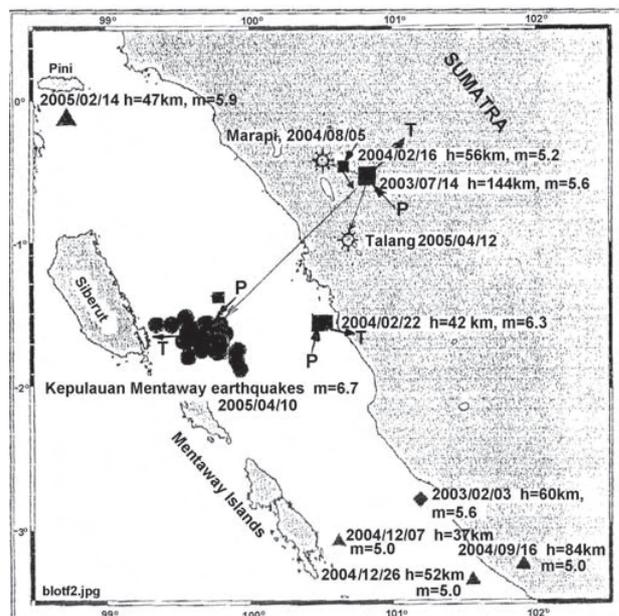


図 2 Mentawi 浅発地震およびマリピとタロング火山噴火に関連する先駆的地震（スマトラ島下の中深度地震）。

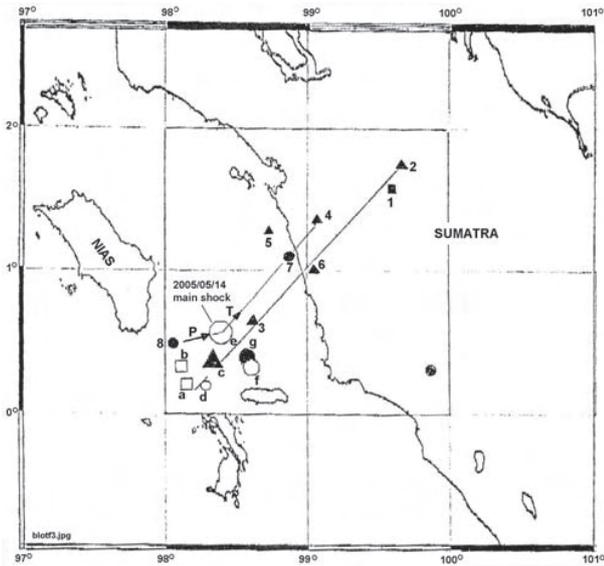


図3 2005年5月14日のニース地域の地震

上述の相互関係を検証するために、いろいろな国の地震機関によって決定された地震と比較できるように、表3bにリストアップされている。

もう一つの大きな地震 ($M = 6.9$) がニース島の北で2005年5月19日に発生した (図4・表4)。NEICの地震速報を見ると、北東から上昇してくる一連の地震を示している (重要な地震が表と図にリストアップされているのみである)。

文献

BLOT, C., 1976. Volcanisme et sismicite dans les arcs insulaires. Prevision de ces phenomenes. Geophysique 13, ORSTOM, Paris, 206p.
 BLOT, C. and CHOI, D.R., 2004. Recent devastating earthquakes in Japan and Indonesia viewed rom the seismic energy transmigration concept. New Concepets in Global Tectonics Newsletter, no. 33, p. 3-12.

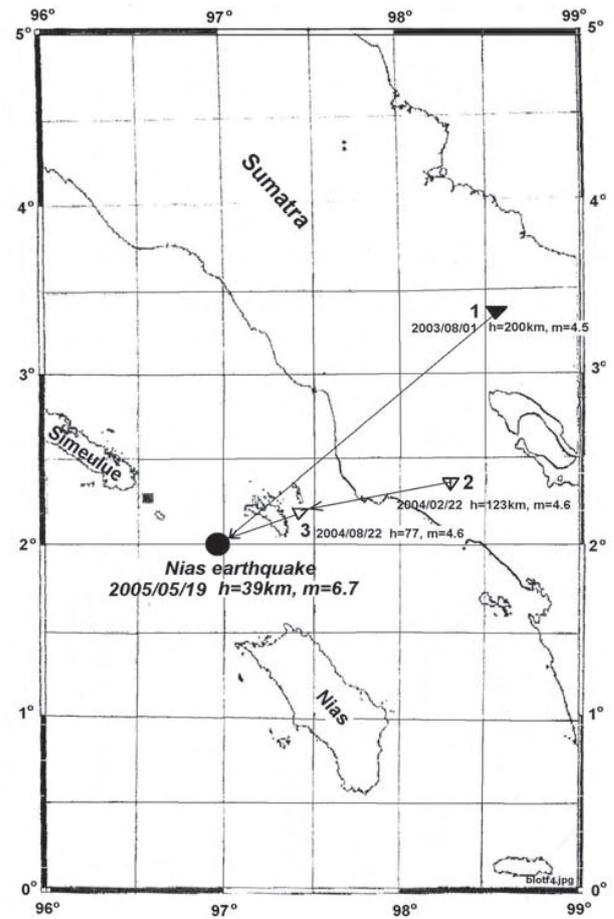


図4 2005年5月19日のニース地震の主震と前駆的地震

MIZUNO, T. and ZHAO, D., 1998. Qualitative imaging of microcracks and fluids in the 1995 Kobe Earthquake source area from tomographic results. AGU 1998 Fall meeting abstract.
 SEACH, J., 2005. Volcano News (16 April, 2005). www.volcanolive.com

スマトラ大地震の地球力学的意義：短時間の観察からの推論 THE GEODYNAMIC MEANING OF THE GREAT SUMATRAN EARTHQUAKE: INFERENCE FROM SHORT TIME WINDOWS

Giancarlo SCALERA
INGV-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Via di Vigna Murata 605,00143 Roma,Italy
scalera@ingv.it

(佐々木 拓郎 + 久保田 喜裕 + 矢野 孝雄 + 国末 彰司 + 角田 史雄 + 川辺 孝之 [訳])

概要：表面波データを用いて計算された地震モーメントの値と地球の通常モードから導いた値の違いは、再解釈された、ほぼ鉛直な CMT 断層面の解にもとづいて、スマトラ大地震 (日時=2004 年 12 月 26 日 0 時 58 分、緯度=3.3° N、経度=95.8° E、深さ=30km、マグニチュード=9.3) の発震機構の再検討を要求する。地球の瞬間的な自転極の変位はイタリア Matera の ASI で観測され、本震に続く 2 日間の地震データ (USGS) と、高周期 P 波の放射、地形学的なデータ、そして沿岸部 (IGG) の隆起 / 沈降に関する衛星データは、この解釈に収斂する。サブダクション概念の全般的なみなおし、あるいは完全な克服が求められている。

はじめに

大地震は 2004 年 12 月 26 日にスマトラ地域に衝撃を与えた (緯度=3.3° N、経度=95.8° E、深さ=10km、日時=2004 年 12 月 26 日 0 時 58 分、マグニチュード=9.3)。この出来事は 280,000 人の命を奪った不幸な津波を伴った。極限的マグニチュードは、この 100 年間で最も大きい地震のひとつをもたらした。喧伝されているインドプレートの収斂形態が、実際に弧と平行な関係にあるスダ弧のいくつかのセグメント内にあるため、この地震の解釈にいくつかの困難が生じた。モーメントマグニチュード M_w ($T > 40$ 秒周期の表面波から計算) と地球の通常状態からもたらされるマグニチュード M との不一致から生じた。その上、ある研究者は約 200 x 400km のひろがりをもつほぼ水平な長方形の断層面がモデル化し、それが、本震後の数日と数時間に起こった諸現象に一致しないのである。

ほぼ水平な断層運動は非現実的であり、私は沈み込み帯の解釈と矛盾するスマトラ地震の新しい解釈を提供する事を試みたい。この仕事の準備期間中に、新しい解釈を支持する多くの公表情報が届いた。したがって、私の論文は、それらの簡潔な要約にもなるであろう。

地球の自転極の瞬間的移動

スマトラ地震の発生時間とほぼ同時に、地球の自転極に 1.5 mas (milliarcsecond; 1.0 mas \approx 3.0 cm) に近い瞬間的な変位が生じた。しかし、地球重心の変位は検出されず、それは、恐らく非常に小さいかまたは検出限界以下であろう。変位は Matera SLR の観測所の ASI (イタリア宇宙局) の Giuseppe Biancoat によって観測されたが、提供されたデータの解釈は未だ与えられていない。この種の変位が観測されたのは、高精度の宇宙測地学技術のおかげであり、確実な観測例は初めてのことである。

観測された瞬間的な地球の自転極は、より大きい

polhody' 軌道' からより内側の軌道へと突然移り (図 1 a, b), その 2 つのほぼ同心軌道は角距離で 1.5mas 離れている (図 1 b)。この距離は古い軌道と新しい軌道への垂線上で測定された。しかし、これは、回転極の真の瞬間的な変位であるとは考えられない。今後の外挿は、12 月 26 日の自転軸の予測位置を知るために実施されるべきである。2 日間における自転極変位を示す 3 ベクトルは、2 日間の予測変位のベクトル平均を見積もるために使用された (図 1 の 波線丸印を見よ)。予想された 12 月 26 日の極と観測された極の間の距離は現在およそ 3.0mas (およそ 9.5cm) であり、そして変位の方位はまさに震央方位 (経度 $\sim 96^\circ$) とは逆方向に現れた。

筆者は、以前の論文 (Scalera, 1999, 2002, 2003) で展開してきた次の論拠にしたがって、地球力学に関する一般的な情報を得ようとした。この簡単な処置は、震源で生ずる質量移動に関する情報に対する極移動データのある種のインバージョン法になる (Scalera, 2005b)。

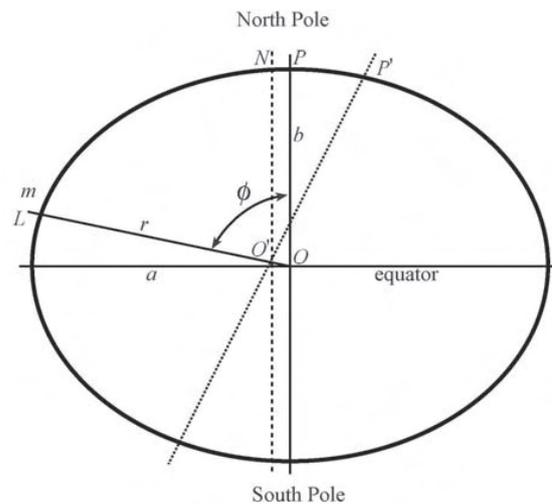


図 2 質量 m が緯度 L (余緯度 ϕ) の点で押し込まれると、 P から P' への慣性主軸の変位とともに、 O から O' への地心の変位が生ずる。全極移動に対する NP の寄与は、両半球で対称である。赤道半径のスケール a は極半径 b に比べて強調されている。

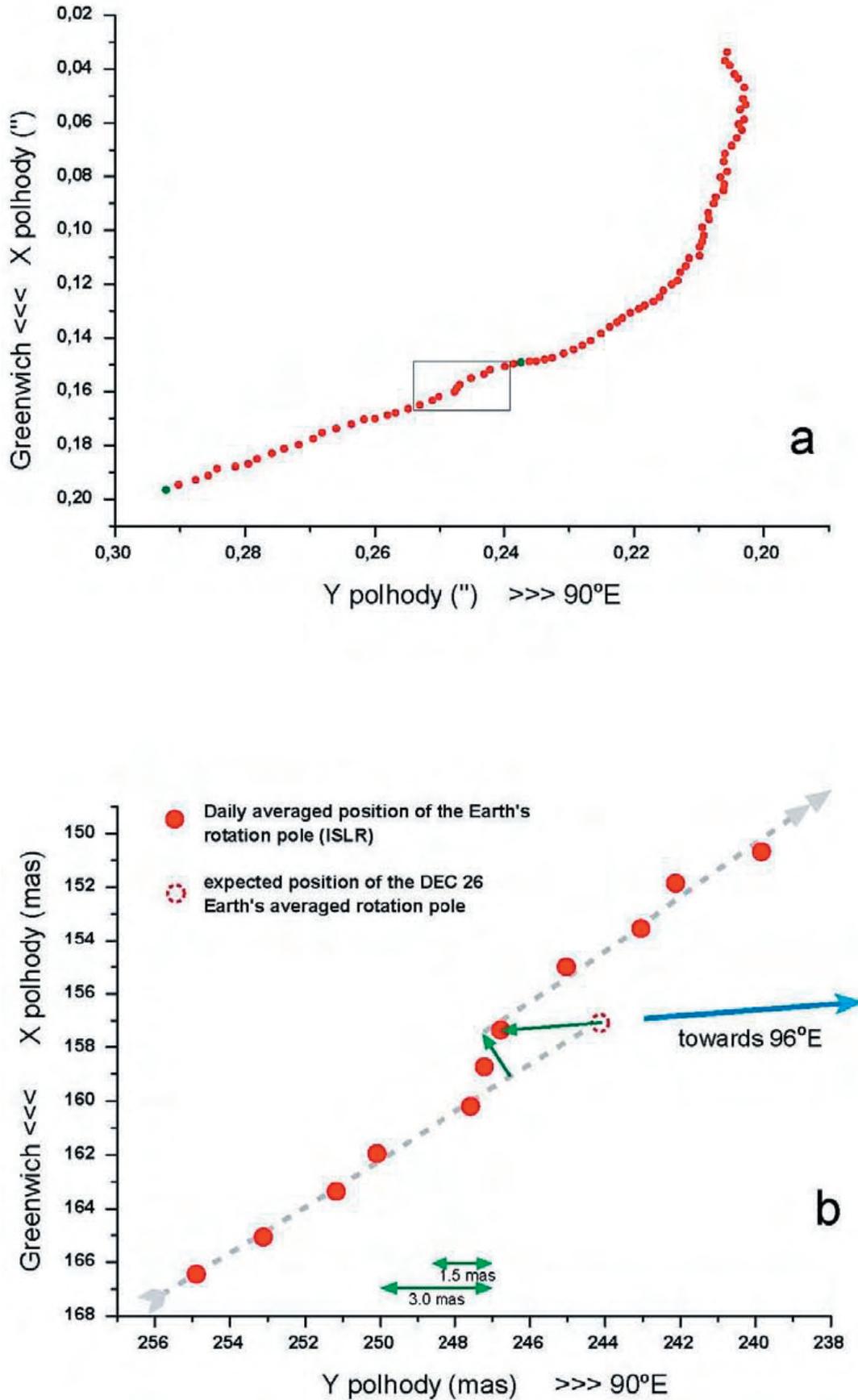


図1 A) 2004年12月1日から2005年2月22日までの地球の瞬間的な回転極を示すXY座標(単位: " [arcseconds])の日変化. 小さな枠で囲んだ部分は, 2004年12月21~30日のデータ.
 B) 12月21~30日部分の拡大図. スマトラ大地震の前後で polhody の '軌道' 間の距離は 1.5mas であり, 震源位置との方位的關係はない. 瞬間的な回転極の日平均には, 予想位置と観測位置との間で 3.0mas の違いがある. 予想位置から観測位置へのベクトルは, まさに震源位置とはまさに逆向きであることに注目されたい.

赤道から地理的緯度で約 3.5° 北方に位置する震央をもつ地震の持続時間に、実質量の突出が起こった場合、その惑星の慣性軸は突出域から離れる方向へ変位するはずである。直ちに、自転軸は同じ方向へその位置を同時に復元はずだ。自転軸は空間座標系に関しては移動しないので、地球全体が、新しい慣性軸が平均自転軸に再び完全に一致するまで回転する、と表現した方がいいだろう。ある質量の貫入または沈み込みが赤道の北側で起きると、逆向きの変位が発生するはずである。だとすると、観測された衝撃的軸運動は一それが確認され、そして私の解釈が正しいとすると、和達ーベニオフ帯付近の質量がおもに上方移動したという仮説を支持する。

剛性的地球 (Schiaparelli, 1883, 1891) では、ある質量 m が北半球の余緯度 ϕ の地表 L 地点で地球質量 M_E に加えられる場合が、図2のように説明され、高次元の小さな項を無視できることを証明できる ($m \ll M_E$ の条件で):

$$(1) \quad PP' \cong \frac{br^2 m}{2(B-A)} \sin(2\phi) - r \frac{m}{M_E} \sin \phi,$$

A と B はそれぞれ赤道と極の慣性モーメント。

(1) 式において項

$$NP = -r \frac{m}{M_E} \sin \phi$$

は、0 から $0'$ への重心の変位に起因し、通常は無視される (Schiaparelli, 1891)。なぜなら、この項は、地球上での質量移動の空間分布はほぼ偶然的で、赤道の至近距離で発生する確率もほぼ0であることから、初項に比較して充分小さいと考えられるからである。さらに、剛性地球の場合、慣性極移動の計算式は次のとおりである。

$$PP' \approx W \cdot r \frac{m}{M_E} \sin(2\phi); \quad \text{with}$$

$$W = \frac{M_E br}{2(B-A)} \cong 460$$

マグニチュードの桁の妥当性を検証するという簡単な目的で、底面 $1000 \times 50 \text{ km}$ ($50 \cdot 10^9 \text{ m}^2$)、高さ 30 km の直

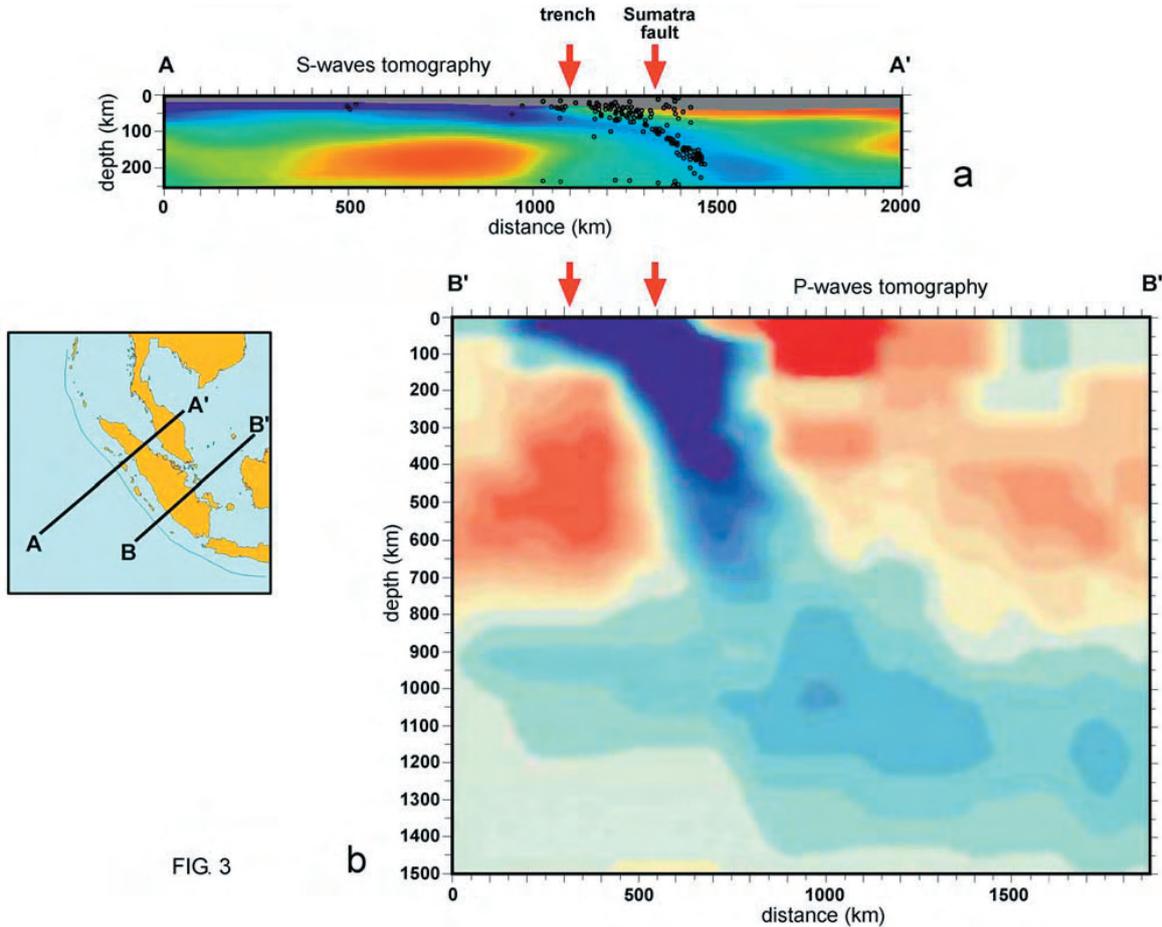


FIG. 3

図3 スンダ島弧下の地震トモグラフィー。水平・垂直スケールを同じに書き直した。

a) 修正されたA-A'に沿うS波地震トモグラフィー (Shapiro & Engdahl, 2005)。断面位置は挿入図を参照。地震トモグラフィー画像は、解像度の制約によって、深度 250 km まで再現された。和達ーベニオフ帯の地震も深度 250 km を超えてはいない。深度 100 km 以深に続くクサビ状の高速度帯 (青色) が明瞭である。

b) 修正されたB-B'に沿うP波地震トモグラフィー (Hafkenscjeid, Buitler, Wortel, Spakman, & Bijwaard, 2001)、断面位置は挿入図を参照。この手法により、マンテルの弾性特性をより深部まで検証することが可能になった。クサビ状の異常高速マンテルが深度 1000 km ないしはそれ以上まで追跡される。そのクサビはP波地震トモグラフィーでさらに明瞭になり、垂直に現れている。本論で、ある考えが提案される、それは、いくつかの断面における事実にもとづいて、大スマトラ地震はこのマンテルウェッジの上方への運動によって引き起こされたというものである。島弧-海溝帯下でのダナイト-高密度のマンテル物質-の上昇は、Ott C. Hilgenberg (1933 & 1976) の考えであった。彼の生存中は全く認められなかったが (Scalera, 2003)。

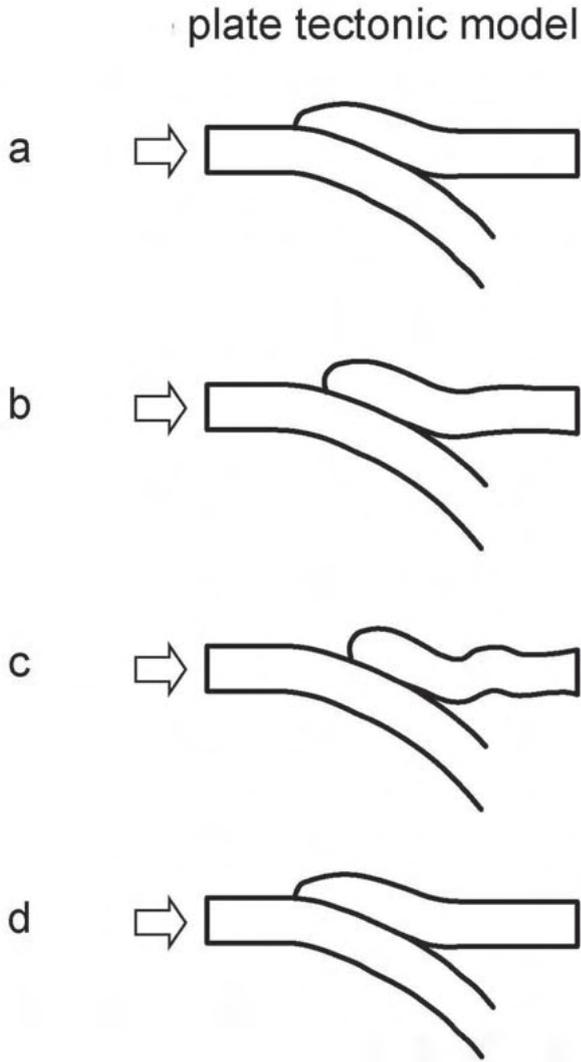


図4 サブダクションによって生ずる浅発地震発生のプレートテクトニクスモデル. 潜在エネルギーの蓄積と解放のメカニズムによると、脆性的環境のもとでは純粋に弾性的であることが想定され、弾性反発モデルと呼ばれた. スマトラ地震は浅部の現象であるため、このモデルが適応できる.

a) 傾斜したリソスフェアは、一年間数 cm の割合で一、浅部から遷移帯を通してより深部まで動く. b) 摩擦とアスペリティにより、傾く海洋リソスフェアは接合しながら移動し、背弧リソスフェアを突く. c) 浅部へ向かって弾性反発するように、和達一ベニオフ帯に断裂が形成され始める. サブダクションリソスフェアは、一破壊を免れて一、突然加速する. d) ふたつのリソスフェアは完全に元に戻り、新しいサイクルが始まる.

スマトラ地震で一般的に受け入れられている断層面解は、地表付近ではほぼ水平すべりであるとされていることに注意すべきだ; この水平運動は上記のモデルでは全く作用しない.

方体—ただし、高さは漠然としたままである—が 2004 年 12 月 26 日の本震によって移動した容積を示すものと仮定しよう.

この容積の物体の鉛直変位を 10m とすると、構成物質の平均密度は 2.7g/cm^3 で与えられる. したがって、突出容積は $10\text{m} \times 50 \cdot 10^9\text{m}^2 = 500 \cdot 10^9\text{m}^3$, その質量は $2.7 \cdot 10^6\text{g/m}^3 \times 500 \cdot 10^9\text{m}^3 = 13.5 \cdot 10^{17}\text{g}$ であるが、それは $2.2 \cdot 10^{-10}M_E$ に相当する. 対象地域のほぼ全域を覆う現在の海洋水 (密度 ≈ 1) 層、および、水塊が乱されない形態に

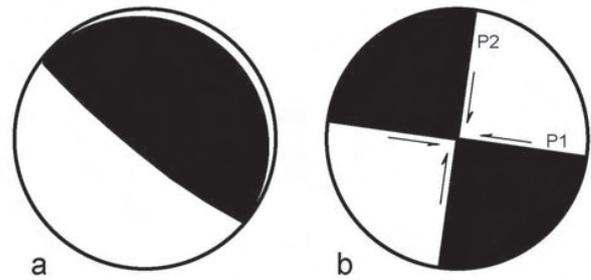


図5 発震機構. a) 中心モーメントテンソル (CMT) の Harvard 解が再現される. 事実, CMT は、スマトラ地震では二つの可能性をもつ断層面解を与える: P1: (走向 = 329, 傾斜 = 8, ズレ = 110) と P2: (走向 = 129, 傾斜 = 83, ズレ = 87). P1 の解は、プレートテクトニクスモデルとの適合性のゆえに、一般的に受け入れられている. b) 走向方向に直交する鉛直面で切断した震源球、および P1, P2 と記された 2 つの共役断層. かなり緩傾斜 (8°) の P1 はほぼ水平ズレという前提をもたらす. しかし、多くの指標は、ほぼ鉛直の断層解 P2 を支持している.

速やかにもどるといふ適応性を考慮すると、突出した容積の密度差はわずか 1.7g/m^3 まで減じ、有効質量は $8.5 \cdot 10^{17}\text{g}$ になる.

最後に、マントルで相当する突出量 (10m) が地殻下に想定されるので、密度差がかつてのモホ不連続面上にも与えられるべきである. 妥当な値は、おそらく、モホ面下の物質を 10m 以上隆起させた密度差 $\approx 0.6\text{g/cm}^3$ (地殻下のマントル密度を $\approx 3.3\text{g/cm}^3$ とした場合) であろう. こうして、見積もられたより有効な質量は $0.6 \cdot 10^6\text{g/m}^3 \times 500 \cdot 10^9\text{m}^3 = 3.0 \cdot 10^{17}\text{g}$ になる.

全有効質量 $11.5 \cdot 10^{17}\text{g}$ (すなわち $1.93 \cdot 10^{-10}M_E$) の全体を震源位置に—つまりほぼ 5 地理的角度 5° の広がりを見無視して—作用させるためにより単純化すると、海水 / 地殻境界の突出によって引き起こされた慣性軸の変位は:

$$PP' = 460 \times 6378 \cdot 10^5\text{cm} \times 1.93 \cdot 10^{-10} \times \sin(173^\circ) = 6.9\text{cm},$$

一方、重心の変位を示す項 NP は:

$$NP' = 6378 \cdot 10^5\text{cm} \times 1.93 \cdot 10^{-10} \times \sin(87^\circ) = 0.1\text{cm}$$

である.

この最後の値は地震前の位置から地心の変位した値であるが、地心の変位は地球の軌道上では起きていない. その変位を人工衛星や月の位置から検知するのは、非常に難しいか不可能である. 以上のように、これらの値は極移動変化の観測や地心は移動していないとの観測に、それぞれ調和的である.

地球の粘弾性挙動が考慮されると (Lambeck, 1980, 1988; Spada, 1992, 1997), Love 定数 k から次式が導かれる.

$$(2) \quad PP' \approx \frac{br^2 \cdot m(1+k')}{2(B-A)} \cdot \sin(2\phi)$$

($1 + k'$) 項には、1 よりも小さい値が想定される。ここで、 k' が、地表部での値 $k' = -3.0$ から上部 / 下部マントル境界での値 $k' = -0.45$ までほぼ線形に変化する。とすると、粘弾性式 (2) は、剛性的な場合の値よりも 20 ~ 30% 小さい PP' の値をもたらす：

$$PP' \sim 4.1 \text{ cm}$$

剛性的な場合と粘弾性的な場合の値は正しい値でありながら、観測データ (9.5 cm) にくらべると、あまりにも小さい。これは、大量の地層群とマントルの密度差 (かなり小さい値ではあるが) に対してより完全に説明されるべきであることを意味するであろう。長方形プリズムのかわりにループ計算 [ramp] が組み込まれたより改良されたモデルは、要求される変位の 1/2 を説明することができ、その結果、地殻とマントル中に放射状に分布する密度差、または、2 倍以上のより大きな基準面積 (たとえば、100km 以上の幅) によって、より大きな効果をもたらすことが期待されるであろう。いずれにしても、この近似は、この仮説の正しさを証明するのに十分である。

同じ質量がほぼ水平 ($\sim 8^\circ$) に変位したと仮定すると、自転軸への影響は 1 桁小さくなるであろう。

より一般的には、ほとんどの地震が衝下 [under-thrust] 特性を示すとの Dlaham (1971, 1973) の仮定にもとづいて、すべての地震の統合的影響がみいだされ (Spada, 1992, 1997)、永年の極運動が、長期間にわたって観測された極運動とほぼ反対側向きの方向に突き動かすのが見いだされた。こうして、地震が永年の極運動の駆動要因になっている可能性が排除された。にもかかわらず、スマトラ地震が自転軸に与えた影響 (図 1 a, b, 図 2) にもとづくと、沈み込みではなく、物質の突出の可能性が探求されるべきである。

衝下 (under-thrust) ではなく、物質の突出が卓越している場合には、地球全体の地震活動の統合的效果は、Spada (1997) がみいだした効果とは逆方向に働くであろう。そうだとすると、この統合的效果は、極運動とチャンドラー不安定励起の合理的要素 (他の原因のなかで、たとえば、この惑星の非対称な膨張 [Scalera, 2002, 2003 参照]) からなる正しい方向を向くであろう。私個人の意見では、地震は地球をより丸くするという記述に加えて、地震は地球を大きくする、ということがつけかわえられるべきである。

地震トモグラフィからの手がかり

インドネシアおよびスマトラ地域の S 波地震トモグラフィ (図 3)、とくに一連の深部断面には、明瞭な高速度体が認められ、海溝下からスンダ陸棚下の 200km 以深まで周知の約 45° という傾斜角で没入する (Ritzwoller et al., 2005)。震源位置は、地殻下では狭くなり、最終的には 45° の狭いゾーンに分布する。この島弧の地震活動史に、250km 以深の地震は観測されていない。よ

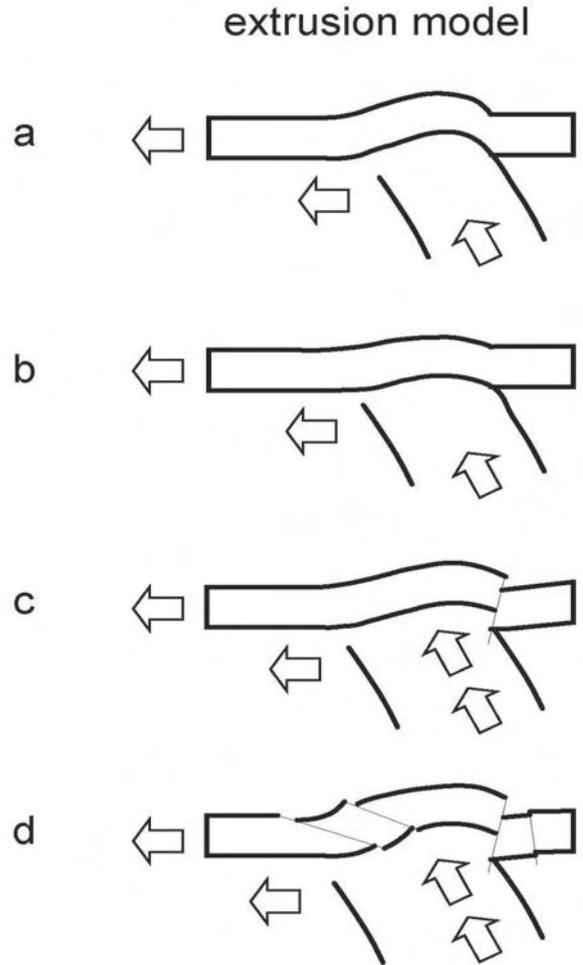


図6 島弧地帯における地震発生の新モデル

- a) まず、島弧下で、海洋および大陸リソスフェアのひきはなし作用がゆっくりと進行する。
- b) この引張応力場の効果として、突き上げられた島弧が沈降する。これは、サンゴ礁の沈降によって証拠づけられる。
- c) 引張場でひきおこされた急速な相変化によって上方へおしあげられた地殻下あるいはリソスフェア下の物質の急激な上昇によって、最終的に、鉛直に近い断裂が形成される。隆起側は下方へ反発する可能性をもち、隣接するプレートの傾動をもたらす。これは、西方のサンゴ礁バリアー島で観察された隆起運動、および、より大規模な島の沈降と調和的である。
- d) 最後は、多数の余震を発生させるきわめて多くの新しい断層運動が、広い地域における主要断層の全体にわたって発散していくであろう。

り詳細な全地球のおよび広域的トモグラフィ (Bijwaard et al., 1998 ; Hafkenscheid et al., 2001) によれば、この高速度体はより深部 (200 ~ 800km) でほぼ鉛直になる (図 3)。

この海溝は、通常、長さ数 1,000km 規模の巨大衝上断層が存在する場所である、と解釈されている。実際、Ritzwoller et al. (2005) の図では、論拠なく想定されている高速度リソスフェアスラブは、深度 200km までしか達していない明瞭な和達-ベニオフ帯によって、北東側延長が限られている。この震源面にそって、プレートテクトニクスでは、傾斜したインドプレートの海洋性リソスフェアと背弧リソスフェアとの間で相対的変位がお

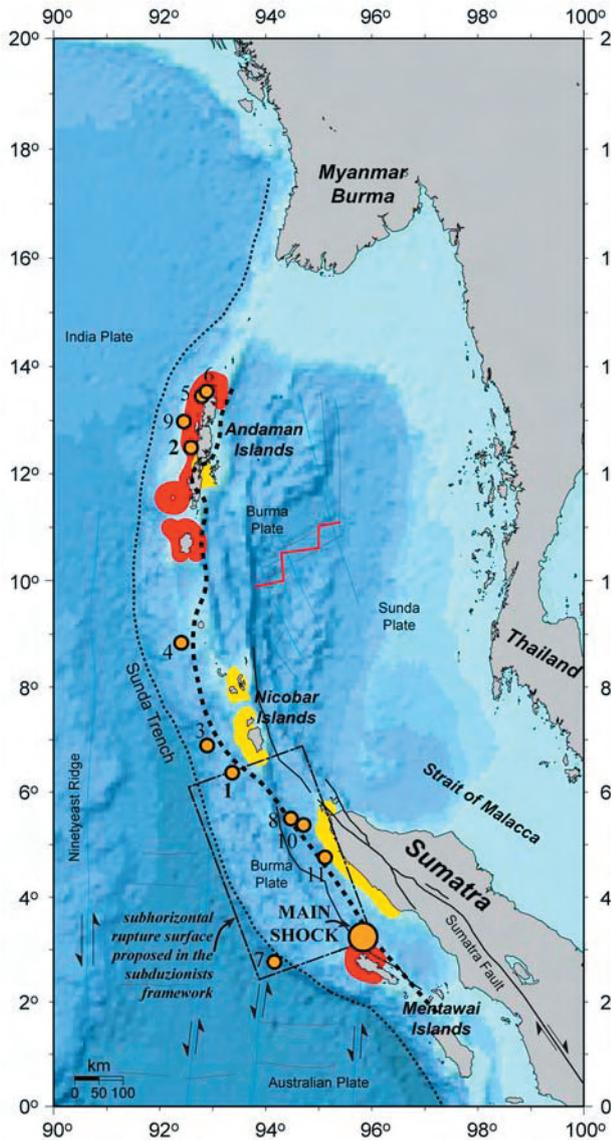


図7 スンダ弧の主要構造と巨大スマトラ地震の震央 (本震後、2日以内に発生したもの)。断層とすべり方向は、Sieh and Natawidjaha (2002)。震央は、USGSによる暫定データ (2004年12月)。離水と沈水に関する衛星データは日本の国土地理院による (赤：隆起域、黄：沈降)。ほぼ水平の破断面を示す長方形は、いくつもの異なる意見を考慮して描かれていて、USGS ウェブサイトに公表されたものとはいくぶん異なる。海底地形とスマトラ島の断層は、伸長したX字型構造を示す。

こっていると想像する。

潜在エネルギーの蓄積メカニズムは、脆性環境下のために純粋に弾性的であると考えられている。スマトラ地震は浅発性であったので、弾性反発モデルが適用できる。傾斜したリソスフェアは、年間数 cm (NOVEL1 モデルでは 6.1cm) の永年のなゆっくりとした速度で、表層からマントル遷移帯あるいはそれ以深へ移動する (図4)。背弧リソスフェアと傾斜した海洋リソスフェアは、摩擦力とアスペリティ [ざらざらしていること] によって膠着し、相互に接合された状態で移動することになる (図4b)。そして、和達-ベニオフ帯における破断が始まると (図4c)、背弧リソスフェアが表面へ向かって弾性反発し (図4d)、リソスフェアは破壊されることなく、沈み込みが急加速される。

この論拠なく想定されている地震発生メカニズムは、物質の急激な上方移動と調和的であり、それは断層発生直後に、“沈み込む”スラブの急激な下方移動を発生させる、と考えられるべきである。さらに、永年の収支を正しく考えると、物質の下方移動が卓越し、地震励起を永年の極運動と非調和にさせる。

震源メカニズム

Harvardの centroid moment のテンソル解 (図5) は、スマトラ地震の断層面解析に2つの可能性を与える。すなわち、

- P1: Strike = 329; Dip = 8; Slip = 110
- P2: Strike = 129; Dip = 83; Slip = 87

平面解P1は、理論的なジオダイナミックモデルとされるプレートテクトニクスモデルと良く調和することから、地球科学者らに採用される解である。走向方向に対して垂直な面上の集中球の部分を図5bに示す。

角度8°は、準平面的な滑りであるということができる。およそ30.0kmという値が、震源の深さを示している。低角度、中程度の震源の深さ、そして幅100~200kmの断層は、断層面が地殻の地殻中の脆性的環境に存在していることを示す。このことは、非常に数多くの余震が数時間から数日中に約200 x 500 km²の広がりをもつ、大規模で平らな地殻中あるいは地殻下の領域に発生することが予想されるであろうことを意味する。ところが、本震から2日後までの大きな余震 (M>6) の分布は、全く異なるものであった (次章参照)。

巨大な規模の地域全体がほぼ水平に移動することはほとんど不可能、というのが私の主張である。破壊強度を超えて長軸方向に水平圧縮されている細長い棒状の物体には、約45°の角度に衝上性断層が発達するはずである (Tarakanov, 2005 参照)。これでは矛盾が生じ、もし、新しいテクトニックおよびジオダイナミックモデルに観測事実がより適合する可能性を、ほぼ鉛直な第2の断層面P2がもっているとする、別の解が追求されるべきである。

第2断層面という解

断層面解P2は、ほぼ鉛直方向の運動を必要とする。この場合、破壊面は地殻全体を横切ることになる。図6に示されるように、多くの他の可能性をもつが同様なモデルのなかで、1つの成り立ちうる破断発達モデルをつくることできる。この例では、図6のように、まずは海洋と大陸のリソスフェアをひきはなすようなゆっくりとした作用が島弧下に生じる。この引張状態の影響によって、島弧の突き上げ (図6a) は沈降傾向 (図6b) をもたらし、珊瑚礁の沈下データ (Sieh et al., 1999; Zachariassen et al., 1999, Zachariassen et al., 2000: 他) に適合する。つづいて、引張応力場で突然引き起こされた相変化によって、最終的には、地殻下もしくはリソスフェア下の物質が突然上方に押し出されることによって、ほぼ

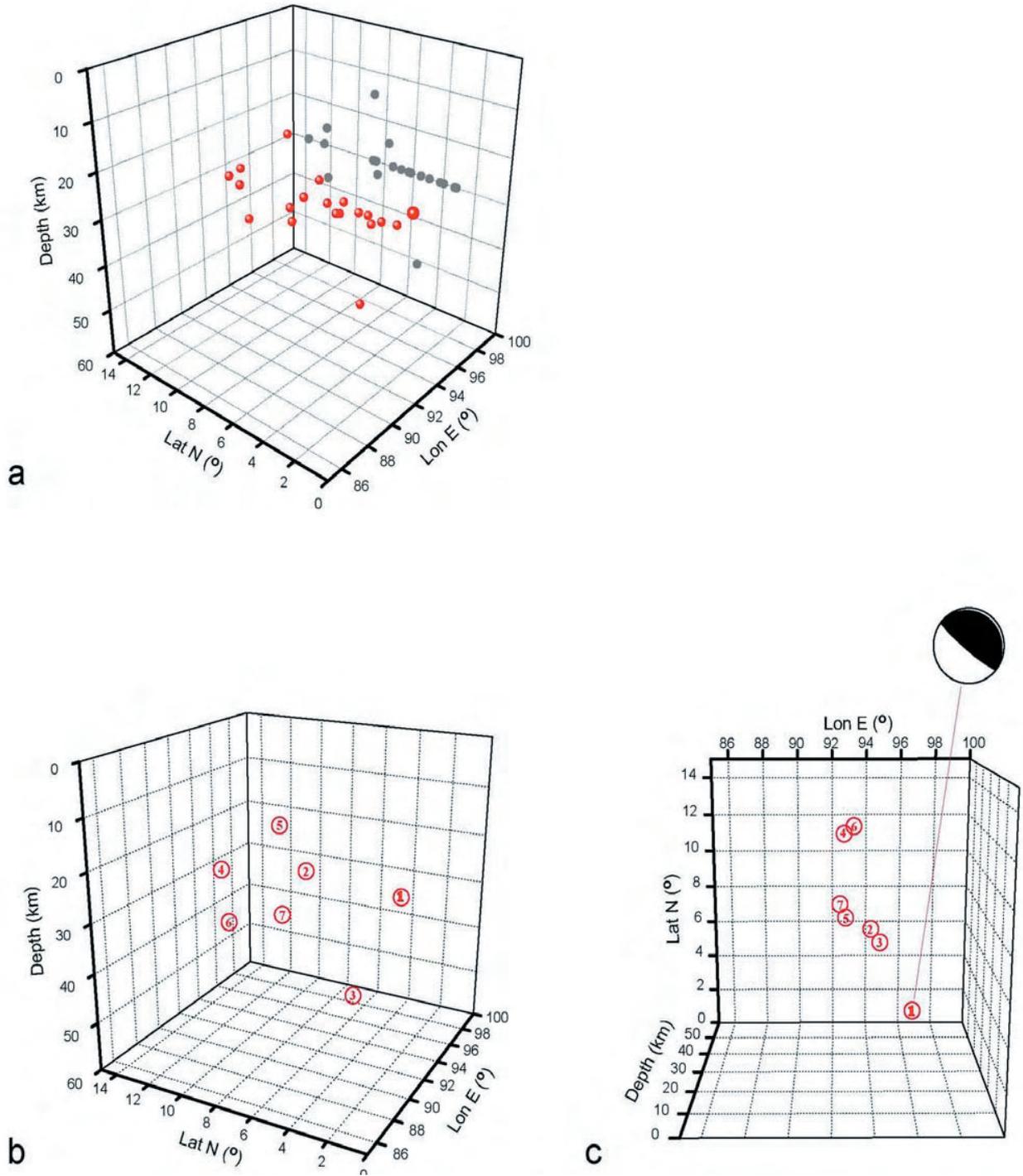


図 8

- a) 本震から最初の 2 時間以内に発生した $M=5.5$ 以上の 20 の地震の震央分布を赤円で示す。震央が XY 平面に投影され (灰色の円), 深度 30km で発生した地震の証拠となる。これらのサブセットのイベントは不確実な深度のものや, 震源地の緯度経度の座標がかなり不確実なものである。また, オレンジ色の円で示す本震は, このサブセットの一つである。
 - b) 発震時刻やマグニチュードが同じ設定の地震であるが, 深度 30km の地震群が除去された, 残りの地震が示されている。本震を除く, 計 7 つの地震が除外された。日付順に 1 (本震) から 7 まで番号付けされた震源の分布はかたまりを作っていたり, そうでなかったりしており, 最小で 15km, 最大で 51km までの深度範囲にひろがっている。
 - c) プレートテクトニクスでは北東方向へ傾斜した震源配列を想定しているが, ほぼ鉛直の方向の分布 (図 8c) を観察したとしたら, 論拠もなく主張されている沈み込みスラブではなく, 鉛直よりも南西にわずかに傾斜していることが分かるにちがいない。
- a), b), c) の鉛直方向のスケールは 10 倍に強調されており, その結果, 傾斜角度の判断には注意をしておく必要がある。

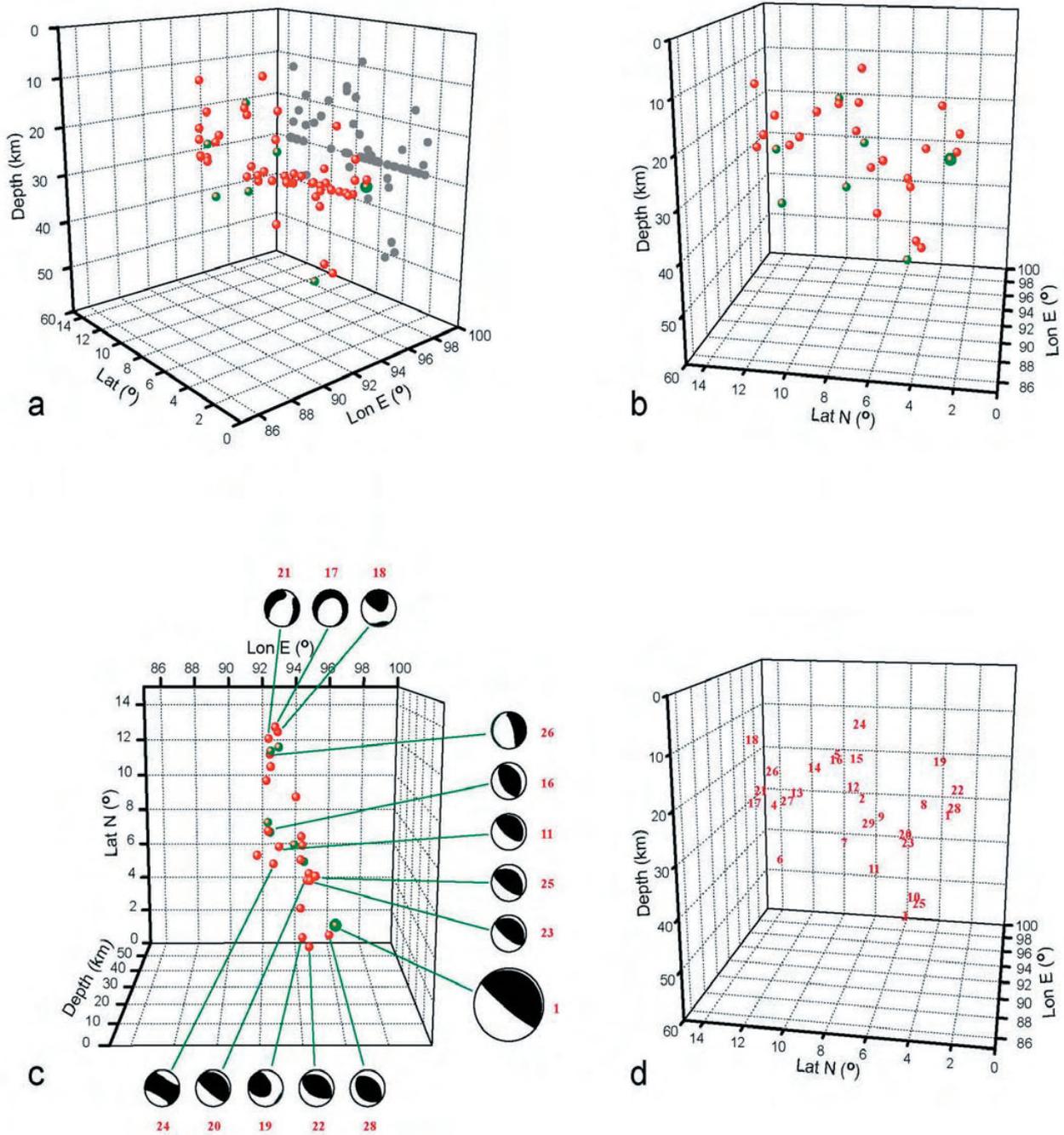


図 9
 a) 12月26日と27日の2日間のマグニチュード5.5以上の地震は、赤と緑の球で示されるように56個発生した。これらは、仮想的緯度-深度面に灰色の円で示される。緑の球は図8に選択的に示された7つの地震である。
 b) 深度30kmに震源をもつ地震を除いて、残り29個の地震の震源分布が示される。深度50km付近を震源とする小グループは地震番号3の近くで生じている。
 c) 鉛直方向で観察すると、NNE方向へ沈み込む明瞭な傾斜構造は存在しない。震源メカニズムは、ほぼ水平方向の沈み込みという解釈と矛盾している。Harvard CMT 震源メカニズムは次の図9dに番号が示される。
 d) spacetemporalな震源パターンについての理解を促すために、時間的に連続して選択された29個の震源が示される。

鉛直な断裂 (図 6 c) が生じる。上昇した側は下方へ反発し、隣接するプレートの傾動させるであろう (図 6 c)。これは、観察された西方の珊瑚礁バリアの上昇とより大きな島の沈降という観測事実に調和するであろう。最終的には、数多くの余震をひきおこす新しい断層の発生が、主断層に沿った広い範囲に拡散していくであろう (図 6 d)。そして、主断層によって、島弧の側方拡大が誘発される

であろう。

このモデルは、P1 解にはより長い断層長を想定することになる。というのは、長距離にわたる震源分布を示す余震 ($M_w \geq 6.0$) が、本震後2時間以内に発生したからである (下の12月26日と27日の暫定的震源、および図7を参照)。

M	Day	Time	Lat	Lon	Depth	
9.0	26/12/2004	0:58:50	3.244	95.825	10	Off the west coast of northern Sumatra
6.2	26/12/2004	1:21:18	6.372	93.363	10	Nicobar islands, India region
6.0	26/12/2004	2:51:59	12.494	92.582	10	Andaman islands, India region
7.5	26/12/2004	4:21:25	6.891	92.891	10	Nicobar islands, India region
6.5	26/12/2004	9:20:01	8.867	92.382	10	Nicobar islands, India region
6.2	26/12/2004	10:19:30	13.455	92.791	10	Andaman islands, India region
6.3	26/12/2004	11:05:01	13.542	92.877	10	Andaman islands, India region
6.2	26/12/2004	19:19:53	2.770	94.158	10	Off the west coast of northern Sumatra
6.0	27/12/2004	0:32:13	5.502	94.465	10	Northern Sumatra, Indonesia
6.1	27/12/2004	0:49:27	12.978	92.449	10	Andaman islands, India region
6.1	27/12/2004	9:39:03	5.379	94.706	10	Northern Sumatra, Indonesia
6.0	27/12/2004	10:05:00	4.762	95.111	10	Northern Sumatra, Indonesia

(USGS preliminary data; released on 29 December, 2004)

<表内地名和訳 上から順に> 北部スマトラ 西海岸沖, インド地域 ニコバル諸島, インド地域 アンダマン諸島, インド地域 ニコバル諸島, インド地域 ニコバル諸島, インド地域 アンダマン諸島, インド地域 アンダマン諸島, 北部スマトラ 西海岸沖, インドネシア 北部スマトラ

もし実際の断層面が水平解 P1 であるとすると, 想定されている断層面全体 (図 7: 長方形の輪郭) の全体が瞬時に活性化することを予想することになる。しかしながら, 期待されたような規模の大きな余震活動が瞬時に発生するようなことは, この断層面には見られなかった。この事実は, 西スマトラからアンダマン諸島北端に達する, 延長約 1200km 以上の垂直断層 (図 7 の太い点線) という解を支持する強力な手がかりになる。予想された一連の余震が, ちょうどこの地域で発生した。第 1 余震 (Mw=6.2, 発震時刻 1:21:18, 北緯 6.37°, 東経 93.36°) は本震より北へ 3° 以上はなれて発生し, 第 2 余震 (Mw=6.0, 発震時刻 2:51:59; 北緯 12.49°, 東経 92.58°) は本震より北へ 9° 以上はなれたところで発生した。これらの余震は, 2 時間以内に発生したものである。これらの余震は, 長距離の空間で短時間に発生したものであり, 同一の長大な構造で発生した余震であるというのが真相であろう。

この断層が長距離にわたって伸長していることは, 地震記録にみられる高周波 P 波の長さに関する簡単な解析からも支持される (Lomax, 2005; Lomax and Michelini, 2005)。P 波の放射は, 少なくとも 1100km にわたる断層破断の伝播に匹敵する持続時間を示す。初期破断が NNW 方向に伝播したことは, さまざまな方位で記録された P 波の特性的な波長差および周期ドップラー効果—によっても確かめられた (Bilha, 2005; Ishii et al., 2005)。

プレートテクトニクスによって偏向した解 P1 の矛盾は, 巨大スマトラ地震をとりあげた一連の論文では認識されなかった。しかしながら, Park et al (2005) による正常モード解析によって, より急傾斜のすべり面の必要性が主張された。

USGS 予備震源データとハーバード CMT カタログ

筆者は, 暫定的震源の 3D 分布を調べる目的で, USGS 世

界震源カタログからデータを取りだした。このデータ収集では, とくに本震の発震時刻から 2 時間ごと, および, 2 日ごとに区切って, また, 2005 年 2 月末のものを取得した。しかし, 筆者の興味は, 最初のより短時間の 2 つの時間帯にしばられている。というのは, 地震 (広義) というものは, 本震の発生直後に起きる現象に, その特徴がもっとも良くあらわれるからである。

12 月 26 日の 00 時 00 分 00 秒から同 27 日の 24 時 00 分 00 秒までのデータが, 表 1 に示される。それらの中から選りすぐったものが時刻順に番号づけされている。星印は, ハーバードカタログに載っている CMT 断層解が与えられている地震である。二つ星印は, 図 9 c にプロットされた CMT 解である。

これらの選択されたデータは, 震源震度 30km に発生した多くの一群の地震を示す。これらの一群の地震データは震度に関して十分な精度をもっていないと判断し, 図 1 の議論では省いた。なぜなら, これらのデータでは, 震源の水平分布パターンに間違った信頼性をもたらすからである。

図 8 a に, 本震から 2 時間以内に発生した 20 個の地震 (M ≥ 5.5) の震源群を赤丸で示した。これらの震源を XZ 平面に投影すると, 震源震度が 30km に固定された多くの震源震度が示され, それは, 3D の場合よりもずっと鮮明である。これらの一群の地震については, 震度が不確実であるばかりでなく, 奇妙なコンピューター処理の結果, 震源の緯度経度座標にも大きな不確実性がある。図 8 a に赤い大丸で示した主震も, この地震群に含まれる。こうしたコンピューター処理の難しさの原因は, 12 月 26 日の中ごろまでに発生した, ほとんど全ての余震の発震機構の決定をできなくしたのと同一原因である。図 8 b には, 同じ時間帯と地震規模の地震が, 30km の震源震度を示す一群の地震 (本震を除く) を削除して, 示されている。その結果, 表示された総地震数は, 7 つに減少する。

7つの震源—1 (本震) から7まで番号づけられている—は、地殻内のもっとも浅い15kmから、最深の51kmまでひろがり、地殻内部から地殻下におよぶ。深度方向の縮尺は、10倍以上も強調されている。プレートテクトニクスは、北東へ傾斜した震源分布を期待する。しかし、ほぼ鉛直の分布 (図8c) をみると、論拠もなく主張されている沈み込むスラブにそっているというよりも、それはいくぶん南西へ傾いている。筆者は、12月26-27日の2日間にわたる時間帯において、深度30kmの地震を除外して、同様の震源プロットを行った。図9aは、56個の全震源をXZ平面に投影したもので、震源データは表1にリストされている。深度30kmを示す地震を除外すると、残る29個の地震が図9b・図9cに示される。これらの地震の分布には、NNE方向へ傾くスラブ沈み込みに対応する構造は認められなかった。図9a-cでは、50km近くの深さに小さな震源集中域がある。それは、図8bや図8cに示される第3番目の地震の近くにまだら状に集まっているように見える。図9dでは、時空間的震央分布を分かりやすくするため、29個の地震がどういう順序で発生したかを示した。さらに、12月26日の第2回目の地震についての多くの地震解析、すなわち、震源断層の方向と断層の動きを表す多くの発震機構解析の結果には、地下の潜り込み説に対応するようなものは無い。図9cに示されたハーバードCMTの震源解析は、図9dの地震群に引き続くものとみなされる。

地震モーメント

地震モーメントの定義は、式 (3) で与えられる：

$$M_0 = \mu \cdot s \cdot A \tag{3}$$

ここで、 μ は剪断係数、 s は断層隔離距離、 A は破断面の面積とする。モーメント・マグニチュードは、地震モーメントにもとづいて定義される：

$$M_w = 2/3 \times \log M - 10.7 \tag{4}$$

地球における基準モードのもっとも長い周期は、 ${}_0S_2$ と ${}_0S_3$ —Stein and Okal (2005) の解析— から求められ、 $M_0 = 1.3 \times 10^{30}$ と $\text{dyn} \cdot \text{cm}$ となる。これは、長波長の表面波から得られた $M_0 = 4.0 \times 10^{29}$ $\text{dyn} \cdot \text{cm}$ よりも、3倍も大きい。つづいて、(4) 式から、超長周期マグニチュードは $M_w = 9.3$ となり、前出の $M_w = 9.0$ より明らかに大きい。

超長周期の地震波によるモーメントが、ハーバードCMTプロジェクトで用いられた300-s表面波から求められたモーメントよりも大きいという事実は、私たちが物理過程を見誤ったことによる。科学界で合意がえられる解釈をめざすStein and Okal (2005) の解釈は、数mほどの急速すべりが、ほぼ水平な震源断層の南部1/3 (約400kmほど) だけで起こり、つづいて、断層の総延長のこの1/3だけが長周期表面波を発生させた原因である、というものである。しかも、この断層構造の北部2/3ではより低速のすべりが発生し、地球のほぼ通常モードの振動を発生させたというのである。

筆者の意見では、このアイデアの替りに、表面波 M_0 と通常モード M_0 との間の相違は重要な異常—Khun (1969) のいう意味で—と考えられるべきである。この異常の解明は、地球の組成、諸作用および進化に関する私たちの見方を根本的に変革するであろう。ここで筆者は、次に述べるようなプレート説の命題の替りに、共役 P_2 断層におけるほぼ鉛直すべり面を適用することによって解を求めることにする。

すなわち、剛性率を $5.0 \times 10^{11} \text{dyne/cm}^2$ (Bullen and Bolt, 1985 参照)、長さを1,200km、深さを50km、 P_2 断層のほぼ鉛直な震源断層面のモーメントを約 $4.5 \times 10^{29} \text{dyn} \cdot \text{cm}$ とすれば、

$$M_0 = \mu \cdot s \cdot A = 5.0 \times 10^{11} \text{dyn/cm}^2 \times 1.5 \cdot 10^3 \text{cm} \times 1.2 \times 10^8 \text{cm} \times 0.5 \times 10^7 \text{cm} = 4.5 \times 10^{29}$$

となる。この M_0 は、長波長の表面波で求めた M_0 と対応する。こうした新しい P_2 の断層パラメーターを用いれば、すべり域を断層の南半部1/3の余震域に限定する必要はない。地震モーメントに基づいて算出された大きすぎる値である ${}_0S_2$ と ${}_0S_3$ モード (Stein and Okal, 2005) は、起震エネルギーの大部分を占めている、弾性的反発作用とほぼ鉛直方向の急激な変位から放出されるエネルギー (これらは、激甚被害をもたらす津波、および、それに連動したかたちで起こる地球の回転極の変位をひき起こすエネルギーであり、これが本来の ${}_0S_2$ と ${}_0S_3$ の励起によるエネルギー) を見積もっていない虚構的な算定結果といえる。この鉛直の変位は、スダグ海峡と先に述べた断層帯との間の区域における膨れ上がりに起因するものである (図7)。

上に述べてきたことを、スマトラ地震の事象と進行過程のあいだに起こった岩体の移動に置き換えてみると、この巨大地震のスペクトルは低い周波数の側になり、その地震が火山性のものである可能性を示す。これらの火山性地震は、 M_b から推定される破壊力や、低周期側で計算された M_w だけから推定された破壊力をはるかに上回る破壊性をもっていることは、これらのエネルギー計算によって理解される。これが、どのような火山事象を含む火山作用だったかを考えるとすると、数多くの事例中の一例として、ラコリスの進入作用を想定できよう。

海洋学的海水準変化の資料と想定されるジオイド変動

日本の国土地理院が公表した残敵暫定的結果は、地震後の全地域の海岸高度の変化を与えた。データは、ランドサット1、エンビサット、ERS-1/2、アスター、スポット-5による衛星によって得られたもので、2005年3月10日に更新された。西に位置する珊瑚礁バリアーは地震によって隆起した。アンダマン諸島とスマトラ島の北西海岸は地震によって隆起した。これは、すでに述べたこの論文の骨子に合致するものである。そして、Sabadini et al. (2005) など多くの論文によって予測された測地データの変化によっても支持される。ジオイドの動きは、一般的に受け入れられているハーバードCMT解による P_1 断層面解析によっては実証されていない。

Bilham のウェブサイト -<http://cires.colorado.edu/%7Ebilham/IndonesiAndaman2004.htm> は、さらに遠くの、衛星解析による地震後の標高変化と完全に合致する測地結果を報告している。

過去から現在までの出現または出現しそうな微小環礁の状態に関するいくつかの研究がおこなわれている (Sieh et al., 1999; Zachariassen et al., 1999; Zachariassen et al., 2000 など)。データの解釈は、珊瑚環礁の研究から明らかにされた周期的な隆起と沈降に収束していて、ほとんどの著者は、図4に示すプレートテクトニックモデルに適合するとみている。しかしながら、何人かの著者は、明らかに、過去に急激な沈降が起こった事実を良く理解していない。

図7には、日本の GSI の報告による隆起した地域と沈降した地域がそれぞれ赤色と黄色で示されている。示されている鉛直破断線 (太点線) は、隆起域と沈降域を分ける線である。Nicobar 諸島と Andaman 諸島の莫大な構成物であるオフィオライト (Coleman, 1977) は、地質学的時間を通して島弧が絶え間なく上昇してきた—Sunda 弧に沿った上昇とは異なる速度で一こととのさらなる証拠である。

この論文で提案されている骨子では、突然の沈降は、地殻の鉛直方向の断層作用の一部としてよく説明できる (図6)。

おわりに

スマトラ巨大地震の地震モーメントの矛盾にみられる多面的な問題 (multi-faceted problem) は、論拠もなく主張されているプレートテクトニクスの沈み込み作用が、観測された諸現象の原因にはなり得ないという結論を導いた。これは、地震探査断面、地震、広域地質および地震波トモグラフィーのデータにもとづく Choi (2005) の主張に合致するものである。以下の結論は、上述した現実データに基づいて導かれたものである。

1) Scalera (2004, 2005b) の研究にしたがうと、和達—ベニオフ帯ではマントル物質の上昇—物質の上方移動—が海溝、島弧および背弧地域の構造運動の現象に対応して起こっている。スマトラ地震本震の極移動に関する Matera Observatory SLR の調査は、そこでのこのようなジオダイナミクスを裏付けるものである。

2) 500 x 200km² の、ほぼ水平方向の断層は、データに裏付けられたものではない。なぜなら、本震の後の最初の数時間内に起きたより強烈な一連の余震が、長さ1200kmに達する直線的な弧状構造を規定するからである。後続の余震のより幅広い分布が、主断層周辺の地殻と貫入岩そして/またはラコリスの進入場における拡散する割れ目によってもたらされた可能性がある。一連のP波の伝搬と持続性は、この説明を支持するものである。

3) 純粹にほとんど鉛直な変位は、海水準変動の海洋地

表1 2004年12月26日00時58分~2004年12月27日24時00分に発生した56個の地震 (M ≥ 5.0)。これらは、図9aに示される。震源深度が精度よく決定された29個の地震に、発生順に番号が与えられ、それらは図9bcdに示されている。CMT ハーバードカタログに震源メカニズムメカニズムが掲載された地震には、星印が付されている。2つの星印は、図9cに震源メカニズムが記載されていることを示す。

TABLE 1

DAY	ORIG TIME h m s	LAT (°)	LONG (°)	DEPTH km	MAG	N°
26	005853,45	3,30	95,98	30	9,0 Mw**	1
26	011710,33	4,94	94,27	30	5,5 mb	
26	012120,66	6,34	93,36	30	6,1 mb	
26	012225,59	7,42	93,99	30	6,0 mb	
26	012548,76	5,50	94,21	30	6,1 mb	
26	013015,74	8,83	93,71	30	5,5 mb	
26	013322,38	7,76	93,71	25	5,5 mb	2
26	014852,07	5,43	94,46	51	5,7 mb	3
26	020040,03	6,85	94,67	30	6,0 mb	
26	021523,57	6,17	93,47	30	5,6 mb	
26	021559,78	12,32	92,50	26	5,7 mb	4
26	022201,84	8,87	92,47	15	5,7 mb	5
26	023452,15	3,99	94,14	30	5,7 mb	
26	023610,09	12,18	92,94	38	5,8 mb	6
26	023809,35	8,49	92,35	33	5,6 mb	7
26	024620,74	4,24	93,61	30	5,7 mb	
26	025201,83	12,50	92,60	30	5,8 mb	
26	025914,39	3,18	94,38	30	5,7 mb	
26	030238,08	8,61	92,33	30	5,5 mb	
26	030844,21	13,74	93,01	30	5,9 mb	
26	031752,38	7,21	92,92	30	5,6 mb	
26	031913,05	3,55	94,29	30	5,5 mb	
26	032454,94	4,47	94,07	26	5,8 mb	8
26	034015,64	5,53	94,33	30	5,6 mb	
26	035112,36	5,05	94,77	30	5,7 mb	
26	040058,43	6,79	94,08	29	5,5 mb	9
26	040255,73	4,98	94,72	47	5,8 mb	10
26	042129,81	6,91	92,96	39	7,5 Ms**	11
26	060228,38	8,27	94,06	23	5,7 mb	12
26	065647,40	10,98	92,28	23	5,5 mb	13
26	070710,27	10,36	93,75	19	5,6 mb	14
26	073827,00	13,13	93,04	30	5,7 mb	
26	075228,80	8,13	94,07	17	5,5 mb	15
26	092001,61	8,88	92,38	16	6,6 Ms**	16
26	101813,79	8,86	93,74	30	5,5 mb	
26	101931,73	13,46	92,74	26	6,1 mb**	17
26	105119,82	7,63	92,31	30	5,5 mb	
26	105602,59	10,07	93,83	30	5,5 mb	
26	110500,72	13,53	92,84	13	6,3 mb**	18
26	135640,17	2,78	94,47	30	5,9 Ms*	
26	144844,26	13,59	92,91	30	5,8 mb**	
26	150633,24	3,65	94,09	17	6,1 Ms**	19
26	190349,21	4,09	94,22	30	5,5 mb	
26	191955,57	2,79	94,16	30	6,2 Ms*	
26	210648,80	4,47	96,34	30	5,5 mb	
27	003216,48	5,48	94,47	33	6,0 mb**	20
27	004928,59	12,98	92,39	23	6,0 mb**	21
27	074735,40	2,71	94,51	23	5,6 Ms**	22
27	083738,47	6,48	93,28	30	5,7 Ms*	
27	093906,80	5,35	94,65	35	6,2 mb**	23
27	095752,73	7,71	92,64	9	5,7 Mw**	24
27	100505,44	4,72	95,11	49	5,9 Mw**	25
27	144646,49	12,35	92,47	19	5,8 mb**	26
27	191318,85	11,59	92,50	25	5,5 mb	27
27	201051,31	2,93	95,61	28	5,8 Ms**	28
27	202344,61	7,06	91,79	28	5,7 Mw	29

理的データやジオイド変化の仮説、そのほかの測地結果に、よく対応している。

4) 第2共役 CMT 断層面解 (P2: 走向=129° , 傾斜=83° , すべり方位=87°) は、鉛直変位という必要条件を満たすこと、そして、PM と地震モーメントの調査されたデータと非常に良い一致を示しているから、実際の解に非常に近い。

5) ${}_0S_2$ と ${}_0S_3$ の地球のノーナルモード (Stein & Okal, 2005) のスペクトルの角度解析のために測られた、地震モーメントの過剰は、おそらく想像上のものであろう。より大きな量のエネルギーが、“弾性反発”作用ではなく、強い ${}_0S_2$ と ${}_0S_3$ の励起、破壊的な津波、そして地球の瞬間的な回転軸の変位を引き起こすマントル物質の垂直変位によって、この過剰エネルギーが放出されたのであろう。

6) 物体の変位の実際の方位を識別するための主要な要素は、一日の長さ (LOD) への突然の影響である (数 μ 秒、今日の測定誤差精度以下のレベル ;Chao & Gross, 2005) であり、時間測定精度を一桁〜二桁上げるための改良に努める必要がある)。その結果は、プレートテクトニクスの運動学を使ったモデル (Chao and Gross, 2005) で規定される LOD の減少ではなく、LOD の増加を示すに違いない。

7) この鉛直変位の原因はわかっていない。そして、実際に提案可能なのは仮説だけである。広域的準安定状態にある上部マントルが、汎地球的な膨張による海溝下での局所的減圧をきっかけに、相変化をはじめるとは想定可能である。また、他の多くの可能性も考える。

8) スンダ弧における巨大地震の頻度と測地的および歴史的な鉛直変位は、造山運動に含まれる初期段階の作用が起こっているという結論を導き出す。実際、造山過程に関する現代的観点は (Ollier, 2003)、山系が実際に隆起した年代はこの数百万年であることを強調している。スンダ弧は、巨大な障害物に遭遇すること無しに海洋に向かって拡大しているが、そのために、上昇はおそらく小さいのであろう。インドに対するヒマラヤ弧のように、拡大している弧が大きい障害物に遭遇しているところでは、高さが増大する。

9) 今回そして過去数百年の巨大地震の実際の振る舞いについての解釈は、修正されるべきである。1926年のアリューシャン地震や1957年のアリューシャン地震、1960年のチリ地震、そして1964年のアラスカ地震などに係わる現象の詳しい考察が、それらの事象の間の類似性を表にして、なされるべきである。

10) 汎世界的な巨大地震の本性の解明は、純学問的興味にもとづくだけの研究ではない。それは根本的研究であり、それは日々の生活や社会、経済の発展と市民を守るための重要な役割を持っている。実際、もし、間違った発震機構モデルが推論の連鎖に採用されたとするならば、地震予報をおこなう理論 (もしあるとしても) を進歩させ、創出することは期待できないであろう。その際、科学界と市民を守るべき機関は、地震予報に関する新しい研究を始める場合には、プレートテクトニクスモデルとは違った仮定に立って、責任ある考慮をおこなうべきである。Blot & Choi (2004) で明示されたようなエネルギーの移動に関するアイデアは、地球科学界において新しい評価を与えられるべきであろう。

このような考察は、沈み込みを伴わない多くの他の汎世

界的テクトニクスの仮説—地球膨張の考え方 (Scalera, 2003, ;Scalera and Jacob, 2003) を含む—を支持するであろう。これらの考察の検証は、将来くりかえし発生する巨大地震の観察と、前世紀のもっとも強い地震の再解釈によって、なされるであろう。

文 献

- BIJWAARD, H., SPAKMAN, W. and ENGD AHL, E.R., 1998. Closing the gap between regional and global travel time tomography. *J. Geophys. Res.*, v. 103 (B12), p. 30055-30078.
- BILHAM, R., 2005. A Flying Start, Then a Slow Slip. *Science*, v. 308, p. 1126-1127.
- BILHAM, R., 2005. <http://cires.colorado.edu/~bilham/IndonesiAndaman2004.htm>
- BLOT, C. and CHOI, D.R., 2004. Recent devastating earthquakes in Japan and Indonesia viewed from the seismic energy transmigration concept. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 33, p. 3-12
- BULLEN, K.E. and BOLT, B.A., 1985. *An introduction to the theory of seismology*. Fourth Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 499p.
- CHAO, B.F. and GROSS, R.S., 2005. Did the 26 December 2004 Sumatra, Indonesia, earthquake disrupt the Earth's rotation as the mass media have said? *EOS*, v. 86, p. 1-2.
- CHOI, D.R., 2004. Deep tectonic zones and structure of the Earth's interior revealed by seismic tomography. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 30, March p. 7-14.
- CHOI, D.R., 2005. Plate subduction is not the cause for the Great Indonesian Earthquake on December 26, 2004. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 34, p. 21-26.
- COLEMAN, R. G., 1977. Ophiolites, ancient oceanic lithosphere? Springer-Verlag, Berlin, pp.229.
- DAHLEN, F.A., 1971. The excitation of the Chandler Wobble by earthquakes. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, v. 25, p. 157-206.
- DIAMENT, M., PANET, I., MIKHAILOV, V., TIKHOTSKY, S. and REIGBER, C., 2005. On the recovery of the gravity signal from the Sumatra-2004 earthquake using GRACE satellite gravity data. *European Geosciences Union - Wien 24-29 May 2005. Geophysical Research Abstracts*, v. 7, SRef-ID: 1607-7962/gra/ EGU 05 -A-07057
- GEIST, E.L., TITOV, V.V., ARCAS, D., and BILEK, S.L., 2005. The M=9.0 2004 Sumatra-Andaman Islands earthquake; reconciling source parameters determined from tsunami and seismic data [abs.]: *Seismological Society of America Annual Meeting*, Incline Village, NV, April 27-29, 2005.
- HAFKENSCH EID, E., BUITLER, S.J.H., WORTEL, M.J.R., SPAKMAN, W. and BIJWAARD, H., 2001. Modelling the seismic velocity structure beneath Indonesia: a comparison with tomography. *Tectonophysics*, v. 333, p. 35-46.
- ISHII, M., SHEARER, P.M., HOUSTON, H. and VIDALE, J.E., 2005. Extent, duration and speed of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake imaged by the Hi-Net array. *Nature*,

- doi:10.1038/nature03675. p. 1-4.
- KHUN, T., 1969. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago University Press, Chicago, 276p.
- LAMBECK, K., 1980. *The Earth's variable rotation -Geophysical causes and consequences*. Cambridge University Press. Cambridge, 447p.
- LAMBECK, K., 1988. *Geophysical Geodesy - The Slow Deformations of the Earth*. Oxford Science Publications, New York, 718p.
- LOMAX, A., 2005. Rapid estimation of rupture extent for large earthquakes: Application to the 2004, M9 Sumatra-Andaman mega thrust. *Geophys. Res. Letters*, v. 32, L1034, doi: 10.1029/2005GL022437.
- LOMAX, A. and Michelini, A., 2005: Rapid Determination of Earthquake Size for Hazard Warning. *EOS*, v. 86 (n°21-24 May), p. 202-202.
- OLLIER C.D., 2002. The structure and origin of mountains: pre-planation and post-planation gravity structures. In: Dramis F. (ed.): *Large Scale vertical movements and related gravitational processes*. Proceedings of the international Workshop held in Camerino and Rome 21 -26 June 1999, Camerino University Publication (special number), Edimond, p. 147-155.
- OLLIER C.D., 2003. The origin of mountains on an expanding Earth, and other hypotheses. In: Scalera, G. and Jacob, K.-H. (eds.), 2003: *Why Expanding Earth? A book in Honour of Ott Christoph Hilgenberg*. Proceedings of the 3rd Lautenthaler Montanistisches Colloquium, Mining Industry Museum, Lautenthal (Germany) May 26, 2001, INGV, Rome, p. 129-160.
- PARK, J., SONG, T.-R.A., TROMP, J., OKAL, E., STEIN, S., ROULT, G., CLEVEDE, E., LASKE, G., KANAMORI, H., DAVIS, P., BERGER, J., BRAITENBERG, C., VAN CAMP, M., LEI, X., SUN, H., XU, H., and ROSAT, S., 2005. Earth's Free Oscillations Excited by the 26 December 2004 Sumatra-Andaman Earthquake. *Science*, v. 308 (20 May), p. 1139-1144.
- RITZWOLLER, M.H., SHAPIRO, N.M. and ENGDAHL, E.R., 2005: Structural context of the Great Sumatra -Andaman Islands Earthquake. Preprint submitted. Readable at the web site <http://cei.colorado.edu/pubs/2005/4.pdf>
- SABADINI, R., DALLA VIA, G., HOOGLAND, M. and AOUDIA, A., 2005. A splash in Earth gravity from the 2004 Sumatra earthquake. *EOS*, v. 86, p. 149-156.
- SCALERA, G., 1999: *I moti e la forma della Terra (Motions and shape of the Earth)* (in Italian). Tangram-Istituto Nazionale di Geofisica, Roma, 195p.
- SCALERA, G., 2002. Possible relations among expanding Earth, TPW and Polar Motion. In: Maslov, L. (ed.): *Proceedings International Symposium on New Concepts in Global Tectonics*, held in May 2002 in La Junta, Colorado, Otero Junior College Press, La Junta, p. 37-50.
- SCALERA, G., 2003. The expanding Earth: a sound idea for the new millennium. In: Scalera, G. and Jacob, K.-H. (eds.), 2003: *Why Expanding Earth? A book in Honour of Ott Christoph Hilgenberg*. Proceedings of the 3rd Lautenthaler Montanistisches Colloquium, Mining Industry Museum, Lautenthal (Germany) May 26, 2001, INGV, Rome, p. 181-232.
- SCALERA, G., 2004. A new interpretation of the origin of the Wadati-Benioff zones in the Mediterranean region. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 32, p. 15-24.
- SCALERA, G., 2005a: TPW and Polar Motion as due to an asymmetrical Earth expansion. *Annals of Geophysics*, in press.
- SCALERA, G., 2005b. The geodynamic significance of the earth axis displacement during the Sumatra earthquake. *New Concepts In Global Tectonics Newsletter*, no. 34 (March), p. 32-34.
- SCALERA, G. and JACOB, K.-H. (eds.), 2003. *Why Expanding Earth? A book in Honour of Ott Christoph Hilgenberg*. Proceedings of the 3rd Lautenthaler Montanistisches Colloquium, Mining Industry Museum, Lautenthal (Germany) May 26, 2001, INGV, Rome, 465p.
- SCHIAPARELLI, G.V., 1883. *La rotazione della Terra sotto l'influenza delle azioni geologiche; discorso del 30 agosto 1882 (The Earth's rotation undergoing the action of the geological processes - a prolusion held in August 30, 1882)* (in Italian). *Bollettino del Club Alpino Italiano*, Torino, p. 468-486.
- SCHIAPARELLI, G.V., 1891. *Della rotazione della Terra sotto l'influenza delle azioni geologiche; memoria presentata all'Osservatorio di Poulkova nell'occasione della sua festa semisecolare (About the Earth's rotation under the influence of the geologic processes; a report presented at the Poulkova Observatory in the occasion of its fiftieth anniversary celebration)* (in Italian). *Il Nuovo Cimento*, Terza serie, Tomo XXX, Tipografia Pieraccini-Salvioni, Pisa.
- SIEH, K., and NATAWIDJAJA, D., 2000. Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, v. 105 (B12), p. 28295-28326.
- SIEH, K., WARD, S.N., NATAWIDJAJA, D. and SUWARGADI, B.W., 1999. Crustal deformation at the Sumatran subduction zone revealed by coral rings. *Geophys. Res. Lett.*, v. 26, p. 3141-3144.
- SPADA, G., 1992. *Rebound post-glaciale e dinamica rotazionale di un pianeta viscoelastico stratificato (Post -glacial rebound and rotational dynamics of a layered viscoelastic planet)* (in Italian). *Tesi di Dottorato di Ricerca in Geofisica*, Università di Bologna, 303p.
- SPADA, G., 1997. Why are earthquakes nudging the pole toward 140°E? *Geophys. Res. Lett.*, v. 24, p. 539-542.
- STEIN, S. and OKAL, E., 2005. Ultra-long period seismic moment of the great December 26, 2004 Sumatra earthquake and implications for the slip process. Web site <http://www.iris.iris.edu/sumatra/files/Sumatramoment.doc>
- TARAKANOV, R. Z., 2005. On the nature of seismic focal zone. *News Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 34, p. 6-20.
- ZACHARIASEN, J., SIEH, K., TAYLOR, F., EDWARDS, R. and HANTORO, W., 1999. Submergence and uplift associated with the giant 1833 Sumatran subduction earthquake: Evidence from coral microatolls. *Journal of*

赤道付近の大西洋中央海嶺－海洋底拡大異常

EQUATORIAL MID-ATLANTIC RIDGE -A SEA FLOOR SPREADING ANOMALY

Peter M. JAMES

Consulting Geotechnical Engineer

Po Box 95, Dunally, Tasmania 7177, Australia

(山内 靖喜 [訳])

1. はじめに

過去 40 年間にわたって、地球科学の文献において、海洋底拡大はそれなりに適当に記述されてきた。中央海嶺と 50km 以上の幅と 2km の深さをもつ長いリフト谷は負の重力異常、正の地磁気異常と高い熱流量を示す。要するに、これらの記述は、それらを拡大の源とみなしているのである。深海底よりも約 2km 高位にある起伏に富んだ地形中に、リフトは位置している。深海底の堆積物の年齢が海嶺から離れるに従って増加する傾向にあるという事実から、海嶺から拡大していると推定されている。海嶺の両側において離れるように広がる線状の磁気異常パターンから、距離が離れるに従って年齢が増加するという同じようなパターンが解釈されている。しかしながら、これらの異常の年齢は、ごく僅かの例外を除けば、それを覆う堆積物の年齢という間接的な証拠から推定されている。磁気異常パターンは海嶺に直角に走る垂直なトランスフォーム断層によってかなり規則的の間隔で変位しているため、パターンの間隔の比較も同様に使用されている。トランスフォーム断層は、最初、Tuzo Wilson(1) によって、海嶺の両側において海嶺から離れる方向に走る走向移動断層として解釈された。しかし、海嶺の両側において、リソスフェアのプレートは断層を横切って多少つながっているとされた。もともと、これらのトランスフォーム断層は海洋地殻の底まで、すなわち深さ 6km までしか広がっていないと Wilson はみていた。しかしながら、このような表面の構造が下にあるプレートの運動に与える影響は明らかにごく僅かである。そして、それ以来、これらの断層はプレートの底まで切っているということになった。

注 (1) 1978 年まで、その深さは 33km とされていた。これは、その時代の慣例とみられる。

最近、いろいろな著者によって、海洋底拡大の基本概念に対する多くの異論が本紙に載せられた。それらは、すでに読まれたものとしてあつかう。そこで、以下の覚え書きは、モビリスト (移動論者) の枠組みについて、まだ記述されていない別の基本的欠陥を述べ、これまでだされてきた異論を補強するものである。

2. 赤道付近の大西洋中央海嶺－応力パターン

図 1 は中央大西洋の赤道に沿っての地震パターンを示している (国立地震情報センター、地震災害プログラム：

アメリカ地質調査所)。ここには 1973 年から 2001 年までのマグニチュード 5 以上の地震の震央が示されている。これらは赤道の両側において、赤道に対して 11° から 30° の角度をもった方向に沿って分布し、断層で切られた中央海嶺の両端で分布が終わる。ここには深い地震はまったく発生せず、すべての地震は深さ 10km かそれより浅い部分で起きている。このことは、それらの地震が海洋地殻に限られていることをかなり良く示している。

地震発生のパターンは、目立っており、明瞭である。Romanche と名付けられた長い破砕帯は、赤道線に対して約 $12 \sim 15^{\circ}$ の角度をもって走っている。その両端では、約 60° の角度でそれと交差する破砕帯があり、両端より外側では大きな地震活動は完全になくなっている。さて、今からみて重要な点は、地震の平面幾何学は岩石中の複合せん断、別言い方ではリーデルせん断として知られていることである。その発達を図解するために、単純な実験を用意した。

3. リーデルせん断

John Tchalenko (2) は、1960 年代に Imperial College において、2 枚の板をまたぐように粘土の薄層をおき、板を互いに反対方向に動かした (図 2a)。現著者は同じくこの実験を試みた (最も良く反応したカオリナイトを用いた)。次の記述は、このこの初歩的な実験での観察によるものである。

板を動かしたときに現れた、2 つのステージのリーデルせん断に注目した。

- 変形が 1mm に近づいたときに、第 1 ステージのリーデルせん断が発達した。それは移動方向に対して $\phi/2$ の角度 (カオリナイトの場合約 10°) をもっていた。約 5% の歪み値において、変形は幅 1 ~ 2cm の帯状の部分全体に集中した。明らかに、粘土は完全に塑性体であり、もろい岩石が同じような段階になるのに必要な歪みはこれの 10 分の 1 ほどであろう。

- 変形が約 3mm になったとき、第 2 ステージのリーデルせん断が現れ始めた。これらは最初のセットに対して $(90 - \phi)$ の傾きをもって、粘土中の狭い割れ目が広がる形をとった。通常、この第 2 段階のセットの開始は物質の最大せん断強度を予告する。

上記の実験における 2 つのステージでのリーデルせん断

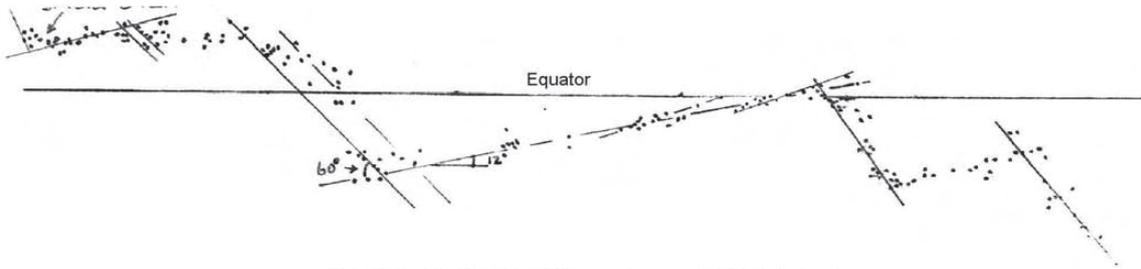


Figure 1 Earthquake Patterns, Equatorial Mid-Atlantic

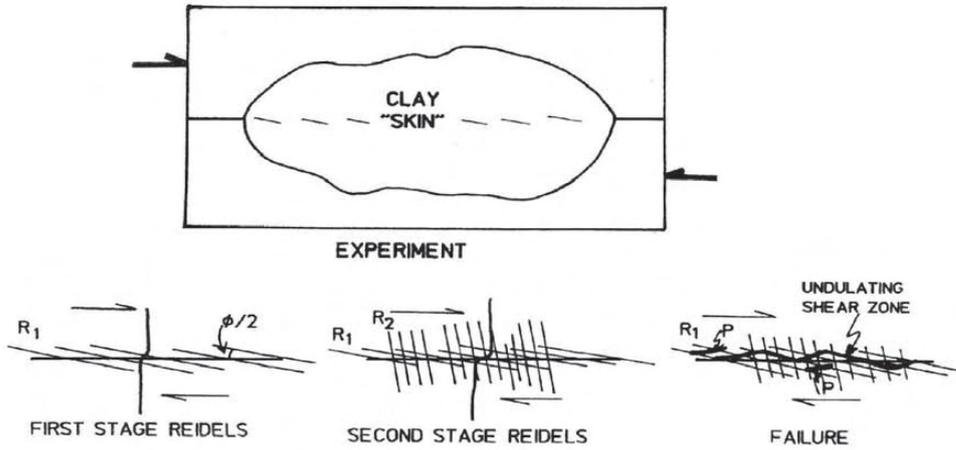


Figure 2 Development of Failure Patterns

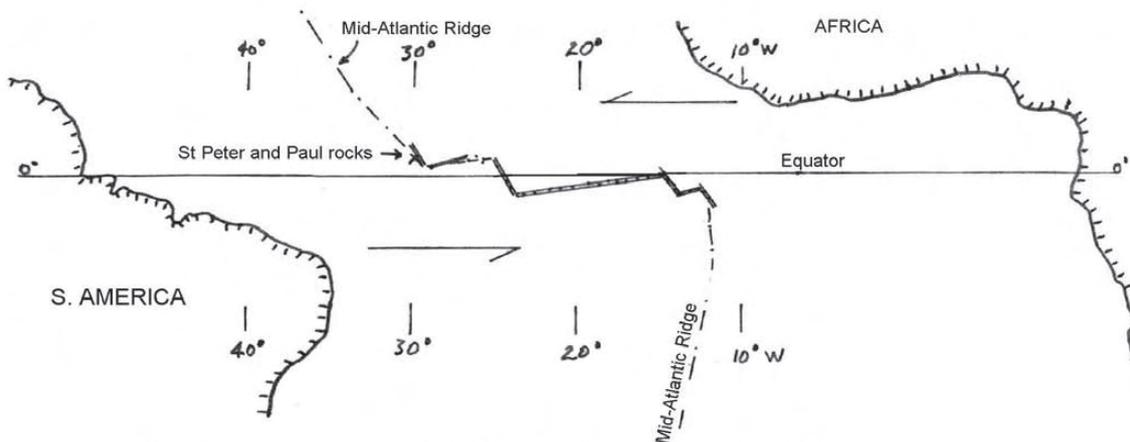


Figure 3 Africa and S. America inhibit "stretching" along the equatorial bulge, thereby imposing a condition of simple shear on the crust.

第1図 中央大西洋の赤道付近の地震パターン

第2図 破壊パターンの発達

第3図 アフリカ大陸と南アメリカ大陸は赤道付近のふくらみに沿っての“伸び”を抑えており、それによって地殻上に単純せん断の状態がもたらされる。

発生と、赤道付近の大西洋中央海嶺沿っての地震のパターンとが類似していることは注目に値する。第1ステージの発達、すなわち Romanche せん断帯は赤道に対して約 $12 \sim 15^\circ$ の角度をもって一列に並び、せん断発達の特別なレベルでの地殻のマサツ角が $25 \sim 30^\circ$ であることを示している。第2ステージには短くて、交差する破碎帯が現われる。これらは、第1ステージの割れ目と約 60° の角度をなす。この角度は、 ϕ が 30° である場合の $(90^\circ - \phi)$ 基準を満たすものである。少し線をいじくつ

たり、あるいは太い鉛筆を使うと、まさにその形と同じものをつくれるであろう。ここでのマサツ角 ϕ は 30° であり、この値は脆性-延性の変化を超えた硬い岩石について Barton (文献3) によって推論された値であることから、この点の適切さが示されている。この変化をつくり出すことができる応力レベルは、海洋地殻の底付近に生じている。

ステージ1のリーデルせん断を利用したスラストせん断

をつくるため、変形実験をさらに続けた。これは菱形を伴った波形のせん断帯をもたらした(図2下右)。類似した構造が多くの主要な断層を特徴づけており、そしてTchalenko実験の意義は、粘土でつくった微小構造に関する彼の研究がさらに進展し、巨大地震時に発達するせん断帯の研究へとつながったことである。そこにおいても、彼は同じパターンが得られることを発見した(私信)。

4. 結論

この実験において、第1および第2ステージのリーデルせん断の発達を伴った歪は粘土に適用できた。脆い岩石の場合、脆性-延性変化においてさえ、リーデルせん断が発達する似たようなステージに到達するのに必要な歪は、おそらく上記の実験の10%程度であろう。この値を赤道に沿う地帯、すなわち幅150~200kmの部分に適用すれば、図1の地震パターンは次の状況になったときに発達する。

- ・ステージ1のせん断については、相対的変位、すなわち赤道の北側と南側の間での変位が1.5~2kmになったときである。
- ・ステージ2のせん断については、相対的変位が4.5~6kmになったときである。

このわずかな量の変位は、まったく幸いにも、赤道付近のふくらみに沿う地殻の伸びによってつくることができたし、図3はその意味していることを図解している。

赤道が現在の場所に現在のよう形をもつようになったのは、最近のことであるという状況を考えなければならない。たとえば、最終氷期においては、北極はBaffin島にあって、それに伴ってこの時代の赤道線は中部大西洋において約15°さがっていた。赤道のふくらみが現在の位置に移動したことは、必然的に海洋地殻のある程度の“伸び”を起こした。その伸びは赤道に沿う方向と直交する方向の両方向においてである。しかしながら、赤道に沿う方向の膨張は両側の大陸の存在によって抑えられたであろう。図3に図解しているように、粘土板実験の方法で、両大陸はせん断偶力にしたがう挙動をした。それは帽子からウサギを引っ張り出すのとちょっと似ているように思えることに私は気がついた。しかし、わたしが提案したかったことは、これらの破碎帯はまさにここで述べたものと類似した状況下だが、地球史の初期におそらくつくられたのである。それ故に、現在私たちがみているものは、最近の極移動によってもたらされた地震の再活動なのである。この状況を扱うため、筆者は“ジオイド応力”という用語を使う。この用語に関しては、

文献(4)により詳細に述べられている。どのような場合であれ、海洋底拡大説によって提案されているように、大西洋中央海嶺を2000km変位させるようなことを必要としないで地震パターンに関する機構を、この説明は与えてくれる。

この先の問題について、以下に2,3ふれておく。

- ・中部大西洋ではステージ3のリーデルせん断状態には到達していないが、それは他の断層中に生じる。サンアンドレアス断層に沿って、より大きな変形が生じており、“菱形”含有物を伴う、同じ種類の波形のせん断帯がそこにおいてみつけられている。付け加えるならば、この断層帯に沿ってさえも、地震がまた浅く、ほとんどすべての地震は深さ15kmより浅い。運動の鉛直成分がときどき卓越するという事実(文献5)とこれが関連するかどうかは不明である。
- ・海洋拡大概念の基礎にして、いろいろな海洋の古い島々は拡がりつつある海嶺からより遠く離れた場所にみつかるとはWilsonは予測した。したがって、中央大西洋地震帯の西端にあるセントピーター岩礁とポール岩礁は1500万~2000万年前程度の比較的最近に誕生したはずである。不幸なことに、この年代の堆積物は島の側面で見つかった。それらはリソスフェアの深さから突きあがってきたというアイデアとその堆積物は一致しない。さらに、この2つの島の超塩基性岩の年代測定のいくつかは2億年という年代、その他は8億年をしめした。このことにおいて、セントピーター岩礁とポール岩礁は海洋拡大に関してその兄弟たちを困惑させたのと同じ困惑を与えている。すなわち、想像上拡大している紅海の中央に先カンブリア界の島がある。

文 献

- 1 Wilson J.T. (1965). A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature* 197:536-538
- 2 Tchalenko J.S. (1967). The influence of shear and consolidation on the microscopic structure of some clays. Ph.D. Thesis, Univ. of London.
- 3 Barton N.R. (1976). The shear strength of rocks and rock joints. *Internat. J. Rock Mech. & Min. Sci.* 13:255-279
- 4 James P.M. (1993). *The Tectonics of Geoid Change*. Polar Publ. Calgary
- 5 Martin B.D. (1992). Constraints to right-lateral movements, San Andreas fault system, central and northern California. *New Concepts in Global Tectonics* (Ed. Chatterjee S. & Hotton N.), Texas Univ. Press.

火星と地球：二極分離—ひとつの原因 MARS AND EARTH: TWO DICHOTOMIES -ONE CAUSE

G. G. KOCHEMASOV

IGEM Russian Academy of Sciences, 35 Staromonetny, 119017 Moscow, Russia,
kochem@igem.ru.

(柴 正博 [訳])

波動惑星学 [1, 2, 3 とその他] は、「軌道が構造を作る」という基本的な学説に基づいている。すなわち、周期的に変化する曲率と加速度もたらず丸くない(楕円状,あるいは放物線状の)ケプラー軌道の上で惑星惑星の運動によって,惑星体中に生じる慣性-重力性の力が,惑星球体に振動を生み出す。動かない特質と4つの方向(正中と対角)があるので,これらの振動(波)は干渉しあって,隆起(+),沈降(-),また補償して中立な(0)構造のブロックを形成する。これらのブロックは自然に規則正しく配列し,それらのサイズは波長に依存する。最も長い基本波1(長さ $2\pi R$, R は球体半径)は,1つの半球の隆起(+とそれ以外の沈降(-)という構造的な二極分離(図1)を必然的に作り出す。隆起(大陸性)半球は惑星半径を増加させ,その結果,より大きい空間(表面)を占め,自らを拡大させる傾向がある。そして,これが,隆起半球が通常深く激しく破断され(引き裂かれ),深部(マントル)の溶解物に上昇通路をもたらすことになる理由でもある。こうして,火山,台地洪水玄武岩が出現し,貫入岩が脆弱帯を満たすことになる。沈降(海洋性)半球は,惑星半径を減少させる。その結果,より小さい空間(表面)を占め,自らが収縮する傾向にある。そして,これが,沈降半球が通常褶曲し,余分な物質は押し上げられ(絞り出され),表面に火山や海嶺を形成する理由になっている。惑星体はすべて回転しているので,構造的にも高度的にも異なるレベルにあるブロック(半球)はそれらの角運動モーメントを調整(均衡)させなければならない。さもないと,球は断片に分解してしまう(自らを破壊する)。ある惑星体では,すべてのブロックの回転にかかる角速度は同じであるから,半径と密度の関係で釣り合いがとられることになる。したがって,沈降しているブロックは隆起しているブロックよりも密度が高い。私たちはすでに地球でそのことを知っている。すなわち,地球では海洋が玄武岩質で,大陸は平均的に安山岩質である。火星もまたこの規則に従う:すなわち,北部の低地はFe-玄武岩質であり,南部の高地は少なくとも二極分離の境界で安山岩質であり(パスマインダー),より南ではおそらく密度がそれほど高くないと思われる(私たちは曹長岩,閃長岩,花崗岩などこれら低い密度岩石を候補として提案した[3, 4, 5, 6 とその他])。

地球での高地と低地間の密度の違いはおよそ $0.25\text{g}/\text{cm}^3$ であるが,火星の波形構造はより明瞭で(より粗く),より高い起伏をとまなう比較的大きいブロックを形成し

ているので,火星では密度の違いはさらに大きくなってはならないだろう。火星の低地は,実際,地球の海洋よりも密度が高い(ソーライトではなく,Fe-玄武岩)。インターネットで発表された最近の火星探査車のデータは,いくつかの岩石によって層状になる高地(ちなみに,このような薄い成層構造は地球の霞石閃長岩に典型的で,例として朝鮮半島のLovozero山塊があげられる[7, 8])は,硫酸塩,塩化物,臭化物の皮殻に覆われるが,珪素やアルミニウム,アルカリに富む。高カルシウムと硫酸化物は閃長岩に典型的である[7, 8]。火星における分析ではMg/FeとAl/Caが高く,そして,これらの値は低地から高地へ急激に増加する。このことは,火星全体におよぶはっきりとした化学的分別を示している(火星は,すべてが単純な玄武岩質の星ではない!)。オデュッセイのガンマ-スペクトル測定による火星全体の珪素と鉄の分布は,南部の高地がSiに富み,北部の低地がFeに富むことを示す。火星全体の重力[9]もまた,南部の座屈【押し曲げ】された半球が比較的軽い(高密度でない)岩石からできていることを示している(反射率は,この結論を支持する)。

したがって,地球における東-西の二極分離と火星の南-北の二極分離は,第一オーダーの同じ波状形態であり,火星では隆起している深く引き裂かれた高地と沈降している顕著な峰(褶曲)をもつ低地が対照をなす。どちらの場合も,低地(最初の海洋)は全表面の約1/3を占めていて,波動の関与を示す別の指標になっている(図1)。

According to the wave theory the first harmonic - wave 1 typically is adorned by overtones.

波動学説に従えば,第1調和振動=波1は,ふつう,倍数振動波を伴う。第1倍数振動=波2はもっともはっきりしたものであり,分離したブロック領域,すなわち大陸とそれから分離した二次的の海洋として自己表現する。地球では,東部の陸半球(分割域)は大陸と海洋(領域)からなり,西部の海洋半球(分割域)は海台と海盆(領域)によって構成されている。両半球の領域の地形は,対蹠的である(たとえば,アフリカと東太平洋海盆)。火星の分割域もまた,異なったレベルのいくつかの領域から構成されている。南部の高地分割域で最もはっきりしているものは,2つの沈降-ヘラス平原とアルギレ平原である。それらは,北部の低地分割域にそれらの逆の性格をもつ相棒-対蹠的な隆起地形をもっている。ヘラス

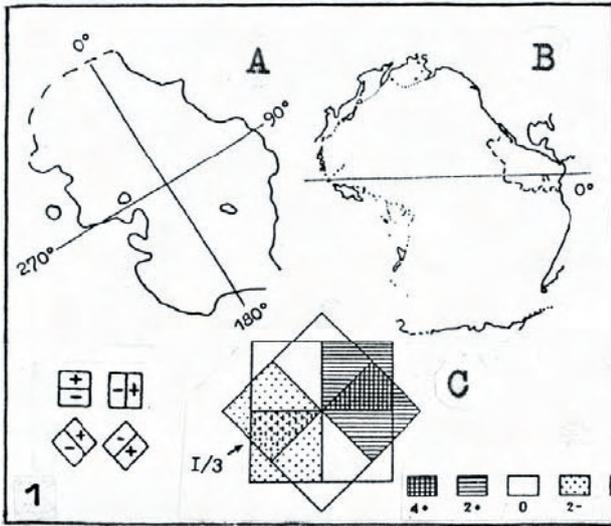


図1 火星と地球の構造的二極分離の同一構成：波動干渉のモデル。A-火星の Vastitas Borealis (北部の大きな海盆)。等高線の中の地殻の厚さは 50km より小さい [13] (等高線を反転させて、球体の中から見たように描いた)。B-太平洋海盆。C-波動の干渉(4方向)の平面幾何学モデル。頭脳のなかで、球を周りから包みこむように思考する必要がある。

は、アルバ パテラ (受け皿状の火山体) とテンペテラ (大地) などの高緯度の海洋地域にある「大陸」ブロックに対して対蹠的である。アルギレは、海洋底に孤立して突き出したエリュウムプラム (台地) (その北の延長フレギュラ山地を含む) (図2) に対してほぼ対蹠的である。イシダス平原は、3つの台地 (ソリス, シリア, シナイ) の複合体にの対蹠的である。

2つの惑星の構造的な類似性は、規模を比較するとまったく異なっているが、質量と平均密度は連続的で、同様な値は、他のいくつかの惑星体にも見いだされる。この惑星体には、より小さい小惑星、および、そのボスである太陽 (恒星) —より正確にはその光球—が含まれる [10, 11]。これら構造的規則性は、それらを一般化して、惑星構造学の4つの定理とすることを可能にする [12]: すなわち、1. 天体は二極分離している ; 2. 天体は分割域をもつ ; 3. 天体は粒状構造をもつ ; 4. 異なったレベルブロックの角運動モーメントには均一化の傾向がある。

さらに、2つの補足的結論が導かれる。1) 火星と地球の二極分離は、なぜ異なった方向性をもつのか?(S-N と E-W)。それは、干渉過程において4方向の波状形態が現れ、それらは異なった側で「+」と「-」を形成しながら互いに重合するいくつかの可能性をもつからである。2) 二極分離の境界はなぜそれほどはっきりとしているのか? それは、私たちが扱う波動が量子力学的なものであり、それらのフェーズの間に滑らかな正弦的漸移関係をもたないからである: 「+」と「-」の間には、違いがはっきりと現れる移行部がある (地球における大陸と海洋の間のはっきりとした境界があることを思い出していただきたい)。

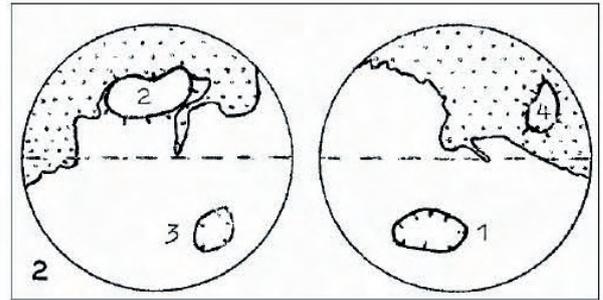


図2 二極分離の境界をともなう火星の半球。ヘラス (1) に対するアルバパテラとテンペテラ (2) , そしてアルギレ (3) に対するプレグアラ山をともなうエリシウムプラム (4)。

文 献

[1] Kochemasov G. G. (1994). 20th Russian-American microsposium on planetology. Abstr., Moscow, Vernadsky Inst., 46-47;

[2] Kochemasov G. G. (1998). Proceedings of international symposium on new concepts in global tectonics ('98 TSUKUBA), Tsukuba, Japan, Nov. 1998, 144-147;

[3] Kochemasov G. G. (1999). The Fifth International Conference on Mars, July 18-23, 1999, Pasadena, California. Abstr. # 6034. LPI contribution # 972. LPI, Houston, (CD-ROM);

[4] Kochemasov G. G. (1995). Golombek M.P., Edgett K.S., Rice J.W. Jr. (Eds). Mars Pathfinder Landing Site Workshop II: Characteristics of the Ares Vallis Region and Field trips to the Channeled Scabland, Washington. LPI Tech. Rpt. 95-01. Pt.1.LPI, Houston, 1995, 63 pp.;

[5] Kochemasov G. G. (1997). Annales Geophysicae, Suppl. III to Vol. 15, Pt. III, 767;

[6] Kochemasov G. G. (1998). Annales Geophysicae, Suppl. III to vol. 16, Pt. III, 1027;

[7] Kochemasov G. G. (2001). Eleventh Annual V. M. Goldschmidt Conference. Hot Springs, Virginia, USA. Abstr. # 3070. LPI, Houston, 2001, (CD-ROM);

[8] Kochemasov G. G. (2001). Field Trip and Workshop on the Martian Highlands and Mojave Desert Analogs, Las Vegas, Nevada, and Barstow, California, Oct. 20-27, 2001. LPI contribution # 1101, LPI, Houston, 35-36;

[9] Smith D. E., Sjogren W. L., Tyler G. L. et al. (1999). Science, v. 286, 94-97;

[10] Kochemasov G. G. (2003). 38th microsposium on comparative planetology, Abstr., Moscow, Vernadsky Inst., (CD-ROM);

[11] Kochemasov G. G. (2004). Lunar and Planetary Science XXXV, 35th LPSC, Houston, March 15-19, 2004, Abstr. # 1041, (CD-ROM);

[12] Kochemasov G. G. (1999). Geophys. Res. Abstr., v. 1, # 3, 700;

[13] Zuber M. T., Solomon S. C., Phillips R. J., Smith D. E. et al. (2000). Science, v. 287, # 5459, 1788-1793.

地球の減速する自転と、地表のリニアメントと断層の方向の規則性について

THE EARTH'S DECELERATED ROTATION AND REGULARITIES IN ORIENTATION OF ITS SURFACE LINEAMENTS AND FAULTS

Lev A. MASLOV

Otero Junior College, La Junta, Colorado, USA levmaslov@vandex.ru

Vladimir A. ANOKHIN

All-Russia Research Institute for Geology and Mineral Resources of the World Ocean,
St-Petersburg, Russia. anokhin@vniio.nw.ru

(窪田 安打 [訳])

地球表面のリニアメントや断層の方向の規則性は、多くの著者によって研究されている (Karpinsky, 1888; Stille, 1949; Voronov, 1968; Shults, 1979; Dolitskiy, 1985; Rastsvetaev, 1991; Voronov, 1997).

さらに、リニアメントと断層の方向の測定を Anokhin V.M. と他の著者 (Odessky, Anokhin, Veremeeva, 1999; Anokhin, Odessky, 2001; Anokhin, Ivanova, Odessky, 2003) が実施し、大陸および海洋域の構造図を改訂した (海洋底の地形図, 1980; 世界の地質図, 1970; 世界の造構造図, 1982; 世界の海洋の金属学図, 2000) . ‘リニアメントと断層の方向と個数’ についてのローズダイアグラム (図 1) は、筆者が作成したものである。この図の解析により、地球の地殻には、リニアメントと断層の 2 つの系 (系 I と系 II) があることが明らかになった。系 I は南北と東西方向のリニアメントと断層からなる。系 II は北西-南東と北東-南西方向のリニアメントと断層からなる。この図からは、系 I は系 II よりもリニアメントと断層の個数が多く、バラツキの小さい方向性を持つことが読み取れる。図 1 は大陸と海洋底の構造図の両者から得られたデータを基に作成しており、リニアメントと断層の地球全体の規則的な系が存在することを示している。リニアメントと断層の系 I, II は、ロシアの卓状地とウラル褶曲帯にある Riphean グラーベンから紅海のアルプス期の地溝にわたる異なる地質時代の構造を含んでいる。それゆえ、これらは深い根を持ち、地質時代をつうじて安定的に存在する方向性である。

ベニオフ地震帯の震源の方向性を別途、検討した。長く延びた震源の集中帯 (リニアメント) は、地殻とリソスフェアの断裂構造を反映している。各集中帯について、それぞれの長さや方向性に合った中央線が描かれている。それぞれの単一の集中帯に一致する中央線の長さや方位が、図 2 のローズダイアグラムに示された。ベニオフ地震帯 (震源) は、図 1 の系 I と同じ規則性を示すように見える。

リニアメントと断層の系の起源やそれらが維持される原因を見いだすことを目的に、因子解析 (Anokhin et al., 2003) が実施された。系 I 形成の主要因子は、a)

地球の自転軸、ならびに b) 地球の赤道に関して対称に発達する圧縮-伸張変形であるとみられる。この原因の相対的重要性 (重み) は、およそ 60% である。第 2 の要因は赤道に関して対称的な剪断変形であり、低緯度で最大強度に達する。この原因の相対的重要性 (重み) は、およそ 20% である。これら 2 つの要因をあわせると、全ての要因の 80% になる。

地球楕円体の圧縮率の変化に起因する力学的応力の数学モデル計算が、Stovas (1963) によって行われた。Stovas モデルでは、地球楕円体圧縮率の変化に起因する法線主応力は、南北と東西方向に向いており、その上、東西-南西と北西-南東方向の剪断主応力にも一致する。これは、前述の図 1 と図 2 に示されたリニアメントと断層系と明確に一致する。M. Stovas によると、応力のテンソル成分の大きさは、地球楕円体圧縮率の変化 $d\varepsilon$ によって線形的影響を受けるとされる。 10^8 dyn/cm^2 オーダーの応力に対しては、圧縮率の変化である $d\varepsilon$ は 10^{-5} オーダーであるはずである。現在の地球自転の角速度の減少速度のために、約 100 万年当たり 10^8 dyn/cm^2 オーダーの応力蓄積が起こる (付録を見よ)。地球自転速度の不規則な変化は、リソスフェアでの応力蓄積速度を明瞭に増加させ、既存の断層系沿いの地震および他の地球力学的事件を活性化させる。

議 論

地殻中の断層とリニアメントには、南北と東西方向 (系 I)、および北西-南東と北東-南西 (系 II) の卓越方向に集中する 2 つのグループがあることを示した。

ベニオフ地震帯の震源は、リニアメントと断層系 I で表現されるものと同じ規則性を持つことが示された。つまり、震源帯 (地震の震源) は、地殻とリソスフェア中の断層とリニアメントの規則的ネットワークの一部を構成している。これは、すべての震源帯が、2 つの相対的に狭い造構場、すなわち、経線にちかい走向をもつ環太平洋構造帯 (PTB) と赤道にちかい走向をもつアルプス-ヒマラヤ造構帯に集中するためであって、驚くことではない (Maslov, 1991; Maslov, 1993)。PTB の三次元モ

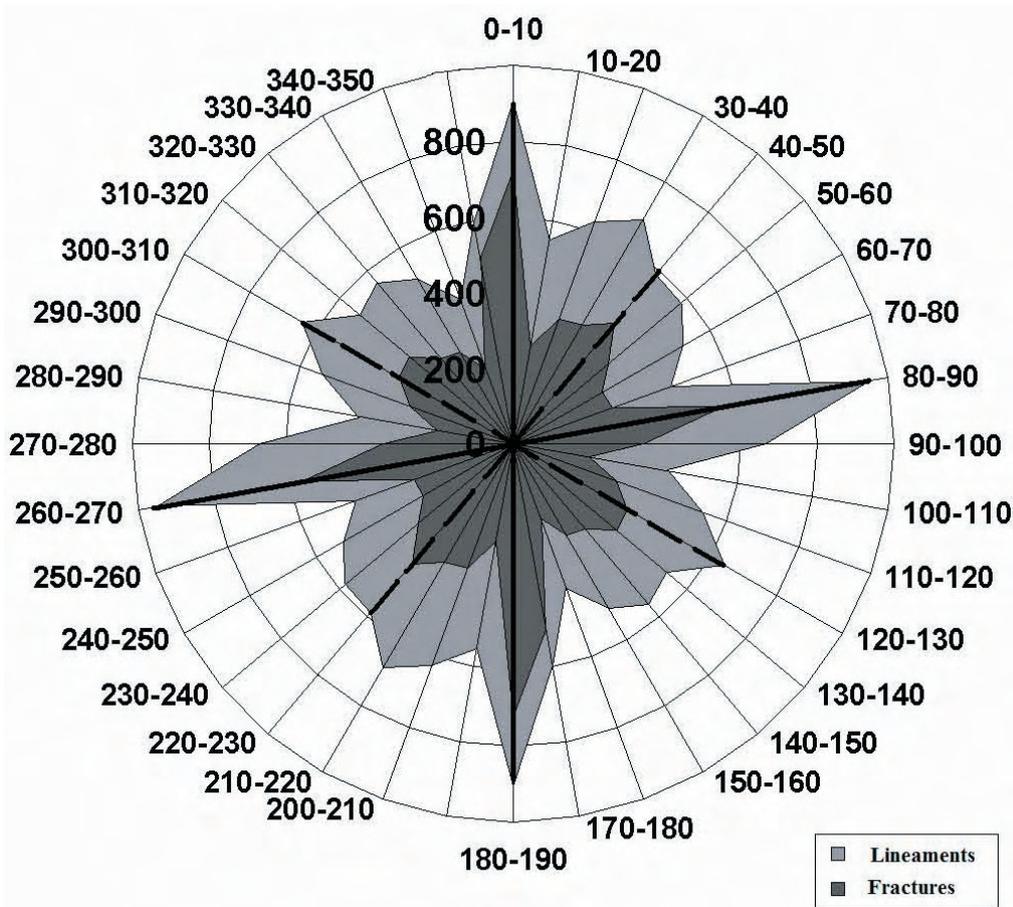


図1 リニアメントと断裂方向のローズ図. 方位角は度(°)で表現. リニアメントと断裂の個数は放射軸に表現. リニアメントと断層の系Iは実線, 系IIは破線.

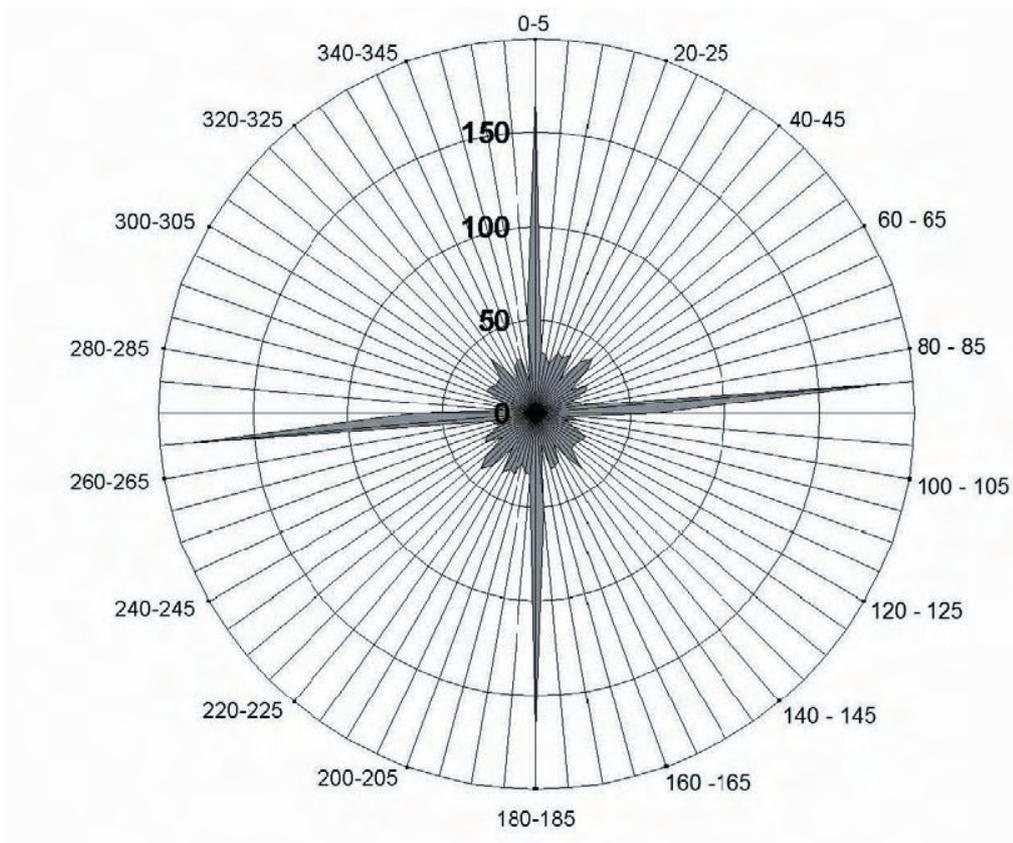


図2 ベニオフ震源帯の震源群方位のローズ図. 方位角は度(°)で表示, 放射軸: 構造長 (x 10km).

デル (二次元図では誤解しやすい) が, 図3である. この構造帯がほぼ完全な経線方向の走向を持っていることが, 明瞭に示される.

地球楕円体の圧縮率の変化に影響を与えるリソスフェア中の応力に関する数学的モデル化によると, 主応力 σ_1 と σ_2 は南北と東西方向に配置され, いっぽう, 対応する剪断応力は北東-南西と北西-南東方向に配置するこ

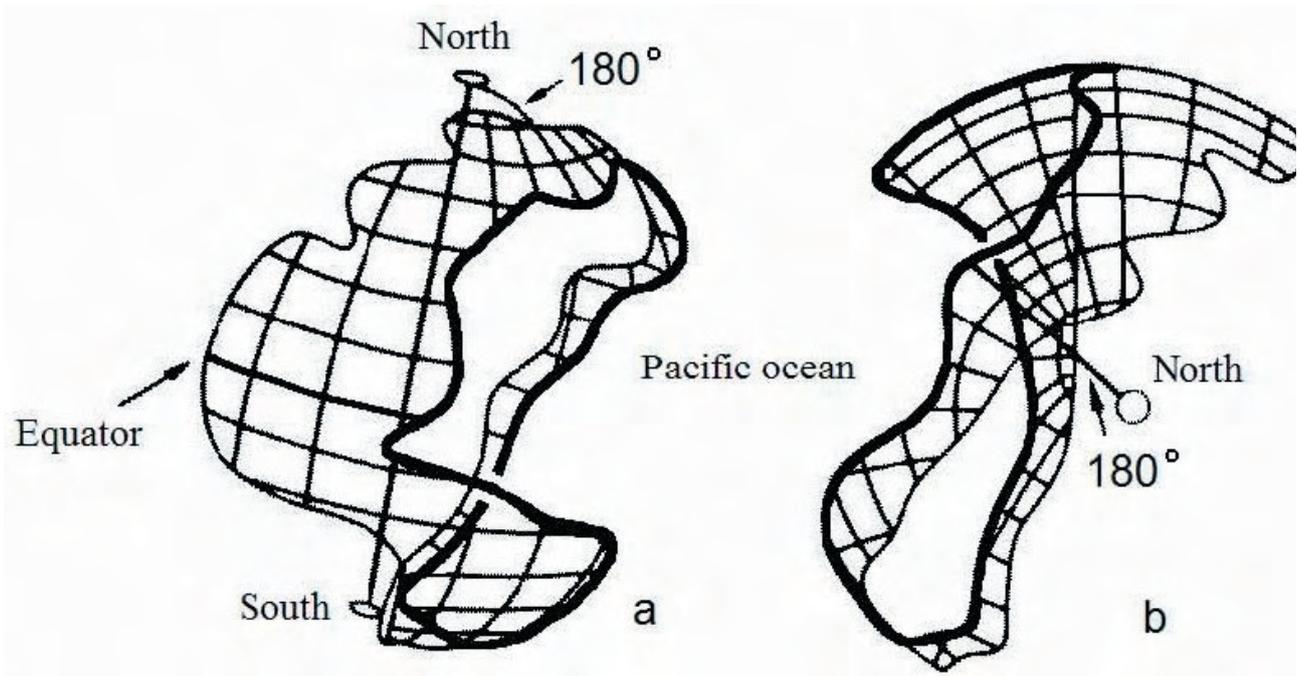


図3. 環太平洋構造帯 (PTB) の三次元モデル a: 構造帯のアジア側からみた図, b: 北からみた図. PTBの輪郭は、系 I うち赤道方向の横ずれ断層に沿う北・南半球の相対的変位を反映している。

とが示された。

地球自転の現在の減速は、地球楕円体の圧縮の変化を、そして、それゆえに系 I に属する正断層と系 II の剪断断層を形成を、説明する合理的メカニズムである。

付録

$$\text{公式 } d\epsilon = \left(\frac{3}{2} \frac{dJ_2}{dt} + \frac{\Omega a^2}{\gamma M} \cdot \frac{d\Omega}{dt} \right) dt$$

は、時間変化 dt に関わる地球楕円体の圧縮変化率 $d\epsilon$ の関数である。ここでは、M: 地球質量, a: 赤道半径, γ : 重力定数, J_2 : 地球楕円体の第 2 帯 zonal 係数, dJ_2/dt : 地球自転の角速度 Ω , $d\Omega/dt$: 地球自転の加速度, 現在の大きさは $dJ_2/dt = -8.25 \times 10^{-19} \text{ c}^{-1}$, $d\Omega/dt = -5.5 \times 10^{-22} \text{ rad} \cdot \text{c}^{-2}$, さらに $d\epsilon$ 値は 10^{-5} , リソスフェアでは主要な応力 10^8 dyn/cm^2 に一致し, dt はおよそ 1 Ma 程度である。

文 献

ANDREEV, S.I., GRAMBERG, I.S., eds., 2000. (Karta Metallogenii Mirovogo Okeana) Metallogenic Map of the World Ocean. Scale 1:15 000 000. VNIIOCEANGEOLOGIA, St-Petersburg,
 ANOKHIN, V.M., ODESSKY, I.A., 2001. Kharakteristiki globalnoi seti planetarnoi treshinovatosti (Characteristics of the Global Pattern of Planetary Fracturing) // Geotektonika, No. 5, p. 3-9. Moscow, RAS. (In Russian)
 ANOKHIN, V.M., IVANOVA, V.V., ODESSKY, I.A., 2003. Statistical features of the lineament and fracture global network - Modeling Geohazards. IAMG Annual Conference Proceedings.
 CUBITT, J. and WHALLEY, J., eds. University of Portsmouth,

UK. September 7-12.
 DOLITSKY, A.V., 1985. Obrazovanie i perestroika tektonicheskikh struktur (Formation and restructuring of tectonic structures). Moscow: Nedra, 219 pp. (In Russian)
 KARPINSKY, A.P., 1888. O pravilnosti v ochertaniyah, raspredelenii i stroenii kontinentov (Regularities in the structure and distribution of continents) // Gornyi Zhurnal, p.252-269. v.1, no. 2. (In Russian)
 KATTERFELD, G.N., 2000. Planetarnaya treshinovatost i lineamenty Zemli, Venery, Marsa, Mercuriya i Lunny (Lineaments of the Earth, Mars, Venus, Mercury and Moon). S-Pb.: International Foundation of the History of Science, 203 pp. (In Russian)
 LEONOV, Yu. G., KHAIN, V.E., eds., 1982. Tectonic Map of the World, 1:45 000 000. Compiled under International Tectonic Map of the World, 1:15 000 000. Mingeo USSR, VSEGEI, St-Petersburg,
 MAP OF BOTTOM RELIEF OF THE OCEANS, 1980. Scale 1:25 000 000 on a parallel of 45 grades (Mercator projection). Issuing GUNIO MO USSR, (In Russian).
 MAP OF THE WORLD, 1970. Scale 1:10 000 000 on a parallel of 45 grades (Mercator projection). Issuing of Hydrographic control at the Ministry of Defense, USSR, (In Russian).
 MASLOV, L. A., 1993. Geodynamics of the Pacific Mobile Belt // Modern Geology, V.19, pp. 13-34
 MASLOV, L. A., 1991. Geodinamika Tikhoookanskogo segmenta Zemli (Geodynamics of the Pacific Segment of the Earth) Moscow: Nauka, 86 pp. (In Russian) .
 ODESSKY, I.A., ANOKHIN, V. M., VEREMEEVA, T.V., KIRIANOV, S.V., RALKINA, E.A., 1999. O zakonomernostyah planetarnoi treshinovatosti (Regularities of the Earth's surface fracture pattern) // Mezhdunarodnaya

- academiya: Mezhakademicheskii informazionnyi bulletin. MAISU, no. 13-14, p. 87-92. (In Russian).
- RASTSVETAEV, L.M., 1991. Globalnye sdvigi i zony skalyvaniya planetnyh tel. In: Sdvigovye tektonicheskie narusheniya i ih rol v obrazovanii mestorozhdenii poleznyh iskopaemyh (Global strike-slip faults...). Moscow: Nauka, p. 137-148. (In Russian).
- SHULTS, S.S., 1979. Tektonika zemnoi kory (Tectonics of the Earth's crust). Leningrad: Nedra, 272 pp. (In Russian).
- STILLE, H., 1947. Uralte Anlage in der Tektonik Europas // Ztschr d. Deutsch. Geol. Ges. Bd. 99.
- STOVAS, M.F., 1963. Nekotorye voprosy tektogeneza (Some problems of tectogenesis). In: Problemy planetarnoi geologii. Moscow: Gosgeoltekhizdat, p. 222-274. (In Russian).
- VORONOV, P.S., 1968. Ocherki o zakonomernostiah globalnogo reliefa Zemli (Regularities of the Earth's surface topography). Leningrad: Nauka, 122 pp. (In Russian)
- VORONOV, P.S., ed., 1997. Role of shift tectonics in the lithospheres of the Earth and planets of the Earth group. S-Pb: Nauka, 591 pp. (In Russian).

出版物 PUBLICATIONS

(矢野 孝雄 [訳])

北大西洋の大陸地殻. CONTINENTAL CRUST IN THE NORTH ATLANTIC

SIGMOND, Ellen M.O., 2002. 1:400 万分の1 地質図 ヨーロッパ北部の陸域と海域
ノルウェー地質調査所, トロンドハイム
SIGMOND, Ellen M.O., 2002. Geological map, Land and Sea areas of Northern Europe.
Scale 1:4 million. Geological Survey of Norway. Trondheim.

私は、2004年8月にイタリアのフローレンスで開催された第32回 IGCにおける北欧諸国の展示ブースで、この興奮をおぼえる地図をみつけた。最初の図は、ブースの壁に掲げてあった。それは、ノルウェー地質調査所の情報部門で制作されたものであり、地図の下端にある地殻断面図から直接に描かれたものである。北大西洋を横断するこの断面図は、私たちにとってとくに興味深いものであった。それは、大西洋の海洋底に大規模な大陸地殻が存在することを明確に示した初めての地図である。この海洋のなかほど (A3 と A4 の間) にある先デボン紀大陸ブロックが、海嶺—Jan Mayen 海嶺—を形成している。層序と地質構造はすぐれたデータにもとづいていることは、断面図から明瞭に判断される。しかしながら、

そこでの大陸ブロックと海洋地殻下部 (“塩基性深成岩”) との境界は、いくぶん人為的に描かれているようである。音波探査断面の原図を検討することができなかったため、これ以上のコメントは差し控えたい。また、ここでは、大西洋最北部の興味深い地質図の存在を紹介するにとどめたい。より詳細は、この地質図の著者である Ellen Sigmond 博士 (ノルウェー地質調査所) に連絡されたい。Eメールでは、<Ellen.Sigmond@ngu.no> または <distribusjon@ngu.no> へ。折りたたんだ地質図は 42 米ドル、巻いた地質図は 72 米ドル。デジタル化データは <www.ngu.no> へ

(D. R. Choi)

モホ面はどこにあるのか? WHERE IS THE MOHO?

KERR, Richard (2005) 40 年間にわたってしぼりこまれてきたが、モホ面は、深海掘削からふたたび逃れる。Science, v. 307, p. 1707, 5月18日号
KERR, Richard, 2005. Pursued for 40 years, the Moho evades ocean drilling once again. Science, v. 307, p. 1707, 18 March.

(論文の抜粋と要旨) ジョイデスリゾリューション号で北大西洋の中部を掘削した IOPD (Integrated Ocean Drilling Program) は、1,415m の固体岩石を掘削したが、モホ面を発見できなかった。北緯 30° 付近の大西洋中央海嶺近く (アトランティス断裂との交点) における地震探査によると、モホ面深度は 1km あるいはそれ未満であるとされた。しかし、掘削コアには、予測された新鮮なマントル岩石のいかなる兆候も発見できなかった。乗船していた地震学者は「発見された深部岩石を地震波速度

だけにもとづいて決定することは、きわめて困難なことである。さまざまな組成の岩石が、同じ地震波速度をもちうる。これは、地震学者を悩ませる問題である」と嘆いた。私たちには、コラ半島での超深層ボーリングで同様の経験がある。「まず地質学があり、地球物理学はそれにつづくものである」とは、まさにそうである。

(D. R. Choi)

下図は、SIGMOND (2002) CONTINENTAL CRUST IN THE NORTH ATLANTIC から

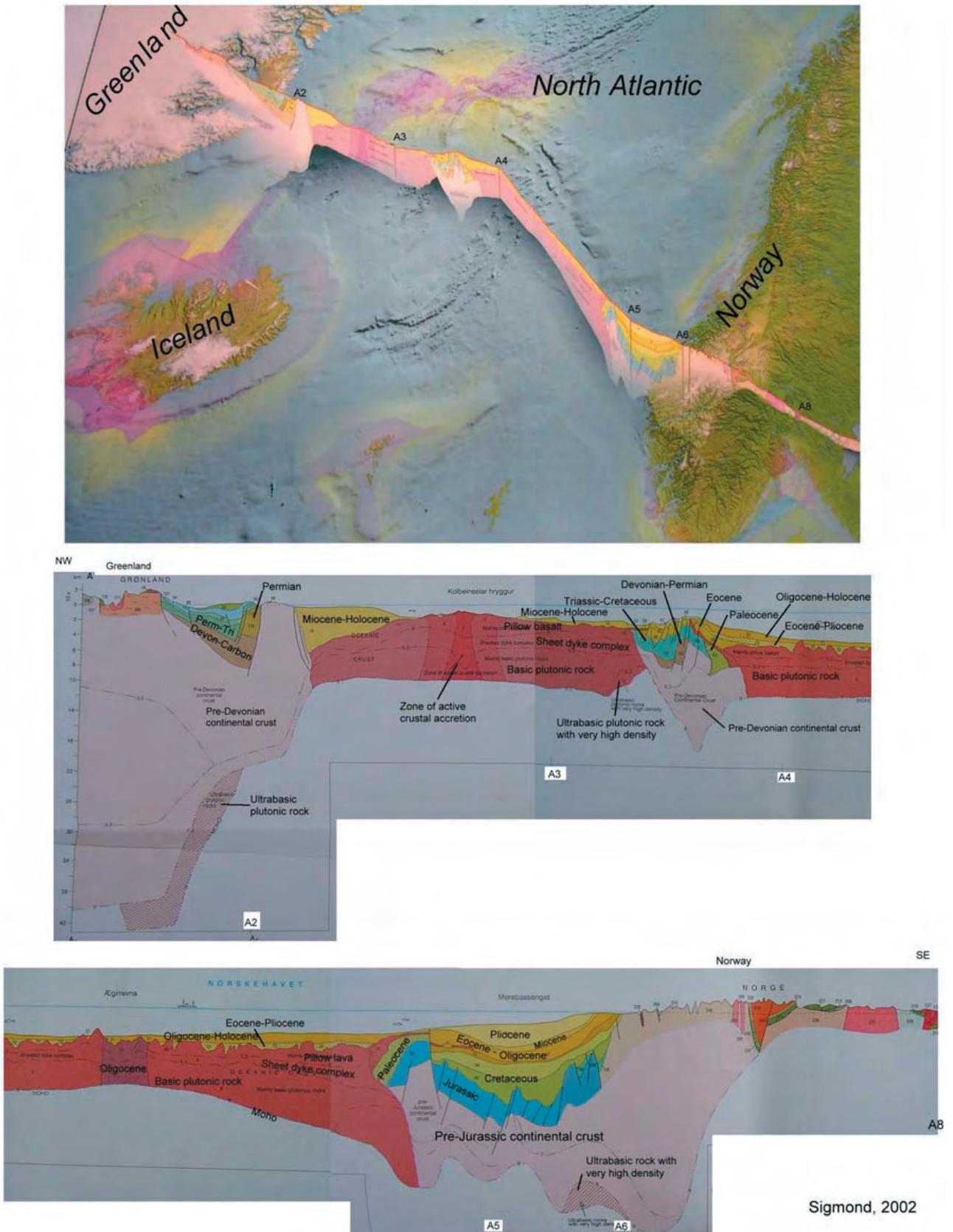


図1 大西洋最北部の地質断面図 (Sigmond, 2002). 大陸地殻の存在を示す.

地球と惑星の初生的造構性構造の起源としてのマントル回転：物理モデル

ORIGIN OF THE PRIMARY TECTONIC STRUCTURES OF EARTH AND PLANETS,
MANTLE ROTATION: PHYSICAL MODELS

A.V. DOLITSKY : ロシア科学アカデミー 地球物理学研究所

Science, v. 307, p. 1707, 5月18日号.

A.V. DOLITSKY: Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences

ISSN 5-201-11969-7

ウェブサイトページから

この研究の目的は、1) 地球および他の惑星のマントルと地殻の変形に関する物理モデルの発展、ならびに、2) 地球の双極子および非双極子地場形成の解明にある(著者: A.V. Dolitsky)。これは、ロシア基礎科学基金(04-01-00331)傘下の科学者グループによって実施された研究成果の一部である。このグループは、次の科学者から構成される: 理学博士 Dolitsky A.V. (ロシア科学アカデミー地球物理学研究所), 理学博士 M.N. Kirsanov 教授 (モスクワエネルギー研究所), 理学博士 J.G. Martynenko 教授 (モスクワ州立大学数学研究所)。現在は、J.G. Martynenko 博士と M.N. Kirsanov 博士が、物理学モデルを記述する数学モデルを開発していて、同時に、この数学モデルを支援するコンピュータプログラムも開発中である。彼らの研究が完成して公表されれば、ウェブサイトにも公開されるであろう。最終結果は、彼らが意図しているように、地球と他の惑星のマントルと地殻の変形、ならびに、惑星磁場の形成に関する総合的造構理論の基礎が築かれるであろう。

まえがき

近年では、造構理論に関する議論が、地質学関係の雑誌みられないのが実情である。地質学分野の読者たちは、大陸漂移仮説にもとづくプレートテクトニクス仮説を、一般的造構学説として、敵意もなく受け入れているようだ。この仮説は、完全に確実なデータ群(①大西洋の東西の海岸線の類似、②気候帯を示す等値線の時代的変遷、および、③異なる大陸における同時代の古地磁気データにもとづく比較的共通する古地磁気極の位置変化)に関するさまざまな解釈のうちの1つにすぎないことに、留意すべきである。しかしながら、この仮説に示されたデータの解釈は、19世紀~20世紀前半の地質学者たちの経験にもとづく地向斜学説の主要な観点を排斥することになる、ということとを考慮すべきである。全地球的学説として、それは、かつて単一の大陸パンゲアが存在し、そのパンゲアがいくつかの大陸に分裂し、それらの拡散の末に集合してパンゲアを再構築するという、ウェーグナーの概念にもとづいている。しかしながら、この概念は物理学的説明ができず、この仮説の一般概念としての立場を本質的に弱体化させている。

筆者は、とくに地向斜概念の主要概念を保有する「回転マントルテクトニクス」という仮説によって、上述した

データに別の説明を与える。この仮説は、わずかな回転をともしないつつも、各大陸の相対的位置は一定であるという前提にもとづく。大陸の回転は、コアをおおうマントルの回転にもなって生じる子午線方向への大陸の変位によって発生するコリオリ力の作用によって説明される。大陸の回転方向は、赤道に接近するののか、それとも、赤道から離れるののかによって決まる。大陸の回転は、地向斜作用の活性化にはじまり、褶曲と造山運動におわる褶曲時相をもたらす。

これらの諸作用は、プレートの収束と拡散、くいちがいと衝上をとまなっているだろう。しかし、大陸の回転方向は規則的に変化するので、それらの断片の累積変位は地質時代を通じてほぼゼロである。また、コアをおおうマントルの回転が、双極子磁場を発生させる系統的渦動[whirlwinds]系の境界上で発生する。個々の大陸の回転が、大陸磁場[continental field]を発生させる他の渦動を形成することになる。大陸磁場の正負は、大陸の回転方向によって決まる。大陸ごとに異なる大陸磁場は、磁気子午線の方向を乱すとともに、双極子磁場を乱す。この事実によって、磁気子午線方向にある子午線交点の位置(磁気極)は、一致しない(現在、観測されているように)。それゆえに、現在と過去にかかわらず、大陸磁場異常の活動度にみられる磁気極偏倚の同様な状況は論理的研究の対象になるのである。よく知られている大西洋の東西の海岸線の方向の類似性は、大陸位置の不変性と同様、地球における初期断層の位置にかかわる固有の地形である。これらの規則性とマントル回転の事実が、地球と他の惑星における断層のコンピュータ解析によって確認された。この解析は、コアとマントルの形成期に生じた初期構造の特徴の発見にむすびついた。よく知られている地質史のなかでの気候帯の位置変化は、マントル回転を直接反映するものである。ときどきは、熱交換作用に広域的变化をもたらす造山運動によって、気候帯の位置変化に変形がくわわることがある。マントル・大陸回転の物理学モデルとして A.V. Dolitsky によって提出された造構仮説が、この物理モデルを記述する数学モデルとコンピュータプログラムの構築をめざす J.G. Martynenko と M.N. Kirsanova に提供された。力学理論、数学およびコンピュータプログラムにもとづいて、このプレートテクトニクスに代わる造構仮説は新しい見通しを導くであろう、と著者は信じている。テクトニクス、地球磁場の特徴と古地磁気データの解釈に関する論理的問題を議論するために、ロシア語と英語のフォーラム(広場)が、このウェブサイト開設されている。

目次

地球と惑星の初期造構構造の起源

水星

金星

地球

月

火星

結論

地球地理極のみかけ上の移動経路の復元とその年代層序学的対比

地球極移動と褶曲および変形時相の時期との関係

地磁気磁場の構成要素の認定

コアに沿ったマントル回転の物理モデル

地球双極子磁場の形成と逆転の物理モデル

大陸の回転と大陸磁気異常の形成

大陸の回転と大陸地殻の変形

結論

この著書の詳細は、A. V. Dolitsky 教授へ連絡されたい。
Eメール: avdolitsky@mail.ru または http://newpole.nm.ru へ

インドにおける火成作用の変遷 **MAGMATISM IN INDEA THROUGH TIME**

Hetu C. SHETH and Kanchan PANDE 編集

Proceedings of Indian Academy of Sciences (Earth and Planetary Sciences) 特別号,
v. 113, no. 4, 2004 年 12 月, バンガロール, インド

著書の「まえがき」より

インド亜大陸には、地質史の大半にわたる時代の岩石記録が豊かに残されている。インドは、すべての全地球的スキームのすべてにおいて鍵になる地域であり、多くの世界的地質遺産も存在する。それらの中には、先カンブリア紀のインド楕状地の花崗岩類、それらに貫入した苦鉄質岩脈、よく知られたデカンおよびラジマハールトラップのような大陸洪水玄武岩区、および、多くのカーボナタイトとアルカリ岩複合岩類が含まれる。地球史のさまざまな時代に形成されたこれらの伝説的な火成岩類は、インドの大陸地殻とその下のマントルが時代とともにどのように物理化学的に進化したかについて貴重な情報をもたらさう。私たちは、インドにおける火成活動史に関するさまざまなテーマをとりあげたこの総合的研究特集号が、インドの長く複雑な魅惑的地質学的進化をよりよく理解することに寄

与し、全世界の地球科学界へ重要で広く活用される情報源になるであろう。この特集号「インドの火成活動史」には、専門家の査読を受けた 22 編の論文が収録されていて、それぞれの主題は、岩石学 (論文 1-13)、地質年代学 (論文 14, 15)、地球物理学 (論文 16, 17)、構造地質学および地域地質学 (18, 19)、および物理火山学 (論文 20-22) である。

詳細な情報が入用の場合には、次へ連絡されたい。

Indian Academy of Sciences, B.R.K. Iyengar,
Liasison Officer, C.V. Raman Avenue,
Sadashivanagar, P.B. No. 8005, Bangalore 560 080,
India. E-mail: office@ias.ernet.in
または,
Dr. Hetu Sheth, hcsheth@iitb.ac.in

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や研究成果に関する討論のためのフォーラム。それは、地球の自転や惑星・銀河の影響、地球の発達に関する主要学説、リニアメント、地震データの解釈、造構的・生物学的変遷の主要ステージ、などの視点から、たいへん広い分野をカバーするべきものである。
4. シンポジウム、集会、および会議の組織。
5. 検閲、差別および犠牲があった場合の広報と援助。