### 国際オンラインジャーナル グローバルテクトニクスの新概念 NCGT

An international journal for New Concepts in Global Tectonics <a href="http://www.ncgt.org">http://www.ncgt.org</a>

日本語版 Vol. 3, No. 4 (2016 年 4 月) Print edition ISSN 2186-9693

ŧ

<

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



編集長: Dong CHOI, 編集委員会: Ismail BHAT, India (bhatmi@hotmail.com); Giovanni P. GREGORI, Italy (giovanni.gregori@alice.it); Louis HISSINK, Australia (Ihissink1947@icloud.com), Leo MASLOV, USA (lev. maslov@unco.edu); Nina PAVLENKOVA, Russia (ninapav@ifz.ru); David PRATT, Netherlands (dp@daividpratt. info); N. Christian SMOOT, USA (christiansmoot532@gmail.com); Karsten STORETVEDT, Norway (Karsten@gfi.uib.no); Boris I. VASSILIEV, Russia (boris@poi.dvo.ru); Takao YANO, Japan (yano@rstu.jp)

Ľ

地震の暗号は解読された:破壊的地震の予測は可能 [赤松 陽 訳]………… 編集者から 2 [矢野孝雄 訳]………… ■ 編集者への手紙 3 ■ 原著論文 Orientation of ancient cultic objects and polar drift Stanislav A. GRIGORIEV [山内靖喜 訳] ………… 4 古代の祭礼遺跡の方位と極移動 Platforms: Thermal and geological history Vadim GORDIENKO [赤松 陽・矢野孝雄 訳] ……… 16 卓状地:熱史と地質史 "Ice" (Pluto and "Flame" (Sun): tectonic similarities of drastically different cosmic globes Gennady G. KOCHEMASOV "氷"(冥王星)と"炎"(太陽):全く異なった宇宙の天体の造構的類似性 < 要旨> [小泉 潔 訳] ……… 37 North Tuscany (Italy): A potential relationship between seismic swarms and violent rainstorms Valentino STRASER 北部トスカナ(イタリア):群発地震と集中豪雨との間のポテンシャル関係〈要旨〉 [岩本広志 訳] ...... 37 Seismogeodynamics of the Hazara-Kashmir Transverse Trough, Pakistan Haleem Zaman MAGSI ハザラ-カシミール横谷(パキスタン)の地震地球力学 [小泉 潔 訳] ……… 37 Degassing and expanding Earth model of global tectonics Nina I. PAVLENKOVA 地球の脱ガスと膨張: グローバルテクトニクスの新しいモデル [柴 正博・久保田喜裕・矢野孝雄・角田史雄 訳] ·········· 47 討論 Geoscientific urban legends Karsten M. STORETVEDT 地球科学的都市伝説 [矢野孝雄 訳] ……… 69 ■ 地球気候コーナー Anthropic global warming Giovanni P. GREGORI [岩本広志 訳] ……… 79 人為的地球温暖化 〈要旨〉 ■ 提案 NCGT conference proposals/suggestions invited NCGT 会議の提案 / 示唆の募集 ..... 80 ■ ニュース [EGU] / 財政的支援について / ニュースレターについて

連絡・通信・原稿掲載には、次の方法の中からお選び下さい:NEW CONCEPTS IN GLOBAL TCTONICS 1) Eメール: editor@ncgt.org, ncgt@ozemail. com.au, または, ncgt@hotmail.com (≤10 MB), ncgt@hotmail.com (>10 MB), 2) ファックス (少量の通信原稿): +61-2-6254 4409, 3) 郵便・速達航 空便など: 6 Man Place, Higgins, ACT 2615, Australia (ディスクは MS Word フォーマット, 図面は jpg, bmp, または tif フォーマット), 4) 電話: +61-2-6254 4409. 免責 [DISCLAIMER] このジャーナルに掲載された意見,記述およびアイデアは投稿者に責任があり,編集者と編集部に責任はあ りません. NCGT Journal は 季刊国際オンライン査読誌で、3月、6月、9月、12月に発行されます. 電子版 ISSN 2202-0039、印刷版 ISSN 2202-5685.

	日本語版発行:New Concepts in Global Tectonics Group 日本サブグループ											
	連絡先 〒 399-8301 安曇野市穂高有明 126-9 矢野孝雄 Phone 0263-87-2538 EM yano-st@kke.biglobe.ne.jp											
	[翻訳	・編集] NO	CGT ジャー	ナル翻訳グルー	-プ:カ	⊼松	陽	岩本広	志川辺書	学幸 窪田安	对 久保田	喜裕
小泉	潔	小坂共栄	小松宏昭	佐々木拓郎	杉山	明	柴	正博	角田史雄	宮城晴耕	山内靖喜	矢野孝雄

# 編集者から FROM THE EDITOR

(赤松 陽 [訳])

### 地震の暗号は解読された:破壊的地震の予測は可能

### Earthquake code cracked: Catastrophic earthquakes are predictable

この数年間で、地震予知の研究は注目すべき発展を とげてきた.地震の予知に従事している地震研究者 の国際的なチームは、今年の9月に発生した破壊 的なチリ地震—M8.3コキンボ地震—の前に、情報 交換するなかで自発的につくられた.既刊のNCGT Journalの前号(第3巻3号 p. 383-408, 2015) で説明されているように、相乗的なマルチパラメー ター(多変量)法は、最も成功した予知の一つとなった.

これらの取り組みでは、2つの短期的前兆が決定 的な役割を演じた.つまり、1) 台湾の地震学者 Hong-Chun Wu によって96日前に発見されたジェッ トストリーム異常、そして、2) 地元の地震研究者— Chilisismos 在住の Ariel Cesped によって検出さ れ、本震の21日前に公式に警告された乾湿計異常. もう1つの警告は、本震の16日前に外向性長波放 射 (OLR) を検出した Venkatanathan によって発せ られた.これらの予測は、地震の1年以上前に、 Blot のエネルギー移動概念に基づいて、国際地震・ 火山予知センター (IEVPC) によって発せられた中-長期予報によって支持された.

同じチームによる予知の成功はさらに続いた. つま り,中央~北部チリにおける2つの大地震, コキン ボ村外での2015年11月11日のM6.9の地震,そして, アントファーガスタの約100km南で起こった2015 年11月27日のM6.2の地震である. それらは2つ とも位置が正確に示された. これらの成功は,大地 震予測の取り組みの正確さを示した. そして,最も 重要なことは,地震学に関わる当局によるたび重な る(それとは)反対の主張にもかかわらず,壊滅的 地震が予知できるということをそれが証明したこと である.

チリ地震に対する予測努力の間にも,新しい確実な 前兆信号が現れた. それは,ジェット気流の速度異 常(Wu and Tikhonov, 2014)である. 現編集者に よる客観的な評価では, M6.0以上の多くの強い地 震の場合に(そして M4.5以上の地震でさえも),そ れが間違いなく本震の数日から100日前に震央の 100km 以内に現れることを示している.たとえ、マ グニチュード決定にさらに改善が必要であるにして も、それは疑いなく最も信頼できる短期的前兆であ る.さらに、われわれは他にも多くの前兆信号を知っ ている.それらには以下のことが含まれている.す なわち、1)早川(2012)によって確立された VLF 電磁波伝播であり、それは、日本では数年前から経 済活動に利用されている.ならびに、2)太陽光の 角度の変化量を使ったインドの Shanmugan によって 開発されたユニークな方法(http://earthquake. itgo.com/)である.

上述の成功例の基礎となっている基本的要素は、地 震の発生メカニズムの高いレベルでの理解であり、 それは、型にはまったプレートテクトニクスモデル とは根本的に異なっている.根源をなす強力な熱-電磁エネルギーは、地球深部---すなわち外核からも たらされることが明らかになった. 深部から浅部へ のエネルギーの移送は上部マントルの断裂によって 制御され、エネルギーは上部マントルの構造的上層 や地殻にトラップされる--つまり深部の地質構造が 本質的要素である、との理解である. トラップから のエネルギー放出は太陽,月,他の惑星の力(潮汐, 惑星間·太陽系内部磁場,太陽極磁場,宇宙天気 [太陽フレア,太陽プロトン現象,磁気嵐などの状 況]など)に影響される.地震は熱-電磁現象であ る. 最終的なエネルギー解放のための論理的基礎は, Pulinets et al. (2015)によって確立された岩石圏-大気圏 - 電離圏 - 磁気圏 (LAIM) システム理論によっ て提供される. Arun Bapat (2007) は, 地震発生前 の動物の異常行動や電磁気通信障害を研究した.現 在,われわれは,前兆信号が,巨大地震につながる さまざまな段階で現れるだろうことを知っている.

今日,われわれは,破壊的地震は予知可能であると 断言できる証拠資料を十分蓄積している.多くの 人々の命を救い,災害を軽減するために,地球全体 にわたって前兆信号を体系的に分析し,分散してい る研究や情報を調整するための国際計画を練り上げ る時が到来した.

# 編集者への手紙 LETTERS TO THE EDITOR

(矢野 孝雄 [訳])

親愛なる編集者へ,

あなたに、私からも NCGT の前進をお慶び申し上げます.

下記リンク先では、私がカリブ海とより広範囲の 地質に関して作成した PowerPoint 発表(ファイル サイズが大きい)をご覧いただけます. "海洋性島 弧"における古期ジルコン、カリブ海および他の 島弧へのそれらの意義、などの最新のデータが多 数含まれています. このファイルは、"安山岩問 題 "や" 沈み込み工場 " が存在しないことを述べて います.

私は、あなたの個人的興味に応えるためにこのリン クをお送りしますが、もしあなたが NCGT の仲間に 何らかの方法でそれを共有されるようでしたら、そ れは歓迎です.

拘束されることないない地質研究者

Keith James khj@aber.ac.uk

連合王国ウェールズ州 Aberystwyth 大学地質学教室

#### 

親愛なる編集者へ,

私は、最近、上席研究員としてモンゴル科学技術大 学(Mongolian University of Science and Technology: MUST) へ所属しました。私は地球科学センター に新しく研究室をえて、現在はモンゴルの二畳系 (二畳/三畳紀境界を含む)に焦点にしぼった研究 を行っています.最近の10年間、私はモンゴルで 多数のデータを収集し、いくつかの重要な論文を 刊行するために努力を重ねています.私はMUST の Gerel 教授の修士・博士課程の学生を2~3人ほど 指導することになるでしょう.

あなたのリーダーシップのもとで習熟した研究者 チームで構成された NCGT 編集委員会に加わること は、私にとってたいへん名誉なことは明らかです. 古くから "ex nihiko bihl ftt" と言われるように, 私たちがより力のある科学者になり, プレートテク トニクスを終焉させるには,多くの困難な課題に遭 遇するでしょう.今日私は1人の年配のモンゴル人 講師と話し合いましたが, プレートテクトニクスパ ラダイムに替わるものが実在することを知って衝撃 をうけていました.

きわめて貴重な広場である NCGT Journal に貢献で きることは喜びです.毎年の NCGT 会議によって前 進していくことを楽しみにしています.

#### 乾杯.

Dr. Per Michael senperm@must.edu.mn モンゴル科学技術大学(モンゴル,ウランバートル)

\*\*\*\*\*

人為的地球温暖化(NCGT Journal 本号の p. 542-557) への回答

人為的地球温暖化に関する私の短いインタビュー記 事(1ページ)が掲載されたことへのいくつかの全 く予期しない反応が(もっとも権威のある2,3の 人々を含めて)寄せられたことに,私たちのリーダー は興味をお持ちでしょう.それらの人々には,元大 臣, CNR(イタリアでもっとも有名な新聞社が発行 するもっとも著名で権威のある科学雑誌)の元編集 長,教会関係者が含まれています.いかなる問題も 解決されていないのです.

私の推測では,メディアのすっぱ抜きはすぐに終わ るでしょう.ある人物がパリ COP21 にコメントし, 「真実は地球温暖化をめぐる戦争の最大被害者である」と主張しました.大衆の意見は、すぐに、それが稚拙であったことを実感するでしょう.一般的流行に敏感に応答する法律家や政治家は、目が覚めることでしょう.それは彼らにとって不快な時間と考えられます.しかし、良く知られているように、政治家たちは言ったり、言わなかったりする術を知っています.幾人もの指導者たちは豹変し、あるはっきりとした、そして、多かれ少なかれ強烈な不平論者の間では、パリでの「空約束」はほどなく忘れ去られるでしょう.

2015 年 12 月 22 日 Gregori Giovanni Giovanni.gregori@idasc.cnr.its

# 原著論文 ARTICLES

## 古代の祭礼遺跡の方位と極移動 ORIENTATION OF ANCIENT CULTIC OBJECTS AND POLAR DRIFT

Stanislav A. GRIGORIEV Institute of History and Archaeology, Chelyabinsk, Russia staria@mail.ru

#### (山内靖喜[訳])

要旨:本論文は、古代祭礼遺跡の方位の研究に基づいて後氷期時代の極移動(すなわち、地球表面に対する自転軸の変動)の復元に向けられている.本論において検討される時代は、紀元前9千年紀と5千年紀前半である.古い方の時代についての結論は南東部アナトリア地方の巨石構造物ギョベクリ・テペ Göbekli Tepe の方位に基づいている.若い方の時代についての根拠は、中央ヨーロッパの円形囲いに由来する.冬至の日の出と日没に向いているその方位は、極の方向を決めることができるだけでなく、古代の地理学的緯度をも求められる.しかし、研究対象の年代と方位の正確さの問題から、正しい極の軌跡を描くことはできない.それでも、前期完新世における最も可能性がある極の軌跡を描くと、それはハドソン湾からグリーンランドを通って現在の極の位置へ向かう. **キーワード**: Polar Drift, solar orientation, ancient cultic objects, early Holocene, climatic optimum

はじめに

最近の時代の極移動の復元は全く挑戦的である.原 理的には,古地磁気学的手法は応用できるであろう が,しかし,本論に関連しているこのように短い時 間の間に地磁気の経年変動の効果が除去されるのは 難しいであろう.従って,古代の短い時間における 地理学的極の位置は古地磁気学的手法によって求め ることは難しいか不可能であろう(Tarling,1987, p.6-10参照).言い換えるならば,地質の歴史上の 多くの一般的問題の解決のためには古地磁気学的手 法が適しているが,本論に関連している問題のよう に古地理学的な詳細えを解明することはできない.

本誌の以前の論文(Grigoriev, 2011)において, 古代の巨石遺跡によって前期完新世の極軌跡を試験 的に描くことが可能であることを私は述べた.本論 文では,提案した移動軌跡を具体化することを試み る.手法上の限界も議論する.

#### 方 法

古代の祭礼構造物は天文学的事象に関係しているこ とは今では一般的に受け入れられている(Heggie, 1982; Ruggles, 2005).一般的に,春分,秋分,夏至, 冬至の日の出や日没の地点,同じく月のメジャー・ スタンドスティルとマイナー・スタンドスティル<sup>\*1</sup> の最大値の地点もそれらの方位の目標として議論さ れている.後者の現象は太陽と関係しているが,月 の軌道は黄道面に対して傾いているため,それらの 地点は夏至と冬至の日の出と日没の地点から両側に 約5°ずれている.従って,太陽の方位からのずれ の一部は月の方位だけでしばしば説明されている. 最近,一部の祭礼構造物を星の方位によって説明す ることが試みられているが,その理由は,それらの 大部分はどのような方位も説明できるからである.

\*1:メジャー・スタンドスティルとマイナー・スタン ドスティル(major standstill and minor standstill) 巨石に関する英語文献に major standstill, minor standstill という月の軌道に関する用語が頻繁に出 てくる.月の軌道は地球の赤道面とずれているため, 18.6年周期で変化し、また、季節によって月の出、 月の入りの位置は異なり,夏の月は南寄りを,冬の月 は北寄りのコースを通るが、この通り道の変化の幅が 最も大きくなる年をmajor standstill, 最も少ない 年を minor standstill と呼んでいる. スコットラン ド北東部特有の祭壇状の横石が置かれたストーンサー クルは、この、major standstillの年の、最も南寄 りに月が沈む方角に横石が置かれるなどの特徴が見ら れることから、遺跡を作った人たちは、月の動きに特 別な関心をもっていたと思われるが, …… (月の 周期/アウターヘブリデス http://d. hatena. ne. jp/ lithos/20070206より, 訳者注)

方法の問題の前に、私は幾つかの理論的な問題を議 論したい.まず第一に、天文学的方位をもつ古代の 遺跡はどれも天文台ではなかった.その神話的内容 からなんらかの方位が重要であるという儀式的な天 文学であった.そして、ある天文学上の事象の重要 性はまさにこの神話的内容にあり、構造方位の厳密 な正確さにあるのでない.従って、まったく同じ内 部を有するある形の複数の遺跡が異なる事象を指示 することはまったくあり得ないだろう.例えば、そ の事象がある星が地平線上に現れることと日没とい うようなことはありえないが、しかし、考古学での 天文学的研究においてそのことは普通にみられる仮 説である.エジプトのピラミッドを除いて,今もっ て星の方位は納得のいく確証を一つももっていな い.さらに,どんな星も常に水平線の同じ地点で立 ちのぼる.従って,この方向に印を付けることは無 意味である.

ある遺跡を月に向けることは太陽に向けることと比 較にならないほど大変難しいという特別の問題があ る.月は天空を大変早く動いており、メトン周期<sup>\*2</sup> によって18.81年に1回同じような位置に観察され る.このことは、多くの祭礼遺跡の建設前に長期間 にわたる事前の観察が当然あったと私たちは考えな ければならない.この遺跡はその後大変短い期間に しばしば使われたか、あるいは葬式の構造物の場合 には恐らくたったの一度だけつかわれた.しかし、 月はすでに別の位置にあったので、建設後にはこの 照星器は使われなかったに違いないということが主 要な問題である.

\*2:メトン周期 Meton cycle:19年に閏月を7回入れ (19年7閏法),19年=235月=6940日とする太陰太 陽暦の周期.紀元前433年にギリシアのメトンが発表 した.中国ではこれを章と呼び,漢の武帝が制定した 紀元前104年の三統暦に採用している.平均の日数は, 1年が365.2632日,1 朔望月=29.53059日に近い. これをさらに改良したのがカリポス周期である.(天 文学大事典,地人書館,訳者注)

夏至と冬至の日の出と日没の地点は重要な問題を まったく起こさない.これらは夏と冬に太陽が達する 地平線上の両端の地点であり、その後それらの地点は 反対方向に移動する.季節の変化を伴う太陽のこの動 きの関係は明らかに常に理解されており、それ故にこ れらの点は神話の上で意義深いものであった.

春分点・秋分点の方向を決めることはさらに難し い.人々は皆東と西の認識はもっていたが、ごく僅 かな人がコンパスと同じようにその方向を指し示す ことができる. 方向決定のために南中の太陽を使 うのは約 5°の誤差を伴う (Schlosser and Cierny, 1996). しかし, 主要な問題は以下のことである. それは、なぜ春分点または秋分点を求め、さらに巨 石遺跡にそれを反映する必要があったのかであり, すなわち、それは神話の体系の中にあるのか? 現 代の人々が空に見る絵と同じ絵を古代の人々は見て いた. すなわち, 昼間に太陽が, 夜には月が輝くの である.しかし、この明瞭な事実(世界のあらゆる 神話の体系の中に含まれている) はもう一つの環境 によって複写されている.太陽と月は空の一部の中 を動いている.太陽は空に大きな弧を描き、夏には 北によった日の出と日没の末端をもつ.満月の状態 も同じである、つまり、月は空に大きな弧を描くが、 それは冬である.これらの昇りと沈みの末端の点は 非常に近い.このことは両者が絶えず位置を入れ替 えていることを意味し、二つの正反対のものの戦い として常に理解されるべきである.人々は常に太陽 を熱と生命に結びつけ、そして月は寒さと死に結び つけた.同様に、東のある点は1日だけ太陽と満月 が昇る点(そして西に両者が沈む地点がある)であ るが、その点は一方の力が他方に勝り始めた瞬間と して理解することができる.そして、正確な天文学 的点の替わりに、神話の関係ではまさにこの点が重 要である.

従って、どのような年においてもまさにこの点が重 要であった.このことはSilva and Pimenta (2012) によって議論されている.東と西のそれぞれの両側 に約5°のずれは可能にされた.同様に、多量の試 料採集や統計上の安定性の場合には私たちはこれら の方位を使うことができるが、個々の遺跡のそれぞ れには自信はまったくない.他の年代がないときは この結果は使うことができるが、しかし、それは仮 説に基づく異なるものであり、点検される必要があ る.最も信頼できる方角は、冬至や夏至の太陽の見 える方向である.そして、一つの遺跡の上に2つの このような方角(あるいは異なる同時代の遺跡の統 計的に信頼できる試料)の場合,私たちは北,南,西, 東を決めることができる.

さらに、私たちが知っているように、赤道上では太 陽は1年中まさに東から昇り、まさに西に沈む.私 たちが北に向かって動いたとき、夏至の日の出と日 没の地点は北の方に変位し、冬至には南の方に変位 する.それぞれ、日の出地点と日没地点間の角度は 小さくなる.例えば、中央ヨーロッパと北ヨーロッ パの緯度において、冬至の日の出と日没の方位間の 角度は緯度が1°増える毎に1.3°~4°減少する(表1). この関係から、私たちは次の式によって古代の緯度

表1 地理の緯度による冬至の日の出方位と日没方位の違い.

<b>緯度</b> (°)	日の出方位 ( <sup>°</sup> )	日没方位 (゜)	日の出と日没の 方位間角度(゜)
45	122.6	236.8	114 .2
46	123.2	236.1	112 .9
47	123.9	235.4	111 .5
48	124.6	234.7	110 .1
49	125.4	233.9	108 .5
50	126.2	233	106 .8
51	127.1	232.1	105
52	128.9	231.1	102 .2
53	129.9	230.1	100 .2
54	131.1	228.9	97.8
55	132.3	227.7	95.4
56	133.6	226.4	92.8
57	135.1	224.9	89.8
58	136.7	223.3	86.6
59	138.4	221.6	83.2
60	140.4	219.6	79.2

方位は北から時計回りに測った角度

を計算することができる.

C = Arc Cos (SinB / Cos A), Aは日の出点の方位角,Bは任意の緯度で任意の日の太陽赤緯(冬至の傾斜角は約-23.5°),Cは緯度である.

実際の遺跡の緯度を求めた後は、緯度 1°の長さは約 111.11 kmであるから、極までの距離 L を計算することは容易であり、 L =  $(90^{\circ}-C) \times 111.11$  km である.

このように、私たちは北の方向、緯度および距離を 知れば、この遺跡を建設した時代の北極点を見つけ られる.

多数の巨石建造物を考えると、一見して、私たちが 紀元前第5~第3千年期におけるそれぞれの極の位 置を容易に知ることができる.しかしながら、現実 はもっと複雑である.

第一に、祭礼遺跡はいろいろな儀式を持っていた. 例えば、幾つかの例では一つの巨石遺跡が一人の埋 葬のために作られ、従って正確な方位でない日の出 点あるいは一般的に東または西と考えられる方向を 示している場合を除くのは不可能である.このよう に、この儀式は考慮されなければならないし、それ は多くのずれをもたらすことができた.

第二に,祭礼遺跡の出版物は地理学的極かそれとも 磁気極のどちらを用いているのかいつもいちいち明 示しているとは限らないので,その利用はやっかい である.

第三に,太陽の位置は水平線の形態に依存している. 地図を使って計算することはできるが,遺跡の上で 測ることでより信頼できる結果が得られる.

第四に、特別な古代の祭礼において、太陽円盤の上の縁それとも下の縁のどちらが重要であったのか私たちは知らない.この場合、アプローチの仕方によって水平線上約1°の違いが生じる.光の屈折による誤差はこれに類似する.

東西の方向の場合,私たちに上記以外の問題が追加 される.最後に,遺跡上において方位を正確に決め ることはいつも可能とは限らない.例えば,構造物 への入口は広すぎることもあり,儀式上重要な方向 だけではない.恐らく,直接の日光ではなく,いく つかの事例では構造物の壁の上での光と影の動きが 最も重要であった.

別の問題として考古学的遺跡の年代の問題がある. ー見したところでは,放射性炭素法によって遺跡を 分析すれば十分であるが,しかしこれらの遺跡はし ばしば長期間使用されたので,放射性炭素法は誤差 をもたらす. そのため,これは統計学的にのみ扱わ れるべきである.

上記の式において、使われるべきは日の出の現在の 方位角ではなく、古代の建設時にあわせて復元され た北から計算された方位角である.この北への方向 は東西方向、すなわち、春分点と秋分点を結んだ線 (上記の誤差を生ずる)に直角なので計算から求めら れる.あるいは夏至や冬至の日の出点と日没点を結 んだ線の場合もありうる.この研究においては、こ の最後の方法を優先するが、水平線の高度はここに 可能な誤差を与える.従って、それは決定されてきた. しかしながら、孤立した事例では、春分点と秋分点 を結んだ線を使うことを避けることはできない.

多くの不確実を含んでいるにもかかわらず,祭礼建 造物を使って前期完新世における極移動軌跡を査定 することが本論の目的である.この結果は関連する 古気候のデータと結びつけて議論する.

#### ギョベクリ・テペ Göbekli Tepe の方位

本誌に載せた私の以前の論文(Grigoriev, 2011) において、最終氷期の時代に極は恐らくハドソン湾 以北、あるいはカナダ多島海に位置し、ヤンガー・ ドリアス期<sup>\*3</sup>にグリーンランドに移動したことを 私は示唆した.この極の変動は南東アナトリア地 方(トルコ、訳者注)の紀元前9千年紀の年代が測 られている最前期の巨石複合体ギョベクリ・テペに 基づいて確かめられた.それは石のブロックで作ら れたいくつかの楕円形または円形構造(図1・図2) からなる.T字型の石柱が壁に差し込まれていて、 一対の高い柱が縦軸に沿って在る.

\*3:ヤンガー・ドリアス Yonger Doryas, ヨーロッパ における更新世末の気候区分の亜寒冷気候期で,年代 は 12,800-11,500yBP (訳者注).

Magli (2013) と Hale and Collins (2013) は、こ れらの柱の側面はシリウスが昇る方向を指している と考え, Schoch (2012) はそれらを星座のおうし座, オリオン座, すばるに関連させた. 他方, Collins (2013) はそれらをデネブ(白鳥座α星)の沈む地 点と関連させ、方位のいくらかの違いは地球の歳差 によるものと説明した.しかし、この著者達は異 なる方位をもつ構造AとF(図2)を当たり前のよ うに無視した. 最近の研究において, De Lorenzis and Orofino (2015) は大部分の囲い Enclosure の方 位がデネブの沈む地点とする Collins の結論に賛 成し, 建造年代についてだけ小修正を行い, そし て構造AとFの方位の説明を試みた.彼等の意見 では、構造F(中央の柱の側面の方位角は67.5°~ 247.5°) は夏至と秋分の間で収穫の休日に符合する 8月上旬の日の出方向に向けられていた.そして構



図1 ギョベクリ・ テペの再建され た囲い(National Geographicより).



表2 ギョベクリ・テペの構造物の方位.

造Aに関しては,彼等は月の方位がマイナー・スタ ンドスティル<sup>\*1</sup>であることを示唆した.

ギョベクリ・テペに関して、農業の証拠はなく、経済は狩猟と採集に限られていた(Neef, 2003).柱の側面はあまりにも短い[平均(約2~2.5m)× (0.5~0.7m)]ので、それらの側面に沿っての方位は天体の対象物への方向付けの信頼できる照準になるが、上面はならないことをその著者は示唆した.しかし、いくつかの囲いの中央の対をなす柱の方位は少し違っている.従って、それらは一つの星を指すことはできない.とても重要な点は以下のことである.すなわち、同じ形式で同じ内部設計の祭礼 遺跡は意味的に同じ意義をもっていたようである. 従って、それらは一つの神話に含められるべきである.その上、これらの構造は年代的に違っている.そして、急いたようである. な変化に反映されている)があったということを私たちは信ずることはできないであろう.

この方位はある天体に関係していて、最も受け入れや すい観測線は対をなす中央の柱の中間線であったと私 は信じている.それらは幅広すぎて信頼できる照準と して役に立つことはできないし、そのため月や星の正 確な観測には適していなかった.太陽のような強力な 光源の使用はよりありそうである.これらの柱は囲い より高いので、日の出や日没には日光が一方の柱を照 らし、その影はもう一つの柱の上に落ちた.構造Fは 直角な方向に作られている.これらの方位は真の東西 方向から反時計回りに 10°~30°回転している.柱の 側面に沿っての方位に関連して、この反時計回りの移 動が残っている(図3).この遺跡に関して系統的に 繰り返された反時計回りの動きを私たちがみているこ とをこれは意味している.

ギョベクリ・テペの構造はそれほど正確な方位に作ら れなかった可能性があるが、この時代に地理学の極が 方位角 327°~350°の範囲(表 2)にあったとする仮 説を系統的なずれからつくれる.従って、私たちは非 常に近似的な扇型を考えている. 不幸なことに、私た ちは夏至や冬至の方位の場合と同じように、古代の地 理的緯度を計算することはできない.従って、この時 代に関して、グリーンランドまたはカナダ多島海近く のどこかへの極の移動を仮定することだけができる. ギョベクリ・テペの遺跡からの多くの放射性炭素の年 代がある. それらのすべてが約 9700~8300BC の時 代に入る (Dietrich, 2011; Dietrich and Schmidt, 2010; Dietrich et al., 2013; Pustovoytov, 2002). 問題は、祭礼儀式を行わなくなった後に構造全体が埋 められたことである、従って、埋め立てる物となった 炭や骨はその遺跡の終末を示しているのであって、そ

構造	東一西 (°)	ずれ (゜)	復元された 北(°)
囲いA	56.9- 236.9	-33. 1	326.9
囲いB	68.4- 248.4	-21.6	338.4
囲 い C	74.2- 254.2	-15.8	344.2
囲いD	80.2- 260.2	-9.8	350.2
囲いF		-22. 5	337.5
囲 い E	79.2-259.2	-10. 8	349.2

表2 ギョベクリ・テペの構造物の方位.

の建造ではない.同時に,初期の地層からの物質 もまた埋め立てた岩屑の一部かもしれない.構造 D(9745~9314BC)の壁土から測られたより信頼で きる年代があり,文化層の堆積の始まった後に壁と 柱の土台の上に形成された土壌炭酸塩からのいくつ かの年代(Pustovoytov,2002)もまた信頼できる. すべての年代の平均値は似たような状況を出したと しても後からの埋め立て物からの試料の年代は各構 造の最初期の年代としては使わないようにしてき た.この場合,97345BP~8306BPの時代に北への推 定方位角が350.2°から338.4°へ変化しているのに 私たちは出会っている.326.9°(ずれ33.1°)の方 位角をもつ構造Aがただ一つだけの異常である.大 体において,一般的傾向は年に約30″である.

仮に Pustovoytov の単一の年代だけに基づくなら ば,移動は年に約40″の速度で反対方向へ向かう であろう(図4).ここで,南東アナトリア地方 でみられるように,前期更新世の極移動の議論を 338.4°~350.2°の扇形に限定する.これはカナダ 多島海の南部から北部とグリーンランドのあたり, またはその一方のあたりのどこかに古極が在ったこ とになる.

ギョベクリ・テペの囲いの地層内にはヤンガー・ ドリアス期の乾燥状態が記録されている.それに 続いて,完新世の気候最良期(Pustovoytov and Taubald, 2002, p.29; Pustovoytovet al., 2007, p.327)の湿潤温暖な状態への漸移部が続いた.こ のように,この気候の傾向に従えば現実の地理的扇 形内での南から北への極の移動は合理的に思える.

#### 中央ヨーロッパのロンデル

紀元前第5千年紀初頭に,新たに明らかに天文的 な方位をもつ遺跡がすでに現れていた.これらは 溝と柵からなる直径約70~110mの大きな円形構 造物(またはロンデル rondel<sup>\*4</sup>)である.溝は数m の幅と最深5mの深さをもつ.溝と柵にはいくつか の出入り口がある.これらの出入り口はなんらか の天体に向いているとすべての研究者は信じてい るが,具体的な目標についての意見はいろいろあ



図3 ギョベクリ・テペの囲いにみられる反時計回りのずれの変化.時間線は Dietrich (2011)の年代に基づく.



図4 ギョベクリ・テペの構造にみられる時計回りのずれの変化. 時間線は土壌炭素の分析に基づく-Pustovoytov (2002)による.

る. いくつかの出入り口は春分・秋分および夏至・ 冬至の日の出と日没に向いていると科学者たちは納 得させられている. しかし,僅かな遺跡だけが完全 な一貫性を示している. 何人かの研究者は幾つかの ロンデルの方位を別々の星に関連させている (た とえば, Neugebauer-Maresch, 1995),しかし,こ の研究は別の研究者達から批判され (Pásztor et al., 2008; Pavúk and Karlovsky, 2008; Plath, 2011),そして "星仮説"の初期の支持者達,たと えば Zotti et al. (2009), Zotti (2010), Zotti and Neubauer (2010, 2011 and 2013)は最近その 考えを廃棄した.

\*4: ロンデル rondel は古フランス語で,小円を意味 する (ウィキペデイアより,訳者注).

出入り口の方位は月と関連しているという考えを別 の研究者は支持している(Pavúk and Karlovsky, 2008). しかしながら,中央から出入り口を通ると いう一般的に適応される方向を使う替わりに,任意 の点を通る線が使われており,いくつかの方向はか なり月の照準にかなり近い.しかし,それらは太陽 方位からずれとして考えられることもできる.メ トン周期<sup>\*2</sup>によって月は18.61年毎に同じ位置に 存在し,たった3日後の角度の違いは8°の大きさ (Pásztor et al., 2008)になるので,正しい方向 を決定するには正確な日を知る必要がある.

直径 50m のロンデルの中心において観測点から 1m 離れると,照準角度は 2.3°だけ変化する(Zotti

and Neubauer, 2010). ロンデルへの出入り口もま た大変広いため天文観測のための信頼できる正面照 準とはならず (Pavúk and Karlovsky, 2008), ロン デルは天文台ではなく,明らかに祭礼儀式の場所で あったので,出入り口を通り抜けた人々はある天体 が昇るあるいは沈む最も一般的な方位に向かってい る.また,ロンデルは祭礼遺跡であったので,それ らは神話の体系に含まれていたに違いない.従って, ある一つの形式に分類される複数の遺跡が別々の天 体に向けられるはずがなく,方位に関して最良の候 補は日の出あるいは日没の太陽である.この意見は 多くの研究者によって出されているが,太陽の方位 からのずれは明らかである.それらについては,観 測線の不正確,あるいは夏至・冬至と秋分・春分の 中間の日でいわゆる the cross-quarter day と呼ば れる日の方位または傾斜方向と結びついた太陽方位 による農業関係の特別な日の方位の不正確によるも のとそれらは一般に説明されている (Zotti, 2010; Zotti and Neubauer, 2010, 2011, 2013). 日の出 から1~2時間後,昇りつつある太陽の方位がとき どき示されている (Pásztor et al., 2008). これ はヨーロッパにおける巨石遺跡の方位のずれを説明 するのにしばしば示されている. もちろん,極移動 は方位のずれのもう一つの原因であるだろう.

本研究では,僅か27個のロンデルがつかわれた(図 5~図7). これらはPavúk and Karlovsky (2008), Pásztor et al. (2008), Plath (2011), Rídký (2011)



図5 ロンデルの平面図. 1-Bajtava, 2-Bochow, 3-Tesetiee-Kyjovice, 4-Bučany, 5-Prašnik, 6-Kyhna, 7-Kleinrötz, 8-Eythra.

図 6 ロンデルの平面図. 1-Kamegg, 2-Meisternthal, 3-Steinabrunn, 4-Glaubendorf 2, 5-Schletz, 6-Kokin 1, 7-Riekofen.

図7 ロンデルの平面図. 1-Friebritz 1, 2-Svodin 2, 3-Immendorf, 4-Ippesheim, 5-ZIkovce, 6-Goseck.

表3 ロンデルの出入り口の方位角と遺跡の緯度	(北と南東への復元された方位角は赤字で示した).
------------------------	--------------------------

遺跡名	°N	°NE	°E	°SE	°S	°SW	°W	°NW	遺跡の古緯度 と極までの距離
Schietz <sup>*1</sup>	340		75				245		
Friebritz *2	353.5		83.5				263.5		
Glaubendorf 2 <sup>*3</sup>	349			106.3- <mark>117.3</mark>	169	222		286 .3	33°13´47″ 6300km
Riekofen	348 .5			127- <mark>138.5</mark>		210			59°11´11″ 3420km
Kamegg	9		97.7				277.7		
Steinabrunn *4	340	36 .5		122– <mark>142</mark>		198		282 .5	60°51′56″ 3234km
Immendorf	336	19		101– <mark>125</mark>		211		281	48°1´11″ 4660km
Ippesheim <sup>*5</sup>	358.3	50 .5		128.4– <mark>129.4</mark>		224 .7	268.3		50°36´ 4373.4km
Kunzig- Untemberg <sup>*6</sup>	349			122– <mark>133</mark>		216		302	55°46′6″ 3800km
Lochenice	341.5	25		118- <mark>136.5</mark>		205		298	58°4′8″ 3544km
Kolin 1	342 .25	28		116.5– <mark>134.25</mark>		208		296 .5	56°38′46″ 3702km
Bochow	6.5	52		141- <mark>134.5</mark>		232		321	56°48′50″ 3684km
Nĕmčičky	0.5	49 .5		132- <mark>131.5</mark>		229		311.5	54°37′14″ 3931km
Goseck *7	7-358 .75			128.5– <mark>129.75</mark>		229			53°7′53″ 4092km
Svodin 2	357.5	42 .5		132.5– <mark>135</mark>		222 .5		312 .5	57°8´30″ 3647km
Bučany	342 .1	25 .7		118.5- <mark>136.4</mark>		205 .7		298 .5	58°0´34″ 3551km
Tesetice-Kyjovice	352.7		81		172.7		261		
Eythra	0.5	49 .5		132- <mark>131.2</mark>		229		311.5	54°22´38″ 3954km
Kleinrötz <sup>*8</sup>	342 .5	41		114– <mark>132</mark>		211		296 .9	55°0´55″ 3883km
Meisternthal	1		91				271		
Prašnik	342 .5		73.4		162.5		253.4		
Kyhna	354 .75	59		132.5– <mark>137.75</mark>		217		312 .5	59°3´13″ 3438.5km
Žlkovce	339		73.2		159		253.2		
Sormás− Törökföldek−l	345		75						
Sé	345		75						
Dolnich Beřkovic <sup>*9</sup>	343								
Kujawy <sup>*10</sup>	356-357								
Vera Island 9 <sup>*11</sup>	3 .8			133.8- <mark>137.6</mark>					58°41´57″ 3478km

注(対応する平面図が図5~7に載せてある場合,その番号を文末のカッコ内に示す. 訳者注)

\*1:西の地平線は約20°と非常に高い.そのため、春分・秋分では太陽は南の方で沈んだであろう.東方の地平線の高さは約10°で,東の出入り口は南にずらされたに違いない.従って、東と西の出入り口の間の角度は170°である.(図6-5)

\*2:東方の地平線は約4~5°で、反対方向の方位が反時計回りにずれているのを私たちはみている。従って、北への方位角の反時計回りのずれはそれより大きいに違いないということは考慮から除かれない。(図7-1)

\*3:ロンデルは南北線に沿う出入り口をもち、また一線上にある北西部と南東部にも出入り口をもつ.この場合、北からのずれは-11°である.南西(222°)に向いた出入り口も またあり、そしてもし南西と南東の中間の北への方向を計算するために私たちは344°を受けるであろうし、すなわち、ずれは約16.3°である.南東方向の地平線高度は1°で、南 西方向では約7.5°であるという事実にこれは起因している.このように、実際には太陽は南から離れて沈まなければならない.それぞれ、北からのずれは小さくなければならな いし、-11°のずれはよりありそうである.(図6-4)

\*4:方位角122°の地平線高度は5°、方位角198°で僅か1°であるから、太陽は東に少し寄ったところで登り、従って極は本論で計算されたより僅かに離れたところに位置した.(図6-3) \*5:北は西方位から求められた.それは-1.7°のずれをもつ.もし、南東と南西の出入り口の方向からそれを求めるならば、ずれは-3°になる.この場合、冬至の日の出の方位角 は131.4°であった.ロンデルは331.4°-151.4°線に沿っても出入り口をもつが、しかし、この方位を説明することは難しい.(図7-4)

\*6:別のデータ(Ridký, 2011)を用いるならば、私たちはわずかに異なる方位角を得る.すなわち、NW-SE は 303 - 123°, NE-SW は 33 - 213°である.それに対応して、北の復元された方位角は 348°で、その移動量は-12°、冬至の日の出は 135°であった.これは極を南の方にいくらか動かしたが、約 150 kmと取るに足らない大きさである. \*7:方位角約 7°の北に向かった出入り口があるが、それらがどのような対象に向かっているかは不明である.北に向かうこの方向が天文学的でなく、それは世間一般の方向であ

ることは考慮される. 358.75°は南西と南東の出入り口の方位角から求められた北方向の方位角は 358.75°である. (図 7-6)

\*8: 東の地平線は高く(北東はで 5.75°,南東では 8.31°),西ではそれは低い(南西では 1.04°,北西では 1.04°).従って,北は西に直角方向として得られる. 最後のものは北西 と南西の出入り口間の二等分線として求められる.(図 5-7)

\*9:ロンデルは反時計回りに17<sup>°</sup>動かされている(Rídký, 2011).

\*10:Kujawyの長い塚は東西線から反時計回りに平均3~4°のずれをもつ (Iwaniszewski, 1995).

\*11:過去の研究において,実際の磁気の偏角が考慮されなかったため,この遺跡の方位角は間違って求められた.この島では短い距離で大きく異なる磁気異常がある.

および Meyer (2011) に記載されている. 検討され たロンデルの大半には4つの出入り口がある。恐ら く、それらは夏至と冬至の日の出と日没に向いてい た.計算のため、南東の出入り口を通る方向が使わ れた. 儀式上で, 最も大事な方向は多分冬至の日の 出方向であった.北方向を決めるために、南東と南 西の出入り口の中間の線が使われた.たとえば、南 東方向の地平線が高かく, 日の出点が移動した場合 など.いくつかの例において必要に応じてこの手順 は変えられた. 方位に沿っての水平線の標高は特別 なプログラムを用いて決めることができる(http:// www.heywhatsthat.com を参照).得られたデータは 表3に載せてあり、地図上(図8)に復元された北 極点の位置が示されている.もし、ロンデルが春分 か秋分の方位に向いていたならば、北の方向だけを 知ることは可能であるが,極までの距離を求めるこ とはできない. このような遺跡の場合の極の仮定の 位置は似たような方位角をもつ別の点の近くに投影 された.従って、夏至または冬至の方向から計算さ れた点とは違って、これらの点は非常に集中する. 標準偏差の場合は表3の注に明記されている.

個々のロンデルが建造された時代の推定された極の 位置を図8は示している.現在の地理学的極の南側 に推定された完新世の極の群れの系統的な移動は, 中央ヨーロッパに対して相対的に西方への移動と同 じように,重要な地球物理学的状況であろう.まっ たく同じ取り組みがすべてのデータに用いられてき たので,極移動によって最も良く説明することがで きる明瞭な傾向について述べることができる.少な くとも,極はグリーンランド東海岸中部から現在位 置まで移動したことをデータは示唆している.

放射性炭素法それ自身における不確かさに加えて, すべてではないが,遺跡の多くは発掘され,表面 で見つかった土器によってしばしばそれらの年代 が決められている.しかし、これらの土器は近く に作られていた集落からもってこられたのだろう. 従って、個々のデータは不正確な結果をもたらすこ とができるので、それゆえに系列的にデータを検 討する必要がある.いくつかのロンデルについて. Stadler and Ruttkay (2006)の著書から一連のデー タが得られ, CalPal プログラムを用いて検定を行っ た. 初期の一連のデータは遺跡建造年代に良く調和 しているので、それらを選んだ. ほかの遺跡は、特 有の考古学的文化あるいはその時相と結び付けるこ とができる発見土器によって年代が決められた.も し、出版物に文化だけの記述があれば、この文化あ るいはその時相の平均年代が使用される.遺跡の得 られた年代を表4に一覧した.文化と時相の年代順 の割合と年代決定は Stadler and Ruttkay (2006) と Sraka (2012)から引用した. 表に示されたその結 果は特定の文化に属する考古学上のいろいろな遺跡 である.

表4にみられるように、ロンデルの示唆される年代 はいろいろあり、そして特定のケースそれぞれにお ける天文学的方位の不確かさに加えて、表3の年代 データに基づいて推定された28個の極を地図に記 入して、地理学的に極の動きの系列を確立すること は難しい.しかし、なにか一般的な規則性を知るこ とは可能である.もし、紀元前4650年が正確な引 用データと受け入れるなら、より古い建造物は主に 現在位置の西方の極を示し、他方、推定されたそれ より若い極の大半は現在の極の周りまたは極の僅か 東に群れることを私たちは知っている.いずれにせ よ、前期完新世の推定された極は北東グリーンラン ドFranz Josef Landの北方までの地域を占めて いる.そして最も若いものは現在の極とフランツ・



図8 ロンデル建造時代に ついて復元した完新世の極 の位置.これらの点は方位 (すなわち,夏至・冬至の 方位に基づく)と太字で示 されている距離の2つに基 づいており,方位(秋分と 春分での方位)だけに基づ いた点は遺跡名をイタリッ ク体で示している.赤丸は 4650BC 以前の年代を表し, 他方黄色丸はそれ以降の年 代である.

遺跡名	文化・時相	文化・時相の年代	遺跡の炭素14年代	推定建設年代
	レンジェル I 、II (Plath, 2011)	レンジェル I, 4850-4650BC		4750BC
Žlkovce	レンジェル II 4500-4400BC	(Sraka, 2012) 4523-4375BC 時相Ⅱa	4500BC	4500-440080-取近使用 されている年代
	(Pavúk & Karlovsky, 2008)	(Stadler & Ruttkay, 2006)	(Pavúk & Karlovsky, 2008)	
	MMK(レンジェル) I	4523–4375(Sraka, 2012)		4750BC
Lochenice	線帯文土器Ⅳ	線帯文土器Ⅳ, 4650-4570BC		4650BC後に再使用
	レンジェルエ	(Stadler & Ruttkay, 2006)		
Prašnik	(PaŽinová, 2011; Ridký, 2011)			4750BC
Glaubendorf	MOG Ia	4680-4620BC (Sraka, 2012;	5918-5745BP	4750BC
Innesheim	(Pavůk & Karlovsky, 2008) Großgartacher文化	Stadler & Ruttkay, 2006)	(Stadler & Ruttkay, 2006)	冉(200-4700BC)
ippesiteitti	MMK(レンジェル) I a, I b, IIa		4300 4700	4000 470000
Némčičky	(Ridký, 2011)	4850-4650BC (Sraka, 2012)		4750BC
Bajtava	レンジェル I (Ridký, 2011)	4850-4650BC (Sraka, 2012)	4000 4040	4750BC
Sormás-Török- Földek I, I			4800–4610 (Barna & Pasztor, 2010)	4705BC
Steinabrunn			5863–5727BP (Stadler & Ruttkay, 2006)	4700BC
Friebritz 1	レンジェル I B	4700-4620BC (Sraka, 2012)	5888-5747BP	4700BC
	(Pavúk & Karlovsky, 2008)	1006 1626DO (Marrier 2011)	(Stadler & Ruttkay, 2006)	470000
Bochow	線帯文土器	4906-4525BC (Meyer, 2011)	5850BP (Meyer, 2011)	4700BC 初期の論文の年代は若す
		3700BC(Meyer, 1999)		ぎる
			7767BP, 5850, 5817BP	6589BC(おそらく建造前の ##屋の左供)
Immendorf			(Stadler & Ruttkay, 2006)	地暦の年代) 4725-4670BC
Schietz			5926-5762BP	4700-4670BC
			(Stadler & Ruttkay, 2006)	4750 407000
	レンシェル I (Ridký, 2011)	4850-4650 (Sraka, 2012)		4/50BC 4670BC(タムニのデータ)+
	(PaŽinová, 2011)	4720–4620BC (Sraka, 2012)		大変正確である)
Bučany	レンジェル I B,	4700-4620BC		
	MBK I a,	(Sraka, 2012;		4700BC
	(Pavúk & Karlovsky, 2008)	Stadier & Rutikay,		
	レンジェル Ι Β	4700-4620BC (Sraka, 2012)		4660BC
Teesties-Kuisuise	(Pavúk & Karlovsky, 2008)	4700 4020DO (Olaka, 2012)		400000
Tesetice-Kyjovice	線帯文土器 Ⅲ-Ⅳa	4850-4650 (Sraka, 2012)		4700BC
	(Ridký, 2011)			
Kleinrötz	MMK(レンジェル)	4800–4550BC(Sraka, 2012)		4675BC
	MBK I a,	4688-4615BC		405000
Kunzig-Untemberg	http://www.unet.univie.ac.at	(Stadler & Ruttkay, 2006)		4650BC
	MOG Ia, Ib 時期にいぶエル IB-		5844-5713Bp	
Kamegg	「日クシンエル」日		4558 BC	4625 BC
	(Pavúk & Karlovsky, 2008)		(Pavúk & Karlovsky, 2008)	
Evthra	線帯文土器Ⅳ (Ridký 2011)		4650-4570BC	4610BC
			(Stadler & Ruttkay, 2006) 4650–4570BC	
Goseck	線帯文土器Ⅳ (Ridký, 2011)		(Stadler & Ruttkay, 2006)	4610BC
Kolin 1	線帯文土器Ⅳ (Ridký, 2011)	4650-4570 (Stadler & Ruttkay, 2006)		4610BC
	Pollinger Kultur-Andreas			
	Lillmann http://www.bingo-			
Riekofen	en.htm			
	Altheimer Group (Kreiner, 1999)	3800-3300BC		3550BCを再使用
Kujawy	長い溝	4460-3380BC		3820BC
Vera Island 9		(Iwaniszewski, 1995)		3700BC

#### 表4 中部ヨーロパにおけるロンデルの編年

ジョセフ・ランドの間にくる.

全部の極年代系からはずれてKolin 1遺跡と Reikofen遺跡のロンデルは若い. すなわち,図8 にみられるように、これら2つの祭礼場から推定さ れる極の位置は古い方の極の主なグループ中に記入 される.加えて、古い方のグループにも同じく逸脱 するものがある. すなわち, Immendorf 遺跡の推定 極はバッフィン湾 Baffin Bay 北部に, Bochow 遺跡 と Ippesheim 遺跡の極は若い遺跡の極の集中部(現 在の極の周り)内にある. Immendorf 遺跡の極はそ の時代の極の一般的な傾向とは著しく不調和なの で,おそらくこの逸脱は誤った仮説や基礎データ によるのであるが,しかし年代測定の間違いを排 除することはできない.しかしながら,ギョベク リ・テペのより古い祭礼所を含めた完新世の極の変 化傾向を広がりをもって試験的に描くことは可能で ある.過去10,000年間の推定された'第一次オー ダー'の極軌跡が図9に示された.完新世過渡期に 地理学的極の最初の位置をハドソン湾中部としたの はHapgood (1970, p.124)の示唆と私の以前の論文 (Grigoriev, 2011, p.102-103)での議論による.

#### 極移動と気候変動

一見すると、紀元前5千年紀前期について本論で復 元した極点は、この時代に関する古気候のデータと 矛盾している.もし、本論で概略を述べたデータを 額面通りに受け取れば、その時代の北極は多分相対 的に短い時間だけ現在の極近くに位置したか、その 主な位置は北東グリーンランドにあったのかどちら かである.従って、考慮している時代の大半におい て、極は現在より1000㎞ほど中央ヨーロッパに近 かった.しかし、検討する時間が完新世気候最良期 の温暖気候期間に対応するとき、どのようにして北 部と中部ヨーロッパ地域が極に近づくことができた のか? しかしながら、この時代において気温がよ り高かったこと、とくに夏季において気温が高かっ たことが北ヨーロッパに記録されている. 逆に, 南 ヨーロッパと地中海において気候はより寒冷であ り、中部ヨーロッパにおいては顕著な傾向は見ら れない (Cheddadi et al., 1997; Davis et al., 2003). Bonfils et al. (2004)によると、中期完新 世の夏の太陽放射は現在より 5% 大きく,冬には 5% 小さかった. これは高緯度においてはまったく通常 の状況であるが、北ヨーロッパが相対的により暖か な状態を経験しているときに、南ヨーロッパでの寒 冷な状況をどのように説明することができるのか?

この'謎のような'問題への回答は恐らく極移動に

関する証拠の中に見つけられるであろう. それはと きおり起こり (Storetvedt, 1968, 1990 and 1997) そして力学的な現象 (Storetvedt, 1968 and 1990) と長い間みなされてきた. 相対的な極移動は 地球の自転軸と関連した地球本体の空間的な変化が ときおり起こることによるが、その主な段階は基本 的に地質時代の境界と密接に関係しているようであ る (Storetvedt, 1997 and 2003). このように、地 球がその空間的方位を変化させたとき、赤道の膨ら みと地球が平らになろうとする現象は地球本体に関 連して次第に移動するであろう. これらの変化はア セノスフェアの液体と気体の含有物に圧力をかけ, それらの上方への移動を加速させ、地表への脱出 ルートをみつけるには、薄くなった海洋地殻を通り 抜けるのが著しい. 同様に, 完新世の極変動は痙攣 するような特徴をもっていたようで、そのため暖か い上部マントルの揮発物は完新世の北大西洋北部の 底層水へ脈動的に浸入した.従って,北大西洋北部 より南および東にあるヨーロッパの地域の気候に比 べて、北大西洋北部周辺の沿岸地域が確かな気候上 の改善を得たことは当然である.

本論で提案された極移動による説明以外に,たと えば,スカンジナビア半島近くのブロッキング高 気圧によって引き起こされる西からの大気の流れ (Bonfils et al., 2004; Mauri et al., 2014) は冬 期に強力で夏期に弱まるが,それが気候最良期を 作ったことが仮定されている.しかし,北部ヨー ロッパでは僅か2℃上昇したことを思い出す必要が ある.同じことがモンゴルで起きたが,中央シベリ ア,カザフスタンそして黒海までの西方では夏は今 より涼しかったようである(Ljungqvist, 2011). このことは紀元前 5000 年頃の相対的な極位置に関 連しており(図8),大西洋のいろいろな気団とそ の上昇した海水温の影響を受けない内陸部にこれら の地域のすべてが在る.他方,その他の東側の地域



図9 前期及び中期完新世 の推定される極位置の系列 を示す図

に加えてモンゴルはより低い緯度にあり,緯度効果 によってより穏和な気候となったのであろう.

北ヨーロッパでは完新世初頭に現在の夏の気温に匹敵する気温となったが、紀元前6000年頃にさらに 上昇した.東部ヨーロッパでは、気温の上昇はす でに紀元前9000年頃に始まった(Daavis et al., 2003)が、Ljungqvist(2011)によると、西部カ ナダとアラスカはさらに早い時期に相対的に穏和な 気候を経験している.

北部ヨーロッパにおいて地球規模の気温変化と一致 した3回の温暖期をHotinsky (1981) は指摘した. それらはボレアル Boreal\*5 (紀元前 8500 年),ア トランチック Atlantic (紀元前 5000 年) およびサ ブボレアル Sub-boreal (紀元前 3500 年) であり, Boreal 温暖期が最も激しかった. 中央シベリア北 部のタイミル半島(北緯 73 ~ 77°)では,ヤンガー・ ドリアス\*3(紀元前12,800~11,500年)から木幹 が報告されており、中部完新統からは木片が多く見 つかっている.シベリアでの中期完新世最良期の ピークはおよそ紀元前 5860 年であり、そのときに は森に加えて沼沢地が生じていた.7月の平均気温 はその地域の現在の気温より恐らく8~10℃高か く, 10~12℃に達した. さらに, タイミル Taimyr 東部から温暖な状況が報告されている(Belorusova, 1987). 紀元前 14300 ~ 9000 年の時代には、ベーリ ンジア(ベーリング海に面する北西アメリカと北東 シベリア)の至るところに主にカバノキからなる森 が広がった.しかし、アメリカでは紀元前11000~ 9000年の最高気温のときにポプラさえ存在した. シベリアにおいては、紀元前 9500~8000 年の時代 に気温状況が好転し、その後ボレアル期末に寒冷化 が生じ、そしてアトランチック期の気温最良期に なった (Lozhkin, 2006). ユーラシア大陸最東端の 北方にあるウランゲル島 Wrangel Island ではつい 紀元前 2000 年にマンモスの数が増えた (Vartanyan et al., 1995). もし私たちが図8と図9に概略が 示されている完新世の極移動軌跡を受け入れるとき にだけ、北部ユーラシア(シベリア)に関して報告 された完新世の気候変化傾向は道理に合う.

\*5: ボレアル Boreal 期は地学事典では「約 9500 ~ 8000 年前の冷温・乾燥期.」とされているが,本論では温暖期としている(訳者注).

さらに、サハラでの今より湿潤な前期完新世の状況 もまた、このモデルに完全に一致している.このモ デルは高緯度と推論の結果から関連していると判断 された西方の気団とによって説明されている.サ ハラでの湿潤状況の終わりは北アメリカのローレ ンタイド氷床の最後の溶解と一致していた(Lamb, 1982).アラビアの砂漠化もまた、前期完新世には 無かったエルニーニョの出現とともにそれと一致し ている. さらに,南アフリカでのより湿潤で温暖な 状況(Burroughs, 2005)は,その時代の低緯度の 広い地域に起因するが(図8と図9から当然のこと として),そのことは合理的な説明を得ている.

しかし、完新世の気候変動についてはおそらく複数 の別の説明がある.たとえば、ミランコビッチ(1930) のモデルによれば、軌道の変化が季節の日射と子午 線日射の両方を変化させたため、季節毎の気温の変 化が大きくなったことが地軸の傾きが大きくなった ことで説明されている.約6000年前,地軸の傾き が大きかったと考えられており、そのときの夏至 点は近日点に近かった (Fischer and Jungclaus, 2011). これらの特別な提案を点検することは可能 である.このように、軸の傾きの重要な変化は祭礼 遺跡の方位に影響したであろう.とくに、夏至の方 向はより北寄りの方位角を,冬至の方向はより南よ りの方位角をもたねばならなかった.しかしなが ら,前期完新世の時代に相対的地理学上の極は北極 圏カナダー中央グリーンランドに位置したというむ しろはっきりした証拠を控えることを私たちはでき ない. なお, その後, 極は北西に移動して現在の位 置にある.

いずれにせよ、本論に関係した古気候問題は地理学 上の緯度だけでなく、氷河や海氷の接近、大気の循 環、海流や表面水温との強い相互作用(Bonfils et al., 2004; Fischer and Jungclaus, 2011)および 太陽活動の変化(Grigoriev, 2011)によって確か に影響を受けた.この問題を十分満足できる検討 を行うため、多変量解析を使用して(Bonfiles et al., 2004)多くの学問領域にわたる研究が明らか に必要である.

#### 結 論

図9によれば,前期完新世の古極はハドソン湾地域 に位置し、そこからグリーンランドを横切り、さら にスピッツベルゲンとフランツ・ジョセフ・ランド の北の地域へと移動し、最後に現在の地理学上の極 の地域で終わった.一般に地球規模の地質過程と同 じように、提案された相対的極移動はおそらく時折 起き,地球の自転の変化と密接に結びついていた (Storetvedt, 1977 and 2003). いずれにせよ, 完 新世の極はゆるやかな弧に沿って反時計回り方向に 移動した. それは地球の自転方向に相応する運動を 行った.この運動の急激で時折起こる特徴は、また 'アセノスフェア'を満たしている気体と液体の内 部圧力を波動状に増加させ、そのためマグマといろ いろな気体を地表へとおしあげた.実に、アトラン チック期以前には噴火の強度は過去2000年間の5 倍以上であった (Zielinski et al., 1994).

謝辞 本論文を編集下さり、また本論で述べられて

いる多くの根拠の地球規模での地球物理学的側面を 理解するのを御教示下さった K. Storetvedt 教授に 深く感謝します.北大西洋における気候好転の地球 物理学的理由についての彼の考えは完新世気候最良 期を良く説明しているので,特に重要である.

#### 文 献

- Barna, J.P. and Pasztor, E., 2010. Two Neolithic enclosures at Sormás-Török-Földek (Southwest-Transdanubia, Hungary) and their possible geometrical and astronomical role: a case study. Monumental Questions: Prehistoric Megaliths, Mounds, and Enclosures. Vol. 2122 of British archaeological report. International series, D. Calado, M. Baldia, M. Boulanger (Eds.), p. 119-126.
- Belorusova, Zh.M., Lovelius, L.V. and Ukraintseva, V.V., 1987. Regional features in the Taimir nature alteration in Holocene. Botanical Journal, v. 72, no. 5, p. 610-618 (in Russian).
- Bonfils, C., de Noblet-Ducoudré, N., Guiot, J. and Bartlein, P., 2004. Some mechanisms of mid-Holocene climate change in Europe, inferred from comparing PMIP models to data. Climate Dynamics. 23, p. 79-98.
- Burroughs, W.J., 2005. Climate Change in Prehistory. The End of the Reign of Chaos. Cambridge: University Press, 356 p.
- Cheddadi, R., Yu, G., Guiot, J., Harrison, S.P. and Prentice, I.C., 1997. The climate of Europe 6000 years ago. Climate Dynamics, v. 13, p. 1-9.
- Collins, A., 2013. Göbekli Tepe: Genesis of the Gods. Bear and Co, Rochester.
- Davis G. A. S., Brewerb S., Stevenson A. C. and Guitotc J., 2003. The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data. Quaternary Science Reviews. 22, p. 1701-1716.
- De Lorenzis, A. and Orofino, v., 2015. New Possible Astronomic Alignments at the Megalithic Site of Göbekli Tepe, Turkey. Archaeological Discovery, v. 3, p. 40-50.
- Dietrich, O., 2011. Göbekli Tepe. The Platform for Neolithic Radiocarbon Dates. http://www.exoriente. org/associated\_projects/ppnd\_site.php?s=25#
- Dietrich, O., Köksal-Schmidt, Ç., Notroff, J. and Schmidt, K., 2013. Establishing a Radiocarbon Sequence for Göbekli Tepe. State of Research and New Data. Neo-Lithics. The Newsletter of Southwest Asian Neolithic Research, v. 1, p. 36-41.
- Dietrich, O. and Schmidt, K., 2010. A Radiocarbon Date from the Wall Plaster of Enclosure D of Göbekli Tepe. Neo-Lithics. The Newsletter of Southwest Asian Neolithic Research, v. 2, p. 82-83.

Fischer, N. and Jungclaus J. H., 2011. Evolution of the

seasonal temperature cycle in a transient Holocene simulation: orbital forcing and sea-ice. Climate of the past. 7, p. 1139–1148.

- Grigoriev, S.A., 2011. Catastrophes in the first half of Holocene and their possible dynamic causes. New concepts in Global Tectonics Newsletters, no. 61, p. 95-107.
- Hale, R. and Collins, A., 2013. Göbekli Tepe and the Rebirth of Sirius. http://www.andrewcollins.com/page/ articles/Gobekli\_Sirius.htm
- Heggie, D.C., 1982. Archaeoastronomy in the Old World. Cambridge: University Press. 292p.
- Hotinsky, N.A., 1981. Traces of the past lead in the future. Moscow. Mysl, 180p. (in Russian).
- Iwaniszewski, S., 1995. The Funnel Baker Culture (TRB) long barrows in Kujawy District in Central Poland: first results of archaeoastronomical investigations. Archaeoastronomy from Scandinavia to Sardinia. Current problems and future of archaeoastronomy. 2. Budapest, p. 32-38.
- Lamb, H.H., 1982. Climate, history and the modern world. Methuen, London and New York, 387p.
- Ljungqvist F.C., 2011. The Spatio-Temporal Pattern of the Mid-Holocene Thermal Maximum. Geografie, v. 116, no 2, p. 91-110.
- Lozhkin, A.V., 2006. Natural environment around the Neolithic Man in the Upper Kolyma Basin. Vestnik DVO RAN. 2, p. 24-31.
- Magli, G., 2013. Sirius and the Project of the Megalithic Enclosures at Göbekli Tepe. http://arxiv.org/ftp/arxiv/ papers/1307/1307.8397.pdf
- Mauri, A., Davis, B.A.S., Collins, P.M. and Kaplan, J.O., 2014. The influence of atmospheric circulation on the mid- Holocene climate of Europe: a data-model comparison. Climate of the Past, v. 10, p. 1925-1938.
- Meyer, M., 2011. Die Nordperipherie mittelneolithische Kreisgrabenanlagen in Brandenburg. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle. Band 6, p. 145-155.
- Milankovitch, M., 1930. Mathematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen, Handbuch der Klimalogie. Borntrager, Berlin. V. 1. Teil A.
- Neef, R., 2003. Overlooking the Steppe-Forest: A Preliminary Report on the Botanical Remains from Early Neolithic Göbekli Tepe (Southeastern Turkey). Neo-Lithics. The Newsletter of Southwest Asian Neolithic Research, v. 2, p. 13-15.
- Neugebauer-Maresch, Ch., 1995. Mittelneolithikum: Die Bemaltkeramik. Jungsteinzeit im Osten Österreichs. E. Lenneis, Ch. Neugebauer-Maresch, E. Ruttkay (Eds.).
  Wissenschaftliche Schriftenreihe Niederösterreich. Band 102/103/104/105, p. 57-107.
- Pásztor, E. P., Barna, J. and Roslund, C., 2008. The

orientation of rondels of the Neolithic Lengyel culture in Central Europe. Antiquity. v. 82, p. 910-924.

- Plath T., 2011. Zur Problematik der Nutzungsinterpretation Mittelneolithischer Kreisgrabenanlagen. Dissertation zur Erlangung der Würde des Doktors der Philosophie des Fachbereichs Kulturgeschichte und Kulturkunde der Universität Hamburg. Hamburg. 221 p.
- Pustovoytov, K., Schmidt, K. and Taubald, H., 2007. Evidence for Holocene environmental changes in the northern Fertile Crescent provided by pedogenic carbonate coatings. Quaternary Research, v. 67, p. 315-327.
- Pustovoytov, K. and Taubald, H., 2003. Stable Carbon and Oxygen Isotope Composition of Pedogenic 25 Carbonate at Göbekli Tepe (Southeastern Turkey) and its potential for reconstructing late Quaternary paleoenvironments in upper Mesopotamia. Neo-Lithics. The Newsletter of Southwest Asian Neolithic Research, v. 2, p. 25-31.
- Rídký, J., 2011. Rondely a struktura sídelních areáluv mladoneolitickém období. Dissertationes Archaeologicae Brunenses/Pragensesque 10. Klápště J., Měřínský Z. (Eds.). Praha – Brno. 264 S.
- Ruggles, C.L.N., 2005. Ancient astronomy: an encyclopedia of cosmologies and myth. Santa Barbara: ABC-CLIO. 518 p.
- Schlosser, W. and Cierny, J., 1996. Sterne und Steine. Eine praktische Astronomie der Vorzeit. Wiss. Buchges, Darmstadt. 176 p.
- Schoch, R., 2012. Forgotten Civilization. Bear and Co, Rochester. 384 p.
- Silva, F. and Pimenta, F., 2012. The crossover of the sun and the moon. Journal for the History of Astronomy. XLIII, p. 191-208.
- Storetvedt, K.M., 1968. A synthesis of Palaeozoic palaeomagnetic data for Europe. Tectonophysics, v. 4, p. 155-162.
- Storetvedt, K.M., 1990. The Tethys Sea and the Alpine-Himalayan orogenic belt; mega-elements in a new

global tectonic system. Physics of the Earth and Planetary Interiors, v. 62, p. 141-184.

- Storetvedt, K.M., 1997. Our Evolving Planet. Bergen, Alma Mater (Fagbokforlaget), 456p.
- Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics. Bergen, Fagbokforlaget, 397 p.
- Tarling, D.H., 1978. The geological-geophysical framework of ice ages. Climatic change. J. Gribbin (Ed.). Cambridge university press, Cambridge, London, New York, Melbourne, p. 3-24.
- Vartanyan, S.L., Arslanov, Kh.A., Tertychnaya, T.V. and Chernov, S.B., 1995. Radiocarbon Dating Evidence for Mammoths on Wrangel Island, Arctic Ocean, until 2000 BC. Radiocarbon. The University of Arizona. v. 37, no. 1, p. 1-6.
- Zielinski, G.A., Mayewski, P.A., Meeker, L.D., Whitlow, S., Twickler, M.S., Morrison, M., Meese, D.A., Gow, A.J. and Alley, R.B., 1994. Record of Volcanism Since 7000 B.C. from the GISP2 Greenland Ice Core and Implications for the Volcano-Climate System. Science, v. 264, no. 5161, p. 948-952.
- Zotti G., Neubauer W., Schneidhofer, P. and Totschnig, R., 2009. Simulation of astronomical aspects of Middle Neolithic circular ditch systems. Mémoire du sol, espace des hommes, v. 33 (suppl.), p. 379-382.
- Zotti, G. and Neubauer, W., 2010. Kreisgrabenanlagen: Expressions of power linked to the sky. Proceedings of SEAC. Zotti, G. and Neubauer, W., 2011. Astronomical and Topographical Orientation of Kreisgrabenanlagen in Lower Austria. Proceedings of Stars and Stones. SEAC. Evora, Portugal. Pimenta F. (Ed.). BAR International Series.
- Zotti, G. and Neubauer, W., 2013. Update on the simulation of astronomical aspects of Middle Neolithic circular ditch systems. Archaeological Prospection. Proceedings of the 10th International Conference on Archaeological Prospection. Wien, Austria, 29.05.-02.06 2013. Neubauer, W., Trinks, I., Salisbury, R.B. and Einwögerer, C. (eds.). Wien: Verl. der Österr. Akad. d. Wiss., p. 187-189.

# 卓状地:熱史と地質史 PLATFORMS: THERMAL AND GEOLOGICAL HISTORY

#### Vadim GORDIENKO

Institute of Geophysics, National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine tectonos@igph.kiev.ua or vgord@inbox.ru

(赤松 陽・矢野孝雄 [訳])

要旨:卓状地の下の上部マントルにおける放射性熱生成シナリオを説明する熱史は,過去42億年間にわたる地球 造構圏の深部作用に加わる水平対流多形仮説(APH)によって解析されてきた.地表へ向かう周期的な熱と物質の 移送が不可避的であることが見いだされる.つぎつぎに起きる熱・物質移送の時間間隙は30m.y.から250m.y.へ 増加する.これらの活性化の年代は、すべての大陸の卓状地における火成活動と変成作用の年代測定結果でもって 対比される.その対比はきわめて良好である.

キーワード:造構圏,深部作用,上部マントルにおける熱と物質の移送,活性化の周期性

#### まえがき

この論文は、水平対流多形仮説(APH)に関する本稿の著者の論文(Gordienko, 2015a)のいくつかの 要点をより深化させ、深部作用へ適用するものである. それゆえ、いくつかの繰り返しが含まれている.

一連の先行論文 (Gordienko, 2015a, 2015b, 2015c) で議論された深部作用と熱・物質移送のエ ネルギー源に関する情報は、全地質史(地球が存在 した過去の約42億年間)にわたる造構圏(および, 観察可能な表層近くへのそれらの現れ)の熱的進化 を解析することを可能にする. それは、上部マント ルにおける熱生成レベル(HG)に依存している.私 たちの計算では最低値を HG=0.04  $\mu$  W/m<sup>3</sup>とするが、 それは今日の大陸卓状地下の上部マントルに典型的 な値である.この値をもちいると、結果の詳細で独 立した立証を行う機会がえられる. 卓状地 - 楯状地 の浸食は、さまざまな年代の火成岩と変成岩を露出 させ、それによって、最大の年代幅における一連の 活性化事件をたどることが可能になる.他のHG レ ベルを示す地域―海洋と地向斜―では、そのような データは希少で、完全に立証することはできない.

研究を目的とする記載において、本稿の著者は "剛 塊 craton" という用語の使用を避ける.というの は、それが顕生代に造構 - 火成活動が静穏であった かの誤解を与えるからだ.しかし、実際には、その 考え方 ("craton") とされるすべての地域で間欠 的な活性化が起こっている. " 先カンブリア紀卓状 地 "という用語 (今後は、一簡潔さのために一卓状 地 "Platform" と記述される) は、その領域に顕生 代地向斜を欠いていることだけを意味する. 楯状地 は卓状地の一部で、そこでは顕生代の被覆堆積層を ほとんど、あるいは完全に欠いている.

#### 計算の枠組み

先カンブリア紀におけるある地域のマントルの熱 的進化モデルは、約4.2Gaの造構圏における初期 温度(T)分布の仮定にもとづいている(初期温度 はソリダス温度に相当し、深度範囲 50~450km で は Ts=1,013+3.914H-0.0037H<sup>2</sup>,ここでHはkmで示 した深度).温度のさらなる変化は、表面からの熱 伝導冷却、放射性熱輻射(時間とともに強度が変 化し、現在のレベルは深度 0~20km で 0.8  $\mu$  W/m<sup>3</sup>,約42~500km で 0.004

 $\mu$  W/m<sup>3</sup>, 500 ~ 1,500km で 0.0040.8  $\mu$  W/m<sup>3</sup>), およ び、活性化期間における表層への熱移送に関係して いる.物質は,直径 60 ± 10km の造構的活性化単位 (QTAs) というかたちで移動する. それらの間の最 小時間間隙は、数千万年である.地向斜およびリフ ティング作用を引き起こすには、3 QTAs が必要で ある. それは, 該当する深度範囲に由来する比較的 低温の物質によって置換される. 前者の場合, 過熱 物質はまず深度 150 ~ 200km へ, 次に 100 ~ 150km へ, そして最終的に 50 ~ 100km へ上昇した. それ は,対応する深度範囲から供給される比較的低温物 質によって置換された.熱と物質の移送の最終段階 には、厚さ7~8kmの層に相当する量の部分溶融物 質の地殻中への貫入が起きた. 地殻を構成する塩基 性岩はエクロジャイト化し, 地殻下のアセノスフェ アへ沈んでいった. 貫入深度範囲は 20~40km で ある.リフティング期間に上昇した QTAs の定置深 度における一連の変化は、地向斜中での QTAs とは 逆方向に運動した, 上方への貫入は, 最初は深度 50~100km (そして地殻中) へ到達し, その後は 100~150km, そして150~200kmとなる. 単一の 活性化期間の場合には、この変位はリフティングの 初期時相に一致する.

楯状地における火成岩類の組成にかんする研究 (Gordienko, 2015c;他)によると、先カンブリア 紀の諸作用が活発な期間には、計算結果が予測する ように、アセノスフェアの頂部深度は、顕生代の地 向斜やリフトと同様に変化した.そのため、表層近 くにおけるこれらの事件の造構的分枝が顕生代の諸 作用とは異なっていたとしても、″地向斜″や″リ フト″という用語は過去の作用に帰せられる.

ある活動的作用の選択は、先行する熱的モデルのタ イプと同等であった.もし、その始まりに先行し て、200kmよりも大きい深度範囲において温度がソ リダスを超えると、アセノスフェア内部では対流や 地向斜作用がはじまる契機に適すると考えられた. さらに考慮すべきことがらは、アセノスフェアある はその一部における超断熱勾配(superadiabatic gradient)の存在である.詳細にみると、アセノス フェアのそのような部分は物質の対流混合と上昇す るアセノリス(asthenolith)を形成するのに適し ていると考えられた.活性化作用に先立ってアセノ スフェアがより薄い場合には、この条件はリフティ ング、あるいは単発性の一時的活性化に適している と想定された.リフティングの途上で、物質がアセ ノスフェアから,あるいは,アセノスフェアのうち 厚さが約59~100kmの部分から除去された.アセ ノスフェアを欠くか,薄い(50km以下)場合には, 条件が熱および物質の活発な移送に適さないため に,計算(もっぱらバックグラウンドの進化を意味 し,全ての温度異常を平準化する)は,自らが提示 する適切な条件に達するまで継続された.

ウクライナ楯状地 (USh) およびバルト楯状地 (BSh) の範囲に露出する先カンブリア系における活性化 作用の歴史に関する地質データが示すところでは (Gordienko et al., 2005;Gordienko, 2009a), 約 3.0~3.5Ga にそれらは同時に、あるいは、ほぼ同 時に楯状地の範囲が全域あるいはその一部において 決定された. 当然のことながら, 同時的活性化は同 じタイプのものではなかった. これは重要な相違に よるもので,地殻とマントルの岩石における熱生 成の約20%に達し、この相違は楯状地で検出され た (Gordientko et al., 2005;他). しかしなが ら, 事実として, この百分率は地殻岩石だけに適用 されるようにみえる. そのような値の変化は、マン トル HG に適用できないだろう. 前述したデータは 確かに不完全であるが、そのような仮定は既知の証 拠と不調和ではない.とすると、その近傍における 幅 100km (長さはおそらくより大きい)の出現地帯 では、活性化期間に、一般に " 造構 - 火成活動が静 穏"である.熱的モデル形成期間の活性化域におけ るそのような幾何学的変化が研究された事例はない が、計算によって決定された. ″領域のすべてを包 含する "活動は約2.5Gaに想定されるHGを維持で きなくなり、こうして原生代がはじまる.

直接的な地熱問題を解決するために使われたいくつ かの段階, とくに, Gordienko et al. (2005)で報 告された段階について,計算が行われた.

1. 表層からの伝導冷却による初期温度分布の変化 計算で、私たちは冷却する半球に関する対流方程式 を用いた. 試算によると、造構圏モデル解析には厚 さ約1,500kmの層における温度を考慮したので十分 である.

2. いずれの時刻においても得られた温度分布は,時間とともに変化する次の4つの1次元的放射性熱源の影響で決定されていた:a)上部地殻,b)下部地殻,c)上部マントル,および,d)下部マントル. 各層における熱生成の時間的変化は,計算期間をそれらの中での持続的HGにともなう間隔に分割することによって説明された.それらの長さは時間とともに増加し,それは,時間にかかわる放射性元素濃度の指数関数的関係に由来する.

3. 地域史にみられる個々の活性化期間に関し、物 質の水平対流変位の結果が、得られたバックグラウ ンドモデルに重ねられた.

4. 多型転換フロントの変位期間のおける熱源上昇 の効果が、変形層の熱発生について計算された.

5. 計算の初期に,過去および現在の地球表層温度の相違が考慮された.

6. 大隕石の地表衝突の影響を考慮するように試みた(下記参照).

地殻挙動は、初期には変化してきたと信じられる. 以下に示されるように、3.8Gaに急に減少する大隕 石の地表への衝突を無視したとしても、当時と釣り 合いのとれた厚度を示す初期地殻の存在を想定する ことは困難であろう(図1:The Early History of the Earth, 1980).

岩石学的証拠にもとづくと、初期地殻(約4Ga)は 現在のものに近似する組成と厚度(約20km, The Early History of the Earth, 1980) をもってい た. 計算の初期試験では、現代的地殻への転換期 は3.8Gaとされた.次の情報はこの発見を支持す る. 下部地殻の深度 42km (温度 = 850℃) で 2.5Ga に形成された塩基性グラニュライトが、中国で報告 された. その後の地殻は、すでに現在と同じ厚度 をもつようになった (Geochemistry…, 1987). イ ンド楯状地(年代は2.8Ga)の後期始生代グラニュ ライト質岩石は、18~28-30kmの深度範囲(温度 = 600~800℃)にある地殻中で形成された. ウク ライナ楯状地の始生代岩石(年代は3~3.5Gaま で遡る)のなかに、35kmに達する深度で形成され た塩基性グラニュライトが含まれる (Shcherbak, 2003;他). バルト楯状地北部における厚い地殻(厚 度は、現在の地殻に匹敵する)の下部にグラニュ ライトが存在するようになったのは約3.5Ga であ る (The Early History of the Earth, 1980). 地 球上のさまざまな大陸の楯状地に知られる最後の岩 石は、地殻は酸性の上部と塩基性の下部にまだ分化 していないことを除くと、十分に発達した大陸地殻 に分類されることは明らかである(Geochemistry



…, 1987). ウクライナ楯状地では, "4.2Ga までに は, グラニュライト相変成作用を被った厚い地殻 が存在していた"(Clark et al., 1988, p. 281). すべての可能性を考えても,始生代地殻は平均組成 で現在の地殻と大きくはかわないが,マントル起源 の酸性岩と塩基性岩を含み,これらの岩石は再生作 用(anatexis)による変質を被っていなかった.地 殻中における熱発生は,現在の地殻の場合と同様 に,深度によって劇的に変化することはなかっただ ろう.しかも,この相違は,決定されたマントル温 度に大きな影響をもたらさない.

現在のようなタイプの地殻の出現を示す確実な事例 は計算には含まれていない. さまざまな変化が考慮 されていて,地殻の形成と安定化の期間よりも以前 には,地殻に含まれる放射性熱源の一部は,厚度 数+kmの上部マントル層に分布するようになった (The Early History of the Earth, 1980;他).現 在の地殻出現(残りの歴史を通じて保存)は,その 期間のモデルの変化をもたらす.その効果は,地殻 が安定化した後の1~2億年間の造構圏の温度分布 にはあまり顕著ではない.

私たちは岩石の熱伝導率として $7 \times 10^{-7}m^2/c$ ,体 積熱容量として $4.2 \times 10^{6}$ J/m<sup>3</sup>を用いた.これら の値は以前に実証されたものである(Gordienko, 1998;他).わずかながらより大きな値をもちいた 試算では、もしそうだとすると、マントルの熱源は あまりにも早く枯渇し、早くも原生代には活動的作 用が不可能になるだろう.

始生代の地表温度が上昇していたことに関する文献 で得られるデータはかなり曖昧である. 過熱の著し い重要性がひろく認められているが、その強度や異 常の時間的スケールの評価はさまざまである.約 3.8Gaに起きた地球表層への大隕石の強烈な衝突が 緩和されて以降は、現在の温度(いかなる場合でも 100℃未満)に近似した温度が計算に設定される. 表面温度は、およそ4.2~4.0Gaには約500℃と見 積もられ、その後はしだいに 100 ~ 200℃まで低下 した (The Early History of the Earth, 1980; 他). しかし,別の研究は次のことがらを否定しな い: "3.8Ga にはじまる堆積岩すなわち液体の水が 存在することは明らかである"(Taylor et al., 1988, p. 359). 一連の計算(下記参照)から導か れるように、上部造構圏の温度はいずれの研究にお いてもソリダスを超えていた.この意味で、大隕石 の地球表層への衝突効果の熱的影響は、すでに周期 的に何らかの部分溶融を周期的に被っていた地殻と 上部マントルに加算された.

地殻の安定化と表面温度の減少に先立って、マント ルには多量の水が依然として存在し、そのソリダ ス温度を深度約 150km までは最大で 150 ~ 200℃低 下させていた.アセノスフェア上面の深度を求める ためには、"dry"マントルへの瞬時の転換が計算に 考慮されなくてはならない."もっとも強力な岩石 による証拠は、過去30億年以上にわたって浸食作 用と堆積作用との間にみられる明白な類似性であ る"(Garrels et al., 1974, p. 62—ロシア語翻 訳本による).言いかえると、その時までに、マン トルはすでに水の大部分を失い、地表の水環境は顕 生代、おそらくそれ以前(上記参照)と同様な状態 になっていた. 楯状地に関する地質データにもとづ くと、最古の堆積岩年代にしたがうと通常の堆積作 用への転換期は約3.0~3.5Gaにまで遡るだろう.

上部マントル底における多形転換にかかわる岩石の 圧縮あるいは分解過程で放出・吸収されるエネル ギー量に関する情報から、5.10<sup>7</sup>J/m<sup>3</sup>でかんらん石 がスピネル構造をもつ鉱物へ相変換する効果を見積 もることができる(Gordienko, 1998).そのような 被覆物質の熱源の影響は,相転換フロントから数十 km離れたところで急激に小さくなり,フロントそ のものにおいても数十度未満である.温度変化は, 計算に用いられた造構圏岩石の温度特性の値の不正 確さにかかわる計算誤差をうわまわることはほとん どない.

#### 計算結果

熱的モデルの初期条件には、地向斜(前述の意味の) 作用を引き起こすのに必要な仕組みが含まれてい る.深度範囲200~500kmの物質が変形に参加する. このサイクルの完了後、この条件はリフティングを 引き起こすのに適し、その後、条件は再び地向斜な どの形成に適合するようになる. 楯状地の全域に働 く一連の活性化作用と生成熱の減少は、マントルの 熱源を枯渇させる. 全域を含むさらなる活動は約 2.5Gaに不可能になった. 現在に近い時代に起こっ た活性化事件は幅約100kmの比較的狭い地帯に限定 されると考えられ、かなり離れたところでは、マン トル中に同時的な熱や物質は存在しない.

水平対流によって造構圏のエネルギーを消失するために、4.2~0.00Gaの期間にわたって、熱と物質の移送事件が70回発生した.この計算は楯状地の造構圏における定量的で一連の活性化作用をかすかに再現するだけではない.楯状地の造構圏における他のいくつかの作用において熱的モデルが不首尾である場合はいつも、類似しない媒質の熱的物性や類似しない作用過程は内因的仕組みの地向斜やリフティングの選択によるものと考察された.こうして、熱および物質の次の移送を引き起こすために好適な条件がより″成熟する″期間のための造構的静穏期を計算することが可能である.

モデル化の結果はアセノスフェア進化というかたち

で図2に、そして、卓状地の地史のさまざまな期間 における温度(T)変化を示した表1に、それぞれ 示される.この図の水平縮尺は特定のタイプのモデ ルが出現する時期をGaの単位で示す.

図2にリストされた計算結果はアセノスフェアの上 面と下底の深度変化がかなりスムースなパターンを 示すので許容されない.それらは,熱移送および物 質移送につづく1~4千万年の期間に発生する状況 を示している.その直後には,地向斜発達の最終段 階とリフティングの初期段階,地殻底へ上昇した部 分溶融層の頂部,および中部地殻において,変成作 用の角閃岩相岩石の部分溶融層が出現する.場合に よっては,下部(塩基性グラニュライト)地殻も限 定的な溶融を被る.図2に示された場合には,次の 熱・物質移送の直後にアセノスフェア基底面が著し く上昇した.

このモデルの地殻部分に関して2,3言及しておこう.それらはこの計算の主要な目的ではないが,それはマントル部分に密接に関わっていて,地質デー



図2 地殻および上部マントルにおける卓状地タイプHGの期間 におけるアセノスフェアの進化. 1:アセノスフェア,2:"液体" マントルとよばれるアセノスフェア上部,3:内因的体制のタイ プ(G:地向斜,R:リフティング,およびA:単発の挿話的活性化)

タによって検証されうる作用の詳細を示している.

複数回(検討しているモデルでは 30 回)のマント ル-地殻転換の可能性が、マントルへ沈降するエク ロジャイト化した塩基性地殻がマントルから化学的 に類似したメルトと入れ替わる状況で発生する.こ うして、この作用がくりかえし発生する条件が整う ことになる.

地殻内における事件のより詳細な解析 (Gordienko, 1998; Gordienko et al., 2005; 他) によると, 過 熱マントル物質は単一の固化層を形成することな く, むしろ 20 ~ 42km の深度範囲に拡がり, その中 では下方へ濃度を増す. 中部地殻層での平均濃度 は25%、下部地殻では50%に達する.このようなモ デル(ウクライナにおける最近の活性化帯の熱流量 異常の解析結果にもとづく)では,角閃岩相の変成 相における岩石溶融は次の限界をもつ:溶融は岩石 の温度がソリダスの値(10km以深では600~650℃ で、地表へ向かって950℃まで増大する)は、その ような岩石を一定程度まで含みうる遷移層の基底ま では上昇する. 楯状地では、この境界は平均深度 で 30km に位置する (Gorienko et al., 2005;他). 発生する熱的作用が典型的に発達するためには、地 殻中の部分溶融層の上限が18~20kmよりも上ま で上昇してはならない.より浅部では、深度20~ 30kmの層から供給される酸性~中性マグマが上部 地殻のレベルへ貫入する結果,これらの岩石を観察 することができるようになる.地殻下部(塩基性 グラニュライト)は、地向斜・リフティング活動 周期の中の比較的短期間にソリダス温度(1,050~ 1,000℃)を超える.この現象は、組成的に別のタ イプの(あまり酸性ではない、斜長花崗岩質および 閃長岩質)火成活動にみられる.

始生代(下部地殻の無水塩基性グラニュライトの形 成まで)には,酸性組成の溶融中心は30km以上の 深度に産出するようになる.

マントルのモデル化の結果をより一層詳細に考察す ることにしょう.

1. 温度計算は最初, 3.8~4.2Gaの異常な表面温度, あるいは隕石爆撃を考慮しないで実施された.それ にもかかわらず,全地殻あるいはその大半において ソリダス温度が通常よりも高いことが解明された. もし,これに高い表面温度と隕石爆撃の影響を加算 すると,その期間における安定な地殻の存在はより 疑わしくなる.にもかかわらず,楯状地における古 期砕屑性ジルコン(4.5Gaまで遡る)の存在は地殻 が完全には消失しなかったことを証拠づける.

2.3.8~3.5-3.0Gaの期間に、アセノスフェア頂部の位置は ″無水 ″マントルに典型的なレベルに比

H,km						T ( <sup>0</sup> C)	for t (Ga	a)			
	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6	3.5	3.4	3.3	3.2
50	1,200	1,400	1,210	1,310	1,260	1,050	1,220	1,060	1,170	960	1,100
100	1,370	1,650	1,620	1,530	1,560	1,510	1,610	1,570	1,570	1,460	1,620
150	1,510	1,550	1,680	1,620	1,640	1,770	1,740	1,810	1,760	1,780	1,770
200	1,650	1,470	1,710	1,680	1,630	1,860	1,740	1,840	1,800	1,890	1,720
250	1,760	1,640	1,760	1,750	1,760	1,880	1,720	1,810	1,800	1,890	1,730
300	1,850	1,740	1,820	1,840	1,880	1,910	1,860	1,820	1,810	1,910	1,790
350	1,930	1,770	1,860	1,930	1,930	1,950	1,980	1,890	1,890	1,950	1,850
400	1,980	1,910	1,890	1,980	1,990	2,010	2,060	2,020	2,020	2,010	1,990
450	2,020	2,060	1,940	2,050	2,080	2,100	2,130	2,100	2,100	2,070	2,090
500	2,310	2,310	2,160	2,190	2,200	2,210	2,210	2,210	2,210	2,200	2,200
H,km	3.1	3	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.1
50	1,030	890	960	960	900	800	910	790	800	820	1,030
100	1,520	1,390	1,450	1,460	1,350	1,230	1,300	1,200	1,190	1,220	1,380
150	1,740	1,730	1,550	1,730	1,580	1,520	1,510	1,440	1,460	1,470	1,490
200	1,780	1,870	1,660	1,780	1,660	1,680	1,620	1,580	1,610	1,630	1,590
250	1,750	1,890	1,780	1,760	1,740	1,770	1,720	1,740	1,730	1,760	1,660
300	1,800	1,920	1,890	1,790	1,820	1,860	1,820	1,850	1,800	1,840	1,720
350	1,910	1,950	1,960	1,820	1,870	1,930	1,910	1,930	1,880	1,920	1,850
400	2,010	2,040	2,020	1,880	1,950	2,000	2,010	2,040	1,970	1,960	1,890
450	2,070	2,070	2,060	1,960	2,000	2,050	2,050	2,070	2,070	2,020	1,970
500	2,190	2,180	2,150	2,130	2,120	2,120	2,120	2,150	2,150	2,130	2,130
H,km	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
50	750	730	840	710	700	880	680	760	800	650	650
100	1,180	1,150	1,330	1,150	1,130	1,250	1,100	1,150	1,200	1,060	1,070
150	1,440	1,430	1,550	1,430	1,400	1,400	1,380	1,370	1,410	1,360	1,360
200	1,600	1,600	1,620	1,620	1,600	1,580	1,570	1,550	1,550	1,560	1,560
250	1,730	1,750	1,690	1,740	1,730	1,720	1,710	1,680	1,710	1,730	1,690
300	1,820	1,820	1,740	1,830	1,820	1,700	1,800	1,730	1,810	1,860	1,800
350	1,930	1,900	1,860	1,940	1,870	1,780	1,890	1,700	1,860	1,,930	1,890
400	2,000	1,960	1,930	2,020	1,930	1,860	1,980	1,960	1,850	2,000	1,990
450	2,070	2,020	1,990	2,060	1,970	2,020	2,200	2,070	1,920	2,040	2,070
500	2,150	2,130	2,120	2,160	2,100	2,140	2,160	2,200	2,140	2,170	2,200
H,km	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0	
50	750	610	660	570	650	840	590	520	570	510	
100	1,160	1,030	1,070	980	1,060	1,180	1,000	930	1,000	920	
150	1,370	1,330	1,340	1,290	1,320	1,310	1,300	1,250	1,280	1,240	
200	1,550	1,540	1,520	1,510	1,510	1,500	1,500	1,480	1,480	1,470	
250	1,700	1,700	1,660	1,670	1,680	1,690	1,670	1,670	1,640	1,670	
300	1,800	1,820	1,750	1,810	1,790	1,800	1,800	1,830	1,760	1,830	
350	1,820	1,910	1,840	1,930	1,850	1,750	1,860	1,920	1,830	1,920	
400	1,850	1,980	1,950	2,020	1,900	1,690	1,910	1,990	1,880	1,980	
450	1,980	2,050	2,060	2,090	2,000	1,830	2,000	2,100	1,990	2,060	
500	2 160	2 1 7 0	2 1 9 0	2 1 9 0	2 1 50	2.140	2 140	2 1 6 0	2.120	2.150	

表1 卓状地の上部マントルの温度進化

べて高かったはずである.下部地殻も頻繁に溶融し ていた可能性がある.

3.1.7~2.3Gaの期間には、楯状地の造構圏にお ける地向斜およびリフト形成作用の交代が、リフト 形成の初期段階に本質的に相当する単一の事件に道 を譲った.その相違は、リフト形成作用期の物質は ある厚いアセノスフェアに由来することにある.そ れは、卓状地タイプの進化への移行期間であると考 えられるかもしれない.

4.4.2~1.7Gaの期間には、将来卓状地になる領域の造構圏に内因的枠組みにとってかわる様式が存在した.その様式にしたがって、地向斜サイクルが2,3回(より少ないかもしれない)のリフト形成作用にとってかわられた.問題になっている場合には(図2)、解析された6つの場合のうち、2つの

場合に地向斜過程につづいて3回のリフティングが 起こった.モデルにみられるこの特徴は,楯状地の 地殻が3.8Gaに同時に出現することが必要になるこ とで,期間の終わりに卓越するこのタイプの体制の 選択には困難が含まれることである.

この結果は、一般的持続期間が2~4億年の"広域 的サイクル"が初期先カンブリア紀(4.2~1.7Ga) に存在したことを示唆し、個々のサイクルには造構 圏における9~12回の熱・物質移送が含まれる. これほどの"広域的サイクル"は顕生代には存在 しない.これは、造構圏進化の"間歇的活動時代 permobile stage"と後続する時代の違いを説明す るものであろう.

5. 地向斜, リフティング,および活性化の過程で 熱ならびに物質の移送事件を隔てる時間間隙は, 楯 状地の地史において顕著に増加する.計算の結果 は、4.2~4.0、4.0~3.5、3.5~3.0、3.0~2.5、 2.5~2.0、2.0~1.5、1.5~1.0、1.0~0.5、0.5~ 0Gaの時間間隙の中で $\Delta$ tの平均値を得るのにもち いられる.得られたパターンは、地質学的証拠にも とづいてウクライナ楯状地で確立されたものにきわ めてよく一致する(Gordienko et al., 2005).

地向斜およびリフトの作用は  $20 \sim 90$ m. y. という値 に適合し、すなわち、それらは顕生代を特徴づける それらと基本的に異ならない.その違いは、顕生代 の活性化周期は長い造構的静穏期によって隔てられ ているが、初期先カンブリア紀の活性化事件は連続 的で、時間間隙がないか、もしくはほとんどないこ とである.卓状地期間には $\Delta$ t値が 100 ~ 250 m. y. に 増大することはウクライナ楯状地に関わる多くの研 究者によって指摘されてきた(Shcherbak et al., 2004;他).

6. 今日の楯状地造構圏の熱的モデル(図2)は, 連続的活性化作用が機能しはじめる条件を示してい る. この結果は,事前に組み込まれたものではない. それはむしろ,先行する熱史全体の結果として生じ るものである.活性化の準備(このモデルによれば, Cimmerian時代の活性化によって先行準備される) が楯状地ブロックで認知され,そのような事件はこ のモデルで予測される機序に正確にしたがって準備 される.隣接ブロックの状況は,かなり異なってい る可能性がある.

7.マントルのメルトや流体が地殻と表層へ実質的 に完全に移送された 1.7 ~ 4.2Gaの期間における楯 状地上での火成活動を解析すると,別の QTA あるい はアセノスフェア頂部近くのマグマ溜りの深度分布 は不規則であった.そのような物質の約 10% は深度 約 150kmに,35% が約 50kmに,55% が約 100 ± 25kmに, それぞれ分布する.最後者の深度範囲では,マント ルからの粘着性元素の除去,ならびに,流体による 物質移動による最大の組成変化が起きる.

8. この熱的モデル計算は深度 1,000km まで行われ た.計算結果からは,楯状地の造構圏では原生代お よび顕生代に出現するまさに薄いアセノスフェアと はちがって,多型転移帯の下では全体が保存されつ づける.表層を通じて地球は全般的に冷却し,上部 マントルにおける熱および物質移送がもたらす冷却 作用は効果的であるが,不十分な熱生成でさえも これらの効果を実際にもたらす.解明された特徴 は全地球的に発生し,それはウクライナ楯状地の データを含めて地球電子データによって実証される (Gordienko et al., 2015c:他).

42~38億年前には安定した地殻の存在しえないという結論は、モデル化を通して十分な確実性をもっ

て証明された. それ故,明白に 38 億年より古い地 殻の大破片が,どの大陸の楯状地からも今のところ 発見されていないということは,驚くにあたらない.

たとえより古い地殻がたまたま見つかったとして も、現在、多量に発見されることはありそうもな い.そして、それらのブロックが地表にまったく露 出していないこともありそうもない."たとえ41億 年前と決定されたジルコン粒子の存在が、古い地殻 岩石の存在を暗示しているとしても、地球上におい て観察できる地質的証拠は38億年よりは古くない" (Taylor et al., 1988, p.342-ロシア語訳)

地質データは,地殻内部の酸性マグマが形成される 主な深度帯の位置を裏付けている. "グラニュライ ト相への転移の間・・・・混成作用・・・は休止 し,花崗岩の発生は,ほとんどの場合,地殻の中部 (20~25km)に限定されている"(Archean・・・, 1987, p. 202, p.246). "それら(花崗岩 -V.G.) は15~20kmの深さで溶けだしたことが想定され る"(Shcherbakov, 2005, p. 224).

しかしながら、先カンブリア時代に起こった多くの 酸性~中性マグマの貫入は、活性化期間に、これら の過程に特有な熱(600~650℃)は地表により近 いいくつかの場所に広がり、10kmの深さに達する という結果をもたらした.その上では固相の温度が 急速に上昇する.

そのようなモデルは、特に、トランスカルパチア・ トラフの地殻で過去数100万年にわたって具体化 されてきた状況を研究するのに有効であることが わかった (Gordienko et al., 2005). そのよう なできごとは、ウクライナ楯状地の花崗岩ドーム の近くに"・・・水平な変成分帯"(Shcherbakov, 2005, p. 250) が存在している状況に見いだせ る. それらの存在は、また、"・・・変成層の中 の温度が花崗岩の基盤の上昇よりも速く上がって いる"(Shcherbakov, 2005, p. 253) という事実に よって支持される.この追加の(地殻内部の)移流 のレベルを考慮に入れると、それらの存在は、マン トルの温度に関しては実質的な影響がほとんどな く,35億~10億年前の地殻において推定された温 度は、マントル貫入直後の、Gordienko (2015b) に よって報告された範囲内でまさっている. この範囲 が、地殻に供給された最大の熱的状況を反映してい る世界の楯状地における変成作用の PT 条件に関す るデータと比較された. その結果は, 見積もられた データと一致している.

熱の輸送を誘発するきっかけを必要とする地殻-マ ントル間での塩基性物質の交換量はひじょうに大き い.地殻の安定化(38億年前)にしたがって、交 換のできごとが26回もくりひろげられてきた.と

くに厚さ210~260kmの層に対応する大量の物質 は、地殻と奥(の層)(地殻の塩基性岩とエクロ ジャイトの平均密度は、上部マントルの上にある 岩石の平均密度,つまり,それぞれ 3.25g/cm<sup>3</sup>と 3.45g/cm<sup>3</sup>にごく近い)の中に移動した. The Earth History・・・(1980) および Geochemistry・・・(1987) によれば、厚さ255 ± 45kmのマントル層は地殻の 岩層の中に含まれていた.マントルパイロライトの 低溶融"玄武岩質成分"の濃集は、10~15%と見 積もられているので,かつては,幾たびか地殻の一 部分だったと見なされていたようである. マントル 起源の塩基性岩(アルカリエクロジャイトとソレア イト質エクロジャイト)と、エクロジャイト(ある いはマントルの中に進入してエクロジャイトを作り 上げた塩基性グラニュライト)の成分の相違は、地 殻が安定化した後でさえ, Fe, Ti, Ca, Si などの その濃縮の過程が続いていたことを示している(表 2). 放射性崩壊熱の熱源の地殻への移動はなおも 続いている.

上の結果は、確かに正確なものではない、それらは、 塩基性グラニュライトからエクロジャイトへの転換 過程での組成変化,玄武岩のマグマ作用の気体 - 液 体成分の寄与などは考慮していない. たとえば、フ ランスの中央高地の下部地殻からのエクロジャイト の成分 (SiO<sub>2</sub>-48; TiO<sub>2</sub>-1; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-18; FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-7; MgO-8; CaO-11; Na<sub>2</sub>O-2; K<sub>2</sub>O-0.5: Taylor et al., 1988)は、表2に示されているそれとは明ら かに異なっている.同時に、パミール高原下のマン トルのエクロジャイトは、以下のような組成をもっ ている. すなわち, SiO<sub>2</sub>-43.4; TiO<sub>2</sub>-1.8; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-15.6; Fe0 + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-13.5; MgO-6.3; CaO-11.8; Na<sub>2</sub>O-2.6; K<sub>2</sub>O-1.4% (Dmitriyev et al, 1983). V いかえると、組成の主要な構成要素の変化量につい ての一般的な傾向を概説することだけは可能なので ある.

この結論は、ウクライナ楯状地のデータによって ほぼ確実に立証されている(Gordienko et al., 2005). それは、アゾフ地方ブロックの単一の発展 サイクルの枠組みにおいて活性化へと向かい、マン トルは Mg0 と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> で満たされ、その SiO<sub>2</sub> の一部を 失うようになるということが示されている. 一方、 マントルはいくらかの Na を失うが、Ca や Fe の組 成は安定して残る. リーフェアン(10~15億年前)~顕生代の活性化 期以外の時期には、上部マントルの温度は安定して おり、かなり十分な温度(100~200kmの深さで± 70℃以上、標準の制限内に残っているHG)によっ て深さとともに変化している.顕生代においては意 見の相違が一層少ない.これは、顕生代における活 性化作用のはじまりよりも前の状態を反映している 統一的熱モデルの効用を証明している(Gordienko et al., 2005; Gordienko, 2015b; ほか).

ー連の深部作用と構造圏の熱史についてのシミュ レーション実験は、現代の学問レベルでは、計算に 必要な多くの要素についての情報の精度が不十分で ある.にもかかわらず、ある程度信頼のおける結果 を得ることは十分に可能であることを示している.

われわれは、深部作用や放射性崩壊熱の発生レベル について採用したパターンによって、楯状地に対す る多くの地質学的データに適合する熱的モデルを得 ることに成功した.しかし、モデルの重要な検証に は、得られた結果と卓状地における活性化の時代に 関するデータ間の比較が必要である.

#### シミュレーションと実験データの相関関係

モデル化の結果との比較に適合した卓状地(実質的 にはほとんど楯状地)からの岩石の年代によって資 料を選ぶことは、容易ではない.大きな問題の1つ は、前記の活動的ブロックと非活動的ブロックが共 存していた原生代において具体的な形になったとい う状況である. それらの出現は、おそらく、活動的 作用を誘発する条件が、楯状地の隅から隅まで同時 に"機が熟す"ようにはならなかったことに関連し たマントル岩石の HG の小さな相違によるものであ る. 楯状地全体に関する資料を広範囲に適用するこ とによって、われわれは、測定誤差によると説明さ れる(のデータ)以上の,近隣とは異なる"特別の" 年代測定を必ず得るだろう.これは、比較の客観性 に影響するだろう. そのような理由により、データ は、最初に詳細に研究された明瞭なブロックに分か れた楯状地から選ばれるべきである. このような配 慮から著者は、ウクライナ楯状地 [USh] (Gordienko et al., 2005) よりもむしろバルト楯状地 [BSh] (Gordienko, 2009) を選択した.

#### われわれが利用したバルト楯状地における岩石年代

表2 典型的な地殻玄武岩と楯状地におけるグラニュライトの組成

Oxide	Contents (%)			Oxide		Contents (%)		
	Basalt	Granuli	te $\Delta$		Basalt	Granulite	Δ	
SiO <sub>2</sub>	49	48.5	0.5	MgO	8	10	-2	
TiO2	2.5	1	1.5	CaO	10.5	9.5	1	
Al2O3	14	16.5	-2.5	Na2O	2	2.5	-0.5	
FeO+Fe2O3	12	10	2	K2O	1	1	0	

の主な出典 (Early History・・・, 2005) から, スベコフェン・ブロックに関するいくつかのデータ がえられたが,ダルスランド・ブロックに関するデー タはまったく入手できなかった.そのため,われわ れは,コラ-カレリア・ブロック [KKB] との比較 を制限せざるを得なかった.しかしながら,われわ れは依然として,約470,000km<sup>2</sup>のひろがりをもつ かなり大きな構造について論じている.それは,ウ クライナ楯状地 (そのブロックのなかで,フェノ-カレリア部分は約280,000km<sup>2</sup>を占めている)の面 積のおよそ2倍である.

さまざまな出版物に示されたバルト楯状地の年代測 定値の比較には、The Early History・・・・(2005) のデータを使うことが必要となる.そこには、以前 の研究成果が広範囲に示されていて、多くの年代測 定結果が現代に適合した形で再計算されている.

コラ-カレリア・ブロック(KKB)については、お よそ350の年代測定が分析に用いられた(ウクライ ナ楯状地よりも多い).つまり、年代測定のいくつ かは、ただ1つの岩石地塊におけるデータ調整(ス ムージング)の結果である.年代測定結果はタイム スケールの大きな間隔(35.5~17.5億年前)をほ とんど「切れ目」なくカバーしている.しかし、個々 の時間範囲の精度はひどく異なっている.

特定の年代測定値の分布相対的頻度は,対応する岩石の分布(普及)率とは直接関連しない.つまり, それらのかなりの量は,比較的小規模な地域を占めている貫入層の範疇に分類されている.活動的だと



図3 バルト楯状地ブロックの位置 (Early History・・・・, 2005;ほか) 1-カレドニア山地ブロック:2-コラ-カレリア (2a-ラップランド帯, 2b-コラ-ノルウェー地方, 2c-フェノ-カレ リア地域, 2d-白海帯), 3-スベコフェン (造山帯), 4 ーダルス ランド (4a-オスロ地溝帯). 点線は,陸地における楯状地の境 界を示す.

評価されている時代と調和しているはずの,個別的 な年代測定値を得るために,材料を最初に調整する ことが必要であることは明らかである.まず,第一 に,年代決定における誤差の実際の値が提示される べきである.The Early History・・・(2005)の中 で引用されている誤差 ( $\Delta$  t)は,使われた年代決 定結果の大部分に適用されている.それらはヒスト グラムして示される(図5).

 $\Delta$ tの分布は,決して正常ではない.ただ,値の大 部分(71%)は10%±10%の限度内に落ちることは 確かだと想定できる.そしてこの値は基準誤差とし て利用されるにちがいない.一方,50%±20%の範 囲内に分布する誤差を伴う年代決定結果の注目すべ き量(15~20%)は考慮に入れる必要がある.この データからえられたすべての年代測定結果を,1000 万年になるように四捨五入された数として表現し て,1000万年以下で平均値と異なる年代決定のバッ チ(束)で値を見ることが意味をなすことになる. はっきり言えば,17.5~23.35億と30~35.5億 年の年代範囲では情報が比較的乏しいことから,こ の方法によって計算結果との比較に適した年代決定 に含まれる問題を排除するだろう.

#### 例えば

1. タイムスケールにおいて 2000 万年以上まで隣接 した年代から離れた非周期的年代と同じパラメータ を伴う周期的に起こる(同時に起こる)年代.

 すべての値がわずか 1000 万年までの平均の値と は異なっているグループにおける平均の年代.39 グループ以外にそのようなグループが 29 ある(表 3).それらの一部もすでに述べた時間間隙の外に ある.



3. データのグループは、たまたま、二重の誤差に

よって、つまり、2000万年だけ平均からはずれて いる値の25~30%を構成しているだろう(図6). そのような逸脱が、23.6~30億年の時間間隙の中 で、比較的大量のサンプルにみられるだろうことは、 もっともなことである.

これは実験データの10グループに適用され(表3), それは、ちょうど上記討論のように、楯状地の活性 化の中でも控えめな時期の特徴として見られるはず である.しかしながら、後者の結論は、十分根拠が あると完全に見なすことはできない.つまり、KKB の岩石年代のための年代決定の連続した結果から選 ばれたデータの真ん中のグループは、そのグループ にたいする選択的な年代を指示しているだろう年代 群の中の不揃いを観察することができない(図6).

これは、単なるパラメータの決定誤差によるもので はなく、ブロックのさまざまな地域にある造構圏楯 状地(数百km隔たっていることは少ない)の単一 の活性化期に発生した諸事件の実年代の確実な相違 によるものである.そのため、Kola-Karelianブロッ クという大単元の試料(表4参照)は、時間間隙に 対応して作成された. 項3にしたがって処理されなければならない)の量 は少なく、それらの大半はこのブロック領域の半 分以上を占める Fenno-Karelian 地域に限られてい る.もし同じ手続きが(平均的な様式の他の表に示 された個々の年代測定結果を使って)この領域内の 個々の区画に適用されれば(The Early History…, 2005)、私たちは活性化作用の不確実な年代がほぼ 完璧に排除することができる(表5).

バルト楯状地における前期先カンブリア紀岩石の年 代決定に関するある追加情報は、Svekofennian ブ ロックの年代測定結果(表6:その中にはより新期 の岩石が含まれているにもかかわらず)を解析する ことによって得られた.



#### 年代決定結果(独立した年代決定結果の認定規則条

図6 コラ-カレリア・ブロック岩石の年代の大部分から選ば れたグループにおける年代の分布.

表3 バルト楯状地のコラーカレリ	ア・ブロック (KKB) の先カンブリア代初期の岩石についてのモデ
ル(M)と実験に基づく年代決定.	丸囲み数字は年代測定の概数を示している. 平均偏差が 2000 万
年に達する年代のグループは太字で	示されている.

М	<b>VVD</b>	м	VVD	М	VVD
IVI	ККВ	IVI	ККВ	IVI	ККВ
3,530	3,530	3,040	3,030		2,450±10(13)
3,500	3,510±10(2)	3,010	3,010±10(2)	2,400	2,400±10(3)
3,470	3,470	2,980	2,980±10 (4)	2,350	2,350±10 (4)
3,440	3,440±10(2)	2,940	2,940±10(10)	2,280	2,280±10(3)
3,410	3,410±0(3)	2,900	2,900±10(5)	2,240	2,240±10(2)
3,370		2,860	2,860±10 (27)	2,200	2,210±0 (5)
3,330	3,330±10(3)	2,820	2,820±10 (25)	2,150	2,160
3,300		2,780	2,780±10 (34)	2,120	2,120±10 (4)
3,270	3,250±10 (3)	2,740	2,740±10 (23)	2,060	2,050±10 (9)
3,230	3,230±10(6)	2,700	2,700±10 (48)	2,000	1,990±10(7)
3,200	3,210±0 (5)	2,650	2,650±10 (25)		1,940±10 (18)
3,170	3,160±10(2)	2,600	2,590±10 (6)	1,850	1,870±10(5)
3,140	3,140±10(2)	2,550	2,540±10 (5)	1,800	1,780±10(3)
3,100	3,100±0(3)	2,500	2,490±10 (15)	1,750	1,750±10(2)
3,070					

表4 KKB 区域で確立された活性化期(単位:百万年)

Model	Fenno-Karelian	White Sea	Laplandian	Kola-Norwegian
	Region	Belt	Belt	Province
2,940	2,950±10(4)	2,950	2,930	2,930±0 (3)
2,900	2,900±10 (6)	2,890±10 (2)		2,900
2,860	2,860±10 (12)	2,850±10 (5)	2,870	2,870±10 (3)
2,820	2,810±10 (21)	2,820±10 (8)		2,830±10 (5)
2,780	2,780±10 (10)	2,790±0 (4)		2,790±10 (6)
2,740	2,740±10 (27)	2,730±10 (9)	2,750	2,740±10 (6)
2,700	2,700±10 (23)	2,690±10 (10)	$2,700\pm10(3)$	2,690±10 (5)
2,650	2,650±10 (8)	2,650±10 (5)	2,680	2,650±10 (6)
2,600	2,590	2,580±0 (4)		2,620±10(2)
2,550	2,530±0 (2)		2,550	2,550
2,500	2,510		2,510±10(3)	2,500±10 (4)

Model	Voldozero	Central Karelian	Western Karelian
	domain	domain	domain
2,940	$2,930\pm10(5)$	2,930±10 (4)	2,930±10 (3)
2,900	2,890±10 (4)		2,890±10 (6)
2,860	2,860±10 (8)	2,850±10 (4)	2,850±10 (4)
2,820	2,830±10 (6)	2,820±10 (7)	2,810±10 (4)
2,780	2,780	2,790±10 (21)	2,770±10 (4)
2,740	2,730±10 (3)	2,750±10 (30)	2,720±10(7)
2,700	2,700±10 (4)	2,690±10 (26)	2,700±10 (6)
2,650			2,640±10 (5)
2,600			2,590±10 (4)
2,550		2,530	2,560

表6 バルト楯状地 Svekofennian ブロックの活性化年代(単位:百万年)

Model	Svekofennian	Model	Svekofennian	Model	Svekofennian
	Block		Block		Block
2,860	2,850±0(2)	2,500	2,460	2,060	2,060
2,820		2,400		2,000	1,990±0 (5)
2,780		2,350			1,960±10 (37)
2,740		2,280			1,900±10(7)
2,700	2,710	2,240	2,250	1,850	1,880±10 (26)
2,650		2,200	2,200	1,800	1,800±10 (8)
2,600		2,150	2,130	1,750	1,770
2,550		2,120	2,110		

出版物 (The Early History…, 2005) にリストさ れた Kola-Karelian ブロックに関するすべての年代 測定結果を処理することによって、このブロックの 活性化作用に43の時期を認定できた(表3),と想 定されよう.それらのうち圧倒的な数(38)は、計 算という方法によってえられた年代決定に合致し, 偏差は実験誤差として説明されうる範囲を超えな い. 3つの場合には、計算によって得られる実験 データに類似するものがなかった. おそらくは、こ れらの活動サイクルに含まれる岩石が残存しえなっ たか、未発見なのであろう. 2回の実験的な年代決 定は高度の信頼性が認定されながらも、相当する計 算データにはそれらに類似するものは含まれていな かった、という深刻な問題が生じている. 重要なこ とがらは、モデル化において、活性化(熱と物質の 移送事件)のはじまりが完全に大深度範囲内での必 要なエネルギーと部分溶融の集積関数であるべきで あることである.同時に,モデル化ならびに実験デー タにもとづく隣接する活性化の間での時空的な何ら かの相違がひどく許容されているようである. しか し, 前期先カンブリア紀のバルト楯状地における活 性化作用の総数と観察された証拠は十分良好に合致 していることから,実験で得られた余分の事件には 特別の説明が必要である.

ウクライナ楯状地の Azov ブロックでは, Donets 盆 地や Seythian プレートとの境界部におけるそのよ うな"余分の"年代測定結果は,後期先カンブリア 紀~顕生代における多量の造構作用(QTAs)の出現 によって説明される.この造構作用は、造構圏の蓄 積エネルギーがすでに枯渇している比較的小規模な ブロックに隣接する地域の下のマントルに起こり, そのために、それらは熱-物質移送をそれほど頻繁 に引き起こすことはできない (Gordienko et al., 2005). これを説明できるのは、バルト楯状地にお ける 2,450 ~ 1,950Ma の期間における無水条件だけ である. というのは、ある時間スケールにおけるモ デル化によって得られた年代期間に始まりうる活動 の欠如が、他の時間スケールにおける "過剰な"活 動の存在によって均衡がはかられるからである.熱 と物質の移送における " 欠如 " と " 過剰 " という事 件の間の時間間隙はきわめて長いために、 ″ 蓄積さ れた "エネルギーが追加的作用という形で爆発を起 こしうる.計算によって確立されたように(上記参 照),約2.5Ma以降には、全楯状地を同時に包括的 に活性化することはできない、そのために、それら は別々の比較的狭い地帯に発生したのである.実験 データは、この計算による見積もりに矛盾しない. Kola-Karelian ブロックの各部分に関する情報の解 析によると、約2.45および2.4Maという年代はさ まざまな場所で確証されていて、さまざまな見込み では、単一の活性化が起きるが、それは正確には同 時ではない. 2つの連続的作用が, Kola-Karelia ブロックの全体にわたって統一された年代尺度を選 ぶ過程で生じる.

約 1,950Ma の実験的年代決定は、このブロックの Kola-Norway および Finno-Karelia 区域における先

Model	Kola-Karelian block	K		
	Fenno-Karelian	White Sea	Laplandian	Kola-Norwegian
	Region	Belt	Belt	Province
2,500	2,490		2.470	2.500
2,400	2,430		_,.,.	_,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,
2,350	2,370	2,440	2,390	2,440
2,280		2,360	2 360	2 330
2,240		2,500	2,500	2,550
2,200	2,210		2,280	
2,150			2 240	
2,120	2,120		2,240	
2,060	2,050		2,210	2,210
2,000	1,990		2 1 (0	
	1,940		2,160	
1,850	1,870		2,110	2,120
1,800	1,790			
1,750	1,770		2,050	2,040

表7 バルト楯状地 Kola-Karelia ブロックの各領域における顕生代の活性化事件の平均的年代値(単位: 百万年)

行年代(20億年前)と並んで確立された.前者の 場合,年代測定領域は同じ(Pechenga)であるが, 年代は40~50m.y.の誤差を伴って決定された(The Early History…, 2005).後者の場合には,年代測 定領域は一致せず,1,950Maと見積られた領域に先 行する活性化は存在しない.白海とLaplandian帯 において,先行する活性化(20億年前,あるいは それ以前)は確証されていない.その理由は,当該 地域における1,950m.y.の活性化が,2,060m.y.あ るいはそれ以前の活性化につづくものであるからで ある.この結論は,かならずしも正しくない.既知 の年代測定結果が得られていないことは,活性化が 欠如していたことを意味しない.

しかしながら、もしPechengaにおける年代測定結 果が同じ場所で2つの活性化事件(2,000Maおよび 2,050Ma)の存在を示すとすれば、特定の期間にその ような経過をたどる事件が起こりうるかという疑問 は考察に値する.2,100~1,750Maの期間における 幅 100km 区画の造構圏の熱的進化を計算してみよう.

この計算に意義があるのは、上部マントルにおける 単一の水平対流事件が2つのレベルに変化するかも しれないからである.上部マントルの下層レベル由 来の物質は深度約200kmまで移送され、そこでは、 地殻下に移動する前に新しいQTAができる.それは、 追加的な造構圏物質の移送を励起しうるほどの一定 量のエネルギー蓄積に貢献する.

計算結果が示すところによると,2,050Ma までに 約150~200kmの深度に,単発的な活性化に適した 部分溶融帯が発生する(図7).2,000Maの期間に は,部分溶融帯が上部マントル底部(深度380~ 470km)に想定される.1.950Ma頃に部分溶融は存 在しないが,同一期間における深度約90~140km では、温度がソリダスから平均で40℃ほど異なっ ているだけであり、この値は計算誤差をうわまわる ことはほとんどない.そのような条件が水平対流の 起動に好適であると仮定すると、100m.y.後には、 ソリダスよりも高温の上部マントル底部に別の小規 模な部分溶融帯が出現し(図7)、それは熱や物質 の移送に適合した構造になる.約1,800Maには上部 マントル全体の温度分布はソリダスを超えないが、 深度 300 ~ 350km ではちょうど 30℃までソリダス からはずれていた.この作用は1,750Maまでつづき、 マントルとソリダスが逆転する温度構造(温度較差 = 70℃)が深度 80 ~ 130km のさまざまな位置に点 在する.

したがって、基本モデルに示される活性化は時間と ともに変化するために、次の熱・物質移動事件と調 和させるのは困難である.すべての見込みのうち、



図7 次の活性化前の楯状地造構圏における温度分布:(1) 2,500Ma,(2)2,000Ma,(3)1,950Ma,(4)1,850Ma,(5)1,800Ma および(6)1,750Ma.

この見積もられた事件は,非現実的であるために, 除外されるだろう.合理的範囲での放射性熱源の大 きさの変化は状況に根本的変化をもたらすことはな いだろう.そのような仮定には裏付けがないため, すべてが誇張される.先行する期間には,実験結果 に適合する一連の年代測定結果が得られていて,そ の一部は,熱生成(HG:heat generation)速度の 選択によってはかなりの誤差を生じる.

#### 大陸楯状地にかかわるデータ規制

バルト楯状地 (BSh) にかかわる前述のデータに、 カナダ楯状地(CSh)のパラメータにかんする情報 が、グリーンランド地域、シベリア楯状地(SP)の 先カンブリア紀地塊,南アメリカ卓状地 (SAP)の ギアナおよびブラジル楯状地、およびアフリカ卓状 地(AfP:ナイジェリア-モザンビーク楯状地と南 アフリカ楯状地を加えると、とくに豊富なデータが 蓄積されている.他の大陸楯状地についてはあまり 多くのデータはなく, AfP における蓄積には比べよ うもなく、オーストラリア卓状地(AP)や南極楯状 地(AnP)についても同じ状況にある. それら(南 極剛塊を除く)の位置が、図8に示される.解析に 含まれていないのは, 顕生代褶曲域の内側にある先 カンブリア紀岩石に関するデータだけである.(ア パラチア、コルディレラ、アンデスなどの) 関連情 報は隣接する楯状地に関するデータと矛盾すること はないが、個々の固有な事例では、それは顕生界に かかわる比較的小規模なデータセットである.

注目すべきことに,モデルにもとづく活性化年代 と,わずかながらも大西洋中央海嶺の先カンブリ ア紀基盤について実験的に確立された年代測定結果(2.6~0.6Gaの年代範囲)との間に矛盾がない (Gordienko, 2014).

したがって、利用された資料は、既存の年代測定結 果を説明する研究の適合 / 不適合を反転するうえで きわめて適切であるとみられる.しかしながら、比 較結果の信頼性は誤差 t に大きく依存していて、ピ ンポイントの同時的事件の可能性は実質的にそれに もとづいている.

この問題は、全般的研究として、定性的レベルでは すでに次のように解析されている(Tugarinov et al., 1970): "私たちが選択したさまざまな大陸で 発生した造構的事件の精密な同時性はなかったよう だ.しかしながら、今日の測定精度の限界内で、そ れらは同時的であると想定されうる"(Tugarinov et al., 1970, p. 378).

1つの岩石の年代決定における誤差を評価するため に、出版物に引用された約 500 個の誤差(Δ t)が 利用された.それらは図9に頻度分布図として示さ れ、当該する全期間のすべての地域におけるデータ を包含している.

特徴的誤差は約15m.y.(すなわち,前述したバルト 楯状地の場合よりもいくぶん大きい)と見積もられ るが,分布は正規分布を示さず,それゆえに,この 値は誤差の最小見積りと判断される.5~10 m.y.あ るいはそれ以上の値で構成される資料系列は,2~ 3倍大きな誤差をもって決定された年代値に相当 する量を含んでいるにちがいない.その結果,20





図9 先カンブリア紀岩石の年代における誤差分布を示 す 頻 度 図 (Brown, 1970; The Early History…, 2005; Encyclopaedia, 1980; Gondwana Researh; Khein, 1971, 1977, 1979; Precambrian…, 1968, 1976a, 1976b, 1977; Precambrian Research; Ryahchikov et al., 2002; Semikhatov, 1974; Smelov et al., 2006; Taylar et al., 1988; Tugarnov et al., 1970; Vernikovsky et al., 2006).

m.y.の平均値からの平均偏差をもつそのような年代 群が同一事件にかかわっていたかに見える.

この評価の文脈のなかで任意の地域に対する一連の t について,すべての既知の値(より限定的には, この解析に含まれるすべての値)は個々の事件に特 徴的であると判定される.

1. 少なくとも 20m. y. までの時間スケールで隣接 するものから区別される非周期的(ランダムな)年 代,ならびに,同じパラメータをもつ再現(一致す る)年代

2. すべての値が 15m. y. 以下の平均値とは異なる グループに属する平均年代

3.20m.y.を超えない平均値からの偏倚をもつ比較的大きなグループに属する平均年代.偏倚の大きさがパラメータの決定における誤差に調節にかかわりないことや、この地域のさまざまな領域(各領域は、多くの場合、数100km離れている)における造構圏の単一の活性化事件の実年代にみられるいくつかの相違が考慮されるべきである.

表8~表17は、以前に列記した先カンブリア紀岩石 地塊における計算データと実験データ(単位はm.y.) をまとめたものである. Mは計算(見積もられた) された年代で,括弧内に示されているのはそのグ ループのt値で,1よりも大きい数値で示される.

大陸の主要部を占める先カンブリア紀地塊に遺され た地史の記録は3.6~3.8Ga まで遡り,計算結果に 整合する.SAP,SPおよびAnPには,主列から大き く隔たっている約3.7~3.8Gaの一群の年代グルー プは含まれていない.また,確証されたのは,多く の著者がすでに示したように,地球発達史に先地質 時代が存在することである.いくつかの楯状地(USh, CSh,AP,ISh,他)の初生砕屑岩には4.0~4.5Ga の年代を示すジルコンが含まれる.それらは不安定 期の地殻に含まれ,今日では,そのような地殻の構 成物は浸食・削剥によって完全に失われている.大 半の場合,それらは4.2Gaを遡らない.

このモデルによれば、楯状地における"全面的な広 域"活動は約2.5Gaに不可能になる.準同時的活性 化事件は幅約100kmの比較的狭い地帯に発生し、マ ントルではそれを超えて熱・物質移動が同時的に起 きるが、大変動は発生しない.この推論は、その期 間における先カンブリア紀地塊での諸作用の相違に 関するTugarinov et al. (1970)の次の結論に一 致する. "現実的にすべての同時的な大陸の初生核 はローデシア造構 - 火成活動の終了直後(すなわち、 2.4 ~ 2.5Ga—Gordienko)に形成された.まさにそ の時に、比較的大きなブロックがはじめて出現し、 その後、地向斜帯はそれらの上にはみられなくなっ た"(Tugarinov et al., 1970: p.393).

モデル実験結果によると、2.0±0.3Ga以降, 楯状 地の造構圏では地向斜とリフティング作用が単元活 動として好適な条件を得て,交互に発生するよう になった.この結論はさまざまな大陸から得られた データに合致し,次のように記述されている. "…… 2Ga以降,地球史上はじめて,卓状地型の深成岩体 が出現した"(Tugarinov et al., 1970: p. 393).

М	CSh	М	CSh	М	CSh
3,800	3,800±0(2)	3,140	3,150	2,240	2,240±10(3)
3,770		3,100		2,200	2,190±0(3)
3,740		3,070	3,080±0(3)	2,150	2,160±10(3)
3,710	3,700±0(2)	3,040	3,040	2,120	$2,110\pm10(3)$
3,680		3,010	3,000±0(2)	2,060	2,060±10(4)
3,650		2,980	2,980±10(2)	2,000	2,000±10(8)
3,620	3,620	2,940	2,940±10(2)		1,910±20(5)
3,590	3,590±10(2)	2,900	2,910±10(2)	1,850	1,850±20(20)
3,560	3,550	2,860	2,850±10(2)	1,800	1,800±10(12)
3,530		2,820	2,820±10(3)	1,750	1,750±20(20)
3,500	3,500±10(4)	2,780	2,780±10(3)		$1,650 \pm 20(15)$
3,470		2,740	2,740±10(7)		1,560±20(13)
3,440		2,700	2,700±10(11)	1,480	1,470±20(13)
3,410	3,410±0(2)	2,650	2,650±10(10)	1,350	1,330±20(8)
3,370		2,600	$2,600 \pm 10(9)$	1,250	$1,260\pm 20(9)$
3,330	3,350	2,550	2,550±10(10)		1,180±20(11)
3,300	3,300±0(3)	2,500	2,480±20(8)	1,100	$1,080 \pm 20(19)$
3,270	3,250	2,400	2,420±20(14)	950	960±20(8)
3,230	3,220	2,350	2,350±10(4)	790	770
3,200	3,200±0(2)	2,280	2,290±10(5)		670±20(4)
3,170				600	$600 \pm 20(4)$

表8 カナダ楯状地(CSh)の先カン ブリア紀岩石に関する計算および実験 で得られた年代値の比較

表9 バルト楯状地 (BSh) の先カンブリ ア紀岩石に関する計算および実験で得られ た年代値の比較

М	BSh	М	BSh	М	BSh
3,710	3,700	3,070		2,200	2,210±0 (5)
3,680		3,040	3,030	2,150	2,160
3,650		3,010	3,010±10(2)	2,120	2,120±10(6)
3,620		2,980	2,980±10 (4)	2,060	2,050±10 (9)
3,590		2,940	2,940±10(11)	2,000	1,990±10(7)
3,560		2,900	2,900±10(5)		1,940±10 (18)
3,530	3,530	2,860	2,860±10 (27)	1,850	1,860±20(15)
3,500	3,510±10(3)	2,820	2,820±10 (25)	1,800	1,790±20(8)
3,470	3,470	2,780	2,780±10 (34)	1,750	1,740±10 (4)
3,440	3,440±10(2)	2,740	2,740±10 (23)		1,610±20(14)
3,410	3,410±0 (3)	2,700	2,700±10 (48)		1,550±20(6)
3,370		2,650	2,650±10 (25)	1,480	1,480±20(5)
3,330	3,330±10(4)	2,600	2,590±10(7)	1,350	1,330±20(3)
3,300		2,550	2,540±10(5)	1,250	1,230±20(7)
3,270	3,250±10(3)	2,500	2,490±10(15)	1,100	1,120±20(8)
3,230	3,230±10(6)		2,440±10(15)		1,060±20(5)
3,200	3,210±0 (5)	2,400	2,400±10(4)	950	960±20(20)
3,170	3,160±10(2)	2,350	2,350±10(4)		850±10(6)
3,140	3,140±10(2)	2,280	2,280±10(3)	790	780±20(3)
3,100	3,100±0(3)	2,240	2,240±10(2)	600	600±20(6)

表10 ウクライナ楯状地 (USh) の先カン ブリア紀岩石に関する計算および実験で得 られた年代値の比較

М	USh	М	USh	М	USh
3,680	3,680±0(2)	3,010	3,010±10(6)	2,000	2,000±10(18)
3,650	$3,650 \pm 0(5)$	2,980	2,980±10(5)		1,950±20(12)
3,620	3,620±10(3)	2,940	2,920	1,850	1,880±20(4)
3,590	3,600±0(3)	2,900	2,900±10(9)	1,800	1,800±0(7)
3,560	3,560	2,860	2,860±10(4)	1,750	1,750±10(7)
3,530		2,820	2,820±10(12)		1,690±10(2)
3,500	3,500±0(3)	2,780	2,790±10(7)		1,580±20(5)
3,470		2,740	2,740±10(3)	1,480	1,460±20(5)
3,440	3,450±10(3)	2,700	2,700 ±10(10)	1,350	1,350±20(3)
3,410	3,400±0(3)	2,650	2,660 ±10(6)	1,250	1,230±20(4)
3,370	3,370 ±20(3)	2,600	2,600±0(9)	1,100	1,100±0(2)
3,330		2,550	2,550	950	900±0(2)
3,300	3,310 ±10(10)	2,500	2,500	790	770
3,270	3,270±10(4)	2,400	2,430±10(4)	600	650
3,230	3,250	2,350	2,340±20(5)	400	380±10(2)
3,200	3,190±10(3)	2,280	2,290±10(5)	200	250
3,170	3,170±10(4)	2,240	2,240±0(2)		70
3,140	3,140±10(7)	2,200	2,200±0(3)	0	5
3,100	3,100±0(7)	2,150	$2,150\pm10(10)$		
3,070	3,070±0(5)	2,120	2,110 ±10(9)		
3,040	3,040±10(5)	2,060	2,060±10(15)		

計算による年代測定結果のいくつかには、類似した 実験データがない. これは 20 億年以前の測定結果 の 15 ± 5% を占め,岩石の発見が進んでいないか, 総合化が不十分であることに由来するだろう.

より新しい時代については、すべての推定年代は、 実験データに類似した値がみいだされる.この現 象は、次のように説明される(Gordienko, 2009a, 2009b; Gordienko et al., 2005).地史のなかで間 歇的な活性化時代は、地向斜あるいはリフト形成の 時間間隙によって区分された一連の地向斜活動およ びリフト活動によって構成されている.活性化は将 来の卓状地の全体を含んでいる.それらは、いずれ、 個々の発達史をたどる各ブロックにおける"造構 -火成活動の長い休止期"によって(古生代にちかづ くほど頻繁に)区分される.計算結果では、これは 熱・物質移送が起きない時間間隙(2.5~2.4,2.0~ 1.85, 1.75 ~ 1.48, および 0.79 ~ 0.60Ga) とし て表現される.実験データでは,楯状地と卓状地の 多くのブロックに関する情報をまとめると,年代測 定結果に見られるそのような時間間隙は,これらの 地域のさまざまな領域に起きる作用には同期性がな いために,一連の年代測定にそのような間隙はみら れない.これは,計算結果に相当するそのような年 代間隙が欠如する.こうして,計算結果にはない余 分な t 値が,表 8 ~表 17 に含まれている.

上記の想定は、図10のデータによって実証される.

図 10 は、地向斜活動とリフト活動のサイクルを区 分する前述の時間間隙以外の $\Delta$ tを見積もったもの である.図 10 の上図で、表 7 ~表 16 から求められ た t の平均値にもとづいて活動期の間の実験的に得 られた時間間隙は、見積もられた $\Delta$ t に対応する.

表 11 シベリア卓状地 (SP) の先カン ブリア紀岩石に関する計算および実験で 得られた年代値の比較

М	SP	М	SP	М	SP
3,500	3,500	2,900	2,910±10(2)	2,000	2,000±10(7)
3,470		2,860	2,860±0(2)		1,930±20(18)
3,440		2,820	2,800	1,850	1,860±20(17)
3,410		2,780	2,770	1,800	1,810±20(8)
3,370		2,740	2,750	1,750	1,750±10(11)
3,330	3,350	2,700	2,700±0(3)		1,680±20(8)
3,300	3,300	2,650	2,660±10(2)		1,580±10(3)
3,270	3,250	2,600	2,600	1,480	1,500±20(7)
3,230	3,230	2,550	2,550		1,400±0(4)
3,200	3,200	2,500	2,490±10(4)	1,350	1,330±10(4)
3,170	3,160	2,400	2,410±10(4)	1,250	1,250±20(9)
3,140		2,350	2,350±20(2)	1,100	1,100±20(14)
3,100	3,100±0(4)	2,280	2,300±0(3)	950	960±20(6)
3,070		2,240	2,240±10(2)		870±20(10)
3,040		2,200	2,200±0(3)	790	790 ±20(15)
3,010	3,000±0(2)	2150	2,140±10(4)		720 ±20(13)
2,980	2,970±10(3)	2120	2,110±10(5)		640±10(10)
2,940	2,940±10(2)	2060	2,060±20(4)	600	580±10(5)

表 12	南アメ	リカ卓状地	(SAP)	の先カ
ンブリ	ア紀岩	石に関する詞	計算およ	び実験
で得ら	れた年伯	代値の比較		

М	SAP	М	SAP	М	SAP
3,500	$3,500\pm0(2)$	2,900	2,900±0(2)	2,060	2,060±20(11)
3,470	3,470	2,860		2,000	2,010±10(10)
3,440	3,450	2,820	2,800		1,960±10(9)
3,410	3,400±0(3)	2,780	2,780±10(2)	1,850	1,860±20(13)
3,370		2,740	2,740±10(2)	1,800	1,800±10(9)
3,330		2,700	2,700±0(6)	1,750	1,750±20(7)
3,300	3,300	2,650	2,670		1,670±20(10)
3,270	3,260±10(2)	2,600	2,600±0(3)		1,530±10(4)
3,230	3,230±20(2)	2,550	2,540±10(2)	1,480	1,490±10(3)
3,200	3,200±0(2)	2,500	2,490±20(4)	1,350	1,350±20(11)
3,170	3,170±10(4)	2,400	2,430±20(3)	1,250	1,210±10(9)
3,140	3,150	2,350	2,350±10(4)	1,100	1,100±20(6)
3,100	3,100±0(2)	2,280	2,300±10(4)	950	980±20(7)
3,070		2,240	2,250±10(3)		890
3,040	3,040±0(2)	2,200	2,200±10(5)	790	780±20(5)
3,010	3,010±10(2)	2,150	2,150±10(7)		670±20(8)
2,980	2,990	2,120	2,120±10(8)	600	570±20(8)
2,940	2,930				

表13 アフリカ卓状地(AfP)の先カン ブリア紀岩石に関する計算および実験で 得られた年代値の比較

	М	AfP	М	AfP	M	AfP
	3,740	3,750	3,070	3,070±10(2)	2,150	2,150±10(3)
	3,710	3,700	3,040	3,040±0(3)	2,120	2,110±10(6)
	3,680	3,670	3,010	3,000±0(4)	2,060	$2,060 \pm 20(6)$
	3,650		2,980	2,980±10(3)	2,000	1,990 ±10(9)
	3,620		2,940	2,950±10(2)		1,930 ±20(9)
	3,590	3,600±0(2)	2,900	2,900 ±0(5)	1,850	1,860±20(8)
	3,560	3,560±0(2)	2,860	2,870±10(3)	1,800	1,800±10(10)
	3,530	3,530±10(2)	2,820	2,810±10(6)	1,750	1,740±20(7)
	3,500	3,500±0(2)	2,780	2,780±10(3)		1,620±20(4)
	3,470	3,480±10(3)	2,740	2,740±20(3)		1,530±20(3)
	3,440	3,440±10(3)	2,700	$2,700 \pm 10(5)$	1,480	1,430±20(3)
	3,410	3,410±10(3)	2,650	2,650±10(8)	1,350	1,330±20(5)
	3,370	3,380±10(2)	2,600	2,600±10(5)	1,250	$1,250 \pm 20(7)$
Γ	3,330	3,330 ±10(2	) 2,550	$2,550 \pm 10(6)$		$1,200\pm10(2)$
	3,300	3,300±10(3)	2,500	$2,500 \pm 10(4)$	1,100	1,090±10(7)
	3,270	3,260±0(2)	2,400	2,410±20(10)	950	950 ±20(8)
	3,230	3,230±10(4)	2,350	2,350±10(4)		850±20(6)
	3,200	3,200±0(5)	2,280	2,290±10(6)	790	770±20(6)
	3,170	3,180	2,240	2,240±10(3)		670±20(5)
	3,140	3,150	2,200	2,200±10(6)	600	570±20(8)
	3,100	$3,100\pm0(4)$				

表 14 インド楯状地(ISh)の先カンブリア 紀岩石に関する計算および実験で得られた年 代値の比較

М	ISH	М	ISH	M	ISH
3,590	3,600	2,980	2,970	2,060	2,030
3,560		2,940	2,920±0(2)	2,000	2,000
3,530		2,900	2,900±0(2)		1,950±10(4)
3,500	3,500±0(3)	2,860	2,850	1,850	1,870±20(2)
3,470		2,820	2,800±0(3)	1,800	1,810±10(3)
3,440	3,440	2,780		1,750	1,720±20(4)
3,410	3,410±0(2)	2,740	2,750		1,580±20(11)
3,370	3,350	2,700	2,700±10(5)	1,480	1,480±20(6)
3,330	3,330±10(2)	2,650	2,630	1,350	1,350±20(6)
3,300	3,300±0(2)	2,600	2,600±10(3)	1,250	$1,240 \pm 20(7)$
3,270	3,260±0(2)	2,550	2,560±0(2)	1,100	1,100±20(11)
3,230	3,230±20(2)	2,500	2,490±10(6)	950	970±20(20)
3,200	3,200±0(4)	2,400	2,400±10(5)		890±20(5)
3,170		2,350	2,310±10(3)	790	790±20(8)
3,140	3,120±0(2)	2,280			730±20(4)
3,100	3,100	2,240			670±10(2)
3,070	3,070	2,200	2,200	600	620±20(5)
3,040		2,150	2,140		
3,010	3,000	2,120	2,100±0(3)		

表 15 中朝楯状地 (SKSh) の先カンブリ ア紀岩石に関する計算および実験で得られ た年代値の比較

М	SKSh	М	SKSh	М	SKSh
3,680	3,670	3,010	3,000±0(2)	2,060	2,060±20(3)
3,650	3,550	2,980		2,000	2,000±10(8)
3,620		2,940	2,950		1,930±20(12)
3,590	3,600	2,900	2,900±0(4)	1,850	1,860±10(16)
3,560		2,860	2,850	1,800	1,800±0(11)
3,530	3,530	2,820		1,750	1,740±20(4)
3,500	3,500	2,780	2,800±0(3)		1,650±20(6)
3,470		2,740	2,740±10(5)	1,480	1,520±20(2)
3,440		2,700	$2,700\pm0(2)$		1,400±0(2)
3,410	$3,400\pm0(2)$	2,650	2,650±10(2)	1,350	1,370±10(2)
3,370	, ()	2,600	2,600	1,250	1,290±0(2)
3,330	3,340	2,550	2,550±10(5)	1,100	1,160
3.300	3.300±0(2)	2,500	2.500±0(5)	,	$1.020\pm10(2)$
3.270	, ()	2,400	2,420±20(5)	950	
3.230	3.240	2.350	2.360±20(3)		880±0(3)
3.200	3.200	2.280	$2.300\pm0(2)$	790	780±10(5)
3 170	3 170	2,240	$\frac{2,300=0(2)}{2,240\pm0(2)}$	,,,,	$740\pm0(2)$
3 140	5,170	2,200	2,210=0(2) 2,200+10(6)		670+20(4)
3 100		2,200	2,200=10(0) 2,160+10(3)	600	600+10(3)
3,070		2,130	$2,100\pm10(5)$ 2,110+10(5)	000	000±10(5)
3,040	3.050	2,120	2,110±10(5)		
5,040	5,050				
М	AP	М	AP	М	AP
3.740	$3.750\pm0(2)$	3.070		2.150	2.160
3,710	$3,710\pm10(2)$	3,040	3,050	2,120	2,130
3,680	3,680±0(2)	3,010	$3,000\pm0(5)$	2,060	2,050±20(3)
3,650	3,650	2,980	2,970	2,000	2,000±10(3)
3,620	3,620	2,940	2,940±10(2)		1,940±10(4)
3,590	3,600±0(3)	2,900	2,900	1,850	1,840±10(6)
3,560		2.0(0			
3,530		2,860	$2,860 \pm 10(3)$	1,800	1,800±10(8)
		2,860	$2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4)$	1,800 1,750	1,800±10(8) 1,740±10(15)
3,500	3,500±0(3)	2,860 2,820 2,780	$\begin{array}{r} 2,860 \pm 10(3) \\ \hline 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ \hline \end{array}$	1,800 1,750	1,800±10(8) 1,740±10(15) 1,660±20(18)
3,500 3,470	3,500±0(3) 3,470	2,860 2,820 2,780 2,740	$\begin{array}{r} 2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ 2,740 \pm 10(6) \end{array}$	1,800 1,750	1,800±10(8) 1,740±10(15) 1,660±20(18) 1,550±20(21)
3,500 3,470 3,440	3,500±0(3) 3,470 3,440±0(2)	2,860 2,820 2,780 2,740 2,700	$\begin{array}{r} 2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ 2,740 \pm 10(6) \\ 2,700 \pm 10(12) \end{array}$	1,800 1,750 1,480	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,480\pm20(12)\\ \end{array}$
3,500 3,470 3,440 3,410	3,500±0(3) 3,470 3,440±0(2) 3,400±0(2)	2,860 2,820 2,780 2,740 2,700 2,650	$\begin{array}{r} 2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ 2,740 \pm 10(6) \\ 2,700 \pm 10(12) \\ 2,660 \pm 0(5) \end{array}$	1,800 1,750 1,480 1,350	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,480\pm20(12)\\ \hline 1,350\pm20(12)\\ \hline \end{array}$
3,500 3,470 3,440 3,410 3,370	3,500±0(3) 3,470 3,440±0(2) 3,400±0(2) 3,350	2,860 2,820 2,780 2,740 2,700 2,650 2,600	$\begin{array}{r} 2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ 2,740 \pm 10(6) \\ 2,700 \pm 10(12) \\ 2,660 \pm 0(5) \\ \hline 2,600 \pm 0(5) \\ \hline 2,600 \pm 0(5) \end{array}$	1,800 1,750 1,480 1,350 1,250	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,480\pm20(12)\\ \hline 1,350\pm20(12)\\ \hline 1,220\pm20(11)\\ \end{array}$
3,500 3,470 3,440 3,410 3,370 3,330	3,500±0(3) 3,470 3,440±0(2) 3,400±0(2) 3,350 3,330±10(2)	2,860 2,820 2,780 2,740 2,700 2,650 2,650 2,600 2,550	$\begin{array}{r} 2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ 2,740 \pm 10(6) \\ 2,700 \pm 10(12) \\ 2,660 \pm 0(5) \\ 2,600 \pm 0(5) \\ 2,550 \pm 10(3) \end{array}$	1,800 1,750 1,480 1,350 1,250 1,100	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,480\pm20(12)\\ \hline 1,350\pm20(12)\\ \hline 1,220\pm20(11)\\ \hline 1,150\pm20(13)\\ \end{array}$
3,500 3,470 3,440 3,410 3,370 3,330 3,300	3,500±0(3) 3,470 3,440±0(2) 3,400±0(2) 3,350 3,330±10(2) 3,300	2,860 2,820 2,780 2,740 2,700 2,650 2,600 2,550 2,500	$\begin{array}{r} 2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ 2,740 \pm 10(6) \\ 2,700 \pm 10(12) \\ 2,660 \pm 0(5) \\ 2,600 \pm 0(5) \\ 2,550 \pm 10(3) \\ 2,480 \pm 10(3) \end{array}$	1,800 1,750 1,750 1,480 1,350 1,250 1,100 950	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,480\pm20(12)\\ \hline 1,350\pm20(12)\\ \hline 1,220\pm20(11)\\ \hline 1,150\pm20(13)\\ \hline 980\pm20(10)\\ \end{array}$
3,500 3,470 3,440 3,410 3,370 3,330 3,300 3,270	3,500±0(3) 3,470 3,440±0(2) 3,400±0(2) 3,350 3,330±10(2) 3,300 3,250±0(3)	2,860 2,820 2,780 2,740 2,700 2,650 2,600 2,550 2,500 2,400	$\begin{array}{c} 2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ 2,740 \pm 10(6) \\ 2,700 \pm 10(12) \\ 2,660 \pm 0(5) \\ 2,600 \pm 0(5) \\ 2,550 \pm 10(3) \\ 2,480 \pm 10(3) \\ 2,400 \pm 10(3) \\ \hline \end{array}$	1,800 1,750 1,480 1,350 1,250 1,100 950	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,480\pm20(12)\\ \hline 1,350\pm20(12)\\ \hline 1,220\pm20(11)\\ \hline 1,150\pm20(13)\\ \hline 980\pm20(10)\\ \hline 900\pm20(4)\\ \end{array}$
3,500 3,470 3,440 3,410 3,370 3,330 3,300 3,270 3,230	3,500±0(3) 3,470 3,440±0(2) 3,400±0(2) 3,350 3,330±10(2) 3,300 3,250±0(3)	2,860 2,820 2,780 2,740 2,700 2,650 2,600 2,550 2,500 2,400 2,350	$\begin{array}{c} 2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ 2,740 \pm 10(6) \\ 2,700 \pm 10(12) \\ 2,660 \pm 0(5) \\ 2,600 \pm 0(5) \\ 2,550 \pm 10(3) \\ 2,480 \pm 10(3) \\ 2,400 \pm 10(3) \\ 2,360 \end{array}$	1,800 1,750 1,750 1,480 1,350 1,250 1,100 950 790	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,480\pm20(12)\\ \hline 1,350\pm20(12)\\ \hline 1,220\pm20(11)\\ \hline 1,150\pm20(13)\\ \hline 980\pm20(10)\\ \hline 900\pm20(4)\\ \hline 790\pm10(5)\\ \end{array}$
3,500 3,470 3,440 3,410 3,370 3,330 3,300 3,270 3,230 3,200	3,500±0(3) 3,470 3,440±0(2) 3,400±0(2) 3,350 3,330±10(2) 3,300 3,250±0(3) 3,200±0(2)	2,860 2,820 2,740 2,740 2,700 2,650 2,600 2,550 2,500 2,500 2,400 2,350 2,280	$\begin{array}{r} 2,860\pm10(3)\\ 2,810\pm0(4)\\ \hline 2,780\pm10(3)\\ 2,740\pm10(6)\\ 2,700\pm10(12)\\ 2,660\pm0(5)\\ 2,600\pm0(5)\\ 2,550\pm10(3)\\ 2,480\pm10(3)\\ 2,400\pm10(3)\\ 2,360\\ 2,300\\ \hline 2,300\\ \end{array}$	1,800 1,750 1,750 1,350 1,250 1,100 950 790	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,480\pm20(12)\\ \hline 1,350\pm20(12)\\ \hline 1,220\pm20(11)\\ \hline 1,150\pm20(13)\\ \hline 980\pm20(10)\\ \hline 900\pm20(4)\\ \hline 790\pm10(5)\\ \hline 730\pm10(8)\\ \end{array}$
3,500 3,470 3,440 3,410 3,370 3,330 3,270 3,230 3,200 3,200 3,170	3,500±0(3) 3,470 3,440±0(2) 3,400±0(2) 3,350 3,330±10(2) 3,300 3,250±0(3) 3,200±0(2) 3,180	2,860 2,820 2,740 2,740 2,650 2,650 2,550 2,500 2,500 2,400 2,350 2,280 2,240	$\begin{array}{c} 2,860 \pm 10(3) \\ 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,810 \pm 0(4) \\ \hline 2,780 \pm 10(3) \\ 2,740 \pm 10(6) \\ 2,700 \pm 10(12) \\ 2,660 \pm 0(5) \\ 2,600 \pm 0(5) \\ 2,550 \pm 10(3) \\ 2,480 \pm 10(3) \\ 2,400 \pm 10(3) \\ 2,360 \\ 2,300 \\ 2,250 \pm 0(2) \\ \hline \end{array}$	1,800 1,750 1,750 1,480 1,350 1,250 1,100 950 790	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,550\pm20(12)\\ \hline 1,350\pm20(12)\\ \hline 1,220\pm20(11)\\ \hline 1,150\pm20(13)\\ \hline 980\pm20(10)\\ \hline 900\pm20(4)\\ \hline 790\pm10(5)\\ \hline 730\pm10(8)\\ \hline 690\pm10(5)\\ \hline \end{array}$
3,500 3,470 3,440 3,410 3,370 3,330 3,270 3,230 3,200 3,170 3,140	$\begin{array}{c} 3,500\pm0(3)\\ 3,470\\ 3,440\pm0(2)\\ 3,400\pm0(2)\\ 3,350\\ 3,330\pm10(2)\\ 3,300\\ 3,250\pm0(3)\\ \hline \\ 3,200\pm0(2)\\ 3,180\\ 3,120\\ \hline \end{array}$	2,860 2,820 2,780 2,740 2,700 2,650 2,650 2,600 2,550 2,500 2,400 2,350 2,280 2,280 2,240 2,200	$\begin{array}{r} 2,860\pm10(3)\\ 2,810\pm0(4)\\ \hline 2,810\pm0(4)\\ \hline 2,780\pm10(3)\\ 2,740\pm10(6)\\ 2,700\pm10(12)\\ 2,660\pm0(5)\\ 2,600\pm0(5)\\ 2,550\pm10(3)\\ 2,480\pm10(3)\\ 2,400\pm10(3)\\ 2,360\\ 2,300\\ 2,250\pm0(2)\\ 2,200\pm0(2)\\ \hline 2,200\pm0(2)\\ \hline \end{array}$	1,800 1,750 1,750 1,750 1,350 1,250 1,100 950 790 790 600	$\begin{array}{r} 1,800\pm10(8)\\ \hline 1,740\pm10(15)\\ \hline 1,660\pm20(18)\\ \hline 1,550\pm20(21)\\ \hline 1,480\pm20(12)\\ \hline 1,350\pm20(12)\\ \hline 1,220\pm20(11)\\ \hline 1,150\pm20(13)\\ \hline 980\pm20(10)\\ \hline 900\pm20(4)\\ \hline 790\pm10(5)\\ \hline 730\pm10(8)\\ \hline 690\pm10(5)\\ \hline 600\pm20(5)\\ \hline \end{array}$

表16 オーストラリア卓状地(AP)の先 カンブリア紀岩石に関する計算および実験 で得られた年代値の比較 表 17 南極卓状地 (AnP) の先カンブリ ア紀岩石に関する計算および実験で得ら れた年代値の比較

М	AnP	М	AnP	М	AnP
3,470	3,470	2,900		2,000	2,000
3,440		2,860	2,840±0(2)		1,900±0(2)
3,410		2,820	2,820±10(4)	1,850	1,860±10(2)
3,370	3,380±0(2)	2,780	2,790±10(4)	1,800	1,800±0(2)
3,330	3,350	2,740		1,750	$1,740 \pm 20(8)$
3,300	3,300	2,700			1,620±20(8)
3,270	3,270	2,650	2,640±10(2)		1,560
3,230		2,600	2,600	1,480	1,490±10(2)
3,200	3,200±0(2)	2,550	2,540±10(2)	1,350	$1,370 \pm 20(5)$
3,170	3,170±0(2)	2,500	2,500±10(9)	1,250	1,270±20(5)
3,140	3,150	2,400	2,420±20(7)	1,100	1,120±20(20)
3,100	3,100	2,350		950	960±20(7)
3,070	3,070±0(3)	2,280	2,300		880±10(2)
3,040		2,200	2,200±0(3)	790	800
3,010	3,000	2,150			700
2,980	2,980	2,120	2,100±0(2)	600	$620 \pm 0(2)$
2,940		2,060	2,060±0(2)		



図 10 の下図で見積もった値に対応するのは、比較 的狭いブロック(ウクライナ楯状地の Azov 地塊, ならびにオーストラリア卓状地の Yilgarn および Goler 楯状地)における平均化された活動間隙であ る. これら2つの場合に、間歇的活動期間とその後 の期間において、すなわち約 1.8 ~ 2.0Ga までは、 よく合致している.より若い年代には、個々のブロッ クの地史の違いがしだいに大きくなり、見積もられ た $\Delta$ t値(当時のある1つのブロックの時間間隙ご とに精密に決定された)との整合性は楯状地の内部 にまでは到達しなくなるのが一般的である.

Gordienko (2009a)の研究によると,想定された(卓 状地)レベルの放射壊変によってもたらされる熱エ ネルギーは2.0~1.85Gaの活動期間における追加 的熱・物質移送事件を確証するには不十分であろう. この作用は,これらの2Gaの事件を含むブロックに 限られて起こるだろう.その後,熱生成(HG)の時 間は減少し,活性化の間の約5,000万年もの時間間 隙はいずれも非現実的である.表8~表11(図11) にリストされた推定活性化の1つが失われるとし て,1.8~0.6Gaの期間の先カンブリア紀卓状地の 個々のブロックにおける"余分の"年代値に遭遇す る可能性を考えてみよう.

1.75Gaの活性化が知られていないところでは,

図 10 岩石年代(t)の関数として示される 先カンブリア紀の活性化事件の間の時間間 隙、1と2は実験データで、I) 楯状地と卓 状地、2) 個々のブロック、3) 推定データ.

1.65Ga の作用が起きることは明らかである(言い かえると,部分溶融が発生する厚い層,あるいは, 厚い部分溶融層が出現し,熱・物質移送事件が発生 するための物質や熱の源になることができる層). もしこのような事象が起きなかったとすると,1億 年後には,2つの活性化期(たとえば,,1.55Gaと 1.45Ga)を引き起こすために十分にエネルギーが蓄 積されるだろう.もし,0.95Ga の活性化が起こら なかったとすると,0.85Ga などに活性化作用が起 きるだろう.

#### マントルにおける熱発生(HG)の変化

本論文に提示された卓状地の地史の解析は、マント ル岩石における熱発生に特定のレベルを規定する. この研究には限界がある.研究された資料の圧倒的 多数は、原生代に地向斜褶曲が生じなかった地域の マントルから収集されたものである.他の資料に関 しては、これほど確実なことがらは得られない.

先カンブリア紀卓状地のマントルにおける熱生成が 広大な領域にわたる平均値(0.05 μ W/m3)から大 きく偏倚する場合が, 2つの環境に示唆される.

1. 減少した熱流量(HF)地帯が卓状地に点在していた. これらの多数の異常は地表近くの歪に関わっ



図11 中期~後期原生代の上部マントルの推定温度. グラフの横の数値は百万年前という単位で表された年代. Sはソリダス温度.



図 12 中部~東部ヨーロッパの熱流量地図の一部. 熱流量等高 線の単位は mW/m<sup>2</sup>.

ている.それらの1つが東ヨーロッパ卓状地にあり, そこでの低熱流量測定に本稿の著者は参加した.そ こは深部熱流の異常を反映していると信じる理由が ある (Gordienko et al., 2007:図12).

ウクライナ / ベラルーシ国境近くの熱流量負異常の 南部(Pripyat 膨隆) での約 30 ~ 35mW/m<sup>2</sup>の熱流 量レベルは、卓状地での典型的な値よりも最大で約 10 W/m<sup>2</sup>小さい.地震波速度と熱生成との間にみら れる通常のタイプの関係性を仮定したのでは、マン トルからの通常の熱流量減少によって得られた地殻 速度構造を説明することはできない.マントル岩石 中の熱発生は 20% 少なくなくてはならない.

そのような熱発生様式をもつ造構圏の熱史が, Gordienko et al. (2005)によって評価された.そ のような地域では、3.6~0.00Gaの期間に16回の 熱・物質移送事件が存在したであろうことが明らか になったが、通常の熱生成域ではこの回数は49回 にもなる.造構圏において同時に見積もられた温度 も異なっている(図13).この相違は、想定温度と



図 13 想定温度(T)とウクライナ楯状地と Pripyat 膨隆における上部マントルかかわる地熱データの比較. 想定温度 T の曲線: 1-ウクライナ楯状地, 2-Pripyat 膨隆. 地熱データ:3-ウクラ イナ楯状地, 4-Pripyat 膨隆.

地熱データとの比較によって確証されうる.

2. 卓状地にしばしば認められるのは,熱流量値が 50mW/m<sup>2</sup>の領域である.この事実は,上部マントル に由来する岩石中の熱生成がより強いことを信じる 論拠にはならない.このような小規模な変動はさま ざまな原因に由来するだろう.

上述のとおり、上部マントルにおける通常の熱生成 は2.4~0.6Gaにおける地向斜作用を示す.合計 19回の熱・物質移送がリフト形成期や単成活性化 帯に発生した.

先カンブリア紀卓状地の広い範囲にわたって古生代 地向斜 - 褶曲帯が存在することを説明するのには, 上部マントル岩石中により広い熱生成域を想定する のが適している(図14).さまざまなデータが,6 回~12回の褶曲時相の存在を示す.入手できる情



図 14 大陸上におけるさまざまな年代の地向斜位置(Larin, 2012:他). 楯状地:1-始生代褶曲帯, 2-始生代-原生代褶曲帯, 3-薄 い堆積層に覆われた先カンブリア紀楯状地,4-顕生代褶曲帯

報では,詳細な決定は不可能である.いくつかの褶 曲帯は顕生代地向斜帯内部の先カンブリア紀地塊に 限定されていて,それらのすべてが先カンブリア紀 卓状地の上に重なっているわけではない(Bogdanov et al., 1986;Larin, 2012;Stille, 1968;他). それゆえ,より実像に近いのは地向斜数の見積もり のうち最小値であろう.2.4~0.6Gaの期間におけ る18回のマントルにおける熱・物質移送はそれら に関連している.

問題の領域に関していうと、同じ期間にわたって、 広域的地史における地向斜段階の終了を示す卓状地 型バソリスの形成がすくなくとも6つの時代に起 こった(Larin, 2012).私たちがそれらの卓状地ブ ロックに関するより詳細な研究結果に従えば、単成 活性化作用、おそらくはリフト作用の痕跡を確実に 発見できるであろう.そこでは、熱・物質移送事件 の想定回数が約 30 回にのぼるだろう.

この問題にかかわる知識が乏しい段階ながら,先カ ンブリア紀大陸楯状地における上部マントル岩石の 熱生成の影響はじつに顕著である.

#### 結 論

以上のとおり,先カンブリア紀における見積もられ, 実験的に確立された年代の対応関係はすべての大陸 の楯状地に対して証明されたと考えられる.導かれ た熱史の計算によって,活性化事件の年代ならびに それらの特徴と頻度を定量的に決定することができる.実施された研究は、本質的には、Stilleの大きな成果を物理的に実証したものである.

謝辞 著者は、ロシア語からこの論文を翻訳された Rita Schneider さんに深く感謝する. 文 献

- Bogdanov, A. and Khain, V., 1968. In place of a postscript. Assynt (Baikalian) period of tectogenesis and its role in the Earth's history in light of new evidence. (In Stille, H. Assynt tectonics in the Earth's geological record. Moscow, Mir Publishers, 255p.), p.207-241. (in Russian)
- Brown, D., Campbell, K. and Crook, K., 1970. The geological evolution of Australia and New Zealand. -Moscow: Mir Publishers, 348p. (in Russian)
- Clark, M., Camichael, D. and Hodson, C., 1988. Metasomatic processes and T-XCO2 conditions of wall-rock alteration at Victory gold mine, Kambalda, Australia. Bicentennial Gold 88 Geol. Soc. Aus. -Abstr. 22. pp. 230-234.
- Dmitriyev, E.A. and Lutkov, V.S., 1983. Composition of the upper mantle beneath the Pamirs and Tien Shan, Transactions of the USSR Academy of Sciences, v. 272, no. 2, p. 437-442. (in Russian)
- The Early History of the Earth, 1980. Ed. B. Windley. Moscow: Mir Publishers. 622p. (in Russian).

The Early Precambrian of the Baltic Shield, 2005. Ed.

V.A. Glebovitsky. St. Petersburg. Nauka. 71p. (in Russian) Encyclopaedia of the world regional geology. Western Hemisphere, 1980. Ed. R. Fairbridge. Leningrad: Nedra. 512p. (in Russian)

- Garrels, R. and MacKenzie, F., 1974. Evolution of sedimentary rocks. Moscow: Mir Publishers. 280p. (in Russian) Gondwana Research, http://www. gondwanaresearchonline.com/General/Index.aspx.
- Gordienko, V.V. 1998. Deep-seated processes in the Earth's tectonosphere. Kiev: IGP NASU. 85p. (in Russian)
- Gordienko, V.V., 2009a. On the deep-seated processes in the tectonosphere of the Baltic Shield in the Early Precambrian. Geophys. Jour., no. 3, p. 3-17. (in Russian)
- Gordienko, V.V., 2009b. On Precambrian deep-seated processes in the tectonosphere of continents. Geophys. Jour., v. 5, p. 85-102 (in Russian).
- Gordienko, V.V., 2014. On Plate Tectonics. NCGT Journal, no. 4, p. 20-49.
- Gordienko, V.V., 2015a. Essential points of the advection-polymorphism hypothesis. NCGT Journal, v. 2, no. 2, p. 115-136.

Gordienko, V.V., 2015b. Energy balance in the tectonosphere. NCGT Journal, v. 3, no. 3. p. 263-281.

Gordienko, V.V, 2015c. Advective heat and mass transfer in the Earth's tectonosphere. NCGT Journal, v. 3, no. 3, p. 282-309.

Gordienko, V.V., Gordienko I.V., Zavgorodnyaya O.V. et al., 2005. Ukrainian Shield (Geophysics, Deep-seated processes). Kiev, Corwin press. 210p. (in Russian)

- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., and Usenko, O.V., 2007. Thermal field of Central and Eastern Europe. Structure and dynamics of Eastern European lithosphere. v. 2. Moscow: GEOS. p. 624-658. (in Russian)
- Khain, V.Ye., 1971. Regional tectonics. North and South America, Antarctica, Africa. Moscow: Nedra. 548 p. (in Russian)

Khain, V.Ye., 1977. Regional tectonics. Non-Alpine Europe and Western Asia. Moscow, Nedra. 360 p. (in Russian)

Khain, V.Ye., 1979. Regional tectonics. Non-Alpine Asia and Australia. Moscow, Nedra. 357 p. (in Russian)

Kröner, A., Hanson, G. and Goodwin, A. (eds.), 1987.Archaean Geochemistry. Moscow, Mir Publishers, 318p. (in Russian)

Larin, A.M., 2012. Rapakivi granite-bearing complexes: Geological location, age, and sources. Author's abstract of Doctoral Thesis, Moscow: GIN RAN. 42 p. (in Russian)

Precambrian Canada, Greenland, Svalbard, and the

British Isles, 1968. Ed. K. Rankama. Moscow: Mir Publishers, 384 p. (in Russian)

- Precambrian of continents: Australia and Africa, 1976a. Borukayev, Ch.B., Yelizaryev, Yu.Z., Zabrodin, V.E. and Chikov. B.M., Novosibirsk. Nauka, 224 p. (in Russian)
- Precambrian of continents: North and South America, 1976b. A.K. Basharin, N.A. Berzin, B.D. Dvorkina, V.N. Moshkin, and V.I. Shuldiner, Novosibirsk, Nauka, 240 p. (in Russian)
- Precambrian of continents: Ancient Platforms of Eurasia, 1977. Ed. K.B. Bogolepov and O.A. Votakh, Novosibirsk: Nedra. 312 p. (in Russian)

Precambrian Research, http://www.elsevier.com/ wps/find/journaldescription.cws\_ home/503357/ description

- Ryabchikov, I.D., Solovova, N.P., Kogarko, L.N., et al., 2002. Thermodynamic parameters of maymechite and alkaline picrate generation in the Maymecha-Kotuy Province (based on studies of melt microinclusions). Geochemistry. 11, p. 1139-1150. (in Russian)
- Semikhatov, M.A., 1974. Stratigraphy and geochronology of the Proterozoic. Moscow, Nauka. 302 p. (in Russian)
- Shcherbak, N.P., Bibikova, Ye.V., Skobelev, V.M., et al., 2003. Evolution in time and metallogenic specification of the Ukrainian Shield Early Precambrian crust (3.17–1.7 billion years). Mineralogical Journal, no. 4, p. 82-92. (in Russian)
- Shcherbak, D.N., Mikhaylov V.A. and Grinchenko O.V., 2004. Most important Precambrian metallogenic epochs of the Ukrainian Shield. Newsletter, National University, Kiev, 31/32. p. 50-53 (in Ukrainian).
- Shcherbakov, I.B., 2005. Petrology of the Ukrainian Shield. Lviv: ZuKC. 366 p. (in Russian)
- Smelov, A.P., Berezkin, V.I., Popov, N.V., et al. 2006. Initial data on syncollisional Paleoproterozoic basites and ultrabasites of the Aldan-Stanovoy Shield. Geology and Geophysics. no.1, p.151-163. (in Russian)
- Stille, H., 1968. Assynt tectonics in the Earth's geological record. Moscow, Mir Publishers, 255 p. (in Russian)
- Taylor, S. and McLennan, S., 1988. The continental crust: Composition and evolution. Moscow, Mir Publishers, 38 p. (in Russian)
- Tugarinov, A.I. and Voytkevich, G.V., 1970. Precambrian geochronology of continents. Moscow, Nedra. 432 p. (in Russian)
- Vernikovsky, V.A. and Vernikovskaya, A.E. 2006. Tectonics and evolution of granitoid magmatism in the Yenisei Ridge. Geology and Geophysics, no. 1, p. 35-52. (in Russian)
# "氷"(冥王星)と"炎"(太陽): 全く異なった宇宙の天体の造構的類似性 "ICE" (PLUTO) AND "FLAME" (SUN): TECTONIC SIMILARITIES OF DRASTICALLY DIFFERENT COSMIC GLOBES

# Gennady G. KOCHEMASOV

kochem.36@mail.ru

# (小泉 潔[訳])

要旨:比較波動惑星学は、周期的に変化する加速度を持つ楕円軌道を描いて移動するすべての天体が、いろいろな 波長の歪んだ定常波の影響を受けていることを明らかにする.最長の基本波動1は、天体を隆起と沈降の2つの部 分に区分している.この2分する造構運動は、いろいろな大きさ・質量・組成や内部エネルギーを持つ天体そのも のに現れている.最も対照的なケースは、最小の氷惑星(冥王星)と巨大な灼熱のガス球体(太陽)である.第1 次の振幅の大きい波動2は、これらの天体を、両天体の表面に良く観察される高さの異なった造構セクターに分割 する."軌道は構造を作る"はまた、軌道周期に比例するサイズ、すなわち造構的粒子化(granulation)が、両天 体に検出されていることを意味している.最も重要な構造形成エネルギーは、外部軌道エネルギーである.

キーワード:太陽, 冥王星, 楕円軌道, 造構破片, セクター, 粒子

# 北部トスカナ(イタリア): 群発地震と集中豪雨との間のポテンシャル関係 NORTH TUSCANY (ITALY): A POTENTIAL RELATIONSHIP BETWEEN SEISMIC SWARMS AND VIOLENT RAINSTORMS?

# Valentino STRASER

valentino.straser@alice.it

(岩本 広志 [訳])

要旨:地震と大気現象の関係を長い時間を遡って解明することを試みる.デモクリトスとアリストテレスが生きていた古代ギリシャでは、地震と集中豪雨、熱水噴出と空気の急激移動(地下と大気の間)を結びつける試みがくりかえされた.北部トスカナ地方のある地理的領域では、2013年6月21日~11月1日に2,453回の群発地震に襲われたり、周期的な激甚洪水に見舞われることがあった.そのため、野外研究所に、地震活動に関わる膨張テクトニクスと、断層面沿いに発生する大気圧変化との相互作用や地震を伴った広域テクトニクスを結びつける論理モデルの開発が要請された.実際には、逆に、地震活動を活発化させる造構的不連続性がガスを放出させ、このガスが大気と局所的に相互作用していた.物理作用のこのような組み合わせが、フィードバックシステムを発生させることが示唆される.

キーワード:ストラトワーニング,地震予知,ルニギアナ地震地域, V-型, 群発地震

# ハザラ - カシミール横谷(パキスタン)の地震地球力学 SEISMOGEODYNAMICS OF THE HAZARA-KASHMIR TRANSVERSE TROUGH, PAKISTAN

# Haleem Zaman MAGSI

Department of Earth Sciences, Karakoram International University, University Road, Gilgit, 15100, Pakistan dr.magsi@kiu.edu.pk

(小泉 潔[訳])

## 国際オンラインジャーナル グローバルテクトニクスの新概念 [日本語版] Vol. 3, No. 4

要旨:ハザラ-カシミール対曲(対曲 = Syntaxis;異なる方向に伸び,しかも同時に形成された2つの山脈や島弧 が,ある角度をなして接していること)とも呼ばれるハザラ-カシミール横谷(横谷 = Transverse Trough;山脈 を直角に横切る谷.一般に峡谷をなすことが多い.⇔縦谷)は、アルプス-ヒマラヤ褶曲帯が東方に折れ曲がると ころであり,地震が多い.2005年10月8日のカシミール地震は、地震帯中に長さ75kmの地震性断裂を形成してい る地帯を揺らした.インダス-コヒスタン地震帯で提案されている造構モデルのほとんどは、ユーラシアプレート の下へのインドプレートのサブダクションに関係づけられてきた.しかし、さまざまな物理化学的性質をもつ深部 断層と厚い地震波 waveguide(訳者注;"地震波を導く層"という意味か)の存在は、ハザラ-カシミール横谷を地 震地球力学的に再評価する必要を示している.本論は、横谷における上下運動と合致するブロック褶曲運動が造構 運動のエネルギー源であることを示す.ハザラ-カシミール横谷の地震地球力学はシビ横谷と類似している.

キーワード: 地震地球力学, 深部断層, 上下運動, ブロック褶曲運動

#### はじめに

カシミール地震(M7.6)が2005年10月8日にハザラ-カシミール横谷\*を揺すり,80000人近い人々が犠 牲になった(図1).75kmの地震断層と25000ヶ所 の地すべり(Dunning et al.,2007)が震源域内の 社会基盤施設を破壊した.カシミール災害による大 惨事と社会基盤施設の損害は,ハザラ-カシミール 対曲\*\*における2005年10月8日の巨大地震発生 の理由を解明するために,現地および国際的な専門 家を引き込んだ.

\* 訳者注 横谷 = Transverse Trough;山脈を直角 に横切る谷.一般に峡谷をなすことが多い.縦谷 の対語.地層や山脈の走向に直交して川が流れる ので,一般に川が深く,峡谷状の流路をなす.成 因としては,断層運動により生じた断層谷,山脈 の隆起後も以前の流路を維持する先行河川,浸食 の復活により軟弱な被覆層が削られて,相対的に 硬い部分が突起部として残った場合に,その突起 部を横断して以前の流路を維持する表生谷などが



図1 パキスタンの地震活動図. 青線はインドとユーラシアプレートとの境界(EERI 特別地震報告-2006 年 2 月)

ある(地学事典). なお,地学事典では Transverse Valley となっている.

\*\* 訳者注 対曲 = Syntaxis;異なる方向に伸び, しかも同時に形成された2つの山脈や島弧が,あ る角度をなして接していること.

地質学者と地震学者が, 地震活動の異なった側面か ら取り組んだ.ある研究者は、ハザラ-カシミー ル対曲で広域的水平圧縮に合致するエネルギーを 発生させるような造構モデルを提起した.多くの 科学者は、2005年のカシミール地震と表面断層 系(主境界衝上断層・ジェルム断層・ムザファラ バード断層など、図2)を関連づけた. 例えば、 Avouac et al. (2006), Aydan (2006), Bendick et al. (2007), Berryman et al. (2014), EMSC (2005), Ghaffar and Abbas (2010), Hussain et al. (2009), Jan et al. (2008), Kondo et. al. (2008), Schneider (2006), Tahirkheli (2005), Yeats et al. (2006), Zaré and Karimi-Paridari (2008), および Zaré et al. (2009). さ ら に、Gahalaut (2006)、Khan et al. (2009)、 Monalisa et al. (2005, 2008, 2009a, 2009b) お よび Purnachandra et al. (2006) は、カシミール 地震をインダス-コヒスタン地震帯(図2・図8) と関連づけた. さらに, Seeber and Armbruster



図 2 表面断層 (Turab, 2012) と 2005 年 10 月 8 日のカシミー ル地震の震央および IKSZ と LHSZ.赤星印:震央



図4 ヒンズークシの2002~2003年の主な地震と2005年カシ ミール地震の浅発地震との造構的関連 (Blot and Choi, 2005).

(1979), Mona Liza et al. (2009) および Khan et al. (2009) は、インダス-コヒスタン地震帯の 北西方への延長から主マントル衝上断層(図2; Tahirkheli et al. 1979) に到ると仮定した. 最終 的には、Blot and Choi (2005) は、ヒンズークシ とインダス-コヒスタン地震帯に関連したエネル ギー移送を提言した(図4).

ハザラ-カシミール対曲地域 (Verma and Prasad, 1987; Ali and Mujtaba, 1992; Khan and Ali, 1997) の急傾斜した構造の方向とそれを横断する方

図 5 (A) 図 2 の断面線 1 のナオシェラ~ナンガパルバットにおける DSS 断面に沿う地殻構造 (Verma and Prasad, 1987). (B)
 図 2 の断面線 2 のファテブル~クンドゥルシャーヒーにおける重力断面 (Khan and Ali, 1997). BBF-Bagah Blind 断層, HLSZ-ハザラ下部地震帯, MTB-主マントル衝上断層, PT-パンジャル断層.

向の深部断層(図3の断面線1・2と図5の断面図) の存在は,発達中の造構構造において重要な役割を はたしているにもかかわらず,地震活動の造構モデ ルでは無視されている(Belousov, 1976).

深部断層は、生まれ変わりそれゆえ地殻に影響をお よぼすために、マントル物質をチャネルに供給する ことによって地球力学的過程を促進している.物理 化学的性質は中下部地殻層準の形成中に変化する.



図6 ローレンセプルとラマ ダ湖に沿うブーゲ異常と地震 波速度 (Belousov et al., 1978 より). 1. 速度層, 2. Waveguide 層, 3. ブーゲ異 常 $\Delta$ g (上図). 断面位置は 図 2参照 (断面線 3).

そこでは褶曲作用がエネルギーを作り出している (Belousov, 1976). エネルギーの集積は、中部地殻 層準の物理化学的(脆性 - 延性)性質に依存してい る.地殻とモホ面の脆性 - 延性的特徴は、地震波、 重力、電気抵抗の場のインバージョン値に反映され ている.中部地殻のそのような地球物理学的異常 は waveguide\*\*\* と呼ばれている(Belousov, 1976; Pykhalov and Richter, 2014).

\*\*\* 訳者注 waveguide; "地震波を導く層"の意か.

深発地震によるハザラ - カシミール対曲を通る深部 調査断面(Belousov et al., 1978)は、中部地殻 のwaveguide層を確定した(図6).さらに、この 調査の目標は、深部構造に合致するハザラ - カシ ミール横断断層の地震性地球力学を評価することで ある.また、ハザラ - カシミール横断断層とシビ横 断断層(図7)の地震性地球力学を関連づけるであ ろう.ハザラ - カシミール横断断層(図3)のエネ ルギー蓄積モデルは、今後の研究で提示される.

#### 地震活動

ハザラ-カシミール対曲の過去と現在の地震活動 は、ヒンズークシ (01dham, 1893) · アフガニスタ ン・パキスタン・イラン南部とヒマラヤ(Quittmeyer and Jacob, 1979)の地震一覧およびロシアとエディ ンバラ観測所 (Magsi, 1983) によるパキスタン地 震(M = 5.0)の一覧に記録されている. 2005年10 月8日のカシミール地震後に、マグニチュードの小 さい地震がまた、ハザラ-カシミール対曲の地震活 動図中に含められている (PMD and NOSAR, 2007). Quittmeyer et al. (1979) と Kayal (2008) は, 主ヒマラヤ地震帯の一部として、ハザラ-カシミー ル対曲の地震を含む北西ヒマラヤ地震活動を分類し た. 一方, Seeber and Armbruster (1979) は, ユー ラシアプレート下へのインドプレートの潜り込に合 致する地域の基盤モデルに対して, デコルマに互い に平行な下部ハザラ地震帯 (LHSZ) およびインダス

コヒスタン地震帯(IKSZ)と地震活動とを関連づけた(図8).

Khan et al. (2008) と Mona Lisa et al. (2009) は, インダスコヒスタン地震帯とカシミール地震とを関 連づけ、インドコヒスタン地震帯の北西延長を主マ ントル衝上断層 (Tahirkheli et al., 1979) と提 唱している. また, Khan et al. (2008) は、それ をカシミール地震(M7.6)の原因と収束帯の直角部 分であるインダスコヒスタン地震帯の地震活動と考 えている. そして、どちらかが、地震を起こす基盤 の造構運動を制御している。Blot and Choi (2005) はインダスコヒスタン地震帯の存在を支持し、イン ドコヒスタン地震帯のさらに北西方のヒンズークシ の方へ延長していると信じている.彼らはユーラシ アプレート下の基盤断層に沿うインドプレートの潜 り込みを認めていない (Seeber and Armbruster, 1979). 震央分布図(図1)は、シビ谷の地震活動 に類似したハザラ-カシミール横谷の軸に平行な北 西の方向性を示している(図7; Magsi, 2014). 震 源分布は、上部地震層準より下部地震層準の方が活 動的であることを説明している (Magsi, 2013).

#### 造構運動

ハザラ-カシミール対曲 (Calkins et al., 1975; Sarwar and De Jong, 1979) は,パミール-パン ジャブ対曲の内部の島弧系の重要な造構要素であ る (Khain, 2000; Burtman, 2013). しかしながら, Gavrilov (2014) は,パミール-パンジャブ対曲を パミール島弧・ヒンズークシ島弧およびチベット-ヒマラヤメガ島弧に分けている. チベット-ヒマラ ヤメガ島弧は,ヒンズークシ島弧と東中国メガ島弧 との間を走り,ハザラ-カシミール対曲に広がって いる. Treloar (1989) とWilliam (1989) は,ハザラ-カシミール対曲をベシャムナッペ・ハザラナッペお よびカシミール対曲と名付けた三つのブロックに分 けている.タコット剪断帯が,ベシャムナッペとハ ザラナッペとの境界である.バラコットバス剪断帯



図7 パキスタンの構造図. HKTT-ハザラ-カシミール横 谷.類似したシビ谷の造構的 位置に注意.パキスタン地質 調査所の好意による.

図8 ハザラ弧とインダスコ ヒスタン地震帯の地震活動: 基盤断層(2)とデコルマ(1) の断層; IKSZ-インダスコヒ スタン地震帯, LHSZ-下部ハ ザラ地震帯, UT·MT・LT-上 部・中部・下部第三系, MZ-中生界, PZ-古生界, PC-先 カンブリア系, TG-第三紀 花こう岩 (Seeber et al., 1979).

が,ハザラナッペとカシミール対曲の境界である(図 9). Khan et al. (2008) は,ハザラ-カシミール 対曲をベシャム対曲とハザラ対曲に分けたが, Mona Liza et al. (2009) はベシャム対曲をドーム構造 として分類した.

and Jong (1979), DiPitero and Pogue (2004), Hussain et al. (2008), Tahirkheli et al. (1979), Tahirkheli and Jan (1997), Treloar (1989) および William (1989) は, ハザラ-カシ ミール対曲の構造発達史と対曲の運動におけるチャ マン左横ずれおよびカラコルム右横ずれ断層に重要 な役割を持つユーラシアプレート下へのインドプ

Calkins et al. (1975), Deiso (1979), Sarwar



レートの潜り込みを関連づけた (Burtman, 2013). Khan et al. (2008) は,ハザラ-カシミール対曲 がインドプレートと関連した大きな時計回りとわず かな反時計回りの回転の結果として発達したと提 唱した.その時計回りと反時計回りの回転の中心 は,主マントル衝上断層とインドコヒスタン地震帯 とが交差しているところである.しかしながら,深 部の急傾斜断層が通るところの性質は,モホ面を 相殺する違った造構構造を示している (Verma and Prasad, 1987; Ali and Mujtaba, 1992; Khan and Ali, 1997).アフガニスタンとハザラ山塊の中期 原生代の地層の均一性 (Arseptyev et al., 1978) と南部パミールの新第三紀堆積物の変形の欠如 (Khamrabaev, 1982) は,ユーラシアプレート下へ のインドプレートの潜り込みモデルを支持しない.

Leichenkov (2013) は、後期石炭紀~前期ペルム 紀に将来インド洋になるゴンドワナ大陸の分裂を 提唱した. Earlier, Zanchi and Gaetani (2011) は、中期デボン紀~前期ペルム紀を通じてのゴン ドワナ周縁のリフティングを主張した. しかし、 インド洋の大陸を横断するジュラ紀の大陸・造構 作用によるブロックや線構造の証拠 (Lomakin, 2009; Lomakin, 2011; Lomakin and Ivanov, 2012; Lomakin et al., 2011)・バロチスタン中央山塊の 圧縮による弱い褶曲やデボン紀~前期石炭紀のハザ ラ-カシミール谷の縮小 (Voskresensky et al., 1971) は、Zanchi and Gaetani (2011) が提唱し たようにゴンドワナ大陸の分裂を支持していない. Schevchenko (2014) はまた、アルプス-インドネ シア褶曲帯のプレートテクトニクスモデルに反対し ている. Schevchenko (2014) によると、アルプス-インドネシア褶曲帯はその構造発達史や地質学的帯 状構造形成史上、常に安定し独立した構造であっ た.上記の事実はまた、ハザラ-カシミール対曲と 隣接地域について、プレートテクトニクスモデルを 排除している.現に、ハザラ-カシミール横谷(図 3)は、水平面と直角なブロックに寸断されてお り(Voskresensky et al., 1971)、西部ヒマラヤか らカシミールテーチス海を分離している(DiPitero and Mouse, 2004).ハザラ-カシミール横谷は、中 期原生代以来、多面的な構造発達史を通じて、上下 運動の影響下で変化した力学を経験した(Jan and Khan, 1981; Magsi, 1983).

筆者は、ハザラ-カシミール対曲と隣接地域は、キ ルタルとスレイマン褶曲帯間のシビ横断前縁盆地に 類似していると考えている(図7). 故に、隣接す る山間と前縁盆地における島弧縁の部分の衝上断 層は、ブロック褶曲によるものである(Belousov, 1976). ハザラ-カシミール対曲を取り囲む主境 界衝上断層(Murree 衝上断層)に沿う衝上作用 は、おそらく島弧縁の衝上作用によるものである (Gavrilov, 2014).

DiPitero and Mouse (2004) は、バラコットバス剪 断帯とジェルム断層をハザラ - カシミール対曲の西 翼を支配する単一の造構要素とした.筆者は、ジェ ルム - バラコット左横ずれ断層は実は、中期 - 後期 原生代のインド大陸からジェルム・Murree 衝上断 層とライコット断層の分岐点を作る中期原生代ハザ ラ中央山塊へ延びる大陸横断深部断層であると主張 した. この断層系は、ジェラム・Murree 衝上断層 とライコット断層との境界、およびハザラ中央山塊 と中期原生代ナンガパルバット - ハラモシュ再活動 山塊の境界に生じている. バタル衝上断層・ムザファ ラバード衝上断層および主中央衝上断層(パンジャ ル衝上断層) - それらは結合してほぼ鉛直の深部断 層をなす(Bossart et al., 1989) - は、ハザラ -カシミール対曲の東翼に生じている.

#### 深部構造

大陸地殻を形成する造構作用は、とくに花こう岩-変成岩類からなる中部地殻層の物理化学的性質に 影響を与えている. 流体の有無が, 中部地殻を脆 性的にも延性的にもする. 中部地殻の脆性と延性 は、速度と密度の逆転に反映される. P波・S波 の逆転速度と低密度は, waveguide (Pykhalov and Richter, 2014; Belousov et al., 1978) あるい は異方性(Artemieva, 2011)として分類されてい る.一方,重力的に最小で高温の流体ゾーンは中部 地殻層準に花こう岩質流体の存在を示している. そ のような waveguide は、深発地震の深さを示したハ ザラ-カシミール対曲からカガン高ヒマラヤ結晶質 構造帯を通ってナンガパルバット-ハラモシュ山塊 までを横断する Attock-Astor 断面 (Belousov et al., 1978) に沿うハザラ-カシミール対曲の深部 構造と解釈されている(図3・図9; DiPterio and Pogue, 2004). waveguide (図6) の厚さは,南(ハ ザラ帯)から北 (ナンガパルバット帯) へ,カガン 高ヒマラヤ結晶帯に向かって厚くなる.しかし、ハ ザラ帯側 (6.15~6.35km/s) とナンガパルバット 帯側(6.45~6.8km/s)の間の逆転速度の違いは, カガン高ヒマラヤ結晶帯とハザラ-カシミール対曲 の地下の中部地殻層準が異なった物理化学的特徴を 持っていることを示す.

上述の waveguide は結局, 2つの waveguide より構 成されている. すなわち, 鉛直の深部構造(深部断 層)がハザラ-カシミール対曲とカガン高ヒマラヤ 結晶質構造帯を分離している。また、それが地殻形 成過程を制御している. ハザラ帯とナンガパルバッ ト帯の厚さは、それぞれ 33km と 42km である. ハザ ラ waveguide(下部逆転速度 6.35km/s)とナンガパ ルバット waveguide (下部逆転速度 6.8km/s) の深 さの違いは、必然的にモホ面(8.0km/s)の北傾斜 を示している(図6)、速度7.0km/sと7.5km/sの 下部地殻層準は、ナンガパルバットの方へ傾斜が大 きくなりナンガパルバット方向への緩やかな傾動を 示している (Belousov et al., 1978). 厚さ約 9km のナンガパルバット waveguide は、モホ面の傾斜 (Menke, 1976) が, waveguide 層の厚さの増加によ る自然な沈下によるものかもしれないという印象を 与えている.

ハザラ-カシミール対曲(Khan and Ali, 1997)
 下における基盤ブロックの鉛直運動は,鉛直の深
 部断層(Verma and Prasad, 1987, 1989)が南北
 waveguideの中部地殻形成過程を分離し制御しているという主張を考慮する必要を示す.この地域の衝上断層の深さはほぼ 20km で,深部の正または逆断層がモホ面変位を相殺して上部マントルまで到達している(Verma and Prasad, 1987, 1989).深部断層は,鉛直ブロック運動を示唆している.

岩塩層がハザラ-カシミール対曲(HKS)の西翼に あり、東翼に欠如していることも、HKS 両側におけ る断層由来の堆積環境の相違を裏付けている. 中部 地殻層準の形成は,延性的環境下での粘性流動によ る注入褶曲 (Gomez-Rivas et al., 2015) と断層 に沿うブロック運動あるいは結晶質基盤の剪断破 砕 (Belousov, 1976) の組み合わせで説明すること ができる. Belousov (1976) によると, 注入褶曲 作用は基盤と非調和に生じうる.筆者の見解によ ると、基盤に達するライコット-ジェルム-バラ コット断層「RJBF] (Belousov et al., 1978; Khan and Ali, 1997) は、ハザラ山塊とナンガパルバッ ト-ハラモシュ山塊との境界であろう. RJBF はハ ザラ山塊と中後期原生代のインド大陸との接触部で 屈曲し、中期-後期原生代のインド大陸へ向かって 南東方向に延びている.したがって、筆者は中部地 殻の形成と流体の起源 (Park et al., 2000) を制 御する深部断層としてライコット断層を位置づけて いる. ジェラム-バラコットは、ハザラ-カシミー ル対曲の構造を制御している深部断層でもある. Belousov (1976) は、そのような断層を深部逆断層 と分類している.

#### 議論と結論

2005年10月8日のカシミール地震について提唱さ れている造構モデルは,ほとんどがユーラシアプ レート下にインドプレートの潜り込むに対応するデ コルマあるいはデタッチメント断層モデルに基づ いている (Seeber and Armbruster, 1979). しか し、北西ヒマラヤの深部構造 (Verma and Prasad, 1987, 1989) とインド洋 (Likeman, 2009; Likeman and Ivanov, 2012, 2011; Likeman et al., 2011) およびパミール弧 (Gavrilov, 2014) の地質データ は、ユーラシアプレート下へのインドプレートの潜 り込みを支持していない. 近接地の造構要素に関す る島弧縁の衝上断層は、ブロック褶曲によるもので ある (Belousov, 1976). Belousov (1976) による と、ブロック褶曲は普通、ハザラ-カシミール横谷 のような造山帯の横断前縁盆地に発生する (Deiso, 1976). このようなブロック褶曲作用が、ベシャム ドーム (Mona Liza et al., 2009) やハザラナッペ・ カシミール対曲 (Treloar, 1989) を形成したので ある. 2005年10月のカシミール地震(M7.6)を含



図10 1978年12月28日のパタン地震の地震造構運動の地下モ デル. パタン地域の地質断面図 (Tahirkheli et al., 1979). MMT = 主マントル衝上断層.

む活発な地震活動は, 撓曲運動に起因する剪断褶曲 作用と関係している (Belousov, 1976).

3D 震源(Gorshkov, 1981)が、中部地殻地震発生 層を形成している(Magsi, 2013).地震発生層準の 物理化学的性質が運動エネルギーの集積に有効な構 造形状を作り出している.運動エネルギーの漏出は、 地震発生・力の作用方向および地震発生状態をもた らす.地震の規模がその 3-D の値に比例していると はいえ、蓄積量は地殻層準の変形強度によって決ま る(Magsi, 1985).ハザラ - カシミール横谷は、シ ビ横谷と同様に深部断層の制御下にある.両横谷は、 同じ北西方向の軸を持つ.ハザラ - カシミールとシ ビの両横谷の地震活動軸も、北西方向に延びている. それ故、ハザラ - カシミール横谷とシビ横谷の地震 活動は、ユーラシアプレート下へのインドプレート の潜り込みに対応するデコルマに関係しない.

局所的な深部断層は横谷の褶曲作用と脆性 / 延性エ ネルギー集積に影響を与えてきた. Shchukin(2008) によると,それらの深部過程はエネルギーを作り出 している地殻と上部マントルの大きな不均質性に関 わっている. ハザラ - カシミール対曲と隣接地域の 地震造構モデルの解析も,震源モデルと表層地質の 間の不一致を示している.例えば,1974年12月28 日のパタン地震(M6.2)の震源(図10),余震の分 布方向(Pennington,1979)および地震造構モデ ルは,表層地質と発震機構の不一致を示している (Pennington,1979) -そこでは発震機構が衝上断 層であると解説されている.

上下運動を被った横谷が、アルプス-ヒマラヤ褶曲 帯の地史に重要な役割を演じている. その軸がハザ ラカシミールおよびシビ横谷で屈曲している. すな わち、両者は同様な地震-地球力学的性質をもち、 そこでの地震活動は活発である.

謝辞 本研究を進めるに当たり,家族,とくに妻の

Emilia Magsi Baloch のサポートに感謝する.

# 文 献

- AAli, M. and Mujtaba, G., 1992. Gravity and magnetic studies in the region of Main Boundary Thrust, West of Himalayan Syntaxis. Geol. Bull. Univ .Peshawar, v. 25, p. 51-58.
- Arsentev, I., Becker, R.V., Blagonravov, V., Wii, K.M.A.M., Votakh, O., Gintsipger A., Glukhov, G., Gusev, A., Dykopov, I., Zhabip, O., Zhero., V.
  Kiselev, V., Kpyazev, I., Lyubofeev, N., Makhlaev, L., Mokshaptsev, K., Mitrofapov, G., Mitrofapov, F., Mmorality, V., Mordovia, V. and Shpip, O.,1978.
  Folded Regions and Recent Platforms of Eastern Europe and Asia. Academy of Sciences of the USSR, Siberian Branch Transaction of the Institute of the Geology and Geophysics (420), 322p (in Russian).
- Artemieva, I., 2011. The lithosphere: An Interdisciplinary Approach. Cambridge University Press. 794p.
- Avouac, J.P., Ayoub, F., Leprince, S., Konca, O. and Helmberger, D.V., 2006. The 2005, Mw 7.6 Kashmir earthquake: Sub- pixel correlation of ASTER images and seismic waveforms analysis. Earth and Planetary Science Letters, v. 249, p. 514–528.
- Aydan, Ö., 2006. Geological and seismological aspects of Kashmir earthquake of October 8, 2005 and a geotechnical evaluation of induced failures of natural and cut slopes. Journal of School of Marine Science and Technology, Tokai University, v. 4, no. 1, p. 25– 44.
- Belousov, V.V., Belyavsky, N.A., Borisov, A.A., Volvovsky, B.S., Volvovsky, I.S., Resvoy, D.P., Tal-Virsky, B.B., Khamrabaev, I.Kh., Kaila, K.L., Narain, H., Marussi, A. and Finetti, J., 1979. Structure of the lithosphere along the deep seismic sounding profile: Tien Shan-Pamir-Karakorum – Himalayas. Sovetskeya Geology, no. 1, p. 11-28 (in Russian).
- Belousov, V., 1976. Geotectonics. M. Nedra, 264p (in Russian).
- Bendick, R., Balham, R., Khan, M.A. and Khan, F.S., 2005. Slip on an active wedge thrust from geodetic observations of the 8 October 2005 Kashmir Earthquake. Geol. Soc. Am., v. 35, p. 267-270. doi: 10.1130/G23158A
- Berryman, K., Ries, W. and Litchfield, N., 2014. The Himalayan Frontal Thrust: Attributes for seismic hazard Version 1.0, GEM Faulted Earth Project, available from http://www.nexus.globalquakemodel. org.
- Blot, C. and Choi, D.R., 2005. Forerunners of the catastrophic Kashmir Earthquakes (8 October, 2005) and their geological significances. New Concepts in Global Tectonic Newsletter, no. 37, p. 4-16.

- Bos, B. and Spiers, C., 2002. Frictional-Viscous flow of phyllositicate –bearing fault rocks: Microphysical model and implications for crustal strength profiles. Jour. Geophysical Research, v. 107, no. B2.
- Bossart, P., Diettrich, A., Greco, A., Ottiger, A. and Ramsay, J., 1988. The Tectonic Structure of The Hazara Kashmir Syntaxis, southern Himalayas, Pakistan. Tectonic, v.7, p.273-297.
- Brantut, N., Schubnet, A. and, Gueguen, Y., 2011. Damage and rupture dynamics at the brittle–ductile transition: The case of Gypsum. Jour. of Geophysical Research, v, 116, p. 1-19.
- Burtman, V., 2013. The Geodynamics of the Pamir– Punjab Syntaxis. Geotectonics, v. 47, no. 1, p. 31–51.
- Calkins, J., Offield, T., Abdullah S. and Ali S., 1975. Geology of the Southern Himalaya in Hazara, Pakistan, and Adjacent Areas: Geological Investigation in Pakistan Geological Investigation in Pakistan. Geological Survey Professional Paper 716, p. C1-C29.
- DiPietro, J. and Pogue, K., 2004. Tectonostratigraphic subdivisions of the Himalaya: A view from the west. Tectonics, v. 23, TC5001, doi:10.1029/2003TC001554, 2004 1-20.
- Dunning, S.A., Mitchell, W.A., Rosser, N.J. and Petley, D.N., 2007. The Hattian Bala rock avalanche and associated landslides triggered by the Kashmir Earthquake of 8th October 2005. Eng. Geol., v. 93, nos. 3–4, p. 130–144.
- EMSC, European-Mediterranean Seismological Center 2005. Earthquake Mw 7.6 in Pakistan October 8th, 2005. http:// www.emsc-csem.org/.
- Gaffar, A. and Abbas, S.F., 2010. An overview of the past history based on seismicity pattern of Kashmir region, an interpretation from 2005 earthquake. Journal of Animal and Plant Sciences, v. 20, no. 4, p. 297-304.
- Gahalaut, V., 2006. The 2005 Kashmir earthquake: not a Kashmir Himalaya seismic gap event. Current Sciences, v. 90, no. 4, p. 507-508.
- Gavrilov, A.A., 2014. Under Plume mega structures of Central Asia: In Digtyarev, and Kuznets (ed). Tectonics fold belts: similarities, differences, the characteristic features of modern mountain-building, regional generalizations. Materials 46 tectonic meeting, v. 1, p. 56-61 (in Russian).
- Gomez-Rivas, E., Griera, A. and Llorens, M., 2015. Fracturing of ductile anisotropic multilayers: influence of material strength; Solid Earth, v. 6, p. 497–514 www.solid-earth.net/6/497/2015/ doi: 10.5194/se-6-497-2015.
- Gorshkov, G.P., 1981. Fault or deformation of the medium? In the book geologic - geophysical research methods in seismic- prone zones. Abstracts of All-Union session hazardous areas (2-6 September 1981) Frunze 12-13. (In Russian)

- Hussain, A., Yeats, R.S., Mona Lisa, 2009. Geological setting of the 8 October 2005 Kashmir earthquake. Jour. Seismol., v. 13, p. 315–325. doi:10.1007/s10950-008-9101-7.
- Jan, M.Q., Mona Liza, and Khan, A.A., 2008. Post– October 08, 2005 Muzaffarabad Earthquakes Scenario. Journal of Himalayan Earth Sciences, v. 41, p. 1-6.
- Jan, M.Q. and Asif, M.A., 1981. A speculative tectonic model for the evolution of NW Himalaya and Karakoram. Geol. Bull. Univ. Peshawar, v. 14, p.199-201.
- Kalenda, P. and Neumann, L., 2013. The variations of the earthquake depth distribution since 2000. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 1, no. 4, p. 17-22.
- Kayal., J.R., 2008. Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia. Springer, 522p.
- Kamrabaev, I.K.H., 1982. Deep Structures Pamirs and the Himalayas. International Scientific Relation, no.12, p. 81-84 (in Russian).
- Khan, P., Mohanty, S. and Mohanty, M., 2009.
  Geodynamic Implications for the 8 October 2005
  North Pakistan Earthquake. Surveys in Geophysics, DOI 10.1007/s10712-009-9083-1, p. 1-23.
- Khan, M. and Ali, M., 1997. Tectonics of The Hazara and Adjoining Areas, based on gravity data Northwest Himalaya, Pakistan. Geol. Bull. Univ. Peshawar, v. 30, p. 273-283,
- Khain, V.E., 2000. Tectonics of Continents and Oceans. Moscow. 585p (in Russian).
- Kondo, H., Nakata T., Akhtar, S.S., Wesnousky, S.G., Sugito, N., Kaneda, H., Tsutsumi, H., Khan, A.M., Khattak, W. and Kausar, A.B., 2008. Long recurrence interval of faulting beyond the 2005Kashmir earthquake around the northwestern margin of the Indo-Asian collision zone. Geology, v. 36, p. 731–734
- Kumahara, Y. and Jayangondaperumal, R., 2013, Paleoseismic evidence of a surface rupture along the northwestern Himalayan Frontal Thrust (HFT). Geomorphology, v. 180, p. 47-56.
- Leichenkov, G., 2013. The Crustal structure and the geological history of the sedimentary basins of the Indian Ocean: offshore Antarctic. The summary of thesis for the degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences. p. 1-46. [MSU] (in Russian).
- Lomakin, E., 2011. Balcony seamounts and SOME, QUESTIONS floor tectonics Indian Ocean. Geology and Mineral Resources of the World Ocean, no. 2, p. 42-54.
- Lomakin, I. and Ivanov, V., 2012. Structure, tectonic position and feature of geological structures of Western Indian Ridge. Geology and Mineral Resources of the World Ocean, no. 4, p. 59-77 (in Russian).

- Lomakin, I., 2009. Geological Structure Ridge Equator (Indian Ocean). Geology and Mineral Resources of the World Ocean, no. 2, p. 54-66 (in Russian).
- Lomakin, I., Ivanov, V. and Kochelab, V., 2011. Lineaments of the ocean floor and cross-cutting structures. Geology and Mineral Resources of the World Ocean, no. 4, p. 30-44 (in Russian).
- Magsi, H.Z., 2013. Seismogenic layers in Pakistan. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 1, no. 4, p. 29-33. Magsi, H.Z., 2014. Relation of seismicity with surface faults in Pakistan: an overview. New Concepts in Global Tectonics Journal, v. 2, no. 1, p.42 -55. www.ncgt.org
- Magsi, H.Z., 1983. Seismotectonics of Pakistan. Ph. D. Thesis, 155p (in Russian).
- Magsi, H.Z., 1985. Evaluation of seismic danger zones in Pakistan based on the interpretation of Landsat data. Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan. v. 22, p. 133-137.
- Magsi, H.Z. and Kazi, A.A., 1988. Some special characteristic development of seismic activity in Pakistan. Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan, v. 23, p. 267-274.
- Menke, W., 1976. Lateral Variation of P Velocity in The Himalayan Crust and Upper mantle. A study based on observation of teleseisms at the Tarbela Seismic Array. Thesis of Master of Sciences, Massachusetts Institute of Technology, p. 1-72.
- Mishra, D. and Rajasekhar, R., 2006. Crustal structure at the epicentre zone of the 2005 Kashmir (Muzaffarabad) earthquake and seismotectonic significance of lithospheric flexure. Current Science, v. 90, no. 10, p.1406-1412.
- Mona Liza and Khwaja, A.A., 2005 Seismic Activity along the Main Boundary Thrust, Pakistan. Geol. Bull. Uni. Peshawar, v. 38, p. 23-30.
- Mona Lisa, Khwaja, A.A. and Jan, M.Q., 2008. October 08, 2005 Muzaffarabad Earthquake: Seismological Investigations and Probabilistic estimation of Peak Ground Accelerations. Current Science, v. 94, p. 1158-1166.
- Mona Lisa, Jan, M.Q. and Khwaja, A., 2009. A preliminary seimotectonic zoning Map of the NW Himalayan Folded and Thrust Belt, Pakistan for the Period 1904-2006. Proc. Pakistan Acad. Sci., v. 46, no. 3, p. 175-182.
- Mona Lisa, Khwaja, A.A., Jan, M.Q., Yeats, R.S., Hussain, A. and Khan, S.A., 2009. New Data on the Indus Kohistan Seismic Zone and its extension into the Hazara Kashmir Syntaxis, NW Himalayas of

Pakistan. Jour. Seism., v. 13, p. 339-361.

- Oldham, T.A., 1882. Catalogue of Indian Earthquakes from earliest time to the end of AD 1869. Mem. Geol. Sur. India, v. 19, part 3, p. 163-215.
- Park, S.K. and Mackie R.L., 2000. Resistive (dry?) lower crust in an active orogen, Nanga Parbat, northern Pakistan. Tectonophysics, v. 316, p. 359–380.
- Pithier, E., Fielding, E.J. and Wright, T.J., 2006. Displacement field and slip distribution of the 2005 Kashmir Earthquake from SAR imagery. Geophys Res Lett., v. 33:L20310. doi:10.1029/2006GL027193
- Pennington, W.D., 1979. A summary of field and seismic observations of the Pattan Earthquake, 28th December 1974. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p.143-147.
- PMD and NOSAR, 2007. Seismic Hazard Analysis and Zonation for Pakistan, Azad Jammu and Kashmir. PMD, 156p. Purnachandra, R., Kumar P. and Kalpna, T., 2006. The devastating Muzaffarabad earthquake of 8 October 2005: New insights into Himalayan seismicity and tectonics. Gondwana Research, v. 9, p. 365–378.
- Pykhalov, V.W., and Richter, Y.A., 2014. The anomalous crust of the Astrakhan Arch. Izd. Sarat.Un,. Nov. Ser. Nauka o Zemle. T. 14, vip. 1 (in Russian).
- Qasim, J.M., Monaliza and Khan, A.A., 2008. Post– October 08, 2005 Muzaffarabad Earthquakes Scenario. Journal of Himalayan Earth Sciences, v. 41, p. 1-6.
- Quittmeyer, R.L., Farah A. and Jacob, K.H., 1979. The Seismicity of Pakistan and its relation to surface faults.In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p. 271-284.
- Sarwar, G. and De Jon, K., 1979. Arcs, oroclines, syntaxes: the curvatures of the mountain belts in Pakistan. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p. 341-350.
- Schneider, J.F., 2006. Mass movements in Northern Pakistan triggered by the October 2005 Earthquake. In: European Geosciences Union EGU (ed.), Geophysical Research. Abstracts, v. 8, EGU, 2.-7.4. Vienna.
- Schevchenko, 2014. Alpine-Indonesian folded belt and oceanic basin of Tethys. In Digtyarev and Kuznets (eds). Tectonics fold belts: similarities, differences, the characteristic features of modern mountain-building, regional generalizations. Materials 46 tectonic meeting, v. II, p. 294-299 (in Russian).
- Schukin, Yu. K., 2008. Geodynamics, Mass, Seismicity. All-Russian Conference Tectonophysics and current issues of Earth Sciences. On the 40th anniversary of the Laboratory of Tectonophysics Gzovskim, M.V., p. M.369-371 (in Russian).

- Seeber, L. and Armbruster, J., 1979. Seismicity of the Hazara Arc in Northern Pakistan: Decollement vs. Basement Faulting. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p. 131-142.
- Seeber, L., Quittmeyer R. and J. Armbruster, J., 1980.
  Seismotectonics of Pakistan: A review of the results from network data and implications for the Central Himalaya. Proc. Intern. Commit. Geodynamics, Gfp. 6, Mtg. Peshawar, Nov. 23-29, 1979: SF. Issue, Geol. Bull. Univ. Peshawar, v, 13,
- Skourtsos, E. and Lekkas, E., 2007. The tectonic setting of the October 8th, 2005 Earthquake in Kashmir, North Pakistan. Bulletin of the Geological Society of Greece, 2007 Proceedings of the 11th International Congress, Athens, p. 461-473.
- Tahirkheli, R., Khan, A., Mattauer, M., Proust, F. and Tapponnier. P., 1979. The Indian Eurasia Suture Zones in Northern Pakistan: Synthesis and interpretation of recent data at plate scale. In: Farah, A. and DeJong, K.A. (eds.), Geodynamics of Pakistan. Geol. Surv. Pak., Quetta, p. 125-130.
- Tahirkheli, R., 2005. Pre and Post Earthquakes Seismotectonic scenario of Hazara-Kashmir Terrain of Pakistan. Int. Jour. Ecom. & Environ. Geol., no. 1, p. 1-5.
- Treloar, P., 1989. Imbrications and Unroofing of the Himalayan Thrust stack of the North Indian Plate, North Pakistan. Geol. Bull. Uni, Peshawar, v. 22, p. 25-44.
- Turab, S.A., 2012. Structural geology of the surrounding of Muzaffarabad with emphasis on Neotectonics. M. Phil Thesis, Centre of Excellency Geology, Peshawar, 103p.
- Ulomov, V.I., 2004. Implication of horizontal tectonic movements for seismogeodynamics and seismic hazards prediction. Fazika Zemli, no. 9, p. 14-30 (in

Russian).

- Vassallo, R., Mugnier, J., Vignon V., Malik M., Jayangondaperuma, R., Srivastav, P., Jouanne, F. and Carcaillet, J., 2015. Distribution of the Late-Quaternary deformation in Northwestern Himalaya. Earth and Planetary Science Letters, v. 411, p. 241– 252.
- Verma, V. and Prasad, K., 1987. Analysis of gravity fields in the northwestern Himalayas and Kohistan region using deep seismic sounding data. Geophys. Jour. Royal Astr. Soc., v. 91, p. 869-889.
- Voskresensky, I., Kravchenko, K., Movshovich, E. and Sokolov, B., 1971. Outline of Geology of Pakistan. M. Nedra, 166p. (in Russian).
- Williams, M., 1989. The geology of the Besham Area, North Pakistan: deformation and imbrications in the footwall of the Main Mantle Thrust. Geol. Bull. Univ. Peshawar, v. 22, p. 65-82.
- Yeats, R.S., Parsons, T., Hussain, A. and Yuji, Y., 2006. Stress changes with the 8 October 2005 Kashmir Earthquake: lessons for future. In: Kausar, A.B., Karim, T. and Kham, T. (eds.), International Conference on 8 October 2005 Earthquake in Pakistan: Its Implications & Hazard Mitigation, January 18-19, 2006, Extended Abstract, p. 16–17.
- Zaré, M., and Karimi-Paridari, S., 2008. Balakot, Muzaffarabad Earthquake of 8 October 2005, Mw 7.6; Field Observations on Geological Aspects, The 14th Wold Conference on Earthquake Engineering 12-17, 2008, Beijing, China.
- Zaré, M., Karimi, P.S. and Mona Liza, 2009. An Investigation on Balakot, Muzaffarabad (Pakistan) Earthquake, 8 October 2005, Mw 7.6, Geological Aspects and Intensity Distribution". Journal of Seismology, v. 13, p. 327-337. Springer Publishers, Germany.

# 地球の脱ガスと膨張: グローバルテクトニクスの新しいモデル DEGASSING AND EXPANDING EARTH: NEW MODEL OF GLOBAL TECTONICS

# Nina I. PAVLENKOVA

Physics of the Earth, RAS ninapav@mail.ru

( 柴 正博・久保田喜裕・矢野孝雄・角田史雄 [ 訳 ] )

#### 国際オンラインジャーナル グローバルテクトニクスの新概念 [日本語版] Vol. 3, No. 4

要旨:この論文ではグローバルテクトニクスの新しい概念-地球の脱ガスと膨張モデルーを示す.地球の膨張によっ て全球的に規則的構造ができる:その構造とは,環太平洋域におけるリング状の震央分布と火山弧;南極を極とし て対称に分布する海洋中央リフト;そして南極大陸と北極海の非対称分布である.大陸と海洋のリソスフェアのタ イプの違いなどは,空間的に不規則な脱ガス作用によって説明される.厚い酸性大陸地殻の「根」にあたる枯渇し たマントルリソスフェアは,深部のより強い水平対流領域で形成された.枯渇マントル物質はより低密度でそれは 大陸の形成,すなわち,それらの隆起の主要な原因となった.現在の大洋内部では流体の流れは弱く,初生的塩基 性地殻の中に遷移型地殻が散点的にみられるにすぎない.水素・ヘリウム含有量が大きいコアが深部流体の主要給 源になっている.現在,水素の脱ガス作用がもっとも激しいのは海洋中央海嶺と他のリフト帯に沿った地帯であり, それらは深部破壊を進行させている全地球システムとして追跡される.

 $\neq - \eta - \kappa$ : origin of the crustal types, deep continental roots, oceanic lithosphere, mid-oceanic ridges, deep fluids, degassing and expansion of the Earth

## はじめに

New Concepts of Global Tectonicsの最近の貢献 は、プレートテクトニクス概念との長く歴史的な論 争を続け、グローバルテクトニクスのいくつかの新 しいモデルを提示していることである.地質学的お よび地球物理学的な証拠がためがいっそう進み、プ レートテクトニクスと実際のデータとの乖離がます ます大きくなっている.これらの議論は、装いも新 しい NCGT ジャーナルの毎号で続いている.これら の出版物によって示された重要な結論は、プレート テクトニクスがグローバルテクトニクスの基本パラ ダイムたりえないことである.

等しく論じられている多くの他の概念のすべてが. 地球力学問題の解決に大きな役割を果たしている. ただし、解決された問題の多くは包括的な事象では なく,ある種の特殊な地球力学作用だけに関係し ていることもしばしばである.たとえば Beloussov (1971, 1990) は、大陸で観察されるさまざまな 内因的システムにかんするモデルを発展させた. Meyerhoff et al. (1996) はいくつかの線状構造の 形成メカニズムを提案した.地球膨張論は海洋の形 成をプレートテクトニクスと同様に考えるが、非現 実的なプレートの大規模沈み込みは想定しない. Avsyuk et al. (2007) と Barkin (2002) は、新し い天文学データにもとづいて、いくつかの造構作用 の個別サイクルを説明した. プリュームテクトニク スは、対流が果たす役割に加えて、深部物質の水平 対流の重要性を明らかにした.

これらのすべての概念のなかで,Storetvedt (1997, 2003)によるレンチ(ねじり)テクトニクスは,こ の概念が広範囲に発表されてグローバルテクトニク ス理論と命名されて以降,最も入念な仮説であるか にみえた.この概念は大陸回転による古地磁気デー タの解釈に基づいているが,他の地球規模の地球力 学的問題が考慮されていない.レンチテクトニクス は大陸回転に加えて,疑問視される極の大規模移動 を示唆する. どんなグローバルテクトニクスの概念でも、その主 要目的は構造圏にみられる全地球的構造特性-たと えば、大陸と大洋への分化、活動的および受動的縁 辺を伴う大洋の性質の相違、地震活動帯や中央海嶺 にみられる構造的規則性など-の起源を説明するこ とである.課題は、構造圏のあらゆる変化に共通す るエネルギー源を見いだし、すべての構造的特異性 を1つの因果システムに集約することである.

私は、これまでの論文(2005, 2011, 2012a)で、 全地球テクトニクスとしての流体 - 回転モデルに よってこれらの問題を解決しようとした.このモデ ルは、さまざまなテクトニクス過程において深部液 体と地球脱ガスが重要な役割をはたしていることを 示した.古地磁気データを説明するために私は、極 移動ではなく、コアを巡る上部マントル回転を想定 した.同じころ、David Pratt (2013a)は「地質学、 地球物理学、古生物学および古気候学データが、大 規模なプレート移動あるいは極移動を必要としない こと、そして、それらは移動しない大陸と安定した 極」を示した.これは、レンチテクトニクスの概念、 および私の上部マントル回転モデルへの挑戦であっ た.さまざまな新しいモデルが開発されるべきこと は明確だった.

この数年間に、私は造構圏の構造に関するすべての 実験データ(主に地球物理学的データと深部掘削 データ)と最近のNCGT出版物を再解析して、私の 流動回転モデルに重要な訂正をおこなった.そし て、地球構造にみいだされた新たな規則性とPratt (2013a)の記載データをうまく合致させるために、 私は自らのモデルからマントル回転を除外した.こ の新しく修正されたモデルを以下に示す.私はこの グローバルテクトニクスを脱ガス - 膨張地球モデル とよぶ.なぜなら、このモデルは、造構作用の主要 原因を地球の脱ガス - 膨張エネルギーに求めるから である.

#### 地球の上部球殻における主な構造的規則性

現在では、地表ならびに上部球殻をなす地殻・上部マ

ントルは、地球科学のさまざまな分野において詳細に 研究されてきた.その結果、これらの球殻の構造の全 般的な複雑さにもかかわらず、表面地形、地殻構造お よびその上部マントルとの関係性には多くの明瞭な 規則性が実在することが示された.いくつかの規則性 は明確には説明されず、地球科学のさらなる発達を際 立って複雑なものにしている.このような未解決の問 題のひとつは、太平洋と他の大洋との間の構造的相違 である.

# 太平洋の構造

太平洋は地表の広範囲を占め、しばしば太平洋半球 とよばれる.2つの主要なセグメント(半球)に区 分することは、全地球規模でみた場合の地球にお いて主要な構造特性である.これらのセグメントは 地表の主要起伏によって区分され、太平洋半球では 沈降、大陸半球では隆起がそれぞれ基調となってい る.この特徴は地球だけに固有なものでない.同 様の構造は他の惑星にも典型的にみられ、それら の惑星には、より高い地形とより低い地形をつく る2つの半球が区分される(Araki et al., 2009; Pavlenkova, 2012aの図1および Kochemasov, 2015の図3~図8).

地球の2つの半球は地震が密集する環状の深海ト ラフによって区分される.そこにはベニオフ帯 (Benioff, 1954)が存在し,それらは混沌とした ものではなく,規則的な弧をかたちづくっている (Wilson, 1954).環太平洋の環状震源帯は,地中海~ アジアを横切るもう1つの汎地球的な環状構造とほ ぼ直交している(図1).地質学的研究によると, この太平洋の環状構造帯は中生代~新生代にいろい ろな造構-火成活動の舞台となり,環太平洋変動帯



図1 全地球的な2つの震央リング(Wilson, 1954; Bostock, 1997):太平洋の規則的な円形リングは,地中海-アジアのリン グとほぼ直交する.

あるいは太平洋の火の輪(Yano, 2014の図1)と呼ばれる.この環状構造も規則的な円形を呈している.

高速度地震波異常帯がマントル全体を横切って連続 することは、地震研究における最近の重要な発見で ある(Bijwaard et al., 1998). このような異常は 単に太平洋側で観察されるだけでなく、収束型大陸 縁辺や大陸内部の大規模な構造境界でも発見されて いる(図2). これらの異常は太平洋の活動的縁辺 で最も典型的に観察され,深度200km以上にまで追 跡される.

プレートテクトニクス概念では,造構活動が活発な 太平洋縁辺を沈み込み帯,すなわち中央海嶺におけ る海洋地殻の生成を補償して海洋性リソスフェアが 大陸の下にもぐり込む地帯と解釈される.しかし, 環太平洋の規則的環状形状と環状構造内部における 中央海嶺の欠如は,この解釈と矛盾している.我々 は,ただ地震活動が活発な地帯,あるいは深部破壊 帯について話をしているのかもしれない.それらの 大深度性と地震活動が活発な地帯の位置は,それら が海洋性リソスフェアの「スラブ」ではなく,深部 の褶曲 - 強変形帯であるとの仮定を確証している.

環太平洋構造が深部に達していることは,衛星観測 による重力場のパターンによって浮き彫りにされ る.2つの環状重力異常-正異常と負異常-が太 平洋の周縁に観察される(Choi and Pavlenkova, 2009).正異常の環状構造は大洋周縁の山岳地帯に ひろがっているので,それが地形に由来する異常で あると説明されうる.負の異常についてはそれが完 全に異なった地帯(ユーラシア中央部,インド洋, および南北アメリカの東部)を連ねていることから, 同様に説明することはできない.このような全地球 的な異常は,地球深部が異なった物質で形成されて いることに起因するのであろう.

広範囲にわたる経験的データによると、太平洋の地 殻年齢・地史・構造は、他の大洋とは明らかに異なっ ている.これは、太平洋とインド-大西洋の両セグ メントが異なった本性をもっていることを意味して いる (Pushcharovsky, 1997).もっとも重要な結論 は、太平洋は全地球的規模の構造要素であり、その 起源は他の大洋と同じようには説明できない、とい う点にある.

# 大西洋 - インド洋の構造.海洋中央海嶺システム

大西洋とインド洋の大陸縁辺はベニオフ帯をもたな い受動的大陸縁であり、両海洋の中央海嶺は本当に 海洋の中央帯に存在している.地球全体からみて、 これらの海嶺の最も重要な特性は、それらが惑星規 模の地形的構造体であることである.すなわち、こ れらの地帯は南極の周りに対称のシステムを形成



図2 上部の図の断面線に 沿うマントルトモグラフィ モデル (Bijwaard et al., 1998). (a) メキシコ-大 西洋,(b) ロシア-カムチ ャツカ, (c) エーゲ海-黒 海, (d) 中国-日本, (e) バングラデシュ-ビルマ. (f) パキスタン-タジキス タン. 最も現実的な解釈は これらの高速度帯をコア由 来流体のチャネルとして取 り扱うことである.異常な 高速度は,より大きい応力, 速度異方性, あるいはコア 物質の破片に起因するのだ

し、そしてそれは 90° でほとんど同一の距離を持っ て子午線に沿って分岐するリフトと変形帯のシリー ズの環南極のリングを構成している.これらのリフ トは地震活動帯であり、そしてオゾン層構造を監視 することによって示されるように、それらは今活動 中の水素脱ガス地帯である(図3).これらの地帯 の3つが中央海嶺に沿って南半球で観察され、さら に大陸をとおって北極圏に延長される活動的な構造 帯として追跡される.4番目の地帯は155°子午線 に沿ってオーストラリア大陸の西岸の大陸棚から フィリピントラフに沿ってサハリン島と北東のアジ ア断層から北極中央海嶺に連続する (Syvorotkin, 2002).

これらの地球の構造要素の規則的な系は南極大陸と



図3 地球脱ガスの主要チャネルである規則的な惑星リフト系 (Syvorotkin, 2002).海嶺リフトは南極大陸を取り巻くリングを 形成し、それからの分枝はほぼ一定の角距離(90°)を隔てて子 午線沿いに延びている.

関連している北極海の対称性によって強調される. そしてそれは、大きさと形において非常に類似する

# が,地形学的な分化は逆である.

地球の構造における一般的な規則性と対称性には 他の多くの事例があり、大洋から大陸まで追跡さ れる多くの他の線状地形構造も存在する.たとえ ば、太平洋の西部ではいくつかの磁気異常が大陸か ら大洋へ連続する.これらのデータは Beloussov (1990) によってプレートテクトニクスの概念を批 判するために使われた (Ioganson, 2014).アンゴ ラーブラジルの地質縦断面は、アフリカ西部からア ンゴラ深海盆へ連続する同様な磁気異常を示した (Pogrebitsky, 1996).衛星画像は線状地形の数を かなりはっきり増加させ、その長さを明らかにした.

これらすべての規則性は相互に比較され,地球の領 域(大陸あるいはリソスフェアプレート)の個々の 地域がつくる無秩序な大規模運動が存在しないこと を確証した.これは,全球的地球力学に関するあら ゆる概念の発達にとっても最も重要な結論である.

# 大陸と海洋の地殻-上部マントル構造

地震学の研究によると、大陸と海洋ではテクトノス フェア(地殻・上部マントル)の構造がかなり異 なっている.大陸地殻はかなり厚い地殻で特徴づけ られ、その厚度は50~60km に達する.そのうち 固化した領域は、層厚が平均10~15kmの3層で構 成され、平均的地震波速度は上部、中部および下 部でそれぞれ 6.0~6.4、6.5~6.7および6.8~ 7.2km/sである.これらの岩層の組成は、深層掘削 やゼノリスのデータにもとづいて入念に研究され ている:上部地殻は花崗-片麻岩、中部地殻はグ ラニュライト-片麻岩、下部地殻ではグラニュラ イト-塩基性岩である (Kozlovsky [ed.] コラ半島 深部掘削..., 1984<露語原著>, 1987<英語版>; Downes, 1993).

海洋地殻は通常薄く(≦10km),平均速度は6.7~ 7.0km/s である. プレートテクトニクスによる提案 では、この地殻は玄武岩からなっており、被覆層と 同様に若い年代(白亜紀以降)を示す.しかし, 深海掘削によると、海洋地殻はずっと古く (時と して始生代~原生代),中央海嶺でさえ主にはんれ い岩でできている.このデータはすべて,掘削コア の詳細な記載とともに、Bluman (2011) によってま とめられている. 深度10~15kmまでの海洋地殻は, 主に3つの岩層に区分されている。第1層は地震波 速度 2.0km/s の堆積物からなる. 第2層は厚さ2~ 3kmの枕状溶岩(地震波速度 2.5~3.8km/s)と複 合岩脈(4.0~6.0km/s)からなる. 第3層は厚さ 5~10kmで、地震波速度 6.5~6.8km/s の等方的 (isotropic) はんれい岩と速度 6.9 ~ 7.3km/s の沈 積はんれい岩で構成される.いくつかの領域では, 蛇紋岩組成の第4層が観測される(7.4~7.9km/s).

最近の地質-地球物理学的研究では,厚い地殻(15~30km)をもつ広大な海域の存在も明らかになった. このような地殻の内部構造は,海洋底が亜大陸と亜 海洋といった2つの漸移タイプに区分されることを 示唆している(Beloussov and Pavlenkova, 1984; Pavlenkova, 2012bのfg.1a). 亜大陸は主に3層の 大陸地殻岩層からなっている;しかし,上部の花崗-片麻岩層が薄く(3~5km),下部の塩基性岩層(速 度6.8~7.2km/s)が地殻の大半を占めている." 亜 海洋"には花崗-片麻岩層がなく,そこには厚い塩 基性地殻がある(図4a).



図4 (a) 環北極海 のジオダイナミクス 概念. 地殻タイプ: 1-3 - 大陸的, 4-5 - 亜大陸的, 亜海 洋的, 7-9 - 大深 度盆地タイプ: 7 - 大陸的, 8 - 亜 大陸的, 9 - 亜 海洋的. (b)磁場 図 (Gaina et al., 2011). 漸移地殻は通常,大陸のリフトや深い堆積盆地の下 で観測される.海洋では地震波の研究によって,海 台と非地震性海嶺の下で観測されている.大陸縁で は亜大陸に相当する地殻や大陸型地殻がしばしば見 られる.ユーラシア大陸北縁(Kashubin et al., 2013)やオーストラリア北西の広大な大陸縁(Ray et al., 2008)がそのような事例である.

地殻のタイプにかんする興味深いデータが北極海 で新たに得られた.海洋型地殻は狭長な中央海嶺 地帯 (Gakkel Ridge) にだけ認められた (図4a). 厚い大陸地殻(> 40km) はユーラシアと北米の大 陸域の大半を覆っている. それらの縁辺は大陸型 地殻に属するが、層厚はやや薄い(平均約30~ 35km). 北極海中央部の地殻は漸移タイプである: Lomonosov 海嶺は下部層の層厚 (約 20km) からみ ると大陸型ではない; Mendeleev および Alpha 海嶺 下の地殻は、薄い花崗-片麻岩層を伴い(約5km), 平均層厚 30km である(図5・図6: Zamanskii et al., 2003; Funk et al., 2011; Kashubin et al., 2013). ユーラシアの北極陸棚における深度15~ 20kmの大規模堆積盆地も異なるタイプの地殻で特 徴づけられる.大陸地殻は北バレンツ海に存在し, 亜大陸タイプの地殻は南コラ堆積盆に認められる. さらに, 亜海洋タイプの地殻が南バレンツ海で確認 された (図8).

北極海では,地殻のタイプと磁気異常の強度・構造 との間に明瞭な相関が認められる(図4b). 典型的 な大陸地殻からなる大陸は,非常に強い地磁気場か らなり,多様な出現様式と不規則な形態で特徴づけ られる.薄い大陸地殻からなる大陸縁では,弱い局 所的磁気場で表現される.海洋中央部の亜大陸性地 殻には,大陸に特徴的な磁場特性が認められる.

地磁気場と地殻の構造における同様の相関は、他 の海洋でも観察される. 唯一の例外は, 薄い海洋 地殻が拡大した線状の磁気異常が配列している海 洋中央海嶺である. その海洋の他の部分では、地 磁気は非常に複雑で、しばしば異なる出現様式と 不規則な形態を伴い, 大規模でローカルな異常 をもつ大陸タイプのものに類似している(図8; Korhonen et al., 2007). これらの領域における 地震と地質の研究から、 漸移的な地殻が明らかに されている. 南部 Agulhas 台地直下の亜大陸性地 殻は層厚 20~25km で,5km 以浅の地殻は花崗岩-グラニュライト-片麻岩層の速度(6.2~6.6km/s) をもつ. しかし, 下部地殻の速度は 7.0~7.4km/ s である (Allen and Tucholke, 1981; Gohl and Uenzelmann-Neben, 2001). 北極海の漸移型地殻 は, Farrero-Iceland 海嶺直下で観察される (Bott et al., 1974; Pavlenkova and Zverev, 1981; Richardson et al., 1998). 大陸物質からなる典 型的な地震波速度は、オントンジャワ海台の上部



図5 北極海におけるアジア 大陸-Mendeleev 海嶺の境界 部を横切る地殻地震波速度 モデル (Kashubin et al., 2013).数字はP波速度(km/ s).M は地殻下底.断面線位 置は図4aの5-AR.

North America SSE Alpha ridge NNW Transitional crust Igneous crust Continental crust 0 Wate 2.2 Uppe Upper crust canics crust 6.2 6.0 6.2 Middle crust 10 6.8 6.4 Lower crust Depth (km) 05 6.6 Lower crust 7,0 6.4 7.2 8.2 Manth Moho 30 P wave velocity 14 16 20 30 40 43 46 48 50 56 58 60 62 64 66 68 70 7.2 74 76 78 80 82 84 86 40 100 300 200 Distance (km)













図 8 全地球地磁気異常図 (Korhonen et al., 2007).

地殻(Furumoto et al., 1976; Hussong et al., 1979) と Kerguelen 海 台 北 部 (Charvis et al., 1995; Operto and Charvis, 1996)で確認された. Kerguelen 海台南部は亜海洋性地殻からなる.太 平洋では, 亜大陸性地殻の断片が海洋の最東部を 覆っている(Pratt, 2000; Choi, 2007; Choi and Vasiliev, 2008; Vasiliev et al., 2012). このように地球表層にはさまざまなタイプの地殻が みられるが、これは、大陸と海洋の地殻構造の相異 を、ほぼ2つの用語-大陸地殻と海洋地殻-で表す ことができる、という単純な結論に到達する.

海洋と大陸の上部マントルでは明瞭な差異が認め られ、化学組成が異なっている.これは、それら に由来するマグマが異なっているという結論に達 する:アルカリマグマは大陸に、ソレイアイトマ グマは海洋に、それぞれ典型的にみられる(Lutz、 1980; Beloussov、1990). 今日では、大陸の上部マ ントル組成が捕獲岩データにもとづいて入念に研究 されている (O'Reilly and Griffin, 2006; Boyd et al., 1997; Glebovitsky et al., 2001). シベリア クラトンで採取されたゼノリスのほとんどは、ハル ツバージャイトとレールゾライトのようなかんらん 岩が一般的である. それは、大陸の上部マントルが Ca0 や Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe0 にかなり枯渇していることを意 味している (Walter, 1998; Griffin et al., 2008; Ionov et al., 2002, 2010).

地震学と震源の研究から,大陸直下に大規模な高速 度異常帯が報告されたが、それは大陸の根ないしは 竜骨と言われている (Jordan, 1979; Gossler and Kind, 1996; Pavlenkova, 1996). これらの高速度 異常帯をつくるものは、さまざまな地質・地球物理 データを統合して決定されている.マントル岩石の 物性実験データによると、 地震波速度は主に温度 に, そして, それほど強くはないが組成に依存して いる.このことは、大陸の根は上部マントル温度が 比較的低温であるとの結論を示唆する. 同様の結論 は熱流量と捕獲岩のデータからも得られた. 平均的 熱流量には、大陸と海洋でそれほど大きな違いはな い.しかし、大陸の全熱流量は花崗-片麻岩に大量 に含まれる放射性元素によってもたらされ、熱の生 成過程に大陸性上部マントルはほとんど貢献しな (Gordienko, 1980; Gordienko and Pavlenkova, 1985). 結論として, 熱流量データによれば, 大 陸リソスフェア(速度8.1~8.5km/s)の厚さは 250~350km;海洋マントルリソスフェアの平均速 度は7.8~8.1km/sで、厚さは約100~150kmであ る (Artemieva and Mooney, 2001). 地球物理学研 究者は、捕獲岩データによって上部マントルの温度 範囲を決定することができた.その結果,大陸の高 速度の「根」はリソスフェアマントル中の低温ブロッ クであることが判明した (Kuskov and Kronrod, 2007; Kuskov et al., 2014).

ところが、大陸リソスフェアは大陸下だけに見られ るわけではない.大陸マントルブロックが海洋に 存在することが明らかにされた(0'Reilly et al., 2009).海洋島玄武岩の同位体地球化学研究、およ び海洋性シル部の特性と年代に関する研究は、同位 体地球化学的"指標"を示す地球化学的深部"リザ バー(領域)"が長期にわたって安定に独立して存 在していることを示している.これらのマントル岩 石ブロックが古期年代を示すことが確証されている (Alard et al., 2005; Liu et al., 2008).

このように,最近10年間の深海掘削や詳細な地球 化学的・岩石物理学的・深部地球物理学的研究によっ て、海洋地殻・大陸地殻および上部マントル(テ クトノスフェア)の構造・組成・年代について多 くの新知見が得られている.(1)海洋のうち広い範 囲が古期海洋地殻と亜大陸性タイプの地殻に覆われ ている;(2)大陸リソスフェアの深い根は低温-低 密度の枯渇物質で構成されている.そして、グロー バルテクトニクスの最も重要な今日的課題は、これ らの異なった地殻やリソスフェアがどのようにして 形成されたか、という点にある.

# 多様なタイプの地殻の起源に関する今日的主要概念

地殻形成を説明するために,いくつかの作用が提案 された. プレートテクトニクスやいくつかの地球膨 張説によれば、海洋地殻は大陸プレートを破壊する リフティングにはじまり、ついでマントル物質に充 たされた深海性間隙を創り出す、とされる. このよ うな海洋地殻の起源は,海洋中央海嶺に対する最 もありそうなメカニズムとされてはいるが、古期 海洋地殻の形成を説明することができない. 漸移 タイプの地殻の起源は、さらにやりがいのある課 題である.厚い亜海洋性地殻(15~20km)の形成 は、しばしば激しい火山活動 (Mahoney and Coffin, 1997; Richardson et al., 1998; Bryan et al., 2010) やアンダープレーティング (貫入玄武岩の 付加によって地殻下部への底付け作用)を伴って いる.大陸における漸移的地殻の形成はしばしば, リフティングと火成活動に起因する、と説明される (White and McKenzie, 1989). 例えば、リフティン グはバイカル湖や紅海のような大陸リフトにおける 亜海洋性地殻の形成に重要な役割を果たしている.

いくつかの線状深海盆の形状も、リフトや大規模断 層帯に沿った盆地形成作用に密接に関わっている. 北極海中央部の盆状構造(図4a)は、その典型で ある.速度構造断面(図5・図6)に示されるように、 この盆状構造は地殻のブロック境界に位置し、そこ では厚さ20kmの花崗-片麻岩層(速度6.0~6.4km/ s)からなる大陸性地殻から、薄い花崗-片麻岩層 (5km/s)からなる亜大陸性地殻へ急変する.これは, この盆状構造が断層帯に沿って形成されたことを支 持している.しかし、これらの断層帯において、マ ントルブロックの大規模貫入岩体の存否は明らかで はない;それゆえ,これらの盆状構造は通常のリフ ティングに由来したものではない. このような盆状 構造直下での地殻の薄化は、下部地殻のエクロジャ イト化作用に起因した可能性がある(Artyushkov and Poselov, 2010).

亜大陸性地殻の起源は、ほとんどの場合、大陸性地 殻が破壊されることによって形成される、と説明さ れる.いくつかの大陸縁と海台がまさにそのような 場合に相当する.深層掘削によれば、上部地殻はし ばしば大陸性岩石でできていて、大陸玄武岩と同じ 玄武岩類によって覆われている.例えば,グリーン ランド東方海域では,深度約4000mおよび海岸線か ら60km沖合まで,陸上および海域で噴出した玄武 岩溶岩とシルが観察される.それらは火山岩片や花 崗岩 - 先カンブリア紀変成岩類由来の浅海堆積物に 覆われている(Bluman, 2011).広大な洪水玄武岩 地帯は北大西洋東部でも識別され,これらの玄武岩 類が Faroese 諸島を覆っている.類似の玄武岩域 は他の海洋でも認められる.南米の受動的大陸縁 (Santos および Campo 海台, Rio-Grande 隆起)では, 洪水玄武岩が沖合 600km まで追跡できる.

大陸地殻の塩基性化作用は、漸移タイプへの転換を もたらした主要作用である (Beloussov, 1971 and 1990; Ollier and Pain, 1980).塩基性化作用は、 塩基性岩石による地殻の富化を意味し、高温・高圧 下でのマントル物質の水平対流と大陸性岩石の変質 に起因する.地質学的研究は、地球上のさまざまな 場所で実際に観察されたこのような変化を実態とし て証明した (Frolova et al., 1992; Bijward and Spakman, 1999).

大陸における深い堆積盆地形成の場合にも、大陸地 殻の塩基性化作用が起きたことは、十分ありそうだ. これは、Barents-Kara大陸縁における堆積盆地群 の地殻構造に典型がみられる.Novaya Zemlya島(図 4a)に沿って延びる南バレンツ海盆および北バレ ンツ海盆は、当初、リフト起源とされた.ところが、 地震学的研究によって、これら2つの盆地の地殻構 造が根本的に異なることが明らかになった.北バ レンツ盆地には純粋な大陸型地殻が認められるが、 南バレンツ盆地は亜海洋型に区分されている(図 7).等方的形状と急斜面がこれらの盆地の一般的 形態である.深度約15~20kmにみられる盆状構造 の底は平坦で,基盤上面はほぼ水平の速度境界とし て明瞭に示される.この構造は,盆状構造がリフト 起源であることを支持しない.これらの盆状構造は, 長期にわたって存在しているマントル流チャネル上 に位置している.このチャネルは付加物質と熱を地 殻へ徐々にもたらし,変成作用や相転換を引き起こ している.北バレンツ海盆の亜大陸型地殻と南バレ ンツ海盆の亜海洋型地殻の間で観察された相違は, それぞれの由来が同一であることを意味している: 亜海洋型地殻は、マントル流による強い塩基性化作 用に由来したのであろう.

大陸地殻の変化に関するさらに複雑なデータが,南 大西洋で得られている.この海域では,地殻の構造 と磁場との間に異常な関係がみられる.海洋中央部 には,薄い海洋地殻と線状地磁気異常に特徴づけら れる海洋中央海嶺の存在が追跡される(図9a).海 洋周縁の大陸は,それに対応する大陸性磁場をもつ 大陸地殻で特徴づけられる.そして,この大陸型磁 場はアフリカならびに南米の沖合 200 ~ 300km まで 連続している (James, 2012).

これらの沖合地帯は大陸性ないしは亜大陸性の地 殻をもつと予想される.しかしながら,アンゴ ラ-ブラジル地質横断線に沿う深部地震探査に よって,この地帯の地殻は典型的な海洋地殻(厚 さ10~12km,地震波速度6.6~6.8km/s)である ことが示された(Pavlenkova et al., 1993; fig.7 in Pavlenkova, 2012a).この地帯の上部マントル だけが,地質横断線の他の部分と構造的に異なって いる:そこでは速度層の境界面が大陸側へ傾き,そ の速度層は高速度異常帯となっている(8.5km/s 以 上,図10).地震波トモグラフィのデータでも,大 西洋東部の上部マントルに高速度層が確認されて





b



図 9 (a) 南大西洋の 観測磁場, (b) 線状異 常を示す海洋中央海嶺 部を除去した変形地磁 場 (James, 2009 and 2012). ABGT: アンゴ ラーブラジル地質横断 線. 実線: 図 10 の地 設モデルの地質横断セ グメント.



図 10 アンゴラ-ブラジ ル地質横断線の東部に沿 う速度断面図.



図 11 南大西洋の上部マントルトモグラフィモデル. 規格化速度 Vs=4.5km/s (0' Reilly et al., 2009).

いる (Begg et al., 2009). これらの研究から,厚 い (300 ~ 400km) 高速度領域がアフリカ大陸西部か ら大西洋へ拡がっていることが明らかになった(図 11). これらの領域は,始生代に形成され"枯渇し て軽くなった浮揚性の「根」で,長期にわたる交代 作用を受けてきたが,被覆地殻に付け加わって遺存 している"と解釈された.これらの大陸の"「根」 は,2層対流するマントルにおいて,分離し保存さ れた地球化学的領域"として大西洋へ続いている (0'Reylly et al., 2009).

この領域で観察されたデータをよりよく説明するの は、アフリカ大陸と南米大陸がより大きな規模の大 陸性磁場をもち、単一の大陸を形成していたとする ことである. 大陸性磁場 (James, 2009, 2012) の 縁をたどってこの大陸を復元すると、"パンゲア大 陸"にぴったりと合致する(図9b). この大きな大 陸の輪郭は完全に一致し, その磁場の構造形態は, 一方の大陸からもう一つの大陸へと自然に連続する ように描かれる.この連結大陸の中央部分の地殻は 大陸性であると考えるのが妥当である.しかし,現 在の地殻は海洋性である.したがって、もとの大陸 が拡大する際に、花崗 - 片麻岩層がどのようにして 完全に破壊され、地殻の厚さが当初の1/3 ~1/4 にまで減少するのか、そして、それにもかかわらず 上部マントル構造と磁場は変化せずに存続したの か, は明らかにされていない.

さらに大きな問題が、もうひとつある.上述した漸 移型地殻の形成過程は、おおよそ、もともと地球表 層を覆いつくしていた大陸地殻から変化したと考え られる.しかし、問題はこのような作用が、このよ うなタイプの地殻-地球表層の約半分を覆う広大 な領域を占める-の形成を説明できるのだろうか. Lutz (1994) は、大陸地殻の転換が、海洋域では希 少なアルカリ元素や他の元素を膨大にもたらすこと に注目した.その結果、今日では、漸移性地殻は大 陸地殻から転換したものではなく、元からあったと 考えられるようになった.

このように、上述の諸作用(リフティング、激し い火山活動,マントル貫入,岩石の変成)はすべ て,多様なタイプの地殻を形成する上で,ある役割 を担っている.しかし、最近の膨大な地質・地球物 理データは、古典的な海洋地殻でさえ、単にリフ ティングや火成活動の産物ではなく,長い発達史を たどってきたことをを示している. 深海掘削による と,中央海嶺域でさえも,海洋地殻が古い年代を 示すだけでなく、より複雑な組成を示すことが明 らかにされた (Elton, 1997; Bluman, 2011; NCGT Journals). 等方的はんれい岩 (海洋地殻の第3) 層, 地震波速度 6.5 ~ 6.8 km/s) および典型的な組 成を示すはんれい岩は泡状(bubble)ないし斑状 (point) 構造をもつ. このような構造は変成作用に 特徴的で、マグマ性岩石の特性ではない. これらの 岩石でできた層厚1.3kmの岩層が、インド洋中央海 嶺の坑井で掘削された (Dick et al., 2000). これ らの結晶質塩基性-超塩基性岩類は古い年代(16~ 37億年)を示し、それれらのグラニュライト相変 成作用は圧力 6~10 kbar, 温度 700~1000℃に相 応している. このことは、これらの岩石が薄い海 洋地殻へ貫入したものではないことを示している (Boris Kim, 私信). ある研究者は, 塩基性片麻岩 は大陸地殻の第3層に属し、それらの生成場から地 殻表層部あるいは海洋地殻表層部へ移動してきたこ とを示唆している (Pagrebitskiy and Truchalev,

2002; Khortov et al., 2014).

このように、現在までのところ、地球表層の広大な 部分を占めている古期海洋地殻の起源は、とくに太 平洋半球で未解決である.既刊論文 (Pavlenkova, 2005, 2012a)で、私は多様なタイプの地殻の形成 に深部流体が重要な役割を果たしていて、それがこ の問題を解く可能性を示唆した.このアイデアは、 近年の地質・地球物理データによって、とくに惑星 の表層球殻の形成における地球脱ガスの役割によっ て立証され、次に示す多様な地殻の形成モデルをも たらした.

# 多様な地殻タイプの形成に関わる地球脱ガスモデル

地殻の複雑な構造に関するすべてのデータにもとづ くと,大陸型,海洋型および漸移型の地殻が上部マ ントルの多様な内因的枠組みの結果として形成され たとの推論が導かれる. 深部流体の水平対流(地球 脱ガス)が、時空的に不規則ではあるが、このよう な作用と多様な枠組みをもたらす主要な要因となっ ただろう.この水平対流はマントル物質に多様性を もたらし、その結果、地球表層を覆う多様なタイプ の初源的地殻を形成した.この仮説の基本はLutz (1980, 1994) によるが、それは、大陸地殻の岩石 は深部流体に飽和したマントル物質に由来すること を示した.後者はかなり深部から大きなエネルギー をもたらし、大陸地殻の発達にとって重要な元素を 添加する(例えば,放射性元素).深部流体は大陸 地殻の成長に欠かせないだけでなく, 花崗岩化作用 にも重要である.後者は、この作用に必須の余剰エ ネルギーを確保して,流動を高速化させる.

このように、多様なタイプの地殻は規模と強さが不 規則な水平対流から導かれた、と仮説される:厚い 珪酸塩地殻は深部に強い水平対流がある領域に生じ たが、現代の海域では、当時、水平対流が弱く、古 期塩基性海洋地殻あるいは亜大陸型地殻を隔てる領 域を形成した.

深部流体の流動が存在する領域における大陸地殻の 安定的成長は,地殻の破壊と変成をくりかえし発生 させることもあったであろう.流体は相転移エネル ギーをもたらし,それらの作用を強める.高エネル ギー状態の深部流体の強い流れは,マントル岩石を 溶融させ,地殻への貫入を引き起こす.これらの作 用は大陸地殻の塩基性化とエクロジャイト化をもた らし,変成作用により漸移型地殻をつくる.

流体水平対流がはたす重要な役割が、卓状地の深 さ10~15kmの堆積盆地の構造的特性に表れること がある.そのような盆状構造は一般に円形で、基盤 岩表面は低平である.いくつかの事例が前述された (図7).盆状構造の形態と構造的位置は、かなり 深部から地殻へ供給された付加物質と熱が,長期に わたる低速マントル流のチャネルの上に地殻岩石の 変成作用と相転移を発生させたことを示す.深部流 体のゆっくりした運動によって,卓状地における盆 状構造と環状形態が説明される.

多様な地質区における地殻形成史の全容の解明は意 欲をそそる仕事である、そのためには、地殻の年代・ 構造・組成といった詳細な地質・地球物理データが 必要になる. 全海域にわたって, 海洋地殻の起源を 特定し、変はんれい岩組成の始源的古期海洋地殻と マグマ起源の沈積はんれい岩とを識別することは大 変困難である.始源的古期海洋地殻は太平洋で顕著 にみられることが予期される. 大規模な中央海嶺を もつ海洋(大西洋やインド洋)では、リフティング 起源の新期地殻が古期地殻の間に観察できる. こ - D ように,海洋地殻の古期年代と変成構造は,その形 成が2つの主要段階からなる長い歴史過程をもつこ とを示唆している. 第1段階は古期海洋地殻と亜大 陸地殻の形成と、それらの複雑な変化からなる;第 2段階では、古期地殻を裂開させたリフトに新期の 貫入性海洋地殻が形成された.

大陸縁と広大な海台を形成する漸移型地殻には, さ まざまな起源が提案される.これらの地殻は, 初生 的漸移型地殻か,大陸地殻から変化したものか,の いずれかであろう.後者は,破壊された花崗岩物質 の存在が確認された大陸縁でのみ,確実に認定され る(Frolova et al., 1992).しかし,そのような 物質が海洋域で確認されることは希で,海域のほと んどを占める古期海洋地殻は始源的地殻であること がより期待される.このような地殻は,リフティン グやマントル貫入などによって破壊された,古期ア メリカ-ユーラシア大陸半球の初成部分であろう. この海域の亜大陸型地殻とそれらが高密度なこと は,北極海盆形成の主要な原因であるかもしれない.

このように、観察される多様なタイプの地殻は、い くつかの地球力学作用-深部流体流や温度構造、さ らにリフティングや他の造構運動による破壊による マントル物質の分化や地殻の変化を通じた大陸地殻 の成長-の結果である。それらの根本的解明には、 個々の地殻ブロックにおける地史および地殻構造に 関するいっそうの研究が必要である。解明の手がか りになるのは、地殻形成をもたらした多様な内成的 枠組みとエネルギー源に関する上部マントルの情報 である。

# 大陸の ″根 ″および大陸と海洋の形成に関わる問題

上述のように、大陸と海洋の上部マントルは、リ ソスフェアの厚さ、地震波速度、組成のいずれに おいても相異している.大陸は厚いリソスフェア の"根"をもっていて、その深さ 250-350km まで高



図 12 ざくろ石ハルツバー ジャイト (Hzb), ざくろ石 レールゾライト (Lh), ざ くろ石ペリドタイト (GP) の平均的 P 波速度 (a) と密 度 (b) の比較. 地熱導電率 35mW m<sup>-2</sup>(破線) および 40 mW m<sup>-2</sup>(実線) にしたがっ て計算. 初生的マントル密 度は枯渇岩石に比べて 2 ~ 3% ほど大きい.

速度異常が観測される (Jordan, 1974; Vinnik at al., 1996; Pavlenkova and Pavlenkova, 2014).

上述のように、これらの異常帯をつくるものは現在 かなり明らかにされていて、大陸下の低温物質で 説明される.上部マントル組成は、重力データか ら決定されるだろう.これはマントル岩石の物性 に関する高温・高圧室内実験データから得られる (図12).これらのデータによると、大陸性リソス フェアをつくる枯渇物質(ざくろ石ハルツバージャ イト、ざくろ石レールゾライト、平均的なざくろ石 ペリドタイト)と他地域の典型的な初生的マントル との間で、地震波速度がやや異なっている (Jones et al., 2009; Poudjorm Djamani et al., 2001; Poupinet et al., 2003; James et al., 2004).同 時に、地震波速度は温度に強く依存している.

このような上部マントルの組成変化は、地震波速度 にはあまり影響しないが、密度を減少させる.図 12は、深さとともに増加する密度は岩石組成によ る減少を補うものではないことを示している.その 結果、枯渇し冷えた大陸性リソスフェアの″根″は 初成的上部マントルよりも低密度になる.このこと はマントルの動力学的挙動にとって重要で、クラト ンリソスフェアの密度減少は始生代を通じてさらに 促進され、より高い安定性をもたらした.

大陸下の枯渇マントルの起源については、2つの考 え方がある. プレートテクトニクスでは、クラトン リソスフェアの枯渇は、しばしば始生代マントルの 著しい高温状況に由来するとされる (King, 2005; Michaut et al., 2007; Berry et al., 2008).

このような状態では、上部マントル物質の強い溶融 作用によって、コマチアイトや玄武岩組成のマグマ が生ずる.しかし、長大な地史のなかで、なぜこの ような古期の根がマントル対流やリソスフェアの拡 大によって破壊されなかったのか、は未解明である. 0'Railly et al.(2006)は、この問題を次のように 議論した.「高解像度のグローバル地震波トモグラ フィ(Vs)モデルは、アフリカクラトン地殻直下に、 深さ300~400kmに達する高速度域を明らかにした. このような高速度域は、"通常の"アセノスフェア の特性とは明瞭に相違し、枯渇して浮力をもった根 と解釈されている.これは始生代に形成され、何回 もの交代作用によって変化してきたが、上位に重な る地殻に覆われたまま遺されている.このような深 い根は、上部マントルの重力性水平対流の障害とな る.このような領域におけるマグマと他の流体の変 動は、より鉛直方向に規制されるであろう(浅部の 溶岩ランプ-1ava 1amp 状態).その結果、深部の マントル領域境界部には古期"地殻"から地球化学 的物質が運び込まれ、マグマの相互作用をもたらす ジオダイナミクス環境がつくられた.」

Letnikov(1999, 2006)は、この問題を別の方法で 解いた.彼は、大陸地殻の"根"は全地球史にわたっ て、深部流体によってシリカ・アルカリ・不適合元 素がマントルから地殻中へ取り除かれる長期的地質 作用によって、次のようにして形成されと考えてい る.この作用は地殻組成の変化(大陸地殻の形成) をもたらし、マントル岩石の枯渇と結晶化作用、厚 い大陸性リソスフェアの形成をもたらしただろう. さらに冷却が徐々に進むと、上部マントルはより安 定化し、海洋域に比べ透過性が小さいより安定した 大陸性リソスフェアが形成された.

リソスフェアの枯渇とそれに伴う密度減少は,大陸 と海洋の形成問題へあらたな解決策を提供する. 白 亜紀~第四紀堆積物で覆われた深海盆は,リソス フェアプレートが拡大する間に,地球表層部が沈降 してできた新期の構造と考えられている.しかし, 海洋地殻は長い地球史のなかで見ても古く,大陸と 海洋に区分されない多くの地球表層部を占めている はずだ.大陸地殻の形成および深部流体流による広 大な領域の枯渇の後にはじめて低密度リソスフェア が成立し,この低密度がアイソスタシー則にした がってリソスフェアを構成した.これが大陸形成の 主要な原因となった.

リソスフェアの″根″の成長と大陸の形成は,深部 流体流の強さや惑星規模の造構活動の周期性に影響

され、長期間にわたって繰り返し起こった作用の結 果であった, 始生代にはすでに地殻が厚くなってい て、マントルが枯渇した部分は小大陸をかたちづ くった. その後、卓状地リソスフェアは長い時間を かけてゆっくりと成長した.古生代後期~中生代前 期にはこの状況が一変し、地球の内部エネルギー が激しさを増し、全地球上に大規模なリフト帯や 海嶺が形成され、台地玄武岩が噴出するに至った (Mahonev and Coffin, 1997; Bell et al., 2003). その結果として起こった地球上半部の温度上昇と粘 性低下は上部マントルを不均質にし, 強いアイソス タシー補償と低密度大陸リソスフェアの上昇 (発 生)をさらに促進した.同時に、拡大域における 地球表層の沈降によって,大陸の上昇作用が強調さ れた.このようにして、大陸と海盆という地球の主 要構造が形成された.

マントル物質の枯渇度が異なる領域の間では、現在 の大陸内部に地形的な差異が観察される.例えば、 ユーラシアにおけるシベリアクラトンのリソスフェ アは、西シベリアリソスフェアより厚く、枯渇し ている(Pavlenkova and Pavlenkova, 2014).その 結果、クラトンは地形的に高くなり、最大規模の低 重力異常帯で縁取られる.西シベリアプレートの地 殻は(剛性地殻の厚さや地震波速度において)クラ トン型地殻に類似し、大規模な堆積盆地はユーラシ アクラトンが出現する間、(あまり枯渇していない) リソスフェアプレートがゆっくりと上昇することに よってのみ形成されうる.

地殻構造が大陸形成に重要な役割を果たすことを示 す事例がほかにもある(Hoshino, 2014).深層掘削 によると、大陸縁は漸移型地殻をもち、それは隣 接する大陸と同様の玄武岩、および先カンブリア紀 の変成花崗岩由来の火山噴出物や浅海堆積物によっ て覆われている.このタイプの地殻の存在は、北大 西洋の東部、南米の受動的大陸縁、グリーンラン ド東部で確認されている(Udintsev and Koreneva, 1982; Gaggero and Cortesogno, 1997; Bluman, 2011).このような場合、漸移型地殻は初成的なも ので、大陸地殻との高度差は、大陸形成期間を通し て、大陸縁と海台がゆっくりと上昇したことに起因 するとみられる.

このように、低密度化を引き起こしたマントルリソ スフェアの枯渇が、大陸形成の主要な原因となった. 著しく厚い大陸型リソスフェアの密度減少が隆起運 動をひきおこし、海洋リソスフェアとの相異をもた らした.この際の上昇速度も地殻構造に規制されて いて、漸移型地殻(高密度)の領域は上昇して大陸 地塊となることはなかった.

前述したすべての造構作用をもたらした主要作用は 地球脱ガスである.低密度の花崗-片麻岩質地殻と 枯渇リソスフェア,およびそれらの結果としてのア イソスタシー隆起は,深部熱水の移流(地球脱ガス 作用)によって推進された.後者がグローバルテク トニクスの最も重要なエネルギー源と考えられる.

## 造構作用の主要原因としての脱ガス作用

地質学的,地球物理学的,地球化学的および天文学 的研究の厖大な蓄積によると,他の惑星にはみられ ない地球の重要な特徴の1つは高い流体濃度,とく に地球コアにおける高濃度の水素およびヘリウム である(Larin, 1995; Williams, Hemley, 2001; Gilat and Vol, 2005).今日では,地球脱ガスは仮 説ではなく,さまざまな地質学・地球物理学的方法 で研究・観察された作用である.地球脱ガスが現在 も進行していることは信じるに値する(Williams and Hemley, 2011; Porcell and Turekian, 2003).

水素脱ガス作用に関するもっとも完全な実験データ は、著しい水素流出によって破壊されるオゾン層の 構造研究にもとづいている(Syvorotkin, 2002). これらの研究によると、水素脱ガス作用は現在もつ づいていて、南極上空の大きなオゾンホールをも う南半球でたいへん活発である.また、水素脱ガ スは地表のさまざまな場所で直接測定されている (Larin, 1995).他の多くの測定によって、さまざ まな造構作用による大規模なエネルギー解放はつね に H および He 脱ガスを伴うことが確証されている.

超高温 - 高圧実験(Gilat and Vol, 2005)によると, HとHeの固溶体,およびHeとH, 0, Siおよび金 属の化合物が地球のコアとマントルに存在する可能 性がある.これらの "異質化合物"("固い深部流 体"と呼ばれる)は、P-T条件にしたがって,水素 とヘリウムが固相コアから漏れ,液相コアでは対流 する.さらに,固体マントルを溶融流動し,気相-液相プリュームとして地表まで段階的に上昇し,強 烈なエネルギー解放をひきおこす.地球内部熱流量 (He 脱ガス)測定と計算結果によると,地表におけ る現在の熱流量の半分までがH・He 関連反応系に よってもたらされているという.

ロシア科学アカデミーのイルクーツク地球地殻研究 所では、深部流体の物性と地球上部球殻への運搬作 用が研究されていて、高圧釜・高圧設備・高圧ガス 爆弾を用いた独特の実験が行われている(Letnikov, 1990, 2000, 2006).それによると、マントル中の 流体はおもに混合ガスで、これらのガスの高い圧縮 率がそれらの特徴の1つになっている.圧力が増大 すればするほど、気体は強く収縮し、密度が増大す る.そのため、大きな熱エネルギーが小容積の圧縮 気体に含まれ、それゆえに、深部流体は大量の熱エ ネルギーを地表へ運搬することができるのである. 深部における高い流体浸透性は、下部マントルに達 する高速マントル異常-ベニオフ帯(プレートテク トニクスでいう沈み込み帯)-を説明する(図2). ベニオフ帯は高応力帯であり、マントル物質(片状 岩)の深部運搬路でもある.これらの領域は、大き な流体浸透率をもち、流動チャネルとして有効に機 能する.このゾーンの深度は、深部流体の給源が流 体コアにあるとの仮定を支持する.

流体の流れによって,深部におけるベニオフ帯の活 発な地震活動ならびに観察された発震機構も説明さ れる.このような地震はしばしば爆発的特性を示し, たとえば100kmや200kmといった特定の深度に集中 的に発生する(図13).気相への変化は爆発的であ るので,爆発特性は高密度圧縮流体が低圧低温域に 侵入することに由来するのだろう.

ベニオフ帯は、流体の強い流れの運搬チャネルであ るだけではない.水素の強い流動が中央海嶺(図3) や他の破砕造構領域で観測されている(Syvorotkin, 2002; Larin, 1995).高浸透率の破砕帯、ならびに 中部地殻やマントルリソスフェア中の低速度層は、 大規模な脱ガス流システムをかたちづくっている. この流体チャネルシステムは、1つの給源から地球 のさまざまな部分へ向かう深部流体の活発な水平対 流をもたらしているのだろう.

上述の深部流体特性はいずれも,次のような独自の 内部エネルギーを供給する:(a) 地震や火山活動の 急速集中,(b) 超高密度,(c) エネルギー解放,(d) 高密度エネルギー,および長距離運搬過程での比較 的小さいエネルギー損失,(f) 準定常的で実質的に 無限のエネルギー解放(Gilat and Vol, 2005).

この水平対流の強さとその移送速度は、今日では広 く発達したプリュームテクトニクス概念に密接に関 連する.温度-圧力変化に由来する流体移動は、い

Western Cordillera

くつかの深度で大量のエネルギーを解放し、マント ル物質を融解させ、大規模プリュームを発生させる. 流体水平対流は、いわゆる "ホットスポット"の形 成メカニズムとそれらの移動をも説明する.これら のホットスポット上を移動するリソスフェアプレー トは、むしろ、発達した断裂帯に沿う流体の流動運 動に起因している.

「深層溶液」には、もう1つ特徴的な機能をもつ。 すなわち、多様で複雑に混合された物理-化学的パ ラメータをもつさまざまな元素が濃集した流動体シ ステムは、いろいろな搬送経路で遠方まで拡がり、 その過程で、岩石との交互作用を繰りかえして、岩 石を変質させていく (Letnikov, 1999). こうした 多くの鉱物や岩石との交代作用が繰り返される過程 で、流動体中でも混交が起きる. すでに述べたよう に、流動体からの脱ガスによって、花崗-片麻岩系 が地殻を形成するいっぽう,リソスフェアの「枯渇」 が進む、長期にわたって珪酸塩・溶融体・非コヒレ ント (non-coherent) 元素などが上部マントルから 抜け出す結果,マントル内での結晶分化作用が起こ る. 固結岩中の流動成分がきわめて乏しくなるとほ どなく,マントルの流動特性が変化して,結晶化の 前に流動体と非コヒレント物質が濃集して、温度-圧力の臨界条件が変化する. その結果,「流体アス テノリス」や他の低速度層が形成される.

大陸リソスフェアの深度100kmに現れる低速度層に 対して、上のような変動過程が想定されるだろう (Pavlenkova and Pavlenkova, 2014の図1と図2). ところが、熱せられて部分溶融したアセノスフェア が深度250~300kmに存在するという(Artemieva and Mooney, 2001)古い台地では、深度100kmにお ける岩層の部分溶融という解釈は妥当ではない.と いうのは、このような岩層はマントル物質中にお ける機械的物性の変化や流動体包含物質の増加な どに起因すると考えられる(Menzies and Chazot,



Altiplano plate

Eastern Cordillera

図 13 アルゼンチンの Puna 高原にお けるリソスフェア速度モデル [km/s] と深部地震 [白点] (Schurr et al., 1999; Romanyuk nad Tkachev, 2006). 三角形:さまざまな鉱床の位置.

1995)からである. この仮説は多くの分野のデータ で検証されていて,上部マントルのこれらの岩層は 高い電気伝導率をもつ (Jones et al, 2009).

同様なことは、マントルのリソスフェア(岩石圏) の速度構造境界についても言える. こうした速度境 界は、詳細な地震探査に想定外の結果をもたらす (Pavlenkova, 2011). というのは、地震波はマント ル中の物質構成に敏感で、明瞭な速度境界では、通 常では考えられないほど強く反応してしまうからで ある (図 12). いっぽう,温度変化が速度境界を形 成することはあまりない.そのため,第1次オーダー の不連続境界は発見できず、こうした不連続境界に 達した地震波は、ふつう、複雑でいくつもの周期を もった波群になる.このような不連続面は、多くの 場合,物性的あるいは機械的な不連続境界(たとえ ば,間隙率,浸透率,可動亀裂,クリープ性の固相 から液相への状態変化、塑性状態への漸移帯、他の 物理的な状態への移行帯)となっていることが多い. とくに、流動体中の包有物の変化では影響を受けな いはずの空隙率が変わると、それは物理-化学的変 化のきっかけになりやすい.具体的には、変成度の 違い (Letnikov, 2000, 2006), 比較的低温物質の 部分的溶融による流動化をもたらす物理 - 化学的変 化 (Kern, 1982, 1993), などである.

深部水平対流 (advection) も, 観測された海洋上 部マントル構造によって説明される. たとえば,大 西洋中央海嶺のマントル構造は対流というよりも, 流動体の移流と言った方が正しい. アンゴラーブ ラジル探査測線では,上方への対流で発生すると されたアセノスフェア膨張体は発見されなかった (Pavlenkova, 2012aの図7).海嶺部の地震研究で よく知られている「高速度層(8.2~8.4km/s)と は区別されるいくつかの低速度層」はアセノスフェ アでは一般的ではない. このような構造は,ある圧 力・温度条件下で発生した高浸透率深部溶融体が濃 集した部分を示している.

地球脱ガスは,汎地球的規模で周期的に活性化する 変動圏の静的造構運動,つまり,011ier (2003)が 指摘した造山期の褶曲や平坦化作用,Ermakov (2015) の述べた地表の広範囲にわたる沈降・堆積作用など の原因となる.地球脱ガスは周期的に発生し,その 度に,さまざまな周期性地質変動を発生させる.す なわち,非現実的な大規模な大陸移動なしに,脱ガ ス作用と深部溶融体の流れの強さと進行方向の変化 などによって古磁極変化を説明できるのである.

地球における移流と脱ガスに深く関連する構造圏な らびに変動過程の諸現象のリストづくりは今も継続 中である (Gasparik, 1992; Keith, 1993; Porcelli and Turekian, 2003 など). 主要な石油 / ガスと 鉱床を汎地球規模でみると,破壊域や高レベルの 水素脱ガス域に集中している (Thompson, 1992; Dmitrievsky and Vasiljev, 2002; Kirkham and Rafer, 2003; Runkvist, 2006; Storetvedt and Longhinos, 2012).

このように、地球脱ガスは地球の構造運動にとって 最も重要なエネルギー源である.溶融体の移流特性 は、上述したさまざまな地殻やリソスフェアのタイ プ、大陸と大洋の起源のみならず、多くの地球造構 過程を説明する手助けになる.この他のいかなる類 の地球内部エネルギー(対流、深部の移流など)で も、その移送の際に、わずかなエネルギー損失が長 距離にわたって累積するため、流動的移流に比べて エネルギー総量が釣り合わない.また、他のエネル ギー源では、流動を伴った移流に比べて、アセノス フェアやプリュームの形成に時間がかかることは観 測からも明らかである.

しかし,深部の流れとしての移流によって,構造圏 のすべての問題が解決されるわけではない.たとえ ば,よく観測された深部断裂(中央海嶺を含む)の 形成や,帯状の地震集中領域などは,他の説明や, エネルギー源に関する追加説明を必要としている.

# 地球の破砕帯システムの起源;地球の膨張モデル

上述のとおり,地球構造圏における造構作用には, ある明らかな規則性が認められる:それらは,太平 洋変動帯やアルプス-ヒマラヤ変動帯などの大円状 変動域(図1),南極を軸とする大洋中央リフトの 対称配列(図3),南極と北極の非対称構造などで ある.こうした規則性の解明には,地球の球体規模 を考慮した球体構造解析が必要である.

太平洋やアルプス-ヒマラヤ帯が整然とした円形を している理由は、2つの論理モデル―膨張説と収縮 説―で説明しうる (Shen, 1984; Bucher, 1956). つまり、両説とも、隕石物質が溶融・分化し、変質 をくりかえして地球が形成されたという仮説にもと づく.地球膨張説が依拠しているのは、低密度の上 部岩石圏の体積増加が非常に高密度のコアを産みだ したと考え、それによって、地球半径が増大したと 想定する.収縮説は、汎地球的融解後の冷却過程を 重視した計算結果である.

一般的にいって、膨張説や収縮説のいずれの計算で も,疑問点は解決されていない.なぜなら,いまだに, 地球の誕生も内部構成も未解明であるからだ.地球 に関する他の隕石モデル,例えば,巨大星雲説や星 の集合説(Herndon, 2013; Krivitsky, 2013)など も,まったく違った地球生成過程のシナリオを提示 する.後者は、地球の大規模な膨張や収縮を本来の ものと想定し、膨張説には天体としての惑星そのも のの膨張や重力の増加などの想定を含んでいる.

しかし、これらの仮説の中で膨張説だけが、マント ル物質の高温 - 高圧下での変化や分化を実験的にも 検証できている (Letnnikov, 1999, 2000, 2006). 本研究では、上記の変化プロセスで、体積と密度が どのように変わったかを実証し、かつ、その変化過 程で深部溶融体が重要な役割を果たすことが解明さ れた. そして, 以下のような汎地球的変遷が提案さ れた. すなわち,「地球の全溶融後に生まれた溶融 体は,酸素化合物として軽い元素と,重い元素とに 分化した.Feより低密度で,酸素がFe0より親和 力の高い軽い元素は, 珪酸と酸化物で構成され, も ともと酸素を多く含む上層圏に蓄積されていった. 一方、重い元素は酸素との親和力が弱いので、もと もとのFeは下降していってコアに濃集した.この ようにして,地球は,初源的な構成物質が分化して, 液体 Fe 中に大量の Ha, CO, CH<sub>4</sub>, S, HaS などが濃集 したコアと,75~80% が酸素からなる厚さ3000km のマントルに分かれた.マントル物質の変遷にみら れる次のステップはきわめて長期にわたるもので, マントルから珪酸・流体物質・非干渉性元素などが 逸脱し,その結果,上部マントルが枯渇し,結晶化 がすすんだ」(Letnikov, 1999). このような全過程 をへて地球が低密度になり, 上層圏の厚さが増大す ることによって地球が膨張したのである.

Shen (1984) も同様に,惑星内部構造の変換にもと づく地球膨張説を展開して,体積で10%,半径で2~ 3%の膨張を主張している.

地球収縮説に関して言えば、その説によって膨張説 を否定できない.というのは、地質構造発達史が上 層圏の広範囲にわたる周期的な達過程を実証的な事 実で証明しているからである.つまり、上部マント ルが溶融期(膨張期間)に高温の状態にある時は造 構運動が活発であるのに対して、冷却期の構造圏は 静穏な状態にある.このような構造圏における造構 運動の強弱の変化は、周期的な脱ガス化作用に因る ものと考えられるのである.

地球科学では、膨張説でも収縮説でも、地質学的な データと解釈を用いる. 収縮説では大規模な変動帯 の成立の主因を検討し、膨張説では、大洋の大規模 なリフト帯の誕生と、海洋と大陸におけるそれ以外 の破壊活動を探求する. いくつかのケースでは、そ れらのより信頼性の高い見極めが難しいことがあ る. さらに、そうした変動速度の計算ができないこ ともある. たとえば、011ier (2003) は、多くの山 地の例を(収縮による;訳者注) 圧縮力に帰してい るが、膨張説では、通常の台地状ホルストと地溝状 グラーベンの構造によって説明する. 他の造構作用 でも、圧縮と引張の両応力場が入り混じった、複雑 な変形現象の現れる事例が多い.

今世紀における地質科学について、海洋域における

変形事例はいずれも引張場で形成された,と地球膨 張説では考えられている.この説の中では、ドイツ 人のHilgenverg (1993)の主張がもっとも良く知 られている.つまり彼は、地球の半径が2倍になる ほどの膨張を主張する.彼による地球の想定半径は 何回も変わってきたが、膨張論者の中では勇舞な存 在である (Scarera and Jacob, 2003).彼のモデル はモスクワ大学の展示室にも飾られている.モス クワ大学で膨張論を展開していたのはMilanovsky (1980)であった.彼の主張は、地球の膨張と収縮 が交互に繰り返されたという脈動説だった.

膨張論者のほとんど全ては「大陸拡大の結果として 海洋域ができた」と考える膨張概念は、プレート論 と大きくは変わらない.彼らは、非現実的なプレー トの大規模な潜り込みだけを否定する.そして、プ レートテクトニクスと同様に、彼らは汎地球規模の 破壊帯の環状構造に関する上述したすべてのデータ に矛盾している.すでに述べてきたように、地球の 半分を占める太平洋地域は、地球史的にみて、その 始源的な領域である.この地球半球を占める汎地球 規模の活動域こそ、膨張によって形成された場所と 言える.

すでに Pavlenkova (2005) に指摘したとおり,以 下に述べることがらが,私の地球膨張説の要点であ る.それは,Scalera and Jacob (2003)をはじめ, 他の多くの膨張論との基本的相異である.太平洋や 他の海洋の直線的なリフト系は,膨張論でしか説明 できないだろう.それらは,緯線に沿う周南極リフ ト系・破砕帯と直交している.このような事象の発 生原因を説明できるのは膨張論だけである(図17; Pavlenkova, 2012a,c).残念なことに,この惑星の 規則的組織はこれまでに報告された事がない.その 理由は,地殻構造の複雑さによって,こうした規則 的構造が覆い隠されていたことにある.

南極を軸にして対称配列する中央海嶺系は、南半 球の構造圏における最大の伸長域である.この想 定は、南半球における伸長量が北半球のそれより 大きいという天文学データと対応していて, 両半 球での差は年ごとに拡大している (Barkin, 2002; Pavlenkova, 2012aの図 12). これらのデータへの 最初の印象が David Pratt (私信, 2015年9月) から寄せられ、「南半球における膨張両量はわずか 10cm 程度であり、これを汎地球規模の中央海嶺系 の伸長とみなすことはできない」と指摘された. し かし、この値は、南半球における真の膨張量を反映 してはない.なぜなら、実際の地球形状が変化して 引き起こされる膨張に関係するのは重力バランスで あるからである. 仮に地球内部に体積増加があると, 地球全体が膨張する. 南半球の他の何か所かでこの 差が確認された場合、膨張の拡大値に加算しなけれ ばならない. また, Birkin (2002) の指摘によると,

地球の周りを公転する月の回転運動にも注目する必 要がある.彼の論理的試算では、「月からの過剰な 力が作用した場合、地球内部には引っ張り力が発生 して, 硬いコアが南へ動く」と結論されている. こ の過剰な力は、最初、主に南半球に作用するが、初 めから岩石圏全体を破壊してリフト帯を形成したわ けではなさそうだ、南半球のリフト帯が明瞭で、南 極点を中心に対称に配置されているのは、このため だろう、そして、図で議論した曲線 ″b ″は膨張速 度を示すものではなく,また,北半球での地球半径 の減少を意味するものでもない. この曲線は、本来 の楕円形状の歪みを反映したものである.また、両 半球は異なる形で膨張し,南半球の膨張率が大きく, 北半球のそれが小さいので、この相異が「 b 曲線」 として遺されたと考えられる.もう1つ重要なのは、 地球全体の膨張速度のみならず、リフト帯の果たし た役割も考慮しなければならない. つまり、リフト 帯が形成された当初は、その周辺の上部マントル中 の局地的対流に拠ったが、拡大するにつれて、リフ ト帯が岩石圏全体に広がっていったはずである.

地球上層部における拡大と破壊は、中央海嶺だけに 留まらず、他の領域へ拡がるとともに、全地球史に 波及していったであろう.具体的にいえば,脆性的 岩石圏がまだ地球表層全体に分布していなかったこ ろ、地球膨張による地球表面積の拡大の結果、太古 の地殻の弱化と転換,地向斜の形成,古い台地の地 塊化などの現象が発生したと思われる. これを具体 的に示す事例は、アフリカや南アメリカなどの楯状 地に認められる大陸地殻の引張・地塊化である(図 3). こうしたメカニズムにしたがって、引張・薄 化した海洋地殻の形成につづいて、中央海嶺がこう した古い地殻の断片に交差して生じ、若く新しい帯 状域を形成したのであろう.数多くの段階を経た拡 大過程では、古いものと新しいものとの入れ替え(更 新)が観察される.プレート説や古い膨張論には、 このような「更新」という観点が欠けている.

以上述べてきた地球半径の変化は、観察される岩石 圏の構造に大きな影響を与えてはいない.地球膨張 率は最大でも10~15%ほどであり、筆者はPratt (2013)が指摘したプレート説や地球膨張説への反 論データ、つまり地質学・地球物理学・古気候学な どのデータに異議を唱えてはいない.

このように、汎地球規模の断層系、太平洋の環状構造、中央海嶺の対称的分布パターンなどの現象は、 ここに提示した地球膨張モデルにおいてより多くの 地質学的・地球物理学的考察を必要としている.また、この説の根幹によこたわる「膨張の原因」、つ まり、「地球構成物質が分化・変化する過程におけ る地球体積の増加」の原因を突き止めるためには、 より多くの実験的研究が必要とされる.

## 結 論

#### 一 脱ガスと全地球テクトニクスに関する膨張地球モデル 一

多数の地質学的・地球物理学的データにもとづくと, 脱ガス作用と膨張は,岩石圏の形成に大きな役割を 果たしたといえる.このモデルの創出は,地球造構 作用に関する次の課題を解くためであった:

- (1) さまざまな地殻(大陸型,海洋型,および 中間型)が形成されるのは何故か?
- (2) 大陸と海洋は、どのようにして形成されたのか?
- (3)太平洋縁辺域が,活動的大陸縁と接しているのは何故か?
- (4) 中央海嶺の規則的システムの起源はなにか?

このモデルでは、地球の主なエネルギー源は脱ガス 作用に求められる.この不規則な脱ガス作用によっ て、様々なタイプの岩石圏が形成された、地球化学 的研究によると、地殻はきわめて流動的なマントル 物質から形成された (Lutz, 1980, 1999). これは, 厚い地殻はより深くに高温流動体が存在する領域に 生成したことを示している. ところが, 流動性の低 い太平洋域では, 初源的海洋地殻が保持され, 限定 された局地にしか大陸地殻が形成されなかった.深 部流体は大陸性上部マントルの枯渇過程で生成され た (Letonikov, 1999, 2000, 2006) との指摘は極 めて重要である.というのは、これが密度の低下に 深く関与したからである (Kuzukov et al, 2014; Pavlenkova and Pavlenkova, 2014 ; Yegorova, 2014).とくに後者は、地球の4つの大きな謎の1つ、 つまり、大陸と大洋はどのようにして形成されたの か? という問題を解決に導いた. さらに、この低 密度岩石圏の厚化という事象によって、大洋域の地 殻 / 岩石圏の浮上という問題に注目が集まった.

すでに明示した構造圏の規則性(規則的に組み立て られた太平洋縁辺の環状の活動的変動帯と南極点を 軸とした中央海嶺の対称性)は、地球の膨張で説明 できる.この構造配列の形成には順序が在った.つ まり、最初に太平洋縁辺で環状構造が形成され、次 に、南半球の岩石圏がより顕著に拡大した結果、中 央海嶺系がつくられた.

本稿で提起したこの地球造構モデルは、いくつかの 点で他の造構論と共通するところがある.すなわち、 それらは超長期にわたる深部マントルと造構作用と の内因的な関係、岩石圏におけるプレート境界の褶 曲(プレート説)、強いマグマ作用(プリュームテ クトニクス)、岩石地塊の回転(レンチテクトニク ス)、弱面に沿ったマントル物質の移動(サージテ クトニクス)などである.しかしながら、これらす べての運動の規模や強度は有限で、造構圏に規則的 に形成された構造はいつしか失われる.その点、地 球脱ガス作用は、これらすべてに対して普遍的エネ ルギー源であるとともに、マントル対流や磁極変動 などの多くの変動を駆動しきた.

脱ガス作用と膨張を基調とする地球造構モデルは, 大陸や大洋の岩石圏の構造発達史に実際に生起した 現象に基づいている.それは,次の4点にまとめら れる;

(1) 初源的地殻が大洋,大陸,それらの中間的地 殻という3つに分化したのは,地球に充満していた 深部流体の不規則な移流に起因する.

(2)活動縁をなす太平洋環状変動帯と中央海嶺沿いの破砕帯は、地球膨張によって形成された.

(3) 低密度の大陸性岩石圏が浮上した後で大陸と 大洋とが成立した.

(4) 変動の動力源は地球脱ガス作用である.

# あとがき

本稿に述べた「地球脱ガスと膨張」モデルを、筆者 はこれまでの論文で「回転性流体仮説」と呼んで いた (Pavlenkova, 2005; 2012a, c). そこでは, Storetvedt (1997, 2003) が主張する非現実的で巨 大な極移動に代わるものとして、コアをとりまくマ ントルの回転を想定した. そして, Pratt (2013) と価値の高いデータ(最近の NCGT に掲載された多 数の報告)の出版後、マントルの回転という想定が、 地球の主要な構造要素の規則性、とくに北極海と南 極大陸との非対称性に相反していることがはっきり した. そのため、上述のとおり、本稿の新しいモデ ルではマントル回転という考えは除外された.古地 磁気学的データは、リソスフェアプレート、全マン トル、あるいは極移動といった運動ではなく、自転 する地球の深部流体の流れの向きと強さによって説 明されうる.

謝辞 著者は、Don Choi と David Pratt 両氏に、 本論の草稿段階で、明快なコメントをいただいた. 深甚の御礼を申し上げる.両氏からは、草稿の念入 りな改変と、データのいっそう詳細な解析などをご 指示いただいた.また、ロシアのLidia Ioganson と Boris Kim 両氏には有益な討論と論文構成の全 般にわたるご支援をいただいた.さらに、Marina Nazarenko氏には英語論文の検索と英文校正でお世 話になった.

# 文 献

- Alard, O., Luquet, A., Pearson, N.J, Lorand, J.P., Burton, K.W. and O'Reilly, S.Y., 2005. In situ Os isotopes in abyssal peridotites: bringing the "isotopic gap" between MORB and their source mantle. Nature, v. 436, p. 1005-1008.
- Allen, R.B. and Tucholke, B.E., 1981. Petrology and

indications of continental rocks from the Agulhas Plateau, southwest Indian Ocean. Geology, v. 9, p.463-468.

- Araki, H., Tazawa, S., Noda, H., Ishihara, Y., Goossens, S., Sasaki, S., Kawano, N., Kamiya, I., Otake, H., Oberst, J., and Shum, C., 2009. Lunar global shape and polar topography derived from Kaguya-LALT laser altimetry. Science, v. 323.
- Artemieva, I.M. and Mooney, W.D., 2001. Thermal thickness and evolution of Precambrian lithosphere: A global study. Jour. Geoph. Res., v. 106 (B8), p. 16387-16414.
- Artushkov, E.B., Shlesinger, A.E. and Yanshin, A.L., 1980. The origin of vertical crustal movements within lithospheric plates. Bally, A.V. (ed.), Geodynamics of Plate Interiors. Am. Geophys. Union, Geodyn. ser., 1, p. 37-51.
- Avsyuk, Yu.N., Saltikovsky, A.Ja. and Genshaft, Yu.S., 2007. Latitude activity of the magmatism, as evidence of the cycles in the tidal evolution of the Earth-Mon-San // DAN RAS, 413 (1), p. 66-67.
- Barkin, Yu.V., 2002. To explanation of endogenous activity of planets and satellites and of it's cycling. Isvestija of Earth's Science, Russian Academy of Sciences, v. 9, p. 45-97.
- Begg, G., Griffin, W.L., Natapov, L.M., O'Reilly, S.Y., Grand, S.P., O'Neill, C.J., Hronsky, J.M., Poundjom Djomani,Y., Swain, C.J., Deen, T. and Bowden, H., 2009. The lithospheric architecture of Africa: seismic tomography, mantle petrology and tectonic evolution. Geosphere, no. 5, p. 23-50.
- Bell, D., Schmitz, M. and Janney, P., 2003. Mesozoic thermal evolution of the southern Africa mantle lithosphere. Lithos, v. 71, p. 273-282.
- Beloussov, V.V., 1971. Tectonosphere of the Earth: interaction of the upper mantle and crust. Moscow: Geophysical Committee, 71 p. (in Russian).
- Beloussov, V.V., 1990. Tectonosphere of the Earth: upper mantle and crust interaction. Tectonophysics, v. 180, p. 139-183.
- Beloussov, V.V. and Pavlenkova, N.I., 1984. Types of the Earth's crust of Europe. Jour. of Geodynamics, v. 1, p. 3-14. Benioff, E., 1954. Orogenesis and deep crustal structure Additional evidence from seismology. Geol. Soc. Am. Bull., v. 65, p. 385-400.
- Berry, A.J., Danyushevsky, L.V., O'Neill, H.St.C., Newville M. and Sutton, S.R., 2008. Oxidation state of iron in komatiitic melt inclusions indicates hot Archaean mantle. Nature, v. 455, p. 960- 963.
- Bijwaard, H., Spakman, W. and Engdahl, E.R., 1998. Closing the gap between regional and global travel time tomography. Jour. Geoph. Res., v. 103, B12, p. 30055-30078.
- Bijwaard, H. and Spakman, W., 1999. Tomographic

evidence for a narrow whole mantle plume below Iceland. Earth Planet. Sci. Lett., v. 166, p. 121-126.

- Bluman, B.A., 2011. The Earth's crust of the oceans. Data of the International programs of the deepwater drilling in the World Ocean. S. Peterburg. VSEGEI. 344p (in Russian).
- Bott, M.H.P., Nielsen, P.H. and Sanderland, J., 1974. Evidence for continental crust beneath the Faeroe Islands. Nature, v. 248, p. 202-204.
- Boyd, F.R., Pokhilenko, N.P., Pearson, D.G., Mertzman, S.A., Sobolev, N.V. and Finger, L.W., 1997. Composition of the Siberian cratonic mantle: evidence from Udachnaya peridotite xenoliths. Contrib. Mineral. Petrol., v. 128, p. 228-246.
- Bryan, S.E., Peate, I.U. and Peate, D.W., 2010. The largest volcanic eruption on Earth. Earth Sci. Rev., v. 102, no. 3-4, p. 207-229.
- Bucher, W.H., 1956. Role of gravity in orogenesis. Geological Society of American Bulletin, v. 67, p. 1295-1318.
- Charvis, P., Recg, M., Operto, S. and Brefort, D., 1995. Deep structure of the northern Kerguelen Plateau and hotspot-related activity. Geophys. Jour. Int., v. 122, p. 899-924.
- Choi, D.R., 2007. Continental crust under the NW Pacific Ocean. Journal of Petroleum Geology, v. 10, p. 425-440.
- Choi, D.R. and Pavlenkova, N.I., 2009. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 5. Outer low gravity belt of the Great Pacific Ring structure. NCGT Newsletter, no. 50, p. 46-54.
- Choi, D.R. and Vasiliev, B.I., 2008. Geology and tectonic development of the Pacific Ocean. Part 4, Geological interpretation of seismic tomography. NCGT Newsletter, no. 48, p. 52-60.
- Dick, H.J., Natland, J.H., Alt, J.C. et al., 2000. A long in situ section of the lower ocean crust: results of ODP Leg 176 drilling at the Southwest Indian Ridge. Earth and Planet. Sci. Lett., v. 179, p. 31-51
- Dmitrievsky, A.H. and Valjaev, B.M. (eds.), 2002. Earth degassing: geodynamics, geofluids, oil and gas. Proceeding of the international meeting in memory of P.N. Kropotkin, 20-24 May, Moscow, 235p (in Russian).
- Downes H., 1993. The nature of the lower continental crust of Europe: petrological and geochemical evidence from xenoliths. Phis. Earth Planet. Inter., v. 79, p. 195-218.
- Elton, D., 1987. Petrology of gabbroic rock from Mid-Cayman Rise Spreading Center. Jour. Geophys. Res., v. 92, p. 658-682.
- Ermakov, V.A., 2015. On the pulsating contraction hypothesis of the Earth evolution. NCGT Journal, v.3, n.2, p.187-195
- Frolova, T.I., Perchuk, L.L. and Burjakova, I.A., 1992.

Magmatism and transformation of active areas of the Earth's crust. Oxford & IBH Publishing CO.PVT. LTD., New Delhi, 271p.

- Funk, T., Jackson, H.R. and Shimelt, J., 2011.The crustal structure of the Alpha Ridge at the transition to the Canadian Polar Margin, results from a seismic refraction experiment. Jour. Geophys. Res., v. 116, B12101, doi.10.1029/2011JB008411.
- Furumoto, A.S., Wepp, G.P., Odegard, M.E. and Hussong, D.V., 1976. Seismic Studies on the Ontong Java Plateau. Tectonophysics, v. 34, p.71-90.
- Gaina, C., Werner, S., Saltus, R., Maus, S. and the CAMP-GM group, 2011. Circum-Arctic Mapping Project: New Magnetic and Gravity Anomaly Maps of the Arctic. Arctic Petroleum Geology. Geological Society, London, Memoirs, 35, p. 39–48.
- Gasparik, T., 1992. Enstatite-jadeite join and its role in the Earth mantle. Contrib. Mineral. Petrol., v. 111, p. 283-298.
- Gaggero, L. and Cortesogno, L., 1997. Metamorphic evolution of oceanic gabbro: recrystallisation from subsolidus to hydrothermal condition in the MARK area (ODP LEG 153). Lithos, v. 4, p. 105-131.
- Gilat, A. and Vol, A., 2005. Primordial hydrogen-helium degassing, an overlooked major energy source for internal terrestrial processes. HAIT Journal of Science and Engineering, B, v. 2, Issues 1-2, p. 125-167.
- Glebovitskii, V.A., Nikitina, L.P. and Khil'tova, V.Ya., 2001. The thermal state of the mantle underlying Precambrian and Phanerozoic structures (from data of garnet–orthopyroxene thermobarometry of garnet peridotite xenoliths in kimberlites and alkali basalts). Fizika Zemli, no. 3, p. 3–25.
- Gohl, K. and Uenzelmann-Neben, G., 2001. The crustal role of the Agulhas Plateau, south Indian Ocean: evidence from seismic profiling. Geophys. Jour. Int., v. 144, p. 632-646.
- Gordienko, V.V., 1980. Crustal radioactive heat production and heat flow from mantle of old platforms. Geophys. Jour., v. 2, p. 35-42 (in Russian).
- Gordienko, V.V. and Pavlenkova, N.I., 1985. Combine geothermal-geophysical models of the Earth's crust and upper mantle of the European continent. Jour. Geodynamics, v. 5, p. 75-90.
- Gossler, J. and Kind, R. 1996. Seismic evidence for very deep roots of continents. Earth and Planetary Science Letter, 138, p.1-13.
- Griffin, W.L., O'Reilly, S., Afonso, J.C. and Begg, G.C., 2008. The composition and evolution of lithospheric mantle, a reevalution and its tectonic implication. Jour. of Petrology, v. 50, p. 1185-1204
- Herndon, J.M., 2013. A new basis of geosciences: wholeearth decompression dynamics. NCGT Journal, v. 1, no. 2, p. 81 -97.

- Hilgenberg, O.C., 1993. Vom wachsenden Erdball (The expanding Earth). Giessmann@Bartsch, Berlin.
- Hoshino, M., 2014. The history of micro-expanding Earth. History of the Earth from viewpoint of Sea Level Rise. E.G. SERVICE, Japan. 234p. ISBN 978-4-9903950-5-6.
- Hussong, D.V., Wipperman, L.K. and Kroenke, L.W., 1979. The crustal structure of the Ontong Java Manihiki oceanic plateaus. Jour. Geophys. Res., v. 84, p. 6003-6010.
- Ioganson, L.I., 2014. Beloussov's view of the origin of oceans. NCGT Journal, v. 2, n. 2, p. 7-12.
- Ionov, D., Bodinier, J., Mukasa, S. and Zanetti, A., 2002. Mechanisms and Sources of mantle Metasomatism: Major and Trace Element Composition of Peridotite Xenoliths from Spitsbergen in the Context numerical Modelling. Jour. of Petrogy, v. 12, p. 2219-2259.
- Ionov, D.A., Doucet, L.S. and Ashchepkov, I.V., 2010. Composition of the lithospheric mantle in the Siberian Craton: new constraints from fresh peridotites in the Udachnaya-East kimberlite. Jour. Petrol., v. 51, p. 2177– 2210.
- James, D.E., Boyd, F.R., Schutt, D., Bell, D.R. and Carlson, R.W., 2004. Xenolith constraints on seismic velocities in the upper mantle beneath southern Africa. Geochem. Geophys. Geosyst., v. 5, doi: 10.1029/2003GC000551.
- James, K.H., 2009. In-situ origin of the Caribbean: discussion of data. James, K.H., Lorente, M.A. and Pindell, J. (eds.), Origin and evolution of the Caribbean Plate. Geological Society of London, Special Publications, v. 328, p.75-124.
- James, K., 2012. Whence the Caribbean. NCGT Newsletter, no. 64, p. 19-24.
- Jones, A.G., Evans, R.L. and Eaton, D.W., 2009. Velocity–conductivity relationships for mantle mineral assemblages in Archean cratonic lithosphere based on a review of laboratory data and Hashin–Shtrikman extremal bounds. Lithos, v. 109, p. 131-143.
- Jordan, T.H., 1979. The deep structure of the continents. Scientific American, v. 240, p. 70-82.
- Kashubin, S.N., Pavlenkova, N.I., Petrov, O.V., Milshtein, E.D., Shokalsky, S.P. and Erinchik, Yu.M., 2013. The crustal types in the Circumpolar Arctics. Regional Geology and Metallogeny, no. 55, p. 5-20 (in Russian).
- Keith, M.L., 1993. Geodynamics and mantle flow: an alternative Earth model. Earth-Science Reviews, v. 33, p. 153-337.
- Kern, H., 1982. Elastic-wave velocity in the crustal and mantle rocks at the high-low quartz transition and of dehydration reactions. Phys. Earth. Planet Int., v. 29, p. 1-23.
- Kern, H.M., 1993. Physical properties of crustal and upper mantle rocks with regards to lithosphere

dynamics and high pressure mineralogy. Physics of the Earth and Planetary Interiors, v. 79, p. 113-136.

- Khortov, A.V., Shlezinger, A.E. and Udintsev, G.B., 2014. Origin of oceans: spreading versus primary oceans models. NCGT Journal, v. 2, no. 1, p. 56-6
- King, S.D., 2005. Archean cratons and mantle dynamics. Earth Planet. Sci. Lett., v. 234, p. 1-14.
- Kirkham, R.V. and Rafer, A.V., 2003. Selected world mineral deposits database. Geological Survey of Canada. Open file 1801. CD-ROM.
- Kochemasov, G.G., 2015. Celestial bodies: relation between ubiquitous tectonic dichotomy and universal rotation. NCGT Journal, v. 3, n. 2, p. 155-157.
- Korhonen, J.V., Fairhead, J.D., Hamoudi, M., Hemant, K., Lesus, V., Mandea, M., Maus, S., Purucker, M., Ravat, D., Sazonova, T. and Thebault, E., 2007. Magnetic Anomaly Map of the World. Commission for the Geological Map of the World, Paris.
- Koslovskiy, E.A., 1984. Kola deep borehole. Moscow, Nedra, 440p.
- Krivitsky, V.A., 2013. Model of the Earth evolution from the star matter. Space and Time, issue 1, v. 4 (in Russian).
- Kuskov, O.L and Kronrod, V.A., 2007. Composition, temperature, and thickness of the lithosphere beneath the Archean Kaapvaal craton. Izv. Phys. Solid Earth, v. 43, p. 42–62.
- Kuskov, O.L., Kronrod, V.A., Prokofyev, A.A. and Pavlenkova, N.I., 2014. Thermal and density structure of the Siberian craton lithospheric mantle inferred from long-range seismic profiles Craton, Kimberlite, Rift and Meteorite. Tectonophysics, v. 615-616, p. 154-166.
- Larin, V.N., 1995. Hypothesis of the original hydride Earth (new global conception). Moscow, Nedra. 101p (in Russian).
- Lee, C-T.A., 2006. Geochemical/petrologic constraints on the origin of cratonic mantle. Archean Geodynamics and Environments. American Geophysical Union, Geophysical Monograph Series 164, p. 1-26.
- Letnikov, F.A., 1999. Fluid facies of the continental lithosphere and problems of ore formation. Smirnov Collection-99 (Scientific-literary Anthology), Moscow, p. 63-98.
- Letnikov, F.A., 2000. Fluids regime of endogenous processes in the continental lithosphere and problems of metallogeny. Runkvist, D.V. (ed.), Problems of Global Geodynamics, GEOS, Moscow, p. 204-224 (in Russian).
- Letnikov, F.A., 2006. Fluids regime of endogenous processes and problems of metallogeny. Geology and Geophysics, v. 47, no. 12, p. 1296-1307.
- Liu, C.-Ch, Snow, J.E., Hellebrand, E. et al., 2008. Ancient highly heterogenous mantle beneath Gakkel ridge, Arctic Ocean. Nature, v. 452, p. 311-316.

- Lutz, B.G., 1980. Geochemistry of continental and oceanic magmatism. Moscow, Nedra. 125p (in Russian).
- Lutz, B.G., 1994. Magmatic geotectonics and the problems of the Earth's continental and oceanic crust formation. Regional Geology and Metallogeny, no. 3, p. 5-14 (in Russian).
- Mahoney, J.J. and Coffin, M.F. (eds.), 1997. Large Igneous Provinces - Continental, Oceanic and Planetary Flood Volcanism. Geophys. Monogr. Ser., v. 100, AGU, Washington, DC.
- Menzies, M. and Chazot, G., 1995. Fluid processes in diamond to spinel facies shallow mantle. Jour. Geodynamics, v. 20, no. 4, p. 387-415.
- Meyerhoff, A.A., Taner, I., Morris, A.E.L., Agocs, W.B., Kamen-kaye, M., Bhat, M.I., Smoot, N.C., Choi, D.R. and Meyerhoff-Hull, D. (ed.), 1996. Surge tectonics: a new hypothesis of global geodynamics. Kluwer Academic Publishers, 323p.
- Michaut, C., Jaupart, C. and Bell, D.R., 2007. Transient geotherms in Archean continental lithosphere: New constraints on thickness and heat production of the subcontinental lithospheric mantle. Jour. Geophys. Res., v. 112, B04408, doi: 10.1029/2006JB004464.
- Milanovsky, E.E., 1980. Problems of tectonic development of the Earth in the light of its pulsation and expansion. Rev. Geol. Dynam. Geogr. Phys., v. 22, no. 1, p. 15-27.
- Ollier, C.D., 2003. The origin of mountains on an expanding Earth, and other hypotheses. Scalera, G. and Jacob, K-H. (eds.), Why expanding Earth? A book in honour of Ott Christoph Hilgenberg. Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, p. 129-160.
- Ollier, C. and Pain, D.F., 1980. Actively rising surficial gneiss domes in Papua New Guinea. Jour. of the Geological Society of Australia, v. 27, p. 33-44.
- Operto, S. and Charvis, P., 1996. Deep structure of the southern Kerguelen Plateau (southern Indian Ocean) from ocean- bottom seismometer wide-angle seismic data. Jour. Geophys. Res., v. 101, p. 25077-25103.
- O'Reilly, S.Y. and Griffin, W.L., 2006. Imaging global chemical and thermal heterogeneity in the subcontinental lithospheric mantle with garnets and xenoliths: Geophysical implications. Tectonophysics, v. 416, p. 289–309.
- O'Reilly, S.Y, Zhang, V., Griffin, W.L. et al., 2009. Ultradeep continental roots and their oceanic remnants: a solution to the geochemical "mantle reservoir" problem? Lithos, v. 1125, p. 1043-1054.
- Pavlenkova, N.I., 1996. Crust and upper mantle structure in Northern Eurasia from seismic data. Advances in Geophysics, Academic Press, Inc. (eds. R. Dmowska and B. Saltzmann), v. 37, p. 1-134.
- Pavlenkova, N.I., 1998. Endogenous regimes and plate

tectonics in Northern Eurasia. Phys. Chem. Earth, v. 23, no. 7, p.799-810.

- Pavlenkova, N.I., 2005. Fluids-rotation conception of global geodynamics. Bull. Soc. Geol. It., Volume Speciale, n. 5, p. 9-22.
- Pavlenkova, N.I., 2011. Seismic structure of the upper mantle along the long-range PNE profiles – rheological implication. Tectonophysics, v. 508, p. 85-95.
- Pavlenkova, N.I., 2012a. The Earth's degassing, rotation and expansion as sources of the global tectonics. NCGT Newsletter, no. 63, p. 49-71.
- Pavlenkova, N.I., 2012b. Reply to the comments by Storetvedt and Pratt. NCGT Newsletter, no. 64, p. 84-95.
- Pavlenkova, N.I, 2012c. Crust and mantle structural evidences of the Earth expansion. The Earth expansion evidence. Challenge for geology, geophysics and astronomy (ed. Giancarlo Scalera). Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, p. 91-100.
- Pavlenkova, N.I. and Pavlenkova, G.A., 2015. The Earth's crust and upper mantle structure of the Northern Eurasia from the seismic profiling with nuclear explosion. NCGT Journal, v. 3, no. 2, p. 245-247.
- Pavlenkova, N.I., Pogrebitsky, Yu.E. and Romanjuk, T.V., 1993. Seismic-density model of the crust and upper mantle of the South Atlantic along Angola-Brazil geotraverse. Physics of the Solid Earth, v. 10, p. 27-38.
- Pavlenkova, N.I. and Zverev, S.M., 1981. Seismic model of Iceland's Crust. Geologischau Rundschau, Band 70, p. 1-6.
- Pogrebitsky, Yu.E. (ed.), 1996. The lithosphere of the Angola basin and the east part of the South Atlantic Ridge (results of the studies along Angola-Brazil geotraverse). PGQ «Sevmorgeo», 176 p. (in Russian).
- Pogrebitsky, Yu.E. and Truchalev, A.I., 2002. The origin of the mafic-ultramafic deep rocks - the key issue of geology of the Mid-Atlantic Ridge. Russian Arctic: geological history, minerageniya, geo-ecology. St. Petersburg, p. 49-61 (in Russian).
- Porcelli, D., Turekian, K.K., 2003. The history of planetary degassing as recorded by noble gases. Keeling, R.F. (ed.), Treatise on Geochemistry. Elsevier, v. 4, p. 281-318.
- Poudjom Djomani, Y.H., O'Reilly, S.Y., Griffin, W.L. and Morgan, P., 2001. The density structure of subcontinental lithosphere through time. Earth Planet. Sci. Lett.. v. 184, p. 605-621.
- Poupinet, G., Arndt, N. and Vacher, P., 2003. Seismic tomography beneath stable tectonic regions and the origin and composition of the continental lithospheric mantle. Earth Planet. Sci. Lett., v. 212, p. 89-101.
- Pratt, D., 2000. Plate tectonics: a paradigm under threat. Jour. of Scientific Exploration, v. 14, no. 3, p. 307-352. Pratt, D., 2013a. Palaeomagnetism, plate motion and polar wander. NCGT Journal, v. 1, no. 1, p. 66-152.

- Pratt, D., 2013b. Palaeomagnetism, polar wander and global tectonics: some controversies. NCGT Journal, v. 1, no. 3, p. 103 -117.
- Pusharovsky, Yu.M., 1997. Main tectonic anti-symmetry of the Earth: Pacific and Indo-Atlantic segments and their relation. Perfiliev, A.S. and Rasnizin, Yu.N. (eds.), Tectonic and geodynamic phenomena. Moscow, Nauka, p. 8-24 (in Russian).
- Ray, S.S., Planke, S., Simonds, P. and Faleide, J.I., 2008. Seismic volcanostratigraphy of the Gascoyne margin, Western Australia. Jour. of Volcanology and Geothermal Res., v. 172, nos. 1-2, p. 112-131.
- Richardson, K.R., Smallwood J.R., White, R.S., Snyder, D.B. and Maguire, P.K.H., 1998. Crustal structure beneath the Faeroe Islands and Faeroe-Iceland Ridge. Tectonophysics, v. 300, p.159-180.
- Romanyuk, T.V. and Tkachev, A.V., 2006. Large and super-large Cenozoic deposits of the mineral products on the eastern margins of Northern and Southern Americas: geodynamic cause and connection with the lithosphere. Large and super-large deposits of ore products, v. 1, Deep regularities of localization. Runkvist, D.V. (ed.), Moscow, IGEM PAN, p. 275-310.
- Runkvist, D.V. (ed.), 2006. Large and super-large deposits of ore products, v. 1, Deep regularities of localization. Moscow, IGEM RAN, 390p.
- Scalera, G. and Jacob, K-H. (eds.), 2003. Why expanding Earth? A book in honour of Ott Christoph Hilgenberg Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, 465p.
- Schurr, B., Asch, G., Rietbrook, A., Kind, R., Pardo, M., Heit, B. and Monfret, N., 1999. Seismicity and average velocity beneath the Argentine Puna Plateau. Geophys. Res. Lett., v. 26, no. 19, p. 3025-3028.
- Shen, E.L., 1984. Earth expansion as a result of its global structure formation. Milanovskiy (ed.). Problems of the Earth's expansion and pulsation. Moscow, Nauka, p. 180-185 (in Russian).
- Storetvedt, K.M, 1997. Our evolving planet: Earth history in new perspective. Bergen, Norway: Alma Mater, 456p.
- Storetvedt, K.M., 2003. Global wrench tectonics. Fagbokforlaget. 397p.
- Storetvedt, K.M. and Loonchinos, B., 2012. The Atlantic and its bordering continents a wrench tectonic

analysis: lithospheric deformation, basin histories and major hydrocarbon provinces. NCGT Newsletter, no. 64, p.30-68.

- Syvorotkin, V.M., 2002. Deep degassing of the Earth and global catastrophes. Moscow, OOO Geoinformcentre. 250p (in Russian).
- Thompson, A.B., 1992. Water in the mantle. Nature, v. 358, p. 295-302.
- Udintsev, G.B. and Koreneva, E.V., 1982. The origin of aseismic ridges of the eastern Indian Ocean. Scrutton, R.A. and Talwani, M. (eds.), The Oceanic Floor, Chichester: John Wiley & Sons, p. 204-209.
- Vasiliev, B.I., Yano, T. and Choi, D.R., 2012. Progress report of the study of ancient continental rocks from the Pacific Ocean. NCGT Newsletter, no. 63, p. 80-81.
- Vinnik, L.P., Green, R.W.E., Nicolausen, L.O., Kosarev, G.L. and Petersen, N.V., 1996. Deep structure of the Kaapvaal Craton. Tectonophysics, v. 262, p. 67-75.
- White, R.S. and McKenzie, D.P., 1989. Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts. Jour. Geophys. Res., v. 94, p. 7685-7729.
- Walter, M.J., 1998. Melting of Garnet Peridotite and the Origin of Komatiite and Depleted Lithosphere. Jour. Petrol., v. 39, p. 29-60.
- Williams, Q. and Hemley, R.J., 2001. Hydrogen in the deep Earth. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 29, p. 365-418.
- Wilson, J.T., 1954. The development and structure of the crust. In: Kuiper, G.P. (ed.). The Earth as a planet, Chicago Univ. Press., Chicago, p. 138-214.
- Yano, T., 2014. Tectonic development of the Pacific Ocean and its periphery: a constraint on large-scale rotations of lithospheric blocks. NCGT Journal, v. 2, no. 2, p. 54-68.
- Yegorova, T.P. and Pavlenkova, G.A., 2014. Structure of the upper mantle of Northern Eurasia from 2D density modeling of seismic profiles with Peaceful Nuclear Explosions. Tectonophysics, v. 627, p. 57-71.
- Zamanskii, Yu.Ya., Ivanova, N.N., Langinen, A.E. and Sorokin, M.Yu., 2003. Seismic studies in the Arctika-2000 geotraverse. Physics of the Solid Earth, v. 39, no. 6, p. 453-463.

# 討論 DISCUSSION

# 地球科学的都市伝説 GEOSCIENTIFIC URBAN LEGENDS

# Karsten M. STORETVEDT

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

# ( 矢野 孝雄 [ 訳 ] )

「[習熟した合理主義者]は、主人の精神的イメージに服従するだろう、彼は学習した標準的考察にしたがうだろう、 彼自らがどれほど偉大な混乱を発見したとしても彼は必ずこれらの標準にしたがうだろう、そして彼は、それらが (理性の声)と考えているものから受けた訓練に由来していることを実感できないだろう.」

Paul Feyerabend 著"Against Method" (1988, p. 17)

「画期, すなわち, 真に重要な新発見が生まれるときはいつも, 専門家が間違っていたこと, そして, 事実, すなわち客観的事実が, 専門家の予測と異なっていたことを意味する.」

Karl Popper 著"A World of Propensities" (1990, p. 33)

摘要:Rekdal (2014, p. 638) によると、「りっぱな科学出版物に述べられたメッセージの多くは、実際には、さま ざまな装いの世評(うわさ)にもとづいている.これらの世評のいくつかはしばしば出現し、そして、私たちがそれ らを科学的都市伝説として語るような複雑で、脚色され、楽しませる方法でとりあげられる」.Rekdal はつづけて「こ の現象は通常、次のように説明される.著者たちは、"怠惰に、だらしなく、あるいは、不正に"選択された二次情 報を利用し、検証できていない間違った情報や曲解された情報を安易に流布してきた」と述べる.これと同じ混乱状 況が、大陸移動/プレートテクトニクスという大河小説にそっくりあてはまる.決定的な事実は 1960 年代のプレー トテクトニクスメカニズムが "進歩した"ウェゲナー漂移説に矛盾していたにもかかわらず、あまたの人為的要素の ために、この仮説の究極的勝利を妨げえなかったことである.この科学的転換は新らたに流行した風習にすぎず、重 要問題の解決能力を欠いていた.本稿で私が考察するのは、初期に無視されていた重要な観察事実、学界における隔 離、競争、および社会 -政治的圧力が、プレートテクトニクス革命の途上で、ある種の"無意識な"学界の状況をど のようにしてつくりだしたのか、という問題である.その後の地球科学は、包括的な都市伝説―最近の半世紀にわたっ てグローバル地質学を堕落させた多彩な物語―の生け贄となった.

キーワード:科学的怠惰,希望的観測,怠慢,社会的圧力,架空の知識

# うさんくさい科学の金字塔

「科学は没個性的で,冷静な,そして完全に客観的 な営みである,との誤解が広くいきわたっている. 他の人間活動のほとんどには流行,好み,および個 性が支配的であるにもかかわらず,科学は合意され た手続きに則って厳正な検証をへて成立しているか に思われている.それは思考の結果であり,人がつ くりだしたものではない,との規定は,当然ながら, 無意味な宣言である(傍点は著者).

科学は人間のあらゆる努力と同様に人が行う行為 であるが、科学者たちは加えて世界について考えて いる.各時代はそれぞれ独自の方法によって科学的 問題を探求し、課題を設定し、それにとりくむため の最善の方法を選定するために、多くの人々が獰猛 に探求している.」(Davies, 1995)

科学の人間的側面を率直に表現したこの記述は,物 理学の教授 Paul Davies によるものであり,1960 年代後半にプレートテクトニクス (PT) 革命として 隆盛をきわめた移動論的グローバル地質学の20世 紀の発展によって徹底的に論証された. "ニューグ ローバルテクトニクス"は感染症の流行のように拡 大し,すぐに地球科学における支配的教義となった. ふりかえってみると、ウェゲナーのゴンドワナ集合 体の妥当性に根本的に依拠したニューグローバル仮 説が当初から歪曲されていたことを理解するのはむ つかしくない。1950年代半ばに古地磁気学が大陸 移動を再論しはじめたときにも、本質的に重要な南 極での古地磁気測定結果をウェゲナーが無視したこ とは依然として看過され、彼のゴンドワナ大陸の形 状が公認のものであるかに誤解された. そのため, 10年も経ずして、大陸の側方移動は、プレートテ クトニクスの副次メカニズムとともに、都市伝説と してひろく知られるようになり、希望的観察、補助 的メカニズム,および場当たり的結論に支配され, すべてを包含する全地球モデルと化した.本誌に寄 せた最近の随筆---When global tectonics became a 'pathological science:プレートテクトニクスは いつ病理状態の科学になったのか'(Storetvedet, 2014) — で私は、1960年代末のプレートテクトニ クス革命につづく最初の10年間に集積された多数 の重要な反証,無視,および誤解を記述した.私は ここで,この'クーデター'にいたる期間において決 定的転換点となった人間の徹底的な弱点と学界にお ける隔離をめぐるいくつかの重要な事例を考察する.

1960年代前半に増大した大志をいだく多くの若い 地球物理研究者(私自身を含む)の間で、ウェゲナー の大陸移動に反対する伝統的議論がときどき行われ ていたが、一般には、それは年長の少年らによる時 代錯誤の'策略'とみなされた.新しい進歩的な論 壇の雰囲気のなかでは、'ニューグローバルテクト ニクス'に洗練された装いをもたらすことが重要で ある、と考えられるようになった、与えられた回答 では、自然は新しい有望な観点に合致せざるをえな くなり, 逆ではないとされた. 前進しつつある流行 の見解は、たいへん強い力を備えているのが常であ る. そのいっぽうで,狭量な思考は2,3の個人の 意思と説得力に少なからず依存し、不明瞭な進化を 遂げることになる.いずれにしても、私の学生たち にとっては、大陸の側方漂移は輝かしい物語であり、 反対意見は歓迎されなかった. ウェゲナーの著書 は、ベルゲンでは昔からほとんど関心をよばなかっ た. 私が学生および歳若い研究者であった頃には大 陸漂移に関する知識は、二流の、教科書に記述され ているだけで, Arthor Holmes の教科書'Principle of Physical Geology'(Holmes, 1944および後続版) がおもなものであった. 何年か後に私は大学図書館 で du Toit (1937) 'Our Wandering Continents [う ごきまわる大陸] 'を見つけたが(この著書はもと もと、地質研究所の専門図書コレクションの一冊で あった)、この本には開かられた痕跡がなかった. 第二次世界大戦以前におけるウェゲナーの主だった 支持者は, Arthor Holmes と Alexander du Toitの 2名であった.

# 希望的観測が、それに矛盾する証拠に勝る

Holmes は、決定的な否定的証拠を無視することに よって、洗練された共感をえられる方法でウェゲ ナーのモデルを提唱した. ゴンドワナ集合大陸は先 中生代における本質的要素であり、それには地理的 南極を回転軸とする南極大陸が含まれていた. とこ ろが、20世紀になると古気候を記録した岩石や化 石が集積された結果, 南極はウェゲナーとその後 に Holmes が主張した氷室環境ではなく,古生代前 期~第三紀前期の長期間にわたって熱帯~中間気候 にあったことが明確になった. 南極からえられたさ まざまな古気候学的証拠は、漂移モデルにとって強 烈な否定的データであった.19世紀後半にはじま る英国・スウェーデン・ノルウェーの探検によって ますます多くの全く矛盾する証拠が収集されたが, ウェゲナーと Holmes はそれらを根本的に無視した. それにもかかわらず、英国の指導的な古地磁気研究 者たちが1950年代半ば~後半にウェゲナーの大陸



図1 1929年代後半までに報告された南半球の二畳 - 石炭紀 氷床中心; a) Wegener (1929) にもとづく, b) Holmes (1954) から. 漂移説の困難な点は, これらの氷床中心がかつてゴンド ワナ集合大陸として一体化し, その後, 古生代後に分裂したこ とである. 氷河作用を被っていたゴンドワナ大陸は, 固定され た極位置にある南極大陸のまわりに集合したと考えられてい た. それにもかかわらず, 実際には, この大陸塊からえられる すべての古気候データは古生代の熱帯環境, および, 古第三紀 までつづく亜熱帯環境を示唆する. 氷河の痕跡が北半球からも 報告された事実も無視された. いいかえると, 漂移がらみのゴ ンドワナ提案には,何か根本的な間違いがあったのである. こ れら2つの図の間の相違にも注目する必要がある. すなわち, 両者はともに南極に氷河作用がないと表現しているが, Holmes の図(b)は意図的に説得力をもたせようとしているかに見える.

漂移に賛同しはじめた際に、Holmesの教科書の大陸移動の章が主要文献となった(下記参照).

図1は, Wegener (1929) やHolmes (1954) の描像 と同様、南半球の大陸における二畳紀~石炭紀の 氷床のひろがりを示している.20世紀初頭までに, 後期古生代氷河作用の痕跡が南米南部、オーストラ リア南部、インド、北西シベリア、中央アジア、お よび北米から報告されていた. もっとも顕著な氷河 作用はアフリカ南部に知られていて, そこには, 先 カンブリア紀の場合と同様、氷河堆積物が広大な範 囲に分布している (Holmes, 1954, p. 504 と比較 せよ). より最近になって Havlíček (1974) は, ア フリカが長期間にわたって極圏~周極圏に位置して いたことを示す地質学的・古地磁気学的証拠をとり まとめた. このように、オルドビス紀~古生代後期 の地球は複数回にわたって空間的方位を変化させた (極移動事件) ことは明らかである. これらの期間 には,相対的地理極が北西アフリカ(サハラ西部)~ 南アフリカを横切って南へ移動した. この期間の対 応する古赤道は北半球を通っていて、複数回にわ たって南へ移動した.ウェゲナーは、北極圏~中部 ヨーロッパにおける古気候に着目していた.ウェゲ ナーが古生代後期の古赤道(中央ヨーロッパを東西 に横断)を地球全体に敷衍していたならば,それは 南極域を通過し,それに対応する南極はアフリカ南 部に位置していた.そうすれば,南極の熱帯〜亜熱 帯気候を示す化石の証拠は容易に説明されたであろ う.いいかえると,古生代後期の気候システムは今 日と同様に配列していて,その頃の極は,対応する 赤道から遠く離れて緯度 90°付近にあっただろう.

ウェゲナーが相対する大西洋縁の等深線を接合させ ようとして、地殻を不適当に変形させた. Wegener (1929) は、信じ込んでいた大陸接合を実現するた めに,必要に応じて地殻をひき伸ばしたり,曲げ たり、さらには、その一部を削除した.この行為 は、その後くりかえし非難された、ウェゲナーモデ ルでは、南大西洋はまさに著しく幅広いリフトであ り、かつて、その縁辺は直接に接合していた.もし そうならば、相対する大陸縁の地質構造を比較すれ ば、それが明確な検証になるはずである. 南アメリ カとアフリカの地質を幅広く比較研究した du Toit (1927) の成果を, Wegener (1929) は再三引用した. しかしながら, du Toit の結論は次のとおりであっ た. 相対する大陸縁において観察される岩相の相違 を説明するためには、漂移に先立って、少なくとも 400~800kmの隔たりが必要である.これは、南大 西洋をまたぐ地質の類似性はいずれにしても不明確 であることを意味している.もし du Toit が南大西 洋をはさんで相対する大陸の間の'詳細な地質学的 対応'を見いだすために 400~800km あるいはそれ 以上に達する大陸の隔たりを認めざるをえないので あれば、これら2つの陸塊間に想定される初生的間 隙として,実際には上限をどのようにして特定でき るのだろうか? ウェゲナーが、かつて近接してい た両大陸についての du Toit の条件を原理的には認 めた. それにもかかわらず彼は、南大西洋両岸の地 質的特徴は「引き裂いた新聞紙片の両縁を接合する ことによって再びつなぎあわせることができる」と 主張した (Wegener, 1929 および 1966, p. 77). こ れは情緒的論述以外の何ものでもなく、彼が信じ込 んでいたゴンドワナ集合大陸を支持するための社 会-政治的試みにすぎない.

他方,アゾレス諸島のような大陸接合にまつわる難 問があることに、Wegener (1929) はまったく気づ いていなかったようだ.事実として,彼は,大陸分 裂を喧伝する以前には,中央大西洋を完全に,閉塞 させるにはアゾレス諸島の隆起塊がひどく障害に なると考えていた.彼は,これらの諸島の地質情報 にもとづいて,この諸島は大陸性下層基盤をもって いると主張していたのである.その数十年も前に, Hartung (1860)の研究によって,これらの諸島に は花崗岩・雲母片岩・石英砂岩・石灰岩を含むさま ざまな大陸性岩石の中礫がひろく分布していること が知られていた. さらに, 1883 年の Talisman 探検 では、この諸島のすぐ北側の広い海域でのドレッジ によって,大陸性変成岩類や古生代前期の含化石堆 積岩類がくりかえ採集されていた. これらの探検で 集められた岩石の証拠は, アゾレス諸島周辺の広い 海域がもともとは大陸であったことをうらづけてい る.しかしながら、1950年代にウェゲナー流の漂 移説が復活し、大西洋の完全な閉塞と結びつけられ た古地磁気データが興味の焦点となった. そして、 今日に至るまで地質学的反論がとりあげられること はなく、議論もされないままである.人々は、躊躇 することもなく、、 古風な、 議論に時間を浪費する ことを避けたのである. 1929年に刊行されたウェ ゲナーの古典的著書は、ほとんど誰にも読まれない まま,あらゆる古地磁気学の論文に引用された(下 記参照).科学的成果として容易に入手できる南極 の古気候論文と比較しながらこの著書を注意深く読 めば、ウェゲナーのゴンドワナ大陸の描像が抱えて いる根本的問題が明確に露呈するだろう.

# 古地磁気学はウェゲナー仮説を支持したが, その根本問題は無視された

英国では, P.M.S. Blackett and S.K. Runcorn が 地球磁場の主成分の起源を地球自転に強くむすびつ けた. その仮説によると、主要磁場は地球の自転 軸沿いの双極子型配列に由来するという. Runcorn (1954, 1955) は、平均地磁気軸と自転軸が一致す る主な理由を流体外核におけるコリオリ効果で説明 した. 経年変化は、岩石の固化期間に効果的に平均 化・消去される. したがって, 地質時代を通じた地 球中心双極子磁場が有効性であるとすると,古地磁 気極の位置は、各地質時代における相対的地理極の 位置に一致するだろう. このような考え方にもとづ いて1950年代に急増した古地磁気データベースは, 大陸ごとの経時的極移動軌跡と極移動曲線の不一致 を示した.これらの結果は大陸漂移を導出し,漂移 論を地球物理学の檜舞台につれもどした. そして何 よりも、天体としての地球は地質時代を通じてその 空間的方位を変化させてきたことが明らかになり、 さらに Gold (1955) の定量的説明によって、それ はいっそう支持されるようになった. 古地磁気デー タはかなり不十分ながら,極移動軌跡の不一致は大 陸間に何らかの相対移動があったことを示唆した.

ところが、1955 年頃の Runcorn グループは漂移を 認めることをためらっていた(Runcorn 1955). そ のため、Creer et al. (1975)は「極移動がより単 純な仮説で、大陸漂移よりも自由度が少なく、そし て、地球の現在のモデルにより調和する仮説であ る」との見解を示した.しかし、このような描像 は、(ヨーロッパ以外の)他の大陸のデータによっ て複雑化された.幾人かの研究者たちは、英国とイ ンドで得られた古磁極の比較にもとづいて大規模な 相対的漂移が起こったことを示唆した(Blackett, 1956; Clegg et al., 1954, 1956; Deutsch et al., 1958; Deutsch, 1958). 南極から分離したイ ンドの大規模北方移動(図1と比較)は、ウェゲナー の南半球大陸の集合, すなわちゴンドワナ仮説にお ける重要な要素をなしていたため, ウェゲナーの漂 移システム全体が討論の焦点となった. この転換過 程で, Creer et al. (1957)は、先ジュラ紀にはヨー ロッパと北米が現在よりも地理的に近接していたと 推論した. さらに Irving (1956)は地球全体の古 地磁気極を統合して「第三紀以前には任意の陸塊に 関してその位置を移動させただけではなく、それら の陸塊は相互移動した」と結論した. 大陸の移動様 式について、ウェゲナーの側方漂移システムだけを 考慮したわけではなかったのである(下記も参照).

いいかえると,古地磁気学は大陸漂移と極移動とい うウェゲナーの双子の仮説に始まったのである.し かしながら,漂移前の極移動曲線の一致,つまり ウェゲナー流の漂移前の陸塊の統合には、当初から 問題があった.古地磁気的整合性にかかわる疑義が 増大したにもかかわらず,1950年代に主導的役割 をはたした英国人地球物理研究者たちは大陸の可動 性について別のモデルをなぜ考案しなかったのであ ろうか? たとえば、地球の自転が変化すると、緯 度に依存する慣性力はリソスフェアにねじれをもた らす.これが地球全体のリソスフェアに影響し、そ のために極移動経路が一致しなくなった可能性があ るが、このすぐに選択しうる代案は考慮されなかっ た (K.M. Creer 私信, 1996 年 3 月). このような代 案を欠いた主な理由は、Blackett (ロンドン) およ び Runcorn (ケンブリッジ)の両グループの間での 競争である可能性が高い.彼らのインドでの研究に おいて, Blackett グループは大規模な大陸漂移を 好み, Runcorn グループ (1956 年以降はニューカッ スルが本拠地)もすぐにそれに全面的に賛同した. しかし、ウェゲナー仮説を志向するこの変更は、未 解決の問題に満ちた著しい危険性を孕んでいた.

Blackett グループは,漂移を嗜好するにもかかわ らず,彼らのデータには重大なあいまいさがあるこ とに気づいていた(下記参照).研究されたデカン 溶岩層が冷却後に,インドが現位置で時計回りに大 きく回転して,その方位を変えたとすると,元々の 下向き極性(ユーラシアの枠組みに含まれる)は現 在観測される南から上向きの古地磁気方位に一致し ないことから,南半球の比較的高緯度に存在したと いう間違ったイメージがもたらされる(詳細な考察 はStoretvedt, 1997, 2003を参照). 1992年5月 に開催された帝国大学グループの内部討論会の際 に,インドプロジェクトの主要研究者の1人であっ た故 Ernst (Ernie) Deutsch (St. John 記念大学) と議論する機会をえた. Ernie が私に語ったこと は, Paul Davies が述べた科学における一連の社会 心理学的および政治学的要素—本論の冒頭に引用— によく一致するものであった. 2003 年に刊行され た私の著書—Global Wrench Tectonics には、私と Ernie との議論が次のようにまとめられている.

—駆動力が最小化される現位置での単純な回転では なく,なぜインドの途方もない北方への並進を彼ら が好んだのか?, と私は尋ねた. Ernie は回顧して, 彼らが好んだ結論が、(地質分野の)知識がなく、 Newcastle グループ(もともとは漂移よりも極移動 に傾いていた)との競合による偏見、および政治的 判断の組み合わせに影響されていたことをすぐに認 めた.彼は、帝国大学の研究者たちは全員が地球物 理研究者であり、ウェゲナーやDu Toit がインドの 大規模な北方移動仮説を展開するために用いた地質 学についての表面的理解以上の知識を誰もがもちあ わせていなかった.彼らはこれらの地質学的議論が 正しいとの前提にたっていた、と彼は語った.いず れにしても, デカン玄武岩の古地磁気データを, 回 転運動に結びつけるよりも、矛盾を抱えながらも古 い考え方に結びつけることがより安全であったのだ る.というのは、そうしなければ、一層の混乱を招 くだけであり、関与した研究者たちへの信頼が失わ れることになるからである. Ernieの正直で思慮深 い話では、次に、1950年代の古地磁気学は地球物 理学における新しい小さな研究分野であり、より広 く宣伝する必要があった、という. 岩石磁気学を長 らく議論がつづいてきた革命的な考え方に関与させ るために、"地質学説の矛盾を解決する新しい物理 計測 "といった画期的なニュースが、ひどく邪悪な 求めに応じて,新研究分野の立ち上げのためにつく りだされたのだろう. —

インドの巨大規模の北方漂移を好都合とする古地磁 気学の結論には、あやふやな論拠しかないことは明 らかである. それにもかかわらず, 大流行になりは じめ、次の10年間には地球科学そのものとなった 移動論の中でもっとも決定的な役割を果たした.と くに、一般に喧伝されるインドの大規模な並進に対 して、古地磁気学は決定的な証拠にならなかったこ とを認識することが重要である. にもかかわらず, 古地磁気学は全地球テクトニクスをウェゲナーの提 案に調和する移動論ビジネスに変えてしまった. そ のため、すでに実質的に放棄されていた考え方に、 誤解された虚偽の理由によって、新しい命と活力を 吹き込まれることになった. 漂移前の大陸融合を好 まない従来の地質学的反対論はそれまでと同様に妥 当でありながら,新しく,より信頼できるかにみえ る地球物理学の1分野-古地磁気学によって、今日 まで脇においやられ、とって替わられてきた.ふり かえってみると、1950年代後半までにニューグロ バルテクトニクスのパラダイムは、おしとどめられ ることがないまま、強力に前進してきた! この転 換の第1の推進者は S.K. Runcorn であった. 世界


図2 Runcorn (1962) を簡略化した模式的極移動曲線.

中でとどまることのない彼の講演は大陸移動への反 対論を挫き,1962年には"Continental Drift"と題し た画期的出版物が編纂された.この共著書の巻頭に Keith Runcorn の主要論文 "Palaeomagnetic Evidence for Continental Drift and its Geophysical Cause"が 充てられ,Neil Opdykeの "Palaeoclimatology and Continental Drift"がそれに続いた.図2は,Runcorn の極軌跡を簡略化したものである.

全地球規模の古地磁気データを調和させるのに,大 陸間の相対運動が必要であることは明らかである. そして、得られたデータの大半がヨーロッパと北米 のものであり、これらの極軌跡の不一致が議論の最 前線となった. Racorn (1962) は,このデータがウェ ゲナー仮説に幅広く調和すると結論した. しかしな がら,北米の極移動曲線は大陸を単純に側方(東西) に移動させて調和させるには問題があった. 2つの 大陸に対応する極位置の推定、とくに古生代の部分 に顕著にみられるように、緯度方向のオフセット、 すなわち、北米の極はヨーロッパの極に比べて南へ ずれているのである. つまり, 北米はヨーロッパに 対して時計回りに一定量の"現地性"回転をしたわ けである. そのような観点からは、北米海盆が南へ 扇状にひろがっていることも説明できるが、これま で誰もこのような解を記していないようだ.

Roy (1972) は 10 年後に,北大西洋の大陸の極移動 曲線をより系統的に研究し,ヨーロッパに比べて北 米が時計回りに回転したことを示す見解を確証し た.ところが,すでにそれまでに,大陸の側方漂移 が疑問の余地のない教義となっていた.そのために, 友人たちとの議論のなかで私が Jean Roy の驚くべ き研究結果についてふれたときに,みんなの反応は 肩をすぼめただけであった.それにもかかわらず, ほどなく大きな問題になったのは,ウェゲナーのモ デルにしたがうと,他の大陸の極移動曲線が合致す るかどうか,であった.すくなくともいくつかの大 陸が″現地性″回転を被ったことは明らかだった. たとえば,好んで想定されたインドの大規模な北方 移動に加えて,ロンドンの古地磁気研究者たちは一 定の方位回転,すなわち,オーストラリアが顕著な (反時計回り)回転を被ったことをつけ加えざるを得 なくなった(Irving, 1957, 1958, 1964). 1966年2 月にニューカッスルで開催された Runcorn 記念シンポ ジウムでは, Ken Creer 教授と,古典的な大陸漂移に 矛盾する地文学的・古地磁気学的な複雑さについて討 論した.氏は,1950年代後半~1960年代前半に,古 地磁気研究者は(ウェゲナーのモデル以外の)別の移 動論モデルを探求しなかったことを認めた.

#### 無視された移動論への束縛

1960年代前半には、相矛盾する観察に注意がはらわ れるには側方への大陸漂移という見解があまりにも強 く、このような観察をめぐる多様な議論が再開される 機会は失われていた.多くの著者が大陸漂移に関する 一連の運動学的パラドクスや他の問題点を明らかにし たものの、注目を集めることはなかった.実際には、 ある考え方が科学界で地位を得てしまうと、その考え 方にかかわる根本問題はまったく無視されるか、理解 されない、というパラドクスが生じる.にもかかわら ず、Heezen(1959)は、側方漂移の運動学的問題につ いて、「しばしば元の大陸性リフトの遺存物とされる大 西洋中央海嶺の位置は、同時にいくつかの向きに大陸 が漂移することを必要とする.この窮状から逃れる1 つの可能性は、地球膨張を想定することだ」と論じた.

地球膨張は, Carey (1958) によっても提唱されていて, Carey と Heezen はともに、対流による漂移という論 理に大きな困難がともなう事例を論じた. もっとも顕 著な例は、南極にかかわる幾何学的 - 運動学的疑義で ある.この大陸は海嶺にとりかこまれていながら,圧 縮作用のいかなる兆候もみられない. アフリカと南極 の接合はより深刻な運動学的 - 造構的問題を抱えてい て,アフリカ / 南極パラドクスとよばれることがある. しかし、もし地球が一定の体積を保持しながら膨張を つづけるとすると、新しくつけくわえられた地殻は海 洋中に、おそらくは中央海嶺のリフトに沿って、みい だされるだろう. その場合, これらの海嶺は海嶺に平 行な岩脈中岩脈(dyke-in-dyke)複合体を構成するは ずである. ところが、その後の深海掘削では、深海地 設中にそのような2次元的貫入岩複合岩体はみいださ れていない (Storetvedt, 1997, 2003 と比較せよ).

ウェゲナーは大陸配置の復元に,特定の古気候データ をひどく重視した. Rucorn は急速に増大する古地磁 気データベースに加えて,1963年1月に古気候に関 する会議をニューカッスルで招聘・開催した.この会 議で私がとくに印象深く記憶しているのは,大西洋両 岸の大陸が閉じたとする先漂移配置に反対するノル ウェーの古生物 - 動物地理研究者 Niels Spjeldnæsの 議論である.氏はオルドビス紀の世界的生物地理区を 編纂し,さまざまな動物区が基本的には気候帯を表現 していると結論した (Spjeldnæs,1961).ニューカッ スルの会議で,氏は、ウェゲナーによる北米と北西ア

フリカの先漂移接合は古気候学的証拠に調和しな い、すなわち、古生代前期~中期の北米東部におけ る熱帯環境を、北西アフリカの古極圏氷河地帯に接 合させることは意味をなさない、と指摘した.氏が 示した全地球的なオルドビス紀動物群と気候の密 接な関係によると、オルドビス紀の極圏の1つが サハラ中央部に、もう1つが太平洋北部~中央部 にあった (図3). Spjeldnæs の考察は、大陸漂移 を " 宣伝 " した Runcorn (1959) の古地磁気論文に 言及していて、氏はこの論文から南極の配置につい てはある程度の影響をうけていたようである.たと えば、南米の相対的位置について、ブラジル北東部 を極圏に含めたが、南米大陸の大西洋縁の南東部に みられる氷河作用の証拠はわずかである(図1と比 較せよ). このように、いくぶん広くなった南大西 洋は、今日のように南へひろがった扇状ではなく、 Spjeldnæs の復元に調和的であった.

Spjeldnæsが提出した証拠が、大西洋の完全な閉塞 という考え方と相容れないことは明らかである.サ ハラに極を置き、比較的広い中央大西洋を設定す ると、対応する古赤道は北米東部、今日の北極圏の 近傍と中央アジアを通過し、これらの地域には古生 代の熱帯〜温帯環境を示す十分な証拠が存在する. オルドビス紀の化石データを全地球的にまとめた Spjeldnæsの研究成果は、北米と北西アフリカが漂 移前にぴったりと接合していたことに矛盾すること は明らかである.この重要な見解について、その原 因にかかわる何らかの議論があったかどうか、私は 記憶していない.造構作用を直接とりあげていない この会議においてさえも、大陸漂移が重要な背景に なっていたため、反対意見を提出することは明らか に不適当であった.実際、Spjeldnæsのデータは準



図3 後期オルドビス紀の動 物区にもとづく全地球古気候 システムの復元-Spjeldnæs (1961) を簡略化. 黒丸は熱 帯性と推論される動物群.太 平洋沿岸の大陸(上図)は現 在の地理的位置よりも近接し て配置されているが、古生物 学的データによると, それを 妥当ではない(本文参照). 下図は ″太平洋半球 ″におけ る同時期の古気候配置. これ らの古気候復元は、極移動を 示す古地磁気的証拠をいっそ う支持する.このように、古 生代中期の相対的地理極は現 在の赤道近く-それぞれ, ア フリカ南東部と中央太平洋-にあった. 当時の赤道帯は, 現在の北極域および南極域を 通過していた.いいかえると, Spjeldnæs のデータは古生代 中期以降に地球という天体は

その空間方位を(天文学的回転軸に比べて)緯度にして約90°変 化させた.これは,実際の時間的範囲で考案された大西洋沿岸の 大陸における古地磁気学的な南北方向の極軌跡にひろく整合する. 安定的な大陸配置と解釈され、中規模の相対運動が 起こった可能性が考えられた.しかし、氏のデータ が、まず何よりも、古典的な極移動をという現象を 支持していることは明白である.オルドビス紀以降、 天体としての惑星全体(あるいは、何らかの脆性的 外層)が、その自転軸に対して空間的に70°~90° も移動したのである.言いかえるとSpjeldnæsの データは、その2、3年前のCreer et al.(1957) の次のような主張に合致する.「極移動はより単純 な仮説であり,自由度は大陸漂移よりもより小さく、 現在の地球モデルにより容易に合致する.」

1960年代前半までに、対流に駆動された大陸漂移 は注目を集める話題になり、この屋上屋的概念は 地球科学的都市伝説になる現実的第一歩をふみだ した.駆動力に関する疑問をとりあげてみると、 MacDonald (1964) は、熱流量 - 地表重力データ、 表面波から求めた速度情報、および人工衛星観測 を組み合わせて、大陸と海洋の上部マントルの広 域的相違に関する試論的証拠を初めて提示した. MacDonald は、「大陸の深部構造はいかなる大陸漂 移説をも強く制約する.大陸の相対(側方)運動は 深度数 100km までのマントルを含むはずである.こ のような大陸塊が流体マントルの上を移動すること は想像だにできない」と結論した.

McDonald によれば、マントル対流概念は、漂移の 唯一もっともらしい原動力としても,移動論的地球 物理研究者たちにとって大きな問題となる. 大陸は あまりにも厚く,マントルはあまりにも剛性的であ るために、側方移動は不可能なのである.大陸は上 部マントル中に深い根をもっているとの考え方は. 現代のマントルトモグラフィによって十分に検証さ れた.得られたデータにもとづくと、大陸の深い根 と海洋での浅いもりあがりはマントル対流という考 え方そのものに疑問をなげかける.深い根をもつ陸 塊はかつての汎地球的地殻のなごりであると解釈さ れるいっぽう,マントルのもりあがりに対応する海 盆は,後の地殻薄化と化学的変化を示し,それは不 均等に分布するマントル作用によってもたらされ た. Spjeldnæsの古気候評価による準定常的な大陸 配置は、このような進化的視点に合致するだろう.

### 架空の証拠

1960年代前半の大陸漂移論は合衆国よりも英国 で受け入れら,王立協会後援のSymposium on Continental Drift が 1964年3月19-20日に開催 された.この会議の招聘者は,P.M.S. Blackett (ロンドン),E. Bullard (ケンブリッジ),および Runcorn (ニューカッスル)であった.会議へのもっ とも顕著な貢献は,Edward Bullard と共著者たち の論文 "The fit of the continents around the Atlantic (大西洋をめぐる大陸の接合)"であった. 2週間後にニューカッスルで開催された Runcorn の NATO シンポジウムでは,漂移以前には大西洋が閉 じていたという点でウェゲナーが正しかったことを ケンブリッジグループが "証明"したとする強力な 世論が生まれた.その中では,北大西洋の完全な閉 塞に対して広大なアゾレス海台が障害になるとウェ ゲナーが考えていた事実については触れられなかっ た.それが無視された理由は,上述したように,当 時は誰もウェゲナーの著書を理解していなかった か,何らかの理由で研究することを妨げられていた からであろう.

王立協会の会議の成果は、1年後に著書として刊 行された(Phil. Trans. Roy. Soc., 258, 1965). Bullardらの論文はおおいに注目を集め、伝統的 な地質学的反対論は急に影が薄くなった.このよ うな大きな関心をよびおこしたのは、Bullard et al. の "最小二乗法"による接合が、確証された科 学的成果であるかの印象をあたえたからである.こ の研究は、当時の最先端になっていたデジタル計算 機の利用と、客観的計算法と球面上でのEulerの定 理に立脚していた.ケンブリッジグループの伝説的 な大陸復元は、図4に示される.しかし、Bullard グループの手法を批判的にみると、漂移に先立つ大 西洋の物理的意味は次の2つの事実によって実質的 に失われる.

a) 漂移同調者たちの願いに適合するように漂移陸 塊と地形等高線が保持されている反面, "適合"し ない地形要素が排除されている. 言いかえると, 彼 らは "好ましくない"ものを除外したのである. た とえば, 大規模なアイスランド海台, フェロー-ア イスランド - グリーランド海嶺, ヤンマイエン海嶺, ウォルビス海嶺などは, 漂移モデルの障害になるた



図4 隣接する大西洋縁の有名な "コンピューター接合" は疑念の ある方法にもとづいていて,科学的価値は皆無であった.この喧 伝された大陸接合は Bullard et al. (1965) によるものであり,大 陸間の黒色部分は重複あるいは欠損領域を示す.考察は本文参照.

めに無視された. ところが,大きなロッコール海台 は,接合可能であるために利用された. 言いかえる と,Bullard et al. の著名な ″数学的配置 ″ はデー タの都合のよい選択と希望的観測の組み合わせにも とづくものであった.

b) 大西洋をはさむ接合にどうしても邪魔になる大陸のはみだしは、"明快さ"のために無視された. ウェゲナー、そして今日ではBullard グループがメキシコの大部分、中米のすべて、およびカリブ海諸島などへの施術は当時から不明瞭で、致命的な疑問となっている.

科学史研究者 Homer Le Grand の記述によると, Bullard と共著者たちが「データをもみほぐし,そ して,くずをつけくわえたり,とりはずしたりして も接合できず,計算機の利用に反して詰め物が生じ てしまった」(Le Grand, 1988; p. 204).ここに示 されたものは,見物人のためのゲーム以外の何もの でもなかった.数学的手法をもちいた新技術,なら びに,見せかけだけの客観性へ注目が集まり,それ 以前と同様,未解明のまま残された真の課題からは 目がそらされたままであった.こうして,ケンブリッ ジグループの研究にたいする反論は,きわめて急激に 消失した.大陸漂移はより大きな注目を集めつづけ, それを外側から終結させることは誰にもできなくな り,批判者たちは自ら沈黙せざるをえなくなった.

Edward Bullardのような著名な地球物理学の研究 者が,なぜ,データベースとして完全に正気を欠い た研究に陥ってしまったのか,不思議でならない. それは、望んでいた評判を容易に得るためであった のだろうか? いずれにしても、この研究がまった く科学的価値をもたないことは明白である.実際に は、それは数学の濫用であった. それにもかかわ らず、"Bullard 接合"は有名になり、数年間にわ たって、地球科学の文献にもっとも頻繁に引用され た. Henry Menard は、"The Ocean Truth"のなか で、ケンブリッジ (Madingley Rise) の研究所に滞 在していた頃—Bullard が大陸漂移に突然の興味を 示す直前—の研究について2,3の回想を述べてい る. Menard (1988, p. 208) は,「1日2回の茶話 会でみんなと話したが、Madingley では注目すべき ことがらは何も知られていなかった.私の記憶では, Teddy [Edward Bullard] を除くと, 誰も大陸漂移 が重要であることを理解していなかった」と記した.

Menard によると、当時 Bullard と緊密な協力関係 にあった Walter Munk も大陸漂移が呼び物になって いたことを覚えていないようだ.ここで問題になる のは、大陸漂移が流行していたのかどうか、すなわ ち、英国の地球物理学研究者たちが Bullard が風見 鶏科学者になった精神的転換に勝っていたとの全般 的印象を抱いていたか否か、である.科学者という ものは、知的流行を護り、支持することによって名 誉と権力を手に入れようとする.これは、Edward Bullard が大陸漂移ににわかに魅了されたことにも あてはまるだろう.大勢に従うことが決定的影響を もたらし、みんながある考え方に傾倒してしまう事 態を(とくに専門家たちがこのような事態を招いて いる場合には)、私たちは見過ごしがちである.

1960年代前半の漂移仮説の隆盛期に、もうひとり の著名な人物、トロント大学の地球物理学分野の教 授 John Tuzo Wilson が論争に加わった. 彼の前半 の学術的基盤の確立期とカナダの先カンブリア系の 地質研究者としての後半期の研究において,彼は全 地球的地質に関して固定論的視点をもっていた.大 陸漂移は地質学的問題の解答にはならないとするこ のような観点は、北米の専門家の大多数の伝統的 思考方法でもあった. Tuzo Wilison は,後に1959 年になってアメリカ版収縮説を支持した (Wilson, 1959).彼は、第2次世界大戦中および大戦後に海 洋底で発見された新しい構造を説明しようとしてい たマントル対流 - 大陸漂移を拒絶していた. 中央海 嶺系について彼は「放棄された海嶺が存在しないこ と,ならびに,海嶺火山活動が微弱であることは, 海嶺がたいへん長期間にわたって、おそらくは地球 史の大半にわたって,現位置に存在していたことを 示唆する」と記述した (Wilson, 1959, p.5).

ところが大陸漂移は流行しつづけ、ちょうど1年後 に Wilson (1960) は移動論的枠組み, すなわち地 球膨張説に賛意を示した. その後まもなく, 彼は大 陸の移動を好むようになり、伝統的な固定大陸とい う概念を放棄した. それのみならず, さらに2年後 には、海洋底拡大説に ″感染し ″(Wilson, 1963), 漂移 / 拡大の真の駆動メカニズムとして Rucorn の 対流モデルを受け入れた.その結果,2年前の彼の 示唆とは異なって、中央海嶺は古くなく、若返るこ とになった. これらの海嶺の地殻は新しく形成され たもので、それゆえに比較的温かく、それらの地形 的起伏はアルキメデスの原理の当然の結果とされ た. 50 歳を超える年齢になった Tuzo Wilson は突 然に彼のそれまでの科学的土台を放棄して、わずか 3年間で2つの新しい科学的道具をもたらした. そ のような2回にわたる主要概念の変更は、この時代 の科学者にはふつうのことがらであったのか、それ とも、もっとも有望な風向きへの単なる方針変換で あったのだろうか?

Tuzo Wilsonは、地球科学界において顕著な地位を 獲得した.1957 ~ 63 年に、彼は IUGG の会長と前 会長となり、多くの賞を受け、国際的講師としても 著名であった.顕著な地位と自在な語りを利用して、 彼の活動には異常に大きなゆとりが生まれた.若く 経験の浅い私は、彼の論文が私の教育にたいへん好 都合であることを見いだした.彼の結論が希望的観 測と補強された夢想(syndrome)の組み合わせによっ て構成されていることに私が気づいたのは、ずいぶ ん後のことであった.

Wilson の論文の1つは、火山島の年代と海洋底拡 大モデルに関するもので、それらの年代が中央海 嶺頂部からの距離が増すほど増大すると想定され た (Wilson, 1963). この予測が正しかったことを 自らの研究で示した、と Wilson は結論した.彼は 次のように宣言した.「対流は…水平運動をもたら す. これは中央海嶺上でのそれらの給源から火山を ゆっくりと遠ざけ、そのために、火山活動が終息す るだろう. 給源は鉛直流の上に固定されているの で、新たな火山をつくるだろう.こうして、時間と ともに、中央海嶺上の個々の給源は、しだいに古く なる1つの死火山列,あるいは、おそらく中央海嶺 の両側に配置された2列の火山列を形成するだろ う」(Wilson, 1963, p. 537). 彼はまったく突然に, 大陸漂移に矛盾するかつての障害も、また、新しい 障害も退けてしまったようだ. Wilson は移動論の 列車に乗り込み、彼にしたがって増大しつづける地 球科学者たちもすぐに飛び乗ってしまった. Wilson の中央海嶺 / 火山島論文は長年にわたってもっとも 頻繁に引用される地球科学文献の1つになったが, いったい幾人が彼の論文の批判的検討に時間を費や したのだろうか?

Wilsonの結論は論文上では簡明で優美であるが、 実際とはまったく異なっている. 中央海嶺の中軸に 沿って若い火山が特徴的に配列するとの彼の主張 は,明らかな間違いであった.アイスランドとヤン マイエンの海嶺は例外だとしても、これらの海嶺に 沿って活動的火山島はほとんど存在しない. たとえ ば太平洋では,活動的火山島は深海海盆中に形成さ れている. さらに、チャールズ ダーウィンの頃か ら大西洋中央海嶺上に位置する St. Paul 岩は非火 山性で、造構力によって固体状態で地表まで運搬さ れたマントル岩石で構成されていることが知られて いた. それにもかかわらず, いくつかのデータベー スでは、Wilson にしたがって、St. Paul 岩の海洋 中央海嶺は若くなくてはならないとされている. Menard は自伝のなかで、「海洋島が中央海嶺から遠 くなるにつれて、それはより古くなるだろう」と の Wilson の願望はいらだたしく,また,間違いで あると述べている. Menard はさらに次のように付 け加えた.「Wilson は多くの輝かしい成果にもかか わらず反駁しうる多数の間違いを犯したが、Menard は彼のデータの重要性への反論を出版することに よる無益な混乱をまねくことを避けた」(Menard, 1986, p. 194).

#### 結論的見通し: 豚肉として豚を買う

1980年代後半以降,私は1960年代の大陸漂移 / プ

レートテクトニクス革命が擬似科学の文化的侵略に ほかならないと論じてきた.この比較的急速な非正 統的転換は、その大部分にわたって、希望的観測、 殉教圧,循環論,非抵抗主義,および権威主義の 組み合わせによって駆動されてきた (Storetvedt, 1997、2003、2010、2014参照)、この仮説にかかわ る事実の批判的検証がほとんど行われていないこと は驚くに値する. 1950年代後半に、極移動経路の 不一致を意味づけるためにある種の大陸間運動が古 地磁気学に求められた. ウェゲナーの側方移動モデ ルは容易に理解できるために、この古くからの無秩 序な仮説が英国人の指導的古地磁気研究者によって すぐに紹介され、地球の地形 - 構造的発達を理解す るうえで大きな画期となった. 1960年代前半まで に漂移論は1つの流行となり、この高揚期に研究者 たちは矛盾する観察結果を一貫して無視し、この新 しい信仰の論拠が完全に確実であるかに振る舞っ た. ところが、この芸術的状態を合理的に把握して いた専門家はほとんどいなかった. 1929年のウェ ゲナーの著作は頻繁に引用されてきたが、後になる ほど、誰もこの著書を理解しなくなった. 基本文献 の原著を読み、学術的怠慢に関する一次情報を得る ために、私は2003年11月下旬にニューカッスル とエジンバラを訪れた.そして,焦点の1950年代 に Keith Runcorn のもとでともに研究を行っていた David Collinson と Ken Creer に面会するためにケ ンブリッジとニューカッスルを訪れた.

私は、まずニューカッスルで David Collinson に会 い,私たちはまる1日にわたって古地磁気学の初期 の歴史とウェゲナー仮説とのかかわりについて語り あった.氏は、ウェゲナーの著書が1966年に再版 されるまで、ケンブリッジでもニューカッスルでも この著書を見たことがなかった、という. Keith Runcorn の場合も同様であろう、と彼は考えていた. 私は David に、帝国大学グループのデカン玄武岩類 に関する Ernie Deutsch の話, ならびに, 彼らのケ ンブリッジ / ニューカッスルチームへの反論(前述) を読んだことがあるか、尋ねた. Davidは, Ernie が私に語ったことへ何ひとつ反対しなかったので, 私は嬉しくなった.翌日,私はKen Creer に会いに エジンバラへでかけ、古地磁気研究が英雄的に活 躍する 1950 年代について議論した. Ken は、彼と Eduard Irving が Keith Runcorn よりも少なくとも 2年早くウェゲナーの大陸漂移を是認したことを論 じた.しかし、彼は、Keith が全世界を廻り続けて、 ヨーロッパと北米における漂移に関する議論を再開 させ、この仮説に対する伝統的抵抗を一手に打ち 破ってきたことを認めた.彼が1950年代にウェゲ ナーの著書を読んでいたか、という私の問いに対し て, Kenn はそれを否定し,「その古い本を図書館で 探しだす時間は,私たちにはなかった」と説明した. Kenn はさらに、彼らはまずもって Arhur Holmes と Alex du Toit の著書のなかでみつけたウェゲナー の古典的図面に興味をもったという. 言いかえると, 彼らはたびたびウェゲナーの著書を引用しながらも, それを読んでいなかったのである. こうして彼らは, 実際には, Holmes/du Toitの著書からウェゲナー仮 説を剽窃することによって,学術的虚偽に加担するこ とになったのである. 言いかえると,著名な英国人古 地磁気研究者たちは(とくに,南極の古地磁気史を無 視していることで)不注意な漂移同調者たちによって 著された二次的文献を検討したにすぎず,そのため に, ″名誉をえながらも″全く虚偽の科学的メッセー ジを拡げてしまったのである.

剽窃してしまうと、自らの言葉で書いたとしても、発 信される主張は完全に狂ってしまい、豚肉として豚を 買うことになる.実際の引用と文献の検討が行われて いないことは、読者は相互に確認され、補強された見 かけ上の独立した文章を読むことになる. そうした場 合,間違いや空想が頑強な都市伝説をもたらす学術刊 行物に満ちあふれることになる.「学界において二次 的出典の利用を避ける本当の理由は、いくつもの伝達 を経たメッセージは伝達過程で修正されたり変質し て、伝言ゲームのような….. 不幸な性癖をもつから である. 仮説, 仮定, および示唆は, そのような過程 を経ると、知識や科学的事実に取りちがえられる可能 性がある」(Rekdal, 2014).現在の事態は、おそらくは、 これまでよりも悪くなっている.業績を求める圧力と 資金のための競争が、不注意でずさんな研究文化をも たらしている (Bauerlein et al., 2010参照). たと えば、今日の多くの地球科学出版物は文献に依存しす ぎていて、全段落が雑誌論文に満ちあふれている場合 もしばしば認められるが、引用文献の大半が読まれる ことなく、それらの理解に努力がはらわれていないこ とが頻繁にある. 誇張された引用は、これらの文献に もとづく考察として何らの新知見をもたらすことがで きな論文は、学術的文献という形骸にすぎない.

にもかかわらず、ウェゲナーの根拠のない大陸漂移 と後継にあたるプレートテクトニクスの全地球的造 構運動の大波が、1960年代には地球科学の全分野を 席巻した. 直後には、この新しいモデルへの支持を 主張することが価値をもち、1970年代以降今日にい たるまで批判は排斥され、嘲笑された. プレートテク トニクス楽団は地球科学の現代性の保証人となり、す ぐにひどく魅惑的なったために、もっとも強力な証 拠にもとづく反駁からさえも守られるようになった (Storetvedt, 1997, 2003 と比較せよ). この学説の 説明能力とさまざまな地質学的現象を結びつける能力 の検証は予想されるほどの結果をもたらさず、複雑性 という困難さの増大も顧みられなかった. こうして新 しい基本的規則性とメカニズム(パラダイム)が広く 支持されるようになると、それは最終的に、いかなる 知的活動においても統合された要素となる社会 - 政治 学,従属圧,権力,名誉および学界での立場で構成さ れる複雑なネットワークにかかわるようになった. そ

して、大多数の研究者たちは、この学説の有効性に かかわって浮き沈みすることになる.

以上の経緯にしたがって, 最悪の支配的学説でさえ も猫の九生 (the cat's nine lives) を得ることに なる.というのは、彼らは間違った馬の背にしがみ ついていて、そしてそれゆえに豚肉として豚を買っ たことを公に認める勇気をもつ人はほとんどいない からである、そのために、地球科学界は数十年間 にわたって, 自らの支配を放棄することを拒絶す る"怪物フランケンシュタイン"擬きによって大々 的に束縛されてきた. それゆえに、長期間にわたっ て抽出された経験的事実の集積によって生じた混乱 の清算は、新しい世代の科学者たちに委ねられるこ とになるだろう.そのような全くの混乱は、今日の プレートテクトニクスが支配する研究活動を特徴づ ける無秩序な場当たり的状況をみればすぐにわかる (図5). 最近20~30年間における地球工学の長足 の進展にもかかわらず、真の現象論的理解には進歩 がない. 全地球地質学におけるすべての主要な疑問 は、バラバラのまま未解明な状況にある.

機能的(現実的)学説が運用可能な知識の流れをか たちづくっていて、それが現象論的多様性から統一 性を創出することに貢献する. そのように展開的操 作ができる思考形成がなされなれば、新しいデータ の流れを統御することはできず、対象とする科学全 体が深刻な後退を余儀なくされるだろう. 全地球地 質学については、宇宙からの測地技術と古地磁気学 の両者が、ある種の大陸間運動の解析をめざしてい る.しかし、数十年にわたる不毛なデータ処理の末 に,水平漂移は機能していないと結論するには,今 後なおも長い時間がかかるだろう、実際、それは、 全地球テクトニクスの堕落をもたらした--という希 望的観測にすぎなかった.もし彼が南極における長 期的な熱帯~亜熱帯気候を示す化石と岩石の証拠を それらの額面どおりに考慮していたならば、南半球



図5 欠陥のある最大学説に導かれると,真の科学的進展—系統 的な現象論的理解—は完全に停止してしまうだろう.こうして, プレートテクトニクスの支配時代は,地球科学の著書や雑誌は真 理と学説に依存した観察の混乱した混合物で満ち満ちていて,そ れらから導かれた解釈や結論はつながりがなく,手に負えない場 当たり的前提からなる重荷をもたらすことになった.

大陸の集合は弓を折る強力な矢になっていただろう.その場合,英国人地球物理研究者たちは,個々の大陸で測定された極移動曲線の不一致を説明するために,側方移動とは別の移動論的描像をさがしもとめていただろう.その場合には,全地球テクトニクスは完全に異なった発達史をたどったであろう. 正直さ・率直さ・単純さが科学を前進させるための真の道であり,不可欠なモラルでもある.

### 文 献

- Bauerlein, M. et al., 2010. We Must Stop the Avalanche of Low-Quality Research. The Chronical of Higher Education, June 13, 2010.
- Blackett, P.M.S., 1956. Lectures on Rock Magnetism, Jerusalem, Weissman Science Press, 131p.
- Clegg, J.A., Almond, M. and Griffiths, D.H., 1954. Some recent studies of the pre-history of the Earth's magnetic field. J. Geomag. and Geoelec., v. 6, p. 194-199.
- Clegg, J.A., Deutsch, E.R. and Griffiths, D.H., 1956. Rock magnetism in India. Phil. Mag., v. 1, p. 419-431.
- Creer, K.M., Irving, E. and Runcorn, S.K., 1954. The direction of the geomagnetic field in remote epochs in Great Britain. J. Geomag. Geoelec., v. 6, p. 163-168.
- Creer, K.M., Irving, E. and Runcorn, S.K., 1957. Geophysical interpretation of palaeomagnetic directions from Great Britain. Phil. Trans. Roy. Soc. London, v. A250, p. 144-156.
- Davies, P., 1995. From Special Introduction to R.P. Feynman: The Fundamentals of Physics Explained, 3rd Ed. London, Penguin Books, 146p.
- Deutsch, E.R., 1058. Recent palaeomagnetic evidence for the northward movement of India. J. Alberta Soc. Petrol. Geol., v. 6, p. 155-162.
- Deutsch, E.R., Radakrishnamurty, C. and Sahasrabudhe, P.W., 1958. The remanent magnetism of some lavas in the Deccan Traps. Phil. Mag., v. 3, p. 170-184.
- Du Toit, A. and Reed, F.R.C, 1927. A geological comparison of South America with Africa. Publ. of the Carnegie Institution of Washington, no. 381.
- Du Toit, A., 1937. Our Wandering Continents. Edinburgh, Oliver & Boyd, 366p. Feyerabend, P.K, 1988. Against Method. New York, Verso, 296 p.
- Gold, T., 1955. Instability of the Earth's axis of rotation. Nature, v. 175, p. 526-529.
- Hartung, G., 1860. Die Azoren in ihrer ausseren Erscheinung und nach ihrer geognostisher Natur. Leipzig, Engelman, 329 p.
- Havlíček, V., 1974. Some problems of the Ordovician in the Mediterranean region. Vestnik Ustred. Ust. Geol., v. 49, p. 343-348.
- Holmes, A., 1944-54. Principles of Physical Geology. Edinburgh, Thomas Nelson Ltd, 532 p.
- Irving, E., 1956. Palaeomagnetic and Palaeoclimatological aspects of polar wandering. Geofis. Pura et Applicata, v. 33, p. 23-41.

- Popper, K., 1990. A World of Propensities. Bristol, Thoemmes Press, 51 p.
- Rekdal, O.B., 2014. Academic urban legends. Social Studies of Science, v. 44, p. 638-654. Runcorn, S.K., 1954. The Earth's core. Trans. Am. Geophys. Un., v. 35, p. 49-63.
- Runcorn, S.K., 1955. Rock magnetism geophysical aspects. Advances in Physics, v. 4, p. 244-291. Runcorn, S.K., 1962 (editor). Continental Drift. London, Academic Press, 338 p.
- Spjeldnæs, N., 1961. Ordovician climatic zones. Norsk Geol. Tidsskrift, v. 41, p. 45-77. Storetvedt, K.M., 1997. Our

Evolving Planet. Bergen, Alma Mater, 456 p.

- Storetvedt, K.M., 2003. Global Wrench Tectonics. Bergen, Fagbokforlaget, 397 p.
- Storetvedt, K.M., 2010. Falling Plate Tectonics Rising new Paradigm: Salient Historical Facts and the Current Situation. NCGT Newsletter, no. 55, p. 4-34.
- Storetvedt, K.M., 2014. When global tectonics became a 'pathological science'. NCGT Journal, v. 2, p. 106-121.
- Wegener, A., 1929. The Origin of Continents and Oceans. Reprinted 1966. Northampton, Dover Publications, 248 p.

# 地球気候コーナー GLOBAL CLIMATE CORNER

人為的地球温暖化 ANTHROPIC GLOBAL WARMING

## Giovanni P. GREGORI

Istituto di Acustica e Sensoristica (IDASC) -Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) giovanni.gregori@idasc.cnr.it

## (岩本 広志 [訳])

要旨:全地球的な気候変動(もしくは地球温暖化,GW)は進行中で,地球の長い歴史の中で記録された他のいくつかの出現の記録に類似している(最終的にはより一層破壊的になるであろう).現在では人口爆発-増大しつづけるエネルギー需要をともなう-が人類を気候システムのかつてない駆動要因にさせている.その結果としての汚染は,気候の重要な側面として適切に考慮されなければならない.しかしながら,よく知られていてしばしば強く警告されるのとは逆に,二酸化炭素が主導的役割をはたしているとの仮説が客観的証拠にもとづいているようにはみえない.人間活動から本質的に独立した他の駆動要因が最大の,最も主要な役割をはたしていることは確実である.ごく最近のNASAの衛星0002から提供された最新の地球二酸化炭素分布図は,思いがけなく,2002年に出版された私の著書(Gregori, 2002)の推論を明確に支持している.

キーワード: AGW, CO2, palaeoclimate, natural catastrophes, environmental ethics, science makers, sciences communicators, ethical organizations, decision makers

# 提案 PROPOSALS

## NCGT 会議の提案 / 示唆の募集 NCGT CONFERENCE PROPOSALS/SUGGESTIONS INVITED

読者のみなさまから、2017年にNCGT 会議を開催することが強く要望されている. 次回会議に向けたあなたの提案と示唆を編集者 editor@ncgt.org. へ寄せられたい.

## 財政的支援について FINANCIAL SUPPORT

NCGT Newsletter は、すべての個人と組織が自由に入手 できる公開オンライン雑誌である.これは、この雑誌の 増えつづける発行費用を賄うために、私たちは読者から の善意・無償の寄付と広告収入に頼らざるをえないこと を意味している.私たちは読者の寛大な財政支援を歓迎 する.

ご希望に応じてごく少部数の印刷版が作成されている. オーストラリアでは印刷費が高額であるため,個人用の 印刷には電子版をダウンロードされることをお薦めす る.2014 年の印刷版購読費は,オーストラリアの購読 者でA\$180,他国の購読者でUS\$200(含:航空便郵送費) である.

自由構成の広告: 裏表紙全面広告でUS\$400/号, US\$1500/年(4号分). 他の場所では,US\$300/号, US\$1100/年(4号分). 半ページ広告は,全ページ費用 の80%. 詳細は editor@ncgt.org. へ.

#### ■ 送金方法

もしあなたが PayPal 口座をお持ちであれば、下記口 座へ送金されたい (PayPal はクレジットカード Visa・ MasterCard で支払い可能). この方法の利用を推奨する.

http://paypal.com/cgi-bin/ 口座名: New Concepts in Global Tectonics E-mail: ncgt@ozemail.com.au (editor@ncgt.org ではない)

- 銀行振替あるいは小切手でお支払いの場合は 宛 名:New Concepts in Global Tectonics
  送先: 6 Mann Place, Higginns, ACT2615, Australia
- 現金で銀行送金する際の銀行口座の詳細 銀行名:Commonwalth Bank (Swift Code:CTBAAU25), Belconnen Mall ACT Branch(BSB 06 2913)
  □座番号:06 2913 10524718
  □座名義:New Concepts in Global Tectonics

## NCG ジャーナルについて ABOUT THE NCGT Journal

グローバルテクトニクスの新概念ニュースレター(現 在のNCGTジャーナルの前身)は、1996年8月に北 京で開催された第30回万国地質学会のシンポジウム "Alternative Theories to Plate Tectonics"の後で おこなわれた討論にもとづいて生まれた.その名称は、 1989年のワシントンにおける第28回万国地質学会に連 携してワシントンのスミソニアンスミソニアン研究所で 開催された、それ以前のシンポジウムにちなんでいる. NCTGニュースレターは、2013年にNCGTジャーナルに改 称された

目的は次のとおりである:

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