



国際オンラインジャーナル

ISSN 2186-9693

グローバルテクトニクスの新概念

An international journal for New Concepts in Global Tectonics

<http://www.ncgtjournal.com>

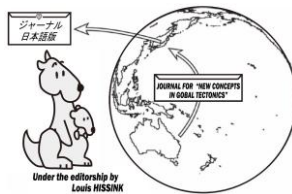
NCGT Journal, Volume 14, Number 6, June 2026

2nd Quarterly Issue

<http://www.ncgtjournal.com/>

『グローバルテクトニクスの新概念』日本語版 発行 2026年7月

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



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

副編集長: Valentino STRASER, Italy (valentino.straser@gmail.com)

編集委員: Masahiro SHIBA, Japan (shiba@dino.or.jp)

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

Louis HISSINK, Australia (louis.hissink@outlook.com)

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

Biju LONGHINOS, India (biju.longhinos@gmail.com)

Vladimir ANOKHIN, Russia (vladanokhin@yandex.ru)

目次

■編集者コーナー

(柴 正博 訳)

編集者コーナーBruce Leybourne によるコメント

..... 174

NCGT 2026 - Parma, Italy 会議のお知らせ

■原著論文 Articles

The Circuitry of Consilience: Quantifying the 664 - 663 BCE Yatagarasu-Miyake Event as a Resonant

Solar-Tectonic Discharge: Robert F. Hawthorne Jr

知の統合 (コンシリエンス) の回路: 紀元前 664~663 年の「八咫鳥・三宅イベント」を

太陽・地殻変動の共鳴放電として定量化する

(柴 正博 訳)

..... 178

The Search for Periodicities - Superposition Operators: Giovanni Pietro Gregori, Bruce Allen Leybourne

周期性の探索 — 重ね合わせ演算子

(要旨のみ 柴 正博 訳)

..... 187

E An Ocean in Geological History: Vadim V. Gordienko

地質学的歴史における海洋

(川辺孝幸 訳)

..... 188

Energy Balance of the Tectonosphere during Oceanization: Vadim V. Gordienko, Ivan V. Gordienko

海洋化過程におけるテクトノスフェアのエネルギー収支

(川辺孝幸 訳)

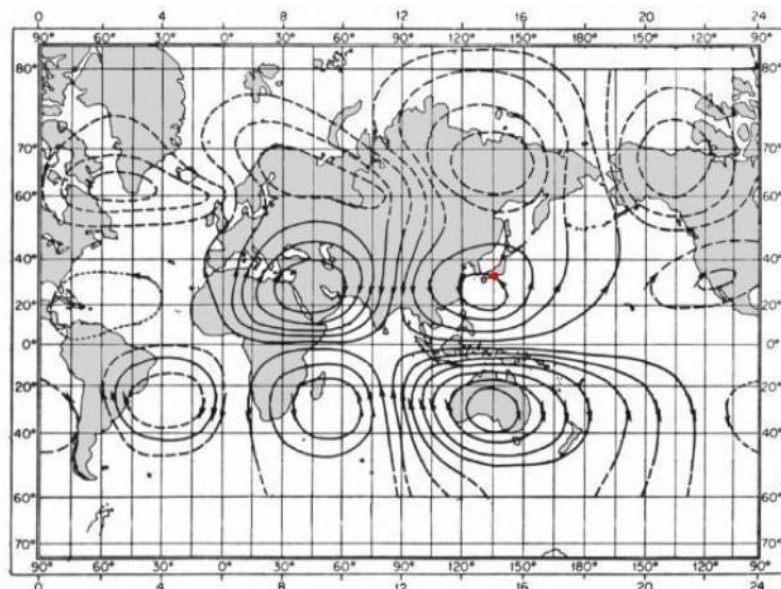
..... 196

■NGCT ジャーナルについて

..... 205

EDITOR's CORNER 編集長 Bruce Leybourne のコメント

(柴 正博 訳)



表紙画像: 球規模の地電流分布図 (Gish, 1939). 本号の Hawthorne, Robert Jr. による図 8 を参照.

会議の詳細: 2026 年 9 月 21 日~24 日 イタリア, パルマ開催のお知らせ

NCGT (National Council for Global Training and Training)

主催: Valentino Straser (valentino.straser@gmail.com)

会議参加に関するスケジュール:

登録はこちらから: <https://www.ncgtjournal.com/events>



会議参加に関するスケジュール:

アブストラクト受付開始: 2026 年 3 月 1 日 / アブストラクト採択: 7 月 31 日

参加費支払期限: 2026 年 8 月 15 日 (実行委員会宛て)

会議およびアブストラクト集公開: 2026 年 9 月 15 日

登録はこちらから: <https://www.ncgtjournal.com/events>

著者向け情報:

要旨: 最大 150 語

略歴: 最大 300 語および写真. 書式やフォントは NCGT ジャーナルの規定に従ってください. 要旨の提出受付

開始: 2026 年 3 月 15 日

提出期限: 2026 年 7 月 31 日

要旨の採否通知: 2026 年 8 月 15 日

See: <https://www.ncgtjournal.com/events>

登録, アブストラクトの提出, およびホテルの予約については, 上部の「イベント (Events)」ページをご覧ください。

フィールドトリップ: 2026 年 9 月 23 日 (次ページ参照) — 北アペニン山脈 (後期白亜紀)

パルマ市およびパルマ県に関する情報サイト: ホームページ - パルマおよびその県に関する観光情報

地球と宇宙天気による地震予測は, 2026 年 9 月 21 日から 24 日にイタリアのパルマで開催される NCGT 2026 会議の内容を要約したものです。NCGT チームは 15 年ぶりに集結し, 地球モデルの革新と, 地球物理学のプロセスおよび宇宙天気の影響を理解するためのシナリオについて議論します。また, 従来通り, 地球規模の地殻変動に関する新しいモデルについても取り上げます。

現代の地球を理解するには, 地質学や地球物理学といった従来の枠組みを超え, 電磁気学から大気物理学, 宇宙天気まで, 幅広い専門知識を組み合わせる必要があります。「地球と宇宙」会議は, まさにこの目的のために設立されました。地球物理現象の統合的な解釈を提案し, 地震発生の潜在的な前兆指標としての電磁信号の役割を探り, データ観測と解釈のための新技術の貢献を分析することを目的としています。

近年の科学者たちの知見から発展した概念である地球規模の電気回路モデルに触発された研究は, 地球の大気, 電離層, そして惑星表面が電氣的に接続されたシステムを構成していることを明らかにしてきた。この観点から, 地震に先行する現象を含め, 岩石圏で発生するプロセスは, 電磁場や電離層の特性に測定可能な変化をもたらす可能性がある。

本会議は, 電磁氣的な性質を持ついわゆる「地震前兆現象候補」をさらに分析し, 最新の科学的証拠を考慮してその可能性と限界を評価することを目的としています。高感度地上センサー, 衛星ネットワーク, 電離層モニタリングシステムの統合により, 多パラメー

タデータ収集と現象モデリングにおいて新たな展望が開かれます。

特に太陽の役割に重点が置かれる。NASA のミッションや国際的な宇宙天気プログラムによる太陽活動のモニタリングは, 電離層と地球の磁場への影響を示しており, 気候や地球力学系に潜在的な影響を及ぼす可能性がある。太陽風, 磁気圏, そして地球内部のプロセス間の相互作用を理解することは, 複雑な地球物理学の現象を体系的な視点から解釈するための重要なフロンティアとなる。

したがって, 『地球と宇宙』は新たな解釈概念を提示し, 分断された視点を超えて, 惑星の動的で相互に関連したモデルを受け入れるよう促します。地球の進化は, 単に内因的な力の結果ではなく, 宇宙と地表, 太陽エネルギーと深層プロセスとの間の絶え間ない対話の産物として解釈できるのです。

本会議は, 新しい技術や学際的なモデルが自然現象のより高度な理解にどのように貢献できるかに関心のある研究者, 専門家, 管理者, そして一般市民を対象としています。ますます複雑化する地球における予防, 持続可能性, リスク管理といった将来の課題を探るための, 科学的・文化的交流の機会を提供します。

現地調査: 2026 年 9 月 23 日, リグリア・ピエモンテ盆地の閉鎖期に関連する後期白亜紀のフライシュとオフィオライトの形成に焦点を当てます。世界中の多くの地質学者の注目を集めている謎めいた地形の一つに「悪魔の跳躍」があります。さらに, 横ずれ断層の影響を受けるこの地域は, 北アペニン山脈のこの地質学的状況において, 地震に先行する異常な大気現象と独特の電離パターンが存在する場所です。

「北東アペニン山脈では, 地震前兆現象の候補を特定するための研究が 35 年以上にわたって行われてきました。最初の観測データは 1983 年にタロ川地震探査線沿いで収集されたもので, 著者はこの探査線を『野外実験室』とみなしています。」

Straser, 2020 - <https://www.iiisci.org/journal/sci/FullText.asp?var=&id=ZA981US20>

地球・宇宙天気 ジオプラズマ・リサーチ

NCGT 2026 会議 イタリア・パルマ

NCGT ジャーナル主催

高度なテクトニクス — 地震予測

登録はこちら：<https://www.ncgtjournal.com/events>

インドで開催された会議「地球ダイナミクス：認識と膠着状態」(2011 年) から 15 年が経過し、技術主導型の科学は著しい進歩を遂げました。当時、私たちは何十年にもわたってデータが蓄積されてきたにもかかわらず、主流のプレートテクトニクス理論には未解決の課題が残されていることを指摘しました。

私たちの宇宙、そしてひいては私たちの地球に対する新たな視点を提供するこの会議は、科学者が「ペイル・ブルー・ドット (淡い青色の点)」である地球の歴史や究極の運命について発表し、耳を傾け、議論を交わすための重要な場となります。地球のダイナミクスに関する理解の進化を探究するこの機会に、ぜひご参加ください。

会議の詳細：2026 年 9 月 21 日～24 日 — イタリア・パルマにて NCGT 開催

主催：Valentino Straser (valentino.straser@gmail.com)

パルマ市およびパルマ県に関する情報サイト：
<https://parmawelcome.it/>

参加費 (100 ユーロ) は、ウェブサイトでのアブストラクト (要旨) 提出時に支払い可能です。

シングルルーム、コーヒープレイク 2 回、昼食、夕食込みで 185.00 ユーロ (別途観光税 4 ユーロ)。詳細はこちら：<https://www.hotelparmacongressi.com/>

ホテルでの夕食：1 名様あたり 35.00 ユーロ。

日中会議 (昼食およびコーヒープレイク 2 回)：1 名様あたり 45 ユーロ。B&B シングルルーム：1 泊 140.00 ユーロ + 観光税 4 ユーロ。

予約はこちら：<https://www.ncgtjournal.com/events>

会議参加スケジュール：

アブストラクト受付開始：2026 年 3 月 15 日 アブストラクト採択：5 月 31 日

支払い (金額は後日決定)：2026 年 6 月 15 日締切 (実行委員会宛て) 会議資料およびアブストラクト集の公開：2026 年 9 月 1 日

著者向け情報：

アブストラクト：最大 150 語 略歴：最大 300 語および写真。書式・フォントは『NCGT Journal』の規定に従うこと。アブストラクト提出開始：2026 年 3 月 15 日 提出締切：2026 年 7 月 31 日

アブストラクト採否通知：2026 年 8 月 15 日までに通知

地球と宇宙天気：高度なテクトニクスと天地間の地震予測 (Earth and Space Weather Advanced Tectonics and Earthquake Forecasting between Heaven and Earth) は、2026 年 9 月 21 日から 24 日にかけてパルマで開催予定の NCGT 2026 会議の内容をまとめたものです。NCGT チームは 15 年ぶりに再集結し、地球モデルの革新や、地球物理学のプロセスおよび宇宙天気の影響を理解するためのシナリオについて議論します。より伝統的な側面としては、地球テクトニクスの新たなモデルを提示するとともに、地質学や地球物理学といった従来の枠組みを超え、電磁気学から大気物理学、宇宙天気に至るまで幅広い分野の専門知識を融合させることで、地球の理解を深める試みを行います。

「地球・宇宙天気 (Earth & Space Weather)」会議は、地球物理学の現象の統合的な解釈を提示することを目的としています。具体的には、地震発生の予兆となり得る電磁気シグナルの役割を究明するとともに、データの観測・解釈における新技術の貢献について分析を行います。

年の科学者たちの知見に基づき発展した「地球電気回路モデル」に着想を得た近年の研究は、地球の大気、電離層、そして地表が、電氣的に相互接続されたシステムを構成していることを明らかにしています。この観点に立てば、地震の前兆現象を含む岩石圏での諸過

程が、電磁場や電離層の特性に観測可能な変動をもたらす可能性があります。

本会議は、最新の科学的知見を踏まえ、電磁気的な性質を持ついわゆる「地震の先行現象候補」について、その可能性と限界を評価し、さらなる分析を行うことを目的としています。高感度な地上設置型センサー、衛星ネットワーク、および電離層観測システムを統合することで、多パラメータ・データの収集や現象のモデリングにおいて、新たな展望が開かれます。

特に、太陽の役割に焦点が当てられます。NASA のミッションや国際的な宇宙天気プログラムによる太陽活動の観測からは、太陽活動が電離圏や地球磁場に影響を及ぼしており、気候や地球力学的システムにも影響を与える可能性があることが示唆されています。太陽風、磁気圏、そして地球内部の諸過程の相互作用を理解することは、複雑な地球物理学的現象をシステムの視点から解明する上で、極めて重要な最前線領域となっています。

したがって、「地球と宇宙天気 (Earth & Space Weather)」会議は、新たな解釈の概念を提示し、物事を個別に捉える視点を超えて、地球を動的かつ相互に関連し合うシステムとして捉えるモデルを受け入れるよう促しています。地球の進化は単に内部的な力によって生じた結果ではなく、宇宙と地表、あるいは太陽エネルギーと地球深部で進行するプロセスの間における、絶え間ない対話の産物として解釈することができるのです。

「地球・宇宙天気 (Earth & Space Weather)」会議は、新技術や学際的なモデルがいかにして自然現象のより高度な理解に寄与し得るかに関心を持つ研究者、専門家、行政担当者、そして一般市民を対象としています。本会議は、ますます複雑化する地球環境において、災害防止、持続可能性、リスク管理といった将来の課題を探求するための、科学的かつ文化的な交流の場となるでしょう。

コンシリエンス（知の統合）の回路：紀元前 664～663 年の 「八咫鳥・三宅イベント」を，太陽と地殻変動が共鳴して生じた 放電現象として定量化する

The Circuitry of Consilience: Quantifying the 664 - 663 BCE Yatagarasu-Miyake Event
as a Resonant Solar-Tectonic Discharge

Robert F. Hawthorne Jr.

Geoplasma Research Center, Boulder, CO, USA
Data Repository: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/G63V4>

Keywords: Archaeoastronomy, Dendrochronology, Dormancy Paradox, Double Pulse 664 - 663 BCE, Electrical Engineering, Geophysics, History, Nihon Shoki, Mythology, Radioactive Dating, Solar Particle Event (SPE)

(柴 正博 訳)

要旨：「斉一説の終焉」はもはや単なる理論上の命題ではなく，法医学的・科学的検証において不可欠な要件となっている。本論文では，厳密な査読プロセスを経て，紀元前 664 年の「八咫鳥・三宅イベント」(Hawthorne, 2026) を回路モデルに基づいて再構築する際の具体的な構成要素を特定する。著者は，紀伊半島を並列共振回路における局所的な「負荷」と見なすことで，歴史上の「八咫鳥（やたがらす）」および「金鵄（きんし）」が，それぞれ紀元前 664 年 9 月 28 日と紀元前 663 年 1 月 26 日午前 7 時 15 分頃に発生した，約 10^{33} エルグの「ダブルピーク」(図 1) に対する高精度な観測記録であったことを実証している。この復元では，以前に特定された「ゼロ年」に関する年代上の誤りや，年数を包括的に数える際の誤りが考慮されている。新たな年代は，AstroPixels が算出した月周期データと，Panyushkina et al. (2024) による検証済みの期間設定に基づいて整合性がとられている。

著者は，RMS（二乗平均平方根）電力解析とシューマン共振の基本周波数 ($f \approx 7.83$ Hz) をシステムクロックとして用い，歪んだ粒子束によって誘起されるファラデー誘導を定量化している (Wang et al., 2022)。このモデルでは，紀伊半島の塩分濃度の高いかん水帯水層を高導電性の「導線（ワイヤ）」($\rho < 10 \Omega \cdot \text{m}$) と見なし (Howell, 1959; Kasaya et al., 2005)，結晶質の基盤岩（名草戸畔 [ナグサトベ：縄文時代から西暦 200 年ぐらいまで紀国（現在の和歌山）に存在していたと思われる謎の女王] 基盤）を高抵抗の「抵抗器（レジスタンス）」(R) と見なししている。Hawthorne は，並列電流の分流原理 ($I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$) を適用することで，複数の広域的な「ホットスポット」が同時に活動する現象を説明している。彼の計算によれば，その結果生じるジュール熱 ($P = IR$) が，地下流体を急激に沸騰（フラッシュ沸騰）させるために必要な熱エネルギー（約 239.0°C の温度上昇および気化潜熱）を供給し，それによって紀元前 664 年に記録された「轟音」を伴う地震活動や硫化水素 (H_2S) という「有毒ガス」の発生が引き起こされたことが示されている。

序 論

地球の地質学的歴史が，緩やかで一様な変化を前提とする「時計仕掛け」のようなモデルから，高エネルギーかつ断続的な事象を伴うパラダイムへと移行したことを説明するには，科学的証拠に基づくメカニズムの提示が求められる。本論文は「恒星変成モデル」(Leybourne, 2020) を支持するものであり，紀元前 664～663 年に日本で記録された「八咫鳥（やたがらす）」の出現事象を，単なる神話の寓話ではなく， 10^{35} エルグ規模の太陽スーパーフレアに対する極めて正確な観測記録として特定する。

Hawthorne は，シューマン共振の基本周波数 ($f \approx 7.83$ Hz) における地球・電離層空洞にファラデーの電磁誘導の法則を適用することで，紀伊半島における「負荷」を特定した。この回路は並列回路網としてモデル化されており，そこでは全誘導電流 (I_{total}) が，局所的な岩石圏の導電率に応じて各地理的ノードへと分配される。本研究は，地球を緩やかな付加過程によって形成され冷却しつつある不活性な天体ではなく，高電圧の太陽系回路において共鳴し活動する構成要素であると捉えている。その上で著者は，紀元前 664 年に紀伊半島で発生した壊滅的な構

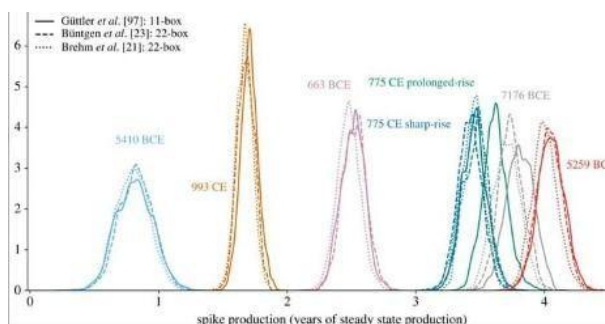


図1：三宅イベントにおける炭素14の総生成量。Zhang et al. (2022)。

造的崩壊と硫化水素 (H_2S) の放出こそが、地球の地質が宇宙的な誘導作用によって周期的に激しくリセットされることを示す決定的な実証的証拠であり、それによって従来の「斉一説」に基づく時間的枠組みはもはや通用しなくなったと主張している。

1. 基本回路モデル

紀元前 664～663 年の事象がもたらした地形的および大気的な影響を定量化するため、本研究では古典的な電気回路の枠組みを採用する。機能するあらゆる回路には、電源（位置エネルギー）、伝送系（誘導・結合）、導電経路または「ワイヤ」（低抵抗の経路）、そして抵抗または「負荷」（エネルギーが仕事や熱に変換される場所）という4つの主要な要素が必要である。Hawthorne は、紀伊半島の太陽地球環境におけるこれらの構成要素を特定することで、その復元作業を、定性的な歴史的記述から定量的な法医学的分析へと転換させた。

2. 動力源： 10^{35} erg—「ドラゴン級」の太陽エネルギー・スケーリング

著者は TESS のデータ (Tu et al., 2020) を用い、そのエネルギー源を 10^{35} erg (10^{28} ジュール) のスーパーフレアであると特定した。そのような現象が実際に存在したかを検証するため、Hawthorne は『晋書』(Wang, H., 2021; 西暦 321～388 年) から導き出された「スケーリング則（ある量が別の量に対してべき乗の関係で変化する法則）」を適用した。同書には、太陽面の 3～5% (3 万～5 万 MSH) を占める黒点の記録が記されている。『晋書』に見られる「日赤如血（日は血の如く赤い）」という記述は、電離酸素の 630.0 nm 発光という「自然のフィルター」の存在を示唆している (図2)。この現象により、肉眼でも、電離した空を背景に「八咫鳥（やたがらす）」のシルエットのような巨大な黒点を視認することが可能だった (Hayakawa, 2019)。三津間 康幸氏は同論文において、「これらの知見により、既存の記録よりも 1 世紀遡った時点からの太陽活動の歴史を再現することが可能になる」(同



図2：X5.1 太陽フレアによる「血の空」の写真。北方のユンタ山脈を望む（ホーソー、2025 年 11 月 11 日）。

上) と述べている。この記述は、紀元前 7 世紀という時期を、より高い精度で裏付けるものである。

3. 誘発および伝達

ファラデー結合および恒星トランスによる伝送は、ファラデー誘導を通じて定量化される (図3, Marchitelli et al., 2020)。

Hawthorne が論文『地球の磁場および地球内部エネルギーの起源』(Leybourne, 2020) で理解しているように、太

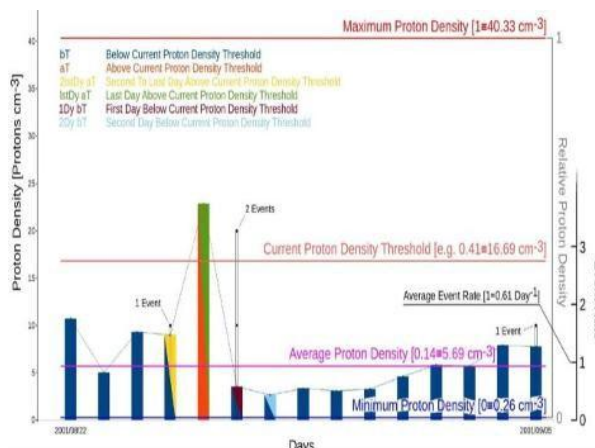


図3：陽子密度の1日あたりの値 (Marchitelli, 2020)。

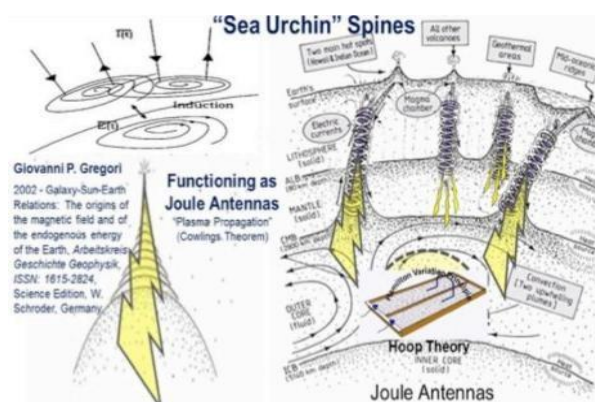


図4：Giovanni Gregori 博士による「ウニの棘 (Sea Urchin Spines)」モデル。太陽風と電離圏との結合および地磁気誘導電流 (GIC) の発生をモデル化したものである。

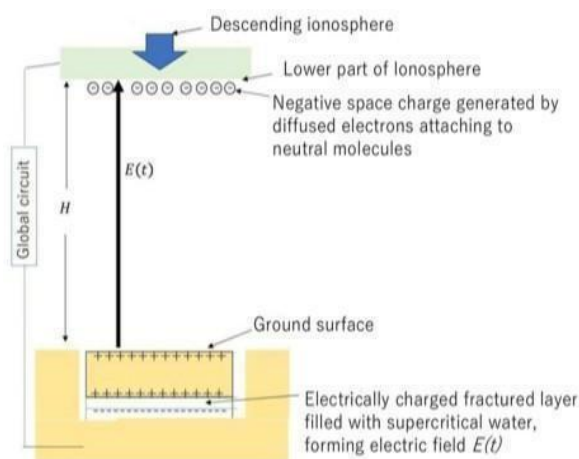


図5：電離圏、太陽風、および誘導された地表への影響の結合を示す図 (Mizuno, 2026).

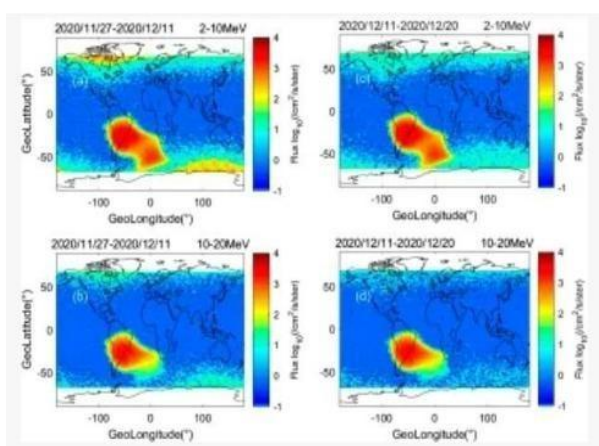


図6：SPE（太陽陽子現象）時における陽子フラックスの全球分布 (Wang, L., et al., 2021).

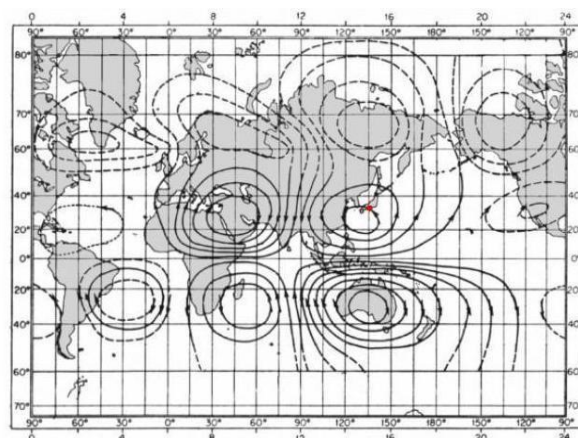
陽粒子が地球の磁場に「接触（ブラッシング）」し、地磁気誘導電流（GIC）と結合するという現象は、2002年に Giovanni Gregori 博士によって初めてモデル化された（図4）。

『プラズマ環境科学技術国際誌』に掲載された近年の論文 (Mizuno, 2026) は、独自の知見（図5）を通じて、この結合関係を裏付けている。また別の論文 (Wang, L. et al., 2022) では、強力な磁気嵐が磁気圏をどのように歪めるかが測定されており、その結果、地球へ流入する粒子フラックスの緯度範囲が15度分圧縮されることが示されている（図6）。

並列回路では、すべての分岐路において電圧（起電力）は一定に保たれるが、電流（ I ）は各経路の抵抗値に応じて分流する（ $I_{total} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ ）。この原理は、高エネルギーの太陽フレアに伴うサージ（急激な電流・電圧の増大）が発生した際、地球規模の複数の「ホットスポット」が同時に発生する理由を説明するものである（図7）。



図7：紀伊半島に見られるような湿ったテラコッタ表面上での並列回路を用いた実験 (Brown, 2020).



8：地球規模の地電流マップ (Gish, 1939 による計算)。

4. ワイヤ：放電加工（EDM）チャネル

著者は、Fleming (1939) の著書『地磁気と地電流』に掲載された Gish (1939, 図8) の図および Kasaya et al. (2005, 図9と図10) による MT（磁気地電流）応答に基づき、紀伊半島の高塩分かん水帯水層を、物理的な「電線」として機能する電気抵抗の最も低い経路（ $\rho < 10 \Omega \cdot m$ ）であると特定した。ただし、Lanzerotti and Gregori (1986) の論文に示されているように、そのパターンは90°の位相差を有していることに留意されたい。

この導電性チャネルは、惑星規模での高エネルギー放電加工（EDM）を可能にする。「Barely Science」(2018年)の室内実験で示されたように、粒状媒体中での低圧放電（図11）は、日本の地殻内でマッピングされた大地電流フィラメントと酷似した、特徴的な樹枝状の放電チャネルを形成する。

これらの経路は、壊滅的な放電現象の際に急速なエネルギー輸送を行うために必要な、高伝導性の導管を提供する。

5. 抵抗と負荷：結晶の掘削とパラドックスの形成

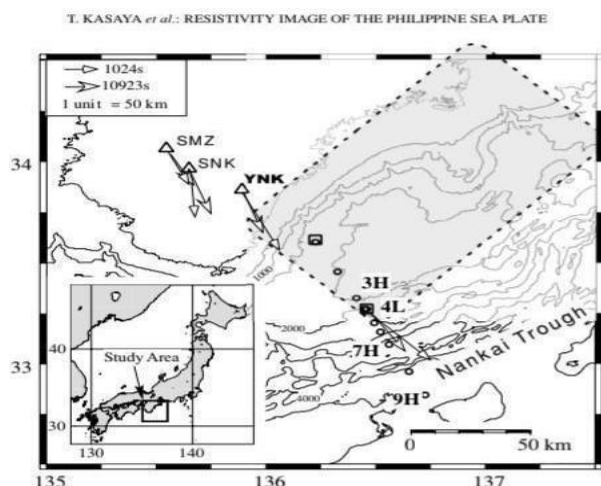


図9：紀伊半島および南海トラフ周辺における観測点の分布 (Kasaya et al., 2005).

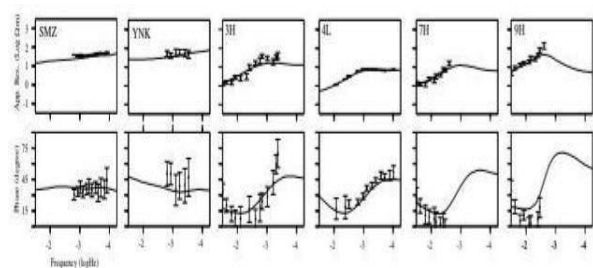


図10：観測点 SMZ, YNK, 3H, 4L, 7H および 9H における見かけ比抵抗（上段）とインピーダンス位相（下段） (Kasaya et al., 2005).

高比抵抗の結晶質基盤（カサヤ／名草戸畔）は、電気回路における抵抗（ R ）として機能する。著者は、隆起ドーム（Upheaval Dome）で自身が構築した法医学的モデル（Hawthorne, 2020）に基づき、その下位に位置するパラドックス（逆説）層（Paradox Formation）—Huntoon (1988) によって報告された、岩塩と頁岩からなる大規模な蒸発岩層—を、深部に存在する「電解質負荷（Electrolytic Load）」として特定している。この岩塩層（図12）は、高密度の電荷貯蔵体として機能する。

導電性のあるパラドックス塩（Paradox salt）が高抵抗の結晶質岩と接する箇所では、エネルギーがジュール熱（ $P = I^2R$ ）および瞬時の相変化へと変換される。この「負荷」が、基盤岩の電氣的掘削および粉碎を駆動する。Melosh (2017) が指摘した通り、高電圧の地上放電が、従来は地球外天体の衝突に起因するとされてきた「面状変形構造（PDFs）」（図13）を生成することが実証されており（Giere et al., 2015）、これは「恒星変成モデル」（Leybourne, 2020）における「カサヤ抵抗」の破碎に関する物理的根拠となっている。

6. アイスコアという「導火線」



図11：放電チャネル（8倍速スロー再生）(Gable, 2018).

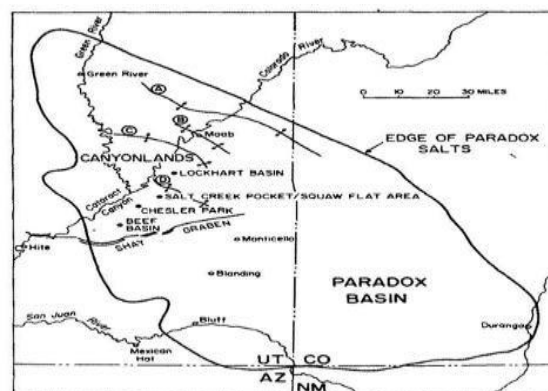


図12：ユタ州およびコロラド州におけるパラドックス盆地の位置 (Huntoon, 1988).

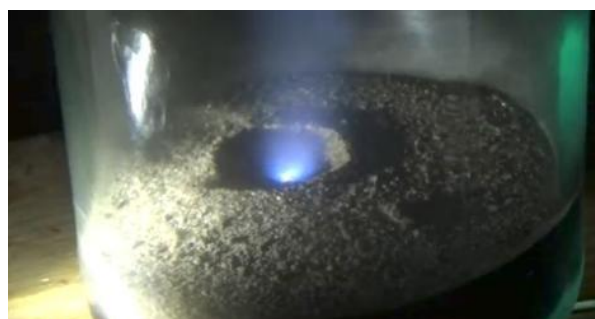


図13：エレクトリック・クレーター（Electric Crater）の形成に関するまとめ (Gable, 2018).

氷河学的記録（GRIP/EDC）は「地球規模の導火線」としての役割を果たしており、そこには ^{10}Be （ベリリウム10）および ^{36}Cl （塩素36）の濃度が同期して急上昇した痕跡が記録されている（O'Hare et al., 2019）。この同位体による痕跡は、地球が1,000年周期の活動的な構成要素であり、突発的かつ壊滅的なリセット（再編）の影響を受ける存在であることを裏付けている（Turner, 2022）。

討 論

定量的エネルギー論と熱的誘起：紀元前664年の出来事の物理的実在性を立証するには、天体由来の動力源と

地上で生じた機械的破損との間の隔たりを埋める必要がある。著者はこの過程を、「エネルギー変換 → インピーダンス → 電流 → (ΔT) 温度 → 圧力」という5段階の数学的連鎖によって定義している。

1. エネルギー変換

Hawthorne は、 10^{25} erg (10^{18} ジュール) の局所的な負荷に基づき、潜在的な熱サージを算出した。その際、1時間の衝撃的持続時間を仮定している。名草戸畔の負荷に局所的に加わる総エネルギーは、 10^{25} erg の事象に由来するものであり、これは 10^{18} ジュール (J) に換算される。回路に供給される平均電力 (P_{avg}) を算出するため、衝撃的持続時間 (t) を1時間 (3,600 秒) としてモデル化した。

$$P_{avg} = (10^{18} \text{ J} / 3600 \text{ s}) = 2.78 \times 10^{14} \text{ Watts} \\ (278 \text{ Terawatts})$$

$$P_{avg} = 2.7777... \times 10^{14} \text{ Watts}$$

結果：システムは平均出力 278 テラワット (TW) で駆動された。

2. カサヤ抵抗 (R) の算出

紀伊半島の低周波数 MT 応答から特定された $10 \Omega \cdot \text{m}$ 未満という経験的な抵抗 (ρ) を用い、導電性塩水フィラメントの形状を定義する。ここでは、広域的な経路長 (L) を 100 km, 集中流出部の断面積 (A) を 10 m^2 と仮定する。

$$R = \rho \times (L/A)$$

$$R = 10 \Omega \times \text{m} (100000 \text{ m} / 10 \text{ m}^2) R = 10 \Omega \times 10000$$

結果：回路の総抵抗 (R) は正確に 105Ω (100,000 オーム) である。

3. 誘導電流 (I) の導出

ジュール熱の法則を適用し、 105Ω の負荷を流れる電流の実効値 (I_{rms}) を求める。これは、278 TW の電力を消費するために必要な「リソスフェア (岩石圏) の雷」に相当する。

$$I = \sqrt{(P/R)}$$

$$I = \sqrt{(2.7777... \times 10^{15} / 105 \Omega)}$$

$$I = \sqrt{(2.7777... \times 10^{10})}$$

$$I = 52,704.6 \text{ Amperes}$$

結果：誘導電流は約 5.27×10^4 アンペアである。

4. 熱力学的フラッシュ (ΔT)

1 km^3 (10^9 m^3) の限られた体積の塩水内において、この電流によって生じる温度上昇 (ΔT) を計算する。塩水の密度 ($\approx 1000 \text{ kg/m}^3$) を考慮すると、総質量 (m) は 10^{12} kg となる。水の比熱容量 ($c=4,184 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$) を用いて計算すると、以下ようになる。

$$\Delta T = (Q / m \cdot c)$$

$$\Delta T = ((10^{18} \text{ J}) / (10^{12} \text{ kg}) \times (4,184 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}))$$

$$\Delta T = 1018 / 4.184 \times 1015$$

結果：瞬間的な温度の急上昇は以下の通りである。

$$239.0^\circ\text{C}$$

このエネルギーは地下の塩水を瞬時に沸騰・気化させ、紀元前 664 年に記録された「轟音」や硫化水素 (H_2S) という「有毒ガス」の原因を説明するものである。

5. 機械的応力と 1 GPa での破壊

理想気体の状態方程式 ($PV=nRT$) を適用することで、 1 km^3 (10^9 m^3) という限られた容積内のエネルギー密度に起因する、ナグサトベの破滅的な「3 つへの分裂」を導き出すことができる。物理学において、エネルギー密度 (u) は一次的に圧力 (σ) と等価である。

$$\text{Pressure } (\sigma) \approx \text{Energy} / \text{Volume}$$

$$\sigma = (10^{18} \text{ J} / 10^9 \text{ m}^3)$$

$$\sigma = 10^9 \text{ Pa} = 1 \text{ GPa}$$

結果として、花崗岩の極限引張強度が約 0.02 GPa であるのに対し、1 GPa という内部圧力はその構造的強度を 50 倍も上回っており、名草戸畔における「三つへの破砕」という現象を物理的に説明し得るものである。この 1 GPa という圧力は極端な結論に思えるかもしれないが、京都大学による近年のモデル (Mizuno, 2026) で指摘されている通り、電磁氣的なわずかな変動であっても、臨界状態にある断層の破壊を誘発する可能性がある。

6. 誘導地球動力の表現と物理法則の検証

太陽を起源とするエネルギーと観測されたリソスフェア (岩石圏) の破壊現象とを関連付けるため、本モデルでは「地球誘導電力 (P_{ter})」を算出する単一の予測式を採用している。この式は、非線形な磁気圏の挙動や共鳴に関わる変数を考慮しつつ、太陽から特定の地球上の負荷へと伝達されるエネルギーを解明するための数学的「エンジン」として機能する。

6.1 用語の特定

その式は次のように定義される。

$$(P_{ter}) = (E_{flare} \cdot (Re^2 / 4 D^2) \cdot \eta \cdot \Gamma(f) / \Delta t \cdot Z(f))$$

・ f_{flare} (フレア・エネルギー) : 太陽から放出される総エネルギー (例: $10^{33} \sim 10^{35}$ erg)

・ $(Re^2 / 4 D^2)$ (幾何学的スケーリング) : 逆二乗の法則に基づき、地球が受ける太陽エネルギーの割合

・ (η) (結合効率) : 捕捉されたエネルギーのうち、地面に「誘導」された割合。(オヘア空港のシナリオでは 1% に較正されている)

・ $(\Gamma(f))$ (Wang 圧縮係数) : 非線形増幅器。磁気圏の圧縮 (Wang, 2021) によって磁束密度が増大し電離層 D 層が低下すると、エネルギーは中緯度域の負荷へと集中する。

- ・(Δt) (事象継続時間) : 初期サージの時間幅. (Δt)が減少する (インパルスとなる) につれて, ピーク電力 (P_{ter}) は指数関数的に増大する.
- ・($Z(f)$) (システム・インピーダンス) : 地殻という「導線」が持つ抵抗負荷. 重要な点として, 太陽の調波成分がシューマン共振の基本周波数 ($f=7.83 \text{ Hz}$) と一致すると, ($Z(f)$)はオーム抵抗としての最小値 (R) まで低下し, 最大電流が流れるようになる.

6.2 数学的検証 (オヘア 紀元前 664 年校正) 捕捉エネルギー :

0^{33} erg (10^{26} J) のフレアが発生すると, 地球の断面積において $4.53 \times 10^{16} \text{ J}$ のエネルギーが捕捉される.

結合効率 (η) : 共鳴ロック時の結合効率を控えめに見積もって 1%とすると, 日本の地殻負荷に対して $4.53 \times 10^{14} \text{ J}$ のエネルギーが導入される.

誘導出力 (P_{ter}) : 162 秒間 (Δt) の高強度インパルスにおいて (4.53×10^{14}) ジュールのエネルギーを供給した結果は, 以下の通りとなる.

$$P_{\text{ter}} = 4.53 \times 10^{14} \text{ J} / 162 \text{ s} = 2.79 \text{ Terawatts (TW)}$$

6.3 物理法則の検証

(P_{ter})が解決されると, その仮説は以下の 2 つの必須の物理法則を通じて検証される.

結 論

「紀元前 664 年～663 年の八咫鳥・三宅事件」(Hawthorne, 2026) の定量化は, 「時計仕掛け的な思考」の終焉を告げるものである. 包括的な年数計算を用いると, 神武天皇の遠征の年とされる紀元前 667 年, すなわち紀元前 667 年から数え始めることになる. もし紀元前 667 年が包括的な年数計算における最初の年だとすれば, 紀元前 666 年が 2 年目, 紀元前 665 年が 3 年目, そして紀元前 664 年が 4 年目となる. 紀元前 664 年 9 月 28 日 (William Aston による『日本書紀』の英訳 (1896 年) では「8 月 2 日」) に生じた最初のピークである「八咫鳥 (やたがらす)」ピークは, まさにそのような曖昧さが生じやすい時期に当たるというのも, その直後の秋には木々が休眠期に入っていたからである. 木々は休眠状態に入ると, 大気中の炭素 14 (^{14}C) を取り込まなくなる. この現象こそが, 最初のピークが不明瞭なものとなった理由を説明している. つまり, 木々はそのピーク時の数値を記録しなかったのである. 同様に, 2 番目の事例である「金鵄 (きんし) の事跡」—「初冬の 12 月 4 日の黎明」に起きたとされる出来事 (同上) —についても, その日時は紀元前 663 年 1 月 26 日の午前 7 時 15 分頃に相当する. 古代アジアの暦法によれば, 冬至は 11 月に巡ってくる必要がある. ベーダ (Beda) の暦に関する記述によれば, 紀元前 664 年の冬至は同年 12 月 27 日に起こった (図 13,

670 BC	28 Mar 14:16	30 Jun 18:42	30 Sep 16:33	28 Dec 04:13
669 BC	27 Mar 20:10	30 Jun 00:31	29 Sep 22:22	27 Dec 10:04
668 BC	28 Mar 01:56	30 Jun 06:16	30 Sep 04:14	27 Dec 16:02
667 BC	28 Mar 07:50	30 Jun 12:11	30 Sep 10:04	27 Dec 21:46
666 BC	28 Mar 13:33	30 Jun 18:02	30 Sep 15:55	28 Dec 03:35
665 BC	27 Mar 19:26	29 Jun 23:54	29 Sep 21:46	27 Dec 09:31
664 BC	28 Mar 01:23	30 Jun 05:43	30 Sep 03:37	27 Dec 15:16
663 BC	28 Mar 06:59	30 Jun 11:26	30 Sep 09:34	27 Dec 21:10
662 BC	28 Mar 12:52	30 Jun 17:23	30 Sep 15:26	28 Dec 03:04
661 BC	27 Mar 18:45	29 Jun 23:10	29 Sep 21:11	27 Dec 08:57

図 13 : 紀元前 670 年から紀元前 661 年までの春分・秋分および夏至・冬至の日付, Jiřík (2026).

AstroPixels - M... astropixels.com				
Year	New Moon			
-0663	Jan	4	17:09	
	Feb	3	11:15	
	Mar	5	02:42	A
	Apr	3	14:57	
	May	3	00:19	
	Jun	1	07:47	
	Jun	30	14:36	
	Jul	29	21:59	
	Aug	28	06:49	T
	Sep	26	17:41	
	Oct	26	06:55	
	Nov	24	22:36	
	Dec	24	16:27	
Year	New Moon			
-0662	Jan	23	11:24	P
	Feb	22	05:44	
	Mar	23	21:53	
	Apr	22	11:08	
	May	21	21:48	
	Jun	20	06:45	
	Jul	19	14:58	P
	Aug	17	23:16	P
	Sep	16	08:15	
	Oct	15	18:26	
	Nov	14	06:21	
	Dec	13	20:22	

図 14 : 紀元前 664 年の第 8 の月と第 12 の月を裏付ける新月周期のデータ (Espanak, 2014).

Jiřík, 2026). その次に訪れる紀元前 663 年 1 月 23 日の新月が, 12 月の朔日 (ついたち) にあたることになる. その場合, 12 月 4 日は紀元前 663 年 1 月 26 日に相当する. そこから 4 ヶ月遡ると, 8 月の初めである 9 月 26 日に行き着く. しかし, 世界時と紀伊半島の時差を考慮すると, 実質的な「1 日目」は 9 月 27 日となる. すると, その月の 2 日目は紀元前 664 年 9 月 28 日ということになる. こうして「神武紀年のパラドックス」は解決され, 歴史上の事実は, 紀元前 664 年 9 月 28 日という物理的現実, およ

び紀元前 663 年 1 月 26 日の午前 7 時 15 分頃 (図 14) という時点で確定されるのである。

これらの知見に基づく Hawthorne の結論は, Zhang et al. (2022) が示したピークに見られる「曖昧さ」を説明するものである。この事例では, 樹木はすでに休眠状態にあり, 紀元前 663 年の翌春になるまで放射性炭素の取り込みを開始しなかった。これは, Zhang et al. (2022) が示したピークに見られる「肩」の存在を説明するものである。Hawthorne の見解によれば, この特定の状況において Sano et al. (2025) の ^{18}O データは極めて重要である。その理由は, 放射性炭素が樹木の呼吸を通じて空気中から取り込まれるのに対し, ^{18}O は樹木が休眠状態にあるときであっても根から水とともに吸収されるためである。まさにこの出来事こそが, ^{18}O データを ^{14}C (同上) と, さらに可能であれば ^{10}Be や ^{36}Cl とも照合することの重要性を, Hawthorne に確信させるものとなった。この論理的な結論は, 「休眠のパラドックス」をも解決するはずである。

電氣的宇宙説には「数学的裏付けが欠けている」という批判は, 239.0°C という熱ポテンシャルおよび「恒星変圧器」への 278 テラワットの誘導によって覆される。そして, 結晶の引張強度を 50 倍も上回る機械的応力値が示されたことで, 斉一説に決定的な終止符が打たれることになった。かつての「太陽の鳥」は, 我々の未来に待ち受ける破局を診断するための決定的な指標であり, 古代の証言と現代のジオプラズマ物理学との間をつなぐ, 科学的検証の拠り所となるものである。

この物理的な事実は, ヨエル書 (2 章 20 節) に見られる, ほぼ同時期の記述によってさらに裏付けられている。聖書に記された「立ち上る」「悪臭」や「不快な臭い」と, 日本の記録にある「有毒ガス」との間には, 科学的・実証的な観点から見て完全に一致する相関関係が認められる。いずれの記述も, 塩分を含む帯水層の瞬間的な沸騰と, 地下深部に由来する硫黄化合物の放出という, 同一の熱力学的現象を描写しているのである。ヨエル (Joel) においてこの力が引き起こす「怪物的な事象」は, かつては悠久の時間を要する地質学的プロセスのみに帰せられていた山々の粉碎や, 掘削という「怪物的な偉業」として物理的に具現化されている。轟音という「声」や放出物の「悪臭」が「恒星変成モデル」(Leybourne, 2020) の音響的・化学的サインであることを認識すれば, そこには, 現代における我々の岩石圏回路の安定性に対して警告を突きつける, 同期された地球規模のリセットの姿が浮かび上がる。

ヨエル書第 2 章 (KJV) における相関関係, 具体的には 10 節「彼らの前で地は震い, 天は揺れ動く。太陽と月は暗くなり, 星々は輝きを失う」と, 31 節「主の大いなる

恐るべき日が来る前に, 太陽は暗闇に変わり, 月は血に変わる」との間の相関関係。

この預言的な整合性は, 『ヨハネの黙示録』6 章 12 節に記された「大地震」や天上の徴 (しるし) —すなわち「太陽が毛織りの粗布のように黒くなる」という記述—にまで及んでいる。この描写は単なる比喻にとどまらず, 『晋書』に記録された「鴨の卵」ほどの大きさを持つ巨大な黒点と, 科学的・歴史的証拠の観点から見事に合致するものである (Wang, 2021)。こうした「自然のフィルター」のおかげで, 古代の観測者は, 赤みを帯びた太陽面を背景に, エネルギー規模 $10^{33}\sim 10^{35}$ erg のフレアに伴う波長 630.0 nm のプラズマ形態—すなわち「黒い太陽の鳥」のような黒点—を目撃することができた。同時に, 月が「血のようになった」という記述は, Hawthorne の図 (図 2, 2025 年) やアッシリアの粘土板に記録された「血の空」に関する早川 (2019 年) の研究によって, 物理的な裏付けが得られている。

ヨエル書および神武時代の双方に関する同時代的記録として, これらのアッシリアの文書 (図 15) は, スーパーフレアに伴う粒子の流束の歪みに起因する, 強烈な赤いオーロラのカーテン (図 2) と大気電離について記述している。

これらの前兆現象を伴う「大地震」は, 太陽陽子フラックスと地球規模の地震活動との間に見られる相関関係



図 2 : X5.1 フレア (2025 年 11 月 11 日) のホーソンによる画像の再掲。



図 15 : アッシュールバニパルの図書館出土の新アッシリア時代の粘土板 (Hayakawa, 2019)。

(Marchitelli et al., 2020) によって、そのメカニズムが説明される。リソスフェア（岩石圏）の負荷に対して 278 テラワットものエネルギーが突発的に導入されると、1 ギガパスカルに及ぶ内部圧力の急上昇が引き起こされ、太陽エネルギーが局所的な地殻の破碎へと変換されるのである。こうした熱力学的な事実は、我々が現在置かれている状況がいかに切迫したものであるかを浮き彫りにしている。Turner (2022) によれば、三宅イベントは惑星規模の回路リセットを伴う約 1000 年周期で発生している。西暦 993 年に直近の主要なイベントが起きて以来、地球規模のシステムは公式にこの 1000 年の節目を通過した。私たちは今、不安定な「レッドゾーン」に突入している。そこでは、紀元前 664~663 年の「八咫鳥・三宅イベント」に見られた炭素 14 (^{14}C) の二重ピークと同様の「Gnevychev サイクル」や「二重パルス三宅イベント」の再来が、単なる歴史的な事象にとどまらず、差し迫った地球規模のイベントを予兆する極めて重要な診断指標となっている。

現代科学は Carrington イベントを現代の観測における「限界」とみなしているが、「恒星変成モデル」(Leybourne, 2020) は、紀元前 664~663 年の「八咫鳥・三宅イベント」(Yatagarasu-Miyake Event) と比較すれば、Carrington イベントは単なる小規模な「サージ (急激な変動)」に過ぎなかったと示唆している。Carrington イベント (エネルギー量 10^{32} erg) は、電信線を焼き切り、通信士に感電の衝撃を与えた。「八咫鳥・三宅イベント」は、地下水脈を瞬時に沸騰させ、花崗岩を破碎するほどの衝撃をもたらした。計算によって明らかになったのは、通信システムが単に太陽フレアの直撃を受けただけでなく、誘導電流によって機械的な過負荷状態に陥っていたという事実である。この電流は、インフラそのものを発熱体へと変えてしまっていたのである。

謝 辞

最後に、本論文の計算および記述を支援した Google AI, ならびにその一連のプログラム群による貢献に謝意を表す。

文 献

- Aston, W. (1896). "Nihongi: Chronicles of Japan from the Earliest Times to A.D. 697". Transactions and Proceedings of the Japan Society of London.
- Beggan, C. D., Clarke, E., Lawrence, E., Eaton, E., Williamson, J., Matsumoto, K., & Hayakawa, H. (2024). "Digitized continuous magnetic recordings for the August/September 1859 storms from London, UK". Space Weather, 22, e2023SW003807.
- Brown, D. (2020). "Did Electricity Do That!?". ElectricUniverse Eyes. YouTube.
- Espenak, F. (2014). Six Millennium Catalog of Phases of the Moon. AstroPixels.
- Fleming, J. A. (ed., 1939). "Terrestrial magnetism and electricity", 794 pp., McGraw-Hill Book Co., New York and London.
- Gable, J. (2018). "Discharge channels, slowed 8x / Crater formation compilation". Barely Science. YouTube.
- Giere, R., Wimmenauer, W., Muller-Sigmund, H., Wirth, R., Lumpkin, G. R., Smith, K. L. (2015). "Lightning-induced shocked lamellae in quartz". American Mineralogist, 100 (7).
- Gish, O. H. (1939). "Atmospheric electricity". Fleming (1939), 149-230.
- Hawthorne Jr., R. (2020). "Electric Discharge Not Impact Caused the Formation of Upheaval Dome, Canyonlands National Park, Utah." Journal of Systemics, Cybernetics, and Informatics. Vol. 18. No. 4.
- Hawthorne, R. F. (2026). "The Miyake-Hawthorne Consilience - A Unifying Forensic Reconstruction of Global Plasma Catastrophes (5259 BCE and 663 BCE)". New Concepts in Global Tectonics Journal, Vol. 14, No. 3. pgs. 74-83. <https://ncgtjournal.com/>. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/WRSVX>
- Hayakawa, H., Mitsuma, Y., Ebihara, Y., Miyake, F. (2019). "The Earliest Candidates of Auroral Observations in Assyrian Astrological Reports". The Astrophysical Journal Letters. 884 L18.
- Huntoon, P. W. (1988). "Late Cenozoic Gravity Tectonic Deformation Related to the Paradox Salts in the Canyonlands Area of Utah". Utah Geological and Mineral Society. Bulletin 122.
- Jirík, J. Seasons. Kalendář Beda. Accessed April, 2026. beda.cz
- Kasaya, T., Goto, T., Mikada, H., Baba, K., Suyehiro, Utada, H. (2005). "Resistivity Image of the Philippine Sea Plate around the 1944 Tononkai earthquake zone deduced by Marine and Land MT surveys". Earth Planet Sp. 57, 209-213.
- Lanzerotti, L. J., Gregori, G. P. (1986). Telluric currents: the natural environment and interactions with man-made systems. E. P. Krider, and R.G. Roble, (eds), The Earth's Electrical Environment, National Academy Press, Washington, D. C.; pp.: 232-257. DOI:10.17226/898
- Leybourne, B., Gregori, G., (2020). "Introduction to Plasma Tectonics & Electric Geology: Solar Wind Coupling to Planetary Circuits Lightning Tells The Stellar Transformer Story". Journal for Systemics, Cybernetics and Informatics. Vol. 18. No. 4. iisci.org.
- Marchitelli, V., Harabaglia, P., Troise, C., De Natale, G. (2020). "On the correlation between solar activity and large earthquakes worldwide". Scientific Reports. 10. 11495.
- Melosh, H. J. (2017). "Impact geologists, beware!" Geophysical Research Letters. Volume 44. Issue 17. pp. 8873 - 8874.
- Mizuno, A., Kao, M., Umeno, K. (2026). "Possible mechanism of ionospheric anomalies to trigger earthquakes - Electrostatic coupling between the ionosphere and the crust and the resulting electric forces acting within the crust". International Journal of Plasma Environmental Science and Technology.
- O'Hare, P., Mekhaldi, F., Adolphi, F., Raisbeck, G., Aldahan, A., Anderberg, E., Beer, J., Christi, M., Farhui, Simon, F., Synal, H., Park, J., Possnert, G., Southon, J., Bard, E., ASTER Team (Aumaitre, G., Bourles, D., Keddadouche, K.), Muscheler, R. (2019). "Multiradionuclide evidence for an extreme solar proton event around 2,610 BP. (-660 BC)". PNAS. 116 (13) 5961-5966.
- Panyushkina, I.P., Jull, A.J.T., Molnár, M., Varga, T., Kontul', I., Hantemirov, R., Kukarskih, V., Sljusarenko, I., Myglan, V., Livina, V. (2024). "The timing of the ca-660 BCE Miyake solar-proton event

- constrained to between 664 and 663 BCE". *Commun Earth Environ.* 5(1):454.
- Sano, M., Hakozaiki, M., Yamashita, Y., Li, Z., Nakatsuka, T., Chiba, T., Arakawa, T., Sakamoto, M. (2025). "A prehistoric Japanese building constructed with wooden pillars that have an age range spanning 700 years". *Journal of Archaeological Science: Reports*, Volume 67.
- Tu, Z. L., Ming Yang, Z. J., Wang, F. Y. (2020). "Superflares on Solar-type Stars from the First Year Observation of TESS". *The Astrophysical Journal*. Vol. 890. No. 1.
- Turner, T. E. (2022). "Gigantic radiation storms have been pummeling Earth for at least 10,000 years and could strike again, tree ring analysis reveals". *Live Science*.
- Wang, H., Li, H. (2021). "Uncovering Intense Ancient Solar Activity from Naked-eye Observation of Egg-like Sunspots". *The Astrophysical Journal*.
- Wang, L., Zhang, Z., Shen, X., Li, X., Liang, X., Zhima, Z., Chu, W., Guo, F., Zhou, N., Chen, H., Wei, D. (2022). "Effects of Solar Proton Events Associated with X-ray Flares on Near-Earth Electron and Proton Fluxes Based on ZH-1 Satellite Observations". *Frontiers Earth Science*. Volume 10.
- Zhang, Q., Sharma, U., Dennis J. A., Scifo, A., Kuitens, M., Büntgen, U., Owens, M. J., Dee, M. W., Pope, B. J. S. (2022). "Modelling cosmic radiation events in the tree-ring radiocarbon record. *Proceedings of the Royal Society A*. 478 (2266): 20220497.

周期性の探索 — 重ね合わせ演算子

The search for periodicities - Superposition operators

Giovanni Pietro Gregori¹, Bruce Allen Leybourne²

¹ IDASC-Istituto di Acustica e Sensoristica O. M. Corbino (CNR), Roma, now merged into IMM-Istituto per la Microelettronica e Microsistemi (CNR) and ISSO-International Seismic Safety Organization, Italy

² GeoPlasma Research Institute-(GeoPlasmaResearchInstitute.org), Aurora, CO 80014, USA

Keywords: superposed epoch criterion - periodicity and cycles - mathematical and physical approach - point-like processes – errors and forecast – families and forefathers - mathematical proofs - "pole position" analysis – earthquakes, l.o.d., and pole motion - multivariate correlation analysis - Gram analysis - analysis of dependence - periods in natural phenomena - Walsh and related functions

(要旨のみ 柴 正博 訳)

要旨: 本論文の主眼となる手法は、「重ね合わせエポック法 (superposed epoch criterion)」である。具体的には、一連の記録を、あらかじめ定めた長さを持つ、互いに重複しない連続した区間に分割する。次いで、それらすべての区間を重ね合わせ、記録同士が部分的に、あるいは完全に重なり合っているかどうかを確認する。このようにして、対象となる現象がどの程度反復的な性質を帯びているかを評価する。この単純かつ直感的な手法は、時に極めて有効であり、信頼性も高い。しかし、一般的なケースに適用する際には、適切な配慮に加え、批判的な検討と評価が求められる。本論文では、いくつかの具体例の検討を含め、関連する諸問題の多角的な側面から、こうした一般的な事項に焦点を当てる。

背景: 「理論は経験によって検証できるが、経験から理論を構築する道はない。」 Albert Einstein (1949) (1879-1955).

「方程式の意味を理解できるのは、実際に解かなくても、その解の特性を把握する方法がある場合だ。」 Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984).

「物理学者は、問題を複数の視点から捉える能力を必要とする…物理的理解は、全く非数学的で、不正確で、厳密ではないものだが、物理学者にとって絶対に必要である。」 Richard Phillips Feynman (1918-1988).

「物理的直観は数学に先行するものであり、単純な方程式の形でそれを書き表すことは、歌や詩を創作する際のひらめきに匹敵する」 (Laughlin, 2005, イタリア語版 p.102 ; 同版からの英訳に基づく). Robert Betts Laughlin (1950-), ノーベル賞, 1998 年.

Enrico Fermi (1901-1954) は、ある観測結果に対して直感的に正しい物理的解釈を導き出すその手腕について同僚から感心されるたびに、決まって冗談を口にした。彼はその秘訣として「c. i. f.」という言葉挙げている。これはイタリア語の「con intuito fenomenale」(現象に対する直感をもって)の頭文字をとったものだが、ここにはある種の冗談が込められていた。というのも、「fenomenale」という形容詞には「現象の」という意味だけでなく、「並外れた」「驚くべき」といった意味も含まれていたからである。

地質学的歴史における海洋

An Ocean in Geological History

Vadim V. Gordienko

S.I. Subbotin Institute of Geophysics, NASU, Kiev, Ukraine

Keywords: oceanization of the Earth's crust, concentration of water in the oceans.

(川辺孝幸 訳)

要旨: 地殻の厚さがより薄く、かつ苦鉄質組成に富む点で大陸地殻とは異なる特有の地殻をもつ深海盆としての海洋の問題について、主として、海洋に関しては B.A. Bluman および E.M. Rudich により報告された周知の研究成果、大陸に関しては M.I. Budyko らによる研究成果に基づいて考察した。これらの研究から導かれた結論は、著者が論じる海洋テクトノスフェア深部における過程のモデルと良好な一致を示す。これらの過程は、一連の地質学的現象および地球物理学的場の異常とも整合的である。ここでいう過程とは、異常に苦鉄質化した大陸地殻の上位に発達した真正地向斜(eugeosyncline)において生じる熱および物質の輸送と、それに続く再活性化を指す。地殻の苦鉄質化は、マントルとの物質交換の結果として生じるものであり、その過程ではエクログャイト化した地殻ブロックの沈み込みと、マントル岩石における放射性元素起源の熱生成量の増加を伴う。このように、現在の海洋の形成は、中生代から新生代にかけての地球テクトノスフェアの先行する進化の結果として理解することができ、その形成過程は比較的一貫性のあるモデルによって説明される。

序 論

Gordienko (2025) に示された結果は、地球に存在する水の総量が、その地質学的歴史を通じて大きく変化していないことを示唆している。しかし、その水が常に H₂O の形態で主として地表に存在していたとは考えにくい。

海洋で生じた出来事は、保存された堆積物、とくに大陸上に分布する堆積物から推定することができる。大陸は、大陸棚および大陸斜面を含めると地球表面の 42% を占めるにすぎないが、全堆積物体積の 91% を含んでいる。一方、海底は地球表面の 58% を占めるにもかかわらず、堆積物は全体のわずか 9% しか存在しない。しかしながら、海洋堆積物の年代は、一般に約 2 億年を超えることはないと考えられる(ただし、その下位に埋没する固結した地殻を除く。この地殻中には、理論上はより古い堆積岩が含まれる可能性がある)。約 38 億年前の年代をもついくつかの地層については、海洋起源であるとする見解が存在する。しかし、それらの岩石のすべての特徴が、顕生代の海洋地殻に典型的な特徴と一致するわけではない(Budyko et al., 1987)。

海水の総塩分は、かなり複雑な変化を示す。堆積層中に周期的に形成される岩塩鉱床は、溶解が及ばない深部へ埋没した後、広域的な隆起・沈降運動(epeirogenic movement)の方向転換に伴って侵食基準面付近まで再びもたらされるなどの過程を経る(図 1)。

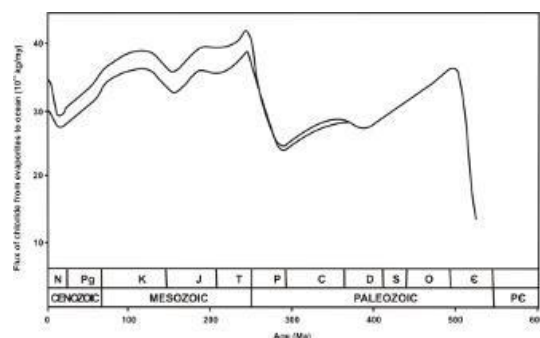


図 1. 蒸発岩鉱床の侵食に伴って、顕生代に海洋へ供給された塩素量(最大推定値および最小推定値(Hay et al., 2017))。

したがって、塩分に何らかの一方方向的な変化傾向が存在したと論じることは困難である。また、既往研究で提案されているモデル(Hay et al., 2017 など)にも仮定に基づく要素が含まれている。このため、本研究で扱う問題を解決するうえでは、これらのデータを考慮しても有益性は乏しいと考えられる。むしろ、地質時代の大部分において主として大陸の堆積物の進化に反映されている、テクトノスフェア深部の過程を解析することに重点を置くほうが妥当である。

海洋化の内因的レジーム

Budyko et al. (1987) に示された、現在の大陸における地向斜およびプラットフォームの分布の変遷(0~35 億年前; 図 2)に関する情報は、地質時代を通じたマントル岩

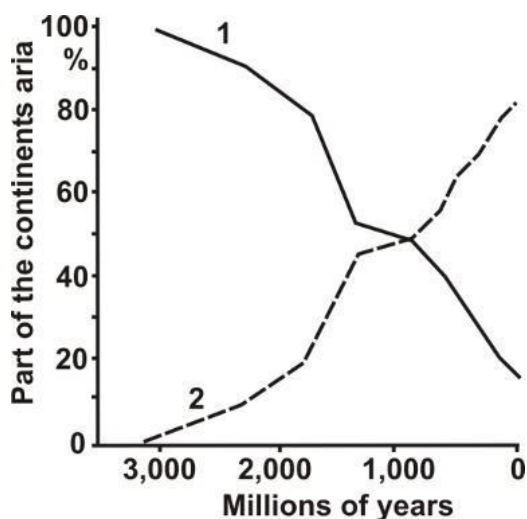


図2. 現在の大陸における地向斜 (1) およびプラットフォーム (2) の面積変化の全体的傾向。

石中の放射性元素起源の熱生成量の減少について定量的な説明を与えた著者の研究成果 (Gordienko, 2017) と基本的に整合している。表現方法を変更すると、この一致は視覚的にも明瞭となる。この点は、以下に示す他の同様の比較を検討するうえでも重要である。

図3は、顕生代を通じて、現在の大陸域のかんりの部分が海によって覆われていたことを示している。しかしながら、大陸内海 (epicontinental sea) の水深はいまだ十分には明らかにされておらず、そこに存在した表層水の割合を見積もることはできない (Budyko et al., 1987)。プラットフォーム上における海域分布の変動は、地向斜の変動を平滑化し、かつ振幅を弱めた形で反映している。地向斜は、その発達初期には広大で長期間存続する堆積

盆地を形成していた。とりわけ注目されるのは、最も新しい後期アルプス期 (Late Alpine) において、大陸内海の面積が急激に減少したことである。この時期は、海洋盆の著しい深海化が生じた時期と年代的にほぼ一致している。

惑星表層に存在する液体の水の総量は、長期間にわたって現在よりも著しく少なかった可能性がある。また、その水は現在の海洋のような深い海盆に集中するのではなく、地球表面に比較的均一に分布していたと考えられる (図3A)。この期間には、地球表面全体に広く分布していた地向斜が、徐々にプラットフォームへと置き換えられていった。最も古いプラットフォーム (先リフェアン期) は、厚い地殻中に花崗岩質バソリスを含むことが多く、活動性のきわめて低い楕状地として特徴づけられる。地向斜からプラットフォームへの移行は、繰り返し生じたものを含むリフト形成 (riftogenesis) を伴って進行した。このリフト形成は、地向斜地域の一部にも及んだ。その結果、地球上の一部の地域では、他の大陸地域に典型的な地殻よりも著しく苦鉄質な地殻が徐々に形成された。このような地殻は、現在の海洋縁辺部付近で認められることが指摘できる。

これに先立つ大陸内海の面積減少については、別のデータを用いて検討するほうが適切である。既知の地質学的情報との比較には、図3の最も新しい時代の部分を利用することができる。すなわち、これは Rudich (1984) などによって示された、過去数千万年間にわたる海底の変遷に関するデータである (図4)。

これらのデータ (ならびに B.A. Bluman の研究 (Bluman, 2008) に示された知見) は、三畳紀/ジュラ紀境界以降、現在の海洋が長期間にわたって浅海あるいは陸

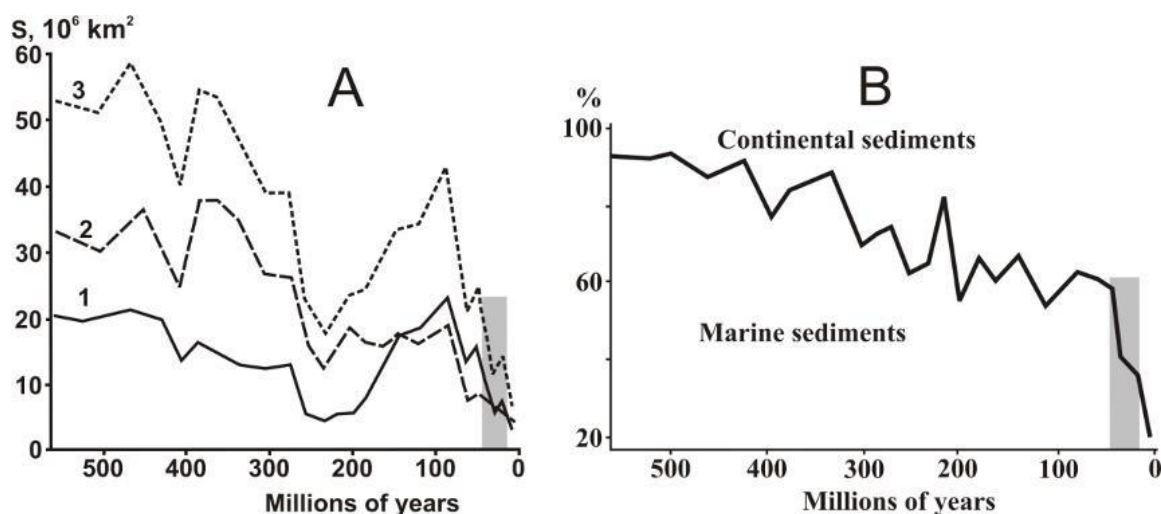


図3. (A) 顕生代における現在の大陸上の海域面積の変遷。プラットフォーム上の海域 (1)、地向斜上の海域 (2)、および全海域 (3) を示す。(B) 現在の大陸における海成堆積域および陸成堆積域の面積変化 (Budyko et al., 1987)。灰色の帯は、海底が異常に急速な沈降を受けた時期を示す (図4参照)。

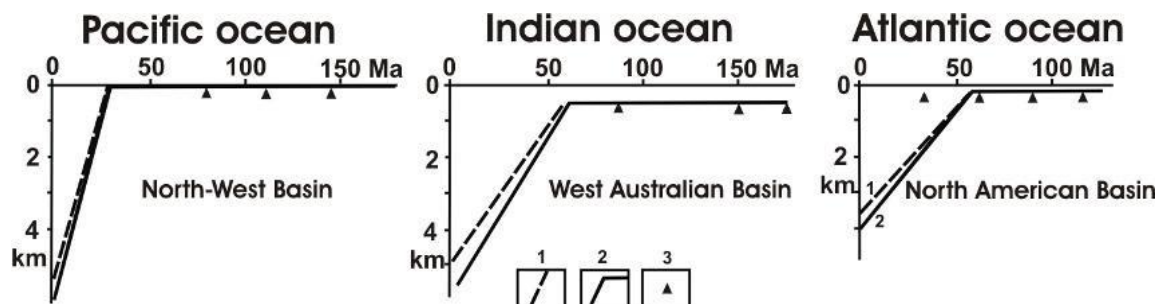


図4. 過去2億年間ににおける海底深度の変化. 1: 海底面の深度. 2: 基盤面の深度. 3: マグマ活動の発現.

上環境にあり、その間に堆積・火山性堆積物が形成されていたことを示している。そのような環境は、約 3000 ± 1500 万年前に、海底のきわめて急速な沈降へと移行した。著者は、この深海化は主として海洋化 (oceanization) の最終段階、すなわち大陸地殻の苦鉄質部分のエクロジイト化によるものであると考えている (Gordienko, 2017)。「海底の崩落 (collapse)」の平均的な規模は約 3 ± 0.8 km と見積もられる。ただし、この推定値は40年以上前に得られた限られたデータに基づくものであることに留意する必要がある。形成された海盆を満たすために必要な水のおよそ半分は、地殻物質がマントル物質へ置換される際に供給された可能性がある。これは、マントル岩石が地殻岩石よりも含水量に乏しいためである (Gordienko, 2025)。残りの半分は、大陸内海から供給された可能性がある。しかし、後者については計算に必要なデータが不足しているため、現時点では仮説にとどまる。

以上に述べた事例は、大陸上に形成された堆積物に関するデータからも海洋における過程を推定できることを示しており、このような解析手法はきわめて有用である。

現在の大陸では、アルプス地向斜サイクルの最終段階に相当する時代は、リフト形成（おそらく単一段階の再活性化）と広範な隆起および大規模な火成活動を伴う時期でもある。これにより、大陸上の水は深海化した海洋へ向かって「流出」することになる。同様の過程は、カレドニア造山サイクルおよびヘルシニア造山サイクルの末期にも生じた可能性が高い（図3）。

E.M. Rudich は図4のデータを解析し、次のように結論している。「現在の深海域において後期中生代および新生代の浅海性堆積物が広範囲に発達していること、さらにそれらの岩相・堆積相が、大陸縁辺部に分布する同時代の堆積物と類似していることは、大陸の境界が比較的最近まで現在よりもはるかに沖合に位置していたことを明瞭に示している。」 (Rudich, 1983, p. 262) すなわち、沈降は大陸縁辺部にも及び、海洋は大陸側へ進出したことになる。

パラナ洪水玄武岩（約1億3000万年前）は南アメリカ東部の大陸棚まで連続して分布し、南部アフリカのエテンデカ洪水玄武岩（約1億2000万年前）は大西洋のウォルビス海嶺へと連続している。この傾向は、より新しい地質時代にも認められる。約5000万年前のグリーンランド東部およびアウター・ヘブリディーズ諸島の洪水玄武岩は、その上位に形成された風化殻とともに、深海掘削によって隣接する大陸棚沖まで追跡されている。また、コロンビア高原玄武岩（約1500万年前）はラポソス湾地域へ延び、アフール洪水玄武岩（約3500万年前）は紅海へ連続している (Bluman, 2008)。しかしながら、マントルから大量の玄武岩質マグマが噴出するだけでは、海洋化を引き起こすには十分ではない。

図3に示したように、カレドニア造山サイクルおよびヘルシニア造山サイクルの末期には、大陸の広範な地域でリフト形成が進行しており、その代表例を図5に示す。

東ヨーロッパ・プラットフォーム (EEP) では、この過程はプラットフォームの大部分に及んだ。これは、同地域の火成岩の相当部分が堆積層の下に埋没しており、さらに未発見の岩体も多数存在すると考えられることを考慮したものである。ヘルシニア期のリフトの一つであるドニエブルードネツ陥没帯 (DDD) では、リフト形成に伴う地殻変質の結果を詳細に検討することができる。ここでは、固結地殻の薄化と苦鉄質化が明瞭に認められる。これらの変化の一部は、リフェアン・ヴェンド紀のリフト形成に起因する可能性があり、いずれも海洋化過程を構成する要素である。V.V. Belousov は、このような地域を「未成熟海洋 (failed oceans)」と呼んでいる (Belousov, 1991)。その後の再活性化も DDD の同じ地域に及んだが、少なくとも現在までのところ火成活動は伴っていない。したがって、少なくとも3回にわたる活動の影響を受けても、海洋化には至らなかったことになる。換言すれば、大陸域と海洋域で認められる現象の相関は、活動時期の同期性として現れるにすぎず、両者の内因的レジームの間に明瞭な対応関係が存在することを意味するものではない。

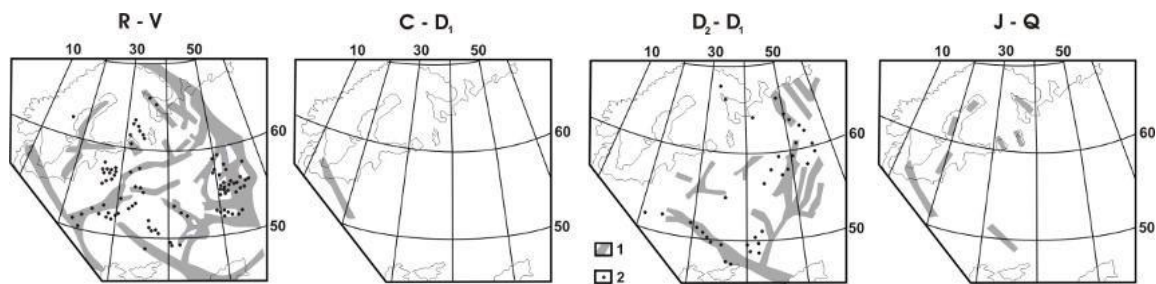


図5. 東ヨーロッパ・プラットフォーム (EEP) におけるリフト形成 (riftogenesis) の分布 (Milanovsky, 1983 など). 1: リフトの分布. 2: マグマ活動の発現.

海洋型地殻をもつ海洋地域の地質学的な歴史は、中生代以前まで確実にさかのぼって復元することはできない。地殻物質の流入に伴って上部マントル岩石中の熱生成量が増加した結果、新たな内因的レジームが徐々に形成された。現在観察できるのは、その初期的な現れにすぎない。

地殻の海洋化

図5に示した地域が、現時点では「成功した海洋 (successful oceans)」となり得ないことは明らかである。海洋化フロントの進行に関する既往研究 (Bluman, 2008; Dickens, 1994; Krasny, 1983; Storetvedt, 1997 など) によれば、その進行速度は概略で約1 cm/年と見積もられる。この値は、地角斜地域を伝播するオーブアン波 (Aubouin wave) の伝播速度と整合的である。また、同程度の速度は、活動域においてエクログャイト化した地殻ブロックがマントル内へ沈降する速度としても得られている (Gordienko, 2022)。もちろん、これらの速度は概略的な推定値にすぎず、B.A. Bluman が示した、活動的大陸縁および受動的大陸縁をもつ海洋における海洋化フロントの遠心方向および求心方向への進行 (Bluman, 2008) についても、現段階では暫定的なものとみなすべきである。それにもかかわらず、現在の海洋の形成には約2~2億5000万年、すなわち中生代から新生代に相当する期間を要したと考えることができる。

著者はすでに (Gordienko, 2017) で述べたように、この過程は、地角斜内部におけるマントルの熱・物質輸送と、それに続く地角斜後 (postgeosynclinal) の再活性化から構成される。ここで対象となるのは、明らかにキンメリア期 (Cimmerian) の地角斜である。熱構造モデルを構築するためには、この過程が開始される以前の初期温度を知る必要がある。しかし、海洋地域についてはそのような情報は得られていない。そのため、本研究では、年代がほぼ対応し、とくに真正地角斜 (eugeosynclinal) に相当する中央部を有するカルパチア地角斜を類似例として用いた。利用可能なデータによれば、同様の一連の地質学的活動

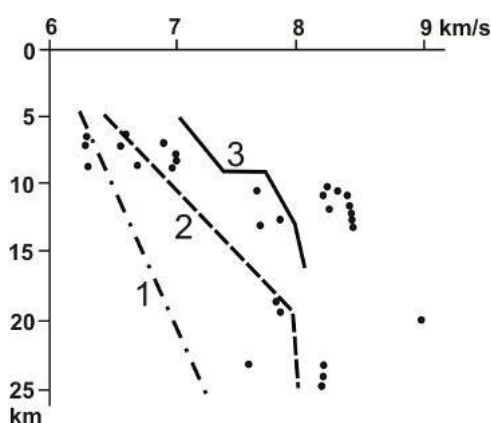


図6. 各地域の固結地殻における地震波速度プロファイルと、アンゴラ-ブラジル地球横断測線のデータとの比較。1: ドニエプル-ドネツ陥没帯 (Dnieper-Donets Depression)。2: カルパチア地角斜中央部 (ハンガリー、カルツァグ、パノニア地塊)。3: 南オホーツク海盆。4: アンゴラ-ブラジル地球横断測線のデータ。

は南オホーツク海盆でも生じた可能性がある。両者の相違は最終段階にのみ認められ、そこでは急速な沈降と厚い堆積層の形成が生じている。したがって、上記の地域 (さらにドニエプル-ドネツ陥没帯を含む) の地殻における地震波速度構造を、典型的な海洋盆地の速度構造と比較することは有意義であると考えられる。この目的には、アンゴラ-ブラジル地球横断測線 (Angola-Brazil geotraverse) のデータが適している。中央大西洋海嶺の両側約2000 kmの範囲のデータを統合すると、P波速度 (V_p) の比較的高密度な分布を得ることができる (図6; Pavlenkova et al., 1993)。その速度構造は、深さ12 kmまでについて構築されたよく知られたモデル (Spudich et al., 1980) とよく一致している。速度プロファイル1~3については、部分溶融帯の影響を含めた補正を行い、P波速度 (V_p) をアンゴラ-ブラジル地球横断測線における圧力・温度 (P-T) 条件に対応させた。

その結果、ドニエプル-ドネツ陥没帯の地殻速度構造は海洋地殻のものとは異なる一方で、パノニア地塊および南オホーツク海盆の速度構造は海洋地殻と比べて

よく類似していることが明らかとなる。両地域では、真正地向斜過程はキンメリア期に開始し、その後アルプス期の地質イベントによってさらに発達した。ここで対象とするカルパチア地域については、約 12 億年前までさかのぼる地質学的履歴が明らかにされている。火山活動を伴った活動期の年代はすでに決定されており、若い時代の再活性化と地殻厚の急激な減少についても知られている (Gordienko et al., 2011 など)。熱・物質輸送モデルでは、テクトニック作用量子 (Quantum of Tectonic Action: QTA) (Gordienko, 2017, 2022) を 200, 150, 100, 50 Ma に設定した。移流による熱輸送イベントの計算には、地球表面の冷却に伴う初期温度分布の変化と、地向斜レベルにおけるマントル岩石中の放射性元素起源の熱生成 ($0.06 \mu\text{W}/\text{m}^3$) の効果を加味した。さらに、活動系列の後半では、地殻-マントル間の物質交換により、深さ約 100 km までのマントルにおける熱生成率が $0.08 \mu\text{W}/\text{m}^3$ まで増加し、海洋域に相当する値へ達すると仮定した。

プラットフォームの固結地殻では、下部 3 分の 1 に最大 30% 程度の超苦鉄質岩が存在すると仮定することにより、その物性構造を説明することができる (Gordienko et al., 2005)。一方、顕生代の地向斜では、固結地殻岩石の熱生成率が低下していることが知られており、これは地殻全体に約 20% の超苦鉄質岩が分布していることによって説明できる可能性がある (Gordienko, 2017)。

以下では、当時の深部過程の内容について検討する。最初の QTA は、深さ 230~470 km の領域から 230~170 km へ上昇し、約 320 °C の温度異常を伴った。一方、下部の供給源領域では約 80 °C の冷却が生じた。初期のマグマ活動は比較的小規模であり、正負の熱異常による地表変位はほぼ相殺された。上部マントル底部における岩石の多形転移もほとんど生じず、その深度での温度変化は計算誤差の範囲内であった (図 7)。地殻では、固結地殻および堆積層を貫く苦鉄質岩脈の形成に限られた変化が生じた。堆積岩は、主としてその後の活動段階で加熱され、続成作用 (catagenesis) の段階に達し、縦波速度 (V_p) は約 6 km/s まで増加した。さらに、岩脈群が堆積層中に高密度で貫入した結果、 V_p は約 6.0~6.5 km/s となった。

第 2 の QTA は、深さ 170~460 km から 110~170 km まで上昇し、約 300 °C の温度異常を伴った。その結果、供給源領域は約 60 °C 冷却した。この場合も、熱異常によって生じる隆起と沈降はほぼ相殺され、地表高度の変化はごく小さかった。一方、地表の火山岩・堆積岩層の厚さは数百 m 程度増加し、地殻内の岩脈群はさらに高密度に発達した。

第 3 の QTA (地向斜過程を完結させるイベント) は、深さ 130~250 km の領域から 70~130 km まで上昇し、約 400 °C の温度異常を伴った。これにより、供給源領域は約

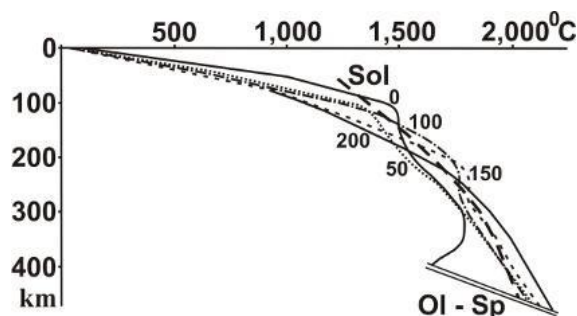


図 7. 海洋化期間における地殻および上部マントルの温度分布。各曲線の横の数値は年代 (Ma) を示す。Sol: かんらん岩の固相線 (peridotite solidus)。Ol-Sp: かんらん石-ワズレイイト相転移帯 (olivine-wadsleyite transition zone)。

200 °C 冷却した。新たに形成された地殻直下アセノスフェア (厚さ約 7~8 km) の部分熔融物質の一部は、深さ 20~30 km の地殻内へ移動し、その体積のおよそ半分を占めた。さらに、深さ 10~20 km の地殻内にも約 4 分の 1 が貫入した。一方、アセノスフェアへ沈降した物質は、その温度を約 150 °C 低下させた。

最終的なマグマ活動は、地表の火山岩層をさらに厚く発達させた。図 7 には、各再活性化イベントが開始される直前の温度分布を示している。この時点では、第 2 および第 3 の QTA による地殻の加熱効果は、各段階の開始直後、とくに大量の部分熔融したマントル物質が地殻内へ貫入した直後と比較すると、すでに弱まっている。固結地殻全体は、超苦鉄質物質の付加を受け続けながらグラニュライト相変成条件に達し、地震波速度は 7 km/s を超えた。

地向斜後 (post-geosynclinal) 段階における熱・物質輸送は、上部マントル底部を覆う岩石が加熱されることによって準備された (図 7)。約 5000 万年前には、その位置に厚さ約 70 km の部分熔融層が形成され、これが新たな QTA を発生させるのに十分な条件となった。この QTA は、約 950 °C の温度異常を伴って地殻方向へ上昇し (深さ 40~100 km まで達した)、供給源領域を約 800 °C 冷却した。現在では、上部マントル底部における異常な冷却は著しく緩和され、かんらん岩 (peridotite) の多形転移境界は深さ約 395 km に位置している。約 70 km の厚さをもつこの領域では、かんらん石の高密度化と、一部の輝石がざくろ石質岩へ転移したことにより、全体として約 $0.22 \text{ g}/\text{cm}^3$ の密度増加が生じた。

この過程の進行速度について信頼できる情報は得られていないが、その変化はすでに完了している可能性が高い。Korolyuk et al. (2004) によれば、より浅部では、対応する圧力・温度 (P-T) 条件の変化だけで、地質学的には短時間のうちに同様の相転移が進行し得る。

以上の高密度化により、地殻-マントル系全体は約 4.5 km 沈降した。一方、QTA が上昇する過程では、地殻直下において温度がかんらん岩の固相線 (solidus) を超え、最大約 30% に達する強い部分熔融帯が形成された (Kadik et al., 1990)。大規模な火山活動によって、地表の噴出岩層 (effusive layer) の厚さは約 1.5 km まで増加した。さらに、形成された凹地を満たした海水の荷重が加わることで、下部地殻はエクロジャイト化境界より約 3 km 深い位置まで押し下げられ、その結果、さらに約 0.5 km の追加的な沈降が誘発された。また、地殻直下アセノスフェアでは、厚さ約 7~8 km にわたって部分熔融したかんらん岩が地殻内へ貫入した。その貫入量は、固結地殻上半部では約 350 °C、下半部では約 700 °C の温度異常を伴う一連の過程を引き起こすのに十分な規模であった。冷却後、変質した地殻はやや高密度化し、数百 m 程度沈降した。一方、地殻直下アセノスフェアへ沈降した物質は、その温度を約 60 °C 低下させ、さらに冷却に伴ってエクロジャイトへ転移した。その結果、地表の総沈降量は約 5.5 km に達した。固結地殻における P 波速度 (V_p) は、約 7.7 km/s に達する。

以上に述べた海洋化過程における地殻変質のシナリオには、超高压変成岩 (UHP : Ultra-High Pressure) ブロックの形成に関わる現象は含まれていない (Gordienko, 2017 ; 2022 など)。しかし、地殻-マントル間の物質交換過程において、苦鉄質岩がエクロジャイト化すること自体は疑いの余地がない。かんらん岩質メルトが地殻内へ貫入し、部分熔融度が 5% から 30% へ増加するとともに、塩基性グラニュライトのおよそ 40% が置換されるならば、その過程には著しい高密度化が伴うはずである。しかしながら、地殻内のマグマ貫入体周辺に十分高い圧力領域が形成される機構については、既往研究においてほとんど詳細な検討がなされていない (ピーク変成以前に生じる斑れい岩の順変成作用を扱った研究 (Oh, 1990 ; Zhang et al., 1995 を除く)。

このため、本研究では、十分な岩圧 (1 GPa 以上) のもとで生じるエクロジャイト化のみを対象とする。地角斜段階の最終的なマグマ活動およびその後の再活性化段階におけるマグマ貫入は、エクロジャイトの形成を伴い、深さ 12 km 以深では P 波速度 (V_p) のさらなる増加をもたらしたと考えられる。また、マグマ貫入直後には、熱弾性応力 (thermoelastic stress) だけでも数百 MPa に達し得ることが示されている (Grinfeld et al., 1988 ; Turcotte et al., 1985 など)。地震学的には、このリソスフェアの部分は通常、地殻の一部とはみなされていない。

パイロープを含むエクロジャイトは深さ 250~300 km まで沈降し得る一方、アルマンディンを含むエクロジャイトは上部マントルの底部まで到達し得る。このような

過程を通じて、海洋下の上部マントル全体において放射性元素起源の熱生成率が増加し、新たな内因的レジームが形成される可能性がある。現在の海洋で生じている最新の地質現象は、この新たなレジームに特徴的な現象をまだ十分には備えていない可能性がある。

地殻最上部は、第 2 層を構成する噴出岩の形成後に堆積した、厚さ数百 m 程度の未固結堆積物からなる海洋地殻第 1 層によって構成される。既往資料によれば、第 1 層の地震波速度は約 2.0~3.5 km/s である。一方、第 2 層では速度は空隙率に強く依存し、約 3.5~5.0 km/s の広い範囲に分布する (Density... ; Dobrynin, 2004 ; Handbook..., 1969 ; Mineral..., 1995 ; Petrophysics..., 1992 など)。第 3 層を構成する岩石では、P 波速度 (V_p) は約 6.5 km/s となるはずである。

以上の結果を実測データと比較してみる。そのために、大西洋および太平洋の海洋地殻速度構造から約 200 個の V_p 値を抽出するとともに、深さ 40 km までの地殻直下層についても同様のデータを収集した。この深度は、海洋化の影響を受け、さらに 5~6 km 沈降した地殻の下限にほぼ対応すると考えられる。

得られた結果は次のとおりである。

地殻第 1 層 : 2.75 ± 0.15 km/s

地殻第 2 層 : 4.25 ± 0.15 km/s

地殻第 3 層 : 6.5 ± 0.1 km/s

これらの値は、モデルから予測された値とよく一致している。

深さ 12 km 以深では、12~20 km の深度で求められた速度値が最も多いものの、それより深部のデータも含まれている。また、速度分布のパターンは、アンゴラ-ブラジル地球横断測線 (図 6) の下で観測されたものときわめてよく類似していることに留意すべきである。深さ 12~30 km における平均 P 波速度は約 7.7~7.8 km/s である。

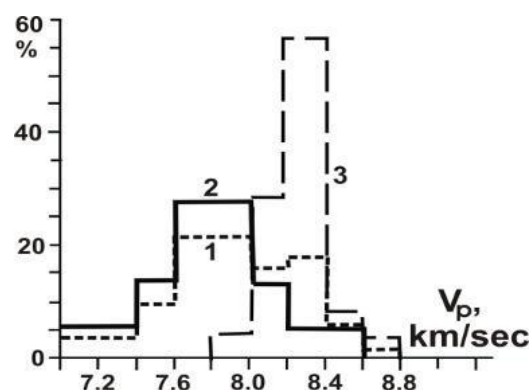


図 8. 海洋盆地下の深さ 12~30 km における地震波速度のヒストグラム。1 : 全データセット。2, 3 : 解釈された成分 (2 : 塩基性グラニュライトおよびレールゾライト。3 : エクロジャイト)。

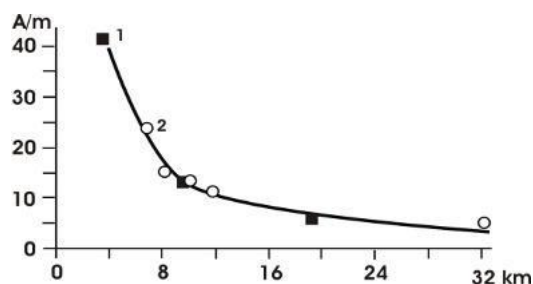


図9. ブロークン磁気異常 (1) および南千島磁気異常 (2) を説明する磁気異常源の深度および磁化強度の変化。

しかし、実際のデータセットは、平均 V_p が異なる 2 種類の岩石ブロックが存在することを示している (図 8)。

北西太平洋では、地殻厚は水層を含めて 25~30 km に達することが、地質学および地球物理学的調査を総合した研究から直接推定されている (Krasny et al., 1983 ; Lomtev, 2008)。

さらに、通常はマントルに属すると考えられている深度範囲を海洋地殻に含めるべきことを支持する、もう一つの根拠が存在する。海洋における磁気異常を、その発生源に対して現実的な磁化強度を用いて解釈すると、磁気異常源の下限はしばしばマントルとみなされている岩石中に設定せざるを得ない。この特徴は、面積および強度の大きな磁気異常、たとえばオーストラリア西方のブロークン磁気異常 (Broken anomaly) や南千島磁気異常 (South Kuril anomaly) において、とくに顕著である (図 9)。

実験データによれば、下部地殻岩石の代表的な磁化強度は約 3~3.5 A/m である。

以上のことから、深さ約 12~30 km に存在する岩石群は、一般的なマントルの概念には適合しない。むしろ、それらは海洋地殻の下部を構成する岩石である可能性が高い。これらの岩石は、下位のマントルから塩基性マグマが貫入した後に蛇紋岩化 (serpentinization) を受け、顕著な磁化を獲得したと考えられる。線状磁気異常の発生源は、まさにこの深度に存在すると解釈される (Gordienko, 2023 など)。

総じて、本研究で実施したモデリングにより、海洋化過程を (Gordienko, 2017) よりも広い視点から理解することが可能となった。また、海洋地殻が大陸地殻を母体として形成された可能性について行った検証は、妥当なものであったと結論づけることができる。

結 論

大陸地域では、真正地向斜段階に対応する深部過程と、それに続く約 2 億年にわたる再活性化によって、現在の海洋で認められる一連の地質現象がもたらされる。それ

らには、長期間にわたる準平原あるいは大陸棚環境の維持、周期的なマグマ活動の再開、ならびに地殻構造の再編成 (地殻の苦鉄質化と、下部地殻がマントルに近い物性を示す深度帯へと変化すること) が含まれる。この段階に続いて、地表は数千万年という比較的短期間のうちに急速に沈降する。この沈降は、上部マントルと下部マントルの境界の移動に伴う現象である。本研究で行ったこの過程の数値計算の結果は、海洋地殻構造に関する観測データと良好に一致している。さらに、中央海嶺、深海丘陵、海溝、および若い堆積物で埋積された広大な海盆に代表される最近の再活性化過程は、すでに形成された海洋地殻の上に重複して生じている。また、マントルへ沈降した地殻物質は、上部マントルにおける放射性元素起源の熱生成を増加させ、新たな内因的レジームを形成する。

謝 辞

著者は、本論文のロシア語からの翻訳に協力いただいた Rita Schneider 氏に深く感謝の意を表する。

文 献

- Belousov, V.V. (1991). Earth's tectonosphere: Interaction between the upper mantle and the crust. Moscow: MGK USSR, 72 p. (in Russian).
- Bluman, B.A. (2008). Weathering of basalts and unconformities in the oceanic crust: Possible geodynamic implications. *Regional Geology and Metallogeny*, 35, 72–86 (in Russian). <http://www.evgenyev.narod.ru/tecto/bluman-2008.html>
- Budyko, M.I., Ronov, A.B., & Yanshin, A.L. (1987). History of the Earth's atmosphere. Berlin–New York: Springer-Verlag, 139 p.
- Density and composition of the upper mantle (in Russian). <http://www.geologam.ru/geophysics/lithosphere/plotnost-i-sostav-verhney-mantii>
- Dobrynin, V.M., Vendelstein, B.Yu., & Kozhevnikov, D.A. (2004). *Petrophysics (Physics of rocks)*. Moscow: Russian State University of Oil and Gas Publ. House, 368 p. (in Russian). geokniga-dobrynin-petrophysics2004.pdf
- Gordienko, V.V. (2017). Thermal processes, geodynamics, deposits. 283 p. <https://ivangord2000.wixsite.com/tectonos>
- Gordienko, V.V. (2022). About geological theory. *Geophysical Journal*, 44(2), 68–92. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i2.256266>
- Gordienko, V. (2025). History of ocean water. *NCGT Journal*, 10, 1566–1573.
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., et al. (2005). Ukrainian Shield (geophysics, deep processes). Kyiv: Korvin Press, 210 p. (in Russian).
- Gordienko, V.V., Gordienko, I.V., Zavgorodnyaya, O.V., et al. (2011). Ukrainian Carpathians (geophysics, deep processes). Kyiv: Logos, 128 p. (in Russian).
- Grinfeld, M.A., & Langman, S.A. (1988). Thermoelastic displacements in a homogeneous isotropic half-space with a buried ellipsoid inclusion. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 9, 15–28.
- Handbook of Physical Constants (1969). S. Clark (Ed.). Moscow: Mir, 544 p. (in Russian).
- Hay, W., Migdisov, A., Balukhovskiy, A., et al. (2006). Evaporites and the salinity of the ocean during the Phanerozoic:

- Implications for climate, ocean circulation and life. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 240, 3–46.
- Kadik, A.A., Lukanin, O.A., & Portnyagin, A.L. (1990). Magma formation during the ascent of mantle material: Temperature regime and composition of melts formed during adiabatic decompression of mantle ultrabasites. *Geochemistry*, 9, 1263–1276 (in Russian).
- Korolyuk, V.N., Lepegin, G.G., & Korsakov, A.V. (2004). Reconstruction of the thermal history of metamorphic rocks based on exchange-diffusion zoning in minerals. *Russian Geology and Geophysics*, 45(4), 501–512 (in Russian).
- Krasny, M.L. (1983). System of paleo-island arcs of Northeast Asia. In: *Structure and dynamics of transition zones*. Moscow, p. 49 (in Russian).
- Lomtev, V.L. (2008). New data on tectonics and magmatism of the NW Pacific region. *Geology and Mineral Resources of the World Ocean*, 4, 93–105 (in Russian).
- Milanovsky, E.E. (1983). Rifting in the history of the Earth (rifting on ancient platforms). Moscow: Nedra, 280 p. (in Russian).
- Mineral Physics and Crystallography: A Handbook of Physical Constants (1995). T.J. Ahrens (Ed.). Washington: American Geophysical Union, 354 p.
- Oh, C.-W. (1990). Metamorphic evolution of two different eclogites in the Franciscan Complex, California, USA. *Lithos*, 25, 41–53.
- Pavlenkova, N.I., Pogrebitsky, Yu.E., & Romanyuk, T.V. (1993). Seismic-density model of the crust and upper mantle in the South Atlantic along the Angola–Brazil Geotraverse. *Physics of the Solid Earth*, 29(10), 27–38 (in Russian).
- Petrophysics: Handbook. In three volumes. Vol. 1: Rocks and minerals. (1992). Dortman N.B. (Ed.), Moscow: Nedra, 391 p. (in Russian). <https://www.geokniga.org/books/2704>
- Rudich, E.M. (1984). Expanding oceans: Facts and hypotheses. Moscow: Nedra, 252 p. (in Russian).
- Spudich, P., & Orcutt, J. (1980). A new look at the seismic velocity structure of the oceanic crust. *Reviews of Geophysics*, 18(3), 627–645. <https://doi.org/10.1029/RG018i003p00627>
- Turcotte, D.L., & Schubert, G. (1985). *Geodynamics: Geological applications of continuum physics*. Moscow: Mir, 730 p. (in Russian translation).
- Zhang, R.-Y., Hirajima, T., & Banno, S. (1995). Petrology of ultrahigh-pressure rocks from the southern Su-Lu region, eastern China. *Journal of Metamorphic Geology*, 13, 659–675.

海洋化に伴うテクトノスフェアのエネルギー収支

Energy Balance of the Tectonosphere during Oceanization

Vadim V. Gordienko, Ivan V. Gordienko

S.I. Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

Keywords: radiogenic heat production; tectonosphere; Earth's crust; upper mantle

(川辺孝幸 訳)

要旨: 本研究では、地殻および上部マントルにおける放射性元素起源の熱生成が最大限に変化するシナリオについて検討した。大陸テクトノスフェアと海洋テクトノスフェアの比較では、通常、地殻構造や地殻厚の顕著な相違が強調される。しかし、マントル岩石中の U, Th, K 含有量を解析すると、対応する深度範囲における放射性元素起源の熱生成も、同程度に大きく変化していることが明らかとなる。異なる内因的レジームを示す地域間においても、テクトノスフェア全体の総熱生成量はほぼ一定であり、その変動幅はおそらく約 20% 以内に収まる。したがって、内因的レジームの変化は、地殻-マントル間の物質交換過程を反映するものであり、その過程では、上部マントルにおける熱生成が地殻の熱生成を犠牲として増加する。厚い地殻をもち、低苦鉄質岩を多く含む大陸地域が、薄く苦鉄質な地殻をもつ海洋地域へと置き換わることにより、上部マントルにおける熱生成率は約 2 倍 (約 0.04 から約 0.08 $\mu\text{W}/\text{m}^3$) に増加する。これは、テクトノスフェアにおいて大きなエネルギーを必要とする深部過程が発達するための必須条件であると考えられる。著者らのモデルでは、このような変化は、真正地向斜レジームのもとで進行し、その後の地向斜後再活性化へと続く過程として説明される。本研究では、ウクライナのプラットフォーム地域、カルパチア地向斜、ならびに太平洋および大西洋の複数地域における地殻構造に関する観測データを用いて解析を行った。その結果は、著者らが提案する地殻-マントル物質交換モデルと良好に一致した。一方で、本問題については今後さらに検討を進める必要がある。とくに、地震波速度モデルの精度および近年の海洋域における再活性化過程に関する研究が重要な課題として残されている。

緒言

近年数十年間にわたる海洋研究の成果 (Bluman, 2011 ; Dickins, 1994 ; Frolov et al., 2011 ; Krasnyi, 1983 ; Lomtev et al., 2016 ; Pogrebitsky et al., 1990 ; Rudich, 1984 ; Storetvedt, 1997 ; Udintsev, 1987 ; Vasilyev, 1989 など) は、海洋地殻が大陸地殻を母体として形成されたことを強く示唆している。その有力な証拠の一つは、すべての海洋において大陸地殻の残存体 (relics of continental crust) が認められ、それらが少なくとも海洋面積の約 4 分の 1 を占めていることである (図 1)。また、安山岩線 (andesite line) も海洋の大陸起源を示す証拠である (Menard, 1964 ; Macdonald, 1949 など) この線と大陸との間には、中間組成の岩石が分布しており、これらは典型的な海洋地殻には本来存在しないはずである。

V.V. Belousov は、海洋の形成を地殻の再活性化という問題と関連づけ、次のように述べている。「海洋の形成は、地殻発達史における重大な転換点であり、ある意味ではプラットフォームの再活性化に類似しているが、その性質は異なる。この転換の意義とその深部要因はいまだ明らかではない」 (Belousov, 1954, p. 24)。さらに Belousov は、この転換点によって地球の地質学的歴史を花崗岩期

と玄武岩期の二段階に区分できると考えた。花崗岩期は地向斜-プラットフォーム発達段階に対応し、大陸地殻の形成と、地向斜の漸減およびプラットフォームの拡大を特徴とする。一方、中生代以降には、この段階が玄武岩期へ移行したとされた。

玄武岩期は、地球表面の約半分において地殻が改変された時代とされ、その特徴として、プラットフォーム化した大陸地域のテクトニックな再活性化、大陸上への大規模な洪水玄武岩 (plateau basalts) の噴出、さらに、花崗岩質地殻の破壊と玄武岩質物質への置換による、地溝帯および地中海型海域における地殻の苦鉄質化と海洋化が挙げられた。

大陸における内因的レジームの変遷は極めて明瞭である (Budyko et al., 1987)。過去 36 億年間にわたり、活発なテクトニック活動およびマグマ活動が生じる地向斜の面積は、全大陸面積の 100% から約 20% まで減少した。これに対応してプラットフォームの面積は増加し、単一段階の再活性化やリフト形成を除けば、長期間にわたりそのような活動をほとんど受けない状態となった。この傾向は、放射性元素起源の熱生成が地質時代を通じて減少してきたことを考えれば、きわめて合理的である。

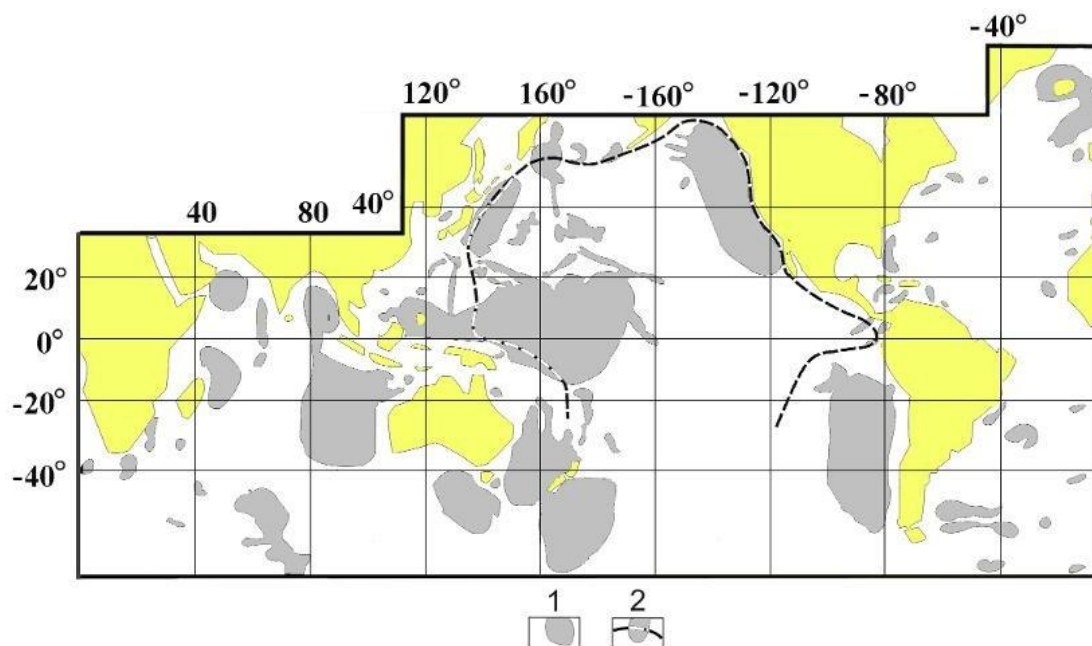


図1. かつて存在した大陸地殻の痕跡が認められる世界海洋の地域 (1) および太平洋における(安山岩線) (2).

しかし、中生代以降に、新たな発達段階として、大規模な再活性化、膨大な量の玄武岩の貫入・噴出、さらには花崗岩質地殻の破壊を特徴とする時代が始まったと考えることには、一見すると矛盾があるように思われる。

しかし、著者らが提唱する地質学的モデル (Gordienko, 2022 など) では、この矛盾は生じない。観測可能な地殻深部で生じる活発な地質現象の根本的な要因は、上部マントルにおける熱・物質輸送である。このことは、大陸域および海洋域のあらゆる内因的レジームについて示されている (Gordienko, 2012 など)。この傾向は、楯状地 (活動の痕跡が最もよく保存される地域) における再活性化イベント数の時間変化と、地殻およびマントルにおける放射性元素起源の熱生成 (RH) の減少とを比較することで明瞭に認められる (図2)。

再活性化イベントがマントル起源のエネルギーと密接に結びついていることは明らかである。顕生代には、プラットフォーム下と地向斜下のマントルにおける熱生成量は大きく異なる (これに対し、先カンブリア時代前半には両者はほぼ同程度であった)。このことから、より高いエネルギーをもつマントルが形成されるためには、地向斜地殻中の放射性元素がマントルへ移行することが不可欠であると考えられる。同様に、プラットフォーム上に形成される地向斜では、厚いプラットフォーム地殻を介して、その下位マントルの熱生成率が高められる。この考え方は、島弧地向斜にも適用できる。一方、プラットフォーム地殻内で生じるリフト形成は、このような変化をもたらすには適していない。リフト形成後の再活性化によっても、地殻はそれ以上大きく変化しない。むしろ、

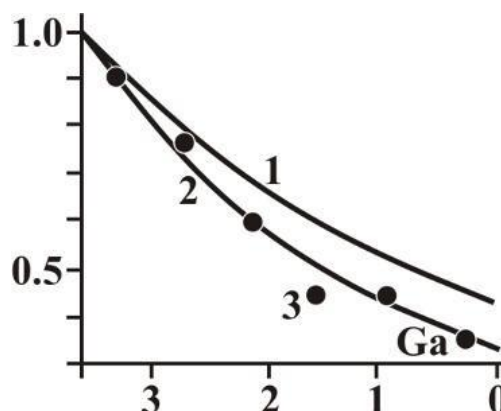


図2. プラットフォームにおける地殻 (1) およびマントル (2) の放射性熱生成の相対的变化、ならびに0.6億年の時間区間ごとの活動過程に必要な平均エネルギー量 (3)。

リフト形成は、やや高い熱生成率をもつプラットフォーム地域で発達する現象であり、単一段階型プラットフォーム再活性化がより強く現れた形態と考えられる。Gordienko (2023a, b など) では、キンメリアーアルプス期真正地向斜における深部過程に、その後の地向斜後再活性化を加えたモデルを提案した。このモデルでは、海洋地殻下に、より高い熱生成率をもつマントルが形成されることが示されている。本論文では、この深部過程のエネルギー論的側面に焦点を当てる。その前提として、関連する地球動力学的イベントについて簡潔に概観する。

深部過程とその結果 (主要な要素)

著者らはこれまでの研究 (Gordienko, 2022 ; 2023a, b など) において、海洋化に必要なテクトノスフェア内の熱・物質輸送機構について詳細に検討してきた。当然ながら、その適用には、先カンブリア時代のプラットフォームおよび地角斜におけるマントル・地殻の初期温度 (T) 分布ならびに深部岩石の組成を、できる限り精度よく復元することが必要であった。この目的のため、異なる大陸における両タイプの内因的レジームを示す複数の候補地域を検討した。その結果、ウクライナに位置する東ヨーロッパ・プラットフォームの一部とカルパチア地角斜が、本研究に最も適した対象地域であることが明らかとなった。これらの地域では、キンメリアーアルプス期地角斜過程に先行する地質史が比較的よく解明されており、それぞれ約 36 億年前および約 12 億年前まで遡ることができる。このことにより、マントル (さらにその後は地殻) 物質の移動に対する初期条件を設定することが可能となり、その結果として熱異常が形成され、さらに地球動力学的過程が誘発される。

モデルの構築にあたっては、テクトニック作用量子 (Quantum of Tectonic Action : QTA) の発生時期を 200, 150, 100, 50 Ma に設定した。初期の熱構造モデルには、カルパチア地域の条件を採用した。計算では、マントル岩石における放射性元素起源の熱生成 (HG) は、プラットフォーム段階から地角斜段階、さらに海洋段階へと移行するにつれて、 $0.04, 0.06, 0.08 \mu\text{W}/\text{m}^3$ へと増加するように設定した (Gordienko, 2023a)。

本過程の詳細については、すでに (Gordienko, 2012 ; Gordienko et al., 2011 など) で述べているため、ここではその主要な結果のみを要約する (図 3)。

カルパチア地角斜は、キンメリアーアルプス期に先立ち、リフェアンおよび古生代を通じて複数回の地角斜活動とリフト形成を経験している。そのため、同地域の上部マントルにおける熱生成率は、プラットフォーム下の

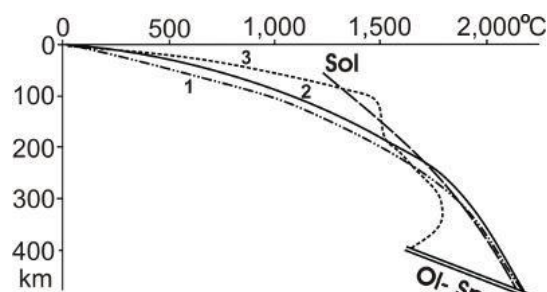


図 3. 海洋化の前後における地殻および上部マントルの温度分布。Sol : かんらん岩の固相線。Ol-Sp : かんらん石-ワズライト相転移帯。温度分布は、(1) 顕生代のプラットフォーム下、(2) カルパチア・キンメリアーアルプス期地角斜において地角斜過程が開始する直前、(3) 海洋プレート下、をそれぞれ示す。

マントルよりも高かった可能性が高い。これに対応して、初期温度分布もやや高く設定されている。計算によって得られた温度の妥当性を検証するため、それらをカルパチアの古生代および新生代地角斜における最終期マグマ活動に関連する岩石組成から実験的に求められた温度と比較した (図 4)。

計算値と実験値との温度差は、平均して約 40°C であり、このパラメータの決定に伴う一般的な不確実性の範囲を超えない。したがって、両者の一致は十分に良好であると評価できる。

地角斜過程の最終的なマグマ活動およびその後の再活性化段階に伴うマグマ貫入は、エクログャイトの形成を伴い、その結果として深さ 12 km 以深では地震波速度 (V_p) の局所的な増加を引き起こしたと考えられる。実際、マグマ貫入直後には、熱弾性応力 (thermoelastic stress) だけでも数百 MPa に達し得る (Turcotte et al., 1985 など)。地震学的には、このリソスフェアの部分は一般に地殻とは解釈されていない。

パイロープを含むエクログャイトは深さ 250~300 km まで沈降し得る一方、アルマンディンを含むエクログャイトは上部マントル底部まで到達し得る。その結果、地角斜下、さらにその後の海洋下の上部マントル全体において放射性元素起源の熱生成が増加し、新たな内因的レジームが形成される可能性がある。海洋の地質史における最も新しいイベントは、このレジームの特徴をまだ十分には反映していない可能性がある。

一連の過程の結果として、モデル化された地殻最上部は、第 2 層を構成する噴出岩の形成後に堆積した、厚さ数百 m の未固結な若い堆積物からなる海洋地殻第 1 層によって構成される。既往資料によれば、第 1 層の地震波速度は $2.0\sim 3.5 \text{ km/s}$ であり、第 2 層では空隙率に依存して $3.5\sim 5.0 \text{ km/s}$ の広い範囲に分布する (Density..., 2026 ; Dobrynin, 2004 ; Handbook..., 1969 ; Mineral..., 1995 ; Petrophysics..., 1992 など)。第 3 層を構成する岩石の P 波速度 (V_p) は、約 6.5 km/s と予想される。その下位には、

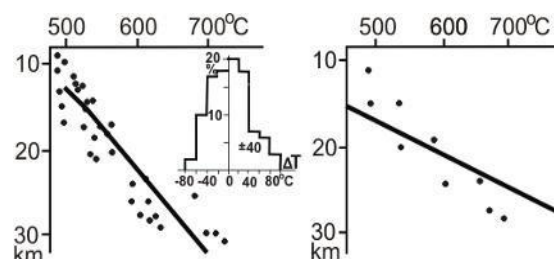


図 4. カルパチア地域の古生代 (A) および新生代 (B) の地角斜における最終期マグマ活動時の温度分布 (Gordienko et al., 2011)。実線は計算による温度、黒点は実験による温度を示す。挿入図は、実験値と計算値との差のヒストグラムである。

一般にはマントルに属すると考えられている層が存在する。しかし、著者らおよび多くの研究者 (Krasnyi, 1983 ; Lomtev et al., 2016 など) によれば、深さ約 30 km までは、この層は依然として特殊なタイプの海洋地殻であり、その平均 P 波速度は約 7.9 km/s である。

プラットフォームから地角斜への移行

地球のテクトノスフェアにおいては、放射性元素起源の熱源の総量は、いずれの地域の下でもほぼ一定である (現在観測される地域差は約 20 % を超えない) (Gordienko, 2023a)。ある内因的レジームをもつ地域が別のレジームへ移行する際には、地殻における熱生成 (HG) の変化は、上部マントルにおける熱生成の逆方向の変化によって補償されなければならない。これらの変化量は、当然ながら、各ジオスフェアの体積に比例する。以下では、地殻の体積は上部マントルの約 10 % であると仮定する。

先カンブリア時代のプラットフォーム下および顕生代の地角斜下における上部マントルの放射性元素起源の熱生成率は、それぞれ 0.04 および 0.06 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ と推定されている (Gordienko, 2023a など)。

この値は実験的に求められたものである。以下では、具体例を用いて、これらの推定値がプラットフォームおよび地角斜の地殻に関するデータとどの程度整合するかを検討する。そのために、深部地震探査 (Deep Seismic Sounding : DSS) 測線に沿って構築された地震波速度モデルの解析結果を用いる。測線の位置および関連文献については、Gordienko et al. (2025a) に示されている。地殻内

で生成される総地殻熱流量 (HF) は、図 5 に示す熱生成率と P 波速度 (V_p) との関係を用いて算出した。

プラットフォーム地域には、ドンバス準地角斜 (Donbas parageosyncline) も含まれる。その地殻構造は、東ヨーロッパ・プラットフォームのリフト起源であるドニエプル・ドネツ盆地とほとんど変わらない。得られた地殻起源熱流量 (HF) の分布を図 7 に示す。

全体として、地殻起源熱流量の変化は小さい。ただし、地域西部には、ウクライナ北方まで広がる異常に低い熱流量域が存在する。地殻厚を約 40 km と仮定して平均体積熱生成率に換算すると、0.57 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ となる。

カルパチア地角斜のデータ (図 6 に一部を示す) は、これに比べてかなり粗い (Belyayevsky, 1981 ; Grad et al., 2006 ; Pozhgay, 1977 ; Sollogub et al., 1979 ; Starostenko et al.,

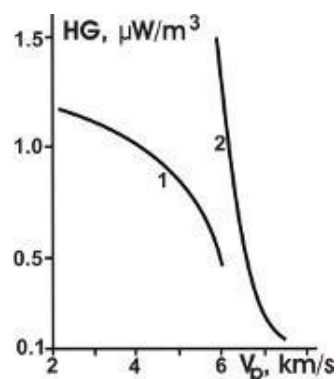


図 5. プラットフォーム地殻に典型的な圧力-温度条件における熱生成率と P 波速度との関係。1 : 初生堆積岩および続成・変成作用を受けた岩石。2 : 結晶質岩石。

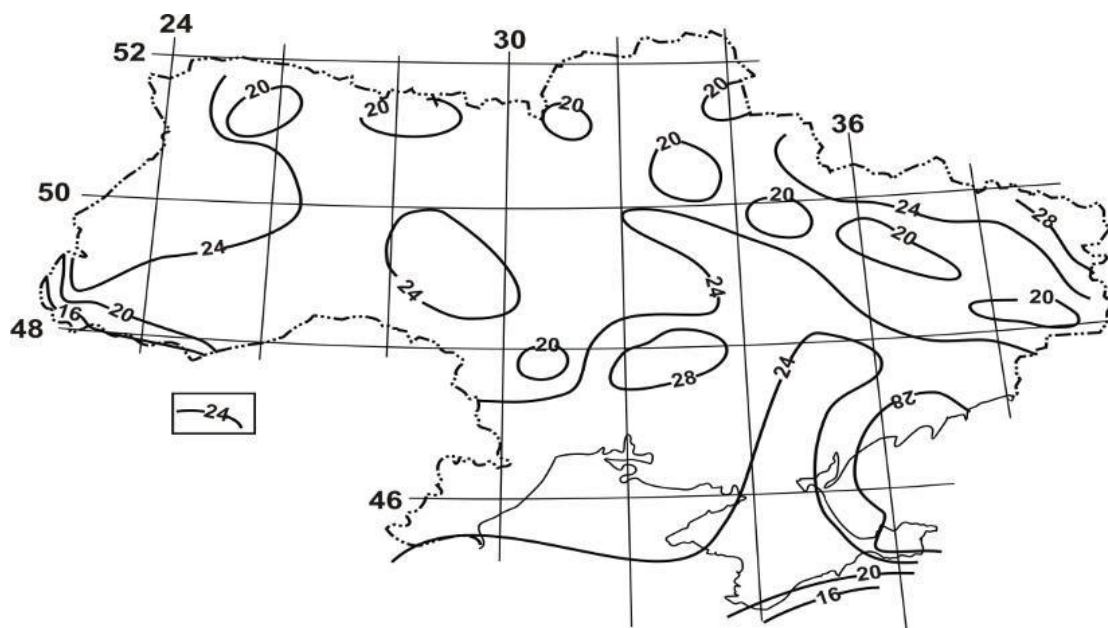


図 6. ウクライナ地域における地殻熱流量 (mW/m^2) の分布。1 : 地殻熱流量等値線。2 : カルパチア・アルプス期地角斜とプラットフォームとの境界。3 : スキタイプレートのヘルシニア期-キンメリア期地角斜とプラットフォームとの境界。

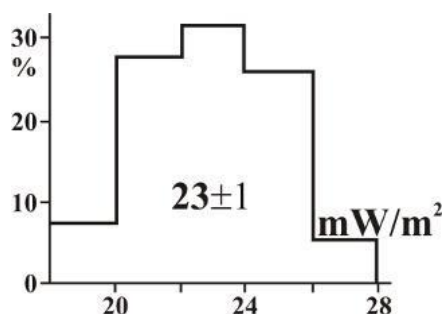


図7. ウクライナのプラットフォーム地域における地殻熱流量分布のヒストグラム。

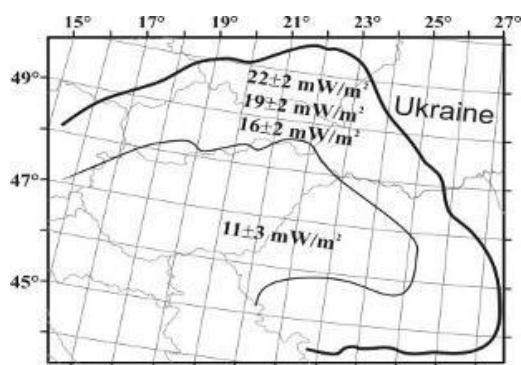


図8. カルパチア地帯における地殻起源熱流量の分布。平均HFは、カルパチア前縁沈降帯 (Pre-Carpathian marginal deflection), 外帯褶曲帯, 内帯褶曲帯, およびパンノニア中央地塊の4区域について求めた。各区域の面積を考慮すると、地帯斜全体の平均値は15 mW/m²となる。これに対応する地殻の放射性元素起源の熱生成率は0.37 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ である。

2013 など)。この地域では、深部地震探査 (DSS) 測線の分布が不均一であるため、地殻起源熱流量の等値線図を作成することには意味がない。地殻起源熱流量の水準は、図5のデータから推定できる。地域内の他の部分についても、同様の結果が得られている。すなわち、計算された熱流量は、パンノニア中央地塊 (Pannonian median massif) の中心部へ向かって減少し、10 mW/m²をわずかに下回る値となる。地殻断面におけるすべての地震波速度 (V_p) は、プラットフォーム地域との比較が可能となるよう補正した。温度差の大きさについては、Gordienko et al. (2025b) に示されている。カルパチア地域では、高温条件および部分熔融の影響を考慮した補正量は数0.1 km/sに達し、これらは地震波速度を増加させる方向に作用する。計算された地殻起源熱流量を図8に示す。

カルパチア山脈前縁の周縁沈降帯、外側および内側の褶曲帯、そしてパンノニア中央地塊という4つの帯域について、平均地殻熱流量 (HF) が求められた。それぞれの面積を考慮すると、地帯斜全体の平均値は15 mW/m²となる。これに対応する地殻内の放射性熱産生率は0.37 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ である。

したがって、地殻-マントル物質交換、地殻の苦鉄質化 (basification), および地殻薄化の過程において、地殻は約0.2 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ の放射性元素起源の熱生成を失い、一方、下位のマントルでは約0.02 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ 増加する。この結果は、実験データと良好に一致している。

地帯斜から海洋への移行

著者らの海洋地殻構造に対する見解は、従来の一般的な考え方とは異なる。前節で述べた海洋地殻形成過程を踏まえると、深さ約10~15 kmから約30 kmまでの範囲には、かんらん岩とともに、大陸地殻の残存体が相当量保存されていると考えるのが妥当である。これらは、比較的浅い深度まで沈降した苦鉄質グラニュライトおよびエクログナイト、さらに上部マントル起源の苦鉄質マグマの貫入岩体によって構成される。後者は、おそらく蛇紋岩化を受けている。したがって、この深度区間は、組成および放射性元素起源の熱生成率の両面において、典型的なマントル物質とは異なっている。ただし、その差は比較的小さく、熱生成率 (HG) は0.10~0.12 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ 程度に達するのみであり、地殻起源放射性熱流量への寄与も約2 mW/m²に過ぎない。比較的厚い海洋地殻という考え方は、Krasnyi (1983), Lomtev et al. (2016), Vasilyev (1989) などの研究にもみられる。

この見解の妥当性を評価するため、大西洋および太平洋における地震波速度断面から、地殻下層 (subcrustal layer) の深さ40 kmまでについて、約200個のP波速度 (V_p) データを抽出した。深さ12 km以深では、12~20 kmで得られた速度値が最も多いものの、それより深いデータも相当数含まれている。注目すべきことに、その速度分布パターンは、アンゴラ-ブラジル地球横断測線 (Angola-Brazil Geotraverse) の下で認められるもの (後述) と極めてよく似ている。深さ12~30 km区間における平均P波速度は約7.9 km/sである。しかし、データ全体をみると、平均 V_p の異なる2種類の岩石ブロックが存在することを示唆している。本研究では、深さ12 km以深における地震波速度分布の情報に加えて、太平洋および大西洋で実施された多数の深部地震探査 (Deep Seismic Sounding : DSS) 測線 (図11参照) のデータを用いた。その総数は300を超えている (図9)。

得られた速度分布は、平均P波速度 (V_p) がそれぞれ約7.9 km/sおよび8.4 km/sである2つのデータ群が重なり合った結果を反映している可能性が高い。

地震学的データから求められたモホロビッチ不連続面 (Moho) の深度も、太平洋では広い範囲にわたって変化することが報告されている (Deep..., 1987 など)。しかし、地殻基底の判定基準は研究者によって大きく異なるため、これらの差異をそのまま信頼できる結果とみなす

ことは困難である。これに対して、この境界より深部における地震波速度分布（図 10）の方が、より確かな情報を提供している。

したがって、海洋下の当該深度において、地震波速度が大きく変化することは十分に実証されているといえる。

図 11 には、太平洋および大西洋において深部地震探査（Deep Seismic Sounding : DSS）が実施された測線の位置を示す。これらの測線に沿って作成された地殻の地震波速度断面を用いて、地殻起源熱流量を算出した。計算は、海底面下約 10~15 km 以深の深度区間を対象として行った。また、すべての計算結果には、上述した 2 mW/m^2 を一律に加算した。深さ 12~30 km の区間で地震波速度が高く、エクロジャイトの存在比率が高いと考えられる場合でも、計算結果に顕著な変化は認められない。これは、エクロジャイトの放射性元素起源の熱生成率（HG）が約 $0.12 \mu\text{W/m}^3$ であるためである。

計算された地殻起源熱流量はきわめて安定しており、 $7 \pm 1 \text{ mW/m}^2$ である。したがって、地向斜の平均 HF との差は約 8 mW/m^2 となる。地殻からマントルへ移行した放射性元素起源の熱源量は約 $0.02 \mu\text{W/m}^3$ であり、その結果、海洋下の上部マントルにおける平均放射性元素起源の熱生成率（HG）は約 $0.08 \mu\text{W/m}^3$ となる。

長大な DSS（深部地震探査）測線では、地殻内の地震波速度分布に関する情報はしばしば限られている。その例外がアンゴラブラジル地球横断測線（Angola-Brazil Geotraverse）である。この測線では、深さ 10~15 km までについて、はるかに高密度な P 波速度（ V_p ）データが得られているだけでなく、さらに 27 km および 80 km までのデータも利用可能である（Pavlenkova et al., 1993 ; Pogrebinsky et al., 1990）（図 12）。

図 12 に示した V_p 値は、中央大西洋海嶺の海嶺域を除き、測線全体を単一断面上に投影したものである。海洋

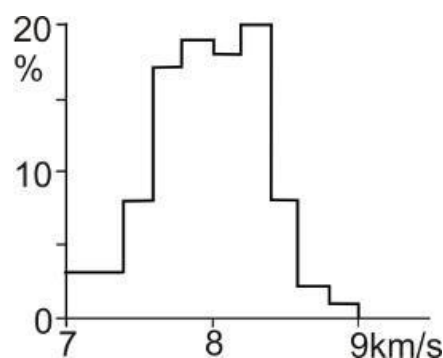


図 9. 海洋盆地深さ 12~30 km における地震波速度ヒストグラム。

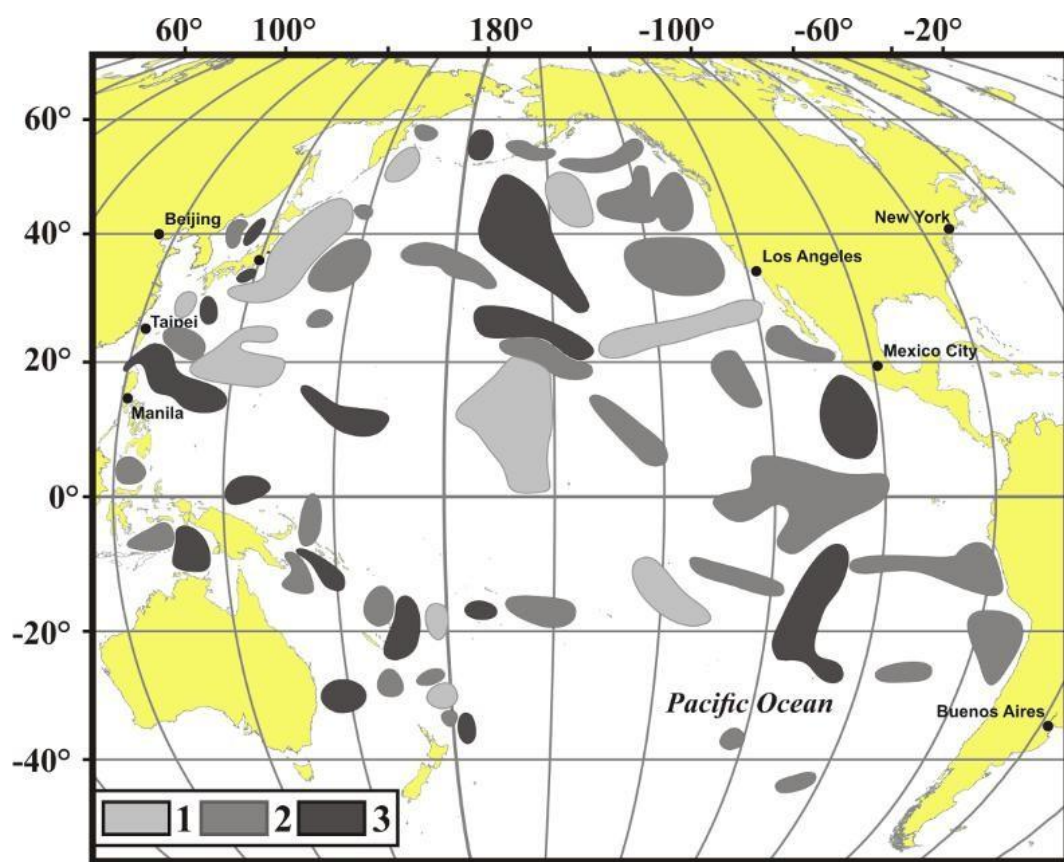


図 10. 太平洋において深さ 10 km 以深で異なる V_p 値を示す領域（Deep..., 1987）。1 : 8.4 km/s 以上。2 : 8.0~8.3 km/s。3 : 7.9 km/s 以下。

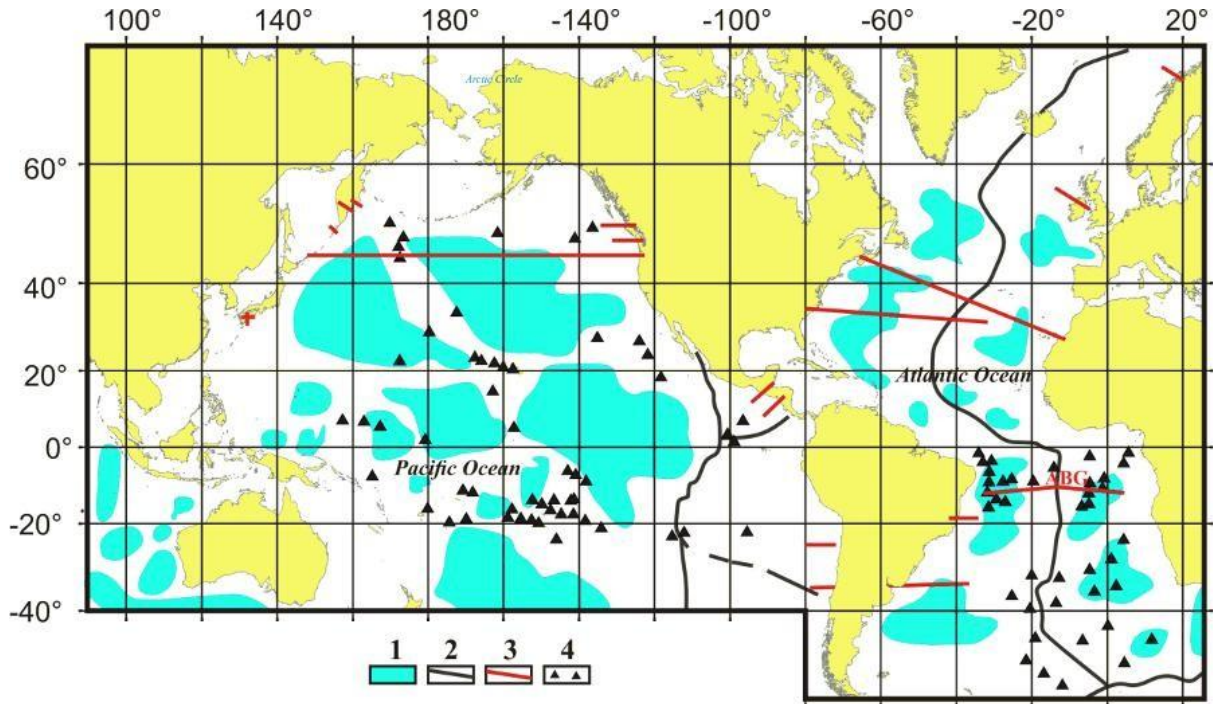


図 11. 地殻速度構造から地殻熱流量を算出するために用いた、太平洋および大西洋における DSS（深部地震探査）測線の位置 (Belyayevsky, 1981; Deep..., 1987; Geology..., 1978; Golubeva, 2009; Gordienko et al., 2023; Mjelde et al., 1992; Menard, 1964; Pogrebitsky et al., 1990; Pavlenkova et al., 1993; Vasilyev, 1989 など). ABG: アンゴラ-ブラジル地球横断測線 (Angola-Brazil Geotraverse).

化モデルから計算された V_p 値との一致は、深さ約 12 km までは概ね良好であると評価できる。しかし、偏差は比較的大きく、平均して ± 0.8 km/s に達する。これより深部では、計算値と観測値との差はさらに大きくなり、観測された V_p 値は計算値を上回る場合が大半である。8.4~8.8 km/s という速度値が広く認められ、これは対応する温度条件における通常のマンテル岩石に期待される速度よりも著しく高い。マンテル内では、同一深度における平均速度差は約 0.6 km/s である。このような速度変化につ

いてはさまざまな説明が提案されているが、いずれにしても、これらはモデル検証における不確実性の要因として扱うべきである。したがって、これらのデータは、本モデルを厳密に定量的検証するには適していない。

一方、海洋における磁気異常の解析からは、より明瞭な結果が得られる。海洋地殻上部の薄い玄武岩層だけでは、観測される磁気異常の強度を説明することはできない。そのため、磁気異常源は、少なくとも一部については、一般にはマンテルと考えられている深度に存在すると考えざるを得ない。しかし、そのような深度では、通常、強磁性鉱物の存在は想定されていない。実際には、このような磁性鉱物は、海洋プレート下のこの深度区間に広く分布している。ブローケン磁気異常（オーストラリア西方）や南千島磁気異常のような大規模磁気異常の下では、その異常源の下限は、一般に受け入れられているモホロビッチ不連続面 (Moho) よりもかなり深い位置にあると解釈されている。

実験データによれば、下部地殻岩石の代表的な磁化強度は約 3~3.5 A/m である。この値を用いると、地殻基底の深さを約 25~30 km と仮定することによって、これらの磁気異常を説明することが可能となる。図 3 に示したように、海洋盆地下のこの深度では、磁鉄鉱 (magnetite) のキュリー温度には達していない。

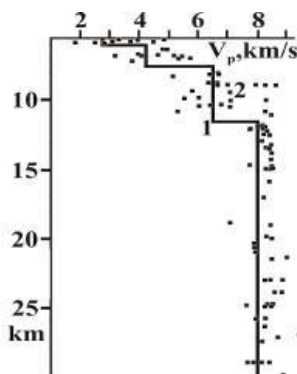


図 12. アンゴラ-ブラジル地球横断測線に沿った地殻および上部マンテルの速度断面。 V_p 分布。 1: 計算値 (本文参照)。 2: 観測値 (Pavlenkova et al., 1993; Pogrebitsky et al., 1990)。

したがって、深さ 12~30 km の岩石集合体は、マントル組成を示すものではなく、むしろ海洋地殻下部を構成するものである。下位マントルから苦鉄質マグマが貫入した後、これらの岩石は蛇紋岩化を受け、顕著な磁化を獲得した。線状磁気異常の異常源は、おそらくこの深度に存在すると考えられる (Gordienko, 2023b など)。

計算された地震波速度と観測値との整合が十分でないことは、提案された海洋化モデルがなお完全ではないことを示唆している可能性もある。Shlezinger et al. (2014 など) が指摘しているように、海洋では現世 (後期新生代) の再活性化が各地で認められ、その一部はアンゴラブラジル地球横断測線付近にも存在する可能性がある。大陸と同様に、海洋においても現世の再活性化帯は広く分布している。その代表的な例が、中央海嶺 (Mid-Ocean Ridges : MOR) におけるリフト活動である。中央大西洋海嶺の若い玄武岩と海洋盆地の玄武岩を比較すると、両者には顕著な違いが認められる。海洋盆地の玄武岩は、形成時なお残存していた大陸地殻によってマントル起源マグマが汚染された痕跡を示すのに対し、中央海嶺玄武岩にはそのような特徴は認められず、海洋地殻とのみ相互作用したことが示される (Frolov et al., 2011 など)。

現在得られているデータによれば、リフト帯と、より弱いタイプの再活性化帯との間には直接的な連続性は認められない。両者の間には、活動を示さない周縁海台 (marginal plateaus) が介在している。また、深海海溝下のマントルでは、現在進行中の熱・物質輸送は認められない。海溝における、堆積物によって補償されない異常に急速な沈降は、活発なアルプス期地殻下および海洋プレート下で同時に進行する岩石の多形転移に起因すると考えられる。重力異常および熱流量データとの比較も、このような複合的な深部過程モデルを支持している (Gordienko, 2012, 2022 ; Gordienko et al., 2023a, b など)。テクトノスフェアの熱モデルからは、海底の隆起および沈降量を推定することができ、その結果は概ね観測事実と一致している。しかし、これらの推定値は依然として近似的かつ定性的なものであり、海底地形変動の時間的推移を完全に復元できる段階には至っていない。深部過程の全容を理解するためには、今後さらなる研究が必要である。

結 論

地球の地殻および上部マントルを構成する岩石中の U, Th, K 含有量に関するデータを用いることにより、(顕生代における) 総熱生成量は、大陸および海洋に認められる主要な内因的レジームの間で本質的にほぼ等しいことが明らかとなる。大陸プラットフォーム地殻と海洋地殻との間には、地殻の厚さおよび組成に根本的な違いが存

在する。さらに、海洋地殻が大陸地殻を母体として形成されたことを示す明確な証拠を考慮すれば、大規模な地殻-マントル物質交換が不可欠であることは明らかである。本研究では、この物質交換をもたらす深部過程について、著者らが提唱する地質学的一般理論の枠組みに基づいて検討した。その結果は、地殻における放射性元素起源の熱生成という観点から評価され、大陸プラットフォーム、アルプス期地殻、ならびに太平洋および大西洋の海洋盆地から得られた多数の観測データを用いて検証した。その結果、本研究で提示した予測には十分な根拠があることを示すことができた。

一方、海洋盆地地下における地殻および最上部マントルの P 波速度モデルについて、計算結果を観測データによって検証する試みは、十分な成果を得るには至らなかった。現在利用可能な上部マントルの観測データは、空間分解能および精度の点でなお不十分であるためである。

しかしながら、深さ約 10~15 km から約 30 km までの岩石が地殻に属するという著者らの仮説は、地質学的証拠および磁気探査 (magnetometric) データによって支持されている。

文 献

- Belousov V.V. (1954). The next problem of geotectonics. *Sovietskaya Geologiya*, Collected Works, no. 41, 3–25 (in Russian).
- Budyko M.I., Ronov A.B., Yanshin A.L. (1987). *History of the Earth's atmosphere*. Berlin, Springer-Verlag, 139 p.
- Deep seismic probing, Pacific data (1987). *Materials of the World Data Center*. Moscow, Geophysical Committee of the USSR, 104 p. (in Russian).
- Density and composition of the upper mantle. <http://www.geologam.ru/geophysics/lithosphere/plotnost-i-sostav-verhney-mantii> (accessed March 2026) (in Russian).
- Dickins J.M. (1994). The nature of the oceans or Gondwanaland: fact and fiction. In: *Proceedings of the Gondwana Nine Symposium*. Rotterdam, Balkema, 387–396.
- Dobrynin V.M., Vendelstein B.Yu., Kozhevnikov D.A. (2004). *Petrophysics (physics of rocks)*. Moscow, Russian State University of Oil and Gas, 368 p. (in Russian).
- Frolov V.T., Frolova T.I. (2011). *Origin of the Pacific*. Moscow, MAKSPress, 52 p. (in Russian).
- Geology of continental margins* (1978). Vol. 2. Eds. C. Burke, C. Drake. Moscow, Mir, 372 p. (in Russian).
- Golubeva E.D. (2009). *Evolution of Pacific magmatism*. Vladivostok, Dalnauka, 132 p. (in Russian).
- Gordienko V.V., Gordienko I.V., Zavgorodnya O.V. et al. (2011). *Ukrainian Carpathians (geophysics, deep-seated processes)*. Kyiv, Logos, 129 p. (in Russian).
- Gordienko V.V. (2012). *Processes in the Earth's tectonosphere (advection-polymorphic hypothesis)*. Saarbrücken, LAP, 256 p. (in Russian).
- Gordienko V. (2022). About geological theory. *Geofizicheskiy Zhurnal* 44(2), 68–92, <https://doi.org/10.24028/gj.v44i2.25626>

- Gordienko V., Gordienko L. (2023). Mantle gravitational anomalies in zones of different endogenous regimes. *NCGT Journal* (1), 63–77.
- Gordienko V. (2023a). On the energy balance of the tectonosphere. *Geodynamics* (2), 62–71.
- Gordienko V.V. (2023b): Earth's crust and physical fields of the oceans. *Geofizicheskiy Zhurnal* 45(1), 36–54, <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275176>
- Gordienko V.V., Gordienko I.V. (2025a). Crustal heat flow in Ukraine. *Geofizychnyi Zhurnal* 47(1), 108–119, <https://doi.org/10.24028/gj.v47i1.311435>
- Gordienko V.V., Gordienko I.V. (2025b). Temperatures of the tectonosphere of Ukraine. *Geofizychnyi Zhurnal* 47(4), 122–133, <https://doi.org/10.24028/gj.v47i4.330049>
- Grad M., Guterch A., Keller G. et al. (2006). Lithospheric structure beneath the Trans-Carpathian transect from the Precambrian Platform to the Pannonian Basin: CELEBRATION 2000 seismic profile CEL05. *Journal of Geophysical Research* 111(B3), <https://doi.org/10.1029/2005JB003647>
- Handbook of Physical Constants (1969): Ed. S. Clark. Moscow, Mir, 544 p. (in Russian).
- Krasny M.L. (1983). System of paleo-island arcs of Northeast Asia. Structure and dynamics of transition zones. Moscow, Nauka, 49 p. (in Russian).
- Lomtev V.L., Veselov O.V., Kozlov D.N. et al. (2016). Features of the structure and geodynamics of the tectonosphere of the northwestern Pacific Ocean and Far Eastern seas: a collective monograph. Vladivostok: Dalnauka 148p. (in Russian).
- Macdonald G. (1949). Hawaiian petrographic province. *Bulletin of the Geological Society of America* 60, 1541–1590.
- Menard H.W. (1964). *Geology of the Pacific Ocean floor*. New York, McGraw-Hill, 276 p.
- Mineral Physics and Crystallography. A Handbook of Physical Constants (1995): Ed. T.J. Ahrens. Washington, AGU, 354 p.
- Mjelde R., Sellevoll M.A., Shimamura H. et al. (1992). A crustal study of Lofoten, N. Norway, by use of 3-component Ocean Bottom Seismographs. *Tectonophysics* 212, 269–288.
- Pavlenkova N.I., Pogrebitsky Yu.E., Romanyuk T.V. (1993). Seismic-density model of the crust and upper mantle in the South Atlantic along the Angola–Brazil Geotraverse. *Fizika Zemli* (10), 27–38 (in Russian).
- Petrophysics (1992): Ed. N.B. Dortman. Vol. 1. Moscow, Nedra, 391 p. (in Russian).
- Pogrebitsky Yu.E., Goryachev Yu.V., Osipov V.A. et al. (1990). Structure of the oceanic lithosphere based on research from the Angola–Brazil Geotraverse. *Sovetskaya Geologiya* (12), 8–22 (in Russian).
- Pozhgay K. (1977). Seismic reflectors and velocity distribution in the Earth's crust and upper mantle. In: *Structure of the Earth's crust and upper mantle from seismic data*. Kyiv, Naukova Dumka, 228–230 (in Russian).
- Rudich E.M. (1984). *Expanding oceans: facts and hypotheses*. Moscow, Nedra, 251 p.
- Shlezinger A., Khortov A., Komeva R., Patrikeev V. (2014). Yu.M. Pushcharovsky's views on deep oceanic basins. *NCGT Journal* (4), 11–12.
- Sollogub V.B., Guterch A., Prosen D. et al. (1979). Structure of the Earth's crust of Central and Eastern Europe based on geophysical data. Kyiv, Naukova Dumka, 208 p.
- Starostenko V., Janik T., Kolomiyets K. et al. (2013). Seismic velocity model of the crust and upper mantle along the PANCAKE profile across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton. *Tectonophysics* 608, 1049–1072, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2013.07.008>
- Storetvedt K. (1997). *Our evolving planet: Earth history in a new perspective*. Bergen, Alma Mater, 456 p.
- Turcotte D.L., Schubert G. (1985). *Geodynamics: applications of continuum physics to geological problems*. Moscow, Mir, 730 p. (in Russian).
- Udintsev G.B. (1987). *Topography and structure of the ocean floor*. Moscow, Nedra, 240 p. (in Russian).
- Vasilyev B.I. (1989). On the structure and evolution of the Pacific Ocean floor. *Tikhookeanskaya Geologiya* 4, 3–10 (in Russian).

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：leybourneb@iascc.org 原稿は (MS Word または ODT 形式のファイル、図表は gif, bmp, png または tif 形式) を別ファイルで送付、電話 +61 402 509 420.. 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するものではありません。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
-

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