



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

An international journal for New Concepts in Global Tectonics

日本語版 Vol. 11. No. 2 (2023 年 10 月)

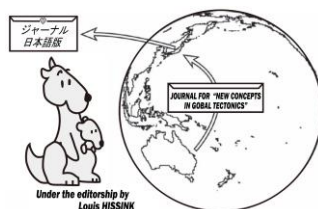
■ Print edition

ISSN 2186-9693

■ Online edition

ISSN 2186-8743

<<https://www.ncgtj.org/>>



編集長: Louis HISSINK (louis.hissink@outlook.com)

編集委員: Bruce LEYBOURNE, USA (leybourneb@iascc.org)

Giovanni P. GREGORI, Italy (giovannipgregori38@gmail.com)

Per MICHAELSEN, Mongolia (perm@must.edu.mn)

Lev MASLOV, USA (lev.maslov@cccs.edu)

目次

■ 追悼 Obituary

Obituary of Gabriele Paparo (1949- 2023) Remembering a dear father

Floriana and Barbara Paparo

ガブリエレ・パパロ (1949-2023) 訃報 (一部のみ訳出)

[柴 正博 訳] 32

■ 原著論文 Articles

Thermal Models of the Continents' and Oceans' Tectonosphere

Vadim Gordienko and Ivan Gordienko

大陸と海洋テクトノスフェアの熱モデル

[岩本広志 訳] 33

Expansion Tectonics: A Proposed Causal Mechanism

James Maxlow

膨張テクトニクス: 原因メカニズムの提案

[柴 正博 訳] 49

■ NGCT ジャーナルについて

..... 55

An international journal for New Concepts in Global Tectonics 日本語版発行チーム

[連絡先] 柴 正博 (shiba@dino.or.jp)

[翻訳メンバー] 足立久男・岩本広志・川辺孝幸・小坂共栄・小松宏昭・柴 正博・宮城晴耕・村山敬真

[事務局メンバー] 足立久男・岩本広志・金井克明・川辺孝幸・柴 正博 (代表)・宮城晴耕

(ページ数について、本号から巻ごとの連番とします.)

訃報 Obituary

ガブリエレ・パパロ (1949-2023) 訃報

Obituary of Gabriele Paparo (1949-2023)

親愛なる父を偲ぶ

Remembering a dear father
Floriana and Barbara Paparo

(柴 正博 訳)



ガブリエレ・パパロは1949年2月2日、チェルコラ (NA) でグラツィア・マッジョーレ (1925年8月1日-2003年9月3日) とジョルジョ・パパロ (1918年6月29日-2001年9月13日) の間に生まれた。1973年までブラッチャーノ (RM) で幼少期と青年期を過ごす。その後ローマに移り、サピエンツァ大学で電子工学を学ぶ。1980年、イタリア国立研究会議 (CNR) の IDAC (Istituto di Acustica O. M. Corbino: O. M. コルビーノ音響研究所) 研究所で研究員としてのキャリアをスタートさせ、固体における相転移の研究やマクロ構造の非破壊検査への AE (アコースティック・エミッション) 技術の応用を研究した。その後、地殻変動をモニターすることで、地殻変動や火山性地震の前兆現象を探索する研究へと発展した。これは、AE 技術を環境および地球物理学的構造のモニタリングに応用することで可能となった。環境音響学の専門家でもあり、特にローマとナポリの市町村の騒音マップを作成した。1980年にフロリアーナの父となり、1981年にバルバラが誕生。2000

年からは、重力波の観測を目的とした VIRGO プロジェクトに協力している。彼は、VIRGO と LIGO 検出器のスーパーアッテネーターの安定化部品であるマレージングブレードへの AE 適用を調査した。

2000年から2004年までトリエステ大学工学部の応用地球物理学コースで教鞭をとる。トリエステ大学、ローマ大学 (ラ・サピエンツァ、ローマ 3)、ラクイラ大学の学生の物理学および工学のさまざまな学位論文の共同指導教官を務め、メッシーナ大学の博士論文の指導教官も務めた。2002年から2003年にかけては、イタリアとアルゼンチンの二国間プロジェクト「自然構造物および人工構造物の微小変形のモニタリング」の責任者を務めた。

2006年5月15日、在ブエノスアイレス・イタリア大使館科学アタッシュェとして活動を開始し、2014年5月まで務めた。こうしてイタリアとアルゼンチンの科学文化交流に携わり、さまざまな科学分野 (天体物理学から分子生物学、医学からバイオマスなどの代替エネルギー、地球科学の研究を含む革新的材料まで) の新しい研究プロジェクトを推進した。2014年6月に引退したが、CNR, INGV, INFN の「準研究員 (アソシエート)」のように、変わらぬ熱意と能力で活動を続けた。物理学および地球物理学の学術誌のレフェリーを務め、イタリア国内外の学術誌に約100本の論文を発表。科学活動においては、国内外の学会に参加し、講演やポスター発表を行った。

2012年から2016年にかけて、彼は5人の最愛の孫の祖父となった：ジュリア、ジョルジア、リッカルド、ガブリエーレ、ロレンツォである。最後に、彼を際立たせた最も顕著な資質として、彼は常に存在し、愛情深く、気配りのできる父親であった。彼は、家族にとって、そして彼に出会ったすべての人々にとって、模範であり、インスピレーションの源であった。孫を溺愛する祖父であり、孫は彼に絶大な愛情を注いだ。彼は寛大で、正直で、親切だった。ただひとつ欠点があるとすれば、あまりにも早く私たちのものを去ってしまったことだ。

原著論文 Articles

大陸と海洋のテクトノスフェアの熱モデル

Thermal Models of the Continents' and Oceans' Tectonosphere

Vadim Gordienko and Ivan Gordienko
Institute of Geophysics NAS of Ukraine
GordienkoVadim39@gmail.com

(岩本広志 訳)

要旨: 本稿は、地質学の理論に基づいて構築された、大陸と海洋のテクトノスフェアにおける深部プロセスのモデルの複雑な地球物理学的制御の第2段階に関する研究成果の発表である。地殻と上部マントルのモデルは、地球の北半球を取り囲むプロファイルのシステムに沿って配置され、その上に（特に海洋では不連続な）DSS セクションがある。最初の段階では、密度モデルの制御が行われる。その結果、すべての場合において、重力場は計算効果によって適合することなく、誤差に相当する不一致な値で説明できることが示された。第2段階は熱モデルで、その効果を観測された地表を通る熱流（HF）分布と比較した。この問題の解法は、非定常熱場の多くの特徴によって複雑になる。その中には、除去しなければならない（しかし通常は除去されない）表面近傍の干渉と考えられるものもある。この研究は、ユーラシア大陸と北アメリカ大陸、大西洋と太平洋、大陸と海洋の間の遷移帯を対象とした。大陸では、活性プラットフォームと非活性プラットフォーム、顕生代の地向斜、地溝が研究された。遷移帯には、最近海洋化したデプレッション（窪地）、島弧、周縁深海海溝がある。海洋では、盆地と中央海嶺（MOR）があり、それらの側面には台地がある。中央海嶺や他の海域では、干渉の激しさから観測された HF を計画的な制御に使用することはできない。他の地域では、熱流場が平滑化された後であることが多いが、結果は得られている。大陸では、状況ははるかに良いが、ここでも許容できないレベルの誤差のために、プロファイルの重要な部分が単に考慮から除外されるべき場合がある。とはいえ、ここでは観測誤差と計算誤差の範囲内で、深部過程の熱モデルと観測された熱流との対応について確信を持って示すことができた。

Keywords: continents and oceans, thermal models of the tectonosphere, comparison of calculated and observed heat flows.

はじめに

この論文は、地球の熱流分布（HF）の主な地域的規則性について、著者の地質学的理論の枠組みの中で説明したものである。これは、大陸や海洋における内生的な体制の種類や年代と、このパラメータの関係について言及している。すべての場合において、テクトノスフェアにおける活発な熱・物質移動により、エネルギー収支が観察される。テクトノスフェアにおける熱と物質移動の具体的なスキームは、著者の著作（Gordienko, 2017; その他）に比較的詳しく述べられている。

ここでは、重力場（Gordienko, 2022a, b; その他）について行われたように、深部過程の地表熱顕現の全スペ

クトルを一つの出版物で示すことを意味する。この問題の解決は、非定常熱場の多くの特徴によって複雑になる。

そのうちのいくつかは、熱収支の主な構成要素を明確にし、制御するために除去する必要がある（しかし通常は除去されない）表面近くの干渉と考えることができる。

その他は、何らかの理由でまだ研究が達成されていないバランスの注目すべき要素である。その結果、熱モデルは不確かな特徴を含んで初めて構築されることになる。第一に、これは最近活性化したゾーンに関するものであり、その深部プロセスはまだ完了していないか、観測された地質現象や物理的分野の異常に十分に現れていない。実質的にすべての海洋内生体系にお

いて、海洋発生以前の出来事や海洋発生の重要な要素の記述には、このような不確実性が残っている。このような場合、深層プロセスの変種が計算される。結果として得られた現在のモデルは、テクトノスフェアの温度分布という点では著しく異なるかもしれないが、地表を通る熱流の値は、パラメータ決定の誤差によって説明される範囲内で変化する。その中には、熱収支の主成分を明確にし、制御するために除去する必要がある（しかし、通常は除去されていない）表面近傍の干渉と考えられるものもある。

したがって、実験技術と解釈スキームの両方を等しく改善する必要がある。

テクトノスフェアの深部プロセスを引き起こすエネルギー源の特定は、現代地質科学の主要な目標の一つである。筆者の考えでは、現在入手可能な情報は、そのようなエネルギー源のパラメータを定量的に記述し、放出されたエネルギーが、文書化されたすべての地質学的歴史を通じて知られているすべてのエネルギー集約的現象と一致していることを証明するのに完全に十分である。私たちは、地殻と上部マントル内での放射性発熱 (HG) について話しているのだが、これは理論上このような立場で使われている (Gordienko, 2012, 2014, 2022a; その他)。

エネルギー収支は、一方では地殻とマントルでの発熱 (HG)、他方では地表を通る熱流の維持に費やされるエネルギーの合計である。後者のパラメータは3つの要素から構成される: 1) 無動媒質の冷却, 2) 無動媒質での熱発生, 3) 活動過程中的テクトノスフェアでの熱・物質移動。他の活動過程 (マグマ, 隆起, 褶曲など) に必要なエネルギーは、活動過程に伴う熱流異常に比べれば取るに足らない (Gordienko, 2012, 2014a; その他)。プラットフォーム ("クラトニック") と海洋地域のマントル岩石間の組成の違いは、Pronin (1973), Boyd (1989) などによって発表された研究で以前に明らかにされていた。

Boyd の意見では、クラトニック岩石は海洋性岩石の「クラスター化」によって形成されたものでは決していない。プラットフォームの外側の大陸地域は中間的な位置を占めている (Boyd, 1989)。

したがって、先カンブリア時代のプラットフォーム、顕生代の地殻変動帯、海洋のテクトノスフェアにおける発熱 (HG) の分布を個別に分析することは理にかな

っている。

熱 源

地殻内岩石中のウラン、トリウム、カリウムの含有量（したがって現代の発熱量）に関するデータは豊富にある。同じ岩石について、P 波速 (V_p) とその温度 (T) と圧力依存性が決定された。その結果、プラットフォーム型の温度分布の場合、連結地殻の岩石のパラメータ $HG=1.28\exp(1.54(6-V_p))$ の相関が確立された。また、堆積層の岩石化度が異なる岩石の発熱量は、 V_p と次のように相関する: $HG=1.264-0.084\exp(0.554(V_p-2))$ (図 1) (Gordienko, 1999, 2000; その他) (HG の単位は $\mu W/m^3$, V_p の単位は km/s)。 (Σ は全輸送エネルギー, $10^{14}J/m^2$)。発熱量を放射性元素の濃度で見積もるために、以下の一般的な式を用いた: U は $0.097\sigma\cdot CW/m^3$, Th は $0.026\sigma\cdot CW/m^3$, K は $0.036\cdot 10^{-4}\sigma\cdot CW/m^3$, K_2O は $0.03\cdot 10^{-4}\sigma\cdot CW/m^3$ (σ は密度, C は濃度)。

すべての場合において、岩石群の発熱量の平均値を用いた。この全く普通の状況についての言及は、マントル岩石の HG (後述) の決定と関連している。堆積層と圧密地殻の発熱データを図 1 (A) に示す。前述の地震波速度に対する HG 分布のパターンを用いて、2 次元および 3 次元の前方定常問題を解いた。実験的に得られたデータとの比較は、主にウクライナのプラットフォーム型領土 (マントルの HF が安定している) で行われ、地殻速度プロファイルと HF の決定を伴う深部地震探査プロファイルの密なネットワークによってカバーされた。HF の変動は、熱流量が大幅に低い地帯を含むすべてのケースで、かなり良好な相関が得られた。このような検証は、使用したデータに顕著な誤差がないことを示している。

ウラン ($4.51\cdot 10^9$ 年), トリウム ($13.9\cdot 10^9$ 年), カリウム 40 ($1.3\cdot 10^9$ 年) の半減期と放射性同位元素の含有量の推定値から、地殻の HG の時間変化が決定された (図 1B)。プラットフォーム地殻がその岩石の発熱の結果として発生する熱流は、典型的な速度分布で 0~36 億年の間に大きく変動しており、平均 $28 mW/m^2$ である (図 1C 参照)。地球の新生代の地殻変動帯では、地殻の厚さは平均してプラットフォーム上の厚さと一致する。10 km までの深さでは速度はやや低く、10~20 km の深さではプラットフォームよりもやや高い。

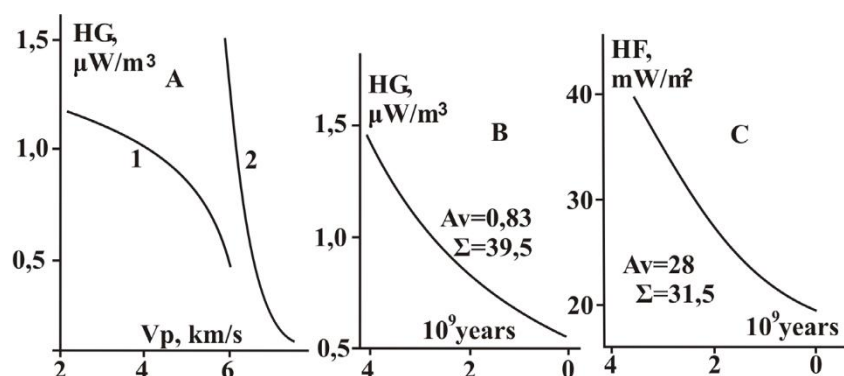


図 1. A は地震波速度の関数としての現代のプラットフォームの地殻岩石（1-堆積層とメタペライト、2-固結地殻）の発熱量の変化。B は地殻岩石の HG の時間変化（ Av は平均値、 Σ は 36 億年間の合成発熱量（ $10^{14} J/m^2$ ）。C は 36 億年間のプラットフォーム地殻の HG による熱流の変動。

より深いところでは、状況は異なる（図 2）。

マンタルの HG 値は、キンバーライトマグマ（筆者が知っているデータの約 3 分の 2）とアルカリ玄武岩（主にプラットフォーム上）によって輸送されたゼノリス中のウラン、トリウム、カリウム濃度の測定結果から導き出すことができる。この 2 つのグループのゼノリスに知覚できるような違いはない。また、ゼノリスに関するデータと、マンタル岩石が地表に出てくる地域（いくつかの中央海嶺（MOR））の、よりまばらな情報との間にも、大きな違いはない。ウランとトリウムのデータは大きく異なるが、カリウムについてはそうでもない。しかし後者は、マンタル岩石の HG の最大 25% を占めるに過ぎない。

マンタル岩石中のウランとトリウムの含有量は、この論文で後述するヒストグラムの最大ピークのレベルであり、重要ではない（Komarov et al., 1973; Sorokhtin et al., 2000; Anderson, 1983; その他）。このような判断は、マンタルの組成が、その非干渉性成分が地殻に輸送されることによって、原始的なものから枯渇したものへと変化するという概念に由来する。問題の観点からは、どちらの主張も極めて不確定であり（初期-原始-マグマの HG とその結果生じた枯渇マグマの HG に関する情報は根拠がなく、著者によって異なる）、真剣に異議を唱えることができる。

この説によると、地球の地質学的な歴史を通じて、地殻エクログャイトはマンタルの体積の半分以上を超える量で上部マンタルに降下した。他の多くの著者、特に他の造構仮説の支持者（Ringwood, 1981; Savko et al.

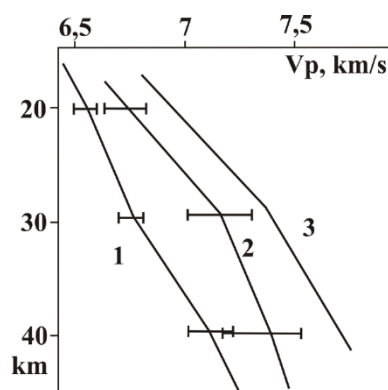


図 2. シールドの地殻の速度分布と新生代ジオシンクラインの速度分布の比較

1- ウクライナ、バルト、カナダ、インド、アルダン、アラビア、オーストラリアの楕状地の平均速度分布（Tripolsky et al., 2004; その他）、2 - ドネツ盆地、カルパチア山脈、クリミア・キメリア、レノ・ヘルシニア帯、モルダビア帯、ヨーロッパ・ヘルシニアと、英国・カレドニア、天山・ウラル・ヘルシニア、カムチャッカ、コルディレラ、アンデス山脈・とキメリデスの平均速度プロファイル（Gordienko, 2012; その他）；3 - 高温を考慮して調整された地向斜地殻の平均速度プロファイル。

2002; Sobolev et al., 1980; Ukhonov et al., 1988; Gao et al.; Green et al., 2004; Jacob, 2004; その他）は、この（当然、その逆の）プロセスの存在と強さについての意見にも固執している。このプロセスの範囲から、組成に関する限り、上部マンタルの下部（ゼノリスが直接地表に運ばれることはない）は上部と変わらないことは疑いない。

マンタル超塩基岩の特異な組成は玄武岩との混合の

結果かもしれないという見解と矛盾し、それらが実際にマントルで形成されたことを証明する証拠はたくさんある。マントル超塩基岩の特異な組成は玄武岩の汚染の結果かもしれないという見解を否定し、それらが実際にマントルで形成されたことを証明する証拠がたくさんある (Feininger, 1980; Francis, 1997; Ionov, 2010) 海洋の地下には、マントルの肥沃な組成を直接示すものがある (Cannatelli et al., 2011) 例えば、大西洋とインド洋の中央海洋海嶺 (MOR) の軸にあるいくつかの超塩基性岩塊は、肥沃な組成を示している (Aumento et al., 1971; Vinogradov et al., 1969; その他)。

放射性元素で濃縮されたマントルは、部分的な融解室 (理論によると上部マントルの総厚は約 60 km) の上に交代的に変化した岩石の中に形成される。これは、K, U, Th の濃度が低い一般的なマントル岩石と、マグマの熱的・化学的作用を受けて透水帯に沿って生じた高 HG の岩石から主に構成される不均質な構造のことである。特に、中央海嶺直下の斜長石相のパイロライト層では、やや深いところで溶け出したソレアイトよりもウラン濃度が高い。ウラン濃度は、蛇紋岩化を補正したものと、変化していない鉱物からなる断片の両方で、大きなかんらん岩の塊状岩で測定されていて、その結果はよく一致している (Aumento et al., 1971; その他)。

例えば、以下のデータでは、マントルの組成は、古代のプラットフォームの下でさえ、枯渇した地層のラベルの下に分類することはできないことを示している。次のようなデータは、マントルの組成が、古代のプラットフォームの下でさえ、枯渇層のラベルで分類できないことを示している。南アフリカ下の上部マントルの半分はハルツバージャイトと枯渇性ヘルツォライトからなり、残りの半分は交代化した肥沃なヘルツォライトからなる。カナディアンシールド下の後者の岩石群は 40% を占め、オーストラリア下は半分を占める (Griffin et al., 2003; O'Reilly et al., 2009; その他)。ロッキー山脈の下にあるマントルは、集積岩、ダナイト、ハルツバージャイト、レルゾライト、ウェアライト、斜方輝石、微晶質輝石、ウェブステライト、グリムライトからなる (Downes et al., 2004)。

Ukhanov et al. (1988) のデータによると、キンバーライト内のゼノリスの助けを借りて研究されたシベリアプラットフォームのマントルプロファイルの一部は、

エクロジャイト (30-70%) で構成され、残りはかんらん岩といくつかのウェブステライトである。エクロジャイトの約 3 分の 1 は地殻起源で、3 分の 1 は起源が不明確、残りはマントル物質である。エクロジャイト中のウランの含有量は、かんらん岩の 2~2.5 倍である (ただし、前述の出典には関連データがほとんど記載されていない)。

ウクライナ盾状地の下の上部マントルは、様々な割合で、レルゾライト、エクロジャイト、ウェブステライト、ダナイト、グリムメライト、輝安鉱の組み合わせで表される (Tsymbal, 1996; Tsymbal et al., 2003) この特殊なケースでは、先カンブリア時代と比較して、顕生代のマントルが枯渇したのではなく、濃縮されたのである (Gordienko et al., 2005)。

バルト楕状地に関する発見は、そこに多種多様なマントル岩石が存在することを証言している (Shchukina, 2013; その他)。大陸や海洋における新生代のアルカリ玄武岩質マグマ活動の多くの地域に関するデータは、スピネル・レルゾライトの様々な変動傾向を明らかにしている。また、枯渇マグマ物質と濃縮マグマ物質の両方に遭遇した (Grachev, 1989)。フランス中央山塊の新第三紀玄武岩によって運ばれたゼノリスには、原始マントルを表すと推定されるものから、極度に枯渇したダナイトまで、幅広い岩石が見つまっている (Sobolev et al., 1996) ハワイの玄武岩によって運ばれたゼノリスは、かんらん岩、ウェアライト、エクロジャイト、ダナイトから構成されている (火成岩の地化学)。

その結果、マントルの年代による一方向的な変質 (枯渇) という概念は、証拠によって裏付けられているというよりも、むしろ推測に過ぎないように思われる。重要なのは、地殻物質が上部マントル組成の形成に関与したことは、多くのデータ (Sobolev et al., 1980; Ukhanov et al., 1988) によって裏付けられているということである。

しかし、入手可能な証拠では、ウランとトリウム濃度が異なるからといって、それを特定のマントル岩石に帰属させることはできない。多くの場合、岩石の記述は、例えば “原始マントル” のような非常に一般的特徴を超えていない。これらの岩石は、実際には、枯渇マントルや肥沃なマントルとの違いよりも大きな化学組成の変化を持つ地層を含んでいる (Grachev,

1989; その他).

裏付けとなる点を挙げればきりが無いが、ここで挙げたものだけでも A を共有するには十分である。「…キンバーライトで見られる橄欖岩と輝緑岩のゼノリスとゼノクリストストの集まりは、マントルの平均的な"サンプル"を構成していると仮定する十分な理由がある」という趣旨の Ringwood の意見 (Ringwood, 1981, p.104) がある。

発熱 (HG) の平均値を決定するために、筆者が約 40 年間収集したデータベースを使用した。関連文献は (Gordienko, 2014) に記載されているが、紙面の都合上、ここでは再現しない。

図 3 は、問題の 3 種類の地域について、マントルの岩石 (および地殻基底岩とエクロジャイト) における放射性元素の分布のヒストグラムである。分析結果の数値の差は大きく、新しいデータを追加してもプラットフォームの結果はほとんど変わらないと考えられ (現在入手可能なデータの 50% しかないときも同じだった)、同じことが地角斜で起こり得る。海洋に関する情報は今のところ不足しており、熱発生の信頼できる評価を可能にするためには、証拠をさらに蓄積することが不可欠である。しかし、入手可能な情報でさえ、地球上の 3 つのタイプの地域について、熱の発生に顕著な違いがあることを指摘している。

熱収支と熱流異常

地角斜の地殻全体の平均的な現在の発熱量の差は、(正確な結果を語ることは無意味であるが) プラットフォーム上より $0.13 \mu\text{W}/\text{m}^3$ 低いと評価できる。プラットフォームの下地殻における現代の総放射性発熱量 ($W_{\text{crust}} = \text{HG} \cdot H$, H は層の厚さを含む) は $23 \text{ mW}/\text{m}^2$ であり、地角斜帯の下では $17.5 \text{ mW}/\text{m}^2$ である。固体地殻の厚さが約 6 km (堆積岩が約 0.5 km, 塩基性岩が約 5.5 km) の海洋の下では、地殻の平均発熱量は約 $0.5 \mu\text{W}/\text{m}^3$ であり、現在の合成エネルギー発生量は $3 \text{ mW}/\text{m}^2$ である。

筆者が想定した上部マントルの底の深さ、すなわち、理論によれば、静止した先カンブリア時代のプラットフォームの下でカンラン石- α が現在の温度でカンラン石- β に変化し始める界面 (約 470 km) は、必ずしも発熱の変化と正確に一致しない。とはいえ、3 つのタイプ

のすべての地域の地殻と上部マントルにおける放射性熱源の総数が、 $42 \pm 0.5 \text{ mW}/\text{m}^2$ とほぼ同じであることを指摘するのは適切かもしれない。この差が計算誤差を超えるとは考えにくい。別の言い方をすれば、現在、地球のどの地点でも同じ量の熱が発生しているが、その発生源は異なる方法で分布しており、これはある種の地殻か別の地殻の形成によるものである。大陸では、ほぼ同じ厚さの地殻が何十億年も前から存在しているのに対し、海洋については状況がはっきりしない。おそらく、現在のような状態 (つまり、モホロビッチ不連続面の深さが約 10 km で、これは正確な仮定ではないかもしれない) では若く、数千万年から数億年前には、大陸と同じような厚さで、おそらく基本的な組成を持つ地殻が存在していたのであろう。これで、一部の地域を除いて、海洋地殻の歴史に関する多かれ少なかれ信頼できる情報はすべて出尽くした。

図 3 のデータは、一次コンドライトマントルから高い HG を持つ地殻が作られること、熱源の地殻-マントル交換の可能性、そしてコア岩石には HG が実質的に存在しないことを示している。

このように、発熱 (HG) の値は F. Boyd によって確立されたマントル岩石の違いを反映している。深さ、温度、鉱物組成が同じであれば、他の特性 (密度、地震波速度、電気伝導率) は、化学組成の既知の変動 (さらに言えば、F. Boyd によって特定された傾向) を反映していない (Gordienko, 2010; その他)。

地殻では、熱流の値に直接現れる約 20% の発熱 (HG) の差が見られる。このような変動がマントルでも見られる可能性は否定できない。したがって、42 億年から 25 億年から 30 億年前には、プラットフォームと地角斜の下マントルの「エネルギー飽和」は、自然変動の範囲内で異なっていた可能性がある。

現在のところ、プラットフォームのマントルにおける HG は $0.043 \mu\text{W}/\text{m}^3$ であり、これはマントルパイロライトの組成に関する A. リングウッドの概念「4 分の 3 がアルプスのかんらん岩, 4 分の 1 がハワイのソレアイトの混合物」 (Ringwood, 1981, p.174-175) とほぼ一致する。確かに、このようなモデルを (パイロライトの化学組成や鉱物組成ではなく) HG の評価に適用する際には、マントルの塩基性岩石は、ウランやトリウムの含有量が玄武岩よりもはるかに低い (HG によると、 0.47 から $0.11 \mu\text{W}/\text{m}^3$ – 図 3 参照) エクロジャイトで代

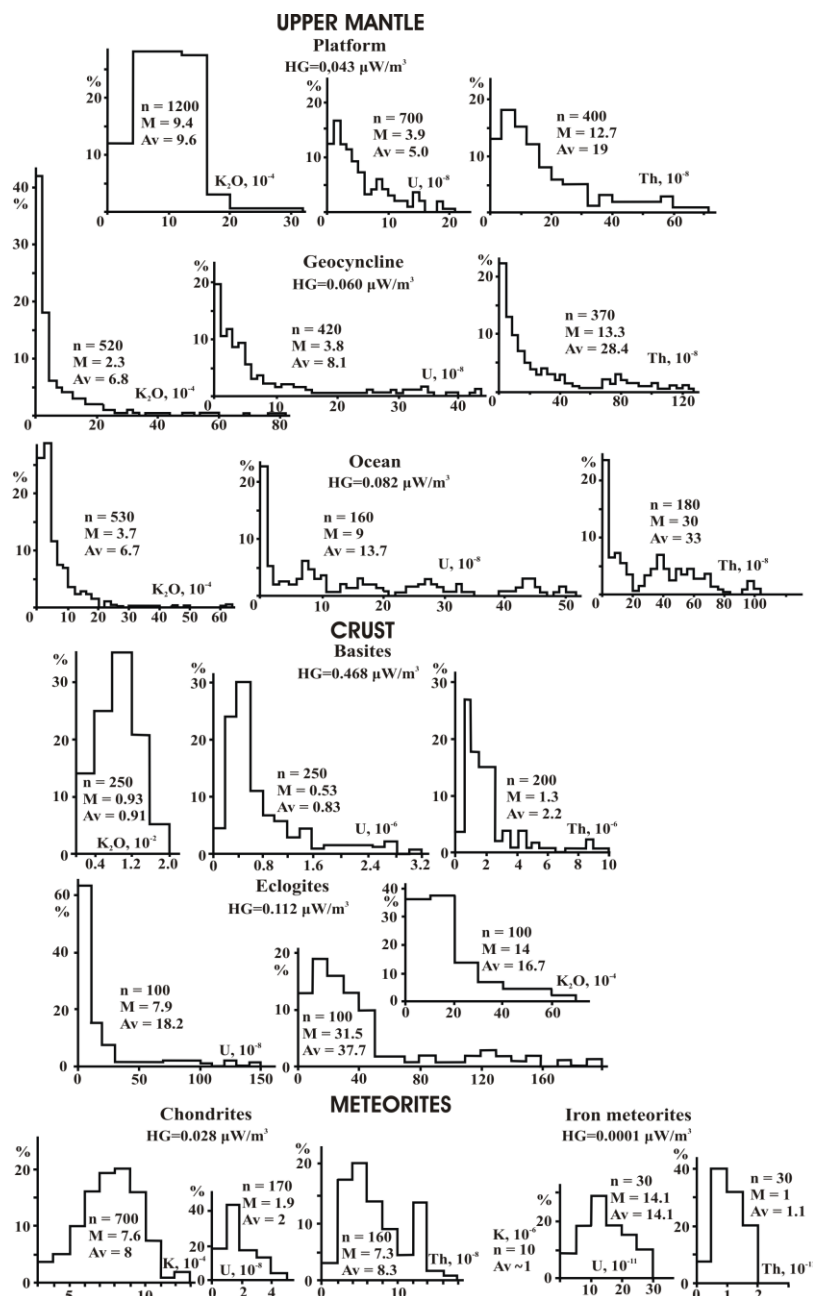


図3. マントル岩石中のプラットフォーム、地角斜、海洋、地殻基底岩、エクログャイト、同様に隕石中のK₂O, U, Th含有量の分布のヒストグラム. nは分析に用いた試料数, Mは中央値.

表されるという事実を認識する必要がある (Gordienko, 2014). 地角斜と海洋では, この値はそれぞれ 0.06 と 0.08 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ である.

マントルの長時間の冷却から熱流(HF)を推定した結果, プラットフォーム下での放射性発熱と実際の PT 条件での熱容量 (Robertson et al., 1995; Waples et al., 2004 その他) は 20 mW/m^2 である. 地角斜と海洋下の HG の増加は, マントルからの熱流を 2-3 mW/m^2 と 5 mW/m^2 増加させる.

熱流伝導の 3 つの成分の合計は, 現在 40 mW/m^2 であり, これは, 深部熱・物質移動に関連する異常の影響を受けていないプラットフォームで観測された熱流に非常に近い. 詳細な調査によってカバーされたウクライナの領域におけるこのような熱流は, ヴォロネジ前斜面, ドニエプルドネツ窪地, ウクライナ楕状地, ヴォリンーポドリスクプレート, 南ウクライナの単斜帯で記録された. 熱流 (HF) が約 2 mW/m^2 高くなることが少なくないが, これは多くの地域で, 比較的発熱

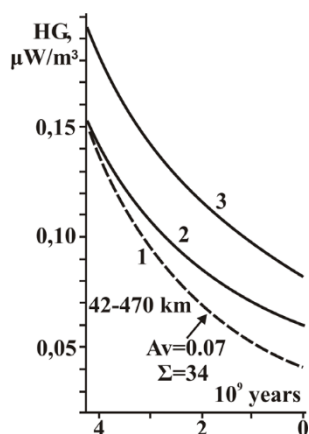


図 4. プラットフォーム(1), 地尙斜(2), 海洋(3)のマン
トル岩石における発熱量の時間変化. Σ はプラットフ
ォームの上部マントルにおける 36 億年間の総発熱量.
(10^{14} J/m 2)

量の高い堆積層が存在するためであり、楯状地では花崗岩類が多いためである。

最近 36 億年間の地殻と上部マントルの積分発熱量は $73.5 \cdot 10^{14}$ J/m 2 である。その間の伝導熱流は $59.5 \cdot 10^{14}$ J/m 2 である。この差は、活発な深部活動過程における熱移動と物質移動によるものである。

ここでは、深部活動プロセスに必要なエネルギーを分析してみよう (W_{actv})。ここでは、現在のプラットフォームの地史において発生した地尙斜、地溝、単一エピソードの活動的プロセスのゾーン（理論によると、地尙斜プロセスには熱と物質移動の 3 つのエピソードがあり、大陸リフティングには 2 つか 3 つのエピソードがある）について議論している。この問題は（Gordienko, 2012 その他）により詳細に分析されている。本稿では、いくつかの一般的なデータのみを検討する。

地尙斜の異常熱流は $0.68 \cdot 10^{14}$ J/m 2 (図 6A) を運び去り、地表近傍の非熱的プロセス（主に地殻ブロックの上昇とマントルの上層）に費やされるエネルギーを考慮すると、地尙斜の 1 サイクルに費やされるエネルギーは $0.8 \cdot 10^{14}$ J/m 2 に増加する。リフティングプロセスでは、この値はやや低く、約 $0.6 \cdot 10^{14}$ J/m 2 であることがわかる (図 6 B)。1 回の活性化には、ほぼ同じエネルギー ($0.50\text{-}0.55 \cdot 10^{14}$ J/m 2) が必要である。後者の場合、実験的な熱流異常の構築は不可能であるため、 W_{actv} の決定には地質学的な理論に基づいて推定された値が用いられた。この異常は、地溝と同様、最大で約 15-20

mW/m 2 に達する。異常は多くの場合局所的であり、活動領域全体に共通するものではない。

過去 3.6 Ga の間に現代のプラットフォームで起こった活動的な出来事のシーケンスは、理論的に再構築されており（Gordienko, 2022c）、地質学的データとよく一致している。その結果、持ち去られたエネルギーの総量は、上記の総エネルギー消費量と伝導エネルギー消費量の差に正確に対応する。

この基礎に基づき、大陸と海洋の内因性領域が活発な地域のテクトノスフェアにおける熱と物質移動のスキームが構築され、現代の熱流の異常値が計算された。

アルプス山脈の地尙斜（原則として、最近の活発化によって複雑化した）では、熱流が急激に増加する。狭いゾーンでは、異常値は低い。マグマティズムの顕在化付近や熱水鉱床では、熱流はさらに高くなり、地域によって大きく異なる。顕著な異常 ($10\text{-}20$ mW/m 2 までの強度) は、キメリデス（テチス海形成の中生界）の後期（ラミデス：後期白亜系～古第三系）における計算と観測の結果を示している。アルプス地尙斜異常では、アルプスの地溝に匹敵する強度の高周波異常が確認されている。

海洋地域では、熱流の伝導部分は約 30 mW/m 2 であり、盆地におけるキメリアの海洋化の残留効果によって、HF は $40\text{-}45$ mW/m 2 になり、最近の活性化が加わると $55\text{-}60$ mW/m 2 になる。この平均値は、若いマグマティズムと熱場の局所的なゾーンでは、より大きな擾乱の形で現れ、パラメータの強い変動につながる。海洋地殻 (MOR) のリフティングの地域では、熱流の平均値は 100 mW/m 2 を超え、火山の顕在化の近くでははるかに高い値が一般的である。このような背景から、大陸への遷移帯にある縁辺海溝や MOR の縁辺台地の熱流の低さが際立っている。これらの海域では（おそらく、最近の活性化以外のほかの海域でも）、キメリアの海洋化の残存効果以外に異常の原因はない。最近の海洋化（背弧盆地）は、 90 mW/m 2 レベルの高い HF を伴っている。

北アメリカ大陸から太平洋への遷移領域における高周波の状況は特異に見える。おもに "海嶺" の東側（実際はここには海底隆起はない）にはファン・デ・フカ・プレートがあり、強烈な高周波異常がある。海底丘のマグマ活動と温度場が知られており、堆積層における海水の深部循環が明らかにされている。マントルにお

ける強い電気伝導帯の発見 (Baba, 2005; Varentsov et al., 1996, その他) があり, この現象の推定 HF は, 最大で 100 mW/m^2 以上であり, 値のばらつきが非常に大きい。

方法論の構成要素

本稿で扱う実験材料は, ユーラシア大陸, 北アメリカ大陸, 大西洋, 太平洋を横断し, 北半球で地球を一周する (海洋で不連続な) DSS プロファイルの分布系 (図 5) に関連する地質学的・地球物理学的データの配列である。地殻内の密度は速度断面を用いて決定された (Gordienko, 2022b)。速度モデルに関する文献は本書に記載されている。ここでは, 大西洋を横断するアンゴラ-ブラジルのジオトラバースに関する情報 (Pavlenkova et al.1993; その他) これは大西洋中央海嶺 (MAR) の地殻構造の理解を補完するものである。

地殻内岩石の放射熱発生量を計算するには, 地殻内岩石分布に沿った密度区間を作成するのが便利である。そのために, 上記の V_p と HG の関係式を, 筆者が用いた速度-密度関係式で補足した。この式は, 他の式とは異なり, 異性化段階における一次堆積岩の実際のパラメータをより完全に説明するものである (Gordienko, 2022a など) (図 6a)。もちろん, このアプローチを効果的に適用するためには, 地殻の組成に関する地質学的情報が必要である。平均組成に注目する場合, 発熱量と岩石密度の関係を直接参照することができる (図

6b)。

この研究の意義は, 熱流に関する実験データによって理論的な熱モデルを制御することである。このような操作, すなわち計算データと観測データの比較は, 両パラメータの誤差が許容範囲内であれば有効である。この場合, 誤差の概念には, 測定やその結果の処理における技術的な欠陥の結果だけでなく, 理論モデルに含まれていないプロセスの影響も含まれる。可能であれば, すべての要因を評価する必要がある。

表面を通過する熱流の大きさを決定する熱源の計算には, 上記の成分が含まれ, その特性は, 異なる内因性領域ゾーンにおける重要な材料の一般化に基づいている。使用されたデータブロックの材料に基づくものとどの程度一致しているかをチェックすることは理にかなっている。このような管理は, まず, 海洋, 大陸プラットフォーム, および顕生代の地向斜の領域の地殻放射性 HF の平均値に対して行われた。最初のケースでは, 予備推定値 (上記参照) と実質的に一致する値 (4 mW/m^2) が得られた。他の 2 つでは顕著な違いが見られた (図 7)。

この誤差は数 mW/m^2 ($2-4 \text{ mW/m}^2$) であり, 最近の放射化ゾーン分布の過小評価と関連している可能性がある。このような誤差は, 実験データの精度が高い場合には重要である。後者のパラメータを近傍点の HF 変動値から求めると, 大陸で同程度の値 (平均約 7 mW/m^2) になる。つまり, 比較誤差が重要でない可能性が高い

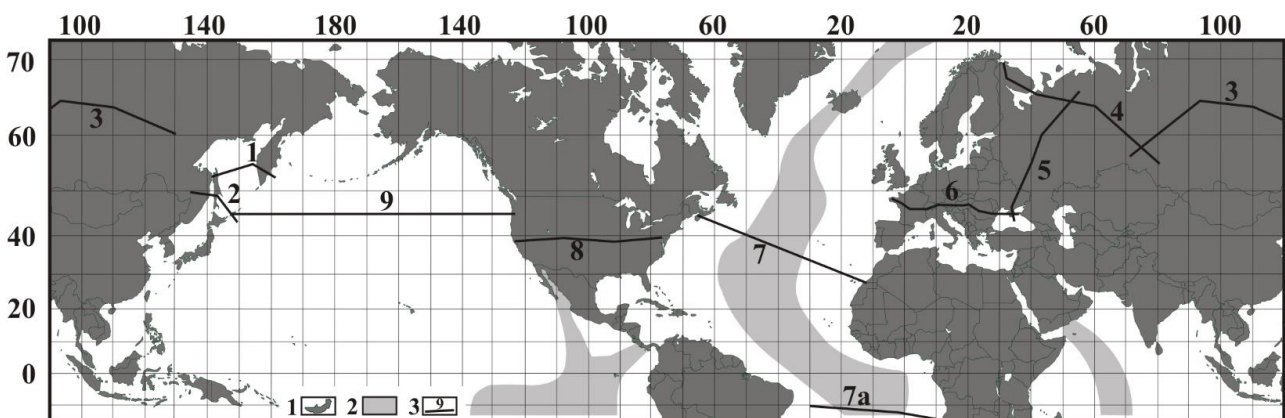


図 5. モデリングを行ったプロファイル, (図 9,10 のプロファイル位置図: 訳者より)

1 - 大陸, 2 - 中央海嶺, 3 - プロファイルとその番号,

1- サハリン-カムチャッカ海溝, 2-シホテ-アリン-北海道立坑, 3-キンバーライト, 4-石英, 5-黒海-ウラル, 6-ケルチ-英仏海峡, 7-ハリファクス-ダカール, 7a-アンゴラ-ブラジル, 8-ワシントン-サンフランシスコ, 9-千島列島-カスケード山脈。

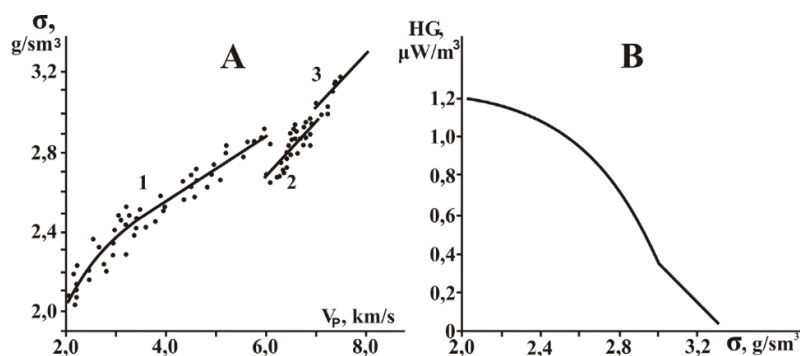


図 6. 地殻内岩石の密度と縦波速度の関係 (a) および発熱量と密度の関係 (b) 1 - 堆積岩の続成作用の早 - 晩期段階, 2 - 結晶質岩で V_p が 7.2 km/s 未満, 3 - 7.2 km/s 以上.

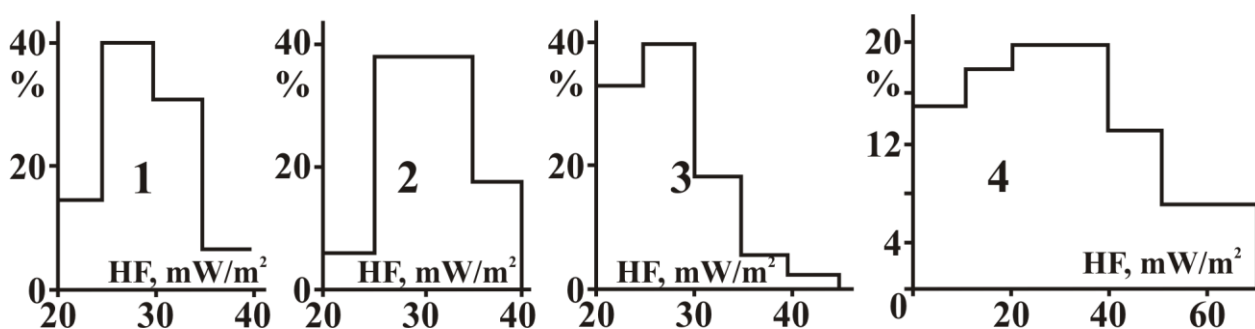


図 7. 地殻 HF の大陸成分の分布ヒストグラム (プラットフォーム全域のプロファイル (1) および顕生代の地向斜, (2) と大陸のプロファイルのばらつき (最も近い点の平均 HF からの偏差), (3) および海洋 (Stein et al., 1992; その他) (4).

ので、大陸のデータに基づいて定量的な制御レベルを語る事ができる (例外については後述する)。海洋の状況はかなり異なる。HF 変動の平均値は約 30 mW/m² である。大西洋中央海嶺 (MAR) 内には、非常に大きな変動の領域が広がっている。多くの可能性のある例の一つとして、MAR と盆地の隣接部分に関する研究 (Le Gal et al. 1100 km 幅の帯域で、単位から数千 mW/m² までの HF 変動の限界が確立され、尾根軸に平行な各回廊で、これらの範囲はすべての中間熱流値で密に埋められている (図 8)。

その平均値は、海嶺から遠ざかるにつれて拡散生成物が冷却されるという、一般に受け入れられている仮説とは一致しない。当然ながら、このような状況では、現代の火山活動が活発な他の多くの地域と同様に、地表を横切って発生する熱流によって深部プロセスのスキームをチェックすることは意味をなさない。このような分析に適さない HF のもう一つの変形は、熱流がゼロの領域が存在することであり (Veselov et al., 2007 その他)、その性質はまだ確実に解明されていない。

計算の結果、あらゆる種類の内因性体制のもとで、

地殻が生成する放射性熱流の上記の変化 (全体の約 15%) は、活動領域のテクトノスフェアにおける熱・物質移動パターンの形成に根本的な影響を与えないことが示された。そこから計算された熱流異常は、観測データとの比較に用いることができる。計算された HF の他の成分についてもほぼ同じ推定が可能である。それらの影響を合わせると約 6 mW/m² に達する。観測された HF の通常の変動 (図 7) を考慮すると、10 mW/m² のレベルでこれらのデータとの不一致が予測できる。海洋で観測された HF の変動はかなり大きく、計算値との不一致を 30 mW/m² 程度に制限するのはその値である。

計算値の変化は、大陸における実験の平均誤差よりも小さい。海洋では、火山活動や他の (まだ研究されていない) 擾乱が活発な中央海嶺 (MOR) や他のいくつかの地域では、適用された方法による深部プロセスのモデルの制御は実行不可能であると認識する必要があることが多い。

結 果

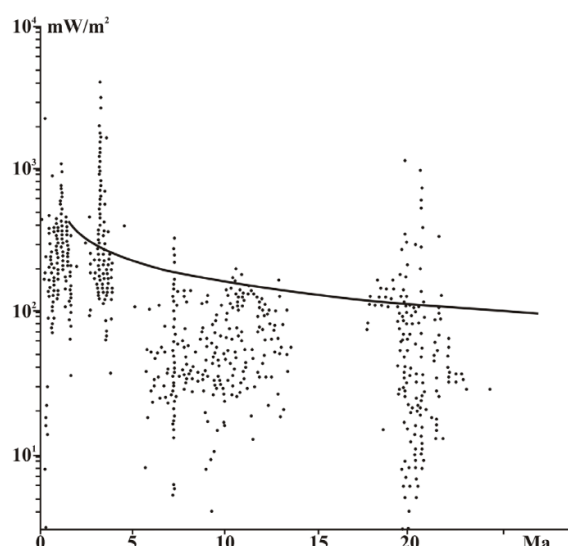


図8. 大西洋中央海嶺軸からの距離 (Le Gal et al., 2018; その他) と海洋地殻の年齢 (プレートテクトニクスの考えによる) による HF の変化. 線は、拡散軸から遠ざかるときのプレートの冷却に伴う HF の変化.

図9と図10に示した実験データとして、大陸と海洋における HF の分布に関する多数の出版物からの情報を使用した (Blackwell et al., 2004, 2006, Davies, 2013, Fuchs et al, 2021, Gordienko, 2017, Gordienko et al., 2002a, 2002b, 2004, Heat..., 1987, 1991, Le Gal et al., 2018, Phrampus et al., 2017, Stein et al., 1992, Tectonic..., 2006, Tectonosphere..., 1992 等). 決定数は概して多いが、高周波観測網が非常にまばらな地域は海洋に多く、大きな歪みの影響が明らかな場所が多い.

図9は、太平洋とユーラシア大陸の北東端海域を通るプロファイル1から5を示している.

プロファイル1と2の中央にはオホーツク海があり、サハリン (プロファイル1では北側の閉塞部付近)、カムチャッカ、千島弧のアルパイン地向斜に縁取られている. シメリアン構造は、シホテ-アリン (プロファイル2)、カムチャッカ東部、オホーツク海基盤によって表される. 後者の一部 (南オホーツク海盆と西からそれに隣接する領域-プロファイル2) は、異なる段階の海洋化プロセスによって覆われている (Gordienko, 2017 その他). ここでは、島弧から背弧海盆への海洋化プロセスの移動がはっきりと現れている. カムチャッ

カと千島列島の東で、海溝を横断し、北西太平洋プレートの端-北海道のうねり-に達する (プロファイル2).

また、テクトノスフェアの熱モデルや熱流の分布も高い信頼性で計算された. しかし、HF の計算値と観測値との間にはかなり大きな乖離がある. これはマグマティズムの顕在化と関連していることは間違いないが、その影響は計算分野にはない. オホーツク海のプロファイル1の干渉の性質は、どこでも明確ではない. 数少ない観測データを収集し、プロファイルに沿って幅約200 kmの帯域で平均した. 明らかになった不一致は予測されたレベルを超えていない.

プロファイル3は活性化したプラットフォーム・プレート (Gordienko, 2022b) を示しており、この内因性領域は55-60 mW/m²のHFに相当する (上記参照). pc 0-1500では、観測された熱流はこれらの値から誤差程度しか変わらない. 東に向かうにつれて、地殻の値よりも小さくなる. 坑井のサーモグラムに対する永久凍土の影響は、ここでは誤って説明されているので、このようなデータは使うべきではない.

プロファイル4は、活性化されていない先カンブリア時代のプラットフォーム (pc 0-1000) の断片と、活性化された主にヘルシニアン・プラットフォームを示している. 活性化の年代は、最小期 (新第三紀~第四紀) をわずかに上回り、熱流の増加は約50 mW/m²までと推定される. プロファイル5の状況は、南端部でのみ説明したものと異なっている. ここでは、スキタイプレートと黒海の海洋化過程における最近の活性化の影響が考えられる. 対応するHFの計算値は、プロファイル4と同様に、観測値と大きな違いはない. 熱流束の計算値と実験値の間の平均的な不一致は、誤差によって完全に説明される.

プロファイル6は、内生的領域 (それに応じてHFの異常値) の点で非常に異なる地域を横切っている. 西側では、ヘルシニアン造山期の基盤があるアルモリカン山塊では、最近の活性化と海洋性ビスケー盆地の影響が現れ、熱流はバックグラウンドのものより顕著に高く、東に向かって増加する. 中央山塊では、レノ・リビア地溝内で最大になる (約100 mW/m²). その後、計算されたHFは、アルプスの比較的狭いアルプス山脈の地向斜で80 mW/m²まで減少し、パノニア山塊で再び増加する. トランシルヴァニア盆地では相対的に減少し、ララミー造山期の南カルパティアでは増加し、

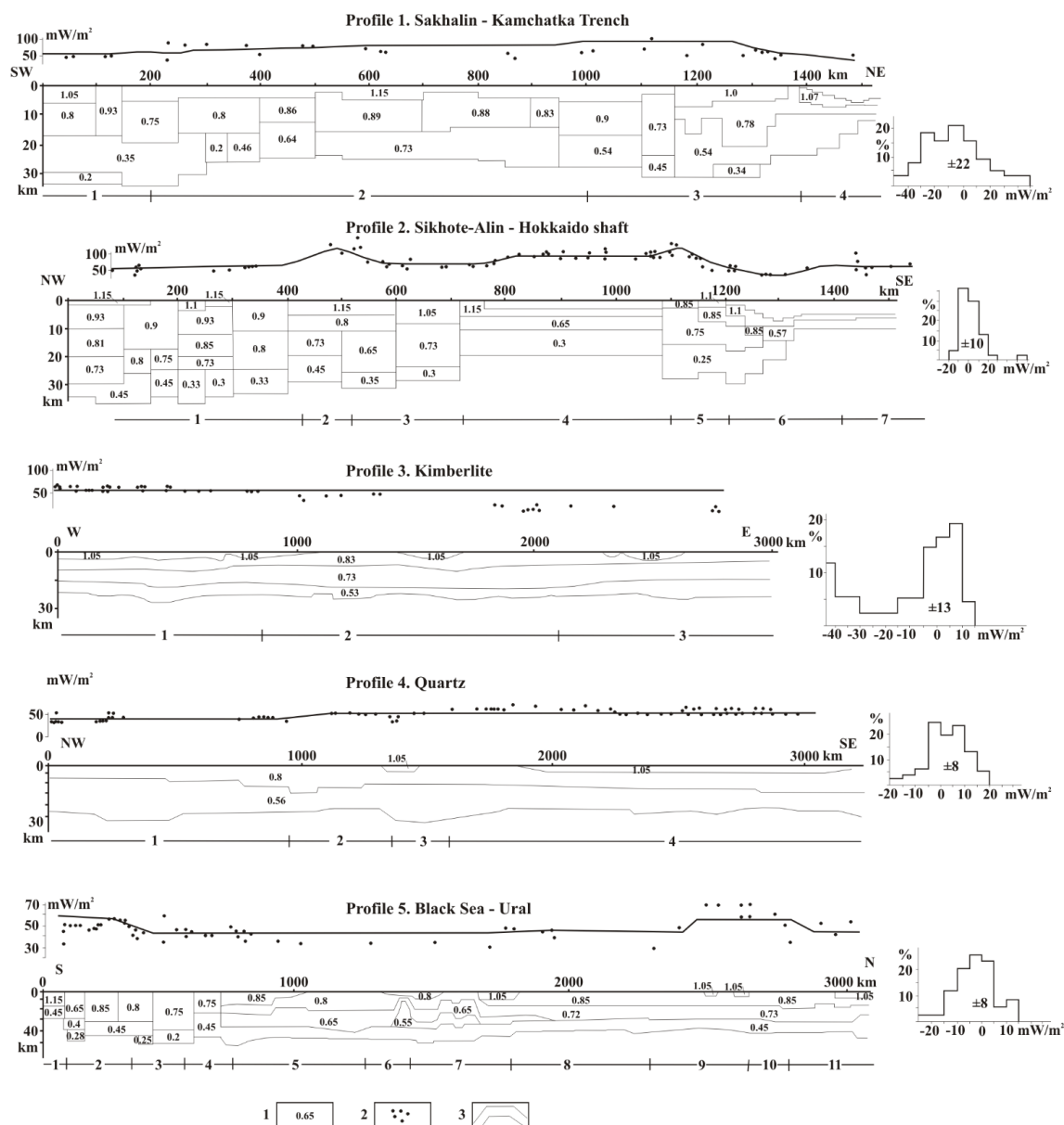


図9. 地殻岩石における放射熱発生量の分布 (単位: mW/m^2) (1), プロファイルに沿った熱流の観測値(2)と計算値(3), および観測値と計算値の熱流の差の分布のヒストグラム.

プロファイル 1. サハリン-カムチャッカ海溝. 1-サハリン, 2-オホーツク海, 3-カムチャッカ, 4-カムチャッカ海溝.

プロファイル 2. シホテアリン-北海道スウェル. 1-シホテアリン, 2-タタール海峡, 3-サハリン, 4-オホーツク海, 5-イトゥルプ, 6-千島海溝, 7-北海道スウェル.

プロファイル 3. キンバーライト. 1-西シベリア・プレート, 2-シベリアプラットフォーム, 3-ヴィリユイ海盆. プロファイル 4. 石英. 1-東ヨーロッパ・プラットフォーム, 2-ペチョラ・プレート, 3-ウラル山脈, 4-西シベリア・プレート.

プロファイル 5. 黒海-ウラル. 1-黒海, 2-スキタイ・プレート, 3-ウクライナ・楕状地, 4-ドニエプル・ドネツク盆地, 5-ヴォロネジ山塊, 6-パッヘルマ・トラフ, 7-トクモフスキー・アーチ, 8-モスクワ陸向斜, 9-ティマン海溝, 10-ティマン, 11-ペチョラ・プレート.

カルパティア前深部では減少し, ドブルヤとスキタイプレートでは中程度の増加が観察された. ヨーロッパのこの断片 (HF に関して最も研究されているもののひ

とつ) における実験データとの一致は, 非常に満足のものである.

プロファイル 7 と 7a は, 海洋中稜域の地殻構造につ

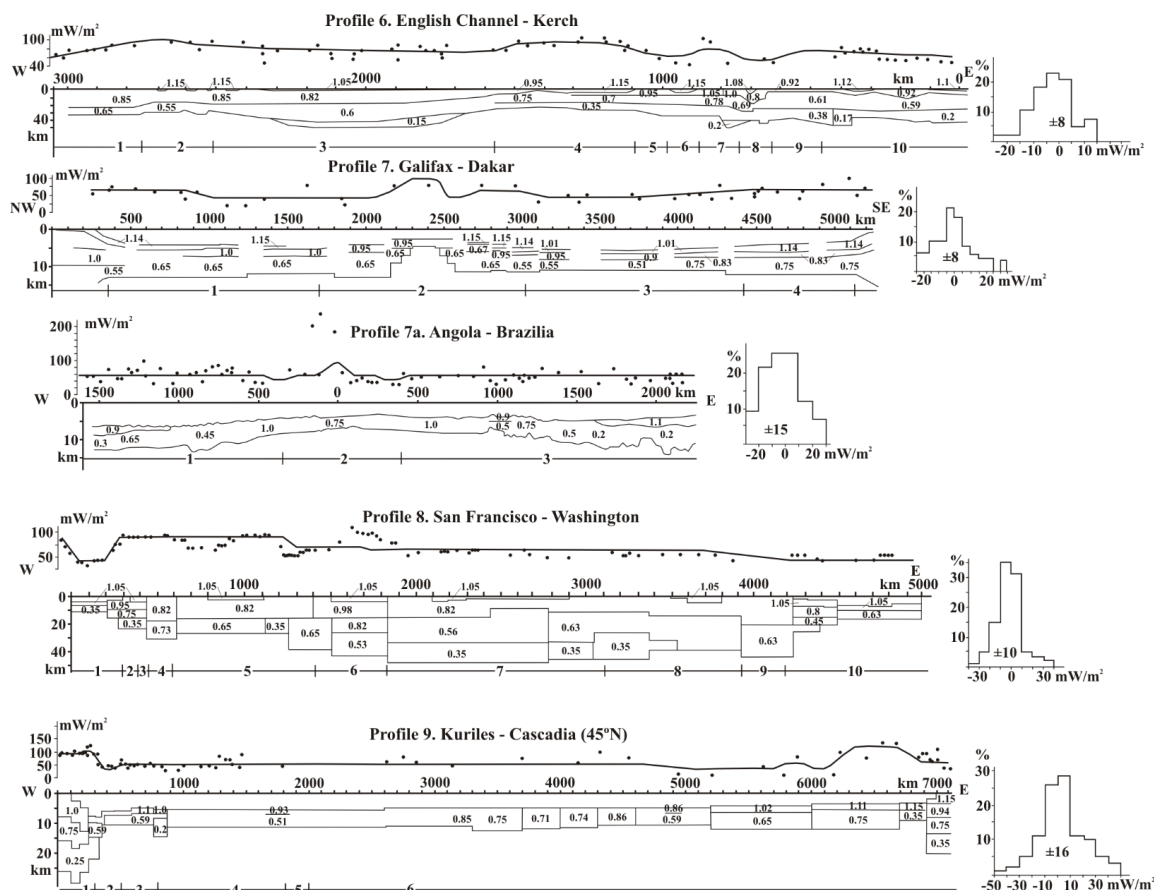


図 10. 地殻岩石における放射熱発生量の分布 (単位: mW/m^2), プロファイルに沿った熱流の観測値と計算値, および HF の観測値と計算値の差の分布ヒストグラム. 図 8 の凡例を参照.
 プロファイル 6. 英仏海峡-ケルチ. 1-アルモリカン山塊, 2-中央山塊, 3-アルプス山脈, 4-パノニア山塊, 5-アプセニ, 6-トランシルヴァニア盆地, 7-カルパティア山脈, 8-カルパティア前縁盆地, 9-ドブルジャ, 10-スキタイプレート.
 プロファイル 7. ガルディファックス - ダカル. 1- 北アメリカ大陸海盆, 2- 大西洋中央海嶺, 3- カナリア海盆, 4- カーボベルデ海嶺.
 プロファイル 7a. アングロ・ブラジリアン. 1- ブラジル海盆, 2- 大西洋中央海嶺, 3- アンゴラ海盆. プロファイル 8. サンフランシスコ-ワシントン. 1- 太平洋, 2- 海岸山脈, 3- グレート・バレー, 4- シエラネバダ, 5- ベーズン・アンド・レンジ, 6- ロッキー山脈, 7- 大平原, 8- 中央平原, 9- アパラチア山脈, 10- 大西洋. プロファイル 9. 千島列島-カスケード山脈 (北緯 45°). 1-千島列島, 2-海溝, 3-北海道スウェル, 4-北西太平洋盆地, 5-天皇海山, 6-北東太平洋盆地, 7-ファン・デ・フカ・プレート.

いてわずかに異なる考えを持つ大西洋の横断を示している. この特徴は, 海洋に共通する疎な観測網を用いた場合, HF の計算値と観測値の一致に何ら影響を与えなかった. 図 8 に示したデータ (プロファイル 7 が海嶺と交差する付近で得られたデータ) と比較すると, 火山活動が活発な領域で, 計算された熱モデルを実験情報で検証しようとするものの無理が明らかになる. 尾根の向こう側では, 数少ない地質学的・地球物理学的データ (Le Gal et al., 2018, Pavlenkova et al., 1993, Pushcharovsky, 2002;その他) によれば, 最近活発化した地域を大なり小なり特定することが可能である. 計

算された HF 分布はそれに従って構築される (上記参照). 実験データとの一致度は誤差によって説明される. プロファイル 7 については, HF フィールドを平滑化すると, より良くなる. 観測網が非常に疎なため, 情報は 500 km 幅の帯域で収集された. プロファイルの近傍のピケットに該当する値の平均化が行われた.

プロファイル 8 は北米を横断し, 太平洋と大西洋の沿岸部を通過する. プロファイル全体を通して, 海底油田の研究は, 横断した地域の地質学的歴史と同様に, かなりのものである. 一般的に, 状況はプロファイル 6 で説明したものと似ている: 異なる年代の非活性化

プラットフォームの領域は実質的に存在しない。プロファイルの西端では、海洋地殻を持つ太平洋の断片も活性化しており、活性化は特異的で、プロファイル 9 ではより容易に見ることができる。大陸では、後ヘルシアン造山期と先カンブリア代のプラットフォーム領域で、計算された HF 値は 65 mW/m^2 と推定される。西側ではララミー造山期とアルプス造山期の活性化した地向斜と、盆地と尾根のアルプス地溝の中で、熱流ははるかに高く、約 90 mW/m^2 である。計算結果は、熱場や若い堆積の激しいトラフの影響を欠いており、当然、計算値と実験値の間のギャップを大きくしている。比較の対象となる HF 観測値の数を増やすため、プロファイルに沿って幅約 200 km の帯状にサンプリングした。構造ゾーンと熱流アイソラインの境界は、決してプロファイルの法線上にあるわけではない。その結果生じるばらつきをなくすために、(プロファイル上の) 近い点でのデータの平均化が用いられた。これにより、プロファイル上に配置される単一の値の数が半分になった。このような平滑化により、HF の計算値と実験値の差は完全に誤差で説明できるようになった。

プロファイル 9 については、その大部分で 500 km 幅の帯状に情報が収集され、プロファイルのピケット近傍のデータは平均化された。プロファイルの端の部分では、帯幅は 2-3 倍少なかった。

利用可能なデータによると、海洋盆地のプロファイル 9 の大部分において、活性化領域と不活性化領域を区別することは不可能であるが、その存在そのものは疑う余地がない。活性化の兆候は局所的に分布している。したがって、このようなプロファイルの断片すべてについて、計算された HF 値は平均的なレベル、約 57 mW/m^2 とされた。

筆者の見解では、いわゆるフアン・デ・フカ・プレートは、フアン・デ・フカ海嶺から北米沿岸近くの棚までの事実上全領域にわたって、海洋中央海嶺系の一部である。フアン・デ・フカ海嶺を海洋中央海嶺と同一視する根拠はない：プレート面からの高さは無視できるほど小さく、その幅は典型的なものとは 1 桁以上異なり、その西端で直接観測される熱流はバックグラウンド値まで低下している。同時に、フアン・デ・フカ・プレート上の熱流は非常に高く、マグマだまりの浅い場所と活発な温泉を示唆している。地殻下マントルの地震波エネルギーの吸収が異常に高い帯が明らか

になったのはスラブ上であり、「海嶺」と西側には存在しない (Forsyth et al., 2018)。異常に厚い堆積層が存在するのは、大陸のすぐ近くに位置し、海溝がないことと関連している。一部の地質学者 (Belousov, 1982; Frolov et al., 2011; その他) は、カリフォルニア湾以北の東太平洋海嶺が大陸部分と海洋部分に分かれていることを認めている。熱モデルの観点から、海洋中央海嶺の厚いアステノスフェアの全縦方向伝導率 (S) は $4,500 \text{ Sm}$ と推定できる。Varentsov et al. (1996) によれば、フアン・デ・フカ海嶺の真西では、導電体はもはや検出されていない。Baba (2005) のレビューでは、中央海嶺テクトノスフィアの伝導率 (S) は $6,000\text{-}10,000 \text{ Sm}$ と見積もられている。この著者は、後者の推定は信頼性が低いとしている。

おそらく北米大陸の西海岸に沿って、海洋地殻上に新しい MOR の発達が始まる。隆起はまだ堆積層の剥離には至っていない。しかし、熱流束は (計算結果によれば) すでに 100 mW/m^2 以上になっているはずである。

南オホーツク海盆や千島列島では計算値も観測値も高く、限界深海海溝では低い。

全体として、計算データと実験データの一致は、海洋については満足のいくものと考えられる。

もちろん、熱流によってテクトノスフィアの熱モデルを制御するという設定された課題が、干渉による深部高周波の強い歪みのために解決できない領域が存在することに注意されたい。

結 論

地球上のほとんどすべての既知の内因性レジームに関する実験データと計算データを概説した形で考察することができたのは、現在になってからである。最近まで、使用された実験情報のかなりの部分が欠落していた。海洋の多くの地域では、現在でも、熱流場の信頼できる記述にはまだ不十分であり、特に火山活動地帯におけるパラメータの急激な変動が明らかになっていることを考慮すると、なおさらである。このようなゾーンは、定量的分析に利用できるリストから事実上外れており、その境界でマグマが活性化しているという事実を述べることはできない。

このような干渉があるにもかかわらず、海洋の広い

範囲にわたる大量の観測データが関与しているため、最近の活性化体制下とそうでない場合の太平洋と大西洋の盆地における深層過程と熱流のモデル間の一致を示すことが可能であり、限界の谷、限界の台地、最近の海洋化が進行している領域、島弧に関連する効果に注意する必要がある。残念ながら、中央海嶺の深層過程そのものに内在する効果について語る必要はない。計算された HF と観測された HF が一致するケースは形式的なもので、むしろ観測網の密度が不十分であることを物語っている。図 9 と図 10 の発散ヒストグラムは、ほぼ同じ方法で推定されるはずである。得られた RMS (Root Mean Square) : 二乗平均平方根)値は、海洋における実験的な HF の誤差を考慮すると、かなり満足のいくものである。しかし、これらの誤差そのものは大きすぎる。つまり、これまでに達成された結果は、経験的データとモデルとの間に矛盾がないことを「半定量的」と認識すべきである。

大陸では、状況ははるかに良いが、ここでも、許容できないレベルの誤差のために、プロファイルの重要な部分が単に考慮から除外されるべき場合がある。とはいえ、ユーラシア大陸と北米大陸の異なる年代の活性化プラットフォームと非活性化プラットフォーム、若い地向斜と地溝内において、深部プロセス熱モデルと観測された HF との対応関係を確実に示すことができた。

本研究の目的は、実験資料の量と質が許す限り達成されたと考えることができる。

現在および過去の地殻変動の地域的研究において地熱情報をさらに活用するためには、高周波観測網の密度を大幅に高めることに加えて、地殻や上部マントルからの熱流成分の信頼性の高い診断を妨げる干渉源が形成される浅い深さでの熱および物質移動の状態の研究にもっと注意を払うべきである。

文 献

- Anderson, D. (1983) Chemical composition of the mantle. *J. G. R.*, 88, Supplement, 1341-1352.
- Aumento, F. and Hyndman, R. (1971) Uranium content of the oceanic upper mantle. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 12, 373-384.
- Baba K. (2005) Electrical conductivity structure in marine tectonic settings. *Surveys in Geophysics*, 26 (6), 701-731.
- Belousov, V. V. (1982) *Transitional zones between continents and oceans*. Nedra, Moscow, 152p.
- Blackwell, D. (2006) Assessment of the Enhanced Geothermal System Resource Base of the United States. *Natural Resources Research*. 2006. 15(4). 283-308 DOI:10.1007/s11053-007-9028-7
- Blackwell, D. and M. Richards (2004) *Geothermal Map of North America*. 1:6,500,000, AAPG.
- Boyd, F. (1989) Compositional Distinction Between Oceanic and Cratonic Lithosphere. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 96, 16-26.
- Cannatelli, C., M. Frezzotti and V. Zanonb (2011) Heterogeneous refertilization of the upper mantle beneath the Azorean volcanoes. Evidence from mantle xenoliths. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2011*, abstract #T51H-246.
- Davies, J. (2013) Global map of solid Earth surface heat flow. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14. DOI 10.1002/ggga.2271.
- Feininger, T. (1980) Eclogite and related high-pressure regional metamorphic rocks from the Andes of Ecuador., *J. Petrology*, 21(1), 107-140.
- Forsyth, D., S. Bell (2018) Shear attenuation beneath the Juan de Fuca Plate: Implications for mantle flow and dehydration. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 496, 189-197. DOI: 10.1016/j.epsl.2018.05.035
- Francis, D. (1976) The origin of amphibole in lherzolite xenoliths from Nunivak Island, Alaska. *J. Petrology*, 17(3), 357-378.
- Frolov, V. T. and T. I. Frolova (2011) *Origin of the Pacific*. Moscow, MAKSPress, 52p.
- Fuchs, S., G. Beardsmore, P. Chiozzi, O. Espinoza-Ojeda, G. Gola, W. Gosnold, R. Harris, S. Jings, M. Richards, J. Smith, A. Tanaka and M. Zerdoya (2021) A new database structure for the IHFC Global Heat Flow Database. *International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applied Geothermics*, 4(1), 14p. <https://doi.org/10.31214/ijthfa.v4i1.6>
- Gao, S., R. Rudnick, W. Xud et al., (2008) Recycling deep cratonic lithosphere and generation of intraplate magmatism in the North China craton, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 270, 41-53.
- Gordienko, V. V. ed. (1987) *Geophysical model of the tectonosphere of Europe*. Naukova dumka, Kiev, 184p.

- Gordienko, V. V. ed. (1991) Heat flow map of the territory of the USSR. 1: 5,000,000. U. Moiseenko. Moscow, Mingeo USSR, 4p.
- Gordienko, V. V. (1999) Density models of Ukraine's tectonosphere. Intellect, Kiev, 101p. (in Russian).
- Gordienko, V. V. (2000) Physical properties of rocks in deep trenches. *Geophysics Journal*, 2, 19-26 (in Russian).
- Gordienko V. V. (2010) On the nature of anomalies in the velocity of propagation of longitudinal seismic waves in the upper mantle. *Geofiz. magazine*, 3, 43-63. (in Russian).
- Gordienko, V. V. (2012) Processes in the Earth's tectonosphere (advection-polymorphic hypothesis). Saarbrücken: LAP, 256p. (in Russian).
- Gordienko, V. V. (2014) Energy of deep-seated processes on the continents and in oceans. *Geology and Mineral Resources of the World Ocean*, 4, 48-72. (in Russian).
- Gordienko, V. V. (2017) Thermal processes, geodynamics, deposits. 283p. <http://ivangord2000.wixsite.com/tectonos>
- Gordienko, V. V. (2022a) Mantle gravity anomaly and modern activation of the territory of Ukraine. *Geology and minerals of the World Ocean*, 1, 3-21.
- Gordienko, V. V. (2022b) Density models of the tectonosphere of continents and oceans. *Geophysical processes and biosphere*. 1, 61-79. (in Russian).
- Gordienko, V. V. (2022c) About geological theory. *Geophysical journal*, 2, C, 68-92.
- Gordienko V.V., I. V. Gordienko, O. V. Zavgorodnya and O. V. Usenko (2002a) Map of deep heat flow in Ukraine. M-b 1: 2 500 000.
- Gordienko, V. V., I. V. Gordienko, O. V. Zavgorodnyaya and O. V. Usenko (2002b) Thermal field territory of Ukraine. Kiev, Znanie, 170p. (in Russian).
- Gordienko V. V., I. V. Gordienko and O. V. Zavgorodnyaya (2004) Geothermal Atlas of Ukraine. K. IGF NASU, 60p.
- Gordienko V. V., I. V. Gordienko, O. V. Zavgorodnyaya, I. M. Logvinov, V. N. Tarasov and O. V. Usenko (2005) Ukrainian Shield (geophysics, deep-seated processes). Corwin press, Kiev, 210p. (in Russian)
- Gordienko V. V., A. A. Smyslov, U. I. Moiseenko ed. (1987) Heat flow map of the European part territory of the USSR (and Explanatory note to the map). Scale: 5,000,000. Mingeo Ukrainian SSR CTE, Kiev.
- Grachev, A. F. (1989) The heterogeneity of the material composition of the continental mantle lherzolite according to ultramafic xenoliths in basalts. *Physics and the internal structure of the Earth*, Nauka, Moscow, 22-43.
- Green, D. and T. Falloon (2005) Primary magmas at mid-ocean ridges, "hotspots," and other intraplate settings: Constraints on mantle potential temperature. *Geol. Soc. Amer., Special Paper*, (388), 217-247.
- Griffin, W., S. O'Reilly, L. Natapov et al. (2003) The evolution of lithospheric mantle beneath the Kalahari craton and its margins. *Lithos*, 71, 215-241.
- Ionov, D. (2010) Petrology of mantle wedge lithosphere: New data on supra-subduction zone peridotite xenoliths from the andesitic Avacha Volcano, Kamchatka. *J. Petrology*, 51(1&2), 327-361.
- Jacob, D. (2004) Nature and origin of eclogite xenoliths from kimberlites. *Lithos.*, (77), 295-316.
- Komarov, A. N. and A. Z. Zhitkov (1973) Uranium in ultramafic xenoliths from basalts. *News Bulletin of the USSR Academy of Sciences, Geology series*, 10, 79-85 (in Russian).
- Lapin, M. and D. Smith (1978) Mantle-equilibrated orthopyroxene eclogite pods from the basal gneisses in the Selje district, Western Norway. *J. Petrology*, 19(3), 530-584.
- Lassiter, J. C. (2007) The Elephants' Graveyard: Constraints from Mantle Plumes on the Fate of Subducted Slabs and Implications for the Style of Mantle Convection. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2007*, abstract #U11B-04
- Le Gal, V., F. Lucazeau, M. Cannat, J. Poort, C. Monnin, A. Battani, F. Fontaine, B. Goutorbe, C. Poitou, M. Blanc-Valleron, A. Piedade and A. Hipylito (2018) Heat flow, morphology, pore fluids and hydrothermal circulation in a typical Mid-Atlantic Ridge flank near Oceanographer Fracture Zone. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 483, 423-433.
- вблизи зоны разлома Океанографов 35°N and 35-36°W на обоих склонах COX.
- Pavlenkova G. A. and N. I. Pavlenkova (2006) Upper mantle structure of Northern Eurasia from peaceful nuclear explosion data. *Tectonophysics*, 416, 33-52.
- Pavlenkova N. I. and Yu. E. Pogrebitsky and T. V. Romanyuk

- (1993) Seismic-density model of crust and upper mantle in South Atlantic area along the Angola-Brazilian Geotraverse. *Physics of the Earth*, 10, 27-38. (in Russian)
- Phrampus, B., R. Harris and A. Trühu (2017) Heat flow bounds over the Cascadia margin derived from bottom simulating reflectors and implications for thermal models of subduction. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18(9), 3309-3326.
- Pronin A. A. (1973) Alpine tectonic cycle of the Earth's history. Mesozoic. Cenozoic. Nauka, Leningrad, 224p, 318p. (In Russian).
- Pushcharovsky, Yu. M. (2002) The main features of the tectonics of the South Atlantic. GEOS, Moscow, 80p.
- Ringwood, A. E. (1981) Structure and petrology of the Earth's mantle. Nedra, Moscow, 584p. (In Russian).
- Robertson, E. and B. Hemingway (1995) Estimating Heat Capacity and Heat Content of Rocks. Open-file Report 95-622, US Dep. of interior geol. Survey, 38p.
- Savko A. D. and L. T. Shevyrev (2002) New insights into the role of aulacogenesis in the formation of diamond-bearing magmatic rocks. *Vestnik, Voronezh State University. General Geology*, 1, 7-18. (in Russian).
- Sergeev, K. F., V. V. Gordienko and M. L. Red ed. (1992) Vladivostok Tectonosphere of the Pacific margin of Asia. FEB RAS, NASU, 238p.
- Sergeev, K. F. ed. (2006) Tectonic zoning and hydrocarbon potential of the Sea of Okhotsk. Nauka, Moscow. 131p.
- Shchukina, E. V. (2013) Mineralogical and geochemical characteristics of the lithospheric mantle xenoliths of kimberlite pipe name B. Grib, Arkhangelsk diamond province. The Author. dis. cand. geol. -min. Sciences. Novosibirsk, 20p.
- Sobolev V. S. and V. N. Sobolev (1980) New evidence dive to great depths eclogitized crustal rocks. Rep. USSR Academy of Sciences. 250(3), 683-685. (In Russian).
- Sobolev S., H. Zeyen, G. Stol et al. (1996) Upper mantle temperatures from teleseismic tomography of French Massif Central. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 139, 147-163.
- Sorokhtin O. G. and S. A. Ushakov (1990) The Earth's global evolution. Nauka, Moscow, 446p. (in Russian).
- Stein, C. and S. A. Stein (1992) Model for the global variation in oceanic depth and heat flow with lithospheric age. *Nature*, 359, 123-129.
- Tripolsky A. A. and N. V. Sharov (2004) The lithosphere of Precambrian shields in the Earth's northern hemisphere on the basis of seismic data. Petrozavodsk, the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 159p. (in Russian).
- Tsymbal, S. N. (1996) The composition of the upper mantle beneath the Ukrainian shield (according to kimberlite and their indicator minerals). Proceedings of the conference "Deep structure of the lithosphere and unconventional use of mineral resources", Kiev, 177 -180. (In Russian).
- Tsymbal, S. N. and Ju. S. Tsymbal (2003) The composition of the upper mantle and diamond prospects north-western part of the Ukrainian shield. *Mineral. J.*, 5/6, 70-87. (In Russian).
- Ukhanov, A. P. V., I. D. Ryabchikov and A. D. Kharkiv (1988) Lithospheric Mantle beneath the Yakutian.
- Varentsov I. M., I. M. Golubev, V. V. Gordienko et al. (1996) A study of the deep-seated geoelectric structure along the Lincoln lines (the EMS LAB experiment). *Physics of Earth*, 4, 124-144 (in Russian).
- Veselov O. V. and V. V. Gordienko (2007) On one of the possible reasons for the distortion of the geothermal gradient in the near-bottom layer of marine sediments. *Geology and Minerals of the World Ocean*, 3, 76-81.
- Vinogradov A. P., G. B. Udintsev and L. V. Dmitriyev (1969) The structure of the mid-oceanic rift zone of the Indian Ocean and its place in the world rift system. *Tectonophysics*, 8, 377-401.
- Waples, D. and J. Waples (2004) A Review and Evaluation of Specific Heat Capacities of Rocks, Minerals, and Subsurface Fluids. Part 1: Minerals and Nonporous Rocks *Natural Resources Research*, 13(2), 97- 123.
- Wilkinson J. and R. Le Maitre (1987) Upper mantle amphiboles and micas and TiO₂, K₂O, and P₂O₅ abundances and 100 Mg (Mg+Fe²⁺ ratios of common basalts and andesites: Implications for modal mantle metasomatism and undepleted mantle compositions. *J. Petrology*, 28, 37-73.

膨張テクトニクス：原因メカニズムの提案

Expansion Tectonics: A Proposed Causal Mechanism

James Maxlow

Retired Professional Geologist, Australia

james.maxlow@bigpond.com

Free PDF copy of current book: book.beyondplatetectonics.com

(柴 正博 訳)

要旨： NCGT ジャーナルの過去の論文 (Vol 9, No 3; Vol 9, No 4) では、地球の大陸と海洋の起源とその後の歴史に関する現代の地球規模の観測データの新しい見方と理解の方法として、膨張テクトニクス (Maxlow, 2018) が紹介された。このような現代のデータは、伝統的にプレートテクトニクスの研究を支援するために収集されてきたものであり、そのため、これまでは従来のプレートテクトニクスの観点以外から見られることはほとんどなかった。これらの過去の論文で著者は、地質を過去にさかのぼるリバースエンジニアリングを行うために、世界地質図委員会とユネスコの許可を得てデジタル化された「世界地質図」(1990 年) を利用した。海底地質と大陸地質をリバースエンジニアリングすることで、地球物理学ではなく現代の地質学を使って、過去のプレート集合と古代大陸の構成を正確に拘束することができる。この試行から、古代の超大陸と海洋の正確な位置と配置を示す一連の地球の球状地質モデルが発表された。重要なのは、これらのプレート集合体は、古代の地球がカンブリア紀以前の初期まで遡って地質学的に拘束された初めての例であり、それゆえユニークなものであると考えられることである。太古の地球の物理的特性に関する前提を変えるだけで、地球、大陸、海洋がどのように形成され、発展してきたかを理解する上で、パラダイムシフトを示す新たな視点が提示されたと結論づけられた。

Keywords: Expansion Tectonics, Plate Tectonics, Global Tectonics.

はじめに

しかし、理解できるように、このプレートの集合体は、地球半径が大きくなるシナリオで拡張テクトニクスを受け入れようとするときに科学者たちが目にする問題ではない。科学者や一般の人々が抱え続けている根本的な問題は、海底地殻とその下にあるマントルを構成する膨大な量の物質が、大陸を再び組み立てるために、時間を遡ってどこへ行ったのかを理解することである。そしてさらに重要なのは、この膨大な量の素材は、時間を進めるときにどこからやってくるのか、ということだ。

歴史的には、経験的な観測証拠とは関係なく、地球膨張説は 20 世紀半ばに否定された。その主な理由は、時間とともに地球の質量と半径が増加することを説明する適切で説得力のあるメカニズムがなかったからで

ある。この否定は、古地磁気極データから古代の地球半径を測定した古地磁気学者の結論によってさらに定量化された。これらの測定から得られた古地磁気の見かけの極座標のデータは、大陸移動説における大陸の移動をさらに説明するためにも使われた。

この拒絶反応以来、過去数十年の間に、特に宇宙からの観測データなど、かなりの量の新しい科学的データと証拠が利用できるようになった。この現代的な証拠は、地球の質量と半径が一定であるという従来の主張に重大な疑問を投げかけるものであり、その代わりに、地球が時間とともに質量と半径を増加させているというもっともらしい因果関係を示すものである。

原因メカニズム

太陽から放出される荷電太陽風関連粒子の詳細な知

識と地球近傍環境への影響は、2000年に欧州宇宙機関（ESA）によって打ち上げられたクラスターII衛星以来得られている。その後収集された新たな宇宙観測データは、地球磁場によって推進される大量の太陽風関連電子と陽子の地球への導入を浮き彫りにした。この観測データは、地球上のすべての物質の構成要素であるこれらの粒子が地球に入った後、何が起きているのかという疑問を投げかけている。

このような現代の宇宙探査と地球近傍のデータ収集は、地球半径と質量が時間の経過とともに増加するという、実行可能な原因メカニズムを示している。このような最新の宇宙観測から、太陽から太陽風を経由して飛来した荷電電子や陽子の粒子状物質が極域で地球に入り込み、地球のコアとマンツルの境界に位置するD"領域で蓄積・再結合して新しい物質を形成していると推測されている。この新しい物質の蓄積がマンツルのうねりを生み、それが現在、中央大洋海嶺拡大帯に沿った現代のすべての海洋で起きている地殻の伸長として地表に現れると考えられている。

太陽からのプラズマ輸送

ここで紹介する地球近傍の観測は、Eichler (2011) による提案に基づいている。Eichler は、「太陽からのプラズマが地球を大きくするのだろうか」という疑問を投げかけ、既知の物理観測に基づく新たな議論を提示することで、この疑問に対する答えが実際にそうである可能性を示唆した。Eichler は次のように述べた：

「地球が物質を増大し、それが地球内での核合成によるものだと仮定することは、従来の常識に反しているように見えるが、実際にそうなのである。地球が大きくなっていることを強く示す経験的な地質学的証拠に基づき、それが実際に有効であることを示す。プラズマ宇宙では、地球は常に宇宙からの砲撃を受けており、地球の奥深くにある構成要素から物質を再構成するのに必要なすべての構成要素は、実験的に観察されたことのない理論的な構成要素を必要としない。地球は、衝突する粒子と相互作用するのに十分な強さの磁場を持ち、電子と陽子という基本粒子を十分すぎるほど集めている。したがって、地球本体の奥深くで新しい物質を作り出すための構成粒子に不足はない。その正確なプロセスは複雑で、地球内部と同様、そのダイ

ナミクスについては推測が必要である。ここで提案されているアプローチの道はもっともらしく、さらに真剣に科学的調査を行う価値があると論じている。地球内部に新しい物質が追加されたのであれば、その過程の力学的な謎に対する答えがあるはずである。」

この提案は、地球が過去2億年の間に急速に成長してきたことを示す新しい地球物理学的証拠を示唆したKremp (1992) の観察も取り入れている。Krempによれば、地震学者は、コア・マンツル境界の真上にあるマンツルの底部に、厚さ約200~300 kmのD"領域と呼ばれる地帯があることを突き止めたという。Yuen and Peltier (1980) や Boss and Sacks (1985) は、コア・マンツル境界を横切る熱の流れの存在を仮定し、もしプレートテクトニクスの条件であるマンツル対流が地球のマンツルで起こるとすれば、このD"領域はマンツル全体の中で最も低い熱境界層となるはずであると結論した。コア・マンツル境界の外核の温度は、マンツルのD"層よりも約800度、あるいは1,500度高いと推定されることから、クレンプは、外核のこの熱上昇は、地球半径の急激な増大を余儀なくされたかなり最近のプロセスである可能性があると結論づけた。

地球と太陽系

太陽は太陽系唯一の恒星であり、太陽系の主要な物理的構成要素である。地球質量33万2,900個分と推定されるその大きな質量は、核融合を維持するのに十分な温度と密度をコアに生み出している。この核融合は莫大なエネルギーを放出し、そのほとんどは可視光線の400~700ナノメートル帯をピークとする電磁波として宇宙空間に放射されるが、決して可視光線だけに限定されるものではない。

太陽は光とともに、太陽風として知られるプラズマの連続的な流れも放射している。これは、太陽の上層大気から放出される荷電粒子の流れで、主に電子、陽子、その他のイオンで構成されている。荷電粒子の流れは時速およそ150万キロで外側に広がり、太陽系を海王星の軌道をはるかに超えたところまで浸透するヘリオスフィアと呼ばれる希薄な大気を作り出す。この大気は惑星間物質とも呼ばれる。太陽フレアやコロナ質量放出など、太陽表面の活動が太陽圏を乱し、地磁気嵐を発生させる宇宙天気的一种を作り出している。

コロナ質量放出やその他の同様の現象は、大量の荷電物質が太陽表面から放出される磁場を作り出す。地球自身の磁場が存在することで、地球の大気が太陽風によって剥ぎ取られるのを防ぐことができる。この磁場は、例えば金星や火星にはあまり発達した磁場がないのとは対照的で、その結果、太陽風によってそれら的大気は、もし存在していたとしても、徐々に宇宙空間へと流出していったのではないかと他の人々は推測している。

太陽磁場と放出されたプラズマが地球の磁場と相互作用することで、荷電粒子が地球の上層大気に流れ込み、磁極の両端付近で見られる空の自然な光のディスプレイであるオーロラが形成される。地球の磁場は、事実上、捕捉断面を地球自体の断面の何倍も大きくしている。

太陽風によって太陽から持ち去られる磁化粒子の総数は、現在では毎秒約 1.3×10^{36} 個と見積もられている。この見積もりから、毎年太陽が失う総質量は1時間あたり約40億トンから60億トン、1年あたり35兆トンから53兆トンになると他の人はさらに見積もっている。この質量損失は、1億5,000万年ごとに地球と同じ質量を失うことに相当し、逆に言えば、過去2億5,000万年間に地球の半径を2倍にするメカニズムを提供することになる。

現在の地球への影響

20世紀半ばに得られた情報とは対照的に、現代の宇宙技術は、地球や他の惑星が常に太陽風にさらされていることを示している。この太陽風は、毎秒約400kmの速度と、1立方センチメートルあたり約5個のイオンの密度で地球に届く。太陽磁気嵐の際には、プラズマ関連イオンの流れは数倍速くなり、惑星間磁場もかなり強くなる可能性がある。

地球の磁気圏は、太陽風が地球を通過する際に発生する閉じ込められたプラズマで満ちていることが明らかになった。磁気圏へのプラズマの流れは、太陽風の密度と速度の増加や、太陽嵐の際の太陽風の乱れの増加に伴って増加する。磁気圏プラズマは、地球の磁場に垂直に移動するだけでなく、オーロラ帯では地球の磁力線に沿って下降することが示されている。欧州宇宙機関による新しいクラスターII衛星の研究は、この

プロセスがこれまで考えられていたよりも一般的なものであり、太陽風に関連したプラズマが地上の環境に恒常的に侵入する手段である可能性を示唆している。

また、欧州宇宙機関(ESA)は、太陽風にある種の波が存在することで、入ってくるプラズマが磁気圏界面を突破できることを示した。これは、磁気圏が連続的なバリアというよりも、フィルターとして機能していることを科学者たちに示唆している。ここで特に注目すべきは、これらの発見が、特定の惑星間磁場の状況下で、地球の磁気圏が荷電太陽粒子によってどのように貫通されうるかを示したという点で、欧州宇宙機関のプロジェクト科学者たちによって非常に重要視されたことである。

太陽風に関連したプラズマの地球への流入に関する既知の観測のほかは、地球に流入した後はすべて推測の域を出ない。Eichler が述べているように、「したがって、地球本体の奥深くで新しい物質を作るための構成粒子が不足しているわけではない。その正確なプロセスは複雑で、地球内部と同様、そのダイナミクスについては推測が必要である。ここで提案されているアプローチの道はもっともらしく、さらに真剣に科学的調査を行う価値があると論じている。地球内部に新しい物質が追加されたのであれば、その過程の力学的な謎に対する答えがあるはずである。」

この浸透が現在の地球に及ぼす影響を図1に模式的にまとめた。地球は、内部から外側の磁気圏まで、鉄に関連した強い磁場を持つことが知られている。地球の磁場は磁気双極子に近く、現在地球の自転軸に対して約10度の角度で傾いている。

この磁場は、太陽系の内側にある岩石惑星や地球の月が非磁性から非常に弱い磁性を持ち、巨大惑星が非常に強い磁場から並外れて強い磁場を持つのは対照的である。本質的に非磁性の内惑星と強い磁性を持つ巨大惑星との間のこのコントラストは、巨大惑星の質量と半径の増加の共通テーマを示唆しているかもしれない。

磁気を帯びた電子や陽子は、主に極域のオーロラ帯や、暴風雨時の不規則な落雷によって、地球の磁気圏や地球下層に侵入すると考えられている。これらの磁気を帯びた粒子は、さらに伝導によって地球の強磁性コア・マントル領域に引き寄せられる。コアとマントルの温度と圧力が高いため、粒子は散逸し、上部コア

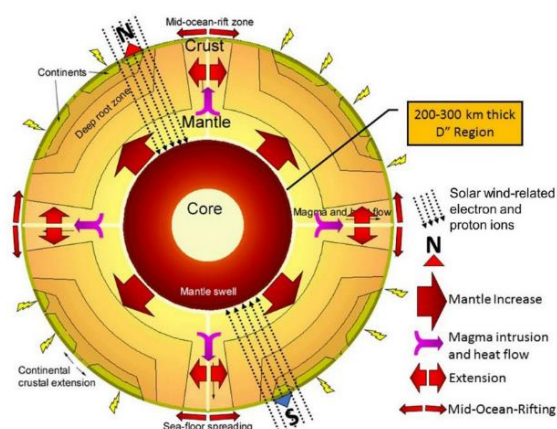


図 1. 現在の地球の模式的な断面図。荷電した電子と陽子が地球に侵入し、時間とともに質量と半径が増加した影響を強調している。(Maxlow, 2001)

または下部マントル領域、特にコアとマントルの境界の真上に位置するマントルの底部にある厚さ 200～300km の D''領域で、核合成によって新しい物質として再結合する。この核合成は、まさに Kremp (1992) が示唆した通りである：「.....外核におけるこの熱的増加は、地球の急速な膨張を余儀なくされたかなり最近のプロセスかもしれない。」

Kremp が想定したものと今回発表されたものとの違いは、物質形成がマントルの成長過程を表していることである—質量と体積の増加—下部マントルから上部コア領域に集中しており膨張プロセスではない—これは質量の正味の増加を伴わない相変化を意味する。

新物質の形成には純粋なエネルギーだけでなく、電子と陽子の両方が必要だ。コアとマントルの温度が上昇し、この領域で荷電した電子と陽子が大量に入射するという組み合わせは、地球内で継続的に新しい物質を合成するための実行可能なメカニズムを提供するかもしれない。この新しい物質が、今日の地球や宇宙に存在するすべての元素や鉱物の構成要素となっている。

2002 年、Kozlar は、プレートテクトニクスや宇宙測地学上、地球質量と重力定数 G が一定であると仮定されているにもかかわらず、SLR (衛星レーザー測距) の観測データから地球質量の増分変化を推測できることを示した。G.M.の正確な測定は 1970 年代後半に始まり、コジールはそのレビューで 1990 年代まで続いた測定を考慮に入れている。SLR データは、 3×10^{19} グラム/年のオーダーの地球質量のゆっくりとした増加を一貫して記録していることが示された。これは、海底マ

ッピングデータから得られた地球半径を用いて計算された 6×10^{19} グラム/年と同様のオーダーである。

新しい物質は、主に下部マントルの反応性の高い上部コアまたは D''領域で合成され、その結果、地球の質量が増加すると想定されている。この新しい物質の成長は、コアとマントルの体積を増加させる。この体積の増加は、主に 2 つのメカニズムによって地殻の外側に移動する。第一に、地球半径の増大として、第二に、現在地球表面で起こっている横方向への地殻の伸長として、中央大洋リフト帯の全長に沿った伸長、大陸の堆積盆地内での伸長、より局所的なマントル・ブルームや大規模火成岩の複合領域内での伸長である。

上部マントルと表層地殻内の伸長は、図 1 の各中央大洋リフト拡大帯に示された対になった赤い矢印で強調されている。このマントルと地殻の伸長プロセスによって、新しく形成されたマグマが地球深部から絞り出され、上向きのマゼンタ色の矢印が示すように、対流によって地表まで移動する。このマグマと高熱流の表層表現は、中央に位置する海溝帯の全長に沿って集中しており、さらに既知のホットスポット、火山センター、大小の火成岩地域に沿って流出している。このプロセスには、新しい玄武岩質マントル由来の溶岩や花崗岩関連のマグマの貫入や押し出し、地表での新しい水や大気ガスの排出も伴う。

時間とともに質量と半径が増加する地球では、盆地形成、褶曲、断層、造山、マグマ貫入、山地形成など、現在地表で見られるすべての地質学的観測は、この第一次地殻伸長と大陸分裂のプロセスに関連していると考えられる。これらの地質学関連の観測は、特に、時間の経過とともに地球の半径と表面積が増加した直接の結果として、大陸と海底地殻の表面曲率の浮き彫りの変化に関連している。

太古の地球への影響

この因果過程が太古の地球に及ぼす可能性のある影響を図2にまとめた。この図は図1を拡張したもので、3 つの小さな地球モデルの概略断面を示している。カンブリア紀 (約 5 億 4,000 万年前)、ペルム紀 (約 2 億 5,000 万年前)、そして現在のモデルの繰り返しである。これらのモデルはすべて同じ縮尺で、Expansion Tectonic の地質学的小地球モデリング研究に基づいて

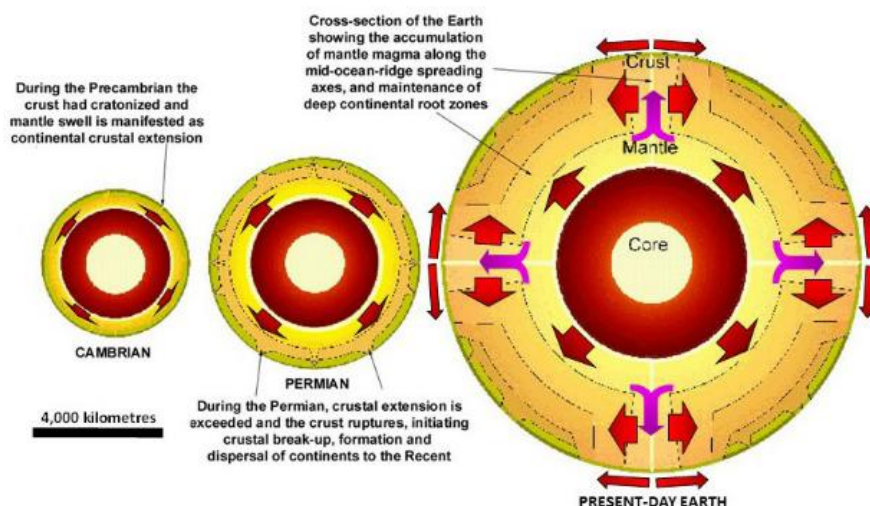


図2. カンブリア紀、ペルム紀、現在の地球の模式的な断面図は、時間とともに質量と半径が増加する地球の影響を強調している。ペルム紀とカンブリア紀のモデルのコアとマンツルの大きさは、推測に過ぎない。(Maxlow, 2001)

いる (Maxlow, 2018)。

図2に示した概略モデルは、半径が大きくなる地球上で、地殻の発達が大きく変化する時期を示すものとして選ばれた。その変化とは、基本的には、古生代を通じて地殻の伸張が続いている間に、古代の堆積盆地と大陸の海の空中分布が変化したこと、さらに、パンゲア超大陸が分裂し、ペルム紀後期に現代の大陸と海洋が形成されたことである。

図2に示したカンブリア紀のモデルの前には、35億年の先カンブリア時代があり、この長い期間の地球の質量、表面積、半径の変化率は極めて小さかった。その間、原始的な下部マンツルと上部コアでの物質形成は初期段階にあり、地球半径の増加は1年あたりミクロンからミリメートルに増加したと想定される。先カンブリア時代の地球の大きさが限られていたことと、磁場がかなり小さくなっていた可能性があることから、地球に入る太陽粒子の量が制限され、その結果、時間とともに質量と半径が増加する速度が制限されたのではないかと考えられている。

カンブリア紀の始まりからペルム紀の終わりまでの約3億1,000万年間は古生代であり、半径が大きくなる地球では、この時代は地球の質量、半径、表面積が定常的な変化から徐々に加速度的に増加した時代に相当する。繰り返しになるが、この質量と半径の変化率の増加は、地球磁場強度の増加や、太陽からの荷電太陽粒子の出力変化の増加の結果であった可能性がある。

ペルム紀の終わりには、パンゲア超大陸が分裂して現代の大陸が形成され、現代の海が開かれている。次の中生代と新生代は、現代の大陸が初期に分散し、現代の海が開き続け、地球の質量、半径、表面の曲率が急速に加速度的に変化した時代である。

小さな地球モデルでは、地球史の最初の37億5000万年から約2億5000万年前のペルム紀の終わりまで、すべての大陸地殻は統合されたままであり、太古の地球全体を包む単一の超大陸を形成していた。この超大陸は、比較的浅い大陸の海のネットワークによって部分的に覆われていた。この長い期間の間に、地殻の全体的な伸長と表面積の増加はミクロン単位に達し、太古の地球の全表面積に広がって年間数十ミリメートルに増加した。

このようなペルム紀以前の時代に、マンツルの体積成長は、地殻の弱点である堆積盆地と造山帯の相互連結ネットワーク内の表面積の増加として地表に現れた。このネットワークは、太古累代初期に初めて確立され、時間の経過とともに徐々に表層域に広がっていった。大陸地殻の伸張は、この地殻の脆弱なネットワーク内に集中し、低地の堆積盆地の形成と比較的浅い海の蓄積を開始した。地殻の伸張はペルム紀後期まで衰えることなく続き、地殻の伸張が物理的に限界に達した。

ペルム紀後期には、地殻がパンゲア超大陸地殻（ペルム紀モデル（図2）で緑色の地殻として示されている）内で伸縮する能力を超え、パンゲア超大陸の破裂

が始まった。その後、パンゲアンの超大陸地殻が破裂・分裂し、現代の大陸と海が形成された。ジュラ紀初期から今日に至る、この分裂と開放のプロセスの結果と成長の歴史は、現在では、世界地質図 (CGMW and UNESCO, 1990) のような現代の出版物に示されている海底地質に忠実に保存されている。

地球半径増加モデルでは、盆地形成、褶曲、断層、造山、マグマ貫入、山地形成、地殻延長、大陸分裂など、現在地表で見られるすべての地質学的観測は、最終的には、時間の経過とともに地球の質量と体積が増加することによって引き起こされると考えられる。これらの観測は、特に、地球の半径と表面積が時間の経過とともに増加した直接の結果として、大陸と海底地殻の表面湾曲の浮き彫りの変化に関連している。

結 論

この太陽風関連の観測データや、地球の質量と半径の増加の原因メカニズムがまだ確立されていないにもかかわらず、少なくとも地球の質量と半径が時間の経過とともに実際に増加している可能性があると考えられる。このように考えると、半径が大きくなる地球モデルでは、地球テクトニクスはどうなるのかという疑問が湧いてくる。

さらに、少なくとも現代の地球観測データを使ってこの新しい提案を科学的に検証することなしに、地球の質量と半径が増加するという提案を否定し、半径一定の地球モデルを支持することは、もはや正当化できないと考えられる。この新しい提案が検証されれば、プレートテクトニクスの枠を超えて、この最新のデータが他に何を提供するのかに目を向けることが、科学に正当性を与えることになり、従来のテクトニクスに対する考え方がパラダイムシフトすることになるだろう。

太古の地球の物理的特性に関する前提を変えるだけで、地球、大陸、海洋が時間の経過とともにどのように形成され、発展してきたかを理解する上で、提示された新しい視点はパラダイムシフトを意味すると結論づけている。

文 献

- Boss, A. P. and I. S. Sacks (1985) Formation and Growth of Deep Mantle Plumes. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 80, 241-255.
- CGMW and UNESCO (1990) *Geological Map of the World*. Commission for the Geological Map of the World, Paris.
- Eichler, J. B. (2011) A New Mechanism for Matter Increase within the Earth. Ettore Majorana Foundation and Centre for Scientific Culture, 37th Interdisciplinary Workshop of the International School of Geophysics, Erice, Sicily, 4-9 October 2011, 159-162.
- Kozlar, J. (2002) Space geodesy and expanding Earth. (Unpublished Paper).
- Kremp, G. O. W. (1992) Earth Expansion Theory versus Static Earth Assumption. In: Chatterjee S. & Hotton N (III) Eds. *New Concepts in global tectonics*. Texas Technical Press, USA, 297-307.
- Maxlow, J. (2001) Quantification of an Archaean to recent Earth Expansion Process using Global Geological and Geophysical Data Sets. Unpublished PhD thesis, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia.
- Maxlow, J. (2018) *Beyond Plate Tectonics: Unsettling Settled Science*. Aracne Editrice.
- Yuen, D. A. and W. R. Peltier (1980) Mantle Plumes and the Thermal Stability of the "D" Layer. *Geophysical Research Letters*, 7, 625-628.

NCGT ジャーナルについて

NCGT 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 回国際地質学会議でのシンポジウム “Alternative Theories to Plate Tectonics” での議論から始まった。その名称は、1989 年にワシントン D.C. で開催された第 28 回国際地質学会議に関連して開催されたシンポジウムの名称に由来している。NCGT ニュースレターは 1996 年 12 月に創刊され、2013 年に NCGT ジャーナルに名称を変更した。NCGT ジャーナルの目的は以下のとおりである：

1. 地質学，地球物理学，太陽惑星物理学，宇宙論，気候学，海洋学，電気宇宙論（electric universe），その他，地球の核から大気圏の上部に至るまで，地球上で起こっている物理過程に関連ないしは影響を及ぼしている分野において，新しいアイデアやアプローチを自由に交流するための国際フォーラムを提供すること。
2. 支配的なテクトニックモデルの範疇に収まらない創造的なアイデアのための組織的な目標を創り出すこと。
3. とくに検閲や差別があった場合には，そのような研究の転載と出版の基礎を構築すること。

■ 寄付については，ジオプラズマ研究所のブルース・レイボーン研究部長（leybourneb@iascc.org）まで，お気軽にご連絡ください。

■ NCGT ジャーナルへの連絡・通信・原稿掲載には次の方法をご利用ください：NEW CONCEPTS IN GLOBAL TECTONICS. E メール：louis.hissink@outlook.com（MS Word か ODT ファイル，図は gif, bmp, tiff, png フォーマット）を別ファイルで送付，電話 +61 419 283 775. 免責事項：このジャーナルに掲載されている意見，見解，アイデアは寄稿者の責任であり，必ずしも編集者や編集委員会の意見を反映しているわけではありません。NCGT ジャーナルは国際的査読オンラインジャーナルで，3 月，6 月，9 月，12 月に発行されます。英文版 ISSN 番号：ISSN 2202-0039
