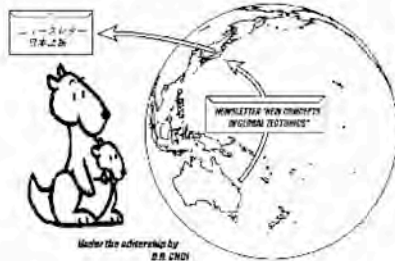


ニュースレター グローバルテクトニクスの新概念



NEWSLETTER New Concepts in Global Tectonics

No. 47 2008年6月 ISSN: 1833-2560 編集: D.R. Choi (日本語版 2008年10月)



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

も く じ

■ 編集者から	2
■ 編集者への手紙	3
■ 原著論文	
インド, Cambay 盆地の Narmada 地塊北部における火成ダイアピリズムの証拠 S. RANGARAJAN	4
EVIDENCE OF IGNEOUS DIAPIRISM IN THE NORTHERN PART OF NARMADA BLOCK, CAMBAY BASIN, INDIA	
太陽起源の半日周期地表応力: 地震と火山噴火の引き金 V.G. KOLVANKAR	10
SUN INDUCED SEMI-DIURNAL STRESSES ON EARTH'S SURFACE, WHICH TRIGGER EARTHQUAKES AND VOLCANIC ERUPTION	
地中海の深部地震活動によって大きな沈み込み帯は形成されそうもないのでは? G. SCALERA	20
IS LARGE-SCALE SUBDUCTION MADE UNLIKELY BY THE MEDITERRANEAN DEEP SEISMICITY?	
太平洋の地質と地質構造の発達 PART 2: パプアニューギニアの金に富む TABAR-FENI 火山弧への広域的構造規制 D.R. CHOI, R. RODRIGUEZ AND B.I. VASILIEV	26
GEOLOGY AND TECTONIC DEVELOPMENT OF THE PACIFIC OCEAN. PART 2: REGIONAL STRUCTURAL CONTROL ON THE AURIFEROUS TABAR-FENI VOLCANIC ARC, PAPUA NEW GUINEA	
■ コメントと回答 PLANETARY PERTURBATIONS AND "TWIN EARTHQUAKES"	37
■ 出版物 地球規模のリニアメント: デジタルテレーンモデルの応用 I.V. FLORINSKY	38
GLOBAL LINEAMENTS: APPLICATION OF DIGITAL TERRAIN MODELLING	
■ ニュース NCGT SYMPOSIUM AT 33RD IGC, OSLO, AUGUST 2008	39
■ 財政的財政的支援・ニュースレターについて	40

連絡・通信・ニュースレターへの原稿掲載のためには、次の方法(優先順に記述)の中からお選び下さい: NEW CONCEPTS IN GLOBAL TECTONICS 1) Eメール: editor@nctg.org, nctg@ozemail.com.au, または nctg@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, 当然のことながら編集者と編集部の責任ではありません。

NCGT NEWS LETTER 季刊国際オンラインジャーナルです(発行: 3月, 6月, 9月, 12月), 年間購読料: 電子版一人人 US\$50, 図書館 US\$80, 印刷版一人人 US\$80, 図書館 US\$130.

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

翻訳・編集: NCGT ニュースレター翻訳グループ

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

ロシアから Vsiliev B.I.・Gavrilov A.A. 両氏をお招きして, NCGT 東京集会『リングストラクチャーとその地質学的意義』(2008年8月21日: 大東文化会館)が開催されました。開催のために多大なご支援をいただき, 誠にありがとうございました。とりあえず, ご報告と御礼を申し上げます。

編集者から FROM THE EDITOR

(赤松 陽 [訳])

本号には、ふたたび、十分に実証された論文が多数掲載されています。最初の Rajan (Rangarajan) 氏の論文は、古第三紀後期の火成ダイアピル作用を、主に反射法地震断面にもとづいて論じています。それは、インド北西部キャンベイ (Cambay) 盆地のナルマダ (Narmada) 地塊におけるパノリ (Panoli) 地溝の中央地塊の上昇を引き起こす原因となりました。地表での構造運動を起こしている原動力として、地殻レベルの火成ダイアピルの上昇、あるいはマントルやコアの物質の上昇が重要な役割をはたしていることが、多くの研究者によって認められるようになり、私たちの読者の間に支持者が次第にふえています。

この NCGT 誌の他の 2 つの論文は以下の通りです。Scalera 氏は、地中海地域のサブダクションは深発地震の分析に基礎を置いたものではないようであると述べ、また、狭い範囲に孤立した群発地震の震源は、マントル深部の物質が深発地震を誘発しながら火山現象や造構運動を引き起こしている場所と関係すると主張しています。Choi 氏・Rodriguez 氏・Vasiliev 氏は、西太平洋周縁のパプアニューギニアにある高濃度含金火山弧であるタバールフェニ (Tabar-Feni) 弧のテクトニクスについて新しい解釈を提唱しています。彼らは、巨大なアーチ状の背斜ブロックであるヨーク岬-ビスマルク海地背斜について述べています。そして、この地背斜と、それに直交する西太平洋深部構造帯の一部である NW-SE 方向のソロモン-フィジー深部構造帯との交差部に、タバールフェニ弧が位置していることを示しました。これらの構造的特徴は、とくに島弧を構成するリヒール (Lihir) 島における世界規模の金鉱床と特異なマグマ活動の徴候を詳しく説明するものです。彼らは、金鉱床はコア由来であると推測しています。さらに、プレートテクトニクスにもとづいたモデルから完全に決別した彼らの新しいテクトニクスモデルは、オントンジャワ (Ontong Java) 海台に炭化水素鉱床の賦存が確実に見込まれることを指摘しています。4 ページに掲載されている Pratsch 氏から寄せられた興味深い手紙で、彼は、北アメリカおよび中央アメリカの帯熱ドームについて述べ、地表の諸活動の原因となっているのはマントルやコアから上昇するエネルギーであるとしています。

本号には、Kolvankar 氏の地震予知に関するたいへん興味深い論文が掲載されています。氏は、地震や火山活動の前やその最中に発する多量の電磁波放射の観測にもとづいて、地球や月の 12 時間ごとに発生するストレスが主に太陽の位置に起因する、と結論づけています。私たちは、近い将来、彼の研究が科学的で信頼性の高い予知方法の確立へ発展するであろうと信じています。

最近私たちは、NCGT の専門別査読システムを通じて、次ページに掲載したような Wilson 氏からの意見を受け取りました。私たちは、読者の建設的意見を、たいへん重視しています。私たちの目標は、別の教条的なモデルを創造したり、あるいは、私たち自身の名声を高めることにあるのではなく、総合的なしつかりした地球ダイナミックスの法則を創出することにあります。それは、地球の表面や内部で観察しうるあらゆる地質学的・地球物理学的現象を説明することができるものです。この目的のために、私たちは、総合的な研究をすすめ、偏見のない精神を持つべきです。これは、1996 年に北京で開催された第 30 回 IGC の際に NCGT グループが結成された場で、私たちが意図したことです。私たちは、現在の厳密な査読体制を維持する予定ですが、Keith Wilson 氏による提案とその応答の中での Peter James 氏の支持は、十分熟考に値するものです。

オスロでの第 33 回 IGC に参加するすべての方々へ、7 月 15 日以前に登録を行うことを忘れないでください。この日以降は登録料が高くなります。そしてホテルの予約も一層困難になります。私たちのセッション “STT-09 New Concepts in Global Tectonics” は 8 月 12 日に行われます。口頭およびポスター発表のプログラムと発表者は、本号の 39-40 ページに掲載されています。私たちは、このセッションが大成功を収め、実り多いものになるように、そして、数多くの討論や議論がまき起こることを願っています。

本号は、編集者がパプアニューギニアの金鉱山における長期プロジェクトに従事している間に完成されました。鉱山では、個人的利用を目的としたインターネットへのアクセスが制限され、キャンベラ事務所に保存されているファイルやドキュメントを十分に利用できなかったために、いくつかのニュースや他の原稿を本号に掲載することができませんでした。この若干ではあるが困難な状況 (の中で発行) には、編集委員会の方々の強力な支援が大きな力になりました。彼らの献身と時宜にかなった努力なしには、本号は完成していなかったかもしれません。

編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

（赤松 陽 [訳]）

査読刊行物

私は NCGT ニュースレターを受け取ることをたいへん楽しみにしています。しかし、その基本方針のいくつかに私の積極的な異議を表明し、電子ニュースレターがその目的に合致するよう、ある簡単な忠告を申し述べなければなりません。それは、また、偏見の問題を出来る限り少なくすることにもなります。もともと、偏見の問題は、すべての科学出版物に関わっています。私の意見は、多分、いくつかの独自の見方に由来しているものです。それらのうち、3つについて述べます。1) 私は、既刊号の論文-著者インデックスを作るために Choi 博士と仕事をしました。その結果、これまでの研究成果は世界中で利用可能となりましたし、失われることや利用出来なくなることもなく、それゆえ参考文献はまとめませんでした。そのような仕事を行う中で、私は少なくともあちこちに目を通し、しばしば、既刊のすべての号や論文を読まねばなりません。この経験は私の心に中にはっきりとした思考パターンをかたちづくりしました。2) 私の仕事は、(NCGT の) 目的の完全な実現に向けて、他の人々が新しく考え出したアイデアが、当初の構想から見て、好ましいものかどうか見張ることに焦点を合わせていました。私は、それを認識するために、自発的に活動できない壁によって激しく打ちのめされてきました。そして 3) 私のこの体験は、NCGT の査読者によってリジェクトされた2つの論文を手にしたことにも由来しています。

具体的に言えば、私は現在（問題として）起こっている“査読”の方法について意見を申し上げようとしています。08年3月号で Choi 博士は次のように言明しました。

“..... 最近、私たちの査読者は、提出された原稿の半分以上をリジェクトしなければなりません。選択の主な（判断）基準は、アイデアや主張が確実なデータや利用できる全てのデータが厳密で包括的な分析に基づいているか否かです。もし論文がこのような基準に合致していれば、私たちはそれらを受理します.....”

これは、NCGT 創設のきっかけとなった諸問題の1つとして非難されていた“査読”過程そのものです。私は、NCGT ニュースレターの目標から、最初の3つの抜粋を引用します。

1)..... 簡単にあてはめるのではなく、**創造的なアイデア**に焦点をあてる.....、2)..... とりわけ**検閲**あるいは**差別**があったところでは.....、3)..... **禁止されたアイデア**や**研究**.....

私から見れば、査読の過程において、NCGT 自身が言うところの内部の偏見があるということは明らかです。私は、論文は、a) 正しい執筆方法、b) 正しい主題と結論、c) 正しい論証の方法 で書かれたに違いないと信じています。これらの基準に沿った期待に背かない執筆者たちが、その著作を選択される際により有利になることは明らかです。あなた方は、この無理に押し込んだ原理体系に適合させようとして、優れた“新しい”アイデアの多くを受理しないでしょ。さまざまな人々が幅広いアイデアを持ち、彼らの考えを、理解はできますが、しばしば風変わりな方法で実際に表現しています。

提案：私の提案は、彼らが書いた論文にとってはおそらくそれほど価値のあるものではないでしょう。リジェクトされた他の著者のアイデアの多くは、雑でほとんど有用性がないものかも知れません。しかしながら、それらの多くには他人に役に立つ情報の種が含まれている、と私は確信しています。新しいアイデアは、物の道理として、生まれる時には完全な形に整えられているわけではありません。それらは、さまざまな方法で発展させる必要があります。NCGT の査読者は変わらないでしょうし、査読の方法を完璧なものにすることは、実際にはできないでしょう。また、NCGT は、たとえ (NCGT の) 主要な目的に矛盾したとしても、その明白な専門家気質のやり方を維持したいと欲しているようです。そうですから、私は、次の意見を申し上げます。

- 1) あなた方が満足する今まで同様の“査読”方針を維持する。
- 2) たとえば“**十分吟味されていない**”またはお気楽と呼べるようなセクション、あるいは、“**ゴールデンアワーのための準備が完全にできているわけではない**”といった**セクション**を創設する。このセクションでは、リジェクトされた論文は、**魅力あるタイトル**、**解説的な段落**、あるいは小文を掲載するわずかなスペースが与えられ、そうすれば、著者の著作を読むことができる参照しやすいウェブサイトへのリンクもできるのです。著者は、それらのサイトを参照する手続きに対して責任をもたなくてはなりません。このようなことは、今日では、比較的容易にできることです。

私は、このセクションは読者に最も良く読まれ、とりわけ価値のあるセクションになるであろうと断言します。貴重な（多くの）スペースを占めなくとも、すべての独創的なアイデアが、実際に人目をひく存在となるでしょうし、（掲載）許可のための公式の承認を得る必要はないでしょう。関心のある人は、自ら、相互に連絡をとることができるでしょうし、これらのアイデアを発展させ

るでしょう。NCGT の専門家意識の高潔さは傷つかないでしょうし、科学の専門雑誌の最先端において、進歩的で実に独特の地位を占めることになるでしょう。

Keith P. WILSON
kpwilson1@prodigy.net

地球上に落ちてくる巨大な空気塊—のような奇抜な提言は、査読基準に達しないでしょう。この問題について、このような空気塊 (エアポケット) の運動は飛行中の航空機の突然の落下によって示されると主張して、1950 年代に南オーストラリア鉱山部を困らせた人物がいたことを、私は一言述べておきます。

Peter JAMES
pmjgeotech@yahoo.com.au

編集者へ

Keith Wilson 氏の主張は、優れた着想であると思います。しかしながら “Not Quite Ready (十分吟味されていない)” セクションの各論文の稿量は、およそ 1-2 ページ??? の長さの詳しい要旨 [Extended Abstract] にしておく必要があるでしょう。著者は、最初に評価のために完全版の論文を送る必要があります。そして、もし Not Quite Ready として格付けされるなら、彼女/彼は要約だけにするかどうかという選択の機会が与えられるだろうと、私は考えます。この要約はもちろん、考慮する価値があるということを示すに十分な “肉付け” を含んでいる必要があります。また “実験がなされた” といったような事柄は、結果が得られない限り受け入れがたいのです。ウェブサイトなどのその他の点は、著者によって措置される必要があるかもしれません。

私は、真実のための必要条件として、私たちがニュースレターの現在の水準を今まで通り維持することを必要としていることを、あなた方も同意されるだろうと確信しています。思慮深く発言をするにはそのような立場を明確にとるべきでしょうし、思慮深い発言のためには、おそらく根拠が必要でしょう。物質の力学的原理・法則に対する目に余る軽視は、歓迎されないでしょう。NCGT はこれまでどおり科学的な定期刊行物であり、アナクシマンドロス [Anaximander] の地震についての独特の説明—

編集者へ

私は、カナダ西部—合衆国中央部における広域的地質要素の比較研究を終えたところです。あなた方は、ブリティッシュコロンビアの海岸バソリスが、ロッキー山脈の押し被せ断層帯と同様に、現在ではララミー変動期のものでされていることをご存知でしょうか？ 誰が誰を押ししたのでしょうか？ USGS (米国地質調査所) が、コロラド高原は第三紀の加熱によって形成されたドームであることを公表したことをご存知でしょうか？ 北アメリカ西部でプレートテクトニクスを下火にさせようではありませんか！ 構造地質は、局地的な熱ドームで駆動されているのです。そしてメキシコ湾はペンシルヴァニア紀の熱ドームで、二疊紀以降に陥没したものです。ユカタン/ベリーズの間には、回転はなく、プレート運動も存在しません。もう一つの熱塊は、メキシコのシエラ・オリエンタル (東部山地) を形成しました。それは、横方向 (の動き) ではなく、上昇と沈降によるものです。西太平洋海盆と日本海の話も、同様に、途方もないことのように考えられます。しかし、これは、DeSitter によって 30 年も前に語られたことではないでしょうか？

Chris PRATSCH
jcp@hal-pc.org

原著論文 ARTICLES

インド、Cambay 盆地の Narmada 地塊北部における火成ダイアピリズムの証拠

EVIDENCE OF IGNEOUS DIAPIRISM
IN THE NORTHERN PART OF NARMADA BLOCK, CAMBAY BASIN, INDIA

S. Rangarajan

石油・天然ガス公社, インド Oil and Natural Gas Corporation Limited, India
Rangarajans3@gmail.com

(山内 靖喜 + 小泉 潔 [訳])

要旨 インド半島の北西縁近くに位置し、弓形をなす Cambay リフト盆地には、第三紀-第四紀堆積物が集積している。南部にある数個の ENE-WSW 方向に伸びたドームに沿う第三系の露出を除けば、この盆地は第四紀の沖積層によってほぼ完全に覆われている。これらのドームの一つについての反射地震データは、暁新世末の隆起運動によって明瞭な傾斜不整合が形成されたことを示す。それは、盆地内のリフト運動に関連した一連の熱力学的出来事由来する、と提唱されている。同じく地震データは、最近、大規模な背斜が地下に形成されたことを示す。この地震探査画像については、これまでに、いくつかの解釈—①ヒマラヤ造山運動によってもたらされた圧縮応力による、②北部でドームを縁取る Narmada Geofracture zone (Narmada 大断層帯) に沿う走向移動による、あるいは③隆起による—が提唱された。本論は、この構造は隆起によるものであり、これまでの解釈は支持できないことを論じる。最近の隆起は、この構造下に高粘性の火成物質が上昇したこと起因すると推定される。北部の上昇域をふちどる堆積層にみられる著しい下方撓曲は、高粘性の火成物質が縮退したことによって生じた陥没構造と考えられる。本論は、反射法地震データを用いた火成ダイアピリズムを具体的に示した最初の研究になる。

キーワード: 火成ダイアピリズム, ラコリス, 鉛直運動, 陥没構造

1. 調査地域

Cambay 盆地はインド半島北西縁近くに位置し、S 字型の NNW-SSE 方向に細長い地溝である (図 1)。この石油を産出するリフト盆地は前期白亜紀に形成されたと考えられ (Biswas, 1982)、後期白亜紀のデカン玄武岩を直接おおう厚い第四紀-第三紀堆積物で埋積されている。この盆地は北から南に向かって 8 個の構造ブロックに分かれている (Kundu and Wani, 1992)。調査地域はこれらのブロックの内の最も南のブロック、Narmada ブロックの中にあり、そのブロックの北東部に位置する Panoli 地溝に含まれる。

2. Panoli 地溝の構造の特徴

Panoli 地溝は、平均約 35 km の幅と約 70 km の長さを持ち、負のブーゲ異常で特徴づけられる (図 2)。この地溝は、2 つの ENE-WSW 走向の半地溝から構成されている (例えば、図 3) (Rangarajan, 2002)。南の半地溝は南縁にぶつかるように形成された半地溝であり、南縁は北方に低角で傾斜し、湾曲した正断層に境される。北の半地溝はより深く、断層が発達した地溝である。この半地溝内のブロックの境をなす断層は、深部で互いに近づく傾向を示す。Narmada 大断層帯は、Panoli 地溝の北側の境となっている。

Cambay 盆地内でのリフト運動は後期白亜紀-前期暁新世に始まったと考えられており、デカン洪水玄武岩の流出に関連している (Biswas, 1982 & 1987)。このリフティング期は暁新世末まで続き、その後、後リフティング期の沈降が生じ、現在まで続いている (Kundu and Wani, 1992)。Panoli 地溝でのリフト期の堆積作用は、基盤ブロック内で繰り返し起きた運動に応じて堆積した暁新世の Olpad 層をもたらし、リフト発生期にリフト内を埋め立てた堆積物は傾斜不整合に覆われた。不整合面とそれ以前の暁新世堆積層との交角は、およそ 30-40° である。Panoli 地溝内では、不整合面を挟む上下の地層の斜交度は、他の 2 つの地溝に比べてより明瞭で、より角度が大きい (Rangarajan, 2001)。Panoli 地溝の大半を覆う後リフト期堆積物は、反射地震断面図上において一連のほぼ平行な反射層によって示される。すなわち、この時期に地溝は連続的に沈降し、第三紀堆積物を集積させ

た。

反射法地震探査データ (図 3) によると、地溝を埋積する全堆積物層は上方に向かってアーチ状に湾曲し、ENE-WSW 方向の幅約 10 km の背斜が地溝の南北両縁近くに、それぞれ形成されている。南縁近くの背斜はその南側を北傾斜の逆断層によって、北縁の背斜はその北側を南傾斜の逆断層によってそれぞれ境されている。これらの逆断層は深部でより急傾斜になる傾向にある。背斜は、調査の初期段階でリモートセンシングのデータと地表地質調査に基づいて地図に表現され (Agarwal, 1986)、第四紀沖積域における第三系の露出に相当する。同じく反射地震データによると、Narmada 断層帯に沿う北側の背斜に接して狭くて深い V 字型の向斜が存在する。この向斜内では、堆積層は下方へひきずられているようである。

3. 後期暁新世の傾斜不整合

暁新世堆積物を覆う傾斜不整合は、地溝内のリフト発生期の堆積層の変形とその後の浸食作用を表している。さらに、地溝を横断する地震探査断面図は、不整合形成前に背斜構造が存在したことを示し、それはリフト発生期の堆積層の隆起を意味する。浸食作用はその地溝全体においてほぼ一様で、平坦地形をつくったが、このことは Panoli 地溝のリフト発生期に堆積層全体が隆起した証左である。リフト盆地内の隆起の原因についてしばしば引用される考え方の一つは、下部地殻物質のアイソスタテックな応答が隆起をひきおこしたという推論である。リフティング過程におけるリソスフェアの脆性変形は、地殻規模の破壊と地殻物質とマントル物質に乱れを発生させ、その結果、リソスフェアの温度-密度構造を乱すことになる (Kuszniir and Ziegler, 1992; Huismans et al., 2000)。こうして、地殻とマントル中に一連の浮力が生じはじめる。この浮力は、リソスフェアを均質な状態に戻す向きに働く。一連の反応は、最後にリフト帯の隆起をもたらす。リソスフェアの温度勾配を大きくする。後リフト期初期のこのような隆起は約 1000 万-2000 万年間、場合によっては 6000 万年間にわたって起きたことが知られている (Ziegler, 1992)。本研究における時間の長さは、暁新世に相当する 1000 万年間という規模のものである。

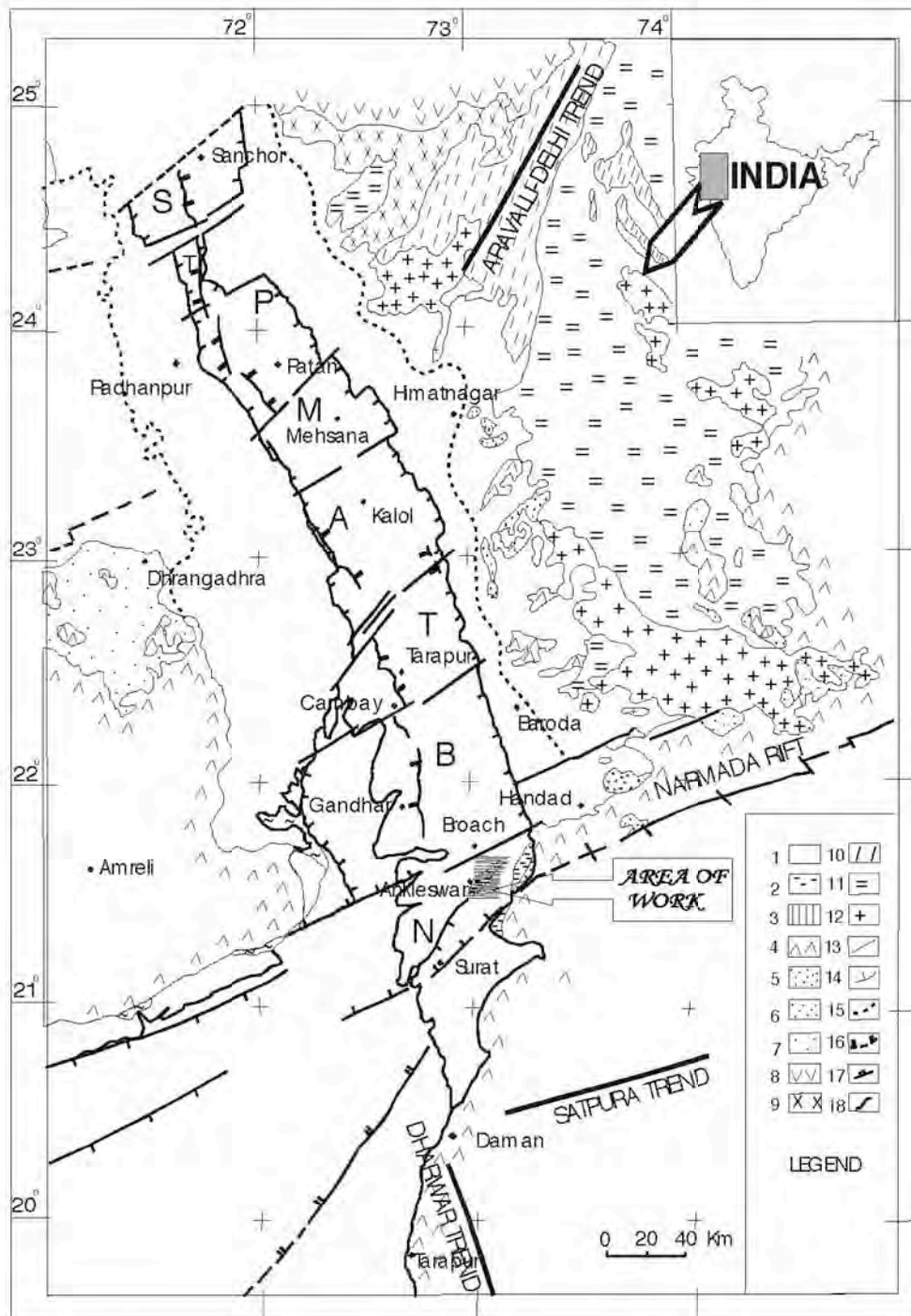


図1 Cambay 盆地の地質図 (Kundn and Wani, 1992 による)

地層記号: 1. 沖積層, 2. 新第三系, 3. 古第三系, 4. デカン玄武岩 (Deccan Trap), 5. 上部白亜系, 6. 下部白亜系, 7. ジュラ系, 8. Malani 火成岩体, 9. Erinpura 花崗岩, 10. Delhi 累層群, 11. Aravalli 累層群, 12. 始生代花崗片麻岩.

構造記号: 13. 先カンブリア界の主要構造方向, 14. リフト縁をなす Cambay 盆地の古第三系の分布範囲, 15. Cambay 盆地の新第三系の分布範囲, 16. 本源的断層, 17. 主要な横ずれ断層, 18. 海岸線.

構造ブロック: S: Sanchor ブロック, T: Tharad ブロック, P: Patan ブロック, M: Mehsana ブロック, A: Ahmedabad ブロック, T: Tarapur ブロック, B: Broach ブロック, N: Narmada ブロック.

4.1 リフト形成以前の変形についてのこれまでの解釈

断面 2 に記載された最後に形成された地下の背斜構造の起源について、多様な解釈が提案されてきた。それは、大まかには二つのカテゴリーに区分される。その一つは、インド-ユーラシア大陸衝突に関連した圧縮応力によるというものである (例えば, Agarwal, 1986)。衝突は後

期始新世/漸新世に起きたと考えられるが (Patriat and Achache, 1984; Dewey et al., 1989), 背斜構造の軸部に露出している堆積物は中新世あるいはそれより新しいものなので (Agarwal, 1986b), それは衝突事件より後の出来事であることは明らかである。露出につながる変形事件は、中新世より後に起きたはずである。ところが、大陸衝突に関連した大陸内の変形作用は、事件の直

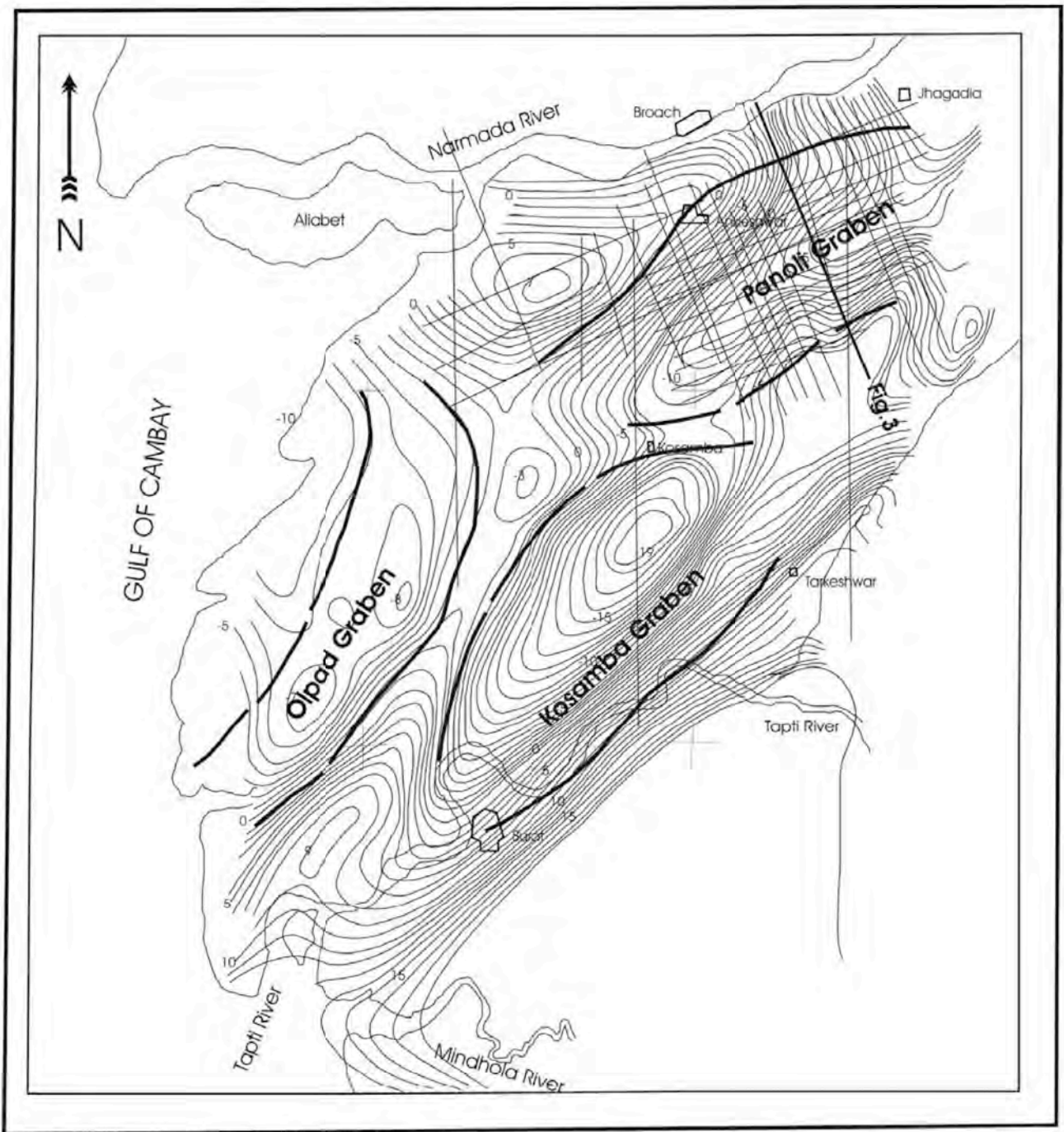


図2 ブーゲ異常図から推定される Cambay 盆地 Narmada ブロック内の主な地溝の概形。本研究で実施された反射地震探査側線が重ねて示されている。描かれた地溝の輪郭線は概形を示したもので、正確ではない (Rangarajan, 2002 による)。コンター上の数字は、ブーゲ異常値を mgal で表示。

後か、あるいはほとんど同時に発生したことが知られている (例えば, Ziegler, 1992; Guiraud and Bosworth, 1997)。その上, Bilham (2001) の数値モデル研究によると, ヒマラヤ造山からの圧縮応力は, 隣接する北部ガンジス川平原では低レベルにあると結論されている。これらの観察事実は, 衝突との間の因果関係についての疑問の一つである。

他の学派は, この構造をナルバダ巨大断裂帯に沿う横ずれ運動に应答して形成された地溝内での斜め圧縮 [transpression] の結果であると考えている (例えば, Ahuja et al., 1990)。しかし, この場合, 北の背斜の

北縁と南の背斜の南縁だけが, 逆断層で境されているにすぎない。斜め圧縮構造から予想される等間隔の逆断層が存在しないことも明らかである (図3)。このように, 斜め圧縮という解釈も肯定できないように思われる。

展張性地溝の反転 [インバージョン inversion] についてのアナログモデル研究によると, 最初に形成された地溝縁の正断層 (群) が, 選択的に再活動することが常であるという (Buchanan and McClay, 1992; Mitra and Islam, 1994; Brun and Nalpas, 1996)。Panoli 地溝の場合, 南の半地溝を限っている低角正断層は再活動していないことが目立った特徴になっている (図2)。いつ

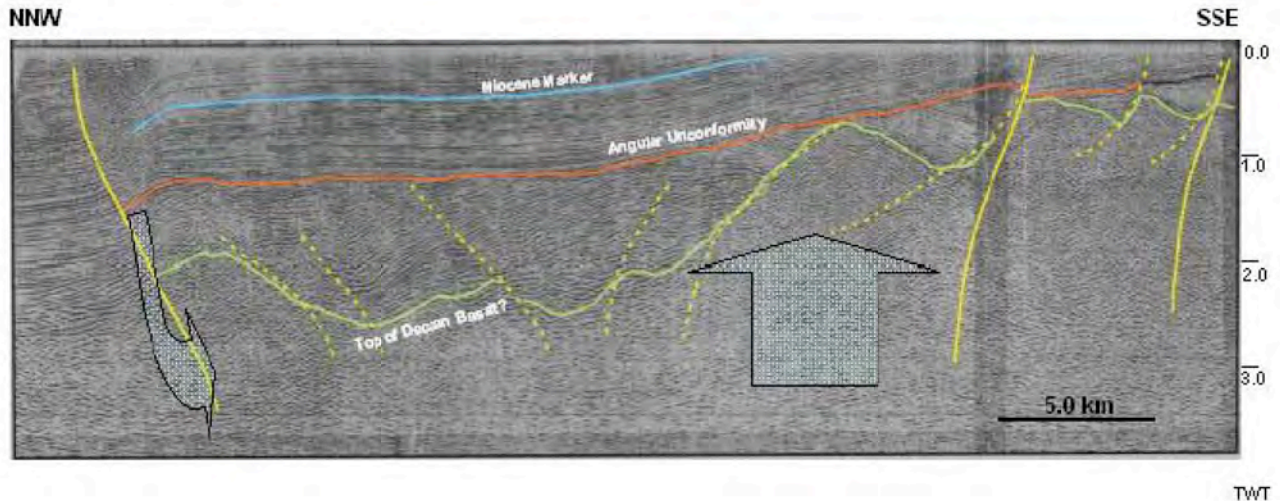


図2 大西洋における古期・大陸性岩石 (Rezanov, 2002, および、多くのデータから編図)。図3 Panoli 地溝を横断する典型的な地震断面 (位置は図2)。半透明の矢印は火成物質の推定移動方向。矢印の位置と方向は暗示的。黄色点線は暁新世の推定断層、黄色実線は最近形成された断層。

ぼう、認識された要因と地溝縁にうまく直交する方向であるにもかかわらず、隆起は新しく形成されたより急傾斜の断層に沿って発生している。圧縮応力によって地溝全体に観察される構造形態が生じた。ということはあるそうもない。

4.2 隆起モデル

断面2に示されている最後に形成された地下構造形態は、Roy (1990) の指摘のとおり、ブロック隆起の形態に適合している。ブロック北部の大規模なドームが明らかにこの説明に調和しているのみならず、ナルマダブロックのすべての構造が隆起によって生じたと Roy は考えた (Rangarajan, 2001)。この隆起形態が岩塩岩体の被覆層の変形にもよく似ていることが観察され (例えば、Schultz-Ela et al., 1993; Davison et al., 1993)、それは地溝内における高粘性物質のダイアビル上昇を示唆する。このようななかで、Panoli 地溝において推定されているデカン玄武岩上面よりも下のゾーンが、比較的 '透明な' 特徴を示すことが注目される (図3)。岩塩が Cambay 盆地に存在することは、予想も報告もされていない。このゾーンに関する積算速度から得られる区間速度は速く、5km/s あるいはそれ以上であることは、頁岩と岩塩である可能性を排除し、この物質が火成起源であることを示す。すなわち、マグマ物質の上方への運動が、被覆層の隆起を引き起こしたわけである。マグマ物質の上昇は、深成岩体の形成モデルに類似した特徴を示す (例えば、Acocella and Mulugeta, 2002)。地域内では表面での火成活動の証拠がないので、その構造形態はラコリスであろう。

4.3 ダイアビル運動

Panoli 地溝内の隆起部の北縁は、鋭いV字型陥没によっ

て限られていることが、これまでも観察されてきた (断面2)。堆積物全体が、陥没によって下方にひきずられているようである。推定される陥没を支持するのは、カルデラ陥没をシミュレートしたアナログモデル実験 (例えば、Roche et al., 2000; Lagabrielle et al., 2001; Walter & Troll, 2001; Kennedy et al., 2004) に酷似しているからである。これらのモデル実験では、陥没を砂層の直下に置かれた液体を満たした風船の収縮によって模擬された。さらに、このような観点は、急な陥没がこの構造下における液体の排出によって起きるといったヒントを提供している。陥没と隆起が同時代のものであることも、注目すべきことである (図3)。そうだとすると、隆起部の下へ上昇してきた陥没構造直下の高粘性火成物質が縮退したはずである、と合理的に推論される。これは、ある部分から他の部分へ移動する高粘性物質のダイアビル運動に類似する。このような運動は、堆積盆地における岩塩の縮退にも似ていて、この場合の岩塩は岩株状岩塩岩体の周縁に沿って上昇する。このような視点は、研究地域において、上方と横方へマグマのダイアビル運動が起きた証拠となる (図2)。また、Panoli 地溝の西方地域の地震データは、被覆層の変形形態が岩塩ダイアビルに関連するこのような変形に類似していることを示す (例えば、Rowan et al., 1999)。ナルマダ断層帯に沿ったエピソード的な運動が広く報告されている (例えば、Choubey, 1971; Acharyya and Roy, 2000)。Panoli 地溝に近いので、この地帯に沿った現在の運動がダイアビル運動に必要な応力を供給している可能性がある。これらの観察の視点から、Panoli 地溝での隆起を引き起こしている現在の変形事件は、地殻浅部での火成物質のダイアビル運動による、と提起されるのである。

傾斜不整合をもたらした後期暁新世の隆起運動は、要するに、上昇するマグマのダイアビル運動の現れである。デカントラップに形成された地溝では、空間を埋積した

低密度の晩新世堆積物のために、被覆層の重力荷重は相対的に小さくなっている。このような条件によってもたらされた環境は、ダイアピル運動に資するものである。

本論文は、反射法地震探査データにもとづいて、関連する被覆層の変形形態を通して推定されたマグマのダイアピル運動が公表された最初の事例である。Rabinowitz et al. (1996) は、これに先立って間接的に、深海における地震データから、地殻の中間的レベルにドーム構造を推定し、それがマグマ性ダイアピルであると推定した。Barker and Austin (1994) は、西アフリカの Bransfield 海峡における反射法地震探査データに描かれた堆積物表層にみられる扇状の断層形態から、マグマに関連した地殻内のダイアピル運動を推定した。さらに、表層の変形形態の形成についての最近の研究は、浅部地殻におけるダイアピル運動に関する証拠をもたらした。地溝は負のブーグ異常によって特徴づけられるので、火成物質は低密度であろう。火成岩や結晶片岩の岩体には、反射面がないことが一般に知られている (例えば、Ameglio and Vigneresse, 1999)。図 3 下部の反射面がないゾーンが、このような特徴に該当するのであろう。

5 本研究の意義

この研究は、浅部地殻におけるマグマの上昇-定置様式についての議論にも貢献する。歴史的にみると、ダイアピル運動は好まれてきた様式だが、のちには岩脈形成がより優勢になり、ダイアピル運動の現実性は疑わしくなった。本研究がマグマのダイアピル運動を証拠づけた結果、ダイアピル運動の現実性に再び注目を集めることになった。この研究は、研究地域における地下構造と造構特性を説明し、理解するのに新しい展望をもたらす。ダイアピル運動は、火成物質を浅部地殻に運ぶのに妥当なメカニズムであり、岩脈形成はマグマのダイアピル運動を助ける作用である。これら二つの現象は、観察のスケールを異にする作用の現れであると考えられる；ダイアピルは造構的レベルで、あるいは大スケールで理解される必要がある。

想定される火成物質の上昇は、研究地域における高い地温勾配と熱流量をもたらしている可能性がある。ナルバダ断裂帯では、全域が高い熱流量と地温勾配を持つことが知られているので、他の地域においてもそのような地下特性が存在するとすれば、それは調査する値打ちがある。

引張・圧縮・走向滑り、あるいはそれらの組合せのいずれであろうと、地質構造や造構特性を水平応力に関係づけようとする傾向が広く認められるいっぽう、鉛直運動は常に過小評価されている。この研究は、研究地域の地下構造に関するこれまで考えられてきたメカニズムが有効でないことを示した。従前のメカニズムは、面白いことに、すべてが水平応力に関連づけられているのである。鉛直運動が無視されてきたか、あるいは過小評価されているかどうかを検証することが広く望まれる。

火成ダイアピルを示す地下構造と造構特性は、一般に、認識されずに済まされてきた。しかし、最近では、特に造山運動において、いくつか認識されるようになった。浸食サイクルと造山運動との密接な対応関係は、最近では、'チャンネルフロー (channel flow)' の形成の結果であると認められるようになった。

炭化水素探査におけるダイアピルの重要さは、あらためて強調する必要はない。ダイアピル運動と液体運動は相互に関連している。それぞれ助け合い、互いを必要としている。ダイアピル運動は、卓越する条件にしたがって、水平および鉛直運動の双方をもたらす。これらは、炭化水素の二次移動に重要な役割を果たしているだろう。そして、熱の供給や熱収支に効果的に働き、炭化水素鉱床の発生と保存に決定的な影響をあたえている。

火成ダイアピルに関連した造構特性も、発生した炭化水素鉱床に重要な意味をもち、研究地域における探鉱に新しい展望をもたらす。この場合、豊富な Ankleshwar 油田地帯が非常に近接して存在することが重視される。

謝辞 本論は、ギリシャのアテネで開催された AAPG ヨーロッパ地域エネルギー会議-エクシビジョン (2007年9月18-20日) で発表された。論文にまとめられた見解は、筆者のものであり、彼が所属する組織のものではない。

文献

- Acharyya, S.K. and Roy, A., 2000. Tectonothermal history of the Central Indian Tectonic Zone and reactivation of major faults/shear zones. *Jour. Geol. Soc. India*, v. 55, p. 239-256.
- Acocella, V. and Mulugeta, G., 2002. Experiments simulating surface deformation induced by pluton emplacement. *Tectonophysics*, v. 352, p. 275-293.
- Agarwal, G.C., 1986. Structure and tectonics of exposed Tertiary rocks between Narmada and Kim rivers in south Gujarat. *Jour. Geol. Soc. India*, v. 27, p. 531-542.
- Ahuja, A.D., Rao, S.V., Patel, B.K., Singh, A.K., Saini, S.S., and Thattacharry, B.J., 1990. Structural styles in South Cambay Basin -Genesis and impact on hydrocarbon accumulation. *ONGC Bull.*, v. 27, no.2, p.11-40.
- Ameglio, L. and Vigneresse, J.L., 1999. Geophysical imaging of the shape of Granitic intrusions at depth: a review. In, Castro A, Fernandez, C and Vigneresse, J.L. (eds.) *Understanding Granites; Integrating New and Classical Techniques*, v. 158, p. 39-54.
- Barker, D.H.N. and Austin, J. A. Jr., 1994. Crustal diapirism in Bransfield Strait, West Antarctica: Evidence for distributed extension in marginal basin formation. *Geology*, v. 22, p. 657-660.
- Bilham, R., 2001. Intraplate earthquakes and flexure of the India Plate. in *Proc. of Intl. conf. seismic hazard with particular reference to Bhuj Earthquake of January 26*

2001. New Delhi - Abs., p. 352-353.
- Biswas, S.K., 1982. Rift basins in western margin of India and their hydrocarbon prospects with special reference to Kutch Basin. AAPG Bull., v. 10, p. 1497-1513.
- Biswas, S.K., 1987. Regional tectonic framework, structure and evolution of western marginal basins of India. Tectonophysics, v. 135, p. 307-327.
- Brun, J.P. and Nalpas, T., 1996. Graben inversion in nature and experiments. Tectonics, v. 15, p. 677-687.
- Buchanan, P.G. and McClay, K.R., 1992. Experiments on basin inversion above reactivated domino faults. Marine & Petrol. Geol., v. 9, p. 486-500.
- Choubey, V.D., 1971. Narmada -Son Lineament, India. Nature Phys. Sci., v. 232, p. 38-40.
- Davison, I., Insley, M., Harper, M., Weston, P., Blundell, D., McClay, K.R. and Quallington, A., 1993. Physical modeling of overburden deformation around salt diapirs. Tectonophysics, v. 228, p. 255-274.
- Dewey, J.F., Cande, S. and Pitman, W.C., 1989. Tectonic evolution of the India/Eurasia collision zone. Ecolg. Geol. Helv., v. 82, p. 717-734.
- Guiraud, R. and Bosworth, W., 1997. Senonian basin inversion and rejuvenation of rifting in Africa and Arabia: synthesis and implications to plate-scale tectonics. Tectonophysics, v. 282, p. 39-82.
- Huisman, R.S., Podladchikov, Y.Y. and Cloetingh, S., 2000. Transition from passive to active rifting: Relative importance of asthenospheric doming and passive extension of the lithosphere. Jour. Geophys. Res., v. 106, p. 11271-11291.
- Kennedy, B., Stix, J., Vallance, J.W., Lavallee, Y. and Longpre, M.-A., 2004. Controls on caldera structure: results from analogue sandbox modeling. GSA Bull., v. 116, p. 515-524.
- Kundu, J. and Wani, M.R., 1992. Structural styles and tectonostratigraphic framework of Cambay Rift basin, western India. Ind. Jour. Petrol. Geol., v. 1, p. 181-202.
- Kusznir, N.J. and Ziegler, P.A., 1992. The mechanics of continental extension and sedimentary basin formation: A simple-shear / pure-shear flexural cantilever model. Tectonophysics, v. 215, p. 117-131.
- Lagabriele, Y., Garel, E., Dauteuil, O. and Cormier, M.-H., 2001. Extensional faulting and caldera collapse in the axial region of fast spreading ridges: Analog modeling. Jour. Geophys. Res., v. 106(B2), p. 2005-2015.
- Mitra, S. and Islam, Q.T., 1994. Experimental (clay) models of inversion structures. Tectonophysics, v. 230, p. 211-222.
- Patriat, P.H. and Achache, J., 1984. India-Eurasia collision chronology has implication for crustal shortening and driving mechanisms of plates. Nature, v. 311, p. 615-621.
- Rabinowitz, N., Steinberg, J. and Mart, Y., 1996. New evidence of magmatic diapirs in the intermediate crust under the Dead Sea, Israel. Tectonics, v. 15, p. 237-243.
- Rangarajan, S., 2001. The role of strike-slip movements in the evolution of the major grabens of Narmada Block, Cambay Basin, India. Proc. of PETROTECH-2001.
- Rangarajan, S., 2002. What caused the spectacular deformations over major grabens of Narmada Block, Cambay Basin, India. In Proc. of 1st APG Conf. & Exhbn., Sept. 2002. Musserie, p. 283-291.
- Roche, O., Druitt, T.H. and Merle, O., 2000. Experiments study of caldera formation. Jour. Geophys. Res., v. 105(B1), p. 395-416.
- Rowan, M.G., Jackson, M.P.A. and Trudgill, B.D., 1999. Salt related fault families and fault welds in the Northern Gulf of Mexico. AAPG Bull., v. 83, p. 1454-1484.
- Roy, T.K., 1990. Structural styles in southern Cambay Basin, India and role of Narmada Geofracture in formation of giant hydrocarbon accumulations. ONGC Bull., v. 27, p. 15-56.
- Schultz-Ela, D.D., Jackson, M.P.A. and Vendeville, B.C., 1993. Mechanics of active diapirism. Tectonophysics, v. 228, p. 275-312.
- Walter, T.R. and Troll, V.R., 2001. Formation of caldera periphery faults: an experimental study. Bull. Volcanol., v. 63, p. 191-203.
- Ziegler, P.A., 1992. Geodynamics of Rifting and implications for hydrocarbon habitat. Tectonophysics, v. 215, p. 221-253.

太陽起源の半日周期地表応力：地震と火山噴火の引き金

SUN INDUCED SEMI-DIURNAL STRESSES ON EARTH'S SURFACE, WHICH TRIGGER EARTHQUAKES AND VOLCANIC ERUPTION

Vinayak G. KOLVANKAR

Seismology Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Mumbai 400 085, India
E-mail: vkolvankar@yahoo.com; Fax: +9122 25505151, 25519613

(角田 史雄 + 矢野 孝雄 + 川辺 孝幸 [訳])

要旨 地震前や地震過程中の EM 放射については (訳者注; 以下, 電磁波放射), 多くの研究者によって報告されている。いくつかのケースでは, 電磁波放射は一日のうちのある時間にしか現れない。こうしたケースは, 「日周期型」または「半日周期型」であることが分かっている。半日周期型の電磁波放射は, 現地時間の正午頃に一定の間隔で見られるが, 地震あるいは噴火の前に観察されることが多い。この電磁波放射は, VLF (超低周波) からマイクロ波までの, きわめて広い周波数帯で観察される。ときには, 地震あるいは噴火が続いている間に観察されたこともある。このことから, 地球と月で発生する半日周期型の応力は太陽の位置に起因すると考えられる。本論では, こうした事例の全てを検討する。また, 地震多発地域において, 地震・噴火の前兆を信頼してモニタリングできる方法の開発と適用についても, あますところなく検討する。

キーワード: テレメーターネット, 半日周期, 日周期 RF 電磁波放射, 地震過程, 前兆

1. はじめに

多くの研究者が, 地震や噴火のまえに電磁波放射を報告している。こうした報告の中には, 半日周期型 (1日に2回) のものが良く見受けられる。しかし, 日周期型 (1日に1回) の電磁波放射の例も, わずかながら知られる。

これらの2つの型の電磁波放射が, インドで開発されたラジオテレメーター地震網 (RTSN) の作動中に観測された。このネットは, インドの Maharashtra 州 Bhatsa (20°37'N, 73°18'E) で, 1989 ~ 1995 年に, この地域の貯水池誘発地震 (RIS) の研究を行っている時に観察された (Kolvankar et al., 1992)。その調査方法は, UHF (超短波) 周波数の無線放送 (リンク) へのラジオ周波数 (RF) の干渉が, Valsad 地域で起こった地震の前, 最中, 後にそれぞれに観測された。

地震や噴火に関連をもつ半日周期型の電磁波放射は, この他の事例でも多数観測されている。Valsad での地震過程に関連した次に述べる6つの主要事例 (日周期型電磁波放射も含まれる) が Bhatsa で観測された:

2. 地震と噴火に関連した半日周期型電磁波放射の事例

2.1. 事例1: Bhatsa で観測された Valsad 地震過程に関連した電磁波放射

Bhatsa に設置された RTSN 観測網は, 貯水池誘発地震の観測網である。この観測網は, 10個の観測点で 500km² をカバーする。それぞれの観測施設には鉛直単成分の地震計がおかれ, それらのデジタル信号が 461 ~ 462MHz の UHF バンドで基地局に 24 時間体制で伝送される仕組みになっている。基地局は, 各観測施設をオンラインで結び, 発震約 15 秒間のデータが磁気テープにデジタル記録される (Kolvankar et al., 1992)。Bhatsa の観測網の構成が, 図1に示される。

この観測網が, 115km 北の Valsad 地域で発生した地震過程を記録した。1991年4月25日~1991年6月30日に, マグニチュード 1.4 ~ 5.0 の約 400 あまりの地震が記録され, 最大のものは 1991年4月30日に起こった M5.0 の地震だった。

地震過程のはじまる3週間前の 1991年4月5 ~ 11日の

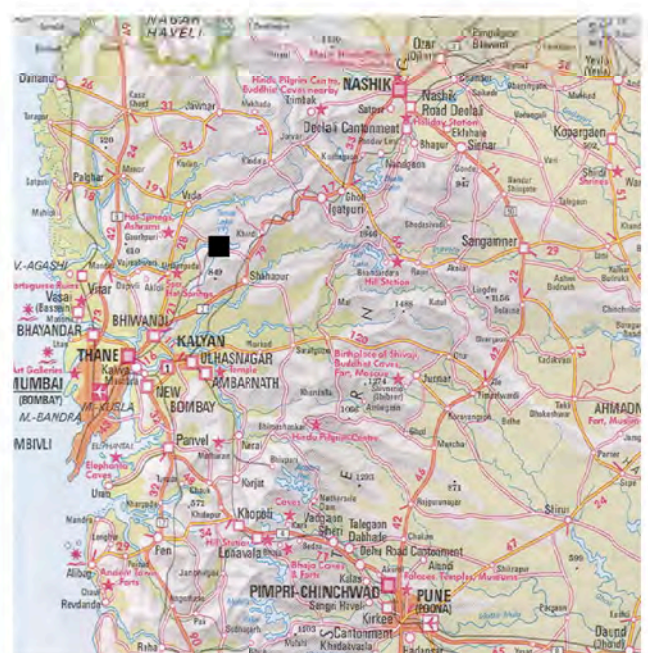
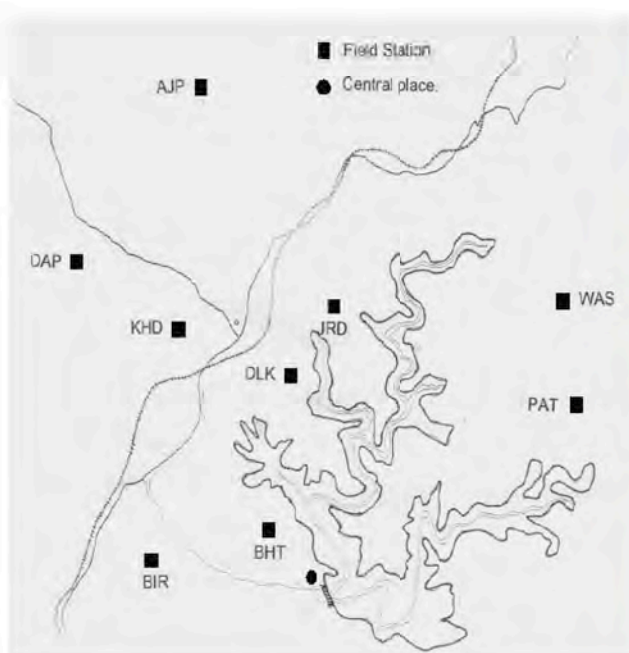


図1 インドの Bhatsa における RTSN 配置。観測地域のおおよその位置は, 右図の ■ で示される。

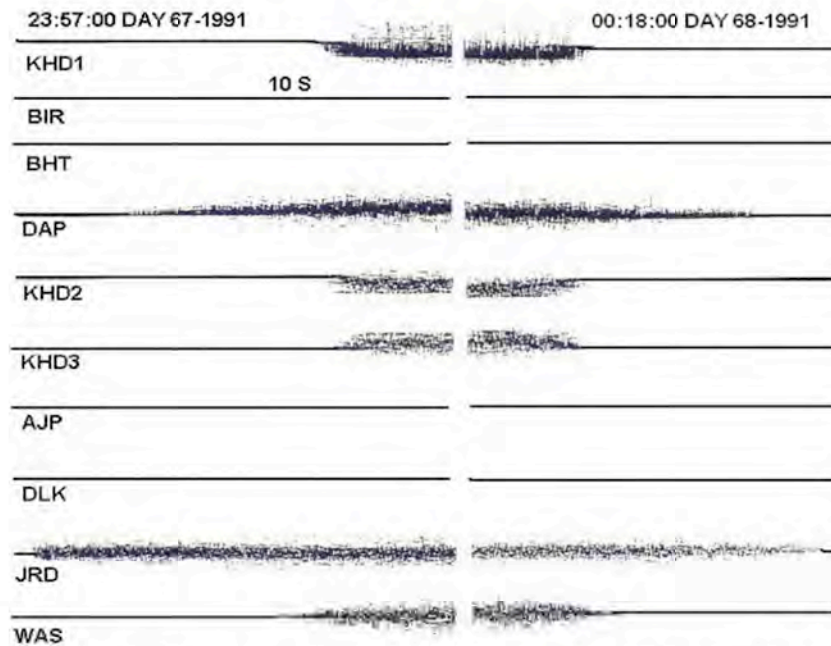


図2 電磁波障害の開始(1991年4月8日23時57分00秒 [第67日])と終了(1991年4月9日18時00分00秒の [第68日])を、多チャンネル地震計データの低感度状態で表示。通常時は、ほぼ直線で示される。電磁波障害の開始と終了は、逆相関係にある。KHD観測施設では3軸成分受信機が設置されていて、それぞれの軸におけるデジタル化されたデータがFDM (frequency division multiplexing: 周波数区分の多重送信法) で送信されてくる。

ある瞬間(世界標準時でほぼGMT00:00)にだけ、日周期型の著しい電磁波障害が検知された。全観測網が数分間にわたって乱れることが5回あった。日周期型RFの乱れの事例は、図2に示した。この図に示された最初の乱れ(1991年4月8日23時57分00秒)と最後の乱れ(1991年4月9日18時00分00秒)は、別図にも示される。この別図に示されるように、RFの最後のものは、最初のもと逆相関する。

表1は、地震発生以前の日周期型の電磁波障害の詳細を示す。この表からも分かるように、8日(第65日を除く)のいずれにおいても、RF異常は、ほとんどのラジオ周波数において、GMT00前後の時間に出現した。1991年3月25日の地震過程の開始後、半日周期型の異常はおおよそ3週間にわたって、一日のうちではGMT04とGMT12の時間帯にだけに現れ、1991年4月30日に本震が発生すると止んだ。

地震過程以後における電磁波障害は、100分以上という

長い時間にわたるようになり、かつ、基地局北側の観測施設からのテレメータに限定されるようになった。つまり、これらの障害が、北に向けたアンテナからのみ受信されるようになったのである。この場合、Valsadの地震過程がはじまる前は、全方位から受信できていた。なかでも、ステーションの西と東のものは、地震過程進行中で、最大の障害であった。

図3に、4月1日(第60日)から8月末(第99日)までのRF異常が網羅されている。この図の脚注に、観測網で記録された全ての電磁波障害がくわしく述べられている。Valsadの地震過程はいずれへも提供可能である(Kolvankar et al., 2001)。

2.2 事例2: 三原山の噴火

吉野・富沢(1989)は、1986年11月の三原山噴火に先だって、低周波(82kHz)の電磁波放射がおこったことを報告した。大島では火山性微動が1986年7月から観測さ

表1 1991年4月25日に起きたValsadの地震過程前に、Bhatsaで記録された電磁波障害の詳細。AJP, PAT, JRD, DAPなどの観測施設は省略した。AJPとPATのデータは、エンドレスの螺旋状ドラムに記録された。

SER. NO.	DATE [DAY]	TIME	DURATION	REMARKS
1	05.03.91[64]	01:25:20	300 Sec.	Seen in AJP and PAT helical records
2	05.03.91[64]	12:45:30	40 Sec.	<u>All working channels affected</u>
3	05.03.91[64]	22:17:06	270 Sec.	Seen in AJP and PAT helical records
4	08.03.91[67]	01.28.10	180 Sec.	<u>All working channels affected</u>
5	08.03.91[67]	23:57:00	7.5 - 23 Min.	<u>All working channels affected</u>
6	09.03.91[68]	23:56:30	22 Min.	<u>All working channels affected</u>
7	10.03.91[69]	00:37:00	120 Sec.	Multi-channel play-out available
8	10.03.91[69]	23:53:20	100 Sec.	Seen in AJP helical records
9	11.03.91[70]	23:56:00	13 Min.	<u>All working channels affected</u>

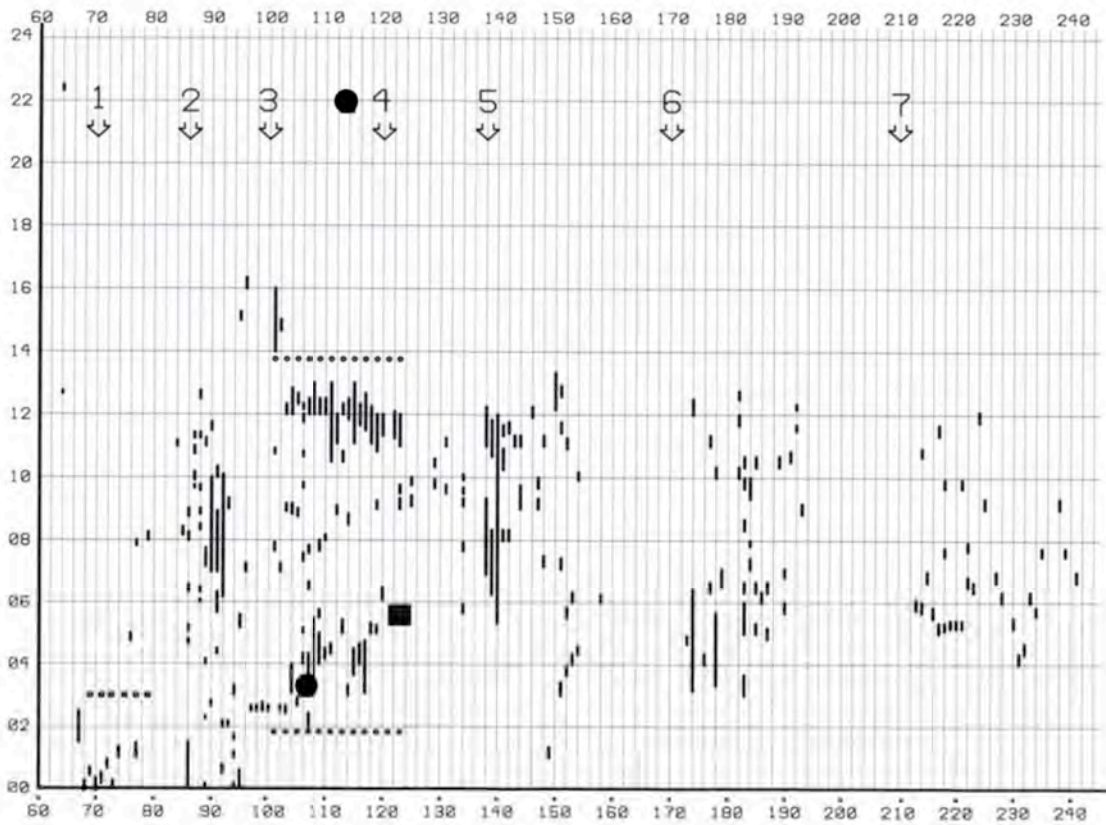


図3 1991年4月1日(第60日) - 8月末までの電磁波障害. 縦軸の一本が1日にあたり, その間は2時間単位で区切られている. 便宜上, 縦線は日替わり線とみることができる. 太い縦線は, 電磁波障害を示し, その長さは障害の継続時間を表す. 分かりやすくするために, 実際(数分間のオーダー)より長めに線が引いてある. 大きな前震を●で, 最大の地震を■で表した. 大きい地震と電磁波放射とは GMT 時間の 04:00 で, ほぼ一致した(半日周期型の電磁波障害は黒丸の点線, 日周期型のそれは正方形の点線で下限で示した). 矢印は以下の事象を表す:

- 矢印1: GMT00:00 付近におけるラジオ放送での電磁波障害の開始
- 矢印2: 地震過程のはじまり
- 矢印3: 大きな前震のはじまり. 電磁波障害が GMT04 時および 12 時に移動
- 矢印4: M5.0 の本震のはじまりとそのパターンの変化
- 矢印5と6: M2.5~3.5 の余震に関連した RF 異常
- 矢印7: 地震過程の終了. しかし, 電磁波障害はその後2ヶ月も続いた.

表2 低周波 (82kHz) の電磁波放射のタイミング. これらは, 1986年11月に三原山噴火に先立つ前兆であろう

DAY	EM EMISSION TIMINGS [JST]	REMARKS
Nov 3	14-16	
Nov 4	09-11 16	
Nov 8	11:30 14-16	
Nov 10	09	
Nov 11	11	
Nov 14	11 to 16 (continuous)	A major emission a day before the first eruption
Nov 15		At 17:25, first eruption . No emission observed. Lava fountains [200 m high] were witnessed at crater A. The earthquake and volcanic micro-vibration continued during the eruption.
Nov 17	8-9 14-15	Emissions were observed
Nov 19		At 23 JST eruption ceased.
Nov 21	10-12	Strong emission, strong local earthquakes.
Nov 21	10-12	Emissions were observed.
Nov 21		At 16:15, simultaneous eruption in crater C Lava fell on the observatory destroying all equipment

れてはいたが, 82kHz の顕著な異常放射は9月20日まで観測されていなかった. いくつかの放射が急に増加したのは11月3 - 22日の間だった. それらの何回にもわた

る異常は, 表2に示される. こうした異常は, JST時間の09, 11, 14, 16の時間帯に限られている. これらの電磁波放射があった異常時間帯は, A火口における最初

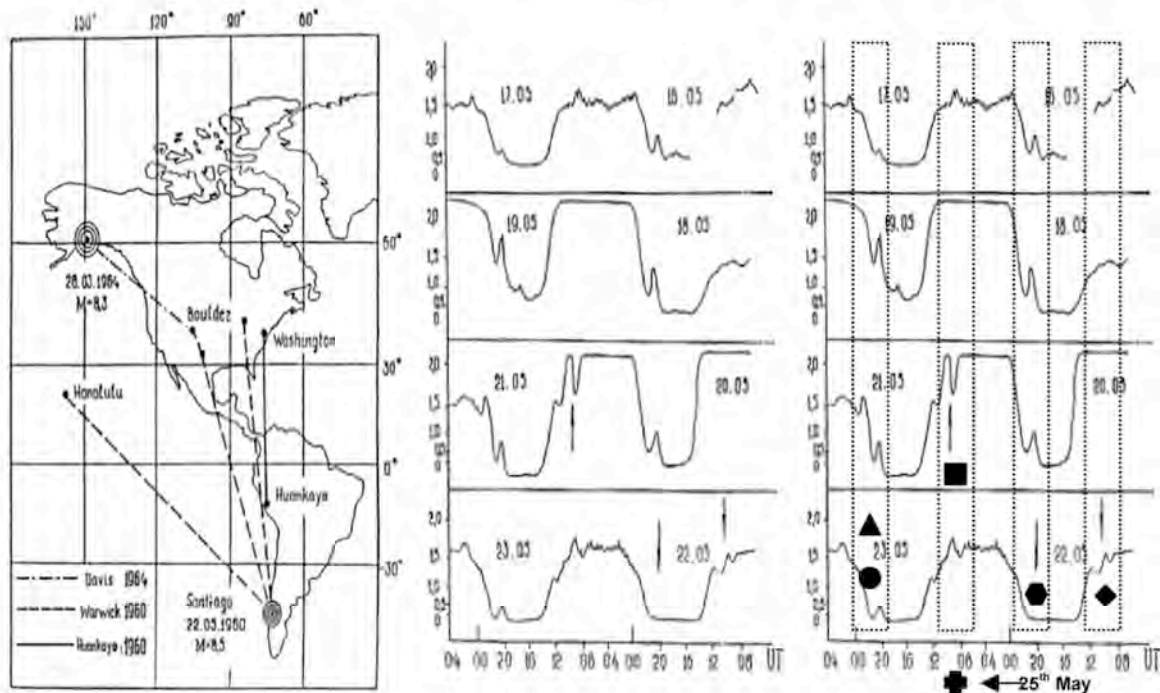


図4 A: 1964年3月28日のアラスカ地震 (M = 8.3) および1960年5月22日のチリ地震 (M = 8.5) の障害観測点の相対位置. B: チリにおける破壊的地震にさきだつてワシントン- Huankayo 測線において周波数10MHzで記録された日周期信号強度記録 (1960年5月16-22日). USGSのNEICは、アラスカおよびチリ地震のマグニチュードをそれぞれ9.2および9.5に修正した. C: 表3に示された地震位置 (それぞれ、別個の記号で表示). AおよびBは、Gokhberg M.B., Morgounov, V.A. and Pokhotelov, O.A. の著書「EARTHQUAKE PREDICTION SEISMO-ELECTROMAGNETIC PHENOMENA」, ならびに、科学アカデミー地球物理学研究所 (モスクワ) から事前許可を得て転載.

表3 Gokhberg et al. (1995) の著書に掲載されたチリにおける1960年5月の主要地震

SR. NO.	DATE	TIME UT	MAGNITUDE	REMARK	
01	■	21.05.1960	10.02	7.2	Foreshock
02	◆	22.05.1960	10.32	7.3	Foreshock
03	●	22.05.1960	19.11	8.5	Main Shock
04	●	23.05.1960	00.23	6.7	Aftershock
05	▲	23.05.1960	00.25	6.8	Aftershock
06	■	25.05.1960	08.34	6.7	Aftershock

の噴火 (1986年11月15日17時25分) とC火口の噴火 (1986年11月21日16時21分) に一致する.

2.3 事例3: 1960年のチリ巨大地震

図4Aは、アラスカ地震 (1964年3月28日, Mb=8.3) およびチリ地震 (1964年3月28日, Mb=8.3) の異常な影響を記録した観測点の相対的位置を示す. 図4Bは、チリにおける破壊的地震にさきだつてワシントン-Huankayo 測線において周波数10MHzで記録された日周期型の信号強度の包絡線を示す. この強度包絡線は、12-21世界標準時 (昼間) に強度が小さく、23-11時 (夜間) に強度が大きくなる顕著な24時間周期をもち、信号強度が20-00時に漸増し、11-14時に漸減する電離圏の変化に起因する. 本震の2.5日前には、(無記録の状態からわかるように) 5月19, 20および21日の夜間信号がスケールアウトした. 図4Bにみられるように、5月21日の最初の前震の1時間前には、信号は通常状

態に回復し、そして地震時には再びスケールアウトした (Gokhberg et al., 1995).

これらの波形を詳細に観測すれば、1960年5月17-23日にはほぼ毎日、08-12時および19-00時の間で同様の異常がみられたであろう. これらの異常は、図4Cに描かれた2組の垂直棒で示される. 表3に示されたすべての前震、本震、および余震の発震時も、これらの異常の時刻に一致する. これらの6つの地震の位置は、別々の記号で表されている.

この表から、これらの時刻には強い応力が働いていて、それがこれらの異常を引き起こし、そして、6つの大規模地震を発生させたことは明らかである.

2.4 事例4: ORSOCにおける大気EMノイズ

ORSOC (岡山理科大学地震観測センター: E144°55', N34

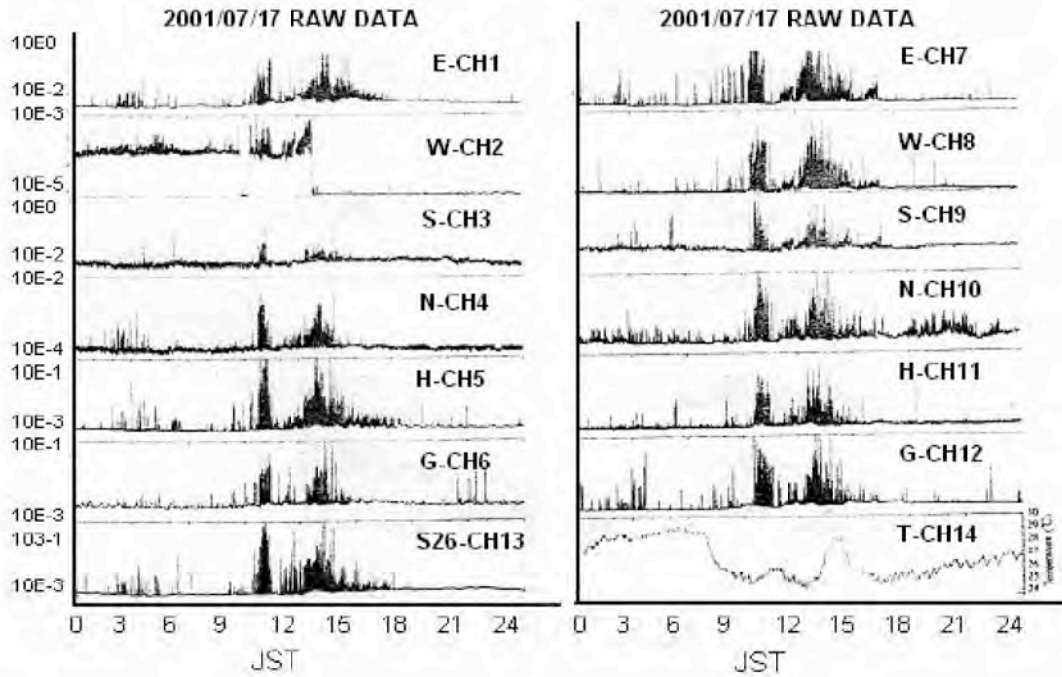


図5 ORSOC (岡山理科大学地震観測センター: E144° 55', N34° 41') および周辺域における大気電磁波ノイズ記録 (1-13チャンネル, 2001年7月17日)。このような信号はしばしば記録され、夏期を通じて確認された。VHF帯におけるこれらのRF放出の時期は、現地時間の正午前にあたる (時刻は日本標準時)。この図は、筆頭著者の Isao Yamamoto 博士の事前了解をいただいて転載。

表4 ORSOC 付近で発生した4つの地震 (NEIC, USGS 地震カタログから抽出)。第1および第4地震 (表中) は、それぞれ、半日周期の第1および第2電磁波放射期に発震したようにみえる。

YEAR	MONTH	DATE	HR:MN:SEC	LAT	LONG	MG	DEPTH
2001	07	17	22:47:39	39°43'N	141°34' E	4.6	85
2001	07	19	10:26:46	27°18' N	140°34' E	4.1	501
2001	07	19	21:02:36	36°13' N	139°67' E	4.9	74
2001	07	20	04:26:40	32°35' N	137°49' E	4.6	402

°41') および周辺域における大気電磁波ノイズが、VHF帯複合アンテナを使って観測されていた。1つの地震の位置方位を検出するために、12個のFMチューナ (周波数帯: 76 - 108MHz) が配置され、6方位に6つの八木アンテナが用いられた。商業放送の周波数帯を避け、期待される周波数帯のノイズに相当する電圧を検出するためにTDM (0.5s switching, 10s rate) モードが利用された。東、西、南、北、大地、天空および銀河に、それぞれ2チャンネルが割り当てられた (Yamamoto et al., 2002)。2001年7月17日に観測された典型的な多チャンネルノイズが、図5に示される。ところが、著者らはこのRG放射に対応する地震活動について何も述べていない。ORSOC 近隣では地震活動がなかったのかもしれない。

表4 (NEIC-USGSにもとづく) に示された4つの地震は、ORSOC から数100km 以内の範囲で、このタイプの電磁波放射 (2001年7月17日) から3日後までに発生したものである。電磁波放射時には鉛直方向に (経度方向に沿って) ひろがる広大な領域が応力をうけ、この応力集中域に地震が発生したのであろう。その結果、震央がORSOC から200 - 300km の以内に配列したのかもしれない。

第1 - 第4の地震の発震時 (表4) からわかるのは、それらが、半日周期電磁波放射の第1期および第2期に発生したことである (世界標準時と日本標準時の間には+9時間の時差がある)。これは、地震および火山活動が電磁波放射時に発生するという他の事例と調和的である。

2.5 1995年1月17日の神戸地震

日本の対馬 (34°37'N, 129°27' E) から発信された電離圏下のVLF ω 信号が、Inubu (35°42'N, 140°52' E) で連続的に観測される。その信号伝播特性 (とくに相) が、1995年1月17日の本震の数日前 (とくに、日の出および日没時の前後) に異常を示した (Hayakawa et al., 1996)。著者らは、これらの相が神戸大地震前の1995年1月15日と17日に突然に変化したことを示した。これらのVLF信号が最小になったのは、現地時間で正午から等しく隔たった時刻であった。神戸地震 (05:46) は、VLF 第1最小相の2時間前であった。

2.6 事例6: アポロ月震実験 (APSE) での観測

APSE は、1969 - 1972年に月表面に配置された4個の地

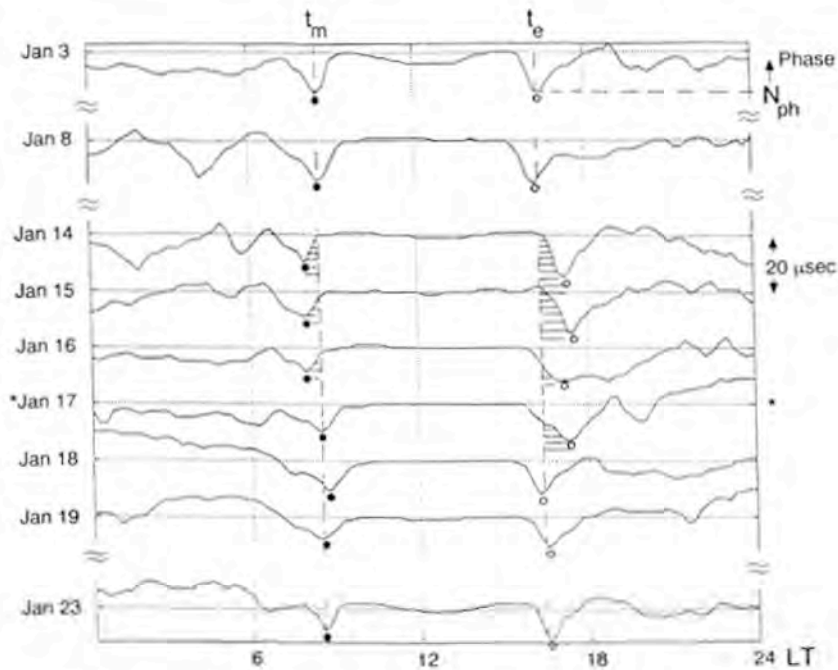


図6 Inuboで観測されたVLF信号 ($F = 10.2$ kHz)の日変化の連続記録。ここで、 t_m と t_e は日の出および日没の前後で相が最小になる時刻を示す。最小値は、 N_{ph} で示される。各日の相は、同一の相対単位で表示されている。この図は、Hayakawa et al. (1996)から、筆頭著書である早川教授の許可を得て転載。

震計を使って実施された。それぞれの観測点には、3個の長周期地震計と1個の鉛直短周期地震計で構成された。データは地球へ送信され、1977年まで記録が得られている。得られたデータの大半は深度700-1,000kmの深発月震であり、潮汐応力によく調和的である。朔望月で表示された記録からわかるのは、もっともノイズが大きくなるのは、月における日の出と日没の前後であり、スパイク状の記録がみられる場合もある。日の出/日没時刻の3日(太陽暦)のずれ(12号着陸点では新月から約12および23日、16号着陸点では約7および20日;12号および16号の着陸点の決定権限は、それぞれ、アポロ12号および16号ミッションに与えられた)は、2つの着陸点の間の 39° の経度差を反映している。これは局所的なノイズ増大時間帯が同時ではなく、経度による相違異を示す。この様式は、地球における経度の違いによる半日周期に類似している。月震の強度分布も朔望月に相当するピークを示し、ノイズ増大期に月震が発生することを示唆する(Lammlein et al., 2005)。表5は、上述の6つの事例すべてをまとめたものである。

3. Bhatsaで観測された電磁波放射の包絡線の発生

図1は、Valsad地震過程に先立ってBhatsaで観測された典型的な電磁波障害(日周期タイプ)の開始と終了を示す。Bhatsaネットワークにおける異なるリンクの開始と終了をすべて、それらの障害時間(受信された信号強度に逆相関する)の順に配列しなおすと、それらは図7に示される増加および減少放射信号の包絡線を示す。この日周期タイプの電磁波放射において、電磁波ノイズの信号強度は(応力の増加にともなう)単純に増大し、(さまざまな局の信号の受信信号強度にもとづく)時間に

よって異なるリンクをつくりだす。その後、この電磁波放射信号強度が単純に減少すると、まずはより強い信号強度をもつリンクが復活し、つづいて、信号強度の減少にともなう他のリンクが復活した。

4. 局所的応力前線の観測

UHF/VHFリンクの格子は、地震活動が活発な地域におけるさまざまな応力前線の強度を観測することができ、切迫した地震の警告となりうる。典型的な配置が図8に示される。この図に描かれたように、個々の中サイズの点の位置に配置された4つの受信機セットが、50 km x 50 kmの正方形の四隅におかれた、UHF/VHF帯の異なるスポット周波数で作動する4つの送信機から、信号を受信する。隣接ブロックの受信機が同じ信号を受信できるように、送信には無定方位アンテナが用いられる。受信機は、さまざまな組み合わせの減衰過程を経るために、それらには異なる感度設定がなされる。

日周期でみると、(半日周期の)応力前線による電磁波ノイズ包絡線は10-15dBまで増加し、(最大減衰の場合にも)少なくとも1つの受信機にはノイズ的信号が受信されることになる。応力場におかれた岩石は、破壊点に達する直前により高い周波数の電磁波を放射し(Ogawa et al., 1989; Sachiko, T. et al., 2002)、近接域における地震の切迫を警告する。より高周波の電磁波ノイズの包絡線は、切迫した地震の2,3日前(日周期の場合)に感知される。

UHF/VHF帯でのこのような電磁波ノイズの直接観測は、適合する多チャンネルシステムを使って実施される。HF

表5 現地時間で正午から同一時間差をもつ半日周期の電磁波放出の全6事例の詳細

EQ /VOLCANO SEQUENCE PLACE, PERIOD, FREQ-BAND OF EM EMISSION	TIMINGS OF THE SEMIDIURNAL EM EMISSIONS	LOCAL NOON TIME & TIME OFFSET OF EM EMISSIONS	REMARKS
Valsad, India. 10-30 April 1991 UHF RANGE 460-461 MHz.	0400 GMT (0900 LT) & 1200 GMT (1700 LT) Duration 10-100 min.	0800 GMT (1300 IST) Time offset = ± 4 hours	The times of the main shock 05:13 h (GMT) on 30-04-1991 and one of the two foreshocks 04:17 h (GMT) on 14.04.1991 closely match the time of the first RF emission. Semidiurnal type RF emission ceased after the main shock.
Mt. Mihara Volcano, 03-21 Nov 1986 LF - 82 kHz	09 -11 hrs. JST 14 -16 hrs. JST	1230 hrs. JST Time offset = ± 2.5 hours	1 st eruption at 1725 hrs. JST, Nov 15, 1986 and 2 nd eruption at 1615 hrs. JST, Nov 21, 1986, occurred at the times of the EM emissions.
Chilean Earthquake 16-23 May 1960 HF 10 & 18 MHz	08 -12 hrs. GMT & 19 -24 hrs. GMT	1700 hrs. GMT approx. Time offset = ± 5 hours	All six earthquakes (two foreshocks, main shock and three aftershocks) with magnitude range of 6.7 - 9.5 occurred within the times of RF emission.
ORSOC, Japan 17.07.2001 VHF 76-108 MHz	09 -11 hrs. JST 1230 -1430 JST	1200 hrs. JST approx. Time offset = ± 1.5 hours	Four events occurred in the nearby area within three days of the occurrence of RF emission. The times of two of them match the times of RF emission.
VLF sub-ionospheric signals [Kobe quake] VLF range Jan 03-23, 1995 10.2 & 11.3 kHz	0830 hours JST & 1630 hours JST	12-30 hrs. JST (Timings of the VLF phase reaching minimum) Time offset = ± 4.0 hours	The times when these VLF signals' phase reaches minimum are spaced equally from the local noon time. Kobe earthquake timings (0546 hrs) differ by a couple of hours from the first VLF phase min. timing.
Apollo Lunar Seismic data for stations 12 and 16 (1969 -1977) Microwave range 1-2 GHz	Around 10 & 23 days from new Moon (station 12) Around 07 & 20 days from new Moon (station 16)	Around 16.5 days from new Moon (Station 12) Around 13.5 days from new Moon (Station 16)	Three-day offset in the occurrences of EM emissions at these places reflects the 39 degree difference in the longitudes of the two stations. The power spectra of the moonquakes show smaller peaks corresponding to synodic month, which suggest occurrences of moonquakes during the noisy periods (Lammllein, 1977)

(高周波)帯の利用は(チリ地震の場合のように),遠隔地からの通常および深部震源地震の先駆現象を検出するための技術を拡張することができるだろう。

5. 議論

5.1. 地震と火山に関連した電磁波放射

電磁波放射は,地殻の結晶質岩石から直接由来すると信じられている。これらの岩石は,応力を受けると,ある種の圧電効果をもたらす。

半日周期型の電磁場放射においては,応力はかならず1日に2度検知され,正午前後に等しい時間間隔において出現する。同様な効果は,(朔望月の)月の表面でも観察され,これらの現象はともに,太陽の位置によって引き起こされる。これは日々の現象であり,約10-15dB(-146dB,さらには,-130dB)に達する電磁放射強度の増大が,1日のうちに観測される。しかしながら,同等の応力は,地震が差し迫った地域から,応力効果によってもたらされるかなり高周波の電磁波ノイズを放射する。

紹介した6例は,放射がVLF-マイクロ波の幅広い周波数帯で観測されることを証明する。電磁波放射をもたらす半日周期の加圧が,局所的現象であるとは考えられない。(数km幅の)鉛直柱全体の岩石が,電磁波放出にかかわっている可能性がある。

Bhastha および他の場所(チリ地震や三原山噴火に関連)で観測されたタイプの電磁波放射は,地球の自転に関わっている。月震の発生も,月の自転に直接関連することを示す。月震のFFTスペクトルは,朔望相の50および100%(13.6および27.2日)に主要ピークをもつ。しかし,同じFFTスペクトルが朔望月に一致するより小さなピークをもち,朔望相にある太陽によって生じる半日周期の応力場で発生していることを物語る(Lammllein, 1997)。この毎日観測される半日周期の電磁波放射は,月の潮汐力とは何らの相関性を示さず,それは,地震にとっての他の引き金機構と考えられる(Sachiko et al., 2002)。

UHF帯の電磁波放射は,Valsad地震過程の約2ヶ月後でさえも観測された。これは,蓄積されたエネルギーの大半が地震のかたちで放出され,その地域が低レベルの電

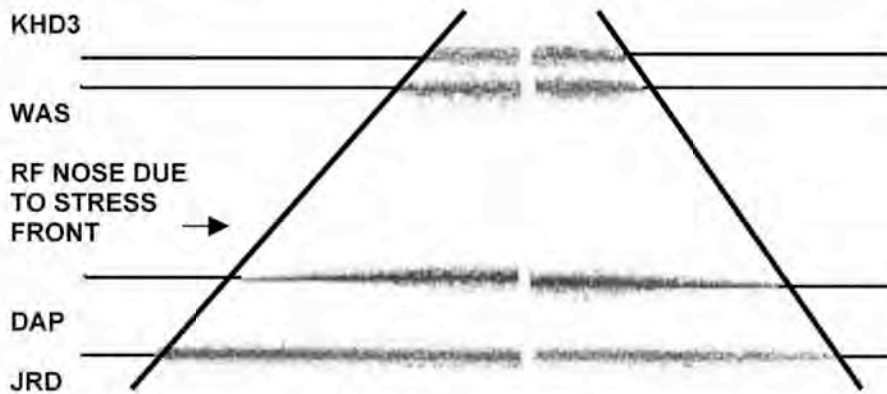


図7 Bhatsaにおける異なるリンクで検出された信号の開始部および終了部が、受信信号強度にしたがって配置されていて、それは、増大および減少する電磁信号の包絡線を示す。他のチャンネルリンク (BIR, BHT, AJP, DLK) は、かなり短い持続期間のノイズを示すので、それらの対応する部分はこの図には描写できない。KHD 局には3軸地震計が設置されているので、ノイズ部分の持続期間は、この局の3つの信号のすべてに比定される。

磁波放射を継続している場合におこりうる。これは、他の多くの例にも認められる (Hata et al.)

5.2. 時間ずれの時空変化についての研究

表1に示された6例では、半日周期型放射のタイミングは、現地時間で正午から±1.5〜±5時間にわたるさまざまな時間的ずれ(偏倚)を示す。Bhatsa地震遠隔網では、この時間のずれは一定していないことが観測された。それは日々変化するわけではないが、時期によってさまざまに変化する。1991年4月のValsad地震過程では±4時間であったが、1993年7月の螺旋状[helical]記録では±6時間であった。

アポロ12号および16号着陸地点[アポロ月実験]における朔望相に対する電磁波放射の発生時刻の連続観測データは、最大振幅が電磁波放射スパイクに連動していて、月の朔望月の長さの変化に調和したサインカーブ状の変化を示す。同様の挙動は、VLF信号の相および強度における“tm”ならびに“te”値の月平均の時間変化のタイミングと調和的であることも観測され、日本のInubuにおける10月〜1995年4月のvarying day period[昼間時間の変化??] (Hayakawa et al., 1996)ともよい相関を示す。

他の4例は上述した2例とは異なっていて、一般に、現地時間で正午からの時間偏倚の時空変化についての系統的研究が必要である。この研究は、地球内部にかたちづくられる応力の原因について何らかの手がかりをもたらすだろう。

5.3. 日周期型電磁波放射に関して考えられる原因

半日周期型電磁波放射の場合、太陽が地球に働く応力を発生させるのに役立っていることが観測された。同様に、日周期型放射の場合にも、それらの一貫したタイミングを考えると、何らかの外力がこれらの現象を引き起こしていると考えられる。これらの外力は、おそらく、惑星の位置に起因するのであろう (Li, 2006; Venkatnathan

et al., 2005)。Bhatsaで観察された強力な日周期型電磁波放射 (Valsad地震過程に先立つ約3週間前に、1週間に数回)の発生期間に、地球のこの部分 (Valsad)は、同じ惑星配置にあった。電磁波放射の単純増加および単純減少は地球の自転に由来するものであり、この震域をある惑星に正対させ、そして、次第にそれから離れさせたのであろう。しかしながら、日周期型放射もたらず原因を確定するためには、より多くのそのような事例が必要である。

5.4. 地震を起こすことになるであろう事象の連鎖

Bhatsaでは、日周期型電磁波放射のタイミング (GMT00:00)と半日周期型のタイミング (GMT04:00および12:00)が異なっている。1960年5月のチリ地震 (Mb=9.5)の場合に、Warwick et al. (1982)は、この巨大地震の6日前の1960年5月16日のGMT03:50〜04:10に発生した18MHzの電磁波ノイズの詳細を記述した。このタイミングも、半日周期型(表1に列記)のものとは異なっている。両例 (Bhatsaおよびチリ地震)の場合、日周期型放射が半日周期型放射を引き起こした。

ほとんどの地震は、日周期型応力の発生後3日以内に起こっている (Venkatnathan et al., 2005)。いくつかの例では、地震は即座に起きるのではなく、これらの日周期型応力が、この地震多発域での地震をより発生しやすくしているのであろう。上述した諸例のように、日周期の上に半日周期の応力が加わる期間に、この地域は電磁波ノイズをより強く放射する。このような現象は2、3日間つづき、その結果、半日周期応力の1つが加わる時期に地震が発生すると考えられる。

6. 結論

地震や火山にかかわる電磁波放射は、広帯域の現象である。それは、日周期型と半日周期型という2つの様式をとって広く出現する。日周期型放射は、半日周期型にくらべてより強力であることが判明している。半日周期型放射のタイミングは、現地時間の正午前後に同じ時間間

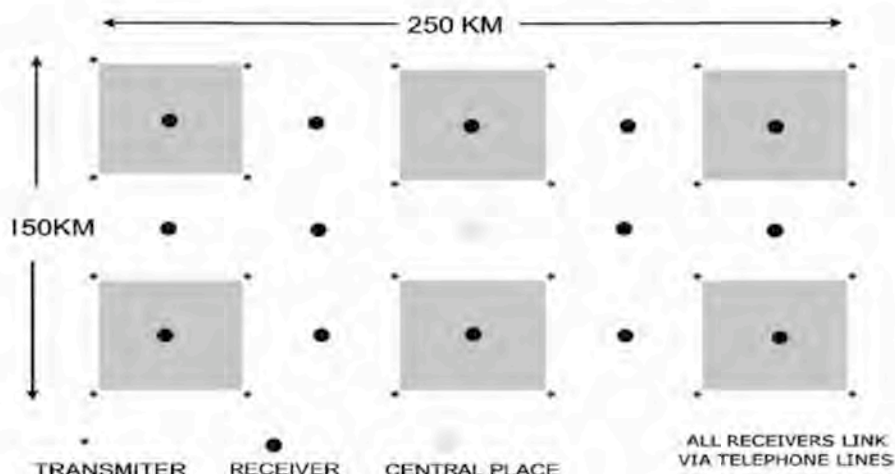


図8 活発な地震活動域のための UHF/VHF リンクの格子

隔において観測される。地震または火山噴火は、これらの期間に何らかの応力が発生することを意味する電磁波放射のタイミングと同時に起きる。半日周期の原因は、太陽の位置に求められよう。日周期放射の原因は惑星配置であると考えられるが、詳細な結論を得るにはそのような事例をより多く探し、検証することが必要である。

謝 辞：早川教授ならびに山本教授には論文から図面の転載許可を、Gokhberg 教授からはチリ地震に関する著書から図面の転載許可をいただいた。これらの図面は、本論文の趣旨にとってたいへん重要なものである。R. S. Chaughule 博士ならびに M. Ramanmoorthy 博士は、この論文の原稿に関して、さまざまな議論をして下さった。以上の方々に、厚く御礼申し上げる。

文 献

Bulow, R.C., Johnson, C.L. and Shearer, P.M., (2005). New events discovered in the Apollo Lunar Seismic Data. *Journal of Geophysical Research*, v. 110, E10003, doi:10.1029/2005JG002414, 2005.

Gokhberg, M.B., Morgounov, V.A., and Pokhotelov, O.A., 1995. *Earthquake Prediction Seismo-electromagnetic Phenomena*. Gordon and Breach Science Publication, p. 112-113.

Hata, M., Takumi, I., Yahashi, S. and Yasukawa, H. Electronic Wave radiation due to the possible plate slip at the central Shizuoka Earthquake and to the Island Diastrophism and Volcanic Eruption in Miyake Island. <www.ursi.org/Proceedings/ProcGA02/papers/p0661.pdf>

Hayakawa, M., Molchanov, O.A., Ondoh, T. and Kawai, E., 1996. The precursory signature effect of the Kobe earthquake of VLF sub-ionospheric signals. *Journal of the Communication Research Laboratory*, v. 43, p. 169-180.

Kolvankar, V.G., Nadre, V.N., Arora, S.K. and Rao, D.S., 1992. Development and deployment of radio telemetered seismic network at Bhatsa. *Current Science's special issue on "Seismology in India - an overview "*, v. 62, p. 199-212.

Kolvankar, V.G., 2001. Earthquake sequence of 1991 from Valsad Region, Guajrat. BARC-2001/E/006.

Lamlein, D.R., 1977. Lunar seismicity and tectonics. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 14, p. 224-273.

Li, Y., 2006. An examination of the correlation between earthquake, positions of solar system bodies and solid tide. *Science in China:Series G Physics, Mechanics & Astronomy*, v. 49, no. 3, p. 367-376. doi: 10.1007/s11433-006-0367-x.

Ogawa, T., Oike, K. and Miura, T., 1985. Electromagnetic radiation from the rock. *Journal of Geophysical Research*, v. 90, p. 6245-6249.

Sachiko, T., Masakazu, O. and Haruo, S., 2002. Evidences for tidal triggering of earthquakes as revealed from statistical analysis of global data. *Journal of Geophysical Research*, v. 107, no. B10, 2211 doi:10.1029/2001JB001577.

Venkatanathan, N., Rajeshwara Rao, N., Sharma, K.K. and Periakal, P., 2005. Planetary Configuration: Implication for earthquake prediction and Occurrences in South Peninsular India. *Journal of Indian Geophysical Union*, v. 9, p. 263-276.

Yamada, I., Masuda, K. and Mizutani, H., 1989. Electromagnetic and acoustic emission associated with rock fracture. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 57, p. 157-168.

Yamamoto, I., Kuga, K., Okabayashi, T. and Takashi, A., 2002. System for earthquake prediction research in the region of VHF frequency band. *Journal of Atmospheric Electricity*, v. 22, p. 267-275.

Yoshino, T. and Tomizawa, I., 1989. Observation of low frequency electromagnetic emissions at precursors to the volcanic eruptions at Mt. Mihara during November 1986. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 57, p. 32-39.

Warwick, J.W., Stoker, C. and Meyer, T.R., 1982. Radio emission associated with rock fracture: Possible application to the Great Chilean earthquake of May 22, 1960. *Journal of Geophysical Research*, v. 87, p. 2851-2859.

地中海の深部地震活動によって 大きな沈み込み帯は形成されそうもないのでは？

IS LARGE-SCALE SUBDUCTION MADE UNLIKELY BY THE MEDITERRANEAN DEEP SEISMICITY?

Giancarlo SCALERA

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

(岩本 広志・国末 彰司 [訳])

要 旨：地中海地域の深部地震帯は、アフリカとユーラシアが形成するはずの喧伝されている収束帯を持っていない。沈み込みスラブや和達-ベニオフ帯-中-深発震源として示されるが-が存在するはずのところ、ほんの浅い地殻内地震だけが検出されることがしばしばある。ほとんどの地球科学者は、妥当な説明がないまま、この地域での沈み込みの大半が非地震性であることを是認している。

南チレニア海、エーゲ海、南カルパチアの深部震源帯の調査によって、これらの孤立した震源の狭いブリューム（または房、フィラメント）は活動的な沈み込み場ではなく、それらは深部マントル物質の湧昇と関係した現象であることが明らかになった。造山帯の活動的上昇域の下にそれらが位置することは-他にも多くの手がかりが、さまざまな分野からえられている-、これらに包含されている現象に統一的解釈、つまり、造山作用と褶曲帯形成に新しい解釈をもたらす。

数 10km の衝上スラストや衝下スラストは大規模サブダクションとして誤認され、また、その下限深度である 50-70km（造山帯の根）は変成作用の起こる限界深度であろう。このような限界深度以浅では、表層へ向かうマントル流動による非静岩圧的過剰圧や、流体、超巨大地震および差応力の組み合わせが、上述の変成相（今日では、200km までの深度から由来すると推定される）、および、想定よりも浅いところでの生物/無生物起源の炭化水素合成の原因となる可能性がある。

キーワード：和達-ベニオフゾーン、地中海深部地震、鉛直変位、造山作用、マントル相変化、HP（高压）・UHP（超高压）変成作用、地球膨張

地中海深部地震帯

典型的な深部地震帯群が環太平洋の活動縁で解明され、その結果、伝統的な和達-ベニオフ帯のこれまでのイメージとは大きく異なるイメージが与えられた (Scalera, 2006c, 2007b & 2008)。震源配列そのものは、傾斜した平面やスプーン状曲面に配列しているわけではなく、深部へしだいに細くなる線状集団として、あるいはフィラメント状に配列する。南米の太平洋縁に沿う巨大地震 (1835, 1868, 1906 & 1960) は、年間火山噴火率の増大に関連している (Scalera, 2007b & 2008)。西および東ヒマラヤ対曲 [syntaxis] 帯の深部には深度 300km に達する 2, 3 の震源帯が存在し、孤立したフィラメント状震源域が存在するという問題を提起する。孤立した震源フィラメントは地中海地域にも存在し、それらの研究によって、既に得られた結論 (Scalera, 2007b & 2008) —大規模サブダクションはなく、20-30km の衝上断層が存在するにすぎない—が補強されるであろう。そして、それは多くの観察事実によって支持されるにちがいない。

既に知られているように、地中海地帯の深部地震は、喧伝されているアフリカとユーラシアの衝突によって発生するようには分布していない。沈み込みスラブと和達-

ベニオフ帯-中-深発震源に示される—が存在するはずのところ、ほんの浅い地震だけが検出される場合が非常にしばしばある。2, 3 の小規模震源帯が深度 200km 前後に存在し、1つの震源帯だけが 500km 以深に達している。このような状況のために、地中海地域で喧伝されている沈み込みの多くが非地震的であることを、妥当な説明もなく、ほとんどの地球科学者は是認せざるをえなくなっている。

アペニン・南チレニア海深部地震帯

イタリアでは、震源がアペニン山脈に沿って不均一に分布することが解明されていて、ここでは、50km 以深の震源はまれである (Chiarabba 他, 2005)。花綵状の震源分布パターンが、はっきりと認識できる。山脈の中軸部は、発震機構、測地測量 (Serpelloni 他, 2006)、他の証拠 (Salustri Galli 他, 2002) によって示されるように、現在では崩壊期に入っていて、花綵の地殻地震のほとんどが、深部物質の楔状貫入をもたらす力学作用にかかわっている。喧伝されている沈み込みスラブの存在は、このような震源分布と矛盾していて、実際には、マントル物質の運動と大規模な震源分布が示すより一般的な作用を示す兆候なのである。測地測量 (Devoti 他,

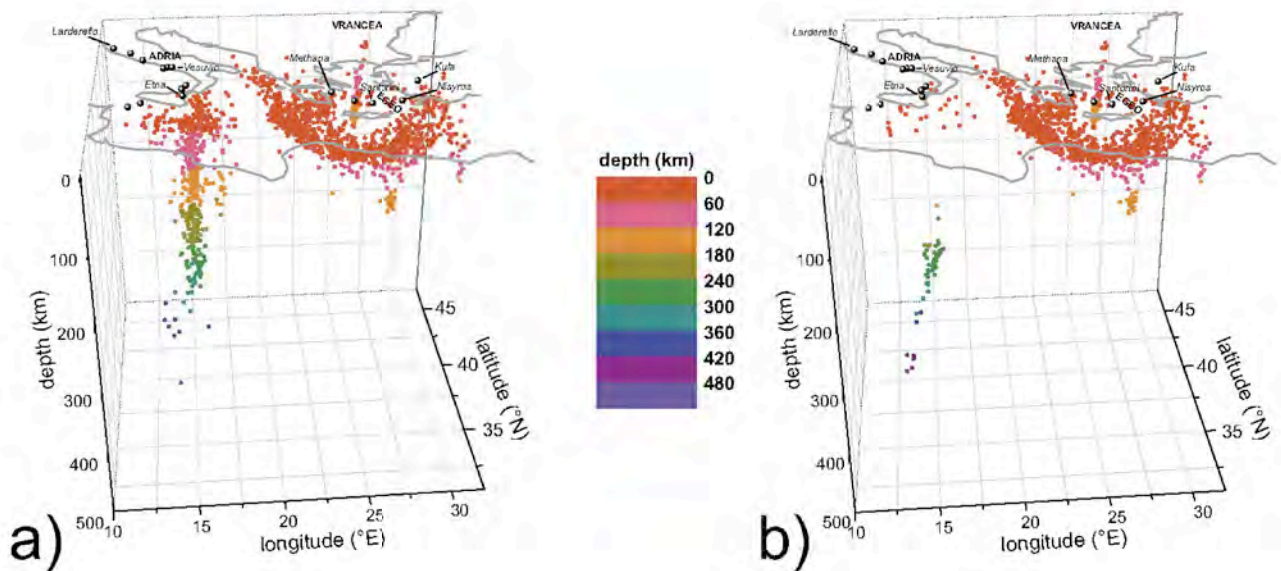


図1 地中海は4つの深部地震スポットによって特徴づけられる：南チレニア海，エーゲ海，西トルコ，ブランチア（カルパチア山脈の東曲）。4つの深部地震群の地理上の位置，それらの狭さ，および，方位角は，アフリカとユーラシアの間の非常に長い沈み込みフロントに関係した力学的作用と整合性に乏しい。地表の黒い点は，歴史噴火履歴をもつ火山の分布を示す。A) チレニアの震源はイタリア地震カタログ-INGV から，エーゲ海・ブランチアの震源は再決定された Engdahi 世界震源カタログから，b) すべての震源は，再決定 Engdahi 世界地震カタログから。

2002) とアペニン地震帯の形成メカニズムを考慮すると，アフリカとヨーロッパの収束は不可能であることが確実であるという。

図1aと1bから，南チレニア海の深部地震カタログの改良した結果を記述できる。Engdahi 他 (1998) のカタログを古い米国地質調査所 (USGS) の地球規模の地震帯のカタログに重ねあわされたデータがつけられたが，イタリア域では，CSI-INGV (INGV のイタリア地震カタログ) のほうがより優れている。イタリア地震カタログはほぼ完全なもので，特に中発地震帯に関しては可能な限りの注意を払った調査がされ (Frepoli 他, 1996; Chiarabba 他, 2005)，古い研究もより正確にとりあつかわれている (Caputo 他, 1970; とりわけ Giardini and Velona, 1991)。いわゆるスラブプルやロールバックにはスラブの引張場が求められるが，南チレニア海ではそのようになっていないことを示す証拠が増大している (Fepoli 他, 1996)。Hollenstein 他 (2003) は GPS データを用いて，カラブリア弧とシチリア弧の1994-2001年の地殻運動軌跡がロールバックによって予測される地表運動にことごとく矛盾することを示した。より新しい研究 (Argeani 他, 2007; など) も，同様の結論であった。これらの新しい測地学的証拠からみると，沈み込みは深部地震の原因とはなりえない。

エーゲ海深部地震帯

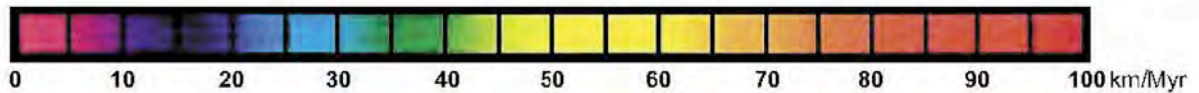
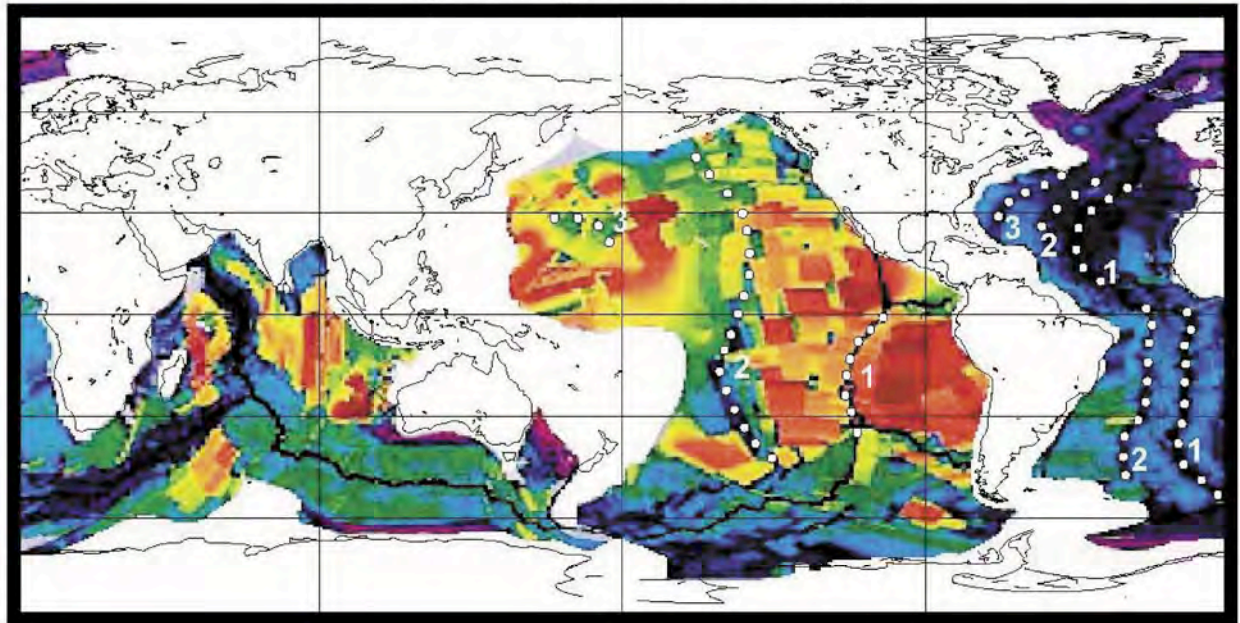
エーゲ海深部地震帯は半円環状に分布し，傾斜 30° - 50° で背弧側中心に向かって深くなり，傾斜角は地震帯の幅と深さに依存する。全体的にみると，震源は不規則な円錐面に分布しているようで，一般に深度は60kmを超えない。180kmを超える大深度の震源群は，孤立した2群としてだけ見いだされる。1群はクレタ島東端の下に

あり，もう1つはやや東方の南部アナトリアの下で，そこはヘレニア弧とキプロス弧の尖状会合部にあたる。

最近の地震トモグラフィ (Widiyantoro 他, 2004) はエーゲ海下に「これまで考えられていたよりもっと複雑なマンツルの流動軌跡」が示され，高速度異常がマンツル漸移帯中に水平に横たわるといふ全世界的傾向 (Fukao 他, 2001) がここでも確認される。高速度異常物質のもう一つの大きな塊は，660km不連続面の下に「トラップ」されていて，過剰なリソスフェア物質はこの小さな背弧システムの中に吸収されたという考えが浮かんでくる。実際，1997年にPapadopoulos (1997) は，ヘレニア弧地震帯の特徴にもとづいて，沈み込みによる旧来の解釈には少なくとも2つの大きな矛盾があることを見いだした。彼が記述したのは，1) トモグラフィにみられるリソスフェアスラブは少なくとも深度400kmまで貫入し，それはベニオフ帯の地震活動の最大深度に倍していて，その結果，2) 見積もられた沈み込み作用の最短持続時間は，地震テクトニクスによって計算されたもとも古い沈み込み開始期である13Maの2倍になる (Papadopoulos, 1997)。

アナトリア地方西部の比較的急速な南西方向への運動—測地学的に決定—のつじつまをあわせようとすると，震源メカニズム (McLusky 他, 2000; England, 2003; Serpelloni 他, 2007) に示されるエーゲ海地殻の引張応力場に矛盾する，レバントリフト系 (ヨルダンリフト，レバノンスプレイ，エルガルブリフト) は，大陸分裂が海洋拡大軸に進化した結果であるとの最近の解釈 (Mart 他, 2005) を受け入れるとすると，アラビアブロックとアナトリアブロックの衝突は体裁の悪い解決法になろう。

Spreading Half-Rate Map



Ocean Floor Age Map

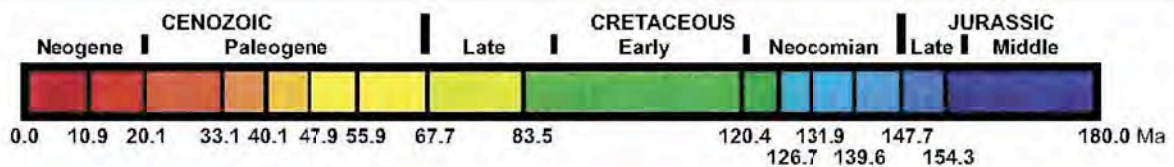
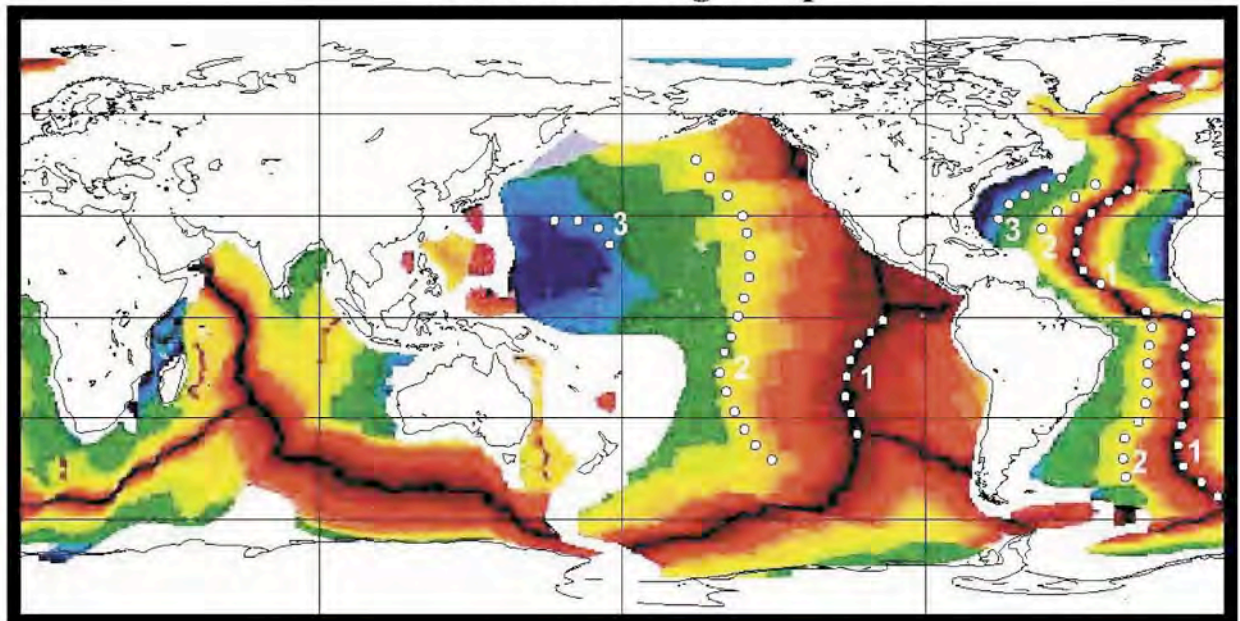


図2 ネオテクトニクス期 (Ollier and Pain, 2000; Ollier, 2003) を考慮して、海洋底年代と拡大半速度を使った簡単な実験 (Muller et al., 1997; McElhinny and McFadden, 2000; Muller et al., 2008). 大西洋と太平洋の拡大半速度(上図に番号1-3を付した白丸印)を最小とした場合の海洋底年代を下図に示す。最小の年代は、現在、白亜紀/新第三紀境界、及びジュラ紀/白亜紀境界の3つとした。これら3つの年代は、明らかに、いくつかの不確実性の影響を受けている。現在及び約10Maのネオテクトニクス期の造山運動による反作用と隆起は連続している。大陸昇降速度の低下、地球規模の膨張速度の低下と褶曲帯下へのマントル物質の突出メカニズムとの間の関係は、ネオテクトニック期として解釈される。現在のネオテクトニック期が、過去の拡大半速度の最小期2及び3の期間に相似するかどうか、今後研究すべきである。

西アナトリアの運動像とエーゲ海のリフト場の双方を説明するより良い原因は、マントルからの物質流動であり、それは、ユーラシアからアフリカがしだいに剥離 (デタッチメント) することへの応答として起きる。この南西向き流動は、南東方向へのチレニア流動と双子流 [twin flow] と考えることができ、両方向への流動は地中海の緩慢な開口から予測される結果である (Scalera, 2005a and 2006a)。

ヴァレンシア深発地震

南カルパティア弧 (図1) 下のヴァレンシア (ルーマニア) には、ほぼ鉛直の鉛直に分布する深発震源があり、地球科学においてはずっと注目されてきた。ヴァレンシア地域のトモグラフィ画像 (van der Hoeven et al., 2004; Weidle et al., 2005) は、カラブリア弧のトモグラフィ (Cimine and Marchetti, 2006) に極めて類似している。ヴァレンシア高速度異常はマントル遷移帯までほぼ鉛直に伸びているが、震源群は180km以深には達しない。ヴァレンシアの地震は、一般的にプレートの沈み込みの最終段階、スラブの後退、および、プレート境界の後退 (Weidle et al., 2005; Tomak and PANCARDI Team, 2006) に起因すると解釈される。しかし、深発震源の直上でえられるあらゆる証拠は地殻層の隆起を指示し、それは、劇的な逆転層序や古い地層の若い地層への衝上をとめない (図3参照 Knapp et al., 2005)、深部地殻の突出を示唆する。沈み込みは、屈折法地震探査線 VARENCEA'99 (Raileanu et al., 2005) の結果のみならず、観測されたプーゲー異常断面 (Nicolaeuscu and Rasca, 1992; Raileanu et al., 2005) に適合する密度モデルにも認められず、必要とされてもいない。

さらに、バノニア堆積盆地とカルパティア山脈の変成相図 (Strutinski et al., 2006) では、ヴァレンシアを中心とする広範な地域の地表では変成岩が完全に欠如している。これは、深発地震の発生とかかわって、これらの変成相の削剥・上昇が現在も進行中であることを示唆する。

結論と追加トピック

深発地震が分布する長い帯状地帯である環太平洋活動縁に加えて、陸半球では、山脈の最大湾曲部に線状の震源配列がみられる傾向にある。主な例は、東および西ヒマラヤ対曲、南カルパティア"対曲"帯、南アペニン (カラブリア弧) "対曲"帯、そしてエーゲ海島弧である。西アルプス下の深発地震ブルームの欠如は、不思議なギャップである。しかし、世界でも屈指の深部地殻露出箇所の一つであるイブレア (Ivrea) 帯の存在は、深部物質の上昇にブルームが関連していることを示す傍証傍証である。ヴァレンシアでは消滅していないにも関わらず、西アルプス下でこの種のブルームが消失していることは、地質時代の中では比較的急変が起こることを示唆する。ヴァレンシアでは、マントル湧昇と地震が連動し、これらは、未だ埋没している変成岩類の上昇を反映

し、地上への運搬途上にあることを示唆する。そして、ヴァレンシアの孤立した深発震源は、地表浸食による深部物質の発掘の最終段階と解釈される。

上述の地帯では、巨大スケール (数百 km 以上) の沈み込みが疑問視される。しかも、私の反論は、地中海地域では少なくともジュラ紀以降継続しているとされる沈み込みがありえないことを確認するものであり、それは図1の三次元図をみれば容易に理解される。喧伝されているアフリカとユーラシアの衝突による機械的なアンダースラスト作用では、2つの大陸間の長い相互作用帯からはなれて分布するいくつかの孤立した明瞭な震源ブリュームーリフ山脈からアトラス山脈、アドリア海、ディナルアルプス、アナトリア地方に達する一を形成しえない。図1に明示されるように、4つの深部ブリュームの傾きと方向は全く異なっている。その本性は、環太平洋縁のパターン (Scalera, 2007, 2008) と同様、孤立したスポットであり、深部起源の擾乱といったアイデアを支持する。地中海域の孤立した深発地震群は鉛直方向の物質移動に関連したものであることは、反対側の半球 [海半球] に比べてより明瞭である。この上昇物質は、その上の褶曲帯や堆積盆の形成すると考えられる。

上述の結論を説明するモデルは、すでに開発され、他の雑誌等でも公表されている (Scalera, 2006c, 2007a, 2007b, 2007c, 2008)。ここでは、モデルの主な特徴と従来の報告にはない新しい側面 (下記第5項目) について要約する。

- i) 地殻やリソスフェアの上昇は、地殻の引張や堆積盆地の開口の原因となる。
- ii) 2つのリフト縁の間の空間は、マントル物質の孤立した湧昇によって埋められる。
- iii) 上昇した物質は、格子間隔がより大きくなるように相変化し、準安定状態で永続的に保たれる。
- iv) 相変化 (Green and Ringwood, 1970; Ringwood, 1991) は余剰容積を生み出し、容積の増加をもたらす。こうして、物質は地表に押し出される。地表への露出効率は、上昇速度と反比例する。深発地震は相変化に関係し、準安定状態から一連の地震や地塊の上昇の開始によって変形しつつある深部に発生する。
- v) 地表への露出効率は、地球の世界的な膨張と反比例するようだ。図2に示される海洋の半拡大図 (Muller et al., 1997; McElhinny and McFadden, 2000; Muller et al., 2008) には、3回の拡大極小期 (現在、白亜紀後期、ジュラ紀後期) が見られる。現在の極小期はネオテクトニック期 (Ollier, 2003; Ollier and Pain, 2000) - 最近数百万年間の期間 - と称され、著しい衝上断層帯で新たな褶曲・衝上が発生した。もし、地球膨張による世界的隆起が止まれば、より低密度の脆性相へ連続的に転換し、地表への露出や褶曲帯とは関係なく、物質上昇の準安定状態が永続する。仮にネオテクトニック期と現在の半拡大極小期の一致が事実であるとすると、過去の地質時代、特に白亜紀後期、ジュラ紀後期の半拡大速度ステージには、別のネオテクトニック期が見出されるはずである (図2)。最終的な評価は今後下される

であろうが、これは研究に値する課題である。

vi) 突出作用と突出した物質は、褶曲帯を形成する。押しかぶせ断層と重力性拡大 [gravity spreading] は突出物質のピストン効果によって助長される。重力の拡大だけでは、実際に観察される押しかぶせ断層の形成には不十分である。

vii) 非静岩的過圧を受ける造山帯という '鍛冶場' に由来する高圧および超高压変成作用は、造山帯根部 (深さ 50-70km) 以浅の巨大地震 (Mancktelow, 1995; Mancktelow and Gerya, 2008) によって、上昇するマントル物質と古い岩石圏の間の境界を形成しているのだろう。

viii) 同じ過圧力状態は、このモデルで浅部に生じる高温状態とともに、生物起源ならびに非生物起源の炭化水素合成に関わっている。

謝辞 Cliff Ollier 氏は原稿を読んで、多くの修正と改善を示してくれた。彼に大いなる感謝の意を表する。

文献

- Argnani, A., Serpelloni, E. and Bonazzi, C., 2007. Pattern of deformation around the central Aeolian Islands: evidence from multichannel seismic and GPS data. *Terra Nova*, v. 19, p. 317-323.
- Caputo, M., Panza, G.F. and Postpischl, D., 1970. Deep structure of the Mediterranean Basin. *Jour. Geophys. Res.*, v. 75, p. 4919-4923.
- Chiarabba, C., Jovane, L. and Di Stefano, R., 2005. A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings. *Tectonophysics*, v. 395, p. 251-268.
- Cimini, G.B. and Marchetti, A., 2006. Deep structure of peninsular Italy from seismic tomography and subcrustal seismicity. In: Lavecchia, G. and G. Scalera (eds.), "Frontiers in Earth Sciences: New Ideas and Interpretations". *Annals of Geophysics, Supplement to v. 49*, p. 331-345.
- Devoti, R., Ferraro, C., Guegen, E., Lanotte, R., Luceri, V., Nardi, A., Pacione, R., Rutigliano, P., Sciarretta, C. and Vespe, F., 2002. Geodetic control on recent tectonic movements in the central Mediterranean area. *Tectonophysics*, v. 346, p. 151-167.
- Engdahl, E.R., van der Hilst, R.D. and Buland, R.P., 1998. Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination. *Bull. Seism. Soc. Amer.*, v. 88, p. 722-743.
- England, P., 2003. The Alignment of Earthquake T-Axes with the Principal Axes of Geodetic Strain in the Aegean Region. *Turkish Journal of Earth Sciences*, v. 12, p. 47-53.
- Frepoli, G., Selvaggi, G., Chiarabba, C. and Amato, A., 1996. State of stress in the Southern Tyrrhenian subduction zone from fault-plane solutions. *Geophysical Journal International*, v. 125, p. 879-891.
- Fukao, Y., Widiyantoro, S. and Obayashi, M., 2001. Stagnant slabs in the upper and lower mantle transition region. *Reviews of Geophysics*, v. 39, p. 291-323.
- Giardini, D. and Velon, M., 1991. The Deep Seismicity of the Tyrrhenian Sea. *Terra Nova*, v. 3, p. 57-64.
- Green, D. and Ringwood, A., (eds.) 1970. Phase Transformation & the Earth's Interior. Proceedings of the symposium held in Canberra, 6-10 January 1969, by the International Upper Mantle Committee and the Australian Academy of Sciences, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 519p.
- Hollenstein, H., Kahle, G., Geiger, A., Jenny, S., Goes, S. and Giardini, D., 2003. New GPS constraints on the Africa-Eurasia plate boundary zone in southern Italy. *Geophys. Res. Lett.*, v. 30, 1935. doi:10.1029/2003GL017554.
- Knapp, J.H., Knapp, C.C., Raileanu, V., Matenco, L., Mocanu, V. and Dinu, C., 2005. Crustal constraints on the origin of mantle seismicity in the Vrancea Zone, Romania: The case for active continental lithospheric delamination. *Tectonophysics*, v. 410, p. 311-323.
- Mancktelow, N.S., 1995. Nonlithostatic pressure during sediment subduction and the development and exhumation of high pressure metamorphic rocks. *Jour. Geophys. Res.*, v. 100 (B1), p. 571-582.
- Mancktelow, N.S. and Gerya, T.V., 2008. Non-lithostatic pressure during deformation. *EGU General Assembly 2008, Vienna, Geophysical Research Abstracts*, v. 10.
- Mart, Y., Ryan, W.B.F. and Lunina, O.V., 2005. Review of the tectonics of the Levant Rift system: the structural significance of oblique continental breakup. *Tectonophysics*, v. 395, p. 209-232.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N. and Veis, G., 2000. Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Jour. Geophys. Res.*, v. 105 (B3), p. 5695-5719.
- McElhinny, M.W. and McFadden, P.L., 2000. *Paleomagnetism, continents and oceans*. Academic Press, New York, 380p.
- Müller, R.D., Roest, W.R., Royer, J.Y., Gahagan, L.M. and Selater, J.G., 1997. Digital isochrons of the world's ocean floor. *Jour. Geophys. Res.*, v. 102, p. 3211-3214.
- Müller, R.D., Sdrolias, M., Gaina, C. and Roest, W.R., 2008. Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, v. 9, Q04006, doi:10.1029/2007GC001743.
- Nicolescu, A. and Rosca, V., 1992. Map of the Bouguer anomaly in Romania, 1: 1,000,000. The Geological Institute of Romania.
- Ollier, C.D., 2003. The origin of mountains on an expanding Earth, and other hypotheses. In: G. Scalera and K.-H. Jacob (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 Publication, Rome), p. 129-160.
- Ollier, C.D. and Pain, C.F., 2000. *The Origin of Mountains*. Routledge, London, 345p.
- Papadopoulos, G., 1997. On the interpretation of large-scale seismic tomography images in the Aegean Sea area. *Annali di Geofisica*, v. XL, p. 37-42.
- Raileanu, V., Bala, A., Hauser, F., Prodehl, C. and Fielitz, W., 2005. Crustal properties from S-wave and gravity data along a seismic refraction profile in Romania. *Tectonophysics*, v. 410, p. 251-272.
- Ringwood, A.E., 1991. Phase transformations and their bearing on the constitution and dynamics of the mantle. Inaugural Ingerson Lecture delivered on May 12 1988 at the Goldschmidt Conference held in Baltimore, *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 55, p. 2083-2110.
- Salustri Galli, C., Torrini, A., Doglioni, C. and Scrocca, D., 2002. Divide and highest mountains vs subduction in the Apennines. *Studi Geologici Camerti*, v. 1, p. 143-153.
- Scalera, G., 2005a. A new interpretation of the Mediterranean arcs: Mantle wedge intrusion instead of subduction. *Boll. Soc. Geol. It.*, Volume Speciale, no. 5, p. 129-147.
- Scalera, G., 2005b. The geodynamic meaning of the great Sumatran earthquake: inferences from short time windows. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 35, p. 8-23.
- Scalera, G., 2006a. The Mediterranean as a slowly nascent ocean. In: Lavecchia, G. and G. Scalera (eds.), "Frontiers in Earth Sciences: New Ideas and Interpretations". *Annals of Geophysics, Supplement to v. 49*, p. 451-482.
- Scalera, G., 2006b. TPW and Polar Motion as due to an asymmetrical Earth expansion. In: Lavecchia G. and Scalera G. (eds.), 2006, "Frontiers in Earth Sciences: New Ideas and Interpretations". *Annals of Geophysics, Supplement to v. 49*, p. 483-500.
- Scalera, G., 2006c. The geodynamic meaning of the deep earthquakes: first clues for a global perspective for fold belts? *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 41, p. 45-54.
- Scalera, G., 2007a. Terremoti, trasformazioni di fase, catene a pieghe: possibile una nuova prospettiva globale? *Rend. Soc. Geol. It., Nuova Serie*, v. 4, p. 296-299.
- Scalera, G., 2007b. Geodynamics of the Wadati-Benioff zone earthquakes: The 2004 Sumatra earthquake and other great earthquakes. *Geofisica Internacional*, v. 46, p. 19-50.
- Scalera, G., 2007c. A new model of orogenic evolution. *Rend. Soc. Geol. It., Nuova Serie*, v. 5, p. 214-218.
- Scalera, G., 2008. Great and old earthquakes against great and old paradigms — paradoxes, historical roots, alternative answers. *Advances in Geosciences*, v. 14, p. 41-57
- Searle, M., Bradley, R.H. & Bilham, R., 2001. The Hindu Kush Seismic Zone as a Paradigm for the Creation of Ultrahigh-Pressure Diamond- and Coesite-Bearing Continental Rocks. *The Journal of Geology*, v. 109, p. 143-153.
- Serpelloni, E., Anzidei, M., Baldi, P., Casula G. and Galvani, A., 2006. GPS measurement of active strains across the Apennines. In: Lavecchia, G. and G. Scalera (eds.), "Frontiers in Earth Sciences: New Ideas and Interpretations". *Annals of Geophysics, Supplement to v. 49*, p. 319-329.
- Serpelloni, E., Vannucci, G., Pondrelli, S., Argnani, A., Casula, G., Anzidei, M., Baldi, P. and Gasperini, P., 2007. Kinematics of the Western Africa-Eurasia plate boundary from focal mechanisms and GPS data. *Geophys. Jour. Int.*, v. 169, p. 1180-1200.
- Strutinski, C., Puște, A. and Stan, R., 2006. The metamorphic basement of Romanian Carpathians: a discussion of K-Ar and ⁴⁰Ar/³⁹Ar ages. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia*, v. 51, p. 15 - 21.
- Tomek, Č. and PANCARDI Team, 2006. Dynamics of Ongoing Orogeny. PANCARDI Report, p. 14-26.
- van der Hoeven, A., Schmitt, G., Dinter, G., Mocanu, V. and Spakman, W., 2004. GPS Probes the Kinematics of the Vrancea Seismogenic Zone. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, v. 85 (19), 11 May, p.185 & 189-190.
- Viti, M., Albarello, D. and Mantovani E., 2006. Quantitative insights into the role of gravitational collapse in major orogenic belts. *Annals of Geophysics*, v. 49, p. 1289-1307.
- Weidle, C., Widiyantoro, S. and CALIXTO Working Group, 2005. Improving depth resolution of teleseismic tomography by simultaneous inversion of teleseismic and global P-wave traveltimes data—application to the Vrancea region in Southeastern Europe. *Geophys. Jour. Int.*, v. 162, p. 811-823.
- Widiyantoro, S., van der Hilst, R.D. and Wenzel, F., 2004. Deformation of the Aegean Slab in the Mantle Transition Zone. *International Journal of Tomography & Statistics*, D04, p. 1-14.
- Zeitler, P.K., Meltzer, A.S., Koons, P.O., Craw, D., Hallet, B., Chamberlain, C.P., Kidd, W.S.F., Park, S.K., Seeber, L., Bishop, M. and Shroder, J., 2001. Erosion, Himalayan geodynamics, and the geomorphology of metamorphism. *GSA Today*, v. 11, p. 4-9.



太平洋の地質と地質構造の発達 PART 2 : パプアニューギニアの金に富む TABAR-FENI 火山弧への広域的構造規制

GEOLOGY AND TECTONIC DEVELOPMENT OF THE PACIFIC OCEAN PART 2: REGIONAL STRUCTURAL CONTROL ON THE AURIFEROUS TABAR-FENI VOLCANIC ARC, PAPUA NEW GUINEA

Dong R. CHOI

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

Romeo RODRIGUEZ

Lihir Island, New Ireland Province, Papua New Guinea
romeo.rodriquez@lglgold.com

Boris I. VASILIEV

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

(柴 正博 + 小松 宏昭 + 久保田 喜裕 [訳])

要旨: パプアニューギニアのとても金に富む北西-南東方向の火山弧, Tabar-Lihir-Tanga-Feni 弧 (T-F 弧) はニューアイルランドの東方にあり, 西太平洋における北オーストラリアと中央パプアニューギニアからビスマルク海と北オントジャワ海台までひろがる鉛直方向の主要な構造の高まり (ケープヨーク-ビスマルク海背斜, あるいは C-B 背斜) のトレンドの上に位置する. このトレンドは北オーストラリアを NS に走り, パプアニューギニアの中央高地を NE-SW 方向に, ビスマルク海を ENE-WSW に延び, 北オントジャワ海台で再び NE-SW 方向になる. T-F 弧に沿う世界規模の金鉱化作用は, 特に Lihir 島で, C-B 背斜と T-F 弧に隣接している NW-SE 方向の世界的規模の鉛直深部構造帯 (西太平洋深部構造帯) との会合点で起こったユニークな深部マグマ活動に起因する. 巨大な Lihir (Ladolam) 金鉱床と T-F 弧の火山の特異な地球化学特性は, この地域の地質構造によって最も良く説明される. T-F 弧における鉱床とマグマ/地熱活動の究極の源は, コアに求められなくてはならない. 新しい地質構造の解釈は, オントジャワ海台における炭化水素資源に肯定的な見通しをあたえる.

キーワード: Tabar-Feni volcanic arc, Cape York-Bismarck Sea Anticline, gold deposit, geothermal activity, structural control, Lihir Island

1. はじめに

本論文の筆頭著者は, パプアニューギニアの Tabar-Feni 火山弧における世界的規模の Lihir 金-地熱フィールドの構造を研究する機会をえた (図 1-4). その研究は 2008 年 4 月-6 月におこなわれ, Lihir 鉱山の地質構造調査プログラムのための掘削井画像処理システム (BIPS) が利用された. このシステムは, 日本の札幌にある Raax 社の Shunich KAMEWADA 氏によって開発された. 鉱山に滞在期間中の筆頭著者の自由時間に, 彼は広域的な, そして局地的な地質/構造データを研究し, そして Lihir 鉱山の多くの地質研究者・地球物理研究者と詳細な議論を行った. Vasiliev は後に, 西太平洋, 特にオントジャワ海台におけるドレッジと掘削の重要情報を提供することによっての研究に参加した.

後ほど説明するが, Lihir 金鉱床 (あるいは Ladolam 金鉱床) は多くの点でユニークである. それは世界最大の

浅熱水性金鉱床のひとつである. それは, 更新世におけるルーズ火山の部分的山体崩壊後に地表に露出した. それは, 活発な地熱フィールドとしても機能し, 発電に利用されている.

Lihir 鉱床と T-F 火山弧を説明するために, これまでの出版物のほとんどすべてが, 批判的な検討をしないまま, やみくもにプレート地質構造モデルを採用してきた: Manus-Kilinailau 海溝における太平洋プレートの沈み込み, ならびに, オーストラリアプレートとオントジャワ海台の衝突 (Johnson, 1979; Petterson et al., 1999; など多数). . それに対して, Lindley (2006 & 2007) のような若干の研究者がプレートの沈み込みを拒絶して, パプアニューギニア地域で伸張的な鉛直テクトニクスを提案した. 彼の考えは, ニューアイルランドからニューブリテンにわたる中新世の炭酸塩プラットフォームが隆起して, 穏やかに傾斜しているという観察に基づいている.

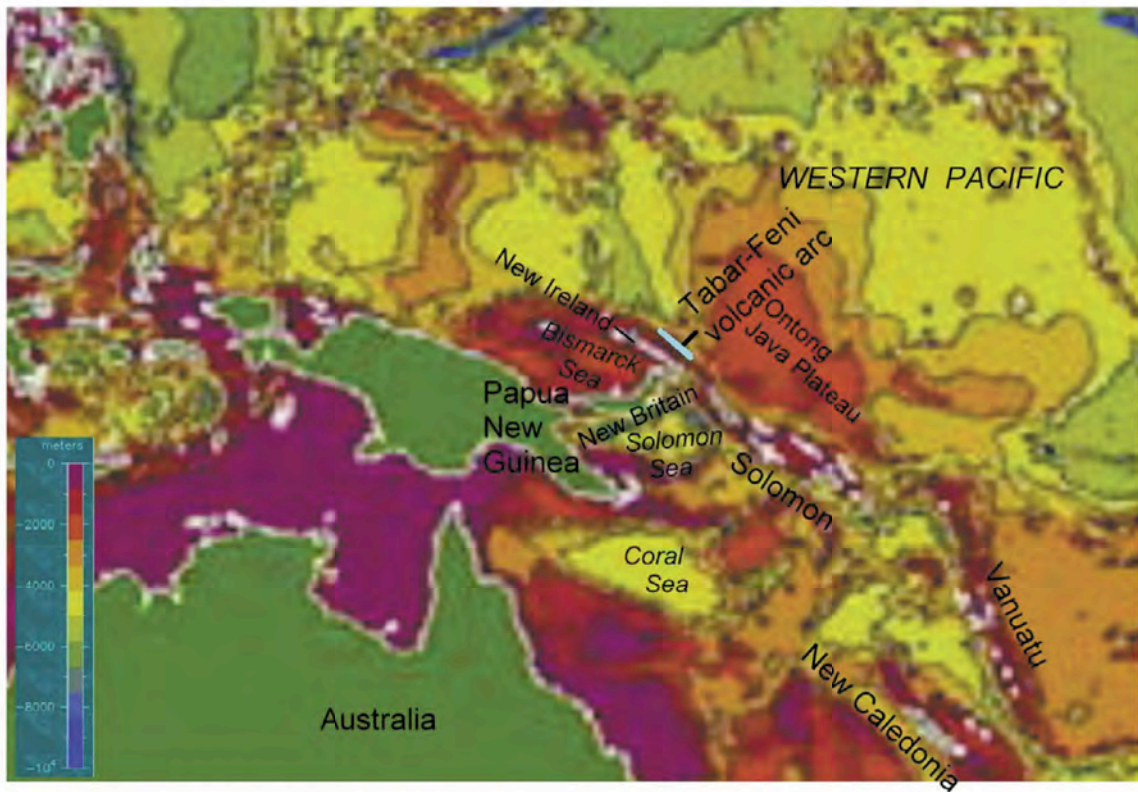


図1 位置図と DEOS サイトから作成された Tabar-Feni 火山弧周辺の海底地形図。



図2 Lihir 金山 (Ladolam 鉱床) の Lienetz Pit を西側から臨む (2008 年 4 月末)。露天採鉱は Luise 火山の中で行われていて、地熱がまだ活動的である。Ladolam 鉱床は世界最大の浅熱水金鉱床のひとつである。

広く受容されたモデルに反対して、筆頭著者は、ジュラ紀にはじまる現代の太平洋の形成 (あるいは沈降) 過程で、西太平洋の主要深部構造帯が果たした重要な役割を強調してきた (Choi, 2005; Choi and Vasiliev, 2008). すなわち、西部太平洋深部構造帯 [the Western Pacific Deep Tectonic Belt: : 新称] は、北西太平洋

の Susongchon-琵琶湖-マリア構造帯、西太平洋のソロモン-フィジー構造帯、および、南西太平洋のニューギランド-フィジー構造帯からなる (図 10). 彼は、これらの深層構造帯に沿って発達した深部地震帯が太平洋の中生代海盆の発達と直接に関連すること、ならびに、これらの構造帯が、大陸下の地震波高速異常マントルと海洋下の低速異常マントルとの境界に位置することを指

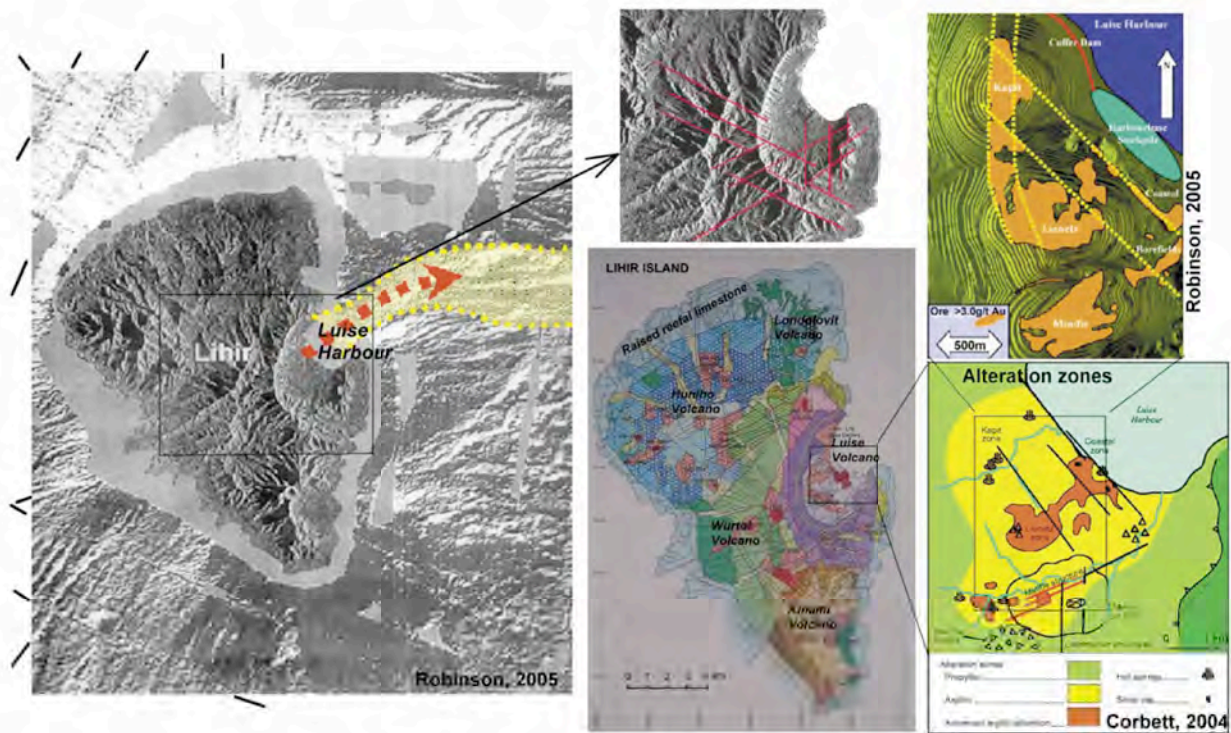


図3 海底陰影地形 (左: Robinson, 2005), 地質図 (中央, Lihir Gold Limited, 1999) および Ladolam 金鉱区 (右: Corbett, 2004; Robinson, 2005). 左図の黄色部は Luise 火山体の崩壊によって供給された海底岩屑物を示す. Lihir 島の位置は図4 参照.

摘した.

新しい地質構造概念に導かれて, 私たちは西太平洋の Lihir 金-地熱フィールドと, Tabar-Feni 火山弧とその周囲地域の利用可能なデータを解析した. 我々の研究は, T-F 弧とオントジャワ海台の地質構造に多くの興味深い解釈をもたらした. その構造解釈は, 特に Lihir で, 弧に沿った巨大な金鉱床と地熱の活動の局地化をうまく説明できる.

私たちは, この論文を Choi and Vasiliev の太平洋テクトニクス・シリーズの第2部として提示する. 第3部では, 我々は太平洋とその縁辺の地震-トモグラフィ画像に関する地質学的解釈を紹介し, 深部マントル構造を論じる.

2. Tabar-Feni 火山弧と Lihir の金-地熱フィールド

T-F 火山弧は一連の火山島群を形成し, ニューアイルランドと非活動な Kilinailau 舟状海盆との間に, それらと平行して延びている (図4). 最も古い火山活動は北西の Tabar 群島に発生し, 最も若い火山は Feni 群島にあり, 2,300YBP の水蒸気噴火が知られている (Licence et al., 1987). 地熱活動は列島の4つの島群すべてに存在し, 浅熱水性金鉱化作用が Lihir, Tabar と Feni に見いだされている. この島弧火山岩類の地球化学特性は島弧型火山岩類としては異常で, 著しくカリウムに富み, 苦鉄質で, 珪酸に不飽和である (Carman, 1994; Patterson et al., 1997). McInnes (1991) は揮発性物質を多く含む鉱物相 (燐灰石, アウイン-方ソーダ石, 方沸石, 角閃石と金雲母など) の存在を指摘し, それ

ランプロファイヤー (煌斑岩) にともなうことを示唆した. 彼は, 同じくマグネシウム・鉄・クロムの高い含有率は大洋島環境のアルカリ玄武岩と類似していることに注目した. Lindley (1988) は, カルクアルカリ火山活動によって特徴づけられるブーゲンビルおよびニューブリテン諸島と対照させて, T-F 弧とニューアイルランドの主要部をアルカリ火山区に含めた. この列島は, ブーゲンビルおよびニューブリテン諸島下へ北方のニューブリテン海溝から降下する活発な和達-ベニオフ帯の上には位置していない. また, この火山活動は, 古い西メラネシア海溝に関連づけられた南方に降下する沈み込みシステムの上に形成されたにしてはあまりにも若すぎる. したがって, その弧の起源は謎めいたままである. 本研究はこれらの諸島がマントル/核起源であることの証拠を提供する.

Bogie et al. (2005) は, 特定のマグマ型と主要な経済的鉱床の間の相関関係を探究した. Muller and Groves (2000) と Mungal (2002) による研究に基づいて, 彼らはアダカイト質マグマが, Lihir と同等の大鉱床を形成する熱水系として最も好ましいと判断した. その理由は, アダカイト質マグマが硫化物に不安定で, 十分に高酸化状態であるためである. 硫化物はマグマの上昇中には沈積できないため, アダカイト質マグマがマントルで発生し, その後, 地殻浅部のアクセス可能な深度で硫化物として析出するまで, 銅と金の効果的輸送媒体となる.

この島弧のユニークさは, 次のことから強調される. すなわち, Lihir 島近くの火山性海山 (Tubaf と Edison 海山) でドレッジされた溶岩中の捕獲岩にマントル由

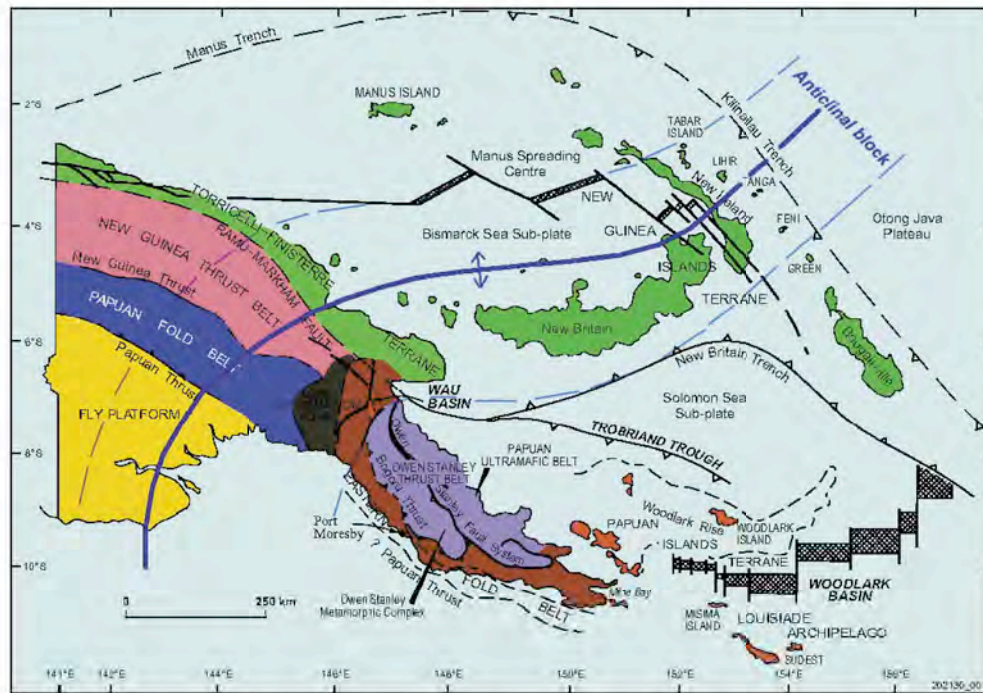


図4 パプアニューギニアの構造図 (Corbett, 2004). Cape York - Bismark 海背斜区が加筆されている。ビスマルク海の黒い線は、サイドスキャンソナーによって決定されたリニアメントである。二重線は拡大する中央海嶺を表し、単線はトランスフォーム断層を表す (Madsen and Lindley, 1994 ; Carman, 2003 ; Lindley, 2006)。

来の超塩基性岩が発見された (McInnes et al., 1999; Kamenov, et al., 2005). McInnes et al. (1999) は, Ladolam の金が主にマントル由来であると結論した. Lihir 島の南 10 km にある海山 (Conical 海山) の溶岩は, 多金属硫化物と黄鉄鉱の鉍化網をともなう金に富む珪質脈を含む (Petersen et al., 2002). これらの事実とビスマルク海における高い重力異常は, この研究地域においてマントルが浅い深度に存在することを支持する.

Lihir 島の Ladolam 金鉍床は 1960 年代から集中的に調査された (Moyle et al., 1990). Corbett et al. (2001), Corbett (2004) と Robinson (2005) は鉍床の局地化と鉍化パターンを支配する構造を詳述した. それらの仕事の一部を図 3 (右図) に示す. 3 つの主要な構造方向—NW-SE, ENE-WSW (NE-SW) および N-S—が観察され, これらは主要構造の交差部に主要鉍床が胚胎している.

まったく同じ構造方向の組み合わせが, より広域的スケールでも認識される (Lihir 島とその周囲の海底地形: 図 3 の中央と左の図). Lihir 島の南と北西の海底の高まりは, NE-SW, NW-SE および N-S 方向の鮮やかな線状構造を示す. Lihir 島の地質図も, 調和的にこれら 3 方向の断層パターンを示す. さらに, オントンジャワおよび西太平洋の重力異常図 (図 9) には, 同様の 3 方向の線状パターンのセットがみられる.

3. ヨーク岬 - ビスマルク海背斜 (Cape York-Bismark Sea Anticline)

北オーストラリア - パプアニューギニアにおけるこの

構造的高まりは, 筆頭著者によって説明されている (Choi, 2005, p. 98). 彼はこの背斜の根拠を複数の地質図と, 地表に露出した古い岩石やマントルからもたらされた物質の分布を描いた刊行物に拠っている (図 4・5 ; Davies, 1971 ; Bain et al., 1972 ; D'Addario et al., 1976). この背斜の最も顕著な特徴は, パプアニューギニアの中央高地に見ることができる. 上部古生層は, Hagen 山の南東で最も隆起していて, そこは Kegeraga-Kubor 背斜と C-B 背斜の交差部にあたり, 多くの有用鉍床が集中する. 背斜軸は後期トリアス紀のブロックを横切って北東に伸び, ジュラ紀から白亜紀の超塩基性岩 (ハルツバージャイト・パイロキシナイト・ペリドタイト・ガプロなど) の貫入岩に達している. 軸は Madang 南の Astrolabe 湾に延びると推定される (図 5).

これに関連して, Madang 超塩基性岩体の露出は, それが Astrolabe 湾下に伏在すること, ビスマルク海の広範囲にマントル起源物質が存在する可能性を示唆する.

この背斜軸は, 地質・地球物理データの不足のため, ビスマルク海まで追跡することは困難である. しかしながら, 地形と重力データは, New Britain 島中央部を通過して, ソロモン海中央部から Manus 島西部に至る北西 - 南東方向の明確な高まりをす. ビスマルク海南部では全体的に高重力異常であり, 水深は比較的浅い. ビスマルク海南部における東北東 - 西南西方向の構造の存在を確定する証拠は, 周辺の地震データに見ることができる. 図 6 は 2 グループの地震を比較したものである. 1 つは震源深度が 1 - 299 km の浅いもの, もう 1 つは 300 - 660 km の深いものである. この図からわかるように, 浅い地震の分布は島弧方向に沿い, 深い地震の分布は, 深



図5 もう一つのパプアニューギニアのBMR地質地図 (Bain et al., 1972). この地図はKubor ~ Astrolabe 湾にのびる北東-南西方向の構造的な高まりの存在を示す. Astrolabe 湾の南西部そして Madang, Astrolabe 湾の北において, Bundai 断層と Ramu - Markham 断層の間の背斜軸上の超塩基性岩に注意. それは Astrolabe 湾の下に超塩基性貫入岩を示唆する.

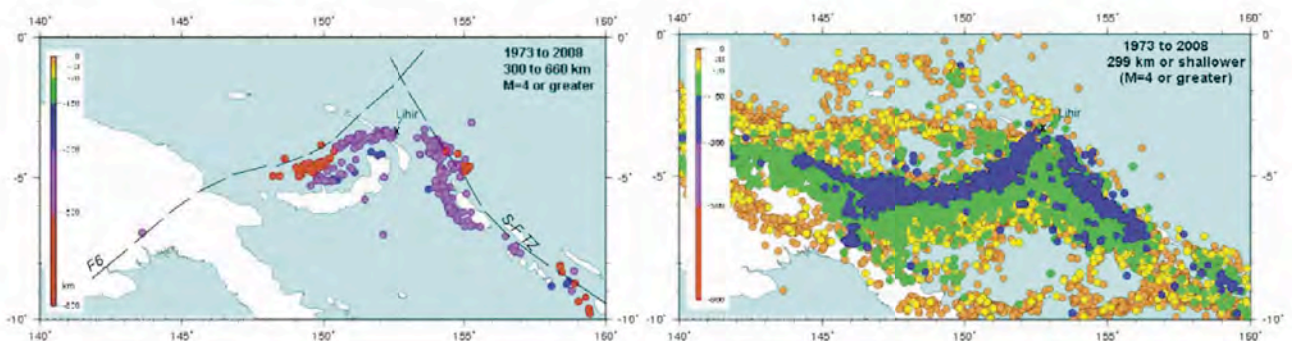


図6 南西太平洋における 1973 ~ 2008 年のマグニチュード 4.0 以上の地震分布. 左は 300km 以深の深発地震, 右は 299km 以浅の地震分布.

部断裂や構造的境界をなす直線に沿っている (Choi, 2005 に詳細が掲載), この東北東-西南西方向の構造は, オーストラリアの G6 リニアメント (O' Driscoll, 1986) に連続する (Choi 2005). 加えて, サイドスキャンソナーのデータによると, Madsen・Lndley (1994) や Lndley (2006) が描いたビスマルク海における地震リニアメントは, 一般に東北東-西南西方向を示す (図 1). それらの「拡大中心」は, 背斜ブロックの縁辺部に発達する断層群に相当すると考えられる.

興味深いもうひとつの事実は火山帯である (図 13). 以前 Kransy (1970) は, カルクアルカリ岩石区とソレアイト岩石区の境界を, New Ireland 北部から New Britain 諸島を結ぶラインの周辺に引いた. そのラインは C-B 背斜の軸にほぼ一致する. その後, Lindley (1988) は New Ireland 南端の Bougainville と New Britain をカルクアルカリ岩石区に含め, New Ireland 主要部と

Tabar-Feni 弧をアルカリ岩石区に含めた. それらの境界は C-B 背斜軸にほぼ一致する. 後になって McInnes と Cameron (1994) は New Ireland 全体と Hanover 島をカルクアルカリ岩石区に含めた.

ビスマルク海南部の北東-南西方向の深部構造の存在は, 地殻熱流量にも見出される. Tuzov and Lipina (1988) は, 地震が集中するビスマルク海南部では熱流量が非常に高い (200mW/m² 以上) ことを示した. Choi (2005) は, 西太平洋の広い海域の高い熱流量と地球深部の大構造には密接な関連があると指摘した.

ビスマルク海南部の東北東-西南西の構造的方向に関する間接的証拠は, ビスマルク海の起源の解釈にある. 私たちは, ビスマルク海は, 東北東-西南西方向 (C-B 背斜) と北西-南東方向 (図 13) の 2 つの背斜軸の会合部に発生したマンテドームの海洋化作用の結果形成され

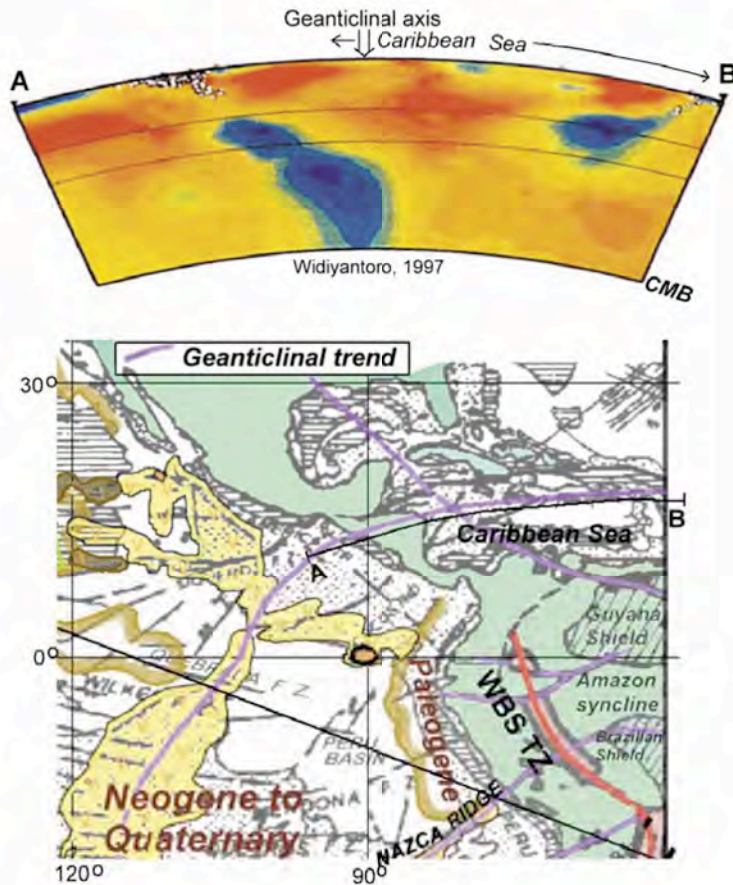


図7 上図: カリブ海におけるマントル地震波速度構造. マントル物質の上昇が描かれている. Widiyantoro (1997, Fukao et al., 2001で引用)の上図と下図は, Choi and Vasiliev (2008)を修正, CMB: 核/マントル境界, WBSTZ: ブラジル盾状地西部の構造帯, 上図左側の巨大高速異常は核まで達していることに注目. この巨大断裂は, 古第三紀以来, 太平洋の形成に関連してきたと推定される.

たと考えている. 後者のソロモン海への南方延長は, 高重力異常帯として識別される. 有効なドレッジや掘削データは得られていないが, パプアニューギニアの地表や海底の多くの地点に, マントル起源の超塩基性岩が露出している. それらは, Astrolabe 湾西部の中心島である Madang (図5ですすでに解説), パプアニューギニア南東の広い地域 (図4: Davies), そして Lihir 島の南の海底火山 (McInne et al., 1999) である.

ビスマルク海のマントルドームと似たものは, カリブ海に見られる (図7). カリブ海のマントルドームは, 2つの大きな地背斜軸の会合部に位置する. 地背斜の1つはブラジル-ギアナ盾状地を通る北西-南東の南アメリカ方向の軸をもち, もう1つは中部太平洋海嶺の東への延長である (Choi, 2005; Choi and Vasiliev, 2008). そのドーム構造は, カリブ海を横断するマントルトモグラフィによって描き出された (Widiyantoro, 1997 in Fukao et al., 2001; 図7上). この断面図では, 直線状の高速異常帯 (青色) は, 沈み込む海洋スラブではなく, 大規模な破碎システムもしくは逆断層群 (気体や液体が逸失) を示すものと解釈される. カリブ海の中心に向かう両側の傾いた地震波の高速異常と中心部の低速度マントルの存在は, マントルの湧き出しを示唆すると考えられる. 低速異常マントルが, 島弧の形成, 火成作用, 構造運動に関わっていると解釈される. 太平洋やカリブ海中央部における表面近くの高速異常は, マントルがそのエネルギーを消費してしまった後に起こる海洋地域の沈降に関係する. 同様のトモグラフィ断面が, トンガ-フィ

ジー-ニューカレドニアに沿って描かれている (Karason and van der Hilst, 2000; Fukao et al., 2001). われわれは, ビスマルク海を横断する公表されたマントルトモグラフィ画像を知らないが, (こうした図が) 近い将来公表されるものと期待される.

背斜軸は, 鮮新世の火山岩類が分布している中部ニューアイルランドで, この島弧と交差すると考えられる (図8; Carman, 1994). ニューアイルランドは, この領域では, 背斜軸に沿った構造的不安定さのためにより狭くなっていることが注目される. 火成活動は時間とともに北東方向に移動していて, 詳細には, 漸新世-中新世初期の南西部, 鮮新世-更新世に北東部, さらに, 太平洋に向かって移動している. Carman (1994) は, Lihir 島を縁どる第四紀の隆起さんご礁石灰岩が, 北岸では海面上50mにあり, 南岸より高いことから, (それが) 第四紀にC-B背斜が不均等に隆起したことを指摘した.

C-B背斜は, 重力データにもとづいて西太平洋へ追跡される. 海域重力異常は, 下部地殻-原生代初期に褶曲し, 断裂した始生代岩石一の構造を主に反映していると考えられる (Choi, 2006). 顕著な正異常を示す北東-南西方向のブロックが, Ontong Java 海台の北西に存在する. それは400kmの幅をもつが, 多くの平行断裂によって分断されている. それは, Tabar-Feni 火山列の最南端に接触し (図9), またC-B背斜に連なっている. 重力分布図では, 北西-南東, 北東-南西, 南北の3方向の線状構造が識別される. 3つの線状構造はいずれも

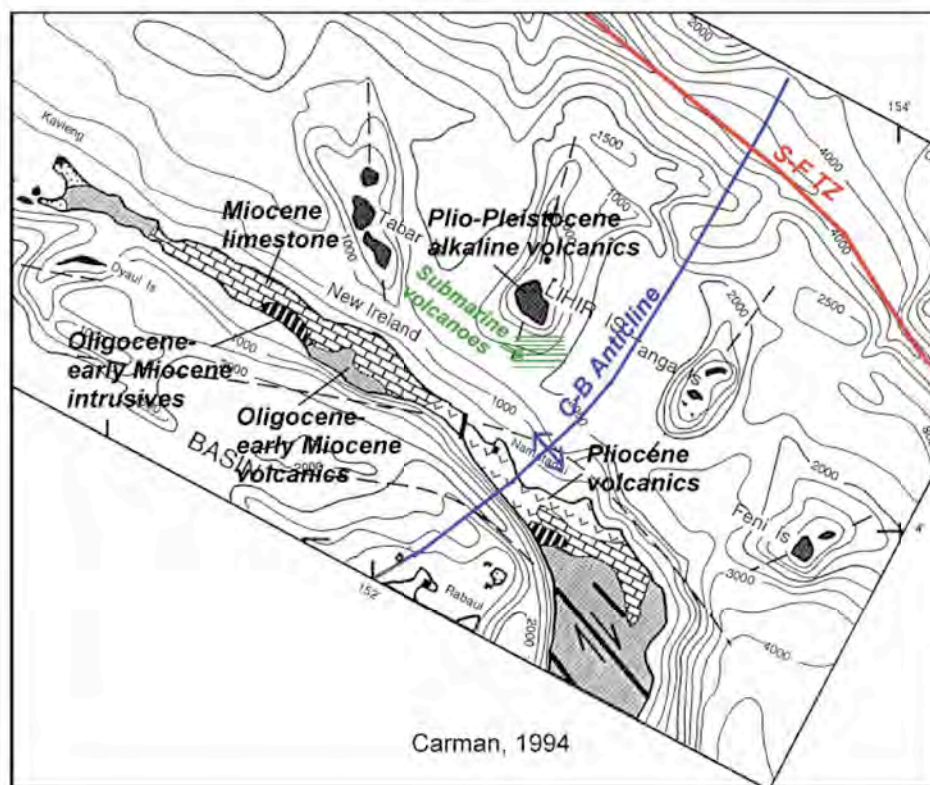


図 8 New Ireland と T-F 火山列の地質図 (Carman 1994), Cape York-Bismark 海 (C-B) 背斜, Solomon-Fiji 構造帯, および海底火山は、著者らの推定である。海底火山の溶岩中のゼノリスは、マントル起源の超塩基性岩であり、あるものは高品位の金を含む。

Libr 金-地熱地帯の中にあり、有用鉱物の濃集に影響を与えている。

すべての事実にもとづく証拠は、北オーストラリアからパプアニューギニアを経て、西太平洋に続く構造的な高まりの存在を確かなものにする。C-B 背斜は原生代に起源を持ち、全地質時代、特に後期中生代から新生代を通して再活動したと考えられる。背斜に最も活発な造構-火成活動が出現するのは、この地域の主要深部断裂 (ソロモン-フィジー構造帯) やビスマルク海を取り巻く島弧に関係するマントルドームと交差する場所である。

4. 西太平洋深部構造帯

T-F 火山弧の形成と巨大規模の鉱物資源の胚胎に深部構造帯が重要な役割をはたしているため、ここで私たちは、読者の参考までに、西太平洋深部に位置する構造帯の要点を再記述する (Choi, 2005 ; Choi and Vasiliev, 2008)。

ソロモン-フィジー構造帯の西方延長は、T-F 火山弧のすぐ脇をとおり (図 10)。その北方延長 (Mussau トラフ) は、Susongchon-琵琶湖-マリアナ諸島構造帯に連なる。この構造帯は Manus-Kilinaulau 海溝を明瞭に横切り、T-F 火山弧北方の深海底地形に切り込みをつくる (図 11)。群生する深発地震 (深度 300km 以上) は、ソロモン-フィジー構造帯に沿って並んでいる (図 6)。全地球地震トモグラフィデータは、この構造帯がマントル全体をほぼ鉛直に連なり、コアに達する線状の高速度異常に連なることを示す (図 12)。それは、2つの大規模なマントルブロッカー-西側の高速異常マントルと東側の低速異常マ

ントルーの境界に位置している (図 10)。全ての入手可能なデータは、西太平洋深部構造帯は地球創成期に形成された基本的断裂系から成り立っている、という事実を示す。とくにジュラ紀以降の再活動が太平洋の誕生に寄与し、火成-構造運動に関与してきた。

T-F 弧東方の大規模構造帯の存在は、いくつかの公表論文で指摘されている。Jatskevich et al. (2000, 図 13) は、この構造帯を西太平洋の大規模構造帯のひとつとして捉えた。Carman (2003) は、リヒール金鉱床を考察するために、プレートテクトニクスモデルを使ってはいるが、この大規模断層を描いている。

5. 議 論

1) Tabar-Feni 火山弧における大規模金鉱化作用

上述したように、T-F 火山弧は二つの大規模構造方向-T-F 火山弧のすぐ隣を走る NE-SW 方向の C-B 背斜と NE-SW 方向の深部構造帯 (ソロモン-フィジー構造帯) 一の会合部に位置している (図 10, 11, 13)。後者は西太平洋の最大規模の地球断裂系のひとつで、ひとつは海洋下、もうひとつは大陸下の二つの大規模マントルブロックを境する。この一連の断裂帯は、ジュラ紀以降の太平洋の形成を引き起こしてきた。地震トモグラフィの事実は、これらの断裂がコアまで達することを示す (図 12)。沈降運動は中新世-第四紀に最も活動的である (Vasiliev and Sovetnikova, 2008)。これらの実在する地質構造は、リヒール金鉱床の途方もない規模と T-F 弧全体に偏在する高品位金鉱床の存在を説明する。Ladalam 金鉱床はマントル由来であるという、McInnes et al. (1999) の結

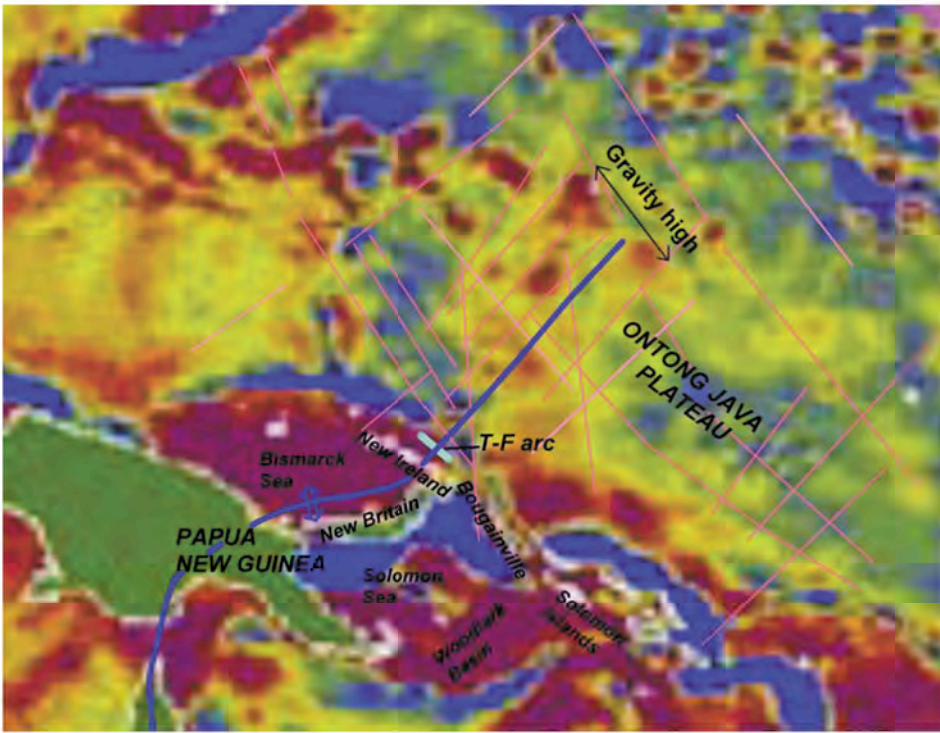


図9 DEOS サイトから作成した Sandwell 重力図。Cap York-Bismarck Sea 背斜が、NE-SW 方向の広域的高重力が支配的な西太平洋へ連続性することを示す。Ontong Java 海台南部におけるやや低重力異常-中間的異常に注意。この地域がやや浅海であること (2,400m 以浅, 図1) を考慮すると、主として下部白亜系-古第三系の一連の厚い堆積物の存在が期待される。この重力図にもとづいて、筆者らによって線状構造のいくつかはピンクに塗られている。まったく同様な方向が識別されるリヒール島の線状構造を示す図3と比較せよ。

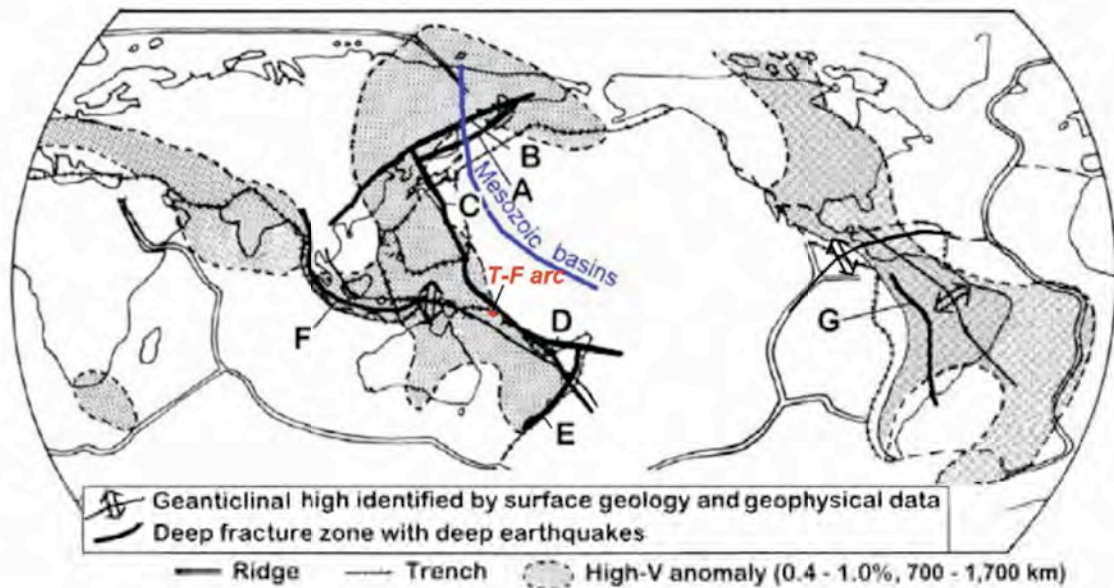


図10 あたらしいグローバルテクトニクスの見通しによる T-F 火山弧の位置、深部断裂帯(Choi, 2005)、高速異常マンツルの分布(Fukao et al., 1994)、および中生代堆積盆地の分布(Choi and Vasiliev, 2008)が示される。Tabar-Feni 弧は、西太平洋の大規模深部断裂帯に隣接する。中央海嶺は(拡大中心ではなく)地背斜構造であり、太平洋中央海嶺の東方延長はブラジル-ギアナ楕状地方向と会合し、カリブ海へ向かう: 図7トモグラフィ断面参照。A=韓国-カムチャツカ構造帯, B=Tanlu-フィジー構造帯, C=Susongchon-琵琶湖-マリアナ諸島構造帯, D=ソロモン-フィジー構造帯, E=ニュージーランド-フィジー構造帯, F=Shan Boundary-西マレーシア-ジャワ海構造帯, G=西ブラジル構造帯。

論にも一致する。しかし、ソロモン-フィジー構造帯は明らかにコアと連結していることを考慮すると、我々はリヒール鉱床の究極の起源はコアであると考え、深部断裂帯は、コアから地球表面へ上昇する鉱化溶液やガスにとっての導管の役割をはたす。T-F 弧における鮮新-更新世の巨大金鉱化作用は、この新しい構造的見通しでのみ理解できる。

我々は、2つの背斜や構造方向が会合する場所で、大規模な金属鉱床、温泉、火成活動が起こりやすいということ、多くのフィールドの観察を通して知っている。また、前に紹介したように、マンツル湧昇は、カリブ海とビスマルク海のような、2つの大規模な背斜の会合部にみられる。

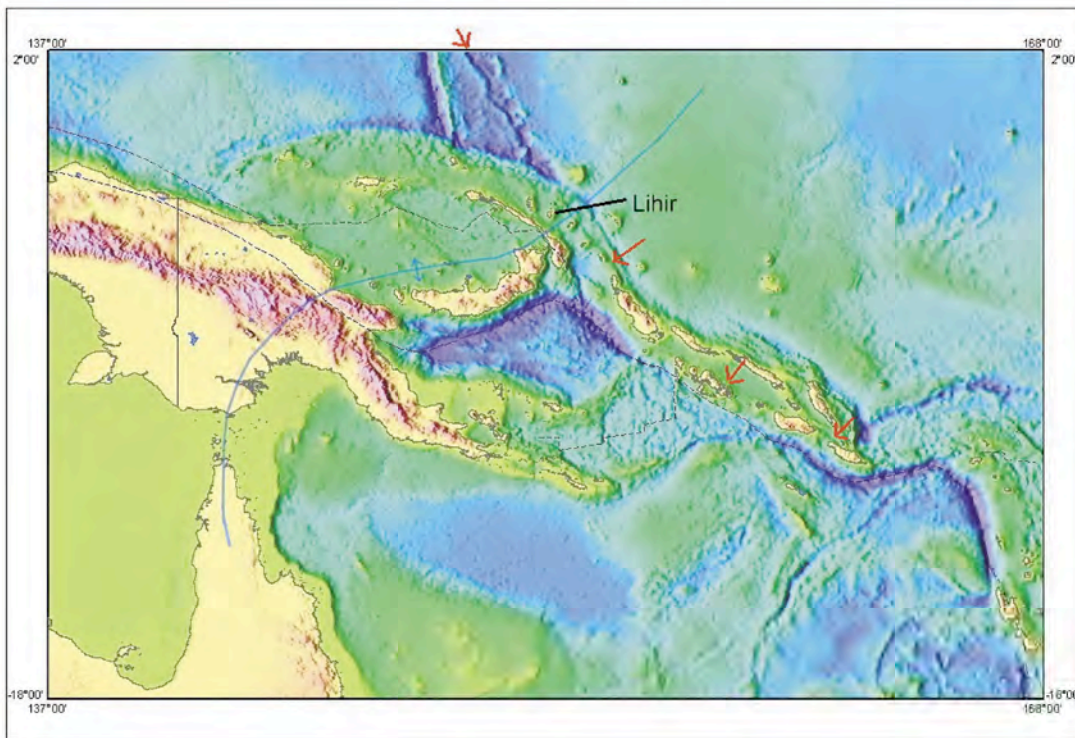


図 11 重力データから作成された立体地形図。赤矢印は深部構造帯、青線は C-B 背斜を示す。破線は“プレート境界”。利用可能な公表されているパプアニューギニアのウエブより引用。

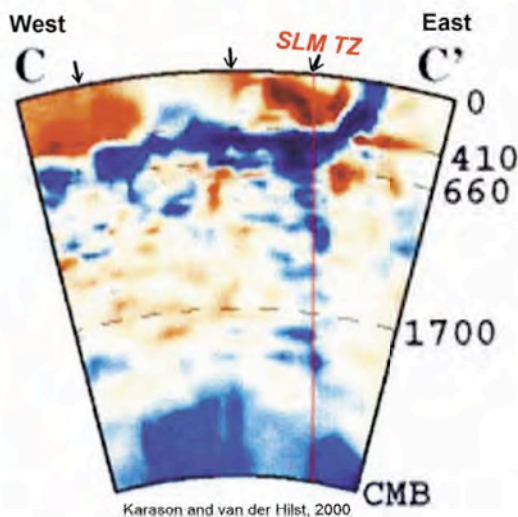


図 12 南中国、南海トラフから北西太平洋に沿う地震トモグラフィ (Karson and van der Hilst, 2000; Romanowicz, 2003)。コアに達する SLM 構造帯 (地表の地質学的・地球物理学的データにより提唱) を示している。高速異常の斑点は、深部構造帯に沿って発達している。さらに 2 つの大規模深部断裂帯—Tanlu 断層 (左) の南方延長、もうひとつは南シナ海 (中央) —が SLM 構造帯 (矢印) の左方にたどることができ、地表データと多くの地質図に示される。これらは、多くの例のほんの一例である。“太平洋プレート”は沈み込んではいないで、東アジア大陸下にほぼ水平に横たわっている。高速異常マントル (あるいは“冷たいスラブ”) は、液体とガスを失った枯渇したマントルを反映すると考えられる。SLM TZ=Susongchon-琵琶湖-マリアナ諸島構造帯、CMB=コア-マントル境界。さらなる議論は、Choi (2005) を参照。

2) Ontong Java 台地における炭化水素探査

この研究域における新しい構造的解釈は、Ontong Java 海台の炭化水素探査に新しい見通しをもたらす。台地は、白亜紀の火成起源物質と堆積物、それを覆う古第三紀—中新世被覆層で構成されている。DSDP Site 288, 289, 803 および 807 は、連続的な白亜系を掘削した (Andrew et al., 1975; Kroenke et al., 1991)。白亜紀の岩石は、Site 288 と 289 付近の海山や Ontong Java 海台の南斜面でもドレッジされている。それらは、古第三紀の浅海堆積物や古第三紀—更新世の深海堆積物に覆われている。

プレートテクトニクスでは、Ontong Java 海台は大陸性岩石を欠き、玄武岩から構成されると主張している。公

表されているいくつかの地震探査断面には、玄武岩の下位に、褶曲し断層で境された明瞭な成層ユニットが存在する。Site 804 が位置する断層凹地は、よく成層した厚い堆積物ユニットで埋積されている (層厚 3km 以上)。我々は、玄武岩の下位に堆積物や変成岩があると信じている。公表された地震探査データは、この海域がブロックテクトニクスに規制されていることを示す。Ontong Java 海台でえられた最近の地質—構造解釈 (例えば、Berger et al., 1991) は、single-channel 地震断面にもとづいているが、残念ながら、玄武岩の下位の情報を得るほどには解像度が高くない。

さまざまなデータに基づくと、白亜紀—古第三紀の Ontong Java 海台には、現在のソロモン海—Woodlark 盆地に連なる陸地があり、ソロモン—フィジー構造帯の西側全域が浅海状況にあったと推測される。現在の

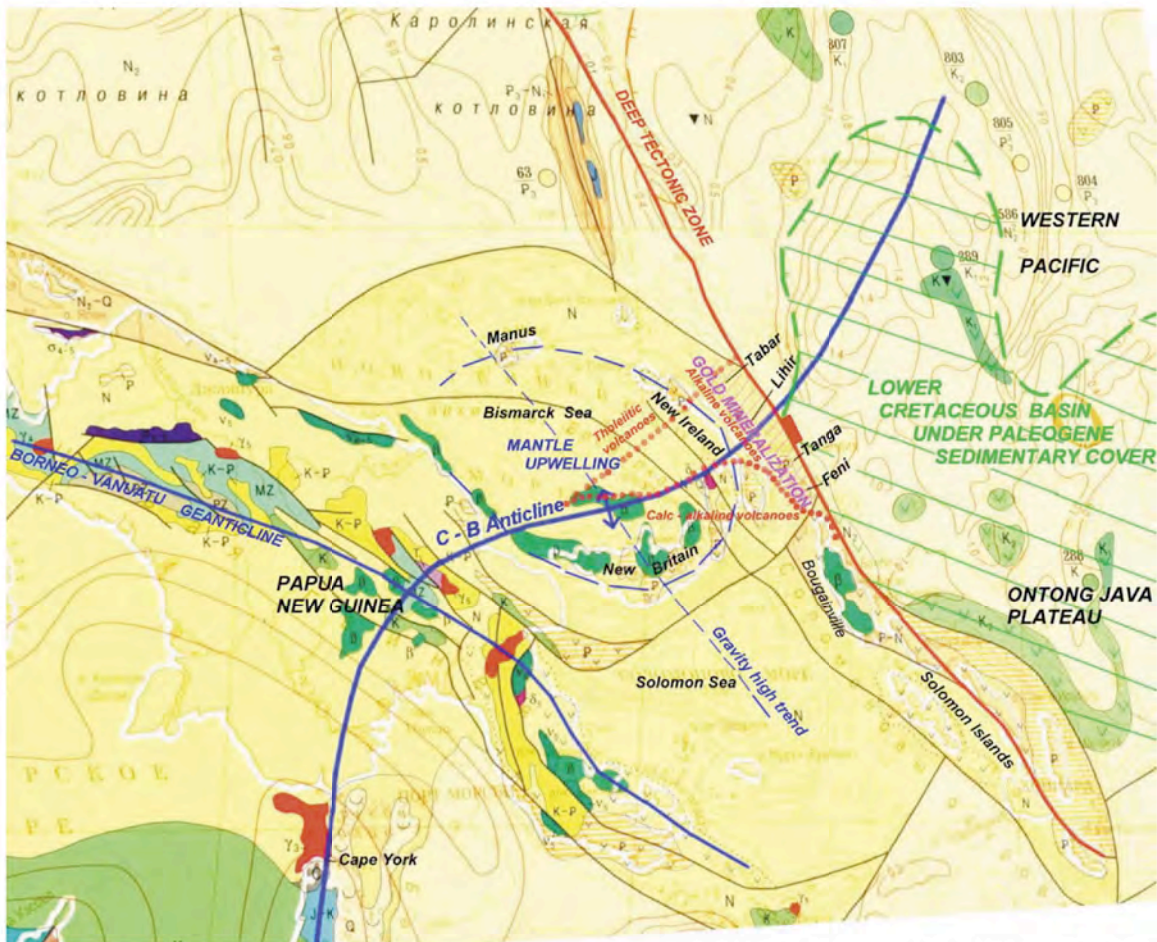


図13 Jatskevich et al. (2000)による“世界地質図”に重ねられた研究地域の構造解釈。古第三紀の火山岩類は、C-B 背斜を特徴づける。Tabar-Feri 弧は、NW-SE 方向の深部構造帯と直交する C-B 背斜に直接的に関連している。Kransy はニューアイルランドの尖端とニューブリタインの西方域をソレアイト岩石区に区分した。

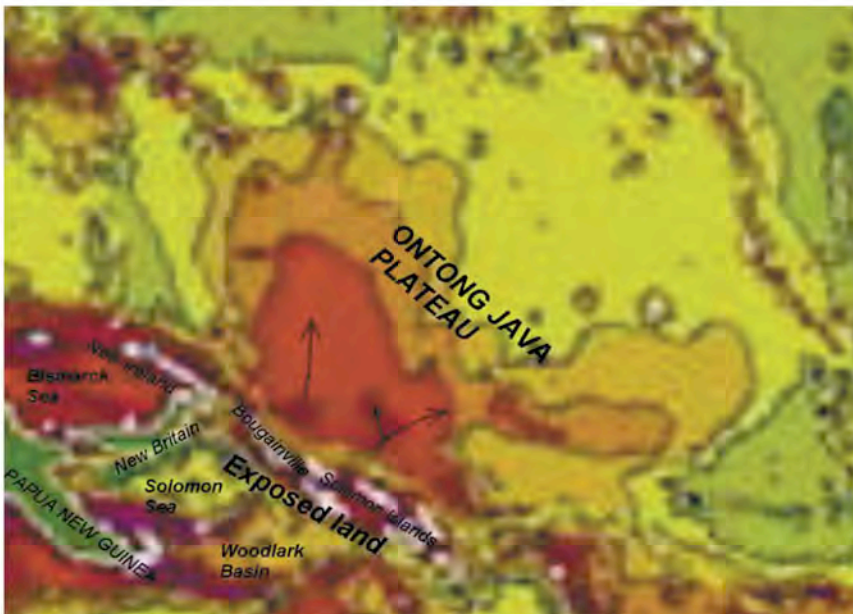


図14 海底扇状地の堆積様式を反映した海洋底地形。これらのローブ/扇状地の主体は白亜紀-古第三紀の浅海性デルタ堆積物と中新世-鮮新世の深海タービダイトであると考えられる。Jaskevich et al. の地質図 (2000) によると、古第三紀堆積物の層厚は1-1.5kmである。矢印は、推定される堆積物の主要供給方向を示す。白亜紀-古第三紀には、現在のソロモン海とWoodlark 海盆に大規模な陸域が存在したと推定される。オントンジャワ海台は、世界の深海においてもっとも有望な炭化水素鉱区の1つである。

Ontong Java 海台の白亜系-古第三系と中新統-更新統の分布や層厚、岩相、推定される堆積環境など、入手できるすべてのデータは、白亜系-古第三系はデルタ堆積物、中新統-更新統はタービダイトであることを示唆する。南部 Ontong Java 海台はやや低重力異常域の浅海で

あり、一連の堆積物がみられる。堆積物の2つの供給源にとくに興味もたれる：ひとつはブーゲンビル諸島で、もうひとつはソロモン諸島である(図14)。浅海性の白亜紀-古第三紀のデルタ性堆積物は有機物に富み、炭化水素の根源岩としてのポテンシャルを備える。そして、

商業的な炭化水素鉱床の胚胎に十分な層厚をもつと考えられる。それゆえ、この地域の集中的調査が急がれる。水深は1,000 - 3,000mであるため、現在の技術で探査・開発が可能である。リヒール島は、自生するクリーンな地熱エネルギーおよび炭化水素鉱床の探査・開発基地として戦略的に重要な位置にある。

5. 結論

本研究の結論は、次の4つに要約される：

- 1) パプアニューギニアとビスマルク海の主要な陸域を通り、北オーストラリアに拡がり、西太平洋に至る大規模な背斜構造、Cape Yoke-Bismark 海背斜があらたに認識された。
- 2) リヒール島の巨大な金鉱床と T-F 火山弧の高品位金鉱化作用の偏在性は、2つの主要な大規模構造方向—C-B 背斜とそれに直交する深部断裂系—の会合部によって説明される。
- 3) T-F 火山弧における金鉱床と火成活動の究極の源は、コアに求められるべきである。
- 4) 新しい造構論的な見通しは、Ontong Java 海台における炭化水素鉱床の賦存が有望なことを示している。

謝辞 筆頭著者はリヒール金山で仕事をする機会を与えてくれた Lihir Gold Ltd. の Peter Knight 氏にお礼を申し上げる。多くのリヒール金山の地質家とのさまざまな科学的議論は、研究地域の新しい造構論の発展に大きく貢献した。本論は Lihir Gold Ltd. の許可を得て公表されたものである。Ribson, Cameron, および Corbett の各氏から図の転載許可をいただいたことに感謝する。

文献

Andrews, J.E. Packham, G. et al., 1975. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. v. 30. Washington (US Government Printing Office).

Bain, J.H.C., Davies, H.L., Hohnen, P.D., Ryburn, R.J., Smith, I.E., Grainger, R. Tingey, R.J and Moffet, M.R., 1972. Geology of Papua New Guinea. Scale 1:1,000,000. Bureau of Mineral Resources, Canberra.

Berger, W.H., Kroenke, L.W., Mayer, L.A., et al., 1993. Proc. ODP, Sci. Results, v. 130. College Station, TX (Ocean Drilling Program).

Bogie, I., Lawless, J.V., Rychagov, S. and Belousov, V., 2005. Magmatic-related hydrothermal systems: Classification of the types of geothermal systems and their ore mineralization. Proc. of the International Kuril-Kamchatka Field Workshop, July 15-August 5, 2005.

Carman, G.D., 1994. Genesis of the Ladolam gold deposit, Lihir Island, Papua New Guinea. PhD Thesis, Monash Univ., Australia.

Carman, G.D., 2003. Geology, mineralization and hydrothermal evolution of the Ladolam gold deposit, Lihir Island, Papua New Guinea. Economic Geologists, Publication 10, p.

247-284.

Choi, D.R., 2005. Deep earthquakes and deep-seated tectonic zone: a new interpretation of the Wadati-Benioff Zone. Boll. Soc. Italy, Spec vol. no. 5, p. 79-118.

Choi, D.R., 2006. Where is subduction under the Indonesian arc? NCGT Newsletter, no. 39, p. 2-11.

Choi, D.R. and Vasiliev, B.I., 2008. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part I. Mesozoic basins and deep tectonic zones. NCGT Newsletter, no. 46, p. 28-34.

Corbett, G.J., 2004. The mineralisation of Papua New Guinea. 126p.

D'Addario, G.W., Down, D.B and Swoboda, R., 1976. Geology of Papua New Guinea. 1 : 2,500,000. Bureau of Mineral Resources, Canberra, Australia.

Davies, H.L., 1971. Peridotite-gabbro-basalt complex in Eastern Papua: An overthrust plate of oceanic mantle and crust. Bureau of Mineral Resources Bulletin, no. 128. 48p.

Exon, N.F., Steward, W.D., Sandy, M.J., Tiffin, D.L., 1986. Geology and offshore petroleum prospects of the eastern New Ireland Basin, northern Papua New Guinea. BMR Jour. Austr. Geol & Geophys., v. 10, p. 39-51.

Fukao, Y., Maruyama, S., Obayashi, M. and Inoue, H., 1994. Geological implication of the whole mantle P-wave tomography. Jour. Geo. Soc. Japan, v. 100, p. 4-23.

Fukao, Y., Widiyantoro, S. and Obayashi, M., 2001. Stagnant slabs in the upper and lower mantle transition region. Review of Geophysics, v. 39, p. 291-323.

Johnson, R.W., 1979. Geotectonics and volcanism in Papua New Guinea: a review of the late Cainozoic. BMR Journ. Geol. & Geophys. v. 4, p. 181-207.

Kamenov, D.G., Perfit, M.R., Jonasson, I.R., and Mueller, P.A., 2005. High-precision Pb isotope measurements reveal magma recharge a mechanism for ore deposit formation: Example from Lihir Island and conical seamount, Papua New Guinea. Chemical Geology, v. 219, p. 131-148.

Karason, H. and van der Hilst, R.R., 2001. Improving global tomography models of P-wavespeed 1: incorporation of differential travel times for refracted and diffracted core phases (PKP.Pdiff). Jour. Geophys. Res., v. 106, p. 6569-6587.

Krasny, L.I., 1970. Geological map of the Pacific mobile belt and Pacific. 1:10,000,000 scale.

Kroenke, L.W., Berger, W.H., Janecek, T.R., et al., 1991. Proc. ODP, Init. Repts, v. 130, College Station, TX (Ocean Drilling Program).

Licence, P.S., Terill, J.E., Fergusson, L.J., (1987) Epithermal Gold Mineralization, Ambitle Island, Papua New Guinea. Proc. Pacific Rim Congress 87, p. 273-278. The Australian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne.

Lihir Gold Limited, 1999. Geological Map of Lihir Island. Aerophoto interpretation by Komyschan. 1:100,000

Lindley, D., 1988. Early Cainozoic stratigraphy and structure of the Gazelle Peninsula, east New Britain: An example for extensional tectonics in the New Britain arc-trench

- complex. *Australian Jour. Earth Sci.*, v. 35, p. 231-244.
- Lindley, I.D., 2006. Extensional and vertical tectonics in the New Guinea islands: implications for island arc evolution. *Annals of Geophysics, Suppl. to vol. 49, no. 1*, p. 403-426.
- Lindley, I.G., 2007. New Britain Trench, Papua New Guinea: an extensional element in a regional sinistral strike-slip system. *NCGT Newsletter*, no. 41, p. 16-28.
- Madsen, J.A. and Lindley, I.D., 1994. Large-scale structures on Gazelle Peninsula, New Britain: Implications for the evolution of the New Britain Arc. *Australian Jour. Earth Science*, v. 41, p. 561-569.
- McInnes, B.I.A., Gregoire, M., Binns, R.A., Herzig, P.M., and Hannington, M.D., 2001. Hydrous metasomatism of oceanic sub-arc mantle, Lihir, Papua New Guinea. Part I: Petrology and geochemistry of fluid-metasomatized mantle wedge xenoliths: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 188, p. 169-183.
- McInnes, B.I.A. and Cameron, E.M., 1994. Carbonated, alkaline hybridizing melts from a sub-arc environment: Mantle wedge samples from the Tabar-Lihir-Tanga-Feni arc, Papua New Guinea.
- McInnes, B.I.A., McBride, J.S., Evans, N.J.K., Lambert, D.D. and Andrew, A., 1999. Osmium isotope constraints on ore metal recycling in subduction zone. *Science*, v. 286, p. 512-516.
- Moyle, A.J., Doyle, B.J., Hoogvliet, H. and Ware, A.R., 1990. Ladolam gold deposits, Lihir Island. In Hughes, F.E. (ed.), "Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea". Australian Institute of Mining and Metallurgy Monograph Series, no. 14, p. 1793-1805.
- O'Driscoll, E.S.T., 1986. Observations of the lineament-relation. *Phi. Trans. Royal Soc. London (A137)*, p. 195-218.
- Patterson, D.B., Farley, K.A. and McInnes, B.I.A., 1997. Helium isotopic compositions of the Tabar-Lihir-Tanga-Feni island arc, Papua New Guinea. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 61, p. 2485-2496.
- Petersen, S., Herzig, P., Hannington, M.D., Jonasson, I.R., and Arribas, A. Jr., 2002. Submarine gold mineralization near Lihir Island, New Ireland forearc, Papua New Guinea. *Economic Geology*, v. 97, p. 1795-1813.
- Petterson, M.G., Babbs, T., Neal, C.R., Mahoney, J.J., Saunders, A.D., Duncan, R.A., Tolia, D., Magu, E.R., Qopoto, C., Mahoa, H. and Natogga, D., 1999. Geological-tectonic framework of Solomon Islands, SW Pacific: crustal accretion and growth within an intra-oceanic setting. *Tectonophysics*, v. 301, p. 35-60.
- Robinson, J.R., 2005. Geology of the Ladolam deposit, Lihir Island, PNG. In, "Seventh geology, exploration and mining conference, Lae, Morobe Province, Papua New Guinea, May, 2005". p. 1-16.
- Romanowicz, B., 2003. Global mantle tomography: progress status in the past 10 years. *Annu. Rev. Earth & Planet. Sci.*, v. 31, p. 303-328.
- Tuevov, I.K. and Lipina, E.N., 1988. Heat flow map of the Pacific Ocean and the adjacent continents. *Inst. Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences, Khabarovsk*. Scale 1:10,000,000 with an explanatory text by Tuevov, I.K., 33p.
- Vasiliev, B.I. and Sovetnikova, L.N., 2008. Geological development of the northwestern Pacific. *NCGT Newsletter*, no. 46, p. 20-34.
- Wallace, D.A., Johnson, R.W., Chappell, B.W., Areulus, R.J., Perfit, M.R. and Crick, I.H., 1988. Cainozoic volcanism of Tabar, Lihir, Tanga and Feni Islands, Papua New Guinea: geology, whole-rock analyses and rock-forming mineral compositions. *Bureau of Mineral Resources (Australia)*, v. 243, 62p.

コメントと回答

COMMENTS AND REPLIED

(矢野 孝雄 [訳])

コメント Peter JAMES <pmjgeotech@yahoo.com.au>

Straser, V., 2008. Planetary perturbations and "Twin earthquakes": a model for the long-term prediction of earthquakes. *NCGT Newsletter*, no. 46, p. 35-50

私は、上記の Straser 論文に、2点のコメントを述べたい。

まえがきの第1文で、氏は地震が「..... 応力の蓄積に由来する..... 自然現象によって引き起こされる」と述べ、応力の蓄積が惑星直列によって生じることを意味されているようである。氏は、これに、いくつかの間を

付け加える必要がある。というのは、直感的には、惑星直列は第2あるいは第3の応力条件にすぎず、必要な応力を蓄積することは不可能である。地震を引き起こするのは、地殻（あるいは、より下層）がすでに強く応力を蒙っている場合に限られるようである。

貯水池誘発地震 (reservoir induced seismicity: RIS) と比較してみよう。湛水中の応力変化は、およそ 10km の深度ではいちじるしく小さい。また、ある1つの RIS 地震が、その地域における別の地震活動を引き起こすこともしばしばあるが、300日後 (p. 38) というのは、直接の原因としては少し長すぎるように思われる。

RIS との比較に関するもう 1 つの問題は、つぎのとおりである。RIS 地震は、場所が特定され、地殻がすでに強い応力を蒙っているところに限って発生する。しかし、ダムに関連して地震がたいへん頻繁に発生している事実は、地殻 (および、おそらく、より深層) の大部分がすでに準破壊状態にあることを意味する。したがって、惑星直列が地震を引き起こすとなると、実際には、Straser 氏が示したような地震が、多数発生するはずである。

回答 Valentino STRASER <fifurnio@tiscali.it>

貯水池誘発地震 (RIS) あるいは天体偏倚のいずれによるものであっても、地震活動は、ある限界内では、同じメカニズムで発生する。全地球規模でみると、外層の擾乱は応力を蒙った岩石に対してその影響をおよぼす、と一般的に考えることができる。応力がゆっくりと蓄積される場合には、擾乱や破壊が地震発生に重大な影響をもたらす、急速に蓄積される場合には不規則な影響を与える。

広くみると、この学説は、人類の活動や安全に対する地震の影響を減少させるために、実験的に適用されうる可

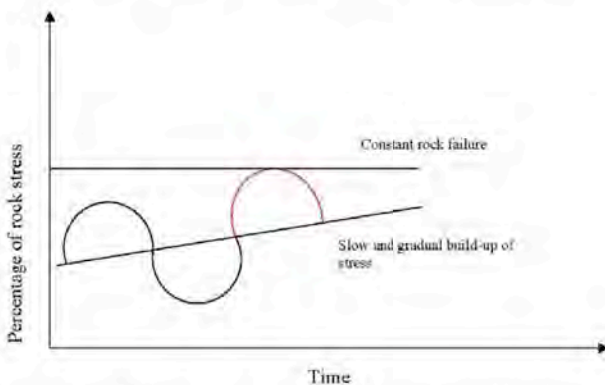


図1 外層の擾乱 (曲線) の変化が、ゆっくりとした岩石応力の蓄積 (斜線) に重なると、曲線の最大値 (外層の最大擾乱の発生) が荷重限界値と交差し、それをうまわることがある。こうしてもたらされた応力は、地震に進化するかもしれない。

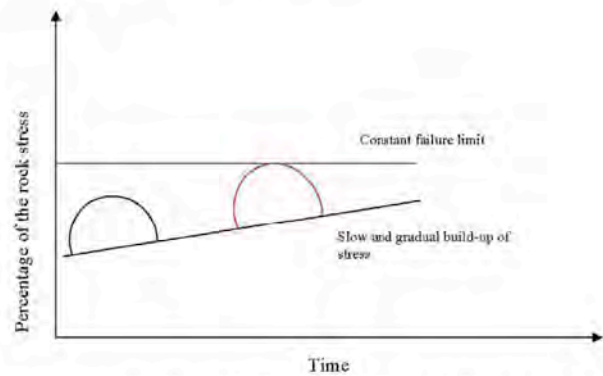


図2 貯水池の湛水と排水 (赤色曲線) による RIS タイプの擾乱において、岩石が最大荷重にほぼ相当する応力を蒙ると、岩石はより早期に破壊点に達するだろう。このため、Peter James 氏も指摘されたとおり、見かけ上の 1% の減少は、RIS の場合と天体による場合の擾乱において、ともに地震の発生に重大な影響をもたらすであろう。

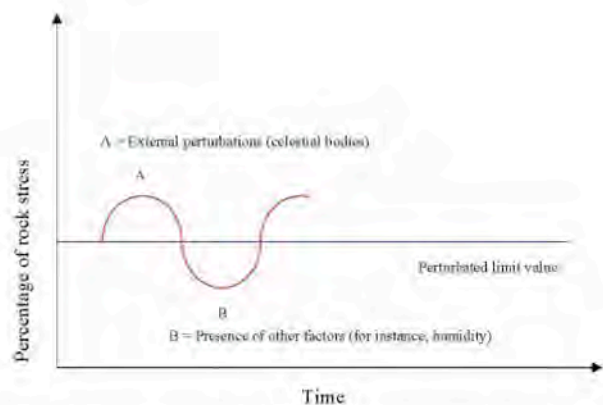


図3 このグラフは、たとえば造構応力を蒙っている地域において、水あるいは他の流体の存在によって限界値が時間とともに変化する場合は示す。この場合 (図解という目的に限って)、曲線の最大値 (A) は、惑星配列や RIS のような外的擾乱に関連するだろう。そして、最小値 (B) は、破壊荷重限界値を時間とともに減少させる水分の存在に相当し、それは地震に進化する。

能性をもっている。地震で発生する断層の人為による集中的“液化”は、破壊力を低下させるとともに、起こりうる破壊的地震をより小規模な“工学的に制御された”地震に分割することができるかも知れない。

出版物 PUBLICATIONS

(矢野 孝雄 [訳])

地球規模のリニアメント：デジタルテレーンモデルの応用

Igor V. FLORINSKY, 2008. **Global Lineaments: Application of Digital Terrain modeling**
In, Zhou, Q., Lees, B. and Tang, G.-A., eds., "Advances in Digital Terrain Analysis", XIV, 462 p.,
183 illust., Hard cover, ISBN: 978-3-540-77799-1

要旨 潜在的な地球規模の線状 (螺旋状) 構造が存在し、造構運動や地形に表現されていることを示唆する提案が、最近の数 10 年間におこなわれている。この研究では、デジタルテレーンモデルを使ってこの仮説が検証

される。この研究は、30 分グリッドの地球デジタル高度モデル (DEM) にもとづいている。18 の地形変数が、まずもって計算され、全地表に地図表示された。デジタルテレーン分析は、地球規模のリニアメントの存在を支持

する。空間的集水域図では、地球を極から極までとりまいて、5組の対称的な螺旋状構造が識別された。この構造は、地形的には、全地球的山脈ネットワークとして表現される。それらは、この惑星のねじれ変形の地表への表われに関連していることが明瞭である：2組の二重螺旋は論理的に推論される剪断断裂跡にうまく一致する。いっぽう、もう2組の二重螺旋は瘰癧割れ目の理想跡に

うまく一致する。これらの構造に沿って観察される地質現象 (たとえば、断裂作用、断層、結晶および鉱石鉱床) について、議論される。二重螺旋は、金星の螺旋状リニアメントのような、惑星規模のネットワークに類似したレリック構造であろう。

より詳細は、Igor Florinsky 教授へ
(iflorinsky@mail.ru)

ニ ュ ー ス NEWS

(矢野 孝雄 [訳])

第 33 回万国地質学会 オスロ

(2008 年 8 月 6 - 14 日)

シンポジウム STT-09 グローバルテクトニクスの新概念

2008 年 8 月 12 日

招聘者 : Dong Choi, Karsten Martin Storetvedt,
Forese Carlo Wezel

ORAL SESSION 口頭発表

Introduction 開会挨拶 Session chair: F.C. Wezel
セッション議長: F.C. Wezel

- 8.30 K.M. Storetvedt: New physical platform for earth evolution studies (invited) 地球進化研究のための新しい物理学的基礎 (招待講演)
- 9.00 B. Vasiliev, D. Choi: The structure and composition of the Pacific Mega-basin basement complex 太平洋巨大海盆の基盤複合岩体の構造と組成 (招待講演)
- 9.15 D. Choi, B. Vasiliev: Mesozoic basins and deep-seated tectonic zones in the Western Pacific 西太平洋における中生代海盆と深部造構帯
- 9.30 M. Hanada, M. Hoshino: Suruga Bay: Origin of one of the world's deepest bays 駿河湾: 世界でもっとも深い湾の1つの起源
- 9.45 N. Pavlenkova: The main stages of global tectonics according to the fluids-rotation conception 流体-回転概念にもとづく全地球テクトニクスの主要ステージ

Break 休憩 10.00 - 10.30

- 10.30 A. Kitchka: Juvenile petroleum systems work via global tectonic processes releasing deep fluid inclusions (invited) 深部流体包有物を解放する全地球造構作用を通じて働く初生的石油生成システム (招待講演)
- 11.00 N. Parubets: The impact of the Palaeozoic-Mesozoic boundary 古生代-中生代境界における衝突
- 11.15 M. Raesi: A source of confusion in plate motion direction プレーートの運動方向にみられる混

乱の原因

- 11.30 K. M. Storetvedt: Phanerozoic Earth history in the framework of Global Wrench Tectonics 全地球ねじれテクトニクスの観点からみた顕生代の地球史
- 11.45 K. M. Storetvedt: Abiotic petroleum in a degassing Earth 脱ガス地球における非生物起源の石油

Lunch 昼食 12.00 - 14.00

- 14.00 Y. Suzuki: On the elliptical arrangement of faults accompanied by deep earthquakes in the Japanese islands and neighbourhoods (invited) 日本列島と周辺域における深発地震にともなう断層の楕円状配列 (招待講演)
- 14.30 S. Tassos: Element, mineral and rock formation in the context of Excess Mass Stress Tectonics-EMST 過剰質量応力テクトニクス-EMST-からみた元素、鉱物および岩石の生成
- 14.45. S. Tassos: Earthquake and tsunami generation in the context of Excess Mass Stress Tectonics-EMST 過剰質量応力テクトニクス-EMST-からみた地震と津波の発生
- 15.00 V. Zemtsov: The reason for a decrease in the Earth's rotation speed in geological time. The total continental plate torque friction force moment (invited) 地質時代における地球自転の減速の理由-全大陸プレートのトルク摩擦力によるモーメント (招待講演)

Break 休憩 15.30 - 16.00

- 16.00 B. Leybourne et al. Tectonic spiral structures of the Tethyan vortex street: GRACE geoid interpretations and African lightning teleconnections (invited) テチス渦列の造構性螺旋構造: GRACE の重力的解釈とアフリカを軽くする遠隔連関作用 (招待講演)
- 16.30 P. Binev: The earthquakes and the linked with them tsunami waves 地震とそれに関連した津波
- 16.45 Z. Qui: The lateral tensile fracturing model

- of fault 地震の側方引張断裂モデル
- 17.00 L. Galet's'kiy: The planetary geodynamic system through ore-forming structures "GEOTRANS" 鉱床生成構造による惑星ダイナミクスシステム "GEOTRANS"
- 17.15 - Discussion and closing remarks 討論と閉会挨拶

POSTER SESSION ポスターセッション

Symposium STT-09 has the following 6 poster presentations: シンポジウム STT-09 には、次の6つのポスター発表が用意されている:

- D. Li: Continental lower-crustal laminar flow hypothesis 大陸下部地殻における層流仮説

- J. Zhang: About the birth of Mediterranean by mantle flow and thrust マントル流動および逆断層による地中海の発生について
- H. Guliyev: New theoretical conception concerning the tectonic processes of the Earth 地球の造構作用に関する新しい論理概念
- Tunyi et al.: Impulse magnetic field in planetary formation 惑星形成における衝撃磁場
- Y. Akamatsu: Seismicity of deep earthquakes in the Japanese islands and surrounding areas 日本列島と周辺域における深発地震活動
- S.V. Sokolov: Horizontal plate movements could be explained by redistribution of geological masses to have diagonal values of inertia tensor 水平プレート運動は慣性テンソルの対角線方向成分をもつ地質学的質量再配列によって説明される

財政的支援について **FINANCIAL SUPPORT**
新購読料システム NEW SUBSCRIPTION FEE STRUCTURE

(赤松 陽 [訳])

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

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

Global Tectonics.

自国通貨が国際的に流通する国の方は、個人小切手の場合、自国の通貨立てで発行してください。たとえば、カナダからの送金の場合は、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、ご送金の際に一言、お知らせ下さい。

ニュースレターについて **ABOUT THE NEWS LETTER**

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

目的は次の事項を含む:

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

2. そのような研究成果の転載および出版を行う。とくに検閲と差別の行われている領域において。
3. 既存の通信網では疎外されているそのような考え方と研究成果に関する討論のためのフォーラム。それは、地球の自転や惑星・銀河の影響、地球の発達に関する主要学説、リニアメント、地震データの解釈、造構的・生物の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。