国際オンラインジャーナル ISSN 2186-9693

http://www.ncgtjournal.com

グローバルテクトニクスの新概念

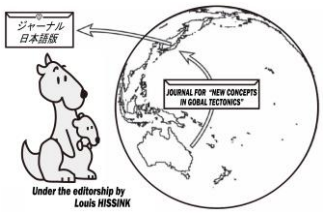
An international journal for New Concepts in Global Tectonics

NCGT Journal, Volume 12, Number 1, March 2024

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　2024 年５月

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.mndir)

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

Masahiro SHIBA, Japan (shiba@dino.or.jp)

目　次

■ 原著論文　Articles

Space Weather Related to Potentially Destructive Seismic Activity that has been Recorded Globally Between 2012 And 2023, Valentino Straser, Gabriele Cataldi and Daniele Cataldi
2012 年から 2023 年の間に世界中で記録された破壊的な地震活動に関連する宇宙天気
［要旨のみ　柴　正博　訳］ …… 2

Solar Activity and Electromagnetic Signals that preceded the M7.5 Earthquake of January 1, 2024, in Japan, Daniele Cataldi, Gabriele Cataldi and Valentino Straser
2024 年 1 月 1 日に日本で発生した M7.5 の地震に先行する太陽活動と電磁シグナル
［要旨のみ　柴　正博　訳］ …… 3

Correlation Study: Triggering and Magnitude of Earthquakes in Italy (>M4.3) in Relation to the Positions and Gravitational Forces of the Sun, Moon, and Planets Relative to Earth, Stefano Calandra and Daniele Teti
相関研究：イタリアにおける地震（>M4.3）の誘発とマグニチュード，太陽・月・惑星の位置と地球に対する引力との関係 ［要旨のみ　柴　正博　訳］ …… 4

About Hydrogen Deposits
V. V. Gordienko, I. V. Gordienko, Ya. A. Gonnchararova and V. N. Tarasove
水素鉱床について ［岩本広志　訳］ …… 5

Why does Plate Tectonics Continue to Mislead the Geosciences?
James Maxlow
なぜプレートテクトニクスは地球科学を惑わし続けるのか？［要旨のみ　柴　正博　訳］ …… 18

Earthquakes and AI: The Proposal of a New Research Model
Daniele Cataldi, Gabriele Cataldi and Valentino Straser
地震と AI：新しい研究モデルの提案 ［足立久男　訳］ …… 19

Earthquakes, Solar Activity, and Bright Meteors
Daniele Cataldi, Gabriele Cataldi and Valentino Straser
地震，太陽活動，そして明るい流星 ［要旨のみ　柴　正博　訳］ …… 23

■ スライド紹介

Happy 55th Birthday Plate Tectonics Theory
Keith James
プレートテクトニクス理論誕生 55 周年おめでとう ［柴　正博 訳］ …… 24

■ NGCT ジャーナルについて …… 32

原著論文　*Articles*

2012 年から 2023 年の間に世界中で記録された破壊的な地震活動に関連する宇宙天気

Space Weather Related to Potentially Destructive Seismic Activity that has been Recorded Globally Between 2012 And 2023

Valentino Straser[1], Gabriele Cataldi[2] and Daniele Cataldi[3]

(1) Department of Science and Environment UPKL Brussel (B). valentino.straser@gmail.com
(2) Radio Emissions Project (I). ltpaobserverproject@gmail.com
(3) Fondazione Permanente G. Giuliani - Onlus (I). daniele77c@hotmail.it

［要旨のみ　柴　正博 訳］

要旨 : 宇宙天気の分析により，著者らは，太陽プロトンフラックスの変動（増加）と，2012 年以降世界規模で記録されている潜在的に破壊的な地震活動（M6+）との間に密接な相関関係が存在することを理解することができた．この研究では，著者らが 2012 年から 2023 年にかけて 12 年間にわたって行った，太陽活動と地球規模で記録された破壊的な地震活動の可能性に関する観測結果を紹介する．

Keywords: pace weather, proton density, seismic precursors, potentially destructive seismic events, solar ion flux.

2024 年 1 月 1 日に日本で発生した M7.5 の地震に先行する太陽活動と電磁シグナル

Solar Activity and Electromagnetic Signals that preceded the M7.5 Earthquake of January 1, 2024, in Japan

Daniele Cataldi[1-2], Gabriele Cataldi[1], Valentino Straser[3]

(1) Radio Emissions Project (I). ltpaobserverproject@gmail.com
(2) LTPA Observer Project (I). daniele77c@hotmail.it
(3) Department of Science and Environment UPKL Brussel (B). valentino.straser@gmail.com

［要旨のみ　柴　正博 訳］

要旨 : 2024 年 1 月 1 日，日本で強い地震が発生し，死者と日本のインフラに損害を与えた．この研究では，強い地震を予期した電磁波と太陽信号について論じている．この地震の前には，イタリアのラジオ・エミッション・プロジェクトが開発した RDF ネットワークによって記録された一連の電磁シグナルと，悲惨な地震の数日前に発生した特異な太陽活動があった．著者らは，地電流活動と宇宙天気との間に関係があるかもしれないと考えており，それは地震に先立つ約 5 日間の時間窓で検出可能な電磁シグナルによって証明されている．実験結果は，地殻診断や地震前兆候補の観点から，科学文献にある他の既知の事例と比較できることを示している．

Keywords: Japan Earthquake, Electromagnetic Seismic Precursors, Earthquake Precursors, Radio Direction Finding, Solar Activity.

相関研究：イタリアにおける地震（>M4.3）の誘発とマグニチュード，太陽・月・惑星の位置と地球に対する引力との関係

Correlation Study: Triggering and Magnitude of Earthquakes in Italy (=M4.3) in Relation to the Positions and Gravitational Forces of the Sun, Moon, and Planets Relative to Earth

Stefano Calandra[1] and Daniele Teti[2]

(1) CEO, EqForecast, an innovative start-up in the field of seismic forecasting, Venice, Italy; info@earthquakesforecast.com
(2) Physicist, Senior IT, and Researcher, EqForecast, L'Aquila, Italy; info@earthquakesforecast.com

［要旨のみ　柴　正博 訳］

要旨：地震が発生すると，研究者は地震活動に関連する特定の引力と太陽系惑星の位置との相関関係の可能性を探る．様々な時代と場所で，太陽潮汐と月潮汐の影響を含むこれらの相関関係を調査する研究が行われ，時には論争の的となる結果をもたらしてきた．最近の研究では，月と太陽の潮汐が地殻にどのような影響を与え，多次元的な振動を発生させ，地震活動との関連性を立証している．この研究は，1600 年から 2022 年までの M>4.3 のイタリア地震 200 件のサンプルに基づくもので，太陽系内の天体の位置と地震発生時の地震マグニチュードとの統計的相関関係を明らかにした（仮説 1）．さらに，地震発生時にこれらの天体が及ぼす重力には，繰り返しパターンが現れる（仮説 2）．これらの知見は，月・太陽系が地震に影響を与える唯一の外部重力要因ではなく，「7 惑星系」がより重要な因果関係を示していることを示唆している．我々は，ベクトル物理学を含む間接的な計算方法を利用し，惑星と地球のペアの間に形成される角度を考慮する．このデータを活用することで，もっともらしい地震予測モデルに貢献できる可能性がある．

Keywords: Earthquake forecasting and prediction; planetary masses; celestial bodies; non-random statistical correlation; gravitational forces; seismic triggers; vertical tidal forces; astro-seismology; early warning systems

水素鉱床について

About Hydrogen Deposits

V. V. Gordienko[1], I. V. Gordienko[1], Ya. A. Gonnchararova[2] and V. N. Tarasove[1]

(1) S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine
(2) V. K. Gusak Institute of Emergency and Reconstructive Surgery. National Academy of Medical Sciences of Ukraine.

［岩本広志 訳］

要旨：大気中および地殻の表層付近における，さまざまな起源の水素の発生源と吸収源に関するデータのレビューを行う（地殻全体について述べている場合もある）．これらの情報を検討した結果，地下の非生物起源（「地質学的（白色）」）水素が，成層圏までの大気中のガスの含有量とバランスに与える影響は軽微であると結論づけられた．地質学的水素の流れを実験的に決定することの複雑さ，生物起源や人為起源の干渉のなさ，試験可能な掘削の影響などは明らかである．想定される深部水素の供給源は，マグマガスの残存（火山活動地域外），変成反応，水の放射線分解である．大きな水素輸送の可能性があるのは，現在活動している断層帯のみである．

地質学的水素の最も強力な供給源である現代の活火山と地熱場に関するデータが示されている．熱モデルに基づいて，アバチャ火山のガス循環スキームを構築した．後者は，地温計からのデータ，深井戸での直接温度測定の結果，および速度モデルによって制御される．マグマ溜りから未変化水素を運ぶ噴気孔の可能性を示した．

水素鉱床の形成の見込みは不確実と評価されている．一部の地域では，マグマや変成作用のあるガスが，数万年かけて重要な鉱床を蓄積するのに十分なほど形成されている．しかし，この期間あるいはそれ以上の期間，炭化水素が保存される可能性には疑問が残る．大深度からの物質投入がない炭化水素鉱床は，もっと短期間で埋蔵量を失う可能性がある．岩石の水素透過性が高いと，ガス漏れが大きくなる．

Keywords: hydrogen sources and sinks, geological (white) hydrogen（地下に埋蔵されている天然由来の水素）, prospects for deposit formation.

はじめに

この論文は，主に地球科学の 2 つの分野で使用されているデータセットの総説である： 1.大気の物理学と化学，2.水素分子（H_2）が関与する地質学的現象．最初のトピックに関する出版物を考慮すると，それらが提供する情報は 2 番目のトピックに役立つという印象を受ける．これは水素に限ったことではないが，この場合，筆者はこの気体に限定しており，この気体は近年，この 2 つの分野の専門家の注目を集めている（Polevanov et al. 2020; Ehhalt et al., 2009 など）．

大気研究者（少なくともその一部）は，最も強力な「地質学的」水素発生源の存在に注目しているが（Ehhalt et al., 2009; Lin et al., 2005 など），地質学的（白色）水素（WH）に関する出版物の著者は，地表下および地表上の物体に対する水素の影響を考慮することが多く，これらの環境中に他の起源の水素が大量に存在することを考慮していない．例外は極めてまれで（Bogdanov et al., 2000; Lin et al., 2005; Zgonnik, 2020 など）．したがって，大気（ここでは簡略化のためにこの用語を使用する）大気中の水素（AH）からレビューを始めるのが論理的である．

大気中の水素

大気中の水素収支の一部は，全球対流圏サイクルの要素（Ehhalt et al., 2009; Pieterse, 2012; Pieterse et al., 2011 など）として表 1 に示されており（特定の年について

表 1.　大気中の水素収支の構成要素（単位：Tg/年，Tg は 10^{12}g）.

Supply		Absorption	
Burning fossil fuels	17	Oxidation of OH	22.1
Biomass combustion	15	Soil uptake	55.8
Bacterial fixation N_2	8	Total	77.9
Photochemical processes	37.3		
Total	77.3		
Total H_2 content in the troposphere		155±10*	
Update time		About 2 years	

*Novelli et al., (1999)による

相互に合意), 各要素の個々の計算に固有の誤差の推定値は含まれていない．誤差（不確実性）はかなり大きく, 特に土壌による水素の吸収を求める場合, 5–25%である.

水素の発生と吸収の特性を図 1 に示すが，主に（Ehhalt et al., 2009）のデータを使用した.

成層圏への流出が 2 Tg/年程度で（Xiao et al., 2007 など), 成層圏からの流入がそれより少量という選択肢も現実的である. 列挙したプロセスの温度 (T)，日射量，環境組成への依存性から，構成要素の桁違いの変動が不可避であることは明らかであり，これは地球のスケールで実験的に確認されている．図 1A から，大気（成層圏を含む−1C）中の全球平均水素含有量は，少なくとも調査した時間間隔では，長期間安定していると結論できる．密度が低いため，このガスは他のガスと異なり，熱帯だけでなく対流圏界面を通過することができるのであろう．一方，水平流は，中・高緯度の北半球での濃度低下を解消するには不十分であることが判明した（図 1B）．ここでは，南半球の同じ緯度に比べて，燃料の燃焼による水素の生産量がはるかに多いにもかかわらず（図 1E)，土壌の吸収が観測された不均衡を生み出している（図 1F）．このような違いは，熱帯と中高緯度における H_2 生成の季節変動にもはっきりと現れている（図 1D）.

（白色）水素がガス発生剤として重要な役割を果たす，一般化された水素の惑星バランス（Voitov, 1986; Zgonnik, 2020 など）は，実質的に大気部分と同じである（出版に対応する期間）．地質学的過程における H_2 の生成に関するデータは, 互いに大きく異なっている．その妥当性には疑問が残る．いずれの場合も，全体的なバランスに（白色）水素が大きく寄与していると仮定した場合，水素の供給源は生物起源であるか，実験ではなくモデリング結果の記述である可能性が高いこ

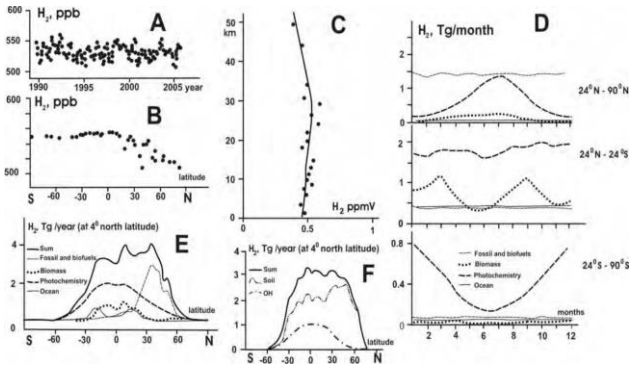


図 1.　大気中（生物起源を含む）水素の全球循環パラメータの地理的限定．A–水素の陸上平均濃度の経年変化，B, C–年平均濃度の変化：B–緯度別，C–高度別，D–1 年間の異なる緯度帯における水素発生強度，E, F–異なる水素発生強度の緯度別変化：Ｅ－=大気中の水素発生源，Ｆ－大気中の水素吸収源.

とが判明した．モデルはパラメータ（海洋盆地の玄武岩質溶岩の厚さ，海洋地殻の蛇紋岩化した下層，中央海嶺火山活動の生産性，中央海嶺の同時に存在する熱場の面積など）を過大評価している（Holland, 2002; Holloway et al., 2000; Lilley et al., 1982; Sleep et al., 2007; Welham et al., 1979; Worman et al., 2016 など）．Gilat et al., (2012) の研究の場合，地球全体の発展に関する未検証の仮説である. その提案する惑星発展のメカニズム（考え得る全てのプロセスに対して十分であるとされる）のエネルギー効果は，地表を通る背景熱流よりも小さい（Gordienko, 2017 など）.

（白色）水素に関する一連の出版物に目を向けると，同じ著者から，反対意見も含めて，どのような観点からの議論も見つけることができる．例えば，クリヴォイ・ログの領域から大気中への水素の放出を大陸地殻の領域に移すと（Voitov, 1971)，すべての大気中の水素発生源に匹敵する数値が得られる．一般論として（Voitov, 1986)，大陸地殻の生産性はさらに低く，地球のバランスにおいて顕著な役割を果たしていない.

地表付近の水素

実際の実験データを用いると，すべての発生源オプションによる（白色）水素の発生量は 0.5Tg/年（下記参照）レベルであり，例えば北半球の中緯度地域における土壌による水素の吸収量よりも数十倍低いことが判明する．この点で，地表から浅い深さでの状況の評価は興味深い.

浅い深度における様々な起源の水素に関する直接的な研究（Lin et al., 2005; Onstott et al., 1998 など）は，「...浅い帯水層の生態系では，生物起源の H_2 が依然として生物的に生成された H_2 を支配している.... 地下深部の環境では，...有機炭素がほとんどなく，...H_2 濃度が酵素反応の閾値よりもはるかに高いため，...生物起源の寄与は小さい」（Lin et al., 2005, p. 13）．さらに深いところで放射線分解的に生成された水素は，他の供給源がなくても微生物の生命を維持するのに十分である．

地球全体としては，そのフラックス（惑星の表面積全体に対する条件付き推定値）は取るに足らないものであり，約 0.01 Tg/年（すなわち，Voitov (1975, 1986)の推定値よりも一桁少ない）であるが，水素フラックスの計算は，このケースのように見え，問題設定のレベルでは正常に見える（少なくとも，それを立証する試みがなされている）（Lin et al., 2005）．式は実パラメータを考慮している： D (d2C/dz2) =R と J=-γ-D (dC/dz)である： J（μM/m^2・年）は H_2 フロー，R（μM/年）は放射線分解手順とバクテリアの消費によって制限される H_2 生成速度，D（m^2/年）は実験的に決定された拡散係数（Jaehne et al.,1987 など），dC/dz（μM/m）は実験的濃度勾配，γ は有効岩石間隙率（~1%）である．残念ながら，最後のパラメータを決定する方法は記述されていない．ここではかなりのバリエーションが考えられる（Nivin, 2013 など）．しかし，この地域に関する他の出版物からのデータは，使用された値が現実的であることを示している．

Lin et al., (2005) の水素濃度の実験値は，深さ約 2.5 km の範囲で確立されたものであるが，1 桁以上の差がある．垂直勾配を決定する可能性は，水素拡散の条件の違い，生物起源の寄与，地質学的・水理地質学的状況（連続的に形成された層の絶対年代測定が実施されたウィットウォータースランド地層内の位置（Lippmann et al., 2003），放射線分解によるガスの発生という考え方の受け入れは，一般に，得られた結果を完全に信頼できると考えるのは難しい．

文献に記載されている地表を通過する H_2 フラックスの他の推定値では，計算が全く記載されていない．例えば，新鮮な鉱山坑道の壁面からの流量の直接測定は, 大きな誤差を含む可能性がある (Nivin, 2013 など)．北半球の中緯度地域における土壌による AH 吸収との比較では，バックグラウンドの白色水素フラックスの計算結果の差は大きくない：吸収はこれらの値よりも大きい（図 1F）．

水素濃度がよく測定される土壌下部の深さでは，大気の影響を受けずに生物学的プロセスによって生成されたガスも存在する可能性がある．例えば，サウスカロライナ州レイクシティの浅い帯水層では，酢酸とギ酸のフラックスに基づいて，H_2 フラックス~50 μM/m^2・年が計算された（McMahon et al., 1991 など）．発生熱に支えられた反応は正当化される：

$C_6H_{12}O_6$（ブドウ糖）+ $4H_2O$ = CH_3COOH（酢酸）+ CH_2O_2（ギ酸）+ $6H_2$ +$2CO_2$.

上記の値と比較するために，地球全体の表面へのフラックスを条件付きで再計算した結果を推定してみよう．この値は小さいが，観測された地下のガス濃度を決定し，土壌層の破壊に影響を与える可能性のある他の発生源を背景とすると，かなり顕著である．

これらの例は，白色水素フラックスを検出することの実際的な難しさ（主に，それらが生物起源であることの証拠）と，起こりうる干渉源を考慮に入れた実験手法を構築する必要性を示している．後者は列挙したものに限定されない．

地質学的水素

海洋．海底から大気中に侵入する水素に関する情報を考えるとき，我々はまた，生物起源ガスを診断するという問題に遭遇する．中央海嶺（MOR）の熱場の水素の深部（多くの場合マントル）起源に関する視点は広まっており，主に中央海嶺軸上に堆積物が完全に存在しないか，圧倒的に存在しないことに基づいている（Krayushkin et al., 2018 など）．その意味するところは，堆積物がなければ，蓄積された有機物の熱水処理は不可能であるということである．しかし，この問題をより具体的に扱っている地球化学者（微生物活動の結果を含む）は，明確な結論を出すには程遠い．流体ー気体複合体に関する知識の現状は，次の引用で要約できる．「同位体データのあいまいな性質と一致して，混合起源（発生源とプロセスの両方）についてのコンセンサスがあるように見える．しかし，疑問が残る．熱水地球化学を解読するためには，包括的な地球化学的アプローチと同様に，より系統的な実験が必要である．海洋全体のバランス，地球循環，生命の起源における

熱水 H_2，CH_4，有機化合物の役割を考えると，この理解は最も重要である.」（Konn et al., 2015, p.381）.

中央海嶺熱鉱床の発生源は疑う余地のないもので，部分的に溶融したマントル岩石の浅いレンズから地殻に侵入したマグマである．その数は約 500 あり，半数はある程度研究されており，もう 1 つは間接的な兆候によって診断されている. これらの間の平均距離は 100 km と推定されている. 検討中のモデルにおける（白色）水素（融解中に形成され，マグマによって輸送されたガスを除く）の源は，蛇紋岩化，または海水が支配的な高温流体を伴う同様の変成過程であると考えられている．処理対象は，海洋地殻下部の塩基性岩と超塩基性岩であり，大陸地殻下層で知られている条件と実質的に一致する温度圧力条件下で過去に変成したものである（Gordienko, 2017 など）．中央海嶺によって生成される水素の総量は，0.26– 0.33 Tg/年と決定されている（Cannat et al., 2010; Konn et al., 2015 など）．熱フィールドの単位面積当たりの H2 流量は，6 g/m^2・年と推定できる．他の推定値もあるが，与えられた推定値と基本的に変わらないか，著者らにはその妥当性が不十分と思われる.

それ以外の海洋における水素の発生源と吸収源の性質については，さまざまな意見がある．そのすべてが（白色）水素に分類できるわけではない．発生源のパワーのばらつきはそれほど大きくない．プレートテクトニクスの「純粋な形」，すなわち具体的な地質学的事実を含まない規範に基づく純粋に推測的なモデルを除外するならば（この仮説に対する著者の否定的な態度は，特に（Gordienko, 2017, 2019 など）に述べられている）．水素の発生は，同じ蛇紋岩化（これはマグマによる地殻への侵入に基づいており，それ自体も水素を運んでいる）と水の放射線分解に関連している．形成される水素の量は約 0.1Tg/年である．具体的な値はプロセスのペースに依存している.

中央海嶺上の水素の流れとは対照的に，盆地上の流れを直接制御することはできない．したがって，我々は流れそのものについてではなく，H_2 の形成について話しているのである．さらに，もし放射線分解の手順が，少なくともペースという点では何らかの形で制御できるのであれば，加水分解は不可能である．筆者の観点からは，この値は現在の大陸の活性化（RA）ゾーンで利用可能な値と大差はないはずであり，それに応じて下部地殻の蛇紋岩化も可能である. このゾーンは，古代のプラットフォームの約半分の領域を占め，陸地の残りの部分よりもやや大きい．盆地の活性化はまだ十分に研究されていないが，第一近似的には，大陸の活性化に匹敵する相対的有病率であると考えられる．実際，入手可能な推定値によると，大陸と海洋の盆地における水素除去量は同程度であり，0.1– 0.5 Tg/年のレベルである．これらのデータから，地球全体における水素流出の最大値を 0.5 Tg/年とすると，現在の活性化ゾーンの単位面積あたり 0.002 g/m^2/年となる.

大陸: このような値は，現在の活性化（RA）ゾーンの石油・ガス流域に必要な値とは一致しない．ウクライナの条件では，炭化水素（HC）の平均値（油田ではなく，盆地全体の面積）は，1m^2 あたり標準燃料約 0.1 トン（t s.f./m^2）である．現在の活性化地殻の中央部における部分融解帯の形成スキームによると，流体の熱，物質移動は少なくとも 5 万年続く（Gordienko, 2017 など）．検討中のプールを形成するには，0.6 g/m^2・年の水素流量が必要である．したがって，石油・ガス流域の地下では，水素流束は活性化ゾーンの平均よりも 2 桁高くなければならない．中央海嶺のデータは，比較的小さな領域で必要な，そして著しく大きな出力のソースが，既知のプロセスによって供給可能であることを示している．現在活性化した同じゾーンの中で，水素発生強度がこれほど異なる理由については疑問が残る. 引用文献の計算方法（その概要は特に Sherwood et al., (2014)にある）は，恣意的な仮定から自由ではない．著者らは，加水分解水素発生量を評価するための提案アプローチが望ましいと考えている．既知の炭化水素埋蔵量をすべて陸上の活性化ゾーン面積に含めると，0.08 g/m^2・年の水素フラックスが得られる. 陸上の活性化ゾーン内の石油・ガス盆地の面積は，現在では決定できない．したがって，ウクライナのデータとの照合は間接的なものでしかない．ウクライナでは約 15％であり，陸上の石油・ガス流域の水素フラックス（0.5 g/m^2・年）と同等である．この一致は非常に良いが，石油・ガス盆地以外の活性化地帯の水素フラックスを推定する別の方法を見つける必要がある.

地殻の岩石による水素のもう一つの発生源である放射線分解の推定値にも大きなばらつきがある（Nivin, 2013; Parnell et al., 2017; Savary et al. 1997 など）．しかし，それでも，計算された放射線分解ガス濃度の限界は，

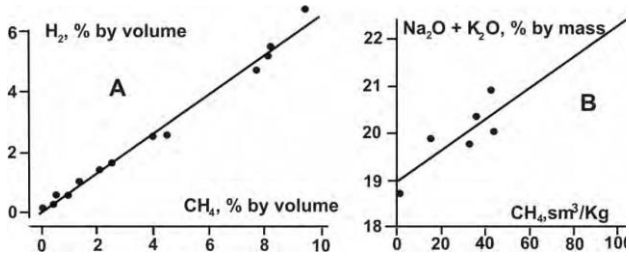


図 2. メタンと水素の濃度（A）とメタンとキビニー山塊の岩石のアルカリ度（B）の関係（Nivin, 2013）.

ほぼ同じ桁に収まっている．キビニーアルカリ山塊の岩石では，水素とメタンの濃度にはかなり明確な関係があり，後者のアルカリ度依存性は，その増加と放射能の増加に相関している（図 2）.

このようにして発生したガスは，変成水素の一部と同様に，地殻岩石中で大部分保存されている．この記事の目的には，固体岩石中の浸透性の弱い封入体（空胞）に他の気体とともに封入されているもの（封入ガスーOG）と，その外側の亀裂中にあり，限定された移動が可能なもの（自由放出ガスーFRG）に分けることで十分である．後者の体積は，閉塞したものよりもはるかに大きい.

「中間」画分には，封入ガスより一桁少ない拡散散乱ガスが含まれる（Nivin, 2013 など）. 明らかな理由（拡散速度，化学的活性などが異なる）から，成分間に直接的な相関関係はないが，すべてのガス間のつながりは明らかである．例えば，封入ガス中の水素の一部が放射線分解する性質を持っていることは明らかである. しかし,「放射性酸素ガスの最も可能性の高い発生源は，岩石に含まれる水の放射線分解と思われる．その結果生じる等価量の水素は，ガス中の全濃度のごく一部に過ぎない」（Nivin, 2013, p.191）．かなりの量の H_2 が，低温で浅い深度の岩石が変化する間に，隕石水の参加によって形成された.

十分な深さの浸透率の低い岩石（火成岩，変成岩）では，ガスは地表の流れの形成に関与することなく，いつまでも滞留する．坑井や鉱山では，自由放出ガスの貯留層（空隙体積を伴う破砕帯）または小さな包有物が見られる. 封入ガスの抽出は, 岩石を破砕するか, ガス放出の熱刺激によってのみ達成される．OG の抽出は，岩石の破砕および／またはガス放出の熱刺激によってのみ達成される．多くの類似した水素の発現が文献に記載されている（Voitov, 1971, 1975, 1986; Ikorsky et al., 1992; Nivin, 2013; Essays..., 2018; Bjornstad et al., 1987; Guélard et al., 2017; Lin et al., 2005; Parnell et al., 2017; Savary et al., 1997;Vovk, 1987; Zgonnik, 2020 など），これらは地質環境への侵入の手順そのものによって引き起こされる．場合によっては，水素は部分的に人為的なものであったり，侵入によって刺激された微生物の発生と関連していたりする．これによって，測定の妨害源のリストが広がる．上記の状況で観測された水素の放出は，深部から地表への自然な浸透を特徴づけるものではない．支流は時間と共に急速に変化することが多い（図 3）.

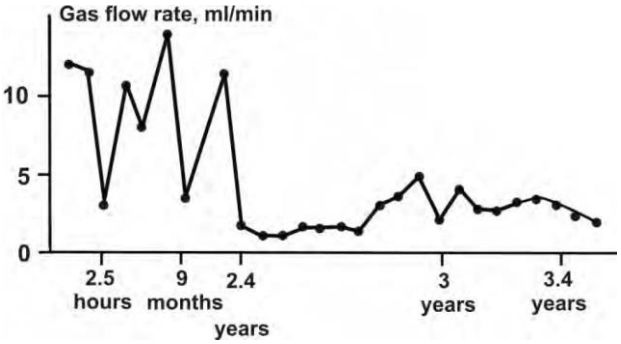


図 3 爆発孔への水素放出強度の変化（Nivin, 2013）.

活断層（地質学的に長期にわたる断層を含む）のゾーンでは，さまざまな強度の水素流がしばしば記録される．その一例が，ナゴルニー海嶺の坑井が，キメリア期（後期三畳紀）に形成された破砕帯に逢着する深度区間である（Murich et al., 1975）（図 4）.

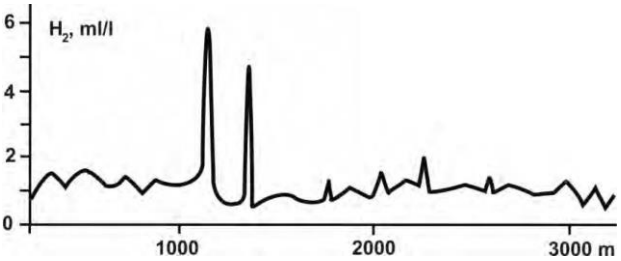


図 4. 坑井と交差する破砕帯付近の水素濃度異常.

観測された物体は，一種の水素鉱床と考えることができる. 当然ながら, 実用的な水素鉱床の話ではない. その存在自体が興味深い．ここにはガス鉱床は形成されておらず，試掘の際に採掘によって開かれる．隣接する金硫化鉱床では，鉱石鉱物中に水素の包有物は存在しない（Tsilmak, 2016; Shumlyansky, 1994 など）．検出された水素フラックスは，繰り返された（現在の）活性化に関連している可能性が高い.

入手可能なデータ（Romanova, 2023 など）によると，水素の発生は，フランスのロレーヌ地方やピレネー山脈西部，オマーン，アメリカ，マリなどの断層地帯の同様の地質環境で発見されている．

このような鉱床は，熱水噴出孔のある地域，特に高山の地向斜が現在活性化した地帯に広く存在するはずである．熱水噴出孔は水素とともにメタン，二酸化炭素，ヘリウムを地表に運び，しばしば地熱療法に利用される．このような脱ガスの環境的側面と，現在の活性化全般について考察することができる．いくつかの出版物（Gilat et al., 2012; Makarenko, 1997 など）では，これらの現象は異常な性質によるものとされている．人類は，何か普通のことが今地球上で起こっていると考えるべきではない．いつでも起こりうる破局的な活動の衝動の場所と局面を積極的に探す必要がある．

土壌から抽出されたガスが，活動的な地域の全人類の精神に影響を与えるという考えや，神経障害のより局所的な症状についての考え方が広まっている．入手可能な文献データを分析すると，これらのガスにそのような反応が起こる可能性は低いと考えられる．非常に高い濃度で，空気中の酸素が枯渇した場合にのみ，脳細胞の低酸素症が起こり，この病気に特有のあらゆる症状が現れる．しかし，このような濃度は，温水のプール（環境…）でさえほとんど達成できない．

ドニエプルードネツ盆地（Dnieper-Donets Basin, DDB）のドニエプルでの炭化水素鉱床を約 5 万年にわたって形成した上述の水素流の仮定を使用すると，指定された期間中に横方向に活性化された断層のゾーン（Verkhovtsev, 2006）およびその外側で H_2 が除去されたことを推定することが可能である（図 5）．

ドニエプルードネツ盆地（DDB）の「水素プール」のエネルギーポテンシャルを評価してみよう．水素（140 MJ/kg）とメタン（50 MJ/kg）の燃焼熱は 2.8:1 である．CH_4 中の水素の質量は，ガス全体の質量の 0.25 である．我々はエネルギーの 70%を石油・天然ガス盆地から得ている．深い断層の上では，埋蔵量は断層の間の約 2 倍になる．

ウクライナの多くの地域で，土壌，大気，水中の水素濃度が調査されている．通常の値は（現在活性化したゾーン以外も含めて）$6–70 \cdot 10^{-5}$ である．しかし，いくつかのドニエプルードネツ盆地の炭化水素鉱床のガス中では 1–24%に達し，著者ら（Bagriy et al., 2019;

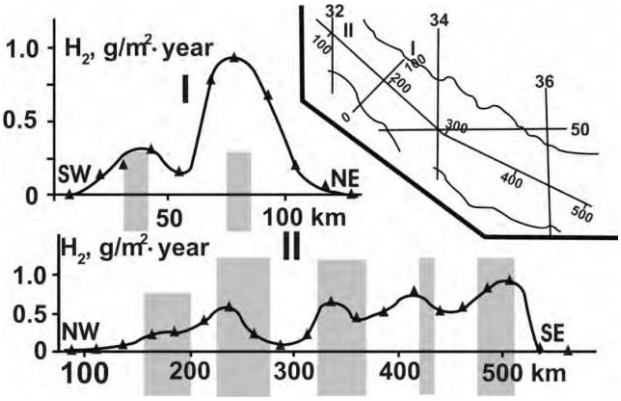


図 5. ドニエプル–ドネツ盆地における炭化水素鉱床を形成した水素流，ドニエプル盆地に沿った，およびドニエプル盆地を横切る変化［Gordienko, 2017, etc.］ 活性化した断層のゾーンは灰色で示されている．挿入図はプロファイルの位置を示している．プロファイル I は，リフェーングラーベンの縁辺断層のゾーンを示しているが，その幅は不明である．

Bagriy, 2020 など）は，このような H_2 とメタン（2–20%）の混合物は，水素のパイプライン輸送に使用され，水素の漏れを減少させる．ドンバスでは，原生的な炭化水素鉱床は北部の断層境界付近でのみ発見されている．それ以外の地域では炭層メタンが一般的である．メタンを生成するために深層水素が消費されることはなく，坑井に逢着する断層付近のガス中の水素濃度は 60%に達する（Murich et al., 1975）．

しかし，活断層帯の水素は，岩石の粉砕や破砕によって生成されると広く信じられている．一部の文献では，火山地帯での H_2 の流れさえもこれで説明されている（Encyclopedia..., 1999 など）．地震が増加する時期の

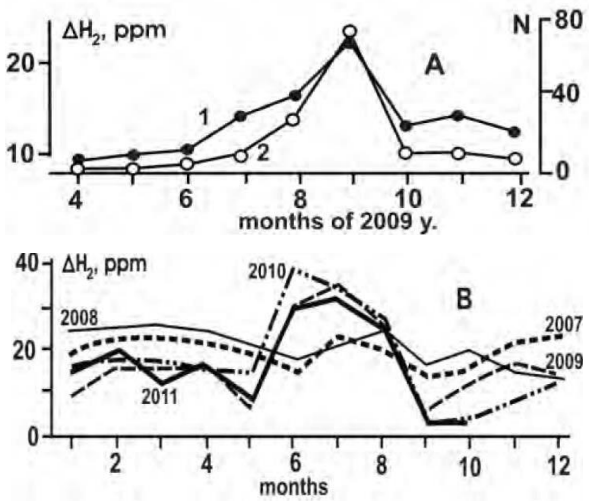


図 6. 水素濃度の変化：A–掘削時（1）および月ごとの弱い局地地震の回数 N に依存する（2），B–2007–2011 年の掘削時の月平均濃度（Nivin, 2013）．

ガス流の変化（図 6A）は，この現象に一部関係しているかもしれない．しかし，季節変動は別の性質を持っている可能性が高く，現在の活性化帯の地殻下部における上述の水素発生源は，浸透性の断層を通る流れに現れている可能性が高い．このような起源の水素は，岩石の破砕とは無関係である．Parnell et al. (2017) によると，地下の古い時代の結晶質層からの堆積性砕屑岩は，若い結晶質層からのものより多くの水素を含んでいる．すなわち，破砕時に放出されるのは封入ガスではない．

水素トピックに関する膨大な数の出版物にもかかわらず，大陸地殻岩石中の白色水素濃度に関する具体的な情報はほとんどない．引用されているデータのほとんどは，貯留層や地下ガス流中の H_2 の相対量を考慮したもので，H_2 が占める空間の割合は考慮されていない．以下に示すわずかなセレクションは，現代の情報を完全に一般化したものではないが，それでも，酸性-中性および塩基性－超塩基性（主にアルカリ性）組成の結晶質岩石における水素の卓越性のアイデアを与えてくれる（Vovk, 1982; Voitov, 1974; Ikorsky et al., 1992; Nivin, 2013; Petersilje et al., 1979; Parnell et al., 2017; Zgonnik et al., 2020）．2 つのヒストグラムのそれぞれは，約 100–120 回の決定から得られたデータに基づいており，そのうちのいくつかは複数のサンプルの平均である（図 7）．

水素を大量に生産し，よく研究されているアルカリ複合体の形成を例にして，H_2 の起源を考えるのが便利である．著者たち（Gordienko, 2017 など）によると，マントル中の流体やガスは，部分溶融の焦点となる顕著な量で現れるが，主な供給源は地殻プロセスである．炭化水素の地殻起源は，特に炭化水素鉱床中の希少元

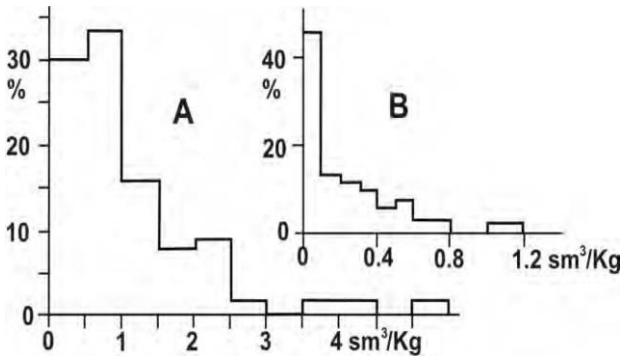


図 7. 塩基性–超塩基性（主にアルカリ性）岩石（A）および酸性－中性結晶質岩石と砕屑岩石（B）における水素濃度.

素の含有量の分析によって示されている（Rodkin et al., 2015）．下部マントルからの熱および物質移動の証拠がないことは， Ivanov (2010) などで論じられている．コラ・アルカリ岩石の長期研究の結果，マグマが地殻に侵入した後のガスの挙動を追跡することが可能になった．「...結晶化するメルトと平衡状態にある流体相では，H_2 の濃度は CH_4 よりも高かったが，マグマ温度での流体の主成分は H_2O と CO_2 であった．」(Ikorsky et al., 1992, p.28）．「結晶化するメルトと平衡状態にある流体相の H_2 の濃度が高かったと考えられる．さらに，希ガスの同位体組成から判断すると，水は母岩からアルカリ性メルトに，蒸発のメカニズムによって部分的に取り込まれた可能性がある．水素分子はまた，アルミノケイ酸塩岩石の鉄含有鉱物が水と相互作用する際，特にエジリン，マグネタイト，カンクリナイト，ゼオライトなどの鉱物が形成される際に生成された．」（Nivin, 2013, p. 212）．

この 2 つの岩石組成（図 7）の差は約 1 桁である．アルカリ性塩基性岩／超塩基性岩は陸地の 1%しか存在しないので（Voitov, 1986 など），地表付近の水素発生にこのような岩石が関与していることは，世界的には目立たない．しかし，深度が増すにつれて，大陸地殻の断面における水素の濃度は増加する．地球表面では，体積濃度（岩石圏／大気圏）の差は 2–3 桁に達する．上述した大気中の水素バランスでは，比較された各成分は別々に研究されている．発生源と吸収源の影響を一致させるために，個々の元素の「強制的な引き抜き」は，非常に限定された方法で，特別な正当性をもって用いられている（Pieterse, 2012 など）．したがって，地質学的水素の大気中への広範な流入は実現されていないと結論づけることができる．それは局所的で，断層に結びついたものである．

図 4 と図 5 に示したデータでは，断層間の現在のガスの流れはほとんどないと考えることができる（鉱山坑道への水素の流入は，断層の出現そのものに関連している可能性が高い）．水素の流れは，ドニエプル盆地の縦断層（特にリフェーングラーベンとヘルシンキグラーベンの周縁断層）とも相関しているので，水素の供給と炭化水素鉱床の形成は，横断断層の間でも起こった（図 5）．

深度とともに水素含有量が増加するのは，塩基度の増加（すなわち，蛇紋岩化やバスタイト化の新たな潜

在的対象物の出現）に関連してのみ考えられるが，それは最近活性化したゾーンにおいてのみである．放射熱の発生は深さとともに減少し，マントルマグマの侵入とそれらがもたらす流体のない冷たい地殻での変成プロセスは抑制される．地殻の深さとともに H_2 濃度が増加するという広範な意見は，原則として実証されていない．これを確認するために，異なる起源，異なる地域，異なる深度の水素含有量の例が示されているが，これらの例では，パラメータの垂直分布を構築することは不可能である（Zgonnik, 2020 など）．同じ地域の異なる深度における水素濃度に関する情報は非常に限られている（図 8）（Voitov, 1974; Ikorsky et al., 1999; Nivin, 2013 など）が，それでもこの意見の妥当性を疑うことができる．

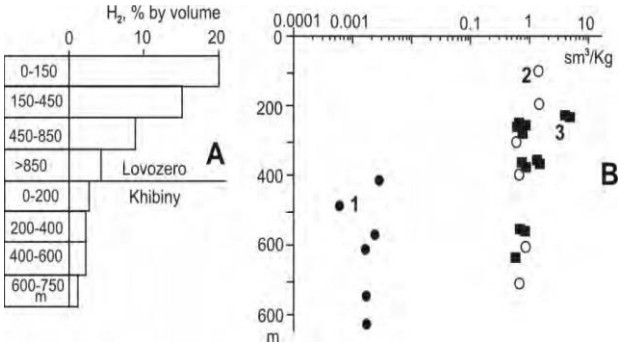


図 8. 深さによる水素濃度の変化.
データ： 2, 3-コラ半島の 2 地区（A） 1, 2, 3-クリヴォイ・ログとコラ半島の 2 地区（B）.

図 8A は，各深度におけるガスの絶対量を示すことなく，深度に伴う水素量の相対的変化を示している．このような情報は，原理的には，浸漬による H_2 濃度の増加を排除するものではない．しかし，図 8B のデータはそのような解釈を排除している．したがって，ウィットウォータースランド層におけるかなり条件の整った垂直勾配（これは，深さとともに岩石の年代が上昇することと関連している）（Lin et al., 2005）以外の情報は見つからない．達成された研究レベルでは，断層に沿って白色水素の著しい流出が起こると仮定できる．この現象の重要性を評価するためには，このようなプロセスの最も顕著な例である火山性水素流に慣れることが理にかなっている．

火山性水素

火山からの水素の流れに関する情報を正しく解釈するためには，地殻とマントルの上部をカバーする火山の熱モデルが必要である．火山からの溶岩流出や爆発的な物質放出は，火山の活動期間の比較的小さな部分を占める．それ以外の期間は，原則として，噴気孔と熱水の場として数千年にわたって姿を現す．構築された熱モデルが対応するのはこの状態である．それからの逸脱も指摘されている（下記参照）．

カムチャッカの東部火山尾根の一部であるアバチャ火山である．アバチャ火山は更新世後期（おそらく中期）から活動している．アバチャ火山への注目は，比較的最近の噴火（1991 年）と 2001 年の活動（溶岩噴出には至らなかった），そしてペトロパブロフスク・カムチャツキー市とエリゾヴォ市からの距離が小さい（約 30 km）ことにあった．このモデルは，基本的には（Gontovaya et al., 2006）の理論に従って構築されたものを繰り返し，地殻部分を補足したものである（図 9）．

地温計からのデータは，計算された温度と非常によく一致している．その不一致の平均は約 600°C で，これは地温計の誤差と同程度である．最大温度値は比較から除外した（下記参照）．速度の計算値は実験値と ±0.065km/s 以内で一致した．この値は実験誤差（Gontovaya et al., 2006）に近い．しかし，構築された熱モデルは，地温計の最大温度値（バルカニデスのデータで裏付けられた）を説明できず，流体の熱・物質移動に伴う断面上部の温度分布を反映していない．

構築された温度分布は，深さ約 50–100 km のマント

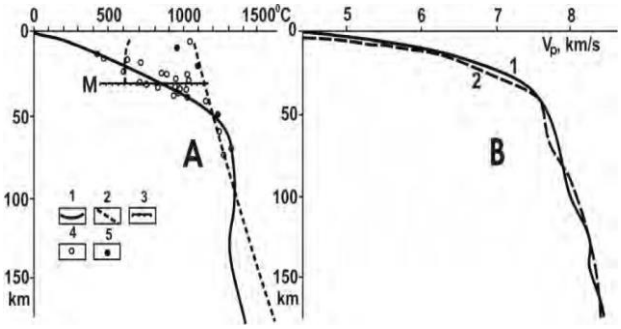


図 9. アバチャ火山地域の熱(A)と速度(B)モデル.
A：1-計算された温度分布，2-マントルと地殻（角閃岩レベルの変成作用を持つ）岩石の固相線温度，3-モホ断面のおおよその位置，4, 5-地温計のデータ： 4-アバチャ地域（Gontovaya et al., 2006 など），5-バルカン半島の玄武岩質火山地域（Cvetkovićhp et al., 2012）.
B: 1-実験的な速度分布（Nizkous et al., 2006 など），2-計算された速度モデル（熱モデルと理論に従ったプロセスパラメータによる）.

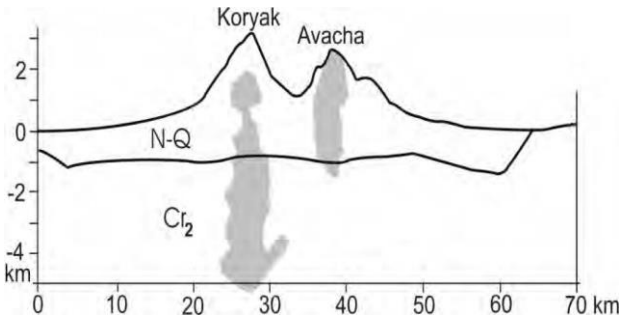


図 10. コリャーク火山とアバチャ火山の地下にある熱水循環の領域（微小地震の震源分布による）（Kiryukhin ほか, 2015）.

ルと 20–30 km の地殻の部分的な融解層を特定する．マントルマグマと（主に）部分的に融解した地殻岩石の影響によって汚染された両方の地殻上部への侵入は避けられない．このことは，火山活動そのものだけでなく，浅い深さでの高い温度の検出によっても確認されている．これらは，地殻の最底部やマントルの最上部に存在する過去の噴火で結晶化したマグマから採取されたゼノリスのサンプルに属する．噴気孔の下に深い溝が存在することは，微小地震の研究結果（図 10）によって確認された.

微小地震は，マグマを通過するガス気泡の周期性によって引き起こされるマグマの変動に関連していると推定される．エレバス火山では，溶岩湖面の脈動と噴煙中のガス含有量が記録されている.（Moussallam et al., 2012）．ところで，得られたデータによると，溶岩湖の表面では水素の酸化は見られない.

与えられたデータから，アバチャ火山下の熱水循環セルにおける下部境界帯の深さと，流体とガスが地表に到達する事実が得られた．セルの熱モデルを構築した（Gordienko, 2017 など）．約 4 km 以下では，温度分布はマグマだまりの対流を反映している．それに近づくにつれて, 計算された温度は図 10 の地温計データと一致する．モデル上部の制御能力は，日本の火山地域の熱場に関する情報（Tamanyu et al., 2005,ど）によって生み出され，井戸から流体循環の全深度までの地温計と温度が研究されている（図 11）.

広い温度範囲で流体-ガス放出が供給される可能性は明らかであり，これは実際に実現されている：観測された温度は 100–800℃である（Malik et al., 2017）． これは，2001 年（「限定的な爆発活動」の期間中）に，以前の噴火で固化した溶岩のプラグに断層が形成されたことによって促進された. いくつかの噴気孔について,

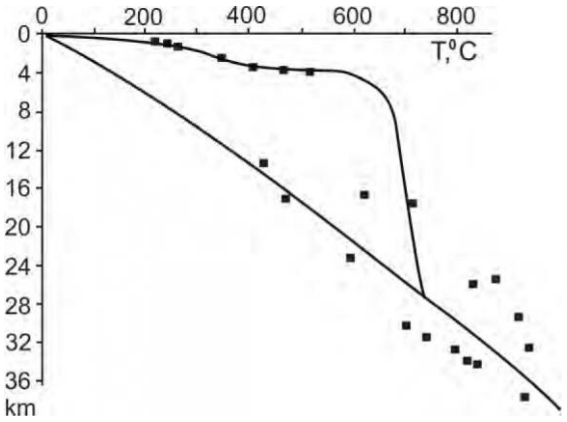


図 11. アバチャ火山のマグマ流入路と熱水循環帯の地殻熱モデル（図 9）. 線–計算温度，点–地温計データ.

温度と持ち出された水素の量が決定された（表 2）.

提示されたデータは, H_2 のモル濃度と噴出物質の温度との関係を示している. より代表的な物質（Malik ほか, 2017;Aiuppa et al., 2011; 百科事典..., 1999; Tassi et al., 2003 など）については明らかである（図 12）．アバチャのデータは 4 つの平均値で示されている.

マグマから分離したガスの組成は，地表に上昇するにつれて変化することがある．主反応（混合物の主成分と最速の成分との間で起こる），$SO_2 + 3H_2 \leftrightarrow H_2S + 2H_2O$ は, 圧力の上昇と温度の低下とともに右にシフトする.「ヴェルナー・ギッゲンバッハは，高温のガスがマグマから分離し，すぐに地表に上昇する場合，...プロセスは機能しないことを示唆した．しかし, 約 350℃以下の温度では...噴気ガスは，火山導管を取り囲む岩石との...長時間の相互作用により，この高温状態から脱出する可能性が高い．多くの野外観測は，ギッゲンバッハの予測と一致している.」（百科事典..., 1999, p. 805–

表 2. アバチャの地熱下での噴気孔の温度（℃）と水素含有量（mmol/mol）（Malik et al., 2017）

T	H_2	T	H_2	T	H_2	T	H_2
98	0.033	390	0.39	500	0.38	595	1.73
100	0.12	400	0.21	500	0.72	602	2.34
100	0.22	401	0.24	570	2.40	605	1.92
101	0.03	416	0.11	584	1.6	608	202
102	0.027	420	0.23	584	1.47	610	1.47
335	0.32	473	0.50	590	1.62	626	1.66
381	0.21						

806）．その後，推定臨界温度は約 550°Cに上昇した（Aiuppa et al., 2011 など）．

したがって，マグマだまりで発生した水素はすべて高温の噴気孔に固定される．すべての放出ガス（水蒸気を含む）に対する重量濃度はごくわずかである．例えば，アバチャ火山では $1.8 \cdot 10^{-4}$，ペルー・アンスの火山では $0.3 \cdot 10^{-4}$，南極のエレバス火山では $1.05 \cdot 10^{-3}$ である．熱水ガス流の無水部分は本質的に同じ状況を表している：水蒸気含有量は 50–98%の範囲にあり，体積含有量から重量含有量への移行は H_2 濃度の質量値を一桁減少させる．

図 12 の温度による噴気孔の水素モル濃度の変化は，トレンドを示しているが，状況を完全に特徴付けるものではない．火山は異なる内生体系の地帯にあり，異なる組成のマグマを異なる深さから受け入れている．地熱の実際の運転条件では，水素のモル濃度が高いガスを得ることは不可能であることだけは明らかである．平均して約 0.5–1.0 mmol/mol である．

火山源の生産性に関する情報により，噴気孔フィールドまたは火山クレーターのシステムの平均値を 1 日当たり 1±0.6 トンの水素と推定することができる（Malik et al., 2017; Aiuppa et al., 2011; Moussallam et al., 2012, 2017 など）．陸上の火山と地熱地帯の数は約 500 と推定される．このことから，地球の H_2 バランスへの総貢献量は約 0.15–0.20 Tg/年となる．この結果は，Warneck (1988) の 0.2 Tg/年，（Aiuppa et al., 2011）の 0.1 Tg/年などと顕著な違いはない．個々の火山でも推定値は不正確である．地球全体の結果は，大気の水素収支に対する中央海嶺の寄与とほぼ一致する（上記参照）．

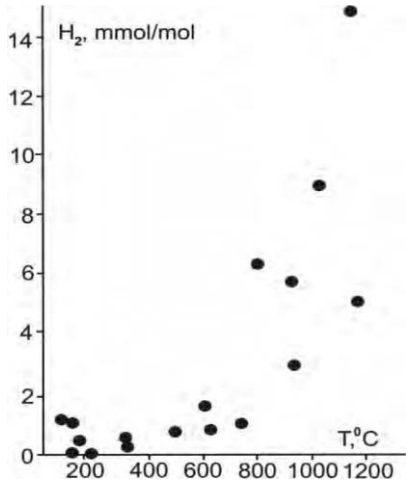


図 12. 水素濃度とガス出口温度の関係.

表 3. 乾燥熱水ガス中の水素含有量［百科事典. . . , 1999］

Country	H_2, vol. %	T, °C	Country	H_2, vol %	T, °C
Italy	2.1	240 - 250	Mexico	4.7	280 - 350
USA	19. 9	240 - 250	New Zealand	0.8	240 - 260
USA	0.0 2	190 - 250	Honduras	0.06	170 - 220
Japan	19. 4	430 - 880	Колумби я	3.09	350 - 430
France	0.1 6	70- 140	Salvador	0.12	230 - 250
Mexico *	0- 5.4	-			

結論と示唆

水素の発生と発生源は，地質学的な水素の流れを研究することの難しさを示している．断層が集中するケース以外では，水素を同定する方法はなく，干渉の量から判断して，水素が発生する見込みは漠然としている．利用可能なすべての情報は，観測された現象が，上部マントルと地殻における放射線分解，変成反応，融解効果のプロセスによって説明できることを示している．地球全体のフラックスは小さく，大気の水素バランスにおいて顕著な役割を果たすことはない．

地質学的な水素鉱床の形成確率を推定することは可能である（前述した水熱によるガス除去を除く）．

V. A. Nivin は，アルカリ性超塩基性岩塊に水素とメタンが濃縮された鉱床として興味深い地域を発見する可能性を認めている（Nivin, 2013）．このような条件下での水素生産には，シェールガス生産で使用されているのと同様の技術が必要になる可能性が高い．結晶質の岩石では，これは過度にコストのかかる作業となるかもしれない．このような場合，アルバニアのオフィオライト鉱山で発生したように，活断層によって水素の輸送が促進される可能性はある（Truche et al., 2024），

火山や熱鉱床に関する情報は，重要な鉱床を生産できる水素源が存在することを示している．これは炭化水素鉱床の形成時に起こったことであるが，水素が石油やガスの組成に入った後のことである．

水素のマグマ源と断層輸送経路は，必然的に貯留層内の圧力を高くする．この計算では，通常レベルの貯留層異常高圧（AHRP）の場合，炭化水素がスクリーンを通って浸透すると，最初の数千年から数百年で油田が液状化する可能性がある．第二の選択肢は，局所的

な地震度の影響を考慮していない浸透率で計算されているため，可能性が高い．

厚い岩塩層は，炭化水素鉱床にとって最良のスクリーンであると考えられている．カスピ海流域では，このようなスクリーンの厚さは（計算が行われた地域では）約 1 km であった．貯留層異常高圧の有意な値は，計算された熱流量を最大 20%変化させる強度で，流体が塩の地層を浸透することを可能にした．実験データは計算データと一致している（Gordienko et al., 1986）．つまり，現在の活性化（RA）ゾーンで地震による浸透率の上昇がなくても，深部からの物質供給によってのみ，原生的炭化水素鉱床の存在が支持される．そのような涵養の時間は，浅いマグマだまりの結晶化によって数万年という限られた時間である（もちろん，マグマの追加貫入がない場合）．

しかし，実際の岩石は水素に対する透過性が高いため，おそらく水素の重要な堆積物を形成することはできないだろう．実験によると，コア試料が水素にさらされると，透水係数は 2.4 倍に増加する（Kravchenko et al., 2014）．Kravchenko et al. (2018) では，非常に低い透気度 (0.02–0.03μm^2) の圧縮コア試料が研究された. MPa までの圧力降下で，モデルガスのどの成分もコアを通してろ過されなかった．水素を 5 体積%まで添加すると水素のみが濾過され，10 体積%まで濃度を上げると他の成分も濾過され始める．したがって，水素鉱床の保存問題を解決することは，水素鉱床の探索を計画する上で決定的に重要である．

天然ガスの地下貯蔵施設に関するデータから判断すると，地下貯蔵施設は数百分の 1 ミリダルシーレベルの透過性を持つスクリーンしか備えていない．しかし，「計算では，年間の原位置ガス損失は，有効貯蔵量の約 1〜1.5%に達する」（Methodological..., 1996, p. 47）．浸透性が著しく高く，粘性が低い水素の場合，常時補充しなければ，堆積物の枯渇時間は数十年になる．また，貯蔵施設には当然ながら貯留層異常高圧がない．これは，白色水素鉱床が形成される際に避けられないものである．

米国，英国，ドイツでは，岩塩鉱山の水素貯蔵に成功している（つまり，事業が採算に合わなくなるような損失がない）．フランスでは，堆積岩の貯蔵施設の運転経験がある．より大規模な同様の施設の設置が計画されている（Pfeiffer et al., 2017; Tarkowski, 2019 など）．これらのケースでは，浅い深さと期間について話しているが，それでも，貯蔵施設からのガスのろ過を研究することは，実際の見積りの基礎となるだろう．今のところ，専門家によれば，水素貯蔵施設では，「作動圧力は常に周囲の貯留層圧力より低い（0.8–0.25）．塩岩は極めて気密性が高く，理論的な漏洩率は年間約 0.01%である（Crotogino et al., 2010, p. 43）．この予測は実験的にも確認されている．ある塩貯蔵施設では，年間 0.02%の漏洩が確認されている（Final report..., 2017）．すなわち，高圧力解放後，ソルトスクリーンの下に水素析出物が形成される可能性がある．

文　献

Aiuppa, A., H. Shinohara, G. Tamburello, G. Giudice, M. Liuzzo and R. Moretti (2011) Hydrogen in the gas plume of an open-vent volcano, Mount Etna, Italy, J. Geophys. Res., 116, B10204, doi:10.1029/2011JB008461.

Bagriy I. D. (2020) Interview to the site "Glavkom". 08/25/2020 https://glavcom.ua/new_energy/publications/dvichi-pisav-zelenskomu-yak-ukrajinski-vcheni-shukayut-klyuch-do-energetiki-maybutnogo-voden-701046.html (in Ukrainian)

Bagriy I. D. and S. A. Kuzmenko (2019) Scientific substantiation of the spatial distribution and mapping of anomalous manifestations of hydrogen - the energy raw material of the XXI century. Geol. zhurn., 1, p. 59–77 https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2019.1.159241 (in Russian)

Bjornstad, B., J. McKinley, T. Stevens, S. Rawson, J. Fredrickson (1994) Generation of hydrogen gas as a result of drilling within the saturated zone. Groundwater Monit. & Rem., 14, p.140– 147.

Bogdanov Yu. A., E. G. Gurvich, A. Yu. Lein, A. M. Sagalevich, G. V. Novikov, V. I. Peresypkin, N. S. Bortnikov and I. V. Vikentyev (2000) Hydrothermal ore occurrences of the Logachev and Rainbow fields (Mid-Atlantic Ridge) are a new type of hydrothermal deposits of oceanic rifts. Russian Journal of Earth Sciences. 2. 4 (in Russian).

Cannat, M., F. Fontaine and J. Escartin (2010) Serpentinization and associated hydrogen and methane fluxes at slow spreading ridges. AGU Geophys. Monogr. Ser., 188, p. 241–264.

Coveney R., E. Goebel E. Zeller and G. Dreschhoff (1987) Serpentinization and the Origin of Hydrogen Gas in Kansas. AAPG Bulletin, 71(1) https://doi.org/10.1306/94886D3F-1704-11D7-8645000102C1865D

Crotogino F., S. Donadei, U. Burger and H. Landinger (2010) Large-Scale Hydrogen Underground Storage for Securing Future Energy Supplies. Proceedings 18th World Hydrogen Energy Conference. Book, 4. 45p.

Cvetković V., S. Erić, M. Radivojević and K. Šarić (2012) Cognate clinopyroxene from Paleogene mantle xenolith-bearing basanite lavas (East Serbia, SE Europe): the role of dissolution of mantle orthopyroxene. Mineralogy and Petrology, v. 106, 3–4, pp. 131–150.

Ehhalt D. and F. Rohber (2009) The tropospheric cycle of H2: a critical review. Tellus B: Chemical and Physical Meteoroljgy. v. 61, 3. p. 500–535. https://doi.org/10.1111/j.1600-0889.2009.00416.x

Sigurdsson, H., B. Houghton, H. Rymer, J. Stix and S. McNutt (1999) Encyclopedia of volcanoes. Academic Press, 1417p.

Environmental Health Criteria. Monographs Carbon monoxide (EHC 13, 1979, 1st edition), Carbon monoxide (EHC 213, 1999, 2nd edition) et al. World Health Organization. Geneva.

Shestopalov, V. M. ed. (2018) Essays on the degassing of the Earth. Kiev: Itek service, 632p. (in Russian).

Final report for executing a study of the effects of hydrogen injection in natural gas networks for the Dutch underground strogates. Netherlands Enterprise Agency. Hague, Leipzig, Vienna. 2017. 66p.

Gilat A. L. and A. Vol (2012) Degassing of primordial hydrogen and helium as the major energy source for internal terrestrial processes. Geosci Front., 3. p. 911–921. doi:10.1016/j.gsf.2012.03.009.

Gontovaya, L. I., and V. V. Gordienko (2006) Depth processes and geophysical models of the mantle of East Kamchatka and Kronotsky Bay. Geology and Mineral Resources of the World Ocean, 2. p. 107–121. (in Russian)

Gordienko V. V. (2019) Earth's crust of the World Ocean and strip anomalies of the magnetic field. Geology and Minerals of the World Ocean, 4. p. 3–35. (in Russian)

Gordienko V. V. and O. V. Zavgorodnaya (1986) Thermal field of the southeastern part of the Russian plate. Geof. Journal, 6, p. 3–11 (in Russian).

Gordienko V.V. 2017. Thermal processes, geodynamics, deposits. 285p. https://ivangord2000.wixsite.com/tectonos

Guélard, J., V. Beaumont, V. Rouchon, F. Guyot, D. Pillot, D. Jézéquel, M. Ader, D. Newell and E. Deville (2017) Natural H2 in Kansas: deep or shallow origin? https://hal-ifp.archives-ouvertes.fr/hal-01582129/document

Holland, H. (2002) Volcanic gases, black smokers, and the great oxidation event. Geochimica et Cosmochimica Acta, 6, p. 3811–3826. doi:10.1016/S0016-7037(02)00950-X.

Holloway J. and P. O'Day (2000) Production of CO2 and H2 by Diking-Eruptive Events at Mid-Ocean Ridges: Implications for Abiotic Organic Synthesis and Global Geochemical Cycling. Int. Geol. Rev., 42, p. 673–683. https://doi.org/10.1080/00206810009465105.

Ikorsky, S. V., V. A. Nivin and V. A. Pripachkin (1992) Geochemistry of gases of endogenous formations. SPb.: Science, 179p. (in Russian)

Ivanov, A.V. (2010) Deep-level geodynamics: boundaries of process according to geochemical and petrological data. Geodynamics and Tectonophysics, 1, p. 87–102. (in Russian)

Jaehne, B., K. Muennich, R. Boesinger, A. Dutzi, W. Huber and P. Libner (1987) On the parameters air-water gas exchange. J.G.R., 92. p. 1937–1949.

Kiryukhin, A., Y. Manukhin, S. Fedotov, V. Lavrushin, N. Rychkova, G. Ryabinin, A. Polyakov and P. Voronin (2015) Geofluids of Avachinsky-Koryaksky Volcanogenic Basin, Kamchatka, Russia. Proceedings of World Geothermal Congress, Melbourne, 11p.

Konn, C., J. Charlou, N. Holm and O. Mousis (2015) The Production of Methane, Hydrogen, and Organic Compounds in Ultramafic-Hosted Hydrothermal Vents of the Mid-Atlantic Ridge. Astrobiology, 15(5), p. 381–399. doi: 10.1089/ast.2014.1198

Krayushkin, V. A., A. I. Timurziev and N. B. Shevchenko (2018) On the problem of the abiotic (non-biogenic) nature of oil and natural gas. Materials of 6th KC., p. 235–238. (in Russian).

Kravchenko O. V., D. A. Veligotsky, A. N. Avramenko, R. A. Khabibullin (2014) An improved technology of a complex influence on productive layers of oil and gas wells. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(5(72), 4–9. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.29316

Kravchenko, O. V., I. G. Suvorova, I. A. Baranov and D. A. Veligotsky (2018) Effect of hydrogen on flow and heat transfer in the "fracture-fluid" system. Integrated technologies and energy saving, 3. p. 35-46. (in Russian)

Lilley, M., M. de Angelis and L. Gordon (1982) CH_4, H_2, CO and N_2O in submarine hydrothermal vent waters. Nature, 300, 48–50 https://doi.org/10.1038/300048a0

Lin, L., J. Hall, J. Lippmann-Pipke, J. Ward, B. Sherwood, M. DeFlaun, R. Rothmel, D. Moser, T. Gihring, B. Mislowack and T. Onstott (2005) Radiolytic H_2 in continental crust: Nuclear power for deep subsurface microbial communities. Geochem., Geoph., Geosys., 6, p. 3–13. https://doi.org/10.1029/2004GC000907

Lippmann, J., M. Stute, T. Torgersen, D. P. Moser, J. A. Hall, L. Lin, M. Borcsik, R. E. S. Bellamy and T. C. Onstott (2003) Dating ultra-deep mine waters with noble gases and 36Cl, Witwatersrand Basin, South Africa. Geochim. Cosmochim. Acta, 67, p. 4597–4619.

Makarenko, G. F. (1997) Periodicity of basalts, biocrises, structural symmetry of the Earth. Moscow: Geoinformmark. 98p. (in Russian).

Malik, N. A., M. E. Zelenski and V. M. Okrugin (2017) Temperature and gas composition of the Avachinsky volcano fumaroles (Kamchatka) in 2013–2016. Bulletin of KRAUNZ, Earth sciences, 1. v. 33. p. 21–32. (in Russian)

McMahon P., Chapelle F. 1991. Microbial Organic-Acid Production in Aquitard Sediments and Its Role in Aquifer Geochemistry. Nature, 349, p. 233–235. DOI: 10.1038/349233a0

Methodological guidelines for determining the technologically necessary irrecoverable gas losses during the creation and operation of gas storage facilities in porous formations. 1996. Moscow: RAO Gazprom. 50 p. (in Russian)

Moussallam, Y., G. Tamburello, N. Peters and F. Apaza (2017) Volcanic gas emissions and degassing dynamics at Ubinas and Sabancaya volcanoes; implications for the volatile budget of the central volcanic zone. J. of Volc. and Geoth. Res., 343, 1, p. 181–191. DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2017.06.027

Murich, A. T., Reznikov A.L., Abrazhevich E.V., 1975. Serdyukov V.V. The results of deep drilling in the central part of the Donbass. Soviet geology. 8. P.125-131 (in Russian).

Nizkous, I.V., E. Kissling, I. A. Sanina, L. I. Gontovaya (2006) Velocity properties of the lithosphere of the transition zone of the ocean-continent in the Kamchatka region according to seismic tomography. Physics of the Earth, 4, p. 18–29. (in Russian)

Nivin, V. A. (2013) Gas components in igneous rocks: geochemical, mineralogical and environmental aspects and consequences (for example, intrusive complexes of the Kola province). Dis. doc.geol.-min. sciences. Apatity. 353p. (in Russian)

Novelli, P. C., P. M. Lang, K. A. Masarie, D. F. Hurst, R. Myers and J. Elkins (1999) Molecular hydrogen in the troposphere: global distribution and budget. J. Geophys. Res., 104, p. 30427– 30444.

Onstott, T. C., T. J. Phelps, F. S. Colwell, D. Ringeberg, D. C. White and D. R. Boone (1998) Observations pertaining to the origin and ecology of microorganisms recovered from the deep subsurface of Taylorsville basin, Virginia. Geomicrobiol. J., 15, p. 353– 385.

Parnell, J. and N. Blamey (2017) Global hydrogen reservoirs in basement and basins. Geochem. Transactions., 18, 2. doi: 10.1186/s12932-017-0041-4

Petersilier, I.A. and V. A. Pripachkin (1979) Hydrogen, carbon, nitrogen, and helium in igneous rock gases. Geochemistry, 7, p. 1028–1034. (in Russian).

Polevanov, V. P. and S. Yu. Glazyev (2020) Searches for natural hydrogen deposits in Russia as a basis for integration into a new technological order. Subsoil use. XXI century, 4(57), p. 12–23. (in Russian)

Pfeiffer, W., C. Beyer and S. Bauer (2017) Hydrogen storage in a heterogeneous sandstone formation: dimensioning and induced hydraulic effects. Petroleum Geoscience, 23(3), p. 315–326. https://doi.org/10.1144/petgeo2016-050

Pieterse, G. (2012) Modelling the global tropospheric molecular hydrogen cycle. Netherlands, 198 p.

Pieterse, G., M. C. Krol, A. M. Batenburg, L. P. Steele, P. B. Krummel, R. L. Langenfelds and T. Röckmann (2011) Global modelling of H_2 mixing ratios and isotopic compositions with the TM5 model. Atmos. Chem. Phys, 11(14). p. 7001–7026. doi:10.5194/acp–11–7001–2011.

Rodkin, M. V. and S. A. Punanova (2015) Assessment of the influence of crustal processes on the formation of microelement composition of caustobiolites. Theses of 4 KR. Moscow: CGE. (in Russian)

Romanova, K. A huge supply of energy is under our feet. Focus. 04.12.20233 https://focus.ua/technologies/610479-ogromnyy-zapas-energii-u-nas-pod-nogami-vo-francii-nashli-krupneyshie-zalezhi-vodoroda. (in Russian)

Savary, V. and M. Pagel (1997) The effects of water radiolysis on local redox conditions in the Oklo, Gabon, natural fission reactors 10 and 16, Geochim. et Cosmochim. Acta, 61, p. 4479– 4494.

Sherwood Lollar, B., T. Onstott, G. Lacrampe-Couloume and C. J. Ballentine (2014) The contribution of the Precambrian continental lithosphere to global H_2 production. Nature, 516, p. 379–382. doi:10.1038/nature14017.

Shumlyansky V. A., Yu. N. Demikhov, E. I. Derevskaya, T. V. Dudar, S. A. Zelensky, I. N. Zinchuk, O. I. Ivantishina, M. V. Kurilo and E. D. Syngaevsky (1994) Geological and genetic model of the Bobrikovsky gold-polymetallic deposit. Geological Journal, 3. p. 95–106. (in Russian)

Sleep, N. and D. Bird (2007) Niches of the pre-photosynthetic biosphere and geologic preservation of Earth's earliest ecology. Geobiology, 5, p.101–117. doi:10.1111/j.1472-4669.2007.00105.x.

Tamanyu, S. and K. Fujimoto (2005) Hydrothermal and Heat Source Model for the Kakkonda Geothermal Field, Japan. Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, p. 24–29.

Tarkowski, R. (2019) Underground hydrogen storage: Characteristics and prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 105. p. 86–94.

Tassi, F., O. Vaselli, B. Capaccioni, J. Macias, A. Nencetti, G. Montegrossi and G. Magro (2003) Chemical composition of fumarolic gases and springdischarges from El Chicho'n volcano, Mexico: causes and implications of the changes detected overthe period 1998^2000. Journal of Volcanology and Geothermal restarches, 123, p. 105–121. https://doi.org/10.1016/S0377-0273(03)00031-3

Truche, L., F.-V. Donze, E. Goskolli et al. (2024) A deep reservoir for hydrogen drives intense degassing in the Bulqizë ophiolite. Science, v 383, no. 6683, p. 618-621. doi: 10.1126/science.adk9099

Tsilmak, O. V. (2016) Mineralogical and geochemical model of the Bobrikivsky gold-bearing deposit. Dis. Geological science, LNU im, Ivan Franko, 217 p. (in Russian)

Verkhovtsev, V. G. (2006) The newest vertical movements of the earth's crust in Ukraine, their relationship with the linear and ring geostructures. Energy of the Earth, its geological and ecological manifestation, scientific and technological use. "Technological and Environmental Safety and Civil Protecction" no. 6. Kyiv: Kyiv Univ. Pub. Print. Centre, p. 129–137. (in Ukrainian)

Voitov, G. I. (1971) On the chemical composition of gases in Krivoy Rog. Geochemistry, 11. p. 1324–1331. (in Russian)

Voitov, G. I. (1974) To assess the intensity of gas exchange on shields (on the example of the Ukrainian shield). Geological journal, 2, p. 68–82. (in Russian)

Voitov, G. I. (1975) Gas breathing of the Earth. Nature, 3, p. 91–98. (in Russian)

Voitov, G. I. (1986) Chemistry and scale of the modern flow of natural gases in various geostructural zones of the Earth. Journal All chem. Society named after D I Mendeleev, 31, p. 533–556. (in Russian)

Vovk, I. F. (1982) Brines of the crystalline foundation of shields. Kyiv: Naukova Dumka, 163 p. (in Russian)

Vovk, I. F. (1987) Radiolytic salt enrichment and brine in the crystalline basement of the east European platform, in Saline Water and Gases in Crystalline Rocks, Geol. Assoc. Can. Spec. Pap., 33, p. 197–210.

Xiao, X., R. G. Prinn, P. G. Simmonds, L. P Steele and P. Novelli (2007) Optimal estimation of the soil uptake of molecular hydrogen from the Advanced Global Atmospheric Gases Experiments and other measurements. J. Geophys. Res., 112, D07303, doi:10.1029/2006JD007241.

Warneck, P. 1988. Chemistry of the Natural Atmosphere. International Geophysics Series, vol. 41. 757 p.

Welhan J. A. and H. Craig (1979) Methane and hydrogen in East Pacific rise hydrothermal fluids. Geophys. Res. Letters. 6, 11. P. 829-831. https://doi.org/10.1029/GL006i011p00829

Worman, S. L, L. F. Pratson, J. A. Karson and E. M. Klein (2016) Global rate and distribution of H_2 gas produced by serpentinization within oceanic lithosphere. Geophys. Res. Lett., 43, p. 6435–6443. https://doi.org/10.1002/2016GL069066

Zgonnik, V. (2020) The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. Journal Pre-proof. Earth-Science Reviews, 203. https://doi.org/10.1016/j.earscirev. 2020.103140

なぜプレートテクトニクスは地球科学を惑わし続けるのか？

Why does Plate Tectonics Continue to Mislead the Geosciences?

James Maxlow[1]

(1) Retired Professional Geoscientist, Australia, james.maxlow@bigpond.com

［要旨のみ　柴　正博 訳］

要旨 : プレートテクトニクスが地球科学を支配し続けている一方で，現代の地球規模の地質学的・地理学的観測データは，まったく異なる物語を語っている．1960 年代以降，このような観測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ため，これまでは従来のプレートテクトニクスの視点以外で見られることはほとんどなかった．この従来の視点は，大陸や海洋の起源はランダムで予測不可能，時には破滅的なプロセスであると主張している．現在私たちが信じていることとは対照的に，この地球規模の観測データは，地球の大陸と海洋の起源についてまったく異なる物語を語っている；これは，非常に単純で，進化的で，予測可能で，理解しやすく，全体的なプロセスを示すもので，時間とともに地球の表面積と曲率が徐々に変化していく．今こそ科学は，地質学的，地理学的，生物地理学的な観測データを，時代遅れで視野の狭い固定半径の地球の前提に縛り付けるのではなく，プレートテクトニクスが半径の大きな地球のメカニズムに適している可能性があることを真剣に検討すべき時であることを示唆している．

Keywords: Expansion Tectonics, Plate Tectonics, Global Tectonics.

地震と AI：新しい研究モデルの提案

Earthquakes and AI: The Proposal of a New Research Model

Daniele Cataldi[1-2], Gabriele Cataldi[1], Valentino Straser[3]

(1) Radio Emissions Project (I). ltpaobserverproject@gmail.com
(2) LTPA Observer Project (I) - daniele77c@hotmail.it
(3) Department of Science and Environment UPKL Brussel (B). valentino.straser@gmail.com

［足立久男 訳］

要旨：人工知能（AI）は 10 年ほど前から大きく台頭し始め，近年は急速な進歩を遂げている．しかし，AI 研究のルーツは 1950 年代に遡り，その過程で漸進的な発展を遂げてきた．特に 2010 年代初頭から，ビッグデータの出現・計算能力の向上・機械学習アルゴリズムの改善によって，本当の意味での爆発的な関心と実用化が始まった．2023 年，電波放射プロジェクト（Radio Emissions Project）は，地震前兆の研究に関連する地震データの計算能力とデータ分析を強化するために，AI を用いた実験を行った．本研究は，AI が地震発生メカニズムの理解やイタリアの地震活動の短期予測を行うためのデータ解釈に，有用な情報を生成できるかどうかを理解することを目的としている．

Keywords: AI, Seismic Precursors, Earthquake in Italy.

はじめに

人工知能 (AI) の進化は数十年に及び, 大きな進歩, 挑戦, そして 「AI の冬」と呼ばれる停滞期を特徴としている．この旅は，技術分野と私たちの機械との関わり方を一変させる革命的な発展をもたらした．

AI の正式な歴史は，Alan Turing のような先駆者の研究によって「知的機械」の概念が具体化し始めた 1950 年代に始まる．1956 年は AI 誕生の年とされることが多く，ダートマス大学夏期研究プロジェクトで「人工知能（Artificial Intelligence）」という言葉がつくられ，研究者たちは記号的な操作によって機械の知能をシミュレートできるというビジョンを共有した．

1960 年代から 70 年代にかけて, AI はエキスパート・システムの開発によって楽観的で進歩的な時代を経験し，さまざまな分野に革命をもたらすと期待された．しかし，人間の知能を模倣することの複雑さが過小評価され, 期待に応えられなかったために AI への資金や関心が激減した最初の「AI の冬」と呼ばれる時期があった．

こうした障害にもかかわらず，機械学習・ニューラルネットワーク・自然言語処理（NLP）の進歩により，AI は 80 年代から 90 年代にかけて進化を続けた．1997 年には IBM のスーパーコンピューターDeep Blue がチェスのチャンピオン Garry Kasparov を破るなど，この数年間で特定のタスクを高精度で実行できるシステムが開発された．

21 世紀に入ると，データが爆発的に増加し，計算能力が大幅に向上したため，ディープラーニングが顕著に進歩した．これらの発展により，画像認識・自動翻訳・囲碁など特定のタスクにおいて人間を凌駕する能力を持つ AI システムが誕生した．

2018 年の OpenAI による Generative Pre-trained Transformer（GPT）の導入と，それに続く ChatGPT のデビューは重要な一里塚であり，言語生成能力と高度な会話インタラクションを実証した．これらの開発により，AI の新たなフロンティアが開かれ，効率性の向上や人間と機械の新たな相互作用の創造における AI の可能性が示された．

AI は，仕事・倫理・社会の未来に多大な影響を及ぼす急速に進化を続ける分野である．機械学習，ロボット工学，ブレイン・コンピューター・インターフェー

スの現在進行中の開発は，AI を新たな方向へと導くことを約束し，機械とは何かという我々の期待に絶えず挑戦し続けている．

2022 年，電波放射プロジェクトは，人工知能の能力を活用して地震モニタリングデータを収集し，研究者が地震発生現象を理解するのに役立つ新しい実験プロジェクトに取り組むために，科学的な文脈での AI の利用を検討し始めた．

アマチュア研究者が利用できる AI は，特定の計算を行ったり，研究者をサポートしたりする高度な機能をまだ持っていなかったが，2023 年半ばに世界中のユーザーが利用できる新機能が導入され，この問題は克服された．

こうして 2024 年 2 月，いくつかの地震予知実験が成功した後，電波放射プロジェクトは，国立地球物理学・火山学研究所のモニタリングデータに基づいて，イタリアの特定地域で地震が発生すると予想されることを示す予知データを処理した．

2024 年 2 月 4 日，AI は，2024 年 1 月 29 日から 2024 年 2 月 4 日までの過去 7 日間にイタリアで発生した地震に関するモニタリングデータを提供された．この間，AI は INGV のアーカイブからデータを取得し，イタリアの州ごとに分類して地震のリストを作成するよう依頼された．

方法とデータ

イタリアにおける地震発生の確率的切迫度マップの作成には，INGV のウェブサイト（www.ingv.it）上のリアルタイムでアクセス可能なデータが利用された．それによって，イタリアの領土で発生したマグニチュード M2 以上のすべての地震が，イタリアの各地域に分割された．

このようにして，AI は，発生件数の少ない地域と比較して，より多くの地震を経験した地域のランキングを作成した．

その後，AI は，特定の地域で他の地域よりも多くの地震が予想されるかどうかを問われ，イタリアの地震データを処理した後の AI の回答は，地震データのみに基づいて，特定の地域で他の地域よりも多くの地震が予想されることを確認した．

このような手続きを経て，AI を用いて，2024 年 2 月 4 日から数日間という短い時間軸で，今後 M2 以上の地震が発生しやすい地域のランキングを作成した（図 1）．

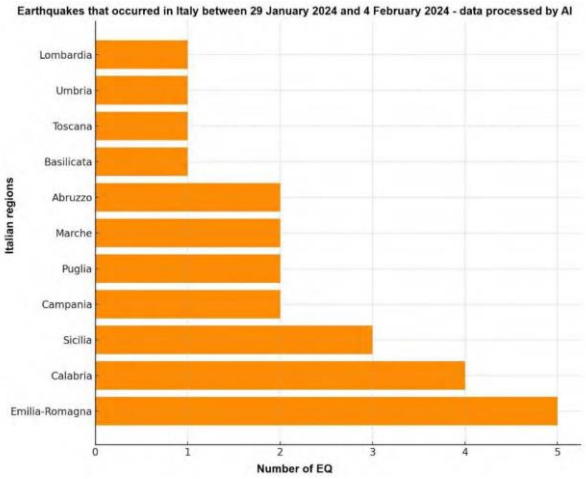


図 1–2024 年 1 月 29 日から 2024 年 2 月 4 日の間にイタリアで発生した地震数関連図．この事例は AI が地震の多い地域のランキングをまとめたものである．クレジット：Daniele Cataldi.

続いて AI に投げかけられた問いは，すでに地震が発生した地域で地震が発生する可能性が高いかどうかというものだった．統計データだけでは一定のデータを導き出すことができない複雑な現象にもかかわらず，AI の反応は肯定的であった．

この研究で検討された地震は，エミリアにおける一連の地震に関連したもので，以下の通りである：

- 2024-02-06 22:49:22 ML 2.2 - 2 km NW Montefiorino (MO)
- 2024-02-06 23:37:36 ML 2.5 - 6 km E Calestano (PR)
- 2024-02-07 05:02:02 ML 3.2 - 9 km W Frassinoro　(MO)
- 2024-02-07 05:31:42 ML 2.3 - 6 km NW Langhirano (PR)
- 2024-02-07 05:32:00 ML 2.6 - 4 km W Langhirano (PR)
- 2024-02-07 05:41:59 ML 2.8 - 6 km NE Calestano (PR)
- 2024-02-07 05:46:33 ML 2.0 - 7 km W Langhirano (PR)
- 2024-02-07 06:24:29 ML 2.5 - 6 km NE Calestano (PR)
- 2024-02-07 06:26:38 ML 2.1 - 2 km NW Langhirano (PR)
- 2024-02-07 06:33:10 ML 2.2 - 6 km W Langhirano (PR)
- 2024-02-07 07:25:32 ML 2.4 - 6 km W Langhirano (PR)
- 2024-02-07 08:15:18 ML 2.4 - 4 km W Langhirano (PR)
- 2024-02-07 08:20:32 ML 2.1 - 7 km W Langhirano (PR)
- 2024-02-07 08:29:55 ML 2.7 - 6 km NE Calestano (PR)
- 2024-02-07 09:01:13 ML 2.6 - 5 km NW Langhirano (PR)
- 2024-02-07 09:14:58 ML 2.5 - 6 km NE Calestano (PR)

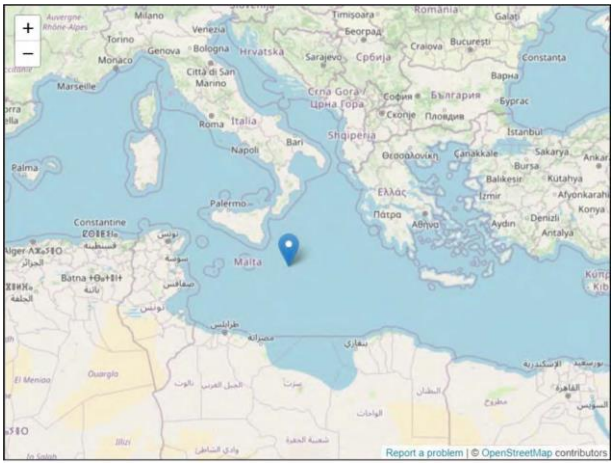


図 2–2024 年 2 月 5 日のマグニチュード M4.2 の地震．クレジット: INGV.

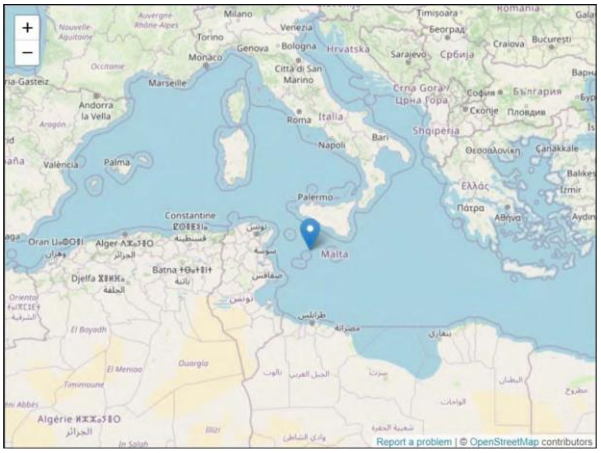


図 3–2024 年 2 月 6 日のマグニチュード M2.5 の地震．クレジット: INGV.

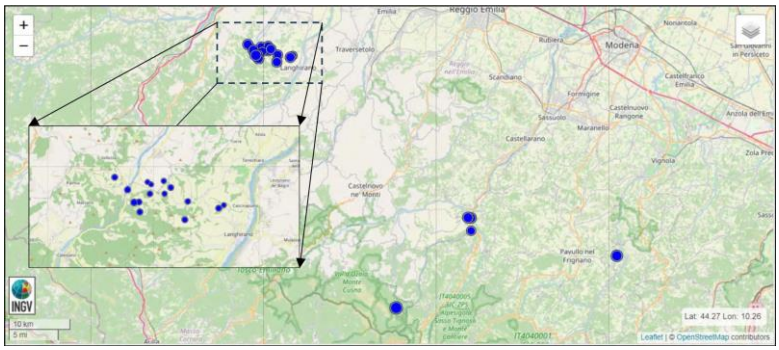


図 4–2024 年 2 月 6 日から 2 月 7 日にかけてイタリアのエミリア・ロマーニャ州で発生した群発地震．クレジット: INGV.

- 2024-02-07 09:27:59 ML 2.6 - 2 km NW Langhirano (PR)

これらは 2024 年 2 月 6 日 22:49UTC から 2024 年 2 月 7 日 09:27UTC の間に発生した地震である（出典：INGV）.

討　論

地震予知研究の追求は，特に，より広範で多様なデータを供給することができる新しい機器や技術を考慮する場合，大きく発展する情況を表している．このように多様化したデータを学際的な枠組みで他のデータと組み合わせることで，地殻診断や地震に先行する現象についてより正確な洞察が得られる可能性がある.

最初に記録された地震イベントは，図 2 に描かれているように，イタリア（沖合）で 2024 年 2 月 5 日 08:14:56（UTC）に発生したマグニチュード ML 4.2 の地震であった．この地震は海上で発生したにもかかわらず，シチリア州の一部であり，地震が発生しやすい地域として AI によって第 3 位にランク付けされた.

記録された 2 つ目の地震は，2024 年 2 月 6 日 23 時 37 分 10 秒（UTC）にシチリア海峡南部（海上）で発生したマグニチュード ML2.5 の地震である．陸上では発生しなかったが，この地震はイタリア領内，特にシチリア海域で発生した（図 3）.

AI 予測の観点から最も重要な事象は，2024 年 2 月 6 日末から 2 月 7 日にかけて，エミリア・ロマーニャ州で始まった局地的な群発地震である（図 4 に示す）．この最新のイベント（群発地震）が，AI がイタリアの地理的ゾーンでマグニチュード M2 以上の地震が発生する可能性が最も高いと特定した地域で正確に発生したことを考えると，INGV のアーカイブからのデータは，ある特定の方法で解釈すれば，予測的価値を持つことがあることがわかる.

処理されたデータは単純なタイプで，地震の時間的な局在・数・マグニチュード・特定の地理的地域（この場合はイタリア）に対する分布に基づいている.

したがって，この結果は，AI が提供する予測情報を導き出すことができる実際の地震データを考慮したも

のであるが，非常に短い時間的背景の中で，データの不均質性が低いことを考えると，より正確な空間的・時間的指標を提供することは不可能であった.

既存の研究では, 地震研究の文脈における AI の利用が検討されている[10] [11] [12] [13] [14]. これらの研究は，今後数年間で，技術や研究のあらゆる面で大きな進歩をもたらすであろう研究の初期段階に過ぎない.

議　論

地震予測の研究は，特に，より大規模で多様なデータを提供できる新しいツールや技術を考慮すると，高度に発展する分野である．研究者がすでに所有している他のデータと組み合わされた場合，そのような多様化は，地震に先行する地震発生現象の一部を理解するのに役立ち，より正確な指標を提供できることは間違いない.

この事例では，研究は限られたデータセットに基づくものであったが，AI がいかにデータを検索し，裏付けを取り，正確であることが証明された予測的洞察を提供する能力があるかを浮き彫りにした.

イタリアのエミリア・ロマーニャ州で発生した群発地震が，AI が最初にマグニチュード M2 以上の地震が発生する確率が高い地域と特定した場所で発生したのは偶然ではないだろう（図 1）.

これは，ますます最新のツールを活用し，複数のデータソースを採用し, それを AI で処理することの重要性を示している. 今回は, INGV の地震データのみを用いた小規模な研究であったが，そう遠くない将来，より多くの種類のデータを AI に提供し, より正確な地震予測指標を提供できるようになることが期待される.

この分野では, 地震研究の文脈での AI の利用を想定した研究がすでに行われている[10] [11] [12] [13] [14]が, これらの研究は，今後数年のうちに技術や研究のあらゆる面で大きな発展をもたらすであろう研究の初期段階に過ぎない．このシナリオでは，研究者はこうした知識やツールを用いて，地震予測研究に現在も存在する課題をできるだけ早く克服しなければならない.

文　献

[1] R. Karjian (2023) The history of artificial intelligence: Complete AI timeline - TechTarget - Enterprise AI. https://www.techtarget.com/searchEnterpriseAI/tip/The-history-of-artificial-intelligence-Complete-AI-timeline

[2] Stuart J. R. and N. Peter (2021) Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Hoboken: Pearson. ISBN 978-0134610993. LCCN 20190474.

[3] Byrne, J. G. (2012) The John Gabriel Byrne Computer Science Collection. Archived from the original on 16 April 2019. Retrieved 8 August 2019.

[4] Quevedo, L. T. (1914) Revista de la Academia de Ciencias Exacta. Ensayos sobre Automática – Su definicion. Extension teórica de sus aplicaciones, v. 12, p. 391–418.

[5] Quevedo, L. T. (1915) Revue Génerale des Sciences Pures et Appliquées. Essais sur l'Automatique - Sa définition. Etendue théorique de ses applications, v. 2, p. 601–611.

[6] Butler, S. (1863) Darwin Among the Machines. The Press, Christchurch, New Zealand, retrieved 10 October 2008.

[7] Chatterjee, S., N. S. Sreenivasulu and H. Zahid (2021). Evolution of artificial intelligence and its impact on human rights: from sociolegal perspective. International Journal of Law and Management, 64 (2), 184–205. doi:10.1108/IJLMA-06-2021-0156 - ISSN 1754-243X. S2CID 238670666.

[8] Gualtiero, P. (2004) The First Computational Theory of Mind and Brain: A Close Look at Mcculloch and Pitts's "Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity". Synthese, 141 (2), 175–215. doi:10.1023/B:SYNT.0000043018.52445.3e. ISSN 1573-0964. S2CID 10442035.

[9] Widrow, B. and M. A. Lehr (1990) 30 years of adaptive neural networks: perceptron, Madaline, and backpropagation. Proceedings of the IEEE. 78 (9): 1415–1442. doi:10.1109/5.58323. S2CID 195704643.

[10] Chen, Y., A. Savvaidis, O. M. Saad, G.-C. Dino Huang, D. Siervo, V. O'Sullivan, C. McCabe, B. Uku, P. Fleck, G. Burke, N. L. Alvarez, J. Domino and I. Grigoratos (2024) TXED: The Texas Earthquake Dataset for AI - GeoScienceWorld - Seismological Research Letters. https://doi.org/10.1785/0220230327.

[11] Biswas, S., D. Kumar, M. Hajiaghaei-Keshteli and U. K. Bera (2024) An AI-based framework for earthquake relief demand forecasting: A case study in Türkiye, International Journal of Disaster Risk Reduction.

[12] Wang, C., J. Zhao and T-M. Chan (2023) Artificial intelligence (AI)-assisted simulation-driven earthquake-resistant design framework: Taking a strong back system as an example. Engineering Structures. doi: 10.1016/j.engstruct.2023.116892.

[13] Lu, X., H. Burton and M. Nakashima (2022) AI and data-driven methods in earthquake engineering. Earthquake Engineering & Structural Dynamics. doi: 10.1002/eqe.3647.

[14] Rudyanto, A., D. Gho, A. Tyastama, D. Karyadi and P.-Y. Lin (2023) Unveiling the potential: preliminary result on an AI-based onsite earthquake early warning system deployment in Denpasar City. E3S Web of Conferences. doi: 10.1051/e3sconf/202346402002.

地震，太陽活動，そして明るい流星

Earthquakes, Solar Activity, and Bright Meteors

Daniele Cataldi[1-2], Gabriele Cataldi[1], Valentino Straser[3]

(1) Radio Emissions Project (I). ltpaobserverproject@gmail.com
(2) LTPA Observer Project (I). daniele77c@hotmail.it
(3) Department of Science and Environment UPKL Brussel (B). valentino.straser@gmail.com

［要旨のみ　柴　正博 訳］

要旨：ここ数十年，夜空を撮影できる高感度 CCTV カメラを中心に，アマチュア天文台による天体観測が急増している．このような状況の中で，これらの発光現象の検出に関するデータを提供できる観測所の国際的なネットワークが実際に存在する．イタリアで最も活発な観測所のひとつが，2007 年に設立された LTPA オブザーバー・プロジェクトで，夜空を毎日観測し，地球の引力に引き寄せられながら太陽の周りを周回する流星天体の通過に関連する天文記録に関する重要なデータを提供するための設備が整っている．この領域では，これらの事象の研究が，地震予知に関連する新しい調査手法の出現につながっている．LTPA オブザーバー・プロジェクトとラジオ・エミッション・プロジェクトは，可視大気発光現象と地震前兆現象を研究するイタリアの 2 つの科学的イニシアティブであり，大きな火の玉の観測が，時間的な背景はあるにせよ，強い地震の発生と関連づけられることがあるかどうかを理解する必要性を強調している．本研究は，まさにこの可能性，すなわち，大きな火球の出現が，これまで知られていなかった新しい地震前兆と考えられるかどうか，また，この流星活動が太陽活動と関連づけられるかどうかを探るものである．

Keywords: Meteor, Earthquakes, Astronomy, Seismic Precursors, Eliophisics.

スライド紹介

プレートテクトニクス理論誕生 55 周年おめでとう

Happy 55th Birthday Plate Tectonics Theory

Keith James – Consulting Geologist

編集部注：括弧内の赤い数字は，Vol. 12，No. 1 へのリンク直後にある NCGT ジャーナルウェブサイトの付録リンクにあるパワーポイントのスライド番号を指す．

https://users.neo.registeredsite.com/6/9/1/18560196/assets/NCGTJ_Appendix_V12N1.pdf

［柴　正博 訳］

地質学の統一理論である，プレートテクトニクス・パラダイム（PT）が 55 歳を迎えた．これは，複雑な歴史を持つ巨大なテーマである．大陸の分離を説明する理論では，大西洋の海岸線と化石の分布の一致を利用して，かつて南アメリカとアフリカが並置されていたことを論証した（Wegener, 1924; Green, 1857; Pellegrini, 1857）．マントル対流が大陸を移動させた（Holmes, 1944）．

1960 年代半ば，海底データが収集されるにつれて，PT は統合された．その結果，海底拡大の歴史を記録していると解釈される「中央大洋」海嶺と磁気を帯びた海底縞の世界的なシステムが明らかになった（Hess, 1962; Vine and Mathews, 1965）．

米英の研究機関によるエキサイティングな共同研究のエピソード（Oreskes, 2003, 3 参照）では，新しいアイデアが「物理学における量子力学や生物学における遺伝暗号に類似した科学革命」（Encyclopedia Britannica）に集約された．驚くべきことに，当時指摘された注意事項（Beloussov, 1970(4); Heirtzler, Vine and Mathews, 106, 110 など）は無視された．

図解が洗練されたことを除けば，60 年代からあまり変わっていない．理論を疑問視する人はほとんどいない（ただし，Pratt, 2000 とその参考文献を参照．）

この記事では，いくつかの問題点，新たなデータ，そしてさまざまな可能性を紹介する．

PT の要旨：超大陸パンゲアが三畳紀に分裂し始めた．ジュラ紀以降，中央大洋海嶺（MOR）が新たな海底を生み出し，大陸を移動させた．ここでは，磁気縞模様が地球の磁場，その反転，拡散の進行を記録している．この地殻は沈み込みによって消費され，青色片岩と新しい大陸地殻を火山弧の下に作り出す．衝突は山々を隆起させる．

米国地質調査所は，構造的プレート（Tectonic Plate）を巨大で不規則な形をした固い岩石の板と定義している(5)．これは，地殻を形成する大陸と海洋を 12–13 の大きな地殻要素に焦点を当てている(6)．境界は「海底」拡大帯，火山性島弧，横ずれ帯によって定義される．大陸プレートと海洋プレートは異なり，シリカの含有量と地殻の厚さによって区別される，*コンマは削除しているがこれで正しいか？*（7, 8, 115–117 以下も参照）．

Sylvester（1988）(9, 10, 11)では，横ずれ断層がプレート境界を定義している．これらの断層は数多く存在し，その多くは主要なものである (12, 13, 14, 15, 16, 17)．多くのプレートがある．

右ずれ断層と左ずれ断層が，北西と北東に共役する世界的な構造を支配している（James, 2018）．プレートは不規則な形をしていない (78, 79)．

正断層が数十 km，スラストが数百 km 変位するのに対し，横ずれ断層は数百 km 変位することもある(12–15)．横ずれ断層は地球上で最も重要な構造である．これらは他のすべての構造を生み出す(16)．応力/ひずみ

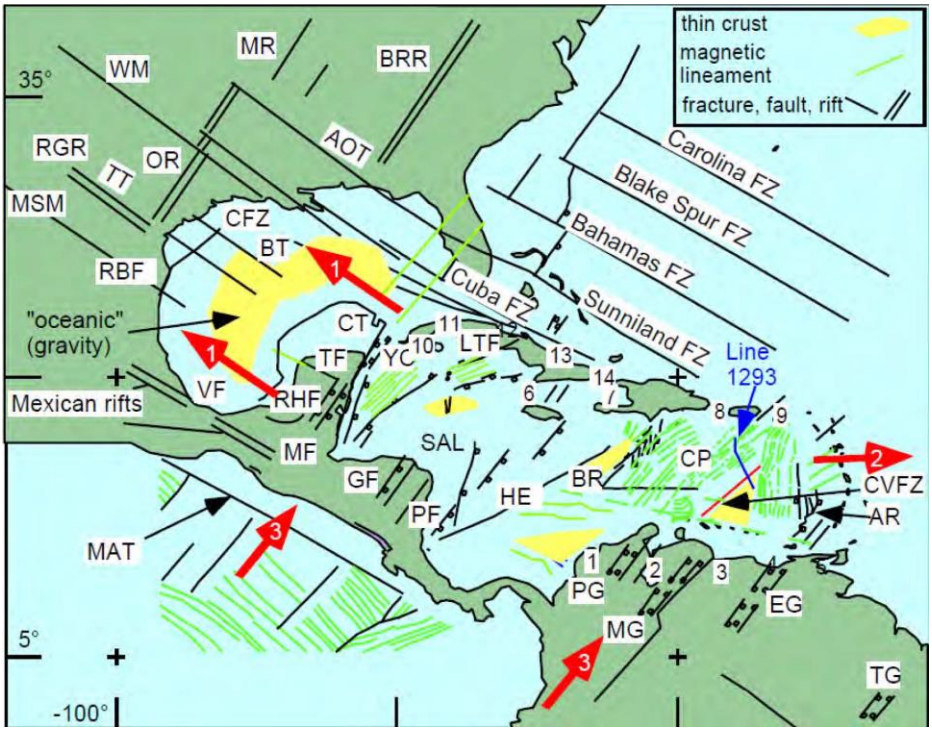


図 1 中米の構造配列－メキシコ湾、ユカタン盆地、カリブ海盆地.

の移動は盆地と隆起を生み出す(17). 伸張／転移は，二次的な北向きの伸張と東向きの圧縮を生み出す(18). これらによって定義される多角形のブロックは，このグローバルな配置の中で繰り返し並び変えられている（下記の六角形を参照）.

中米はそのような断層が働いていることを示している（図1）. この地域は，再活性化した原生代／古生代の断層からなる N35°E，N60°W の地域的な構造配列を示す. この地域は，メキシコ湾，ユカタン海盆，カリブ海海盆の大陸内拡張を制御していた. NE 傾向は北アメリカと南アメリカの造山の線構造に対応している. NW トレンドは中央大西洋西部の割れ目として発生し，NE トレンドを相殺するように北アメリカ大陸へと続いている. 北アメリカ大陸南部を数百 km のオフセットで横断しているものもある. それらはメキシコ湾とカリブ海盆を囲んでいる（カリブ海盆は現在，北と南の境界に沿って始新世から最近の横ずれによって囲まれている).

キー： 矢印：1）メキシコ湾，ユカタン海盆，カリブ海海盆の後方への拡張を伴う，南米大陸西部の北西への移動，2）小アンティル諸島の東方への拡張と大西洋上の放射状分散を伴う，カリブ海の東方への移動，3）カリブ海西部の北東-南西への短縮を引き起こす，中央アメリカにおける太平洋とカリブ海の間の北東収束（James, 2007，図 11.12）.

原生代の NE-SW および NW-SE の構造配列が保存されている.

メキシコ湾のモデル主導の解釈では，ユカタン・ブロック（マヤ）の反時計回りの回転によってメキシコ湾が開かれているとされ，最近では，漠然とした重力と磁気の広がり（Sandwell et al, 2014）の過剰解釈（Pindell et al, 2016, 図 4 など）によって「支持」されている.

マヤの断層（Rio Hondo, RHF, Ticul, TF. 図 1）は地域の構造配置に合致し，回転を否定している. Chortis ブロック（Guayape, GF; Patuca, PF 断層）のモデル回転も否定されている.

イベリアプレートの回転（Van der Voo, 1969）も同様に，ヨーロッパの地質によって否定されている. しかし，この説は依然として人気があり，ピレネー山脈の地質を説明するために使われている. ピレネー山脈の地質は横ずれテクトニクスである.

プレートは回転せず，北東と北西の断層に沿って動く.

垂直軸の周りの回転（本棚）は，横ずれ帯の中で起こる．これが認識されないと，関連する磁気データが地域的なブロック回転を支持するために誤って使用される．

大陸移動と再構築 (19–33)

共役海岸線の復元とともに，古生物学が巨大大陸ゴンドワナ大陸の復元に使われた (21). 今日の PT では，古生物学は後回しにされている．

PT は，地質年代学的データ／岩石学を用いてインドと南極大陸を関連付けている．化石データはインドと近隣のユーラシア大陸を関連付ける．

サル，齧歯類，淡水カタツムリ，ナマズ，シクリッド魚，被子植物，飛べない鳥，マナティーは，長い間（120 マイル）隔てられていたはずの地域間の始新世の交流を証明している (24–27)．PT は奇妙な説明を考案した (29–32).

PT によれば, マントル対流 (34)によって引き起こされる海底の拡大 (33)が大陸を引き離した．沈み込むスラブの引っ張りが主要な推進力である．拡大がなければ引っ張りもなく，逆もまた真である．

マントル対流セルが MOR（中央大洋海嶺）で上昇し，沈み込み帯の下に潜り込み，大陸を運ぶという 2 次元モデルはまだ生きているが，3 次元で分割できるだろうか？割れ目に沿って最大数百 km までオフセットした MOR は，それらを除外している (36, 37).

代替案としては，中央大洋海嶺の拡大がプレートを引き離すというものである（下記参照）. 地震データは，内側に傾斜した正断層に囲まれた海嶺リフトと，海洋に向かって伸長する大陸の増加を示している（下記参照）．伸長は押さない (39, 40).

75,000 km の「海洋」拡大海嶺，30,500 km の海溝，9,000 km の衝突帯がある (41, 42)．地球は膨張している．

山脈は衝突によって形成される (PT, 43)．データはこれを支持していない (44–51)．山地は横ずれのトランスプレッション（断層面に垂直な短縮成分が同時に発生する横ずれ変形）によって形成され，先行する盆地を反転させる．

中央大洋海嶺は海底割れ目によってオフセットされている (52, 53). オフセットされた海嶺の間には「変形」断層がある（Wilson, 1965, 54）．地球が膨張している場合，この概念は成り立たない．

パンゲア大陸の復元と大陸移動には，非現実的な方向転換がつきものである（例えば 55, 58）.

最も強い形として知られる六角形は，自然界によく見られる. そのエネルギー効率に優れた幾何学形状は，120 度で接する辺を含んでいる (59–77). 玄武岩の柱状節理のように，地球の原始地殻はこのパターンで形成された (78, 79). これは今日のプレート運動を制御している．

広がる海嶺は三重交点で出会う．これらは地球が膨張している場合にのみ存在しうる (80–82).

地球の磁場，海底の磁気縞模様，世界の磁気地図 (99–123) パンゲアンの再構築

地球の構造物はフラクタル（異なるスケールにわたって自己相似である無限に複雑なパターン）である (91–98)．それらはあらゆるスケールに存在する．

地球には磁場があり(99), 現在は南極が北にあり，その逆もある．理論的には，磁場は周期的に反転し，海洋地殻に磁気縞模様を発生させる (101, 102).

PT の主要な柱は，海底の磁気縞模様が，時には磁場の反転（Vine and Mathews, 1965）に起因するものであり，また，高強度と低強度（紅海，オープンユニバーシティ，有名な Eltanin 断面（Cox, 1973)）に起因するものもある．また，大陸裂け目でも発生する．Vine and Mathews は，海洋地殻の磁気の強弱は，地球磁場の反転なしに，弱磁化物質に隣接する強磁化物質の存在によって説明できると指摘したが，この発言はその後の文献で繰り返されることはなかった (103–106).

磁気縞模様はアイスランドで, 過去 4 Ma にわたって校正されている (103–106)．Heirtzler et al. (1968) は，南大西洋西部の 34 本の縞模様－84 Ma（27 倍！）のデータについては言及されていない（南米西部の太平洋の 51 本の縞模様（150 Ma?）．もし Vine and Mathews の 1963 年の理論が間違っていれば，彼らの結論も間違っていることになる．

Beloussov（1970）は，Vine and Mathews と Heirtzler の考えが PT 普及理論の主要な柱であると指摘した．

さらに沖合に進むと（144–123), 地震探査によって，軽く引き伸ばされた大陸地殻が，30 km から 10 km 未満まで薄くなり, その後, 高度に引き伸ばされた地殻,

大陸と海洋の境界と推定される地殻，そして「海洋性」地殻へと続いていることが明らかになる（100%引き伸ばされた地殻の詳細な議論については，Karner (2008)を参照）．地殻は引き伸ばされている．そのため，海嶺の押し出しは拡大の要因としては除外される．

拡張した地殻は，幅 60–200 km，深さ 25 km までの非対称盆地を形成しており，そこでは，堆積構造（接頭，オンラップ）を持つ反射が，境界断層に向かって傾斜している（海側傾斜反射，SDR）．ここでは，マグマが上昇してシルを貫入し，玄武岩を押し出す．伸張の結果，掘り出されたかんらん岩の（磁鉄鉱を伴う）蛇紋岩化をもたらし，MOR の拡大とは無関係な磁気異常を発生させる．海底の磁気縞模様を説明するものである（前出の Vine and Mathews を参照）．磁場の反転は記録されていない．これは，アイスランド（4 Ma）から 84 Ma までの磁気縞模様の Heirtzler et al. (1968)の外挿を除外する．

浅いマントルかんらん岩のカンラン石（最も豊富な鉱物）の蛇紋岩化は，最大 45 %の体積増加と熱の放出をもたらす．これが地球の膨張の一因なのだろうか？

MOR から離れた海洋地殻の年齢上昇を校正することを目的とした深海掘削（8, 113 も参照）は，「基盤」と想定される玄武岩に遭遇したが，一部は堆積砕屑物を含み，より深い玄武岩の一部は堆積物の中に挟まれていた．おそらく「海洋」地殻には，はるか沖合に広がる大陸地殻も含まれているのだろう．証拠はあるのだろうか？

Korhonen et al. (2007) の世界の磁気異常地図（図 2 参照；James, 2010, 2018）は，パンゲアンの再構築のために，海岸線／水深計の等高線に代わる重要な選択肢を示している (124–126)．南アメリカ大陸とアフリカに隣接する南大西洋の下には，磁場の反転が 4,000 万年間停止していた白亜紀の静穏期を記録していると思われる磁気縞のない広い領域がある．同じような磁気のサインは，それらが隣接する大陸の鋳造された部分であることを示している．これらはよく復元されている．北米東部沖にも同様の特徴が見られ，古生代／古いアパラチア山脈のオフセットまで続く海底割れ目は，古代の大陸起源を示している（上記の北米南部のデータも参照）．

大陸地殻の多数のサンプルが「海洋」地域 (128–129) から回収されている（Storetvedt, 2003; Vasiliev and Yano, 2007; Yano et al., 2009）．それらは無視されるか，氷河の*迷い石*や錘として「説明」されている．

世界の磁気異常マップには，沈下した大陸地殻の非常に大きな領域が記録されている．これらは古地理学的な復元では表現されていない．「パンゲア」は地球規模だった．

大西洋中央海嶺のピーター島とポール島では，20 億年前の岩石が産出する．原生代から古生代のジルコンは，大西洋中央海嶺の斑れい岩から産出する．大陸同位体はインド洋の玄武岩に広く存在する．Schneider and Johnson (1970) は，大西洋中央海嶺の西側で発見された深海の岩塩ディアピルスについて述べている．

モーリシャス島の溶岩中の原生代ジルコンは，島と隣接するマスカレン海台の地下に古代の基盤があることを示す．Torsvik et al. (2013) は，2013 年に小大陸を「マウリシア」と命名した (131)．磁気異常図は，東に大きな水没大陸領域があることを示している．マウリシアは非常に大きい．

原生代ーデボン紀のジルコンが，南アメリカの西 1,000 km にある 2,000 万年前のホットスポットとされるガラパゴス諸島の溶岩の中にから産出した（Rojas-Agramonte et al., 2016）．大西洋中央海嶺のアイスランドで，1,300 万年から 1,500 万年前の中生代のジルコンが産出した．

2013 年，*NW*-SE のリオ・グランデ海嶺（南米の磁気延長の外縁）で花崗岩が発見された．アフリカの東にある「共役」ウォルビス海嶺の玄武岩は，大陸の特徴を示している．どちらも同じトリスタン・ダ・クーニャのホットスポット上の移動跡と見られる．それらは海底割れ目（フローライン）に対して斜めになっている．両方の海嶺は，近隣の大陸のそれらの大きな拡張と関連しており，海側傾斜反射が存在する．

2017 年，ジーランディア (130) が新たに認められた大陸としてノミネートされた（Mortimer et al., 2017; Luyendik, 1995 も参照）．オーストラリアとニュージーランドの間にあるオーストラリアと同じくらいの大きさの，この断片的で大部分が水没した地域は，南太平洋における動植物の分布を説明している．しかし，それ以上のものがある．磁気データは，北と東に非常に大きな広がりがあることを示している．長さ 3,500 km，

幅 300 km，厚さ 30 km のニュージーランドの東部トーレステレーンにあるペルム紀から白亜紀後期の砂岩はここから来ている．

古代のジルコンは南西インド海嶺に存在する(Cheng et al., 2016). 磁気データは，マダガスカルが大陸であり，東アフリカから移動したのではなく，その一部であることを示している (131–133)．レムリア大陸やアトランティス大陸を見捨てるべきでない (135, 136).

Foulger et al. (2022) は，アイスランディアと他の 10 の大陸候補を指名した (134).

パンゲアンの復元と地球の大きさ

パンゲアとその分裂と分散に関するモデルの増加は，複雑さを増しており，ますます小さなテレーンとその移動が認識されている．その多くは，方向やプレートの回転のありそうもない大きな変化を含んでいる (56–58).

その目的の一つは，古気候をモデル化し，炭化水素源岩の存在をモデル化することであるが，そのためには海流の知識が必要である．大西洋，インド洋，太平洋の深海掘削プロジェクト地点にある中期ジュラ紀／中新世の浅海堆積物や，現在深さ 1–7 km にある海底風化岩は，これらの影響を受けているはずだが，復元図には示されていない．沈下した大きな大陸塊も考慮に入れる必要がある．

モデルは，日本とニュージーランドの東と南アメリカの西に海洋地殻を示している．しかし，日本は古生代から古第三紀にかけて東から堆積物を受け取った．地質学的，地球物理学的および採泥データは，北西太平洋の海底深海平原の下に原生代およびそれより若い大陸地殻があることを証明している．ジュラ紀の終わりには深海の下に沈んだが，磁気地図ではまだ見ることができる．ボリビアとアルゼンチンにある 100 万 km^3 のデボン紀の泥質堆積物は西からやってきた．

再構成では，一定の大きさの地球 (137–140)を使用している．中央大洋海嶺の海洋地殻形成の全長は，沈み込み消費量よりも大きく，（早期の）三重結合は拡大を示している，南極大陸を取り囲む中央大洋海嶺の三重結合は海嶺の延長を示す．赤道に向かって北上する大陸の分離と相まって，南側では N–S，北側では西に凸のカーブを繰り返すパターンで，90 度(138)の間隔で 4 つの広がる海嶺を生み出している．我々はこの幾何学的構造を説明しなければならない．

南極大陸とオーストラリア，アフリカの間の裂罅は，後者の北東への移動を示している．南アメリカ大陸の西側にある割れ目は，南太平洋の地殻が北西に移動していることを示している．中部大西洋から北大西洋にかけての裂罅は，北アメリカ大陸がアフリカから北西に分離したことを示している．中部太平洋海嶺の西にある NEE の裂罅は，西太平洋が北米から SSW に分離していることを示している．

地球膨張

浅いマントルかんらん岩のカンラン石（最も豊富な鉱物）の蛇紋岩化により，体積が最大 45％増加し，熱が放出される．これが地球膨張の一因か.

クラスターII 衛星は，**太陽風に含まれる電子，陽子，原子の到着を記録する**．地球の磁場は，これらの原子を地球に集中させる．宇宙測地学のデータによると，固体の地球はここ数十年で年間約 0.24 mm 膨張している（Shen et al., 2015）．化石サンゴと腕足類の成長増分は，1 年あたりの日数がカンブリア紀中期の 424 日から現在の 365 日に減少したことを示している (141–142)．ピルエットするバレリーナが腕を伸ばすように，地球は成長し，そして減速する．放射状の成長は，大陸の分離，伸長，沈降をもたらす.

大陸地殻の起源 (143–158)

大洋内火山弧は，大陸の岩石と同じ組成を持つ高シリカ安山岩（南米アンデス山脈から命名された）を特徴とする．これは沈み込むスラブの低シリカ玄武岩に由来するものではないので，「安山岩問題」がある．

PT の場合，岩石は「沈み込み工場」で堆積物，スラブ，マントル，マントルウェッジ（またはこれらの組み合わせ）の複雑な部分溶融によって形成された「新しい」大陸地殻を反映している．これが大陸地殻が形成される場所である．

最近発見された伊豆小笠原，ルソン島，バヌアツ，ソロモン諸島，東ジャワ，小アンティル諸島の火山から産出された原生代および古生代のジルコンと，島弧の下にある大陸の地震波速度は，それらが元の大陸に

支えられていることを示している．安山岩の問題はなく，沈み込み工場は必要ない．

島弧は非常に湾曲しており，東に凸，分断されており，放射状に分散した大陸地殻のブロックを反映している．データは海洋地殻の活発な降下（沈み込み）を支持していない．島弧は海洋を覆っている．

PT 説は山の起源を説明するものとされている（160–167, 180–183）．

アフリカは 2–3,000 km 北上し，アルプスを押し上げたと考えられている（Dewey et al., 1989）．アフリカとヨーロッパの境界は東西に走っている．大西洋のその続きには山はない．アルプス山脈とカルパティア山脈にはヨーロッパの腕足類が生息している．アフリカのものは何もない．

インドはヒマラヤ山脈を押し上げるためにインド洋を北に 7,500 km 移動したと考えられているが，化石はインドとユーラシア大陸を関連付けている．遠く離れた大陸が正面衝突したとは考えられない．おそらく横ずれが一役買っているのだろう．

主要な山脈（アンデス山脈，アラスカ，北アメリカ西部，シベリア東部）は，衝突が起こらない場所にある．

山脈には根があると考えられている．Molnar (1992) は，リソスフェアの根が地形的な高さを反映しているというイメージは，事実というよりも信念に近いと述べている．Meissner（1986）は，根を持つのは若い（新生代の）山々だけだと指摘した．カレドニニア山脈，アパラチア山脈，バリスキド山脈は平坦なモホ不連続面を持っている．モホ面は上方に移動し，圧力と温度と平衡する．

大西洋とは異なり，太平洋は著しく非対称であり，東太平洋海嶺（EPR）は南米に近づき，北米に収束する．磁気データは，隆起の西側には沈降した大陸が広がっているが，東側には広がっていないことを示している．ここでは，横ずれがプレート相互作用を支配している．

伸長／薄化した大陸地殻は，おそらく容易に大陸縁辺に突き刺さる．これは，横ずれ断層に伴う転圧の結果である．

EPR が海溝に衝突して以来，サンアンドレアス断層に沿って太平洋と北米の横ずれ運動が起こっている．アラスカからメキシコにかけての北米コルディレラ帯は，沈み込んだ太平洋地殻から切り離され，先カンブリア時代から中生代の陸棚層を越えて，はるか彼方まで（数百 km）移動した遠位／海洋スラスト板を運んでいる．

同様に，アンデス山脈にある大量の礫岩／砂岩は太平洋からもたらされた．ここでの地殻の厚さは最大 70 km で，重合を物語っている．ペルーの古生代と中生代のトラフは，西側の境界が急で東側が緩やかな斜面になっており，浅海から深海の堆積物からなる厚さ 10–12 km のプリズムを含んでいる（盆地に向かって速度が低下すると上方に凹んだ海側傾斜反射が発生する）．

これらの「消えた大陸」は，かつて北米，東南アジア，オーストラリア，南米を結んでいた．植物や動物の化石の分布を説明し，生物分散の問題を解決する．

青色片岩（168–179）－（高圧／低温変成作用）は，化石沈み込み帯の典型的な指標と考えられており，数百万年かけて 40–80 km まで物質が降下し，変成作用が起こり，その後説明のつかない復活を遂げる．しかし，放射線測定データは，変成作用が先駆的岩石よりわずかに若いことを示唆している．中米や小アンティル諸島の沈み込み弧には青色片岩はない．カリブ海の北縁と南縁に沿って，変成作用が強まり，高圧・低温岩石が走向すべり断層の近くに存在する．一部は堆積岩と層間している．

段落　南米北部（173–179）に沿って，非常にダイナミックで有益な現在の横ずれ実験室がある．始新世以来の左右オフセットによって，東向きに若くなる前陸盆地が形成され，その後，反転して隆起が起こった（James, 2009a）．

東部，マトゥリン－コロンブス盆地上空にある，海抜で世界最大となる 200 mgal の負の重力異常は，まだ山が到達していない根源（北部海岸山脈と内陸山脈）を示唆している．主要な炭化水素の埋蔵量はここにある．業界のデータ（堆積物の厚さ，過圧，低熱流）は，深部における青色片岩の状態を示している．

段落　世界で最も高い海側の山であるコロンビアの標高 5,800 m のシエラネバダ・デ・サンタ・マルタの 210 mgal の正偏差は，カリブ海を覆う根のない山を示している．

メリダアンデス山脈は，同じく横ずれに関連して，マラカイボ盆地南部にある 150 mgal の負の重力異常の中腹に位置している．すでにグアルメン盆地を覆っており，さらに北に進むと海岸山脈の青色片岩が露出する．ここには厚い黒鉛質岩があり，かつての炭化水素システムが記録されている．

要約 (184–191)

公表されている PT は独りよがりで，ありそうもないモデルばかりである．データを尊重し，それに適応し，複数の作業仮説を含み，学生が考え，選択できるようにすべきである．

そうでなければ，石に書かれた文字はやがて 「安らかに眠れ」となる．

参考文献

付属のパワーポイント・ファイルに含まれるものを含む.

Beloussov, V. V. (1970) Against the hypothesis of ocean-floor spreading: Tectonophysics, v. 9, p. 489–511.

Cheng, H., H. Zhou, Q. Yang, L. Zhang, F. Ji and H. Dick (2016) Jurassic zircons from the Southwest Indian Ridge: Scientific Reports, open. 9p.

Cloos, H. (1948) The ancient European basement blocks-preliminary note: Am. Geoph. Union Trans., v. 29, p. 99–103.

Clouard, V. and A. Bonneville (2005) Ages of seamounts, island, and plateaus on the Pacific plate: In: Foulger, G. R., J. H. Natland, D. C. Presnall and D. L. Anderson (Eds.), Plates, plumes, and paradigms, GSA Special Paper, 388, p. 71–90.

Cox, A. (1973) Plate Tectonics and Geomagnetic Reversals: Freeman, San Francisco, 702 p.

Dewey, J. F., M. L. Helman, E. Turco, D. H. W. Hutton and S. D. Knott (1989) Kinematics of the western Mediterranean: In: Coward, M. P., D. Dietrich and R. G. Park (eds.) Alpine Tectonics, Geological Society, London, Special Publication, 45, 265–283.

Escalona, A. and P. Mann (2006) An overview of the petroleum system of Maracaibo Basin: AAPG Bull., v. 90, p. 657–678.

Foulger, G. R., L. Gernigon, and I Geoffroy (2022) Icelandia: In: Foulger et al., 2022, In the footsteps of Warren B. Hamilton: New Ideas in Earth Science, GSA Sp. Paper, 553, p. 29–40.

Heirtzler, J. R., G. O. Dickson, E. M. Herron, W. C. Pitman III and X. Le Pichon (1968) Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals, and motions of the ocean floor and continents: J. Geophysical Research, v. 73, issue 6, p. 2119-2136.

Heirtzler, J. R., G. O. Dickson, E. M. Herron, W. C. Pitman III and X. Le Pichon (1968) Marine Magnetic Anomalies, Geomagnetic Field Reversals, and Motions of the Ocean Floor and Continents: J. Geophysical Research, v. 73, no. 6, p. 2119–2136.

Hess, H. H. (1960) Nature of the great oceanic ridges: Preprints of the 1st International Oceanographic Congress (New York, August 31-September 12, 1959). Washington: American Association for the Advancement of Science. (A). p. 33–34.

Hess, H. H. (1962) History of Oceanic Basins, Petrologic studies, A Volume In Honour of A.F. Buddignton In: A. E. J. Engel, Harold L. James, and B. F. Leonard: GSA, p. 599–620.

Holmes, A. (1944) 45, Principles of Physical Geology: Thomas Nelson and Sons Ltd., 532p.

James, K. H. (2007) Structural Geology: from local elements to regional synthesis: In: Bundschuh, J. and G. E. Alvarado (eds.) Central America: Geology, Resources and Hazards, Ed. Balkema, Chapter 11, p. 277–321.

James, K. H. (2008) The Venezuelan Hydrocarbon Habitat, Part 1: Tectonics, Structure, Palaeogeography and Source Rocks. J. Petroleum Geology, c.23 (1), p. 5–53.

James, K. H. (2010) Observations on new magnetic map from the Commission for the Geological Map of the World. New Concetpts in Global Tectonic, no. 57.

James, K. H. (2018) “Intra-oceanic¨ volcanic arcs; Lesser Antilles and Central America arcs. AAPG Hedberg Conference, 2–5 July, Sigüenza, Spain, abstracts, p. 52–53.

James, K. H. (2018) Plate Tectonics at 50: Not Written In Stone, AAPG Explorer, February, p. 18 – 24.

James, K. H. (2018) Middle America – intracontinental extension along ancient structures. AAPG Hedberg Conference, 2-5 July, Sigüenza, Spain, abstracts, p. 49.

Karner, G. D. (2008) Depth-dependent extension and mantle exhumation: an extreme passive margin end-member or a new paradigm? Central Atlantic Conjugate Margin Conference, Halifax, Canada, Extended abstract, 10–16.

Karner, G. D. and A. B. Watts (1983) Gravity Anomalies and Flexure of the Lithosphere at Mountain Ranges: J. Geophys. Res., v. 88, no. B12, p. 10,447–10.477.

King, L. C. (1983) Wandering Continents and Spreading Sea Floors on an Expanding Earth. J. Wiley & Sons, 232p.

Kopp H., W. Weinzierl, A. Becel, P. Charvis, M. Evain, E. R. Flueh, A. Gailler, A. Galve, A. Hirn, A. Kandilarov, D. Klaeschen, M. Laigle, C. Papenberg, L. Planert and E. Roux (2011) Deep structure of the central Lesser Antilles Island Arc: Relevance for the formation of continental crust: Earth Planet. Sci. Lett., v. 304 (1–2), p. 121–134.

Korhonen, J. V., J. D. Fairhead, M. Hamoudi, K. Hemant, V. Lesus, M. Mandea, S. Maus, M. Purucker, D. Ravat, T. Sazonova and E. Thebault (2007) Magnetic Anomaly Map of the World, 1:50,000,000: Commission for the Geological Map of the World, Paris.

Luyendyk, B. P., 1995, Hypothesis for Cretaceous rifting of east Gondwana caused by subducted slab capture: Geology, v. 23, no. 4, p. 373–376.

McCall, R. A. (1997) Implications of recent geological investigations of the Mozambique Channel for the mammalian colonization of Madagascar Proc. R. Soc. Lond. B, v. 264, p. 663-665.

Meissner, R. (1986) Continental Geophysics: The Continental Crust. A Geophysical Approach: International Geophysics Series, v. 34. p. 206.

Molnar, P. (1992) Crust in mantle overdrive: Nature, v. 358, p. 105–106.

Meyerhoff, A. A. and H. A. Meyerhoff (1972) "The new global tectonics": age of linear magnetic anomalies of ocean basins. AAPG Bull., v. 56, p. 337–359.

Moody, J. D. (1973) Petroleum Exploration Aspects of Wrench-Fault Tectonics: AAPG Bull., v. 57, no. 3, p.449–476.

Mortimer, N., H. J. Campbell, A. J. Tulloch, P. R. King, V. Stagpooel R. A. Wood, M. S. Rattenbury, R. Sutherland, C. J. Adams, J. Collot and M. Seton (2017) Zealandia: Earth´s HIdden Continent. GSA Today, v. 27, issue 3, p. 27–35.

Nur, A. and Z. Ben-Avraham (1977) Lost Pacifica continent: Nature, v. 270, p. 41–43.

Oreskes, N. (2003) Plate Tectonics: An Insider's History of the Modern Theory of the Earth. Westview Press, Boulder, Colorado, 448p.

Pindell, J., M. C. Ernesto, A. Ceron and L. Hernandez (2016) Aeromagnetic Map Constrains Jurassic-Early Cretaceous Synrift, Break Up, and Rotational Seafloor Spreading History in the Gulf of Mexico: In: Lowry, C. D., et al, (Eds:) Mesozoic of the Gulf Rim and Beyond: New Progress in Science and Exploration of the Gulf of Mexico Basin, SEPM 35 th Ann. Res. Conf., p. 1–24.

Pratt, D. (2000) Plate Tectonics: A Paradigm Under Threat10. J. Scientific Exploration, v. 14, no. 3, p. 307–352.10.

Rabinowitz, P. and S. Woods (2006) The Africa-Madagascar connection and mammalian migrations. J. of African Earth Sciences, v. 44, issue 3, p. 270–276.

Rojas-Agramonte, Th. Toulkeridis, A. Kröner, T. Kemp, A. Garcia-Casco, N. Suhr, H. Xie and D. Liu (2016) Palaeozoic to Archaean zircons in rocks derived from the Galapagos mantle hotspot: where do they come from? American Geosciences Institute, 35th Int. Geol. Congress, Abstracts, Paper Number: 5295.

Sandwell, D. T., R. D. Muller, E. H. F. Smith, E. Garcia and R. Francis (2014) New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure. Science, v. 345, issue 6205, p. 65–67.

Sapin, F., J.-C- Ringenbach and C. Clerc (2021) Rifted margins classification and forcing parameters. Nature, Scientific Reports, p. 1–17.

Schneider, E. D. and G. L. Johnson (1970) Deep-Ocean Diapir Occurrences. AAPG Bull., v. 54, no. 11, p. 2151-2169.

Shen, W., S. Ziyu, S. Rong and B. Yuri (2015) Evidences of the expanding Earth from space-geodetic data over solid land and sea level rise in recent two decades. Geodesy and Geodynamics, v. 6, Issue 4, p. 248–252.

Smoot, N. C. (2012) Tectonic Globalony, Closing. AuthorHouse, Bloomington IN 47403, 157p.

Stephenson, R. (2017) Intraplate orogenesis: Eurekan Orogen. Geological Society of London, William Smith Meeting 2017, Plate Tectonics at 50, Abstracts, p. 80.

Storetvedt, K. (2003) Global Wrench Tectonics. Fagbokforlaget, Poland, 397p.

Sylvester, A. G. (1988) Strike-slip faults. GSA Bull., v. 100, p. 1666–1703.

Thomas, W. A. (2014) A Mechanism for tectonic Inheritance at Transform Faults of the Iapetan Margin of Laurentia. Geoscience Canada, v. 41, p. 321–344.

Torsvik, T. H., H. Amunden, E. H. Hartz, F. Corfu, N. Kuznir, C. Gaina, P. V. Doubrovine, B. Steinberger, L. D. Ashwal and B. Jamtveit (2013) A Precambrian microcontinent in the Indian Ocean. Nature geoscience, v. 6, p. 223–227.

Vasiliev, B.I. and T. Yano (2007) Ancient and continental rocks discovered in the ocean floors. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 43, p. 3–7.

Van der Voo, R. (1969) Paleomagnetic evidence for the rotation of the Iberian Peninsula. Tectonophysics, v. 7, issue 1, p. 5–56.

Vine, F. J. and D. H. Matthews (1963) Magnetic anomalies over ocean ridges. Nature, v. 199, p. 947–949.

Wegener, A. (1924) The Nature of the Drift Theory and Its Relationship to Hitherto Prevalent Accounts of Changes in the Earth's Surface Configuration in Geological Times. In: The Origin of Continents and Oceans, 3rd edition Methuen, London, 212p.

Westbrook, G. K., J. W. Ladd, P. Buhl, N. Bangs and G. J. Tiley (1988) Cross section of an accretionary wedge: Barbados Ridge complex. Geology, v. 16, no. 87, p. 631–635.

Wilson, J. T. (1965) A New Class of Faults and their Bearing on Continental Drift. Nature, v. 207, p. 343–347.

Wood, L. J., 2000, Chronostratigraphy and Tectonostratigraphy of the Columbus Basin, Eastern Offshore Trinidad: AAPG Bull., v. 84, no. 12, p. 1905–1928.

Yano, T., D. R. Choi, A. A. Gavrilov, S. Miyagi and B. I. Vasiliev (2009) Ancient and continental rocks in the Atlantic Ocean. New Concepts in Global Tectonics Newsletter, no. 53, p. 4–37.

Zhirov, N. (1970) Atlantis: Atlantology. Basic Problems, UIV Press of the Pacific, reprinted from 1970 edition.

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 TCTONICS．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

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