



グローバルテクトニクスの新概念

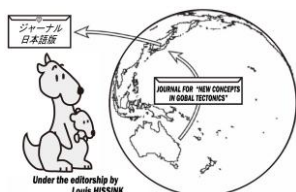
NCGT Journal, Volume 14, Number 3, March 2026

1st 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6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 64
 NCGT 2026 - イタリア, パルマ会議開催のお知らせ
 オンライン図書と会社案内 (以前の号と同じなので省略)

■原著論文 Articles

- Measuring the electric field at ground: Giovanni Pietro Gregori, Bruce Allen Leybourne
 地震電磁多変数計: (要旨 柴 正博 訳) 67
- Magnetostriction and Seismogenesis: A New Model for the Generation of Strong Earthquakes Induced
 by Variations in the Earth's Geomagnetic Field: Valentino Straser, Gabriele Cataldi, Daniele Cataldi
 磁歪と地震発生: 地球の地磁気変動によって誘発される強い地震の発生に関する新しいモデル
 (要旨 柴 正博 訳) 68
- Permo-Mesozoic basins, crustal development, biogeography and the global latitude-dependent climate system
 – a fact-based historical perspective: Karsten M. Storetved
 ペルム紀-中生代の堆積盆地, 地殻発達, 生物地理学, そして地球規模の緯度依存型気候システム
 —事実に基づいた歴史的視点 (柴 正博 訳) 69
- The Miyake-Hawthorne Consilience: A Unifying Forensic Reconstruction of Global Plasma Catastrophes (5259
 BCE & 663 BCE): Robert Hawthorne Jr,
 三宅=ホーソーン・コンシリエンシス: 地球規模のプラズマ災害 (紀元前 5259 年および紀元前 663 年)
 の統一的な法医学的再構築 (要旨 柴 正博 訳) 105

■NGCT ジャーナルについて

..... 106

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

(柴 正博 訳)



表紙画像: OH0 に搭載された LASCO C2 クロノグラフで撮影された「太陽鳥」の画像 (2026 年 2 月 2 日). キンキ (黄金の凧) の出現は, 太陽フレアの視覚的なピークを表す. 図 18 を参照 - Hawthorne, Robert Jr., 本号

NCGT ジャーナルがお届けします :

2011 年にインドで開催された会議「地球のダイナミクス — 認識と行き詰まり」以来, 15 年の歳月を経て, 技術主導型の科学は目覚ましい進歩を遂げました. この会議では, 数十年にわたるデータ蓄積にもかかわらず, 既存の地殻変動理論における未解決の問題

点を浮き彫りにしました.

宇宙, そしてひいては地球に関する新たな視点を提供するこの会議は, 科学者たちが地球の歴史と未来について発表し, 耳を傾け, 議論を交わすための重要なプラットフォームとなります. 地球のダイナミクスに関する理解の進化を共に探求しましょう.

こちらから登録してください : <https://www.ncgtjournal.com/events>



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)
パルマ市およびパルマ県の情報ウェブサイト：
<https://parmawelcome.it/>
シングルルーム、コーヒーブレイク 2 回/昼食/夕食
付き：185 ユーロ (観光税 4 ユーロ別途)。詳細は
<https://www.hotelparmacongressi.com/>をご覧ください。

夕食 (ホテル)：お一人様 35.00 ユーロ
日中のミーティング (昼食とコーヒーブレイク 2 回)：
お一人様 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

ご予約はメールフォームからどうぞ

会議参加スケジュール：

抄録受付開始：2026年3月15日
抄録採択通知：2026年5月31日
参加費支払期限 (未定)：2026年6月15日 (組織委員会宛)

会議録および抄録集発行：2026年9月1日

著者向け情報：

要旨：150 語以内
略歴：300 語以内、写真 1 枚

「地球と宇宙の天気、天と地の間の高度な地殻変動と地震予知」は、2026年9月21日から24日まで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 年ぶりに再集結し、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する。従来は、地球規模のテクトニクスの新しいモデルが、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ことで、地質学と地球物理学の従来の境界を超えて地球を理解することを探求してきた。

「地球・宇宙天気」会議の目的は、地球物理現象の統合的な解釈を提案し、地震現象の潜在的な前兆指標としての電磁信号の役割を探求し、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である。

近年の研究では、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が強調されている。この概念は、近年の科学者たちの知見に基づいて開発された「地球電気回路モデル」である。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る。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、多くの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る。

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、複雑な地球物理学的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、「地球と宇宙の天気」会議は、新たな解釈概念を提案し、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継続的な対話の産物として解釈することができる。

したがって、「地球と宇宙の天気」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る。この会議は、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求するための、科学のおよび文化的交流の機会を提供するであろう。

地震電磁多変数計

Seismic Electromagnetic Multi-Variable Meter

John R. Wright¹, Bruce A. Leybourne²

¹ Emeritus Professor of Chemistry, Southeastern Oklahoma State University USA

² StellarTransformerTechnologies.com, Aurora, CO, USA

Keywords: seismic, electro-magnetic, meter, power grid, Schumann, Alfvén, plasma, waves, harmonics

(要旨 柴 正博 訳)

要旨: 本論文では、電力網からの信号と非遮蔽地震計からの信号を処理する 2 次元フーリエ変換技術を用いて、地震、電磁場、電場情報を重ね合わせる多変数計測器について述べる (2, 3)。この計測器の電力網「アンテナ」は、強力なシューマン波およびアルヴェーン波信号の発生源であり、コロナ放電相互作用を含む可能性のある協調現象が検出された。シューマン共鳴は第 3 高調波 (約 20 Hz) 付近で検出され、アルヴェーンプラズマ波高調波の 1 Hz 間隔は完全に解像された。この計測器は、地震現象には既知の機械的效果に加えて、強力な電気的效果も含まれることを明確に示した。これは地震学における汎用的なツールとなる可能性があり、地震前の電磁信号を用いた短期的な地震予測 (おそらく 5 分程度) の実現可能性に関する議論に光を当てる可能性さえある。「シューマン共振とアルヴェーン共振の電磁波信号は、少なくとも一部の地震現象と密接に関連している。なぜなら、そこには一定のパターンが存在するからである。数分間の波形である正の電場がプロセスを開始し、電磁波信号はその波形の頂点または下降部分で発生し、多くの場合、地震の開始後も継続する。しかし、他の地震、おそらくはより深い地震では、電磁波信号は発生しない。」

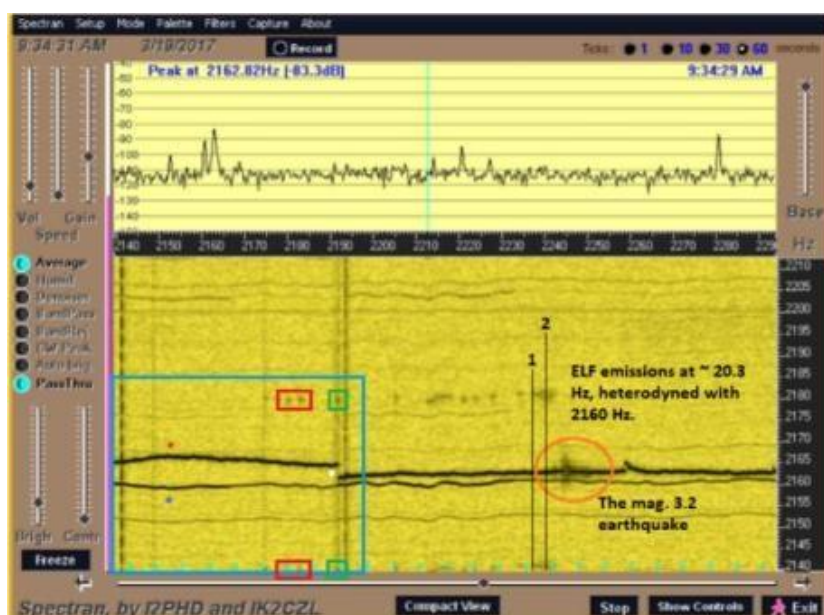


図 8 これはニューマドリッド地震帯で発生した小規模な地震である。最初のシューマン共振信号は、上部の赤い四角形のすぐ左にあるかすかな暗いストロボの中にある。青緑色の点は、電力システムの 36 次高調波と、正に帯電したウェーブレットによる平滑化効果を示している。Pc2 が上昇し、コロナ放電が増加するため、グリッドのより広い部分が接続され、滑らかになっている。地下から発生しているように聞こえる「ドーン」という音の少なくとも一部は電気的な現象である。

磁歪と地震発生：地球の地磁気変動によって誘発される強い地震の発生に関する新しいモデル

Magnetostriction and Seismogenesis: A New Model for the Generation of Strong Earthquakes Induced by Variations in the Earth's Geomagnetic Field

Valentino Straser¹, Gabriele Cataldi², Daniele Cataldi^{2,3}

¹ University of Makeni (Sierra Leone),

² Radio Emissions Project (I),

³ LTPA Observer Project (I),

Keywords: Magnetostriction, M6+ earthquakes, earthquake prediction, geomagnetic activity, Seismogenesis.

(要旨 柴 正博 訳)

要旨：近年の研究では、太陽風中の陽子増加によって引き起こされる地球の地磁気変動と、大規模な地震の発生との間に相関関係があることが示唆されている。しかし、これらの地磁気擾乱と地震発生過程を結びつけるメカニズムは依然として不明である。本研究では、地殻の強磁性体における磁歪を地震エネルギー放出の引き金として捉える新たなモデルを提案する。磁鉄鉱、チタン鉄鉱、硫化鉄鉱など、断層付近に存在する磁性鉱物は、地球の磁場変動に応じて機械的変形を起こす可能性がある。これらの磁歪による変形は、既に地殻応力を受けている岩石に応力を蓄積させ、破壊過程を加速させ、大規模な地震を引き起こす可能性がある。

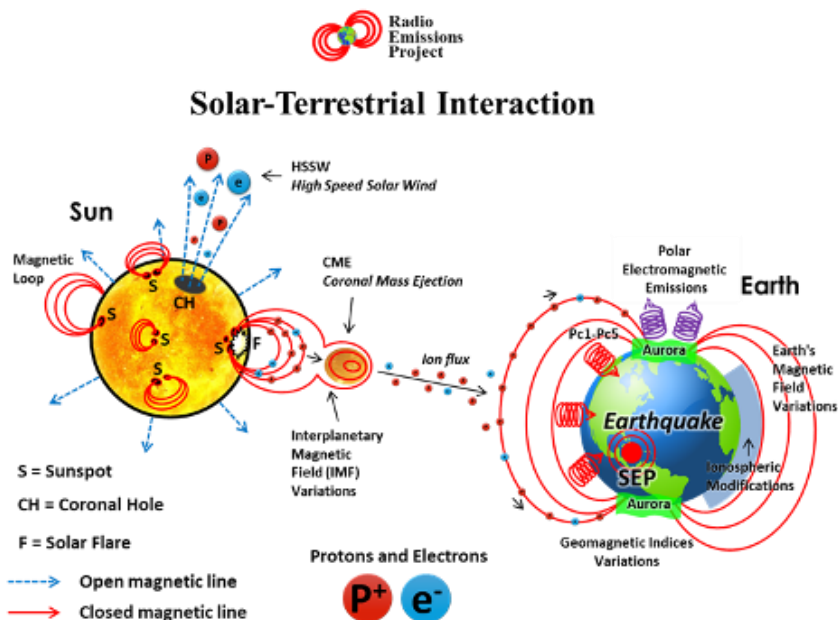


図1. 太陽イオンフラックスのダイナミクス。上の画像には、太陽起源の電磁現象が写っており、これが太陽イオンフラックスの密度を高め、地球の地磁気場の増大を引き起こしている。クレジット：電波放射プロジェクト。

ペルム紀—中生代盆地, 地殻発達, 生物地理学,
そして全球の緯度依存気候システム — 事実に基づく歴史的視点
Permo-Mesozoic basins, crustal development, biogeography and the global latitude-
dependent climate system – a fact-based historical perspective

Karsten M. Storetvedt¹

¹ Geophysical Institute, University of Bergen, Bergen, Norway

Keywords: Wegener, palaeomagnetism, plate tectonics, politics, human frailties

(柴 正博 訳)

要旨: 本今日の地球科学の研究と教育において、プレートテクトニクスは最高の地位を占めている。しかし、その人気にもかかわらず、地質学における古典的な問題はどれも納得のいく解決策に至っておらず、期待される現象論的相互関係は際限なく続くアドホックな命題の集合体と化している。技術革新により、データ収集は飛躍的に進歩したが、地球の季節的多様性や脈動的な行動様式といったデータの多様性に関する一貫した理解は未だに進んでいない。歪んだ解釈の蓄積は、間違いなく誤った理論の兆候である。大規模で重要な科学が、なぜこのような無力な状態に陥ってしまったのであろうか？その最大の答えは、間違いなく人的要因にある！あらゆる社会活動における構成員と同様に、研究者も流行や気まぐれ、その他の人間的な弱点に左右されるのである。あるいは、Paul Davies (1995):が率直に述べたように、「それぞれの時代は科学的問題に対して独自のアプローチを採用する。通常は、議題を設定し、その問題に取り組むための最良の方法を定義する特定の有力者によって切り開かれた道を進む」。では、科学が決して高い目標に到達できないように見える場合、何が起こるのだろうか？何も起こらない！なぜなら、植え付けられた習慣的な思考はしばしばあまりにも根深く、問題自体が科学そのものの不可欠な部分と見なされるからだ。このような背景を踏まえ、本稿はプレートテクトニクスの発展を学術的に歴史的に概観するものである。プレートテクトニクスは、Wegenerの長らく否定されていた大陸移動説が復活した1950年代半ばの戦後初期から、今日の極めて流動的な地球規模の地殻変動状態に至るまで、多岐にわたる。1960年代初頭という早い時期に、少数のイギリスの古地磁気学者が、流動的な地殻の歴史に目を向けることに成功した。地質学の衰退した状態を地球物理学が根本的に再検証する最初の号砲が鳴らされたのである。地質学の激動の列車に乗り込もうと、近代化された大陸移動説論者が次々と流入した。1968年にプレートテクトニクス革命が宣言された時、地球物理学および海洋地質学におけるあらゆる異論は無視された。新たな専門的流行が生まれ、異論は単なる議論の中断としか捉えられなかった。パラダイム的なクーデターは、たとえそれが揺るぎない専門的基盤の上に成り立っていたとしても、効果的であった。しかし、答えが与えられてしまったため、観察や批判的な検証が期待に沿わない場合、データと解釈の両方が場当たりに歪曲される自由が生じた。目に見えない意見の力が支配権を握り、それは今日まで続いている。世界の大陸地理の流動的な再編は、全く容認できる法則性のないまま、Wegenerが後期古生代に、当時亜熱帯であった南極大陸を、彼が構築したゴンドワナ大陸のいわゆる極地として無理やり配置したことから始まった。したがって、本論文の大部分は、彼の大陸移動説の中心となる後期古生代と中生代に当てられている。主な結論は、もしWegenerが南半球の陸塊の古気候データを北半球で行ったのと同じ単純な方法で扱っていたら、地球進化科学は今日とは根本的に異なっていた可能性が高いということである。

背景と目的

50年以上にわたり、プレートテクトニクス (PT) は地球科学においてほぼ神聖視されてきた。あらゆる専門分野において、このモデルはあまりにも深く根付いているため、疑問を呈する者はほとんどいない (あるいはあえて疑問を呈する者もない)。しかし、科学は人間主導の

活動であるため、新たなイデオロギーの人気が高まると、必ずと言っていいほど、何らかの形で「象徴的」な地位を獲得した少数の人物がその中心となる。そのため、PT革命の黎明期には、Keith Runcom (ニューカッスル大学) と John Tuzo Wilson (トロント大学) がこの分野における紛れもない第一人者であった。当然のことながら、PTに転向する人が増えたのは、主に、かつては無政府主義者の

思想であったものが、当時地球科学の未来として宣言されていたため、それに従う方が安全で流行していたからである。この新しい専門的哲学に基づき、地質学はもはや小規模な地図作成や記述に限定された劣った職業とは見なされず、グローバルな視点を獲得した。そしておそらくさらに重要なのは、志を同じくする熱心な研究コミュニティの一員となることで、自分の立場を弁護する必要がなくなったということである。

パラダイムシフトは、本質的に感情、反復の原理、友情、世論圧力、その他の人間の特性(例えば, Kuhn 1962/70; Lakatos, 1978; Feyerabend, 1988; Anderson et al., 2007; Brooks, 2012; Bjørkum, 2016; Storetvedt, 2024) に根ざしているため、非専門的な方法で起こることが多い。したがって、科学の健全な発展は、指導者たちが大衆研究を正しい方向に導いてきたかどうか大きく依存する。したがって、科学が誤った前提に基づいている場合、結果として歪んだ解釈と虚構の全体像が蓄積され、停滞を招くことになるのは避けられない。しかし、真の科学的ブレークスルーは常に無秩序、混乱、そして強い抵抗の組み合わせによってもたらされてきた (Brooks, 2012 参照)。同様に、科学的態度の大衆的受容もまた、反復原理が知性に及ぼす鈍化効果によって大きく左右される。

もし Wegener が南半球大陸の古地理的統一に関する希望的観測に固執せず、当時すでに得られていた事実(特に南極大陸の化石や古気候に関する証拠)を真剣に受け止めていたならば、地球科学は全く異なる道を辿っていたかもしれない。後述の漂移仮説の古典的な問題が未だに解決されていないのは皮肉なことであり、これは科学における人間的な側面を改めて浮き彫りにしている。現実とは著しく対照的に、プレートテクトニクスはしばしば「システム科学」と呼ばれているが、基本的な原理と重要な観察の両方において場当たりの変更が盛んに行われてきたため、「地球のあらゆる場所がそれぞれ独自の歴史を持ち、一般的な原理によって他の場所と緩やかに結びついているだけの革命以前の時代に急速に回帰しつつある」(van Andel, 1985)。同様に、Wezel (1990) は、「今日の地質学の特徴である断片化を克服するためには、アプローチの根本的な変化が必要である」と述べている。

1960年代後半、Tuzo Wilson は、影響力があり広く引用される PT 関連の論文をいくつか発表した。しかし、1992年にセントジョンズで開催されたウィルソン会議 (Tuzo Wilson, 1992) で彼が述べた、現代の地球規模の地殻変動の悲惨な状況についての率直な発言は、おそらく彼自身も一部責任を負っていると認識した後退を正すためでもあったのだろう。科学においては間違いを犯す可能性はつきものだが、それを認めるには強い意志が必要だ。しかし、Tuzo Wilson がプレートテクトニクスを否定したことを公然と認めてから 30 年以上経った今でも、「ウィル

ソンサイクル」(Tuzo Wilson, 1966) は「地質学の理論と実践にとって非常に重要であり、地球とその岩石圏の地質学的進化について我々が知っていることの多くを支えている」(R.W. Wilson et al., 2019) とみなされている。だが、この称賛のレビューは空虚な言葉に過ぎない。

今日の地球規模のテクトニクスは、断片的な場当たりの仮定と憶測に基づく解釈の寄せ集めによって特徴づけられている。説明的なネットワークの欠如は、PT (圧力とトルク) の原理が機能しないことを強調しており、したがって地球科学には予測能力がない。物理システム (地球など) 内部に合理的な構造的相互関係がなければ、その個々の構成要素 (地質現象) を理解しようと試みるべきではない。残念ながら、時間に関連した一連のダイナモテクトニクス現象によって強調される地質学の古典的な問題は、もはや時代遅れとなっている。それらに代わるものとして、無数の架空の大陸ブロック、マイクロブロック、地殻プレートが、あたかも無制限に動いているかのように登場した。これらの架空の地殻断片は衝突し、新たな大陸群を形成し、それらは時間とともに変化してきたとされている。この超流動的なシナリオでは、かつて存在した人工海洋は閉鎖され、架空の海洋地殻は仮説上の沈み込み帯へと沈み込み、推測上の地表痕跡は外何も残さずに消滅したとされている。言い換えれば、架空の海が開いたり閉じたりする「ウィルソンサイクル」は、もはや当たり前のことになってしまった。これは、習慣的な思考や物語に囚われやすい傾向が根強く残っていることを改めて認識させる。多様な事実が全く異なる方向を示している以上、この行き詰まったパターンから抜け出すことが重要である。

したがって、本論文は要点を絞り、今日の PT 関連の場当たりの戦略は一切含まれていない。しかし、これは他の科学者による多数の発表論文を基にしている。ただし、私は入手可能なデータを新鮮な目で見て、PT 関連の推測や偏見の重荷を負うことなく、単純明快な意味を与える。地球は物理化学システムであり、その発展は、冷たいガスが支配的な星雲から始まり、起源から現在の状態まで、一方向にのみ進んでいるように見える (Storetvedt, 2003/23)。例えば、漸進的な進化経路は、深海盆地と大陸盆地が時間的に同じ起源を持つものの、発達具合に大きな違いがあることを示唆している。これは、例えば、中央アジアなどのペルム紀から中生代の小規模な盆地が、世界の深海盆地の進化とダイナモテクトニクスの間にも時間的にも密接に関連していることを意味する。さらに、新たな分析では、パンゲア/ゴンドワナ大陸の配置は事実に基づかないことが示された。中生代のテチス海は、PT 以前の構想、すなわちユーラシア大陸南縁に沿った大陸縁辺の、主に固有の海域としての役割を取り戻した。さらに重要なことに、生物地理学のおよび気候学的側面

を含む、すべての顕著な地殻および地表面現象は、一貫したシステムを形成している。

ダイナモテクトニクス機構に焦点を当てる

地球の核が発見されて以来 (Oldham, 1906), 核は純鉄に比べて密度が低いことが知られており、鉄を多く含む核には重量比で約 10~15%の軽い元素が混入している。単純に解釈すれば、これは核が完全にガスを放出していないことを示唆している。したがって、地球は溶融した球体として始まり、その後冷却と化学分化が進んだという単純化された、しかし根強く信じられてきたこの考えは、深刻な危機に瀕している。地球は、冷たいガス (主に水素) と鉱物の塵の混合物として始まり (Cameron, 1962), 比較的速い回転をしていた (Alfvén and Arrhenius, 1976) 可能性の方がはるかに高い。さらに、惑星形成の初期段階では、おそらく均質であった星雲の質量は、動的力、磁気力、重力の影響を受け、徐々に組成の分離が生じたに違いない。

当初は、回転の遠心力が最も重要な選別機構であったと考えられ、そこから外側に向かって密度が増加する拡散した放射状の帯が最初に形成された。ウランやトリウムなどの放射性/重元素は原始惑星の外縁部で顕著になり、太古累代の地殻は異常に高いレベルの放射性核分裂とそれに伴う発熱によって特徴づけられていたことを示唆している。この点に関して、Richter (1985), Fowler (1990), Thompson et al. (1995) といった研究者は、長寿命同位体からの熱発生量が現在よりも 2~3 倍多く、平均熱流束も同様に大きかったと結論づけた。これは、先カンブリア時代の片麻岩に見られる比較的高い変形性と塑性とも一致する。

一方、原始地球内部には、おそらく冷たい星雲ガスが過剰に存在していたと考えられる。このガスは、銀河系内で圧倒的に最も豊富な物質である水素が主成分であった (Kaufman, 1988)。そのため、原始地球は逆の温度分布を示した。冷たい星雲ガスが支配的な出発点、つまり内部の質量安定化プロセスが遅いことが、地球の核に比較的高い割合で軽い元素が含まれている理由であると考えられる。これは、地球の核の脱ガスが今もなお進行していることを示しており、おそらくこれが地球が今もなお地殻変動が活発な惑星である主な理由であろう。

ガスが主体の原始惑星の外縁部では、強磁性微惑星の漸進的な合体により、重力の影響が遠心力を次第に上回る、より重い凝結物が形成されたに違いない。こうして、より重い鉄に富む塊が密度の低いガス塊の中を内側に沈降し、徐々に高密度の鉄に富む核を形成していった (Storetvedt, 2003/23)。したがって、より軽い元素が核の金属混合物にどの程度組み込まれるのかという疑問が生じる。実験的証拠は水素が主要な合金元素であることを示

唆している (Badding et al., 1991; Okuchi, 1997; Tagawa et al., 2021) 一方、Fisher et al. (2020) は炭素が最も重要な軽い構成要素であると考えている。そのため、Gottfried (1990) は、核にはおそらくかなりの量の水素化物金属化合物が含まれている一方、ケイ酸塩に富む下部マントルには大量のケイ化物、特に炭化ケイ素 (SiC) が含まれているに違いないと推論した。

鉄に富む核とケイ酸塩に富むマントルの形成メカニズムが何であれ、核とマントルの境界は地球で最も重要な物理化学的遷移帯である。マントルの最下部 200~300 km の D'層は、明らかに核からの「蒸散」生成物の蓄積であり、非常に複雑で強い横方向の不均一性を示すと考えられている (例: Vidal and Benz, 1993; Kendall and Shearer, 1995)。また、D'帯の超低速度が継続的に報告されている (Li et al., 2017; Pachhal et al., 2022; Wolf et al., 2024)。さらに、Wolf et al. は、化学的に多様な D' 層は海洋地域やヒマラヤ山脈に向かって上昇する傾向があり、これらのマントル柱周辺の地震異方性は上昇する流体の産物であると結論付けている。不規則な D' 層の隆起/上昇部分と海洋盆地との密接な関係は、Morelli and Dziewonski (1987) のトモグラフィ研究ですでに示されていた。地球の脱ガス過程を駆動するエネルギーに関しては、地球外関係は従来考えられていたよりも重要である可能性がある (Gregori, 2001, 2002)。

ダイアピル脱ガス柱がマントルを貫通し、固体物質を巻き込みながら途中で化学反応を引き起こすため (Hunt et al., 1992 参照)、マントルは組成、異方性、地震波速度において横方向の変化を示すことが予想される。そのため、多くの研究により、上部マントルの全体像が明確になっている。すなわち、大陸リソスフェアキールでは比較的速い速度、海洋マントルユニットではそれに対応して遅い速度であり、これは現在では広く受け入れられている大陸深部根の概念を強調している (例: Jordan, 1975; Dziewonski and Woodhouse, 1987; Ritsema et al., 2004; Yuan and Romanowicz, 2010 およびその参考文献)。しかし、厚いクラトンの根に関するプレートテクトニクスに触発された推測は根強く (例: Pearson et al., 2021; Yoshida and Yoshizawa, 2021)、数十年にわたる理論化の後でも、トンネルの先に光明は見えていないようだ。著者らは、厚いクラトンの根が対流によるマントルへの漸進的な取り込みに抵抗してきた理由を疑問視している (Yuan and Romanowicz, 2010)。しかし、そのような推測に対する答えは非常に単純である。プレートテクトニクスやマントル対流がこれまで一度も起こらなかったという確たる証拠がないため、問題は存在しない。核からのガス放出、すなわち上昇する流体柱によって、大陸マントルの根元と海洋マントルの反根元を持つ、今日の柱状岩石圏が形成されたと考えられる。

海洋地殻と大陸地殻という異なるリソスフェアブロックは、化学組成の異なる流体の上昇によって形成されたと考えられている。このような違いはD層（核とマン托ルの境界面）に沿って変化するため、上昇する個々の液体（炭化物、珪化物、炭化水素など）は、上昇の過程で熱を生じる化学反応を起こし（*Hunt et al., 1992* 参照）、マグマのポケットを形成したと考えられる。その結果、原始的な上部マン托ルと斜長岩－閃緑岩質の地殻組成（*Storetvedt, 2003/23*）は、大きく異なる物理的および化学的変化を受け、柱状構造のリソスフェアが形成された。その結果、主に中生代後期に形成された薄い深海地殻を持つ低速の海洋リソスフェア（下記参照）と、はるかに影響の少ない高速の大陸リソスフェアが形成された。言い換えれば、大陸はそれぞれ500 km以上の深さのマン托ルの根に固定されており、エネルギー的およびその他の理由から、大陸の横方向の移動は起こりにくいプロセスである。残り大陸地殻、すなわち、元々厚かった全球的な表層のうち、顕著な地殻下剥離や海洋化プロセスを受けていない部分は、先カンブリア時代に広範囲に花崗岩化した（*Storetvedt and Michaelsen, 2024* およびその参考文献参照）。

脱ガス中の地球では、一定の外向き静水圧が内向きの重力に対抗し、その結果、地殻とマン托ルの亀裂は開いたままになる。深部の大陸掘削孔（ドイツのコラとKTB）で観測された、深さとともに指数関数的に増加する亀裂と、予想外の量の循環する含水流体（*Smithson et al., 2000*）は、地球が継続的に脱ガスしていることを支持する重要な証拠である。さらに、地球内部の質量の再配置は、惑星の慣性モーメントの変化、すなわち自転速度と空間適応/真の極移動の変化を引き起こした（*Storetvedt, 2003/23* およびその参考文献）。地球の自転におけるこれらの断続的な変化は、内部から表面への流体の水圧ポンプ機構として機能する。力学的な理由から、回転する惑星体の空間的な調整は（ある程度の安定化をもたらす赤道の膨らみを持っているにもかかわらず）、断続的なダイナモテクトニクス現象によって行われる。繰り返すが、断続的な慣性駆動による地殻の横ずれテクトニクスを伴う脈動する地球の背後にあるメカニズムは、惑星の自転の変化を表している。上昇するマグマ/ガスは、テクトニック渦（*Meyerhoff et al., 1996*）、すなわち、ねじれテクトニクスと関連している。この物理的原理は、これまで説明されていなかったエピソード的な地質学的時間スケールの自然な説明にもなる。比較的短い地質学的時間境界は、脱ガスに関連するマグマ、テクトニック、環境イベント、および生物学的大災害（後者は環境変化と有毒ガスの放出の組み合わせによって引き起こされる）の組み合わせを構成するダイナモテクトニック隆起に対応している。マン托ルおよび地殻プロセスの研究では、超臨界流体の役割

がますます注目を集めている（*Liebscher, 2010; Galli and Pan, 2013; Pan et al., 2013; Thomas et al., 2023; Wang et al., 2021; Zeng, 2010*）。脱ガスモデルによれば、含水流体やその他の流体は反応性超臨界状態にあり、これは予想通り上部地殻でも一般的である。

海洋域が発達する過程では、マン托ルと地殻の両方に上昇する流体が浸透し、固体粒子を運搬するとともに化学反応を引き起こす。そのため、発達中の海洋マン托ルは潜熱を伴う様々な化学反応を受け、関連するマグマ溜まりが生成される。したがって、海洋マン托ルは豊富な化学的および同位体異常を特徴とし、これは海洋玄武岩の広範囲にわたる化学的不均一性（*Lambart et al., 2019* およびその参考文献）と一致する。大陸地殻は、発達中の海洋地殻に比べて、水流体が引き起こす複合的なエクロジャイト化/剥離プロセスの影響をはるかに受けていないようである（*Storetvedt, 2003/23* 参照）。

したがって、大陸下のマン托ル上部の揮発性物質の圧力は、発達中の海洋盆地下のそれとは異なるガスと液体の組成を持っていたと想定される。この議論に従って、*Liu et al. (2016)* は、中国東部の白亜紀後期の大陸玄武岩中の亜鉛安定同位体の大規模なセットを研究し、地域のマン托ルは発達中の海洋下で予想されるように水和ではなく炭酸化されていたことを発見した（*Storetvedt, 2003/23*）。*Liu et al.* の研究結果は、炭化ケイ素（SiC）や炭化水素などの成分が東アジア下のマン托ル上昇流に豊富に存在していた可能性を示唆しているため重要である。例えば、中央アジアに広がる異常に広い金属鉱床帯は、浸出、輸送、荷揚げの過程において炭化水素化合物と密接に関連していた可能性がある。そのため、*Gold (1999)* は、多くの金属が炭化水素中に運ばれ、炭化水素が金属と分子構造を形成して複雑な有機金属化合物を形成していることを強調した。

中央アジアの下での地球からのガス放出は、地殻の著しい薄化につながるような化学組成ではなかったものの、高圧揮発性物質の浸透は、モンゴル地質学者誌に掲載された最近の2つの論文（*Michaelsen and Storetvedt, 2023; Storetvedt and Michaelsen, 2024*）で概説されているように、その他さまざまな影響をもたらしてきた。地球規模のガス放出の結果を知るために、遠い地質学的過去を振り返る必要はない。なぜなら、地震という形で高圧ガスが突然噴出することは頻繁に起こるからである。モンゴル西部地域では、リヒタースケールでマグニチュード8に達する異常に高密度で広範囲にわたる、そして部分的に非常に強い地震活動が見られるが、プレートテクトニクスではこれを説明できない。しかし、脱ガス理論に基づけば、地殻に高揮発性物質の圧力が蓄積された後に岩石の強度が急激に低下するという説明が自然と成り立つ（*Michaelsen and Storetvedt, 2023*）。

地球は、断続的に発生する物理的、化学的、地質学的現象が相互に連結したシステムから成り立っている。つまり、世界の海洋盆地の発達を特徴づけるダイナミックな変動は、マグマ活動、地殻変動、環境変化、生物活動、鉱床形成など、さまざまな形で大陸表面の現象にも反映されるということである。本稿で考察する時間軸は、現代の地殻形成において最も重要な時期、すなわち石炭紀後期／ペルム紀前期から白亜紀／第三紀境界までである。これはまた、Alfred Wegener の大陸移動説が主に扱っている時代でもある。疑わしい地質学および古気候学的議論の混合に基づいて、彼は大陸を統合し（パンゲア）、この失敗した基盤は地球科学がこれまで取り除くことができていない。この仮説上の統合により、古典的な狭く細長い大陸内テチス海（図1）は、東南アジアから中東を経由して地中海地域まで伸び（Sonnenfeld, 1981, およびそこに引用されている文献と貢献を参照）、その後、生物地理学的に大西洋以前の中央大西洋を越えて中央アメリカまで広がった（Hallam, 1977; Aubouin et al., 1977）。しかし、プレートテクトニクスの作用により、テチス海はパンゲア大陸の西側の広大な海洋ギャップとなり、閉じたり開いたりを繰り返し、最終的に再び閉じたりしたと考えられている。海洋プレートテクトニクスのテチス海が最終的に消滅する前に、約5,000 kmの海洋地殻が沈み込んだとされている。しかし、このような発達パターンは、生物地理学および古気候学的根拠から否定されている（例：Dickins et al., 1993; Khan and Tewari, 2016）。同様に、世界の海洋の現代的な探査により、後期中生代以前には、今日の深海地殻のかなりの部分がまだ準大陸地殻であったと信じるに足る強力な根拠が得られている（後述）。したがって、中生代のテチス海が中央大西洋にまで広がっていた（図1）ことは現実的であると思われる。

今日では、ゴンドワナ大陸の概念と大陸移動説のその他の部分を強く否定する情報が豊富にあるにもかかわらず、これらの考えは当然のこととして受け入れられ続けている。プレートテクトニクスと「ウィルソンサイクル」の支配下で、Wegener の扇形のテチス海は、アジアの地質史を大陸タイル、プレートとブロック、人工の海洋、人工の沈み込み帯の混沌とした混合物へと導いてきた。補助的な説明は数多く存在する。しかし、今日の断片化されたテクトニクス史に関する一般的な記述の中で、van Andel (1985) は状況を次のように説明している。「プレートとプレート境界が増殖するにつれて、小さなプレートが出現したり消滅したりするが、それらがなければ想定されるプレート運動のシナリオは成り立たないという以外に、これといった理由はない。プレートの歴史の再構築は、これまで以上に不確実で、多様化し、そして何よりも特異なものとなっている。」

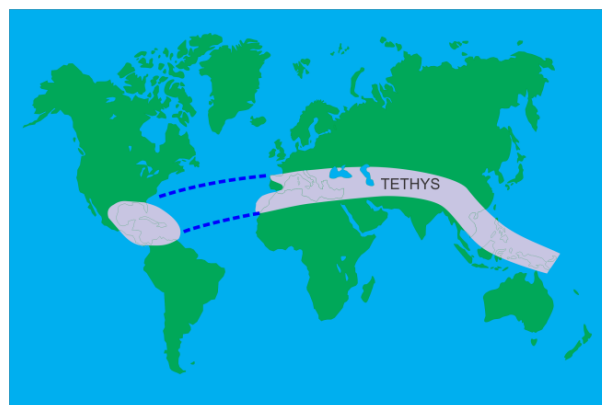


図1 従来の中生代テチス海域の概略図。プレートテクトニクス以前の時代には、ユーラシア大陸南端の細長い海路として認識されていた。後期白亜紀までは、深海盆はほとんど存在しなかったため、中生代の大部分において、中央大西洋は不規則で停滞した浅瀬でもあり、そこから多くの深海掘削井で黒色有機物に富む堆積物が高濃度で発見されている。生物地理学的観点から、Aubouin et al. (1977) と Hallam (1977) は、ジュラ紀テチス海域を中央大西洋を越えて中央アメリカまで延長した。インドネシア海域の南側の湾曲は、オーストラリア・アジア連合の顕著な後期白亜紀から第三紀にかけての反時計回りの回転運動（Storetvedt, 2003/23）に関係していると考えられる。この運動は、GPS 測定によると現在も継続している。

教義の迷宮

「科学は非人間的で、冷静で、徹底的に客観的な営みであるという誤解が広く浸透している。他のほとんどの人間活動が流行や一時的流行、そして個人主義に支配されているのに対し、科学は合意された手順と厳格な試験によって制約されるべきだとされている。もちろん、これは全くのナンセンスである。科学はあらゆる人間の営みと同様に、人間が主導する活動であり、流行や気まぐれに左右されるものである。」ノーベル賞受賞者 Richard Feynman の『Six Easy Pieces』(Feynman, 1995) の Paul Davies による序文の冒頭部分からのこの引用は、大陸移動説と、その後継モデルであるプレートテクトニクスの擬人化された発展を的確に描写しており、1968年にはこのモデルが地球科学における新たな世界観として宣言された。しかし、当時でさえ、この芸術的な描写は地平線に暗雲が立ち込め、その影を潜めていた。

海底拡大と沈み込みという二つの概念を自然が頑固に拒絶していることに加え、大陸の古典的かつ重要な地質学的側面の多くは、ほとんど議論的となっていない。例えば、地質学的な過去に大陸を横断する広大な浅い海路が繰り返し存在したこと、そして古生代初期以降、現在の陸地がかつてないほど乾燥していたという事実を、どのように説明できるであろうか？そして、大陸盆地の形成原因は何であろうか？その他の喫緊の課題としては、テクトニックベルトの地理的配置の変化、地殻の厚さの

大きな変動、地質学的時間スケールの断続性の原因、大陸マントル深部の根や海洋アンチルート起源などが挙げられる。プレートテクトニクスの考え方では、古典的な問題はすべて未解明のままである。しかし、地球は相互に関連した現象のシステムであるため、機能的な包括的理論があれば、一つの問題の解決は自動的に他の現象へと導き、新たな問題に対する偏りのない答えを予測できるはずである。功利主義的な最大理論がなければ、地球科学の理解は暗闇の中で手探りで進むようなものである。継続的な予測能力を備えた包括的な理論がなければ、地球に関するデータは、ますます膨大な、まとまりのない情報の山と化してしまうであろう。本論文は、このデータバンクから新旧両方のデータとアイデアを抽出し、それらを新たな理論的文脈に位置づけるものである。

古地磁気学と Wegener の仮説

地質学界による数十年にわたるほぼ集団的な偏見に基づく反論の後、1950年代にケンブリッジ大学とロンドン大学で行われた古地磁気研究によって、Wegenerの移動説は忘れ去られていた状態から抜け出すことができた。大陸移動説に新たな注目を集めたのは、主に国際的な講演旅行を通して、ほぼ独力でKeith Runcom (ケンブリッジ大学、1956年からはニューカッスル大学)であったことは疑いの余地がない。古地磁気極移動経路における大陸間の相違を説明するには、地質学的に見て近世に何らかの形の大陸相対移動が起こった可能性を避けることは困難であった。インドの古第三紀デカン溶岩複合体の磁化を研究していたインペリアル・カレッジ(ロンドン)のPatrick Blackettのグループと、北大西洋大陸を研究していたKeith Runcomのチームの間には、ある種の競争が生じた。地球テクトニクス研究において、古地磁気研究は全く新しい地球物理学の分野であり、既存の上位の自然科学と競合する中で、その知名度は切実に必要とされていた。地質学界が長らく否定してきたWegenerの仮説が誤りであったことを示す新たな物理的証拠を提示できれば、この研究分野にとってこれ以上の恩恵はないかった。古地磁気学の登場以前の地球物理学における当時の世論を回想し、Runcom (1981)は次のように記している。

「Wegenerの理論が活発な議論を巻き起こしたことは評価されていたが、地球物理学が急速に成熟した学問分野へと発展していく中で、それは忘れ去るべき、若き日の軽率な行為の一つに過ぎなかったと考えられていた。地球物理学者たちは、自分たちの学問分野が、偉大な業績と名声を誇る現代物理学の影に隠れていることを強く意識していた。」

イギリスの古地磁気学者たちが打開策を模索したのはまさにこの嘆かわしい状況であり、それが新たな覇権争いの始まりとなった。彼らは、Wegenerの地質復元の根拠

とされた地質学と古気候学に関する真の洞察力を欠いており、また古地磁気極座標の推定値の質にも大きなばらつきがあったにもかかわらず、初期の段階から、地質科学に革命をもたらす道を歩んでいると確信していた。意図は最善だったが、古典的な実験物理学を除けば、専門的な基盤はほぼ完全に欠如していた。解釈に極めて重要な地質学的知識が疎外されていたにもかかわらず、すべてはWegenerのモデルを中心に展開することになった。それにもかかわらず、1966年に再版されるまで、彼の本を参照した人はほとんどおろか、目にした人さえほとんどなかった。2003年に現在の著者と個人的に会話した際、当時Runcomグループの主要な古地磁気学者の一人であったKenneth Creerは、作業状況がいかにか厳しく忙しかったかを認め、次のような示唆に富む発言をした。「図書館でその古い本を探す時間などなかった」。当時Runcomの最も親しい研究助手であったDavid Collinsonも、状況がいかにか緊迫していたかを認めていた。この多忙さは、2つの条件に根ざしていた。1) インペリアル・カレッジのグループとの競争、2) Wegenerの大陸移動説を支持する決定的な証拠を世界で初めて提示するグループを目指す競争—地球科学に革命を起こすという意図のもとに一である。

Wegenerの古典的なパンゲアは、個々の大陸が中生代初期から分裂して移動してきたとされており、共感的な二次文献、主にHolmes(1944)から取られており、彼の人気教科書「Principles of Physical Geology」の最後の章は大陸移動について取り上げられていた。Arthur Holmesは放射能と地球の年齢に関する広範な論文を発表し、1929年にはマントル対流が大陸移動の要因となる可能性に関する論文を発表した(Holmes, 1929)。彼の著書の最後の図は、提案された対流機構を実証している。ロンドンとケンブリッジ/ニューカッスルの古地磁気研究グループにとって、Wegenerの研究に対するこの肯定的な姿勢は非常に歓迎されたに違いない。移動説に対する従来の反論は、基本的に、納得のいく駆動メカニズムが欠如しているというものであった。しかし、当時の有力な地質学者の一人であったArthur Holmesは、このジレンマを打開する可能性のある方法を示唆していた。Runcomグループは既に1950年代半ば以降、北大西洋大陸が横方向に分離したという説を支持していた。Runcom(1956)は、古地磁気データベースを用いて、北大西洋の極曲線に基づき、経度約25~30度の系統的な大陸移動を示唆した。また、Creer et al. (1957)は、中生代中期までに大陸の分離が完了していなかった可能性を示唆した。これ以降、地殻横方向移動の問題は、古地磁気研究の不可欠な要素として、ますます注目を集めるようになった。

レンテテクトニクスと後期白亜紀の大西洋

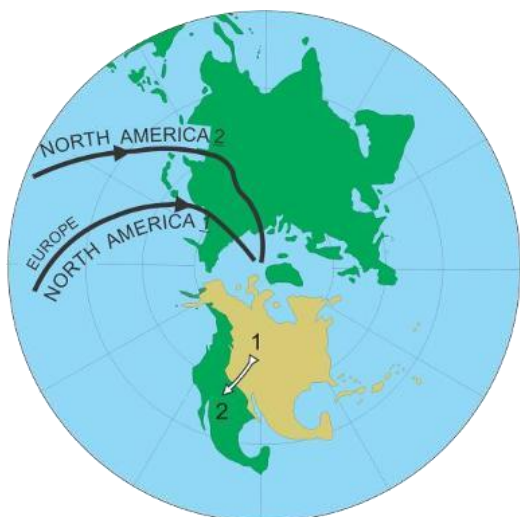


図2 北大西洋極曲線の経度方向の観測された分離、および対応するヨーロッパ極と比較した北アメリカ極の南緯方向への移動を説明する古地理モデル、北アメリカがヨーロッパに対して南西方向に時計回りに約 30 度回転し、オイラー極がカナダ北西部に位置し、大陸が位置 1 から位置 2 に移動し、北東太平洋ベニオフ帯を横切るだけで、2 つの大陸間の古地磁気の不一致を説明するのに十分である。大陸間の横方向の動きは必要なく、すべての古典的な適合問題は解消される。Storetvedt (2003/23) より。

Storetvedt (1990) の調査により、後期白亜紀から古第三紀にかけて、ユーラシア大陸と北アメリカ大陸はともに北半球古半球に属していたことが明らかになった。対応する古赤道は地中海南部に沿って走り、西は中央大西洋を横断して中央アメリカ南部まで続き、東は中東とインドネシア諸島まで延びていた (下記も参照)。それらの地理的位置はアルプス古赤道の北に位置しており、北大西洋の地殻は、シェトランド諸島・フェロー諸島・アイスランド諸島・グリーンランド諸島の大陸隆起帯の大部分を除いて沈降し、薄く機械的に弱い深海領域となった。ユーラシア大陸と北アメリカ大陸は、それぞれ独立して時計回りのレンチ回転をその場で経験し、北大西洋地域 (厚い地殻を持つアイスランドを含む) を左横ずれ剪断帯へと変化させた。この地球規模の地殻変動の中で、北アメリカ大陸はヨーロッパに対して約 30° というより強い時計回りの慣性運動を受け、現在の北大西洋の南向きの扇形が生まれた (図2 参照)。

レンチテクトニクスは慣性に基づく緯度依存のシステムであり、より高位の大陸地殻が最も強い影響を受ける。したがって、北米の上部地殻は、周囲の中央大西洋および北東太平洋の地殻と比較して、より強い慣性抵抗を受けていたと考えられる。その結果、隣接する海洋地殻の基本的な直交断層系の両方のセット (北米の緩やかな方向転換以前はそれぞれ北北東と西北西を向いていた) が再活性化した。こうして、中央大西洋の巨大断層帯、すな

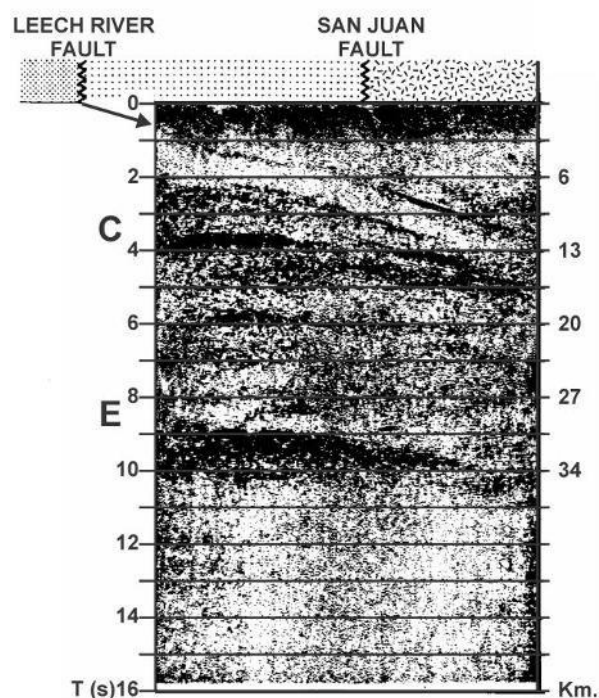


図3 バンクーバー島南部下の未移行地震断面 (Green et al. (1986) による)。北米の時計回り回転 (図2) の結果として、米国太平洋地域の地殻上部 30km がわずかにオブダクションされ、垂水平の逆断層面に分裂していることに注目。

わち西北西セット (ケイン断層帯、アトランティック断層帯、オーシャンographer断層帯など) と、北東太平洋の対応する断層セット (メンドシーノ断層帯、マレー断層帯、クラリオン断層帯など) は、横ずれ剪断帯となった。したがって、この説明では、Tuzo Wilson (1965) の海底拡大に関連したトランスフォーム断層の概念は無関係になる。

中生代後期 (後述) における薄く機械的に弱体化した深海地殻の加速的発達に応じて、南半球大陸の上部地殻帽に相当する部分が慣性による反時計回りのねじれを受け、対応する古赤道帯が全体的にトランスプレッション帯、すなわちアルプス帯に変化した。この地球規模の地殻変動の激変期には、地球規模の地殻移動 (主に中程度) の重要な部分が発生し、大陸間の古地磁気極の不一致、せん断変形、主要な構造軸に沿った顕著な鉱物学的変質 (直交する断層系の両方を含む場合もある)、地域的に発達した線状の海洋磁場異常などが生じた (下記参照)。しかし、山脈や造陸運動による大陸隆起が起こるまでにはまだ約 1 億年かかった (Storetvedt, 2003/23, 2015)。

中生代後期から古第三紀にかけての地球規模の横ずれ断層運動の後、海洋化されていない (残存する) 小さな陸塊であるオーストラリアと南極大陸は、薄く機械的に弱い海洋地殻に囲まれていた。そのため、これらの大陸は

主要大陸よりもはるかに強い横ずれ回転運動を経験した。最新の GPS 速度ベクトルによると、どちらの場合も約 1 億年前と同じ運動パターンが現在も維持されている。大陸の相対的な回転／相互作用による最も顕著な影響は、北大西洋と南大西洋の両方が現在の南向きに扇状に広がる形状になったことである。しかし、後期白亜紀の横ずれ回転以前は、大西洋の対向する大陸縁辺は現在よりも平行であった (Storetvedt, 1990; 2023, p. 209-220 参照)。その頃には、残っていた従来の「陸橋」のほとんどは、上部マントルのプロセスによって強く同化され、その後のアイスタシー沈降によって分断されていた。図 4 は、大西洋大陸の元の (後期白亜紀以前の) 配置と、その後の上部地殻の横ずれ回転の兆候 (湾曲した矢印)、および赤道大西洋の再活性化した横断断裂帯の概略図を示している。

北ブラジルと赤道西アフリカの間にある比較的狭い赤道海峡のため、その間にある大西洋は異常に強い地殻変動による圧縮を受けた。そのため、ギニア湾、ブラジルの北東縁、そしてその間にある海洋地殻の両方に、強い地殻変動の痕跡が数多く見られる。例えば、コートジボワールとガーナ沖の海洋大陸境界付近を掘削した ODP 第 159 航海では、白亜紀の地層に激しい褶曲、断層、せん断変形が発見された (Masclé et al., 1995)。高度に破碎された北ブラジル海嶺 (NBR) の基盤が、陸側が海側よりも 1~2 km 深いという事実 (Hays and Ewing, 1970, Bryan et al., 1973) は、NBR が圧縮・横ずれ圧縮によって形成されたという説と一致する。また、地球規模の直交断裂系の西北西セットに属する、異常に密度の高い海洋横断断裂帯系が、大西洋の赤道域を特徴づけており、その一部は隣接する大陸に食い込んでいる。この文脈において、ロマンシュ断裂 (RFZ) は、長さ 500 km にわたって、これらの山頂が海面に近い海面より上であったときに形成された炭酸塩堆積物によって覆われている。これらの海山の 1 つでサンプリングを行ったところ、約 500 万年前の礁石灰岩が発見された (Bonatti et al., 1977; Bonatti and Chermak, 1981)。これらのデータは、RFZ と恐らく赤道大西洋の残りの部分が、後期中新世から前期鮮新世にかけての大規模な垂直地殻隆起を受け、石灰岩が堆積して以来の沈降速度が、海底拡大モデルに基づく理論的予測よりもほぼ 1 桁速いことを示唆している (Bonatti and Chermak, 1981)。

中央海嶺の頂上部と上部斜面における堆積物の分布に関する初期の研究 (Ewing et al., 1966; Ewing and Ewing, 1967; van Andel and Bowin, 1968) は、これらの海嶺の隆起がわずかに数百万年前のものであることを示唆していた。van Andel と Bowin が最初に提唱し、後に Storetvedt (2003/23; 2015) と Michaelsen and Storetvedt (2023, およびその参考文献) によって裏付けられたように、中央海嶺の若い隆起は、大陸山脈の起源である後期中新世と同時

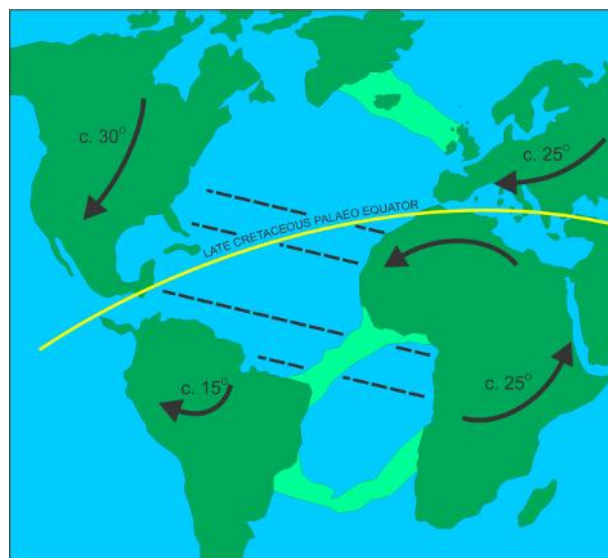


図 4 後期白亜紀の深海発達初期における大西洋の形状と、それに続く隣接大陸の慣性に基づくレンチ回転 (曲線矢印) (対応する古赤道に対する相対位置) (Storetvedt, 2003/23)。対向する大陸の平行性に注目。かつて陸地同士が接していた場所は薄緑色で示されている。北大西洋と南大西洋では、相対回転する前の対向する大陸縁辺は、基本的な直交断裂ネットワークの北北東方向の再活性化セグメントに沿っている。赤道域および中央大西洋西部で顕著な特徴である、西北西方向の直交する断裂群の再活性化要素は破線で示されている。

期に起こった。これは、地球の実際の仕組みが解明されれば、地球の歴史がいかに単純明快であるかを示す、ほんの小さな孤立した例に過ぎない。科学において最も重要なことは、無秩序な多数の情報から統一性を生み出すことである。したがって、地球の脱ガスに基づくパルス状の作用様式は、明らかに長らく待ち望まれていた一貫性のあるダイナモテクトニクスシステムを表しており、その地質学的発達と地表生成物の顕著な側面は、統合された全体を形成しているように見える。北ブラジル縁辺に沿った後期白亜紀の横圧縮力 (アフリカの反時計回りの回転によって引き起こされた、図 4 参照) は、南米の地殻 (おそらく主にその外層) を適度な時計回りのねじれに導き、南半球の反時計回りの慣性運動に対抗した。南米上部地殻層の結果として生じる動きは、約 15°時計回りの揺れであり、この動きはメキシコ南部のモタグア断層帯に沿った左横ずれせん断を引き起こし、さらにカリブ海北部を横断して伸張し、最終的に小アンティル諸島弧に沿った構造前線で終結した。北アメリカと南アメリカの間の左横ずれ運動は、もともと古地磁気データ (Storetvedt, 1990, 1997, 2003/23) に基づいていたが、ベネズエラとカリブ海からの GPS 速度ベクトル (Dixon et al., 1998; Pérez et al., 2001) によって裏付けられている。

大陸の横ずれは、外部の力によって斜めに影響を受け

るトランプの滑りやすさの挙動に似ているという考え (Michaelsen and Storetvedt, 2023) によれば、南米が反対方向の2つの力にさらされてきた可能性 (Storetvedt, 1997, 2003/23) に加えて、南米の上部地殻が内部構造変形を受けた可能性が高い。この文脈において、中央アンデスの南緯 10 度から南緯 30 度の間に構造的傾向の明確な変化があり、これが南米の曲がりについての憶測につながった。これは Carey (1955) によってボリビア・オロクライン (後からの地殻変動によって水平方向に折れ曲がった構造) と名付けられた。古地磁気研究はこの提案を裏付けている (Heki et al., 1983; Kono et al., 1985; Roperch and Carlier, 1992)。既存の古地磁気データの評価から、Roperch and Carlier は、オロクラインの湾曲は中生代後期から古第三紀にかけてのものだと示唆した。ボリビア、ブラジル、パラグアイの間にある南北方向にわずかに湾曲したパンタナル盆地は、多数の断層と周囲の地殻と比較して最大 10 km に減少した地殻厚を持つ、構造的に活発な内陸凹地である (Rivadeneira-Vera et al., 2019)。データの不足により、この窪地の起源は不明であるが、白亜紀後期から古第三紀にかけて起こった世界的な地殻変動のピークに由来する可能性が高いと考えられる。これは、ボリビア・オロクラインの形成に伴う地殻断裂と直接関係していると思われる。したがって、当時南米に影響を与えていた複合的な地殻変動力と慣性力 (図 4) により、原始的な地殻脆弱帯が再活性化され、大陸内部の構造的再活性化、流体によって引き起こされる地殻の薄化、およびパンタナル盆地のアイソスタシー沈降が引き起こされた。

地球の脱ガスシナリオでは、下部地殻では揮発性物質の上昇によって閉じ込め圧力が徐々に増加したと考えられる。その結果、外向きの静水圧が内向きの重力に拮抗し、圧力浴状態が生じた。これが、大陸深部の掘削孔 (コラ半島とドイツの KTB) で明らかになった、深さとともに亀裂体積が指数関数的に増加する原因であると考えられる。これらの掘削地点に豊富な水性流体が存在することも、全く予想外の発見であった。これらの予期せぬ発見は、大陸地殻から深海地殻への移行 (「地殻海洋化」) の理解を深めるものである。このように、グラニュライトからエクロジャイトへの急激な自然現象は、このプロセスが含水流体の欠如によって強く阻害されることを示している (例えば, Austrheim, 1987, 1998; Leech, 2001; Kaatz et al., 2021 およびその参考文献)。したがって、Austrheim (1998) は、含水流体は温度や圧力よりもはるかに重要であると主張した。同様に、Leech (2001) は、グラニュライト地殻の重力駆動による地殻下剥離が進行するエクロジャイト化プロセスを促進するには、水性流体が温度や圧力よりもはるかに重要であると結論付けた。しかし、脱ガスする地球では、下部から中部地殻は化学反応による発熱と強い閉じ込められた静水圧の両方にさ

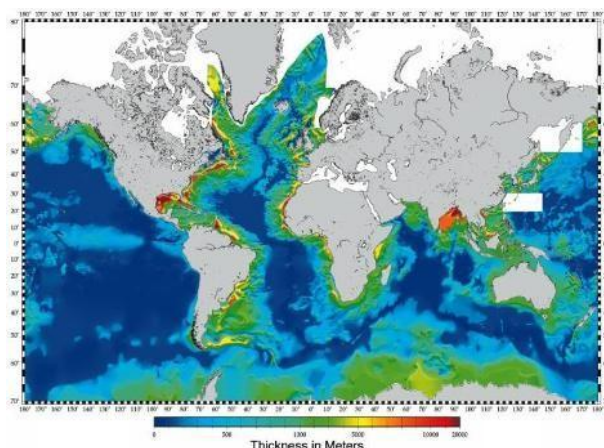


図 5 世界の海洋および縁海の総堆積層厚の分布。NGDC 海洋地質・地球物理学部門がまとめたもの。 <http://www.ngdc.gov/mgg/sedthick/sedthick.html> 大西洋縁辺部には、群を抜いて厚い堆積層があることに注目。これらの大規模な堆積物は、中生代後期の穏やかな大陸横ずれ回転中に発生した、地殻の薄化とアイソスタシー沈降を伴う地域的な横ずれ伸張条件に直接関係している (図 4)。

らされ、超臨界流体の物理的条件を満たしていた可能性がある。

エクロジャイト化した地殻が上部マントルに大きく失われた顕著な例は、ビスケー湾内湾のパレンティス海盆を横断する ECORS 深部地震反射プロファイルによって明らかになった (Pinet et al., 1987)。著者らは、下部地殻全体の喪失をグラニュライト-エクロジャイト相転移と関連付け、エクロジャイトの密度は周囲の上部マントルの密度よりも容易に高くなると考えた。その結果、重力的に不安定になり、分離して上部マントルに沈降する。大西洋のような比較的狭い海洋では、深海沈降によって容易に顕著な断層帯が形成され、平行な対向する縁辺が形成される可能性がある。さらに、断層に関連する縁辺に沿ったエクロジャイト化の加速とそれに伴う地殻剥離は、多くの縁辺の海側に、厚い堆積層を伴う予想される帯状構造をもたらした。この過程で、エクロジャイト化した上部マントルと下部地殻の境界も地表に近づき、その結果、多くの大縁辺に沿って顕著な正の (誘発された) 重力異常が生じる。異常に厚い堆積帯と予想外の正の重力異常の組み合わせは、謎めいた観測結果のままであったが、脱ガス駆動の横ずれ断層運動理論の中ではそうではない。図 5 に示すように、カリブ海を含む北米の大西洋縁辺は、異常に厚い堆積層 (最大 20,000m) で際立っている。これらの予想外に厚い堆積物の原因は、白亜紀後期から古第三紀にかけての北アメリカ大陸の反時計回りの回転 (図 2) に関連していると考えられる。この動きにより、東海岸沿いに横ずれ伸張状態が生じ、流体の浸透、エ

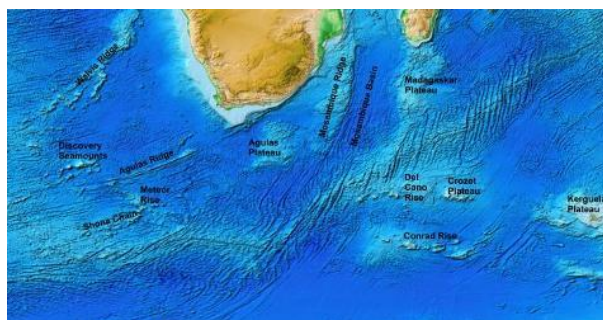


図6 南インド洋の地殻構造. 部分的に同化した大陸断片(高原と海嶺)と、アフリカ大陸の反時計回りのねじれによって生じた広範囲にわたる弧状地形(図4)が見られる. NOAA ETOPO1より.

クロジャイト化, 重力による地殻剥離, そして南に向かって(ニューファンドランドからメキシコ湾まで)拡大するアイススタシー盆地の形成が促進された.

図4に示すように, 白亜紀後期にはアフリカ大陸が反時計回りの慣性回転を開始し, 同時に周囲の海洋地殻は徐々に歪み始めていた. そのため, より薄い深海地殻がアフリカ大陸の動きによって横ずれ変形を受けることは避けられなかった. 図6は, NOAA ETOPO1に基づいた南西インド洋の横ずれテクトニクス配置を示している. 弧状で, 主に南南西-北北東方向に延びる深海断層パターンが, アフリカ大陸の回転と一致していることに注目されたい. 弧状構造は, 薄い海洋地殻の横ずれ変形が地球規模の直交断層ネットワークに重なるたびに発生する「連結鎖」システムを表している. また, 中央アジアのような厚い大陸地殻も同様の構造的湾曲を経験しているが, これはおそらく上部地殻の構造的発達に過ぎない. とはいえ, モンゴルの南向きの構造地形は, この慣性駆動型構造形態の典型的な例である (Michaelsen and Storetvedt, 2023).

深海テクトニック剪断の最初の発見

北米西海岸沖の線状磁場異常の発見 (Mason, 1958; Mason and Raff, 1961; Raff and Mason, 1961) は, 海底探査の全く新しい時代を切り開いた. ほぼ平坦で堆積物が密集した深海域は, 正負の磁場異常の比較的狭い線状帯によって特定された. 振幅が 500 nanotesla 程度に及ぶ線状磁場パターンは, 深海面全体を支配していた. もう一つの驚くべき観察結果は, 図7に示すように, 南北方向の磁気パターンが東西方向および横断方向の主要な断層帯によって著しく乱されていたことである.

断層を横断する磁気異常パターンをフィッティングすることで, 累積変位量は最大 1,400 km と推定された (Raff and Mason, 1961; Vacquier et al., 1961). これは, 薄い深海地殻でさえ構造変形を起こしていたことを示す, 初めての



図7 北米西部沖の磁場異常 - RaffとMason (1961)に基づく. 正の異常と負の異常はピンクと薄緑色で示されている.

驚くべき証拠であった. 推定される二次元異常源は, 結晶質基盤の比較的浅い深度にあると結論付けられた. 磁気源層の地形の変化や磁化率のコントラストなど, さまざまな可能性が示唆されたが, いずれの場合も, 変動する異常は周囲の地磁気場によって誘発される変動する磁化に起因するとされた. さらに, Mason (1958) は, 「異常の南北方向の線状構造とサンアンドレアス断層に沿った右横ずれは, 単一の構造仮説によって説明できる可能性があり, それは太平洋の海底に対する北米大陸の西向き移動と関連している可能性がある」と示唆した. Masonの地域的な構造仮説は, 30年後に開発された横ずれ断層運動 (GWT) の関連性 (Storetvedt, 1990) と一致するだけでなく, 上記(および下記)で議論したさまざまな構造的側面も説明している.

GWTでは, 海洋磁気の直線性は, せん断構造による鉱物変質によって生じる磁化率のコントラストの結果である. その結果, 波状の誘導磁場異常が, 卓越するせん断方向に対して垂直に発生する. しかし, 特に中央大西洋では, 基本的な直交断層ネットワークの両方のセットが, それに伴う鉱物変質と磁化率のコントラストを伴う横ずれ再活性化を受けている. したがって, 中央大西洋のより広い領域, 特にその西半分(北アメリカの西方向への横ずれに関連している)では, 直交異常ネットワークが現れる. 世界デジタル磁気異常マップ (EMAG3) はこの

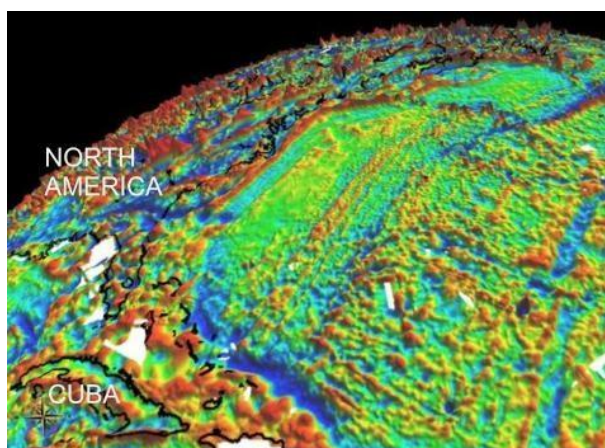


図8 世界デジタル磁気異常マップ (EMAG 3) から切り取ったもの。異常は大部分において直交するネットワークを示しており、個々のセグメントはそれぞれ北北東方向と西北西方向の基盤断裂系の向きに対応している。

予測を裏付けている (図8)。つまり、大西洋中央西部の大部分では、磁気異常は、下にある直角断裂系のせん断再活性化に応じて直交するネットワークを形成している。これらのせん断に関連した異常は、基本的に後期白亜紀から古第三紀にかけての地球規模のダイナモテクトニクスのクライマックス期に形成され、薄く機械的に弱い深海地殻の形成と関連していた。大陸ブロックの強い慣性抵抗により、周囲の薄い海底地殻に構造的なせん断再活性化が生じた。これが、海洋磁場異常が主に比較的狭い大西洋沿岸、およびインド洋と太平洋の近大陸せん断帯で発生する理由である。

Mason らが北東太平洋の線状海洋磁場異常を現実的に評価するにあたっては、結晶質基盤岩の岩石組成に関する情報は依然として非常に乏しかった。磁気源は縞状磁場パターンの下に位置するはずであり、個々の異常の鮮明さから、それらは結晶質基盤岩の浅い深度から発生したことが示唆された。正の異常帯は比較的強い磁化率（したがって高い磁気誘導）に関連しており、負の異常帯は低い磁化率に関連していた。しかし、Mason の提案が受け入れられる時期ではなかった。それとは対照的に、Vine and Matthews (1963) は、当時提唱されたばかりの海底拡大モデル (Dietz, 1961; Hess, 1962) に合致すると思われる別の説明を提示した。提案された拡大モデルは、マンテル内の高温対流セルの上昇端を示すとされる中央海嶺に沿って作用していた。突然、北東太平洋磁気探査によって明らかになった深海地殻の地殻変動の証拠は忘れ去られ、あるいは大多数の人々には気づかれさえしなかったのかもしれない。

海洋磁気異常が漂流論争に加わる

Vine and Matthews は、正負の海洋磁場異常を、対応す

る正逆の地磁気極性と関連付けた。この提案は、磁気異常が「中央海嶺」を中心として対称であると予測しており、拡大モデルによれば、線状の異常系は地球磁場の極性変化を記録する一種のテープレコーダーであることを意味する。したがって、極性の歴史を年代測定できれば、地球科学は深海地殻の発達年代を年代測定する効果的な方法を手に入れることになる。過去 300 万～400 万年については、極性時間スケールがすぐに確立された (Cox et al., 1967)。このパターンは、深海堆積物のコア部分の古地磁気測定によって確認されたとされている (Opdyke et al., 1966)。Vine-Matthews モデルは、Wegener の大陸移動説の復活が加速していた時期に登場したため、この新しいモデルは世界中の海洋の包括的な磁場調査を促した。数年間、文献には数千 km にも及ぶ距離にわたる海洋磁気異常プロファイルの相関関係を主張する報告が溢れていた (例：Vine and Wilson, 1965; Vine, 1966; Heirtzler et al., 1966; Heirtzler et al., 1968; Pitman et al. 1968; Dickson et al., 1968; Le Pichon and Heirtzler, 1968)。世界規模での相関関係を主張するために、異常番号付けシステム (中央海嶺の 1 から大陸縁辺の静穏域付近の 34 まで増加する番号) が構築された。このシステムが受け入れられると、当時すでに当然のこととなっていた海底拡大の年代等時線の妥当性を精査し「確認」するための大規模な研究が始まった。

海底メカニズムのメカニズムが定着した後、Vine-Matthews モデルに代わるモデルは無視され、すぐに放棄された。磁化率のコントラスト (Mason, 1958) と岩石変質が線状異常の原因であるという説は、発見後最初の 10 年間で頻りに議論された (Drake and Girdler, 1964; Luyendyk and Melson, 1967; Watkins, 1968; Watkins and Harrison, 1968)。別の分析では、van Andel and Bowin (1968) が提案したもっともらしい海洋地質断面を用いて、Watkins and Richardson (1968) は、「地形は局所的な理論モデルの構築において重要な役割を果たしており、したがって、(Vine-Matthews モデルが示唆するように) 一連の単純な平坦な地殻ブロックが局所的な磁気プロファイルの原因である可能性は低い」と指摘した。これは、北緯 22.5 度の大西洋中央海嶺を横断した際のことである。後者の例は、海洋磁気研究において確立されていた、局所的な観測結果を仮説的な地磁気極性の変化に無理やり当てはめるという無批判な慣行に対する警告となった。海洋磁気相関作業で一般的に遭遇する困難の一例として、Pitman and Talwani (1972) は、中央大西洋では「異常は、間隔の狭いプロファイル間や理論モデルとの間でも相関させるのが非常に難しい」と認めている (図7参照)。線状の磁気異常は中央海嶺軸に対して「完全に」対称であると説明されていたが、この主張は単なる錯覚に過ぎなかった。複雑な異常システムを相関させようとする試みにおいて、「海嶺ジャンプ」を持ち出すことは、モデルに縛られたトリックとなってい

た。

アイスランドの南にあるよく調査されたレイキャネス海嶺 (Barron et al., 1966; Heitzler et al., 1966; Godby et al., 1968; Talwani et al., 1971 など) のようないくつかの中央海嶺セグメントは、地球物理学の文献では、異常が海嶺の頂上に対して対称であることを示す古典的なケースと見なされてきた。主張されている左右対称性を検証するために、Agocs et al. (1992) は、レイキャネス海嶺に直角に配向された 15 の磁気プロファイルの定性調査を実施し、海嶺の約 300 km の長さを表した。これらの横断線のうち 12 は Talwani et al. (1971) による海面プロファイルであり、3 は Barron et al. (1966) による航空磁気プロファイルであった。プラス 1 からマイナス 1 までの範囲で、様々な相関係数が計算された。ここで特に注目すべき、尾根を挟んだ異常相関に関する係数は、驚くほど低い 0.17 という値を示した。つまり、「完全な」対称性は存在しないということである。したがって、Vine-Matthews モデルには問題があることが判明した。

一方、レイキャネス海嶺は、北北東方向に延びる主要な直交断裂系の 1 つに沿って位置している。したがって、後期白亜紀～古第三紀 (アルプス造山運動の極期) には、北半球の地殻が時計回りの横ずれ運動 (前述の北アメリカの南西方向への緩やかな変動を含む) を受けていたが、レイキャネス海嶺地域は左横ずれせん断を受け、発達中の顕著な断層帯に沿って大きな鉱物学的変化が生じ、その過程で磁性酸化物が非磁性のケイ酸塩に置き換わった。これは、レイキャネス海嶺地域の地殻上部が、磁化率が変化する平行な北北東方向の構造磁気ブロック系を発達させたことを意味する。この説明では、鉱物変化が最も顕著な断層帯は負の磁場異常を特徴とし、中間的な影響の少ない地殻部分は磁化率が高く (変化が少ない)、正の磁場誘起異常によって区別される。したがって、レイキャネス海嶺に沿った磁場線状構造は、磁化率コントラストモデルの産物とみなすことができ、このモデルには左右対称性を予測する根拠はない。さらに、顕著な剪断帯は海洋基盤の中で最も破碎され、最も侵食されやすい部分であり、そのため地形的な低地が一般的に形成される。したがって、海底地形と海洋磁気異常の間に正の相関係数があることは容易に説明できる。

海底拡大モデルがますます普及するにつれ、海嶺の頂上から離れるにつれて海洋堆積物の層が厚くなるという予測が立てられ、この予測を検証するための研究が行われた。しかし、Ewing et al. (1966) と Ewing and Ewing (1967) は、海嶺に沿った中央の 100～300 km 幅の帯状部分は、岩盤がむき出しになっているか、非常に薄い堆積物が堆積している部分があることを発見した。一方、海嶺の斜面では、堆積物の厚さは比較的一定であり、海底拡大仮説が予測するように徐々に古くなるのではなく、斜面の

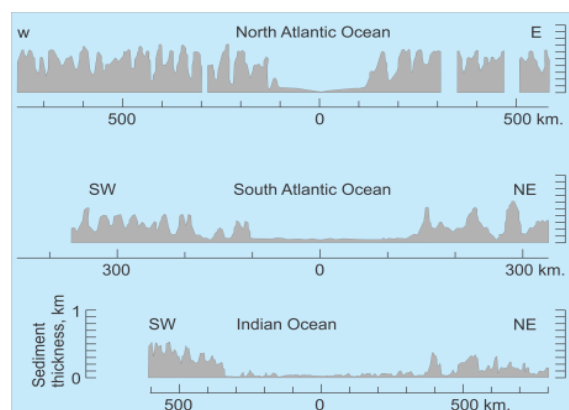


図9 海嶺の頂上からの距離に対する堆積物の厚さのグラフの例。Ewing と Ewing (1967) を簡略化したもの。

年代は均一であることを示唆している。堆積物の厚さの明確な変化は炭酸塩補償深度よりかなり上で発生しており、したがって結果は差動溶解の影響を受けていないと考えられた。結論として、頂部帯における最近の拡大は排除できないが、あるいは頂部帯は侵食および/または非堆積を伴う最近の隆起を経験した可能性がある。いずれにせよ、頂部イベントの前には、静的な側面堆積物が蓄積された海底のより長い静穏期があった。図9は、堆積物の厚さと海嶺軸からの距離の関係を示すグラフの一部である。van Andel and Bowin (1968) も、大西洋中央海嶺の頂部と上部斜面の研究において、Ewing et al. (1966) および Ewing and Ewing (1967) の結論とほぼ一致する結論を得た。海嶺の隆起はわずか数百万年前のものであり、大陸山脈を隆起させたのと同じ地球規模の隆起の一部である可能性が示唆された。この結論は、すべての山脈は、その基盤岩/構造年代に関わらず、地球の歴史において新参者であるとする、レンチテクトニクス理論の発展スキームと一致する (Storetvedt, 2003/23; Storetvedt, 2015; Michaelsen and Storetvedt, 2023 およびその参考文献)。

ギャラリーにプレイ

大陸移動説が予想外にも広く認められるようになると、それまでの反論は改めて議論される時期を迎えた。古地磁気研究によって新たな視点がもたらされたことで、地球科学界の大陸移動説に対する抵抗は弱まり始めた。より「肯定的な視点」での再検討から、大陸移動の問題に対する一般的な姿勢が徐々に変化していった。こうして、以前は反証とみなされていた証拠が、わずか10年足らずで賛成の証拠へと転換した。大陸分裂と Wegenerian drift (大陸漂移説) の記録が進められていた1960年代には、間違いなく有名な「再強化症候群」が強く作用していた。1960年以前の漂移説の広範な否定から、その後の10年間で漂移説の受容へとほぼ完全に合意が移行する過程は、地球科学コミュニティ自身によって、新しい方法、斬新



図 10 隣接する大西洋大陸の適合性 — Bullard et al. (1965) に基づく。スペースの問題により、中央アメリカ大陸、カリブ海、およびさまざまな厚い非地震性高原と海嶺は省略されている。したがって、大陸の重なり（黒色）は、装飾された偽造に過ぎない。根本的な全球断層系の役割の可能性は議論の対象ではなく、その後も議論されていない。

な重要な証拠、集中的な精査の組み合わせとして一般的に説明されている。残念ながら、舞台裏の現実は全く異なっていたのである。数十年にわたり広く引用され、漂移説の「驚くべき確認」として称賛されてきた有名な大西洋適合 (Bullard et al., 1965) は、図 10 に示されている。

Bullard 合成が人気を博した理由は、最適化や誤差テストを含む「最高の」最小二乗近似を確立するために数値的手法が用いられたことにあるのは間違いない。Bullard 近似が大きな注目を集めたのは、主に数学にしっかりと根ざしているように見えたからである。球面上の運動には算術的手法とオイラーの定理を用い、さらに当時としては斬新な電子計算機を使用していた。表面上、この手法は圧倒的に難解に思えたが、一方で、選択されたデータベースは決して許容できるものではなかった。この調査は、数学の明らかな誤用以外の何物でもなかった。本質的に科学的価値が全くない調査が、これほど多くの肯定的な注目を集めたことは理解しがたい。いわゆる「ブロードフィット」は、地球科学フォーラムで頻繁に取り上げられ、長年にわたり地球科学文献で最も多く引用される論文となった。ほとんどの地質学者にとって、Bullard グループの数学的分析は非常に洗練されているように見えたが、その洗練された手法は、希望的観測と大陸縁辺部の「規制の必要性」によって事実上無効化されてしまった。著者らは、望ましい適応の達成を「妨げる」地殻の部分を見捨てていたのである。

浅い大陸状のシェトランド・フェロー・アイスランド

海嶺や、大西洋の他のほとんどの高原や海嶺は無視された。一方、水没した巨大な大陸性ロックオール海台は「当てはめることができる」という理由で受け入れられた。北西アフリカとイベリア半島の重なりを避けるため、ビスケー湾は「閉鎖」され、中央アメリカ大陸は除外された。そのため、中央アメリカは Wegener の時代と同様に依然として問題の多い存在だった。しかし、「ブロードフィット」の発表後、中央アメリカはこれまでと同様に深刻な問題であったにもかかわらず、重要な問題として軽視されるようになった。科学アナリストの Homer Le Grand (1988) は、ケンブリッジ大学の研究グループの研究を不適切なデータ処理と評し、「ゴミを入力すればゴミが出力される」という表現が彼らの「分析」を的確に表していると述べた。科学的には何の価値もなく、単なる見せかけに過ぎなかった。当時 Bullard の研究所に客員研究員として滞在していた人々 (Menard, 1986, p.208 参照) によると、Bullard が突然関心を示す以前に大陸移動説が議論されていたことを覚えている者は誰もいなかったという。したがって、Bullard が「大陸移動説の流行」に感染していたのではないかという疑問が生じる。この流行は、著名なイギリスの地球物理学者の間で、集団的な移動主義的想像世界を席卷しつつあった精神の変化である。科学者（他の人間集団と同様）が、知的流行を正当化し支持することによって、権力、名誉、地位を大部分獲得することは事実である。また、Edward Bullard も、風向きに合わせて態度を変えてしまったようだ。1960 年代に大陸移動説の追い風が強まるにつれ、こうした「受容」が何度か見られた (Storetvedt, 2024, p. 96-103 参照)。

継続的な迷走について

振り返ってみると、最も「ブロードフィット」を得るために、広くて浅いシェトランド・フェロー・アイスランド・グリーンランド (SFIG) 横断海嶺を無視し、他の大陸の障害物も無視したことは、当時地球規模のテクトニクス認識で優位に立ちつつあった新しい全体像の考え、すなわちプレートテクトニクスが、地域的な些細なことに気を取られないという兆候であったことは容易に理解できる。SFIG 海嶺は、伝統的にヨーロッパと北アメリカの間の生物地理学的陸地連続性として考えられており、中期第三紀以前の両大陸間の強い動植物相の関係を説明するために用いられてきた (例: McKenna, 1975, 1983)。しかし、植物相の証拠から、この陸続きの地層は少なくとも中期中新世までは開いていたことが分かっている。そのため、Heer (1868) の先駆的な研究以来、アイスランドの中新世の化石植物相は古植物学者 (例えば、Manum, 1962; Denk et al., 2005) を継続的に惹きつけてきた。主な目的は、アイスランドの植物相を北米やヨーロッパの分類群と比較することであった。この文脈において、Denk

etal.は「1,200 万年前までは北米とヨーロッパの両方から植物がアイスランドに移住したという説得力のある証拠があるものの、より新しい地層 (900 万～800 万年前, 700 万～600 万年前) における移動は主にヨーロッパから起こったと考えられる」と結論付けている。これは、新第三紀においても、北大西洋の陸続きの地層が時折開いていたことを示唆している。

陸橋説を支持する証拠として、SFIG 海嶺の北側斜面で行われた深海掘削 (DSDP 第 38 航海, 地点 336) では、中期～後期始新世の深層地表風化プロファイルと解釈される厚さ 10 m のラテライト古土壌層に遭遇した (Nilsen and Kerr, 1976)。ラテライト層が形成されて以来、掘削地点は少なくとも 1,000 m 沈下したと結論付けられた。当時、古赤道はアフリカ大陸の北端に沿って走っており、掘削地点は北緯約 25 度に位置することになる。これは、ヨーロッパの古気候に関する化石や岩石の証拠 (Wegener, 1929; Pomeroy, 1982) や、北海地域の第三紀の古気候プロファイル (Buchardt, 1978) とよく一致する。1970 年代初頭にはすでに、浅いフェロー・アイスランド海嶺の研究により、異常に厚い地殻が発見され、フェロー海台玄武岩の下に大陸基盤が存在するという説が支持された (Bott et al., 1974; Bott and Gunnarsson, 1980)。その後、海嶺沿いのいくつかの地殻研究 (例: Staples et al., 1997; Richardson et al., 1998) は、基本的に当初の結論を裏付けている。北大西洋の進化に関するレビューの中で Storetvedt and Longhinis (2011) は、アイスランドはフェロー諸島と同様に、新第三紀の火山岩に覆われた厚い大陸地殻で構成されており、その後、後期白亜紀～古第三紀のいくつかの剪断帯によって切断されていると結論付けた。この解釈では、レイキャネス海嶺とアイスランドを通る構造断層帯は左横ずれ断層帯となり、Storetvedt (2003/23), Storetvedt and Longhinis (2011) およびその参考文献と一致する。

北ヨーロッパ、アイスランド、グリーンランドの地殻厚の集計図 (Artemieva and Thybo, 2008, 多数の参考文献を含む) - 図 11 は、レンチテクトニクス理論の基礎を形成する脱ガスに関連した地殻の薄化/海洋化モデルの特徴的な例を示している。大陸地殻の剥離と化学的変化は、海洋モードに向かって、急激ではなく漸進的/拡散的である可能性が高い。したがって、バルト楕状地と中央グリーンランドの地殻は、最も深い薄い地殻のノルウェー海に向かって徐々に薄くなっており、図示された深海セグメントは、遍在する直交断層ネットワークの形状をしている (Scheidegger, 1963, 1985, 1995)。同様の緩やかな地殻発達にはグリーンランドでも明確に観察され、そこでは地殻の中央にキール状の隆起部が存在する。さらに、大西洋を横断するスコットランド・グリーンランド海嶺は、30～40 km の厚さの地殻を有しており、この海嶺を特徴

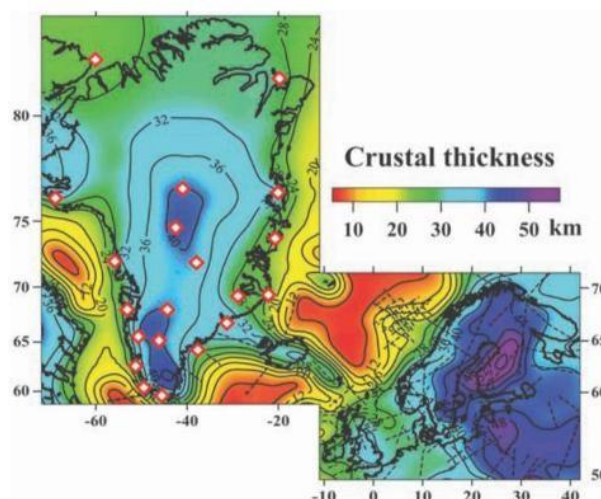


図 11 北ヨーロッパ、アイスランド、グリーンランドの地殻厚分布。Artemieva and Thybo (2008)による編集。グリーンランドの地震観測所は赤いひし形で示されている。スコットランド・グリーンランド海嶺の厚い地殻と、グリーンランドの竜骨状の地殻に注目。後者は隣接する海洋域に向かって徐々に薄くなっている。

づける特徴のない大陸性磁気異常帯 (Maus et al., 2008) は、その大陸性という性質をさらに裏付けている。したがって、浅いスコットランド・グリーンランド海嶺は、もともと厚かった大陸地殻の残骸であり、北アメリカとヨーロッパ間の生物移動のための陸橋であったと結論付けられる。

憶測に基づく場当たり的な迂回に頼らない限り、北大西洋における海底拡大は物理的に不可能となる。率直な解釈が常に最も信頼できる。プレートテクトニクスが現在のように深い社会科学的基盤を得ていなかったら、現代の技術はあらゆる場所で地殻の薄化/海洋化の過程を明らかにしていただろう。地球の比較的脱ガスされていない状態では、地殻は明らかに熱化学的に安定していない。秘訣はプレートテクトニクスの幕の裏にある自然の表現を見ることだが、地球科学的な洞察はゆっくりと進展している。このように、Mortimer et al. (2017) は、拡張されたニュージーランド (ジューランドと名付けられた) からの岩石証拠と地球物理学的地殻研究をまとめた中で、「さまざまな地球科学データセットを要約および再評価し、南西太平洋のかなりの部分が連続した大陸地殻の広がりによって構成されていることを示している」。彼らは、仮説上の Gondwana 大陸の以前の部分は現在「94% が水没しており、その主な原因は後期白亜紀の広範囲にわたる地殻の薄化である...」と結論付けている。さらに、地殻の減衰/海洋化モデルとより調和して、著者らは「ジューランドの地殻の大部分は、ほとんどの大陸に典型的な 30～46 km よりも薄いのに対し、上記の研究は、それがどこでも海洋盆地の約 7 km の厚さの地殻よりも厚い

ことを示している」と述べている。

今日の事実に基づく根拠は、プレートテクトニクスが革命的な登場を果たした 1960 年代よりもはるかに強固なものとなっている。「新しい地球規模のテクトニクス」は、Tuzo Wilson がトランスフォーム断層とウィルソンサイクルという 2 つの新しい概念を導入したことで大きく推進された (Tuzo Wilson, 1965; 1966)。Tuzo Wilson (1992) が最終的にプレートテクトニクスを否定し、全く新しい地球物理学的・地質学的パラダイムの必要性を主張した後も、ウィルソンサイクルは明確な内容を持たない一般的な用語として生き続けており、この包括的な概念の下ではあらゆるものが受け入れられているように見える。奇妙なことに、(地球) 科学は、後の研究で当初の前提に重大な誤りがあった可能性が示されたとしても、過去の誤りを正すことができないように見える。しかし、時が経つにつれ、当初のプレートテクトニクスに関する仮説は深く根付いた教義となり、その上に仮説的な場当たりの装飾が着実に積み重ねられてきた。このような状況では、過去の誤りを再検討することは非常に困難である。

最初の重要なテスト

—非現実的なほど高い期待を持って

1960 年代後半までに、世界の海洋の広範囲にわたって、磁気年代等時線が確立されたと推定された。しかし、磁気法は検証されていない一連の仮定に基づいていたため、基盤岩の年代をより直接的に確認する必要があった。1968 年に開始された深海掘削計画 (DSDP) は、すぐにこれらの目標に向けられた。目的は、基盤岩まで海洋堆積物を採取することであった。結晶質地殻のすぐ上の堆積物の古生物学的年代測定によって、磁気法に基づく基盤岩の年代が検証されることが期待された。この重要なテストのために、南緯 30 度の横断線が選ばれた (DSDP 第 3 航海, 地点 14-21)。8 地点からの結果は、すぐに海底拡大モデルを裏付けるものとして称賛された (Maxwell et al., 1970)。図 12 は、南大西洋 DSDP 地点の分布を示しており、(a) は、海嶺の頂上からの距離の増加に対する基盤岩の推定年代の公表されたプロットを示している。

しかし、時間をかけて得られた結果を地点ごとに批判的に研究した人々は、提出された年齢/距離グラフが不正なものであることを認識するだろう (Storetvedt, 2023, p. 89-94 参照)。公表されたほぼ完璧な直線グラフは理想化されすぎていて真実とは思えず、何か不正が企てられていた。しかし、船上報告書によれば、結果は海洋磁場異常の研究 (例: Dickson et al., 1968; Heitzler et al., 1968) と一致していた。ほとんどの人は結論を無批判に受け入れたようだが、一部の人は暗黙のうちにその欺瞞に気づいていたに違いない。その後、南大西洋の同じ測線に沿って追加掘削が行われたが、これらの結果を明確にする手

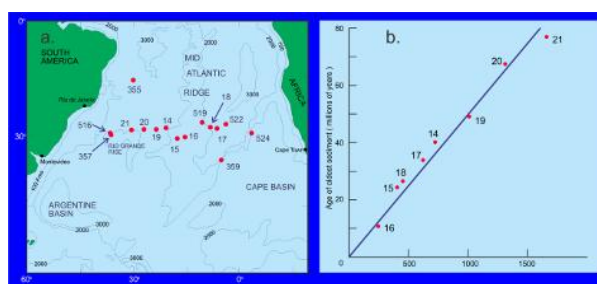


図 12 図 a) は、海底拡大モデルと Vine-Matthews 年代推定仮説を検証しようとした南大西洋における DSDP 地点の分布 (第 3, 第 39, 第 72, 第 73 航海) を示している。図 b) は、第 3 航海で発表された基盤岩の年代と距離の関係 (Maxwell et al., 1970) を示しているが、この図は観測結果と一致しなかった。その後の試みでも期待は満たされなかった (Storetvedt 2003/232、図 2. 12 参照)。

がかりは得られなかった (DSDP 第 39, 72, 73 航海。図 12a 参照)。この出来事について率直に意見を述べた人物の一人が、John Haller 教授 (ハーバード大学) である。1977 年秋にベルゲンで行われた客員講演で、Haller 教授は DSDP 第 3 航海の結論を明白な科学的不正行為の例として挙げ、ベルゲンの聴衆に衝撃を与えた。しかし、プレートテクトニクスによる大規模な地殻変動がまさに進行中だったため、個々の警告は聞き入れられなかった。第 3 航海の船上科学者たちは、間違いなく追い詰められた状況に置かれていた。彼らは明らかに、自らの目で確かめるために海に出たのではなく、既に「受け入れられている結論」を裏付けるという強い圧力に身を任せていたのだ。

1969 年春、ニューカッスルにあるキース・ランコーンの NATO 高等研究所 (私も出席していた) での会議で、掘削船グロマー・チャレンジャー号から海底拡大説が裏付けられたことを知らせる電報が届いた。会議では、この知らせに喝采が送られた。そしてその後も、歓喜のムードは続いた。例えば、広く読まれている教科書『地球の内部』の中で、Martin Bott (1971, p. 220) はプレートテクトニクスを無批判に受け入れたが、発表された第 3 期掘削図 (図 12b) に対する彼の過剰な称賛は全く根拠のないものだった。南緯 30 度の断面にある掘削地点はどれも基盤岩に到達したようには見えず、堆積岩内部の貫入岩にしか達していなかった。Storetvedt (1997, p. 96-103) は、第 3 期掘削地点で遭遇した堆積岩内部のマグマ活動のパルスについて批判的な要約を与え、その年代はそれぞれ約 4,500 万年前, 6,500 万年前, 9,000 万年前と推定した (Storetvedt, 2023, p. 93 参照)。Bott は地震学者であり、そのため彼の専門分野は、プレートテクトニクスが構築された地球物理学の分野とはかけ離れていた。

第 3 航海で最も予想外の結果は、海洋横断断面のすべ

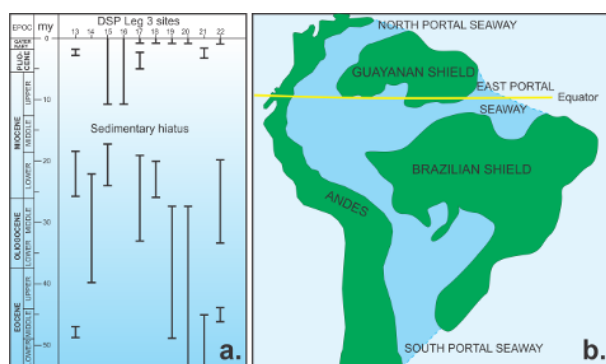


図13 図(a)は、DSDP 第3航海で明らかになった顕著な大洋横断堆積休止を示しており、ここでは南大西洋地殻の隆起とそれに伴う侵食および/または堆積停止の主要段階として解釈される。比較として図(b)は、南米を横断する同時期の海進路を示している (Webb (1995) を若干修正)。

でのボーリング孔に後期中新世の堆積物が見られなかったことだろう。これは侵食や無堆積によるものと考えられる。海洋全体にわたって堆積層が一貫して存在しないことは、海底拡大モデルにおける難問である。定常状態の海底進化の場合、時間の経過とともに系統的な冷却に伴う地殻沈降が起こり、水深の増加に伴って堆積層が徐々に厚くなるのが予想される。しかし、これは観測結果とは矛盾していた。第3航海の横断断面で後期中新世の堆積物が一般的に欠如していたことに加え、グランデ海膨(地点21)における中新世およびそれ以降の堆積物は、その地域の先中新世の地層よりもかなり浅い水深で堆積していた。これは、後期中新世に南大西洋全体が隆起したことを示しており、中央大西洋海嶺の隆起はわずか数百万年前のものであり、大陸山脈を隆起させたのと同じ地球規模の脈動の一部である可能性があるという van Andel and Bowin (1968) の結論と一致している

(Storetvedt, 2015; Michaelsen and Storetvedt, 2023 も参照)。この解釈と調和して、低地の大陸は浅い大陸棚海によって浸水するはずである。例えば、図13は、第3航海の欠落した後期中新世の堆積物(図a)が南アメリカの広範囲にわたる浸水(図b)にどのように対応しているかを示している。第3航海の初期報告書で報告されたように、堆積物の厚さは堆積物の年代と単純な関係はなかった。したがって、最も新しい基盤岩が示唆された掘削孔で堆積層の厚さが最も厚く、最も古い基盤岩が想定された掘削孔で堆積層の厚さが最も薄い(地震探査で確認された基盤岩より上)ことは、矛盾していると考えられた。初期報告書ではさらに、「最上部の地層の下の堆積物の性質は、掘削地点の現在の深度と単純な関係はなく、各地点で堆積環境が時間とともに変化していることを示している。逆説的ではあるが、現在の海洋深度が最も深い掘削地点の堆積層は、平均炭酸カルシウム含有量が最も高い」と

述べられている。したがって、このような不可解な観察結果は、海底拡大モデルの文脈においてのみ問題となる。代わりに、第3航海で掘削孔のいずれも基盤岩に到達しなかった可能性、そして遭遇した玄武岩が堆積岩内部の貫入または噴出であり、その火成岩層が海洋全体に影響を与えたテクトニクス・マグマ活動の産物であると仮定すれば、回収された物質の解釈ははるかに単純になるだろう。想定されていた海底拡大の歴史は、海水準変動と同期した深海地殻の振動的な発達に置き換えられ、それによって地球の脈動的な挙動のスナップショットを表すことになる。

問題は新たなピークに達する

海底拡大説によれば、中央海嶺に沿った地殻は過去数百万年の間に形成された。この仮説に基づけば、海嶺頂部の玄武岩から得られる古地磁気傾斜角は、現在の軸双極子磁場(PADF)の傾斜角と一致するはずである。もし深海掘削試料の古地磁気測定によって、このような理論との一致が確認されていれば、拡大説を強く支持する証拠となったであろう。そのため、中央大西洋海嶺軸付近の玄武岩に対して包括的な古地磁気テストが実施されました(DSDP 第37, 45, 82航海)が、ごくわずかな例外を除いて、調査されたさまざまな基盤岩セクションは、対応する基準磁場よりもかなり浅い残留磁化傾斜を特徴としている。最も詳細な地質学および地球物理学的情報は、北緯37度の中央大西洋中央谷の西側斜面に沿って掘削された第37航海から得られている。1975年5月から6月に実施されたこの掘削航海(初期報告書は1977年に発行)には、4つの掘削地点(332~335)が含まれており、そのうち332と333地点は「海底拡大流線に沿って掘削された」とされている。当時、プレートテクトニクスの用語は海洋地殻研究に深く根付いており、海底拡大説に疑問を抱くことなど考えられなかった。第37航海(および中央大西洋海嶺沿いの他の同様の深海掘削キャンペーン)の主な目的は、a) Vine-Matthews モデルの最終的な確認を得ること、b) モデルの岩石学および磁気的特性を確認することであった。しかし、得られた結果は予想とは大きく異なっていた。

図14は、DSDPの37, 45, 82レグが中央大西洋の海嶺上に分布していることを示しており、後期白亜紀と古第三紀の古赤道が交差している。古赤道は、もともと Wegener (1929) が古気候に基づいて記述し、後に古地磁気データ (Storetvedt, 1990, 2023) によって裏付けられたものである。通常の科学的状況下では、これらの掘削キャンペーンは Vine-Matthews モデルの決定的なテストとして機能したであろう。しかし、すでに定着した考えを、すでに当然のこととされているときに、どのようにテストできるだろうか。仮説によれば、上部海洋基盤は、

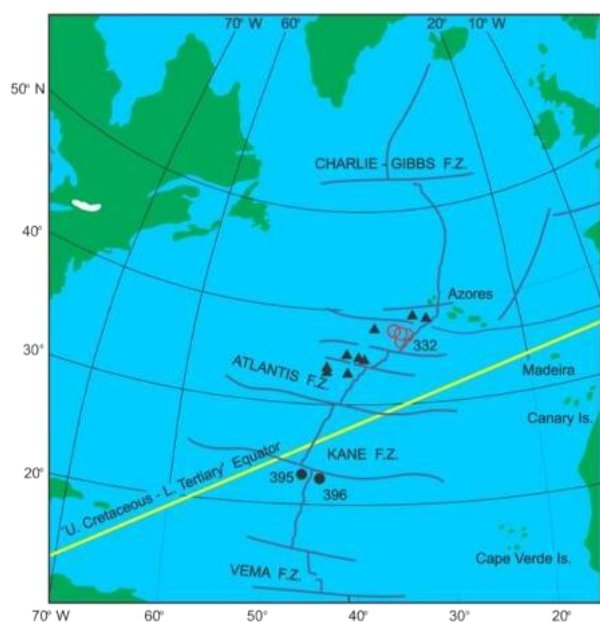


図 14 は、Vine-Matthews 仮説を検証する目的で中央大西洋海嶺に設定された DSDP 観測地点を示す。白丸は第 37 航海 (地点 332~335)、黒丸は第 45 航海 (地点 395 および 396)、黒三角は第 82 航海 (地点 556~554) を示す。測定された古地磁気傾斜角との比較のため、後期白亜紀~古第三紀の赤道は黄色の線で示されている。検証結果は不成功に終わった。

過去数百万年の間に変化する地磁気極性のテープレコーダーのような役割を果たし、それによって中央海嶺から広がる新しい海洋地殻の年代を特定できる。この仮定に基づくと、頂部帯の古地磁気傾斜は、緯度に依存する現在の軸地心双極子磁場 (PADF) の傾斜と一致するはずである。第 37 航海 (Aumento et al., 1977) では、最も詳細な岩石学および磁気学的情報が得られた。これは、サイト 332 B で海洋基盤に最大 583 m まで掘削したものである。ごくわずかな例外を除いて、調査されたさまざまな基盤セクションは、予想値よりもかなり浅い残留磁化傾斜によって特徴付けられている。第 37 航海のサイトでは、PADF は約 $\pm 56^\circ$ であるが、測定された残留磁化傾斜はわずかに $\pm (10\text{-}30^\circ)$ の範囲である。第 45 航海 (北緯 23 度) では、PADF は約 $\pm 40^\circ$ であるが、安定傾斜のヒストグラム (Johnson, 1979) は、海底拡大モデルが予測するよりもはるかに浅くなっている。それどころか、測定された傾斜角は、図 14 に示す後期白亜紀~古第三紀の古赤道の向きとよく一致している。つまり、古地磁気データが元のものか再磁化されたものかに関わらず、大西洋中央部の地殻は若いものではなく、少なくとも後期白亜紀には存在していた。おそらく、中央大西洋はもともと厚い大陸地殻に覆われており、それが広範囲にわたる薄化と岩石学的変質を受けてきたと考えられる。この過程は後期白亜紀に加速した。

北/中央大西洋海嶺の掘削結果を記述したレビュー記

事の中で、第 37 航海の主任科学者である Hall and Robinson (1979) は次のように書いている。「北大西洋の 15 地点で行われた R.V.グロマー・チャレンジャー号による海洋地殻掘削により、地殻上部 500 m の複雑な状況が明らかになった。その状況には、線状磁気異常の原因がなく、火山活動の顕著な断続性、遍在する低温変質、大規模な地殻変動の証拠などが含まれる」。重要な古地磁気傾斜角の問題を除けば、その他の注目すべきモデルの複雑さは次のように要約できる。

- * Vine-Matthews モデルの根幹をなす、化石磁気極性が交互に変化する垂直かつ均一に磁化された地殻ブロック (シート状岩脈) は発見されなかった。

- * 磁気異常の原因となる古地磁気的な要因も観測されなかった。測定された磁化強度は弱く、観測された磁場異常を古地磁気的な特徴として説明するには不十分であった。

- * 溶岩流と深成岩塊は、拡大モデルにおける単純な貫入ブロック系 (シート状岩脈) とは対照的に、全く非系統的な挙動を示した。

- * 岩石の種類と層序に関して、第 37 航海における結晶質基盤岩には、いかなる形態の横方向の連続性も認められなかった。

- * いくつかの状況から、地殻の形成は断続的で地質学的に不規則であり、拡大モデルが想定するような単純で途切れのないものではなかったことが示唆された。

- * 第 37 航海域で測定された熱流量は、世界的に見ても極めて低く (0.6 HFU)、拡大モデルが想定する値よりも桁違いに低かった。

DSDP 第 37 航海の岩石のハイライトは特別なケースを表しているわけではない。岩石の年代の多様性、構造の複雑さ、変成度のばらつきは、中央大西洋海嶺沿いの特徴である。たとえば、Pilot et al. (1998) は、中央大西洋海嶺の下に露出した斑れい岩から古生代と原生代の U-Pb 年代を報告した。これらの古代の岩石は、元の大陸地殻のその場での変成の残骸であるという最も単純で現実的な説明を考慮する代わりに、著者らは複雑なプレートテクトニクスを多用した提案を提示した。しかし、海洋のさまざまな深さには、吸収されていない大陸の嶺や台地が数多く存在する。たとえば、アゾレス諸島のすぐ北、大西洋中央海嶺の東の広い地域では、1800 年代後半から海山から前期古生代の化石を含む堆積物が繰り返し回収されている (Furon, 1949 など)。同じ地域で、北緯 45 度、中央渓谷の西 60km にあるバルド山では、Aumento and Loncarevic (1969) が急斜面から変成玄武岩と未変成玄武岩の組み合わせを回収したが、バルド山のより大規模な部分からは、得られた 84 のサンプルのうち約 75% が砂岩、石灰岩、片麻岩、花崗岩、花崗閃緑岩、グラニュライト、角閃石の多様性であった。Yano et al. (2009) は、大西

洋地殻の 42 か所から採取された古代の岩石と大陸岩石について記述している。

熱流量の問題に関して、すべての理論的な伝導冷却モデルは、海嶺部に沿って非常に高い熱流量、約 6.5 HFU (1 HFU=1cal cm²s⁻¹) を予測している (例: Sleep, 1969; Davis and Lister, 1977)。対照的に、多くの測定値は予測値から大きく乖離している。一般的に、海嶺の頂上では熱流量の値に非常に大きなばらつきが見られ、近くには主に低い値が多い中で、局所的に高い値が存在することになる。平滑化された平均値は、平均盆地平均値 (約 1.3 HFU) に非常に近く、理論モデルで予測される値よりもはるかに低い値である。Lister (1980) によると、海嶺部の温度低下は、特に平坦な底を持つ中央谷、つまり拡大モデルによれば最も高温になるはずの場所で発生する。一方、温度上昇 (存在する場合) は、隣接する起伏の多い地形の領域内、そしてしばしば急峻な断層崖付近に位置する可能性がある。脱ガス地球理論では、局所的に熱流束が上昇するのは、目立つ断裂帯や横ずれ断層運動による地殻分裂の煙突で自然に起こる。海洋熱流束分布の典型的な例として、図 15 は Rona (1980) がまとめた中央大西洋のデータに DSDP 第 37 航海の測定値を加えたものである。中央海嶺と海洋の残りの部分との熱流束にほとんど差がないことが容易にわかる。北緯 19.5 度と南緯 8.5 度における 2 つの大西洋横断熱流プロファイル (von Herzen and Simmons, 1972) は、この全体像を強調している。散在するいくつかの高い値を除いて、2 つのプロファイルは、約 1 HFU を中心とする、主に平坦で低い熱流束を示している。海洋からの低い熱流量値は継続的に報告されている。たとえば、南インド洋を横断する DSDP Leg 26 では、5 地点で確立された熱流量値は次のとおりである。モザンビーク海盆の東で 0.7、ナインティ イースト海嶺で 1.35 と 1.27、ワートン海盆で 1.10 と 1.38—そして、海底拡大年代とされるものとの傾向は見つからない (Hyndman et al., 1974)。教科書で中央海嶺が赤色 (暖かい) で示されている場合、これは科学的捏造の良い例である。

科学理論がいったん定着すると、その根本的な問題点が無視されるか、あるいは全く見過ごされるというのは、まさに逆説的である。実際、「広く受け入れられている」仮説に反して) 否定的な結果となった重要な検証は、通常、異常な逸脱として無視されるか、あるいは不当な場当たり的な解釈にかけられる。自然を説明する上でモデル自体が不十分である可能性については、ほとんど考慮されない。残念ながら、「最初の前提の妥当性を検証する代わりに、興味深く見えるが真実ではない、あるいは無関係な数式を延々と導き出すのはあまりにも容易である」(Ziman, 1978)。以下では、100 年前に遡り、1950 年代に始まり、10 年後のプレートテクトニクス革命の序曲となっ

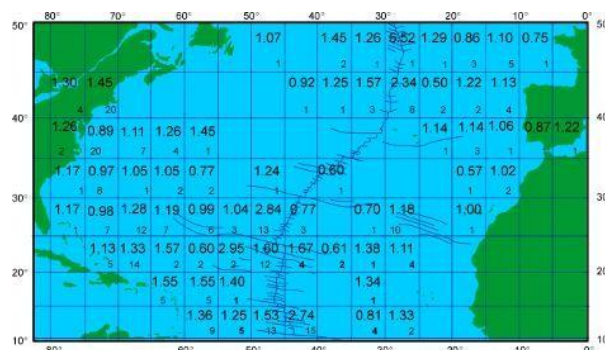


図 15 中央大西洋の熱流量 (HFU) マップ。Rona (1980) に基づいて作成・簡略化され、第 37 航海の観測データが追加されている。各区画内の下側の数字は観測数を示す。

たものの種を探ってみよう。しかし、この革命は地球科学の基盤を揺るがす結果となった。

振り出しに戻る

現代の地球科学において、Alfred Wegener は 20 世紀で最も先見の明のある革新者とみなされている。しかし、彼が大陸移動説を提唱した 1915 年頃は、反応はまちまちだった。肩をすくめたり、冗談を言ったり、激しい反論もあったが、真剣に議論されることはほとんどなかった。Ursula Marvin (1985), Homer Le Grand (U988), Naomi Oreskes (1999) は、この仮説がほぼ満場一致で否定的に受け止められた経緯を歴史的に記述している。戦争中から地質学文献を見ると、大陸移動説がいかに感情的で科学的に表面的な反応しか示されなかったかが印象的である。ほとんどの地質学者や地球物理学者にとって、大陸移動はあり得ないことだった。それは地質学における異質な要素であり、何よりも、その原動力が不明だったのだ。プレートテクトニクスが包括的な理論となっている今日の地球科学においても、その原動力となるメカニズムは未解決の問題として残っている。しかし、プレート、プレートレット、大陸ブロックの移動が今や当然のこととなり、想定される動きが物理的およびその他の制約を受けないように見えるため、「障害」を回避/除去するための場当たり的な提案は、科学の進歩に必要不可欠とみなされている。つまり、答えが与えられた以上、自然はそれに応じて適応しなければならない、ということである。

Wegener には熱心な支持者も数人おり、その中で著名な南アフリカのフィールド地質学者 Alexander du Toit が主導的な役割を果たした。以下では、大陸移動説の疑わしい主張と反証について概説する。奇妙なことに、今日でも同じ問題が未解決のままだが、誰も気かけず、観察的および運動学的パラドックスに時間を費やそうとしない (Gregori, 2025, NCGT Journal の 6 つの別々の号も参照)。したがって、教育においては、学生は主題について極めて単純化され、批判的ではない見解を身につける可

能性が高い。1950年代半ば以前、大陸移動説は、地球に関する従来の概念とは劇的に異なっていたため、日常的な関心を維持した。さらに、「聴衆の成功」もあった。PR効果は、科学においても他の人間の活動と同様に重要であることは明らかである。

極移動と緯度依存古気候帯のシステム

Wegener は主に気象学者であったが、地球規模の古気候学、特に古生代初期以降の赤道帯の断続的な変化にも強い関心を持っていた。彼の時代には、北半球の大陸は顕生代の大部分を通じて熱帯から亜熱帯気候であったが、相対的な熱帯帯は南に移動していたことが広く認められていた。そのため、ヨーロッパでは、熱帯帯は前期古生代のスピッツベルゲン島/北極圏から、ペルム紀～石炭紀の中央ヨーロッパを経て、古第三紀の地中海南部へと変化したのである。これは、新第三紀になってもスピッツベルゲン島と北グリーンランドは豊かな陸上植生を特徴とする温暖な中緯度地域であったことを意味し (Wegener, 1929), 一方、対応する北極はアリューシャン列島の西部に位置していた。その後、中期第三紀頃に赤道が現在の相対位置に移動し、地球の現在の空間的な向きがほぼ確立された。この地球の空間的な変化 (真の極移動) の後、北極と南極の両地域は先カンブリア時代以来初めて極地となった。残念ながら、Wegener はこの重要な点を無視した。彼は南半球大陸の気候と生物地理学的証拠の扱い方について独自の考えを持っていた。

しかしながら、Wegener 自身の言葉によれば、「ヨーロッパでは熱帯から温帯へ、スピッツベルゲンでは亜熱帯から極地へと、この巨大な気候の変化は、極と赤道の移動、ひいては気候の帯状システム全体の位置の変化を即座に示唆する。実際、この示唆は、同じ時期に南アフリカで起こった、同じくらい大きい正反対の気候変動によ

って、必然的に裏付けられる」。さらに彼は、「これらの完全に検証された事実は、極移動以外の説明を許さない。我々はこれについてさらに別の検証をすることができる。スピッツベルゲンと南アフリカを通る子午線が最大の気候変動を経験したとすれば、東経 90 度と西経 90 度の 2 つの子午線における同時変化はゼロか、あるいは取るに足りないものであったはずであり、実際その通りである」 (Wegener, 1929/66, p. 127-128) と付け加えた。図 16 は、Wegener の記述による古赤道配置を示している。上記で議論した北米大陸上部地殻の後期白亜紀から古第三紀にかけての南西方向への約 25° の回転 (図 2 および 3 参照) を、カナダ北西部のオイラー極を中心に補正すると、大陸の再配向は Wegener の古赤道システムとさらに良く一致する。Wegener の古気候に基づく極移動経路は、後に広範囲にわたる古地磁気評価 (Storetvedt, 1990) によって確認されたが、Wegener (1929) の「スピッツベルゲン-ケープタウン線」がわずかに西にずれてグリニッジ子午線平面に移動している点が異なる (Michaelsen and Storetvedt, 2023 の図 4b 参照)。

Wegener の帯状古気候システムでは、中期古生代 (デボン紀～前期石炭紀) の極はナミビア北部沖に位置し、後期古生代 (後期石炭紀～ペルム紀) の極は南アフリカの南西にやや位置し、前期古生代の極は北西アフリカに位置する。西サハラにおける後期オルドビス紀の極氷河作用は、現代の地質学的研究 (Tucker and Reid, 1973; Ghienne, 2003; Le Heron et al., 2007; Le Heron and Howard, 2010) によって裏付けられており、当時の地球の空間的方向に関する Spjeldnaes (1961) の見解と概ね一致している。さらに、大陸が現在の相対的な位置関係を維持しつつ、Wegener の極移動経路 (地球の空間配置が現在の太平洋方向へ徐々に移動していくという経路) を受け入れるならば、南極大陸から得られた明らかに不穏な古気候の証拠は、単純明快な説明で説明できるだろう。つまり、北極圏と南極大陸は類似した古気候史をたどってきたということになる。古生代の極軸はアフリカ大陸を通過していたが、極地の気候条件は大陸の北西部から南部へと変化していったのである。Wegener と後に Storetvedt の両者によると、先カンブリア時代以降の漸進的な極地移動経路の最終段階は、緯度にして約 35 度に及び、第三紀中期頃に起こった。図 17 は、この動的な出来事を現代の化石に基づいて示したもので、その後、南極大陸は先カンブリア時代以来初めて極地となった。

顕生代の間、地球はグリニッジ平面付近で太平洋方向へ約 90 度の空間移動を行った。Wegener の気候に基づく極移動経路を参照すると、後期古生代の相対極は南アフリカ付近にあり、そこは当時も現在も主要な氷河の中心地と考えられている。したがって、南極大陸が現在の地理的位置にあるとすれば、その「ペルム紀」の古緯度は温

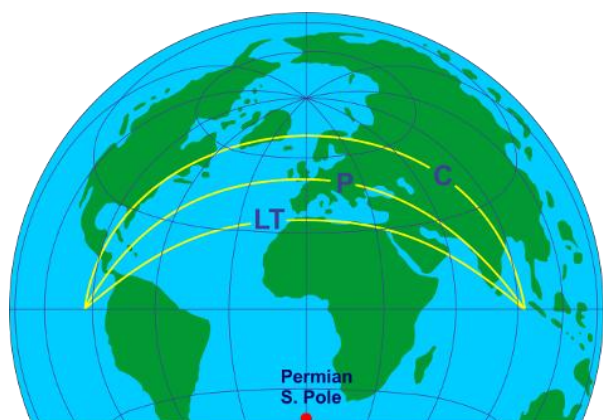


図 16 古気候に基づいた 3 つの異なる時代 (石炭紀-デボン紀 (C)、ペルム紀 (P)、後期白亜紀-古第三紀 (LT)) の赤道。Wegener (1929/66) の記述に基づいて描かれている。ペルム紀の南極は赤い記号で示されている。

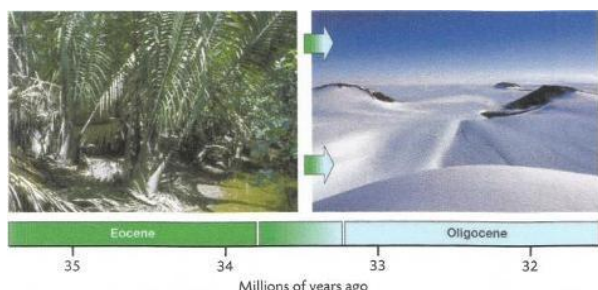


図 17 始新世-漸新世境界付近で南極大陸で発生した主要な気候変動の図解 (Elderfield, 2000). 地球が太平洋方向へ緯度方向に 35° 反転したこの間 (Storetvedt, 1990, 2003/2), 南極大陸と北極大陸の両方が極地となった.

暖な中間から熱帯の気候条件に相当する (図 18). これは, Wegener の時代にすでに確立されていた化石気候の根拠と一致する (Tingey, 1991 年のレビュー記事を参照). 地質時代の地球規模の一次気候区分が, 古気候学者や古生物学者をほとんど関与させていないのは奇妙なことである. しかし, 北極圏と南極大陸の気候変動が類似していたという証拠は, 少なくとも 1 世紀前から存在しており, 前期古生代の熱帯性および/または亜熱帯性気候から, 古第三紀の全体的に温暖な中間気候へと変化し, その後, 第三紀中期には極地性気候へと顕著に移行した. このように, Heer (1868-1880) は, 現在の北緯高緯度地域に分布する豊かな下部第三紀の植物相を詳細に記述し, それらを温暖な温帯気候に関連付けた. Heer の古植物学的結論は, 当時の北極をアリューシャン列島地域に, それに伴う古赤道は現在の地中海の南縁に沿っていたとする Köppen and Wegener (1924) のより広範な証拠と一致していた (Pomeroy, 1982).

図 19 は, プレートテクトニクス以前の時代に想定されていたデボン紀の熱帯帯を, おおよそ大円として示しており (Schwartzbach, 1963), それに対応する南極点はナミビア北部沖に位置している. 南極大陸が現在の地理的位置を維持すると仮定すると, Schwartzbach の古赤道の延長線は南極大陸を横断することになり, これは大陸の化石証拠と一致する.

さらに最近では, 南極大陸縁辺部のプリズ湾で掘削を行った ODP 第 119 航海において, デボン紀のものと思われる厚い赤色層から浅い古地磁気傾斜角が得られた (Keating and Sakai, 1988). 赤色層の存在と, それらがほぼ水平な残留磁化傾斜角を持つことは, 化石の証拠, すなわち南極大陸が中期古生代に (亜) 熱帯気候であったという証拠と一致する. さらに, Wegener が北半球を基準として提唱したペルム紀の赤道 (図 16) を拡張すると, インドとオーストラリアを通過し, さらに南極大陸を横断 (またはその近傍) することになる. これは地球規模の古気候システムの「第一近似」的な概略図となる. しかし

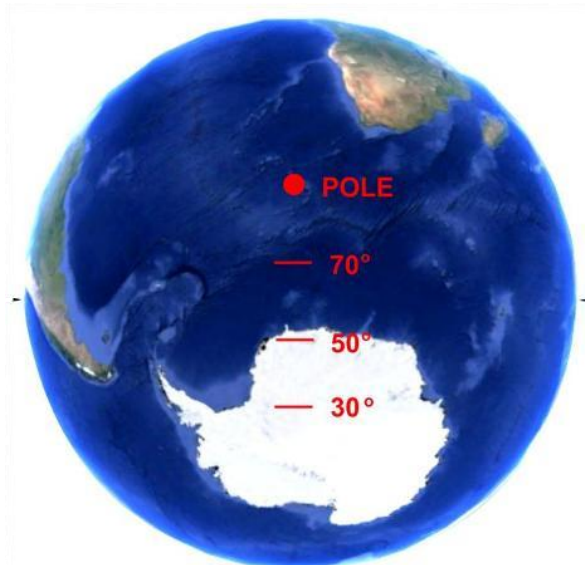


図 18 図 16 の古地理上の極を起点として, ペルム紀の南極大陸の緯度状況を示しており, 大陸は現在の地理的位置にある.

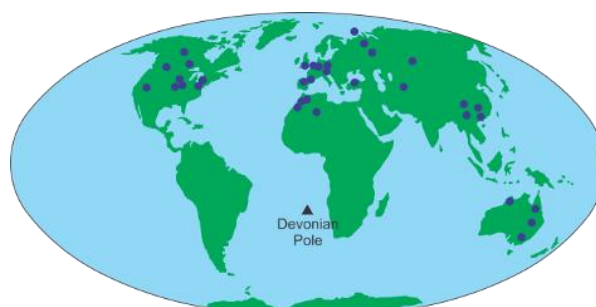


図 19 熱帯・亜熱帯の赤色砂岩, 蒸発岩, 温暖な化石を含む浅海堆積物に基づいて, Schwartzbach (1963) は最適なデボン紀の古赤道を確立した. この熱帯帯は南極大陸上を通過するため, 大陸の化石証拠と一致する. 関連する極の位置 (三角形) はナミビア沖にある.

Wegener は, 特定の植物相と気候の要因から, 彼が確立した極移動現象に加えて, インドと南半球の大陸が統一された実体であったことを示唆していると信じていた. しかし, この仮説上の統一は, 最初からつまづいていた.

古典的な事実と複数の仮説

Alfred Wegener が地球科学の分野に参入する以前は, 地球規模の地殻構造地形学は Eduard Süss の壮大な見解によって支配されていた. 彼は, 世界中の地質情報を統合した 4 巻からなる論文『Das Antlitz der Erde』(Süss, 1883-1904)と, 英語版『The face of the Earth』(Süss, 1904-09) の中で, 19 世紀末頃にはほぼコンセンサスに達した移動理論を提示した. 地球の収縮に基づいた Süss の包括的な理論は, 断続的であった. つまり, 地殻構造地形学的に比較的平穏な期間が, 比較的短い期間の地球規模の変化によって中断され, これは以前の提案や, 地質年代尺度の蓄

積という認識の高まりと一致していた。Süss によれば、当初は地球表面全体を覆っていたと考えられていた大陸地殻は、熱収縮によって断片化し、一部は海洋の深部まで沈下した。大陸地殻と海洋地殻は組成的に類似しており、互換性があった。現在のインド洋と南大西洋周辺に見られる動物相の類似点や特異性は、かつて南半球に存在した巨大な古大陸、ゴンドワナ大陸の存在を仮定することで説明された。この仮説上の陸塊の大部分が地殻変動によって分裂し、水没した後（熱収縮の結果）、かつての超大陸はより小さな単位に分割された。このシナリオは Wegener に大きな影響を与えたに違いない。

しかし、大陸上の海洋堆積物が一般的に浅い水域に堆積したという証拠が増えるにつれ、この地殻変動モデルは深刻な疑問にさらされるようになった。それでもなお、このモデルは2つの顕著な地質学的事実を説明することができた。1) 海洋が徐々に大陸から後退していく（漸進的海退）は、沈下する海洋盆地への排水によって達成されたこと、2) 現在分離している陸地間の動物相の類似性は、古大陸の大部分が地殻変動によって乱されて沈下し、その結果、陸上の動植物の移動を阻む海洋障壁が生じたことと仮定することで説明できる。しかし、大陸地殻の縮小・沈降によって、海洋を横断する大陸間のつながりが影響を受けずに残されたと考えるのは容易だった。これが、古生物学者の間で広く受け入れられていた「陸橋」理論の基礎であり、比較的最近の地質時代における陸地間の生物の移動経路を説明するために用いられた。Süss の世界観では、テチス海は長く浅く、比較的狭い大陸内海であり、かつて地中海、東南アジア、カリブ海を結び、古大陸の北部と南部を隔てていたと考えられていた。

褶曲帯の大規模な方向に関する研究は、19世紀後半に大きく進歩し、地殻軸は地球上で大円に沿っている傾向があることがわかった。Süss の見解に基づき、Bertrand (1887) は、ヨーロッパの巨大地殻帯（カレドニア、ヘルシニア、アルプス）が、北米/中央アメリカ東部で西に続いていると結論付けた。大西洋を横断する部分は、地殻変動によって沈降した北大西洋地殻によって隠されていた。Süss によれば、海洋は長い間、陸地面積を犠牲にして着実に拡大してきた。しかし、世紀転換期の重力測定は、主要な地表地形のアイソスタシー補償の原理を概ね裏付けた。その結果、海洋地殻は大陸地殻よりも密度の高い物質で構成されていることが明らかになり、1896年の Henry Becquerel による放射能の発見と相まって、当時の主流であった地殻構造モデル（収縮とアイソスタシー）の妥当性について混乱が生じた。しかし、1800年代後半から1900年代初頭にかけては、地表の構造地形に影響を与える内部力に関する革新的なアイデアが数多く生まれた時代であった。例えば、Le Conte (1889) は、盆地山脈地帯（米国西部）が地殻のアーチ形成と伸張による断片

化によって形成されたとする一般化モデルを提示した。彼は次のように記している。「このアーチは、横方向の圧力ではなく、地殻下の液体の膨張によって引き起こされる隆起張力によって形成された」。後に Barrell (1914) は、外殻への垂直方向のマグマ浸透により、地殻下の軟らかい、あるいは塑性的なゾーン（彼がアセノスフェアと名付けたもの）が明確に定義される可能性は低いと推論し、Kober (1923) は褶曲帯の形成に関する概略的な新しい見解を示した。Kober の見解では、横方向の圧縮によって構造帯が上方に圧縮され、両側の衝上断層系が発達し、変形前の地殻核が露出した。

さらに、Barrell (1927) は、1919年に完成し、8年後に死後出版された論文の中で、生物学的同一性の問題は永久大陸の枠組みで説明できると示唆した。彼は、塩基性マグマが元の珪長質地殻に大量に注入され、地表火山活動によって満たされると、地殻密度（およびその負荷効果）が増加し、沈降が生じると主張した。Barrell は、特に北大西洋に残るいくつかの残存大陸セグメントを指摘し、彼の提唱した地殻変成と沈降のメカニズムが実際に作用していた可能性が高いと示唆した。彼は、深海盆地も同様の方法で形成されたものであり、生物地理学者が提唱する陸橋は、遅れて変質と沈降を経たかつての大陸地殻の残骸に過ぎないと結論づけた。脱ガスする地球という状況下では、化学的変質と大陸地殻の消失による地殻海洋化という Barrell の理論は、全く異なる視点から見ることができる（下記参照）。

19世紀末にすでに、Chamberlin (1897) は、地球型惑星は主にガスと岩石の塵粒子の混合物から形成されたと提唱し、従来の考えから逸脱した。その結果、地球は冷たい天体として始まり、放射性物質による熱発生が質量全体に分散したことにより、徐々に加熱されていったと提唱された。冷たいガスと微粒子からなる初期の地球は、少なくともその原始的な不均一性の一部を維持していた可能性があり、したがって、今日でも内部分化とそれに伴うガス放出の状態にあると考えられる。同様に、Hixon (1920) は、多くの地殻変動は惑星ガスの放出によって引き起こされるダイアピル現象であると示唆した。19世紀に発生した巨大な火山噴火、すなわちタンボラ山（1815年）とクラカタウ火山（1883年）の噴火は、この考えのきっかけとなった可能性がある。また、Ampferer (1944) は、地下のガス圧が垂直方向の地殻変動を引き起こす可能性を改めて主張した。最新の文献によれば、地球が完全にガスを放出していないという考えには長い歴史があることがわかる。地球の核が発見された当時（Oldham, 1906）、すでに地球の核にはある程度の密度不足があるのではないかと示唆されていた。近年では、Urey (1952) が、Pierre-Simon Laplace and Immanuel Kant (1700年代後半) および Chamberlin (1897) の古い見解を改めて主張し、地球と太

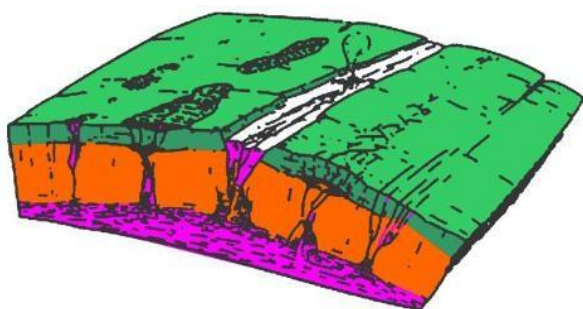


図 20 大陸地溝帯の発展に関する Hans Cloos のモデル (Cloos, 1939).

陽系の他の地球型惑星は、ガス（主に水素）と岩石元素の冷たい混合物からなる扁平な星雲円盤によって形成されたと説いた。Urey は、地球の核とケイ酸塩の殻への非常にゆっくりとした質量再編成と化学的分化は、不完全であり、したがってまだ進行中である可能性が高いと主張した。この不完全なガス放出こそが、地球の断続的なダイナモテクトニクス史の原動力であると考えられている (Storetvedt, 2003/23)。

Barrell の地殻変動理論は数十年にわたり影響力を持っていた。例えば、彼の多くの推論は Hans Cloos の大陸リフト盆地モデル (Cloos, 1939) に見られ、Vladimir Belousov の海洋化モデルも Barrell の考えに基づいている (Belousov, 1962)。図 20 は、隆起、火山活動、そして最終的には急勾配の直交断層ネットワークの 1 つに沿った沈降を伴うリフト盆地（地溝形成）の形成に関する Cloos のブロック図を示している。Cloos の図は、Barrell の海洋化モデルの初期段階と見なすことができる。さらに、この図は、Cloos が、道路の切り通しの小さな節理から大規模な横ずれ断層まで、あらゆる次元で発生する、基本的かつ遍在する直交岩盤不連続系に精通していたことを示している。Joseph Barrell と Hans Cloos の地殻モデルを組み合わせ、横方向に拡張すれば、平行な対向する縁を持つ海洋盆地が容易に得られるだろう。しかし、インド洋や太平洋のように大規模な海洋化が進んだ地殻の一部では、海岸線の平行性の原理は失われている一方、比較的狭い大西洋ではそれが維持されている。

Wegener の脱線

Wegener 自身によれば、1910 年に南大西洋沿岸の海岸線が幾何学的に一致していることに気づいたことが、彼が古地理学に興味を持つきっかけとなったという。関連する地質学および古生物学の文献をざっと読んだ後、彼は大陸間の生物交流を説明するために提唱されていた陸橋説に対して、すぐに批判的な姿勢をとるようになった。これらの海洋を横断する陸橋は、その後分裂し、様々な深さの海底に沈んだと考えられていた。

Wegener は、もともと熔融した地球がその後冷却と化学分化を経て鉄分に富む核と軽い花崗岩質の最上層が形成されたという伝統的な見解に固執していたため、沈んだ陸橋という考えは地殻均衡原理に反するものであった。しかし、もしそうだとすれば、海洋域の失われた花崗岩層はどうなったのか、また大陸地殻と海洋地殻の既知の密度差はどうなるのか。これらの問題を回避するため、Wegener は、薄い珪長質の殻が慣性力によって、より厚いが面積の小さい大陸塊であるパンゲアに何らかの形で結合したという仮説を立てた。この想定された超大陸はその後、慣性効果によって現在の大陸のパターンへと再編成されたとされている。しかし、同じダイナモテクトニクス力が地球の外殻にこれほど根本的に異なる結果をもたらした理由は未だ解明されていない。しかし、Wegener は 20 年以上にわたる著書や論文の中で、自身のパンゲア再構築（現在の大陸の再構築）によって、当時の地質学的、古気候学的、生物地理学的な諸問題を説明できると主張した。しかし、これは現実とは一致しない。なぜなら、彼のパンゲアは最初から深刻な問題を抱えていたからである。

Wegener の再構築は、多くの点で希望的観測に導かれていた。特に大西洋大陸間の地質学的「調整」に関してはそうだった。地質学は彼の専門分野である気象学や古気候学とはかけ離れていたが、彼は生物学や地質学の文献から、自身のパンゲア大陸の配置を裏付けられる情報を抽出した。しかし、アフリカと南アメリカの海岸線の類似性が、他のすべてを凌駕したように思われた。そこで、南大西洋を挟んだ地質学的類似性を考慮して、Wegener (1929/66, p. 77) は次のように記した。「それは、新聞の破片を端を合わせてつなぎ合わせ、印刷された線が滑らかに並んでいるかどうかを確認するようなものである。もしそうであれば、破片が実際にこのようにしてつなぎ合わされた結論付ける根拠は何も残っていない。」これは無意味な主張であった。なぜなら、彼の著書の最終版が出版される 2 年前には、すでに du Toit の地質学的議論 (du Toit, 1927) を受け入れており、変成相の違いから、2 つの大陸は当初 400~800 km 離れていたに違いない (Wegener, 1929/66, 図 18 参照) としていたからである。この距離推定は単なる空振りに過ぎなかった。Wegener 自身も、Keidel (1916) を参照してブラジル北東部に大陸の奥深くまで及ぶ大規模な直交断層パターンが存在することに驚いた (Wegener, 1929/66, 図 17)。図 21 は、アフリカと南アメリカ間の想定される横方向の移動以前の du Toit の南大西洋の概念と、ブラジル北東部の Keidel の直交断層系を示している。

Alexander du Toit のような経験豊富で著名な地質学者が、大陸地殻に遍在する直交断層と断層網を知らなかったと



図 21 南アメリカ大陸とアフリカ大陸の縁辺部における変成相の大きな違いから、du Toit (1927) は、両大陸間の当初の距離が最大 800 km であったと主張した。この地質学的修正に加えて、Keidel (1916) は、ブラジル北東部の海岸から遠く離れた場所に直交する海岸線に平行な断層帯を地図に描き、Wegener (1929/66, 図 17) がそれを模倣し、ここでは赤色の破線で再現した。妥当な説明としては、両大陸間の地殻帯が密化され、大陸地殻がアイススタシー的に沈降したということが挙げられる。したがって、アフリカ大陸と南アメリカ大陸の海岸線の類似性には、全く新しい説明を与えることができる。

は考えにくい。彼はまた、南大西洋大陸間の想定される横方向の移動以前に、沈下した大陸地殻の細長い海が存在したに違いないという地質学的理由も述べていた。では、Alexander du Toit はどのような地質学的根拠に基づいて、この中間にある海の幅を限定できたのだろうか？暫定的に、対向する大陸は赤道大西洋の形状と一致していたので、南大西洋の基盤全体が単に同化して沈下した大陸地殻で構成されている可能性はないだろうか？そして、Joseph Barrell の海洋化モデル (Barrell, 1927) はそのような可能性を支持していた。さらに、Wegener は du Toit の地質学的議論に基づき、古生物学者たちが提唱する「陸橋」(中生代後期には南大西洋にいくつも存在していた) に対する、当初のアイススタシーに基づく反対姿勢を明らかに覆した。つまり、入手可能な地質学的情報が真剣に受け止められていれば、戦間期の主要な地殻変動に関する議論は全く異なる方向へと進んでいた可能性があったということである。何よりも、南大西洋を開放するという考え方を排除することで、テチス海帯は細長く固有の大陸内海という伝統的な形を維持したであろう。したがって、テチス海は太平洋の強制的な陥入となり、南に架空の Gondwana 大陸が形成されたという状況にはならなかったであろう。図 22b は、1920 年代初頭に報告されたペルム紀-石炭紀の氷河中心を推定した Wegener のパンゲア大陸を示している。

Wegener と du Toit は、大陸移動説と赤道付近の「大西

洋適合」に固執しすぎて、他の地殻構造学的・地形学的説明を真剣に検討しなかったようだ。しかし、北大西洋では、Wegener はさらに大きな地質学的障害と古気候学的矛盾に直面した。北半球の古気候学的分析によれば、北アメリカの前期古生代は熱帯気候であったが、同じ分析から、前期古生代の極は北西アフリカにあったという真の極移動現象も定義していた。そのため、北大西洋が閉鎖すると、極地と熱帯の気候が並置され、気候学的矛盾が生じたのである。地質学的な面でも、Wegener はいくつかの克服しがたい問題に直面した。19 世紀以来、イベリア半島とアズレス諸島間の海山から大陸岩や変成岩が採取されてきたことはよく知られていた。さらに、アズレス諸島には広範囲にわたって多数の大陸岩塊が存在し、それらが火山活動によって引き剥がされて地表に運ばれ、群島の表層を形成していることも以前から知られていた。

この観察に基づき、Wegener はアズレス諸島には幅 1,000 km 以上の大陸基盤が存在すると推測した。南大西洋大陸間の移動前の距離が最大 800 km 必要であるという du Toit の推測と同様に、Wegener にもアズレス諸島の範囲を制限する現実的な理由はなかった。Wegener のパンゲア大陸には、カリブ海と中央アメリカの重要な部分も含まれていなかった。北大西洋の数々の難題は、おそらく Tuzo Wilson が提唱した北大西洋の開裂と閉裂の歴史、すなわちウィルソンサイクル (Wilson, 1966) の出発点であった。この提唱は、これまで止めようのない地殻移動のあらゆる障害を人為的に取り除いてしまった。非常に疑わしい考えが、漸進的な場当たりの手順を引き起こし、最終的には科学全体を混乱に陥れるような形で発展していく様子が、ようやく見えてきた。しかし、Wegener は、Gondwana 大陸の統一を、グロッソプテリス植物群の分布と、報告されている後期石炭紀から前期ペルム紀の氷河活動の広がりという 2 つの要因に基づいていた。

グロッソプテリスの分布

Wegener は、南極大陸で発見される化石の増加を説明するのに大変苦労した。これらの化石は、南極大陸が長期にわたる熱帯から亜熱帯の気候を経験していたことを示しており、彼の Gondwana 大陸統一説が示唆するような氷河期気候ではなかった。しかし、彼はペルム紀のグロッソプテリス植物群を南半球大陸の特徴的な植生と考え、彼の仮説によれば、この植物群は石炭紀後期からペルム紀前期にかけて南極点周辺に集中していた。しかし、Wegener の時代には、この湿地林植生群集は北半球大陸からも報告されており、地理的に Wegener の南極 Gondwana 大陸から非常に遠い地域も含まれていた (例: Lake, 1922)。その後の研究により、Wegener の時代にすでに知られていたことが強く裏付けられた。南極のペルム紀・

石炭紀には「成長が活発で年輪も大きく、今日北緯の高い地域で生育している樹木に見られる狭い年輪とは対照的だった」ということである (Thuswell, 1991 およびその参考文献)。例えば、東南極のペルム紀石炭層では、McLoughlin and Drinnan (1997) が、厚さ 2~10m の石炭層に、最大 60cm の厚さの丸太の残骸を含むグロッソプテリスの化石が豊富に産出すると報告している。しかし、グロッソプテリス・ガリ一部層の比較的高い成長率は、少なくとも温暖な湿地相の状態を示しており、上記の著者らによれば、広範囲にわたって氷堆積物で覆われている。これは、問題の時期が地球規模の寒冷化の 1 回以上の期間によって特徴づけられていたことを示唆している可能性がある。20 世紀初頭以来、化石の証拠は、南極大陸が先カンブリア時代以降の大部分を通じて熱帯から温暖な温帯の状態を経験していたことを明らかにしてきた (図 16 および 17 参照) が、極緯度を必要としたのは Wegener の仮説的な再構築だけであった。

古典的な Gondwana 植物相は、インドのダモダル、ソン・マハナディ、プランヒタ・ゴダヴァリ地溝帯系に由来する。盆地堆積物と氷河によって形成されたと考えられる岩塊層に続いて石炭層があり、その中にグロッソプテリス植物相の大部分が存在する。これは Gondwana 超層群として知られている。Goswami (2014) は次のように述べている。「グロッソプテリス自体とこの植物相の他のほとんどのメンバーは、氷河期後の起源であると考えられている...この植物相は、湿潤な環境の湿潤な気候の下ですぐに最盛期を迎えた。これは、多数の石炭層との関連性や、下部 Gondwana 岩石中の化石化した茎の化石に成長輪が一般的に存在しないことから明らかである。」さらに、Maheshwari (1992) は、シベリアのペルム紀の同様の葉について言及し、「私はこれらの標本を調べたが、これらの標本がどこから来たのかを知らなかったら、ためらうことなく Gondwana 大陸のガンガモプテリスとグロッソプテリスの下に分類することを受け入れたであろう。しかし、古生物地理学者でこれらの葉が Gondwana 大陸のものと同じであると認める人はほとんどいない。おそらく、そのような受け入れは大陸移動説の概念に合わないからである」と述べている。これは、今日のプレートテクトニクスの推測を満たすために、地球科学における主観性と希望的観測の程度について再び疑問を投げかける。

不思議なことに、プレートテクトニクスの時代において、グロッソプテリス植物相は、Wegener の Gondwana 大陸との強い関連性が示唆されたことで、象徴的な地位を獲得した。しかし、この湿潤な森林植生群が北半球の大陸にも広く分布していることは、依然として制約も理解もされていない (McLoughlin, 2011 の議論されている根本的な問題を参照)。長年にわたり未解決のままとなっているグロッソプテリス論争に終止符が打たれる兆しが全く

見られないにもかかわらず、今日、関連するあらゆる地球科学分野から膨大な量の矛盾する情報が出回っているにもかかわらず、Wegener の Gondwana 大陸/パンゲア大陸説 (今日の生物地理学的混乱の主な原因) に疑問を呈する者がほとんどいないのは奇妙なことである。純粋に技術的、記述的な側面を脇に置いたとき、私たちは科学という営みを、特定の世論形成を左右する有力者によって生み出された流行や都市伝説に支配された、あらゆる人間活動と同じように捉えているのではないだろうか。

北半球大陸におけるグロッソプテリス植物相の観察は増加しており、南モンゴル (Naugolnykh and Uranbiley, 2018) や中国東北部 (Zhang et al., 2022) の最近の化石産地も含まれる。グロッソプテリス植物相は Gondwana 大陸の配置の重要な証拠と考えられているが、様々なグロッソプテリス群集は北半球に広く分布しており、アンガラ、ユーラメリア、カタイシアの各地域として記述されているが、明確な境界はない (McLoughlin, 2011)。また、Gondwana 大陸では、「中期および後期ペルム紀にテチス地域の縁辺盆地に沿って混合植物相を示す分布パターンが 1 つ存在する」。もう一つのパターンは、Gondwana 植物相に顕著に現れており、グロッソプテリスには Gondwana 以外の要素がいくつか含まれている (Srivastava and Agnihotri, 2010)。これは、さまざまな植物相の要素が両半球間で混ざり合っていることを示している。しかし、プレートテクトニクスによって大陸塊全体が集まり、東に大きく開いた楔形の海を形成したことで、地理的分布、起源、環境条件、そして何よりもこの湿潤な森林植生が極地条件下 (Wegener の Gondwana) で本当に生育していたかどうかについて、絶え間ない論争が生じている。インドはグロッソプテリス植物相の主要な中心地と考えられているため、この植物相が北半球で起源したと考えるのは不合理ではなく、したがって、Wegener が構築したペルム紀南極地域の特徴的な要素ではない。

このような不明瞭な状況において、Krassilov (2000) はペルム紀のグロッソプテリスの地理と気候帯区分を提示しており、そこでは Gondwana 大陸に着想を得た文献から受ける印象よりも、北半球の大陸がはるかに重要な役割を果たしている。Krassilov は、ユーラシア大陸、北アメリカ南部、テチス海帯が圧倒的に多くの参照地点となっている中期ペルム紀の植物地理を描写している。彼は次のように記している。「テチス植物地理区は、スペイン南部とモロッコから中東、アナトリア、北アフリカを経て、チベット、雲南省、タイ (ペッチャブーン)、スマトラ島 (ジャンピ)、西ニューギニア (イリアンジャヤ) まで広がる、カタイシア植物相と Gondwana 植物相が混在する連続した地域である。南カタイシア植物相の生態学的類似地域は、メキシコ湾岸やカリブ海にも存在する可能性がある。メキシコとベネズエラからは、時折ギガン

トプテリド類の報告がある。」

この文脈において、大陸縁辺テチス海は、中生代にカリブ海まで広がった (Aubouin et al., 1977) 別の深層断層帯であるベニオフ帯 (環太平洋帯にほぼ垂直な地球を一周する大円を形成) の地表における表現であったという Tuzo Wilson (1954) の提案は現実的であるように思われる。堆積条件は停滞水によって支配され、動物相の固有種の発達が見られた (Hallam, 1977) —これは、中生代に現在の中央大西洋を横断した浅い大陸内海としてのテチス海という古典的な概念を裏付けている (図 1)。中生代テチス海が浅く停滞した固有の海路として西に広がったことは、Ohkouchi et al. (2015) の黒色頁岩の世界地図で示されているように、ヨーロッパのテチス海と中央大西洋における白亜紀中期の黒色瀝青質泥岩/泥灰岩堆積物の異常に高い集中と完全に一致している。Sonnenfeld (1981, およびその寄稿) によれば、中生代は明らかにテチス海の歴史における主要な時代であった。したがって、海路は古生代後期の植物の移動にとって大きな障壁となる可能性は低い。この推論の続きとして、Krassilov (2000) は、ペルム紀のユーラメリカ大陸、カタアメリカ大陸、ゴンドワナ大陸のグロソプテリスの混合は、テチス海を太平洋の広大な海洋の陥入とみなす見方や、今日の地球科学を支配している「大陸の根本的な再集合」とは相容れないと主張した。

後期石炭紀-前期ペルム紀氷河期

Wegener による古気候システムの評価は、北半球大陸から得られた豊富な化石や岩石の証拠に基づいており、そこから彼の地球規模の極移動経路が確立された。この動的な基盤において、石炭紀後期からペルム紀にかけての地理的な南極点は南アフリカの南西にわずかに位置していた (図 22a)。これは、当時南アフリカが地球上で最大の氷河中心地であったという地質学的証拠と一致する。しかし、Wegener の確立された極移動経路は、南半球大陸とインドを統合するという彼の考えと矛盾していたため、「受け入れられる」大陸集合を実現するために、ペルム紀の南極点は南アフリカの東に都合よく配置された (図 22b 参照)。大陸は無理やり所定の位置に押し込まれた。南極大陸の長期にわたる熱帯から亜熱帯気候は、決定的な問題として説明された。同様に、彼は北アメリカ、中央アジア、北西ロシアで報告された後期古生代の氷河期 Wegener のような古気候学者が、地球規模の寒冷化現象の広範囲にわたる影響を考慮しなかったのは奇妙である。そのため、更新世の大きな氷原は北ヨーロッパと北アメリカの広い範囲を覆っていたが、通常は亜熱帯から温暖な中緯度気候であるオーストラリア南部も更新世に繰り返し氷河に覆われていた (Colhoun and Barrows, 2011)。石炭紀後期の短い期間を除いて、オーストラリアは古生

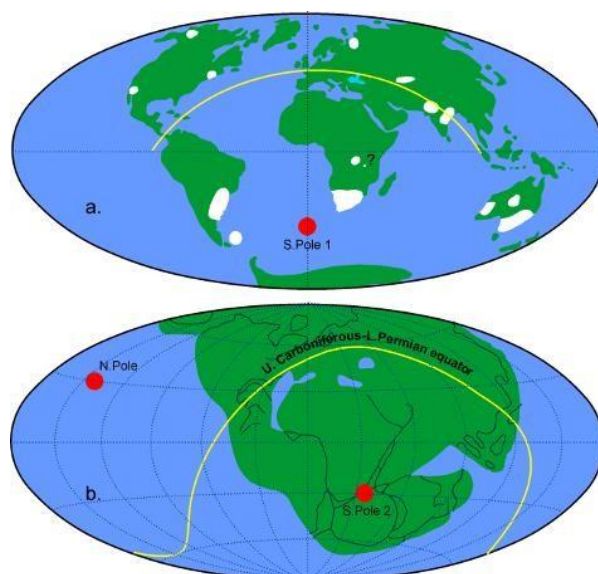


図 22 図 a) は、20 年代後半に報告されたペルム紀-石炭紀の氷河中心 (白) を示し、破線の黄色の曲線は Wegener (1929) の元のペルム紀の赤道を表し、実線の点 (赤) は対応する南極 1 を示している。図 b) では、化石に基づく亜熱帯南極が想定された極の位置 (南極 2) に配置されたが、これは矛盾している。図 b) は Köppen and Wegener (1924) に基づいて簡略化されている。化石に基づく亜熱帯南極を想定された極の位置 (南極 2) に配置すると矛盾する。

代を通じて古赤道気候であった (Spjældnes, 1961; Schwartzback, 1963; Lowenstam, 1963; Brown et al. 1968; Trewin and McNamara, 1994; Gouramanis and McLoughlin, 2016)。しかし、石炭紀-ペルム紀の移行は、地球の更新世以前の最後の氷河期-温室期の移行であり、後期古生代の緯度によって定義される気候体制に大きな変動があったことを記録している (Fielding et al., 2008; Myers, 2016; Pardo et al. 2019)。についても説明を怠った (Coleman, 1925, 1926)。

キャニング盆地とカーナーボン盆地南部におけるペルム紀-石炭紀の氷河作用の痕跡に関するレビューにおいて、Mory et al. (2008) は、「広範囲に分布する氷河由来の物質は、西オーストラリアを広く覆っていたことを示しているが、明確な氷河の特徴はそれほど明確ではない」と主張している。盆地全体に広がる氷河の影響を受けた地層によって彼らの主張は明確に説明されているが、基盤岩や砂岩の条線など、氷河作用のより直接的な証拠は少なく、局所的である。最下部 (上部石炭紀) のシーケンスは氷河性ダイアミクタイト-泥岩-砂岩相の組み合わせを表しているが、中部および上部の堆積層 (前期ペルム紀) はデルタ性であり、石炭を含むと説明されている。これは、環境条件が石炭紀最末期の寒冷から前期ペルム紀の温暖/高温へと大きく変化したことを示している。同様の急激な気温上昇 (冷水から (皿) 熱帯

状態へ) は, Lowenstam (1964) による古気温研究でも確認されている。後期古生代のオーストラリアでは氷河活動があったことは疑いないが, その規模は非常に不明瞭である。そのため, Fielding et al., (2008) は, オーストラリア東部の地層学および堆積学的データを報告し, 後期古生代の氷河期は, 同程度の期間 (数百万年まで) の非氷河期によって隔てられた, 少なくとも 8 つの比較的短い期間の個別の氷河期から構成されていたと示唆している。このような状況下では, 大規模な氷床が形成されることは考えにくい。さらに, Eyles and Brockert (2001) などの研究者は, いくつかの氷河堆積物の本来の氷河性について疑問を呈し, 堆積作用による高度な改変を指摘している。オーストラリアには, 氷河由来の物質が分散したごく少数の小規模な氷床コア (Brown et al., 1968) しか存在しなかった可能性が高い。つまり, Mory et al. (2008) の「西オーストラリアは広大な氷床に覆われていた」という結論は疑わしい。

現在では, 石炭紀後期からペルム紀初期にかけての期間は, 地球史上最も長期にわたる氷河期であり, 比較的短い氷河期が温暖期によって中断されるというサイクルであったと考えられている。この長期にわたる氷河期と間氷期の変動に伴い, 陸上生物圏や環境条件にも同時的な変動が見られた。これは, 南米南部の古気候記録 (Limarino et al., 2014 およびその参考文献) に典型的に表れている。中期石炭紀後期には, 氷河期が南米南部のすべての盆地に影響を与えた。氷河期の終末期には, まず西部の盆地 (すなわち, 石炭紀後期からペルム紀にかけての南極点から最も遠い地域, 図 22a 参照) で氷河が消滅し, その後, 東部の盆地 (パラナ盆地) でも消滅した。氷河期後の気候改善は, 南米で氷河堆積物が消失したペルム紀初期に起こり, 終末期の氷河期の後には, パラナ盆地に厚い石炭層が形成された。ペルム紀の気候は最終的に, 南米の大部分で半乾燥または乾燥状態を伴う極端な温室気候へと発展した。

北米では Wegener に賛同する者はほとんどいなかったが, 1926 年に彼の仮説に関する国際会議が開催された。2年後に米国石油地質学会から出版された会議論文には, 詳細な議論はほとんど含まれておらず, 南極大陸で発見されたセンセーショナルで重要な化石植物についてもほとんど触れられていなかった。会議参加者は主に, 北米各地で報告されたいくつかの「ペルム紀」の氷河堆積物に関心を寄せていた。出版された会議論文集への寄稿で, Wegener (1928) は, ペルム紀には大陸は赤道から亜赤道の気候条件であったため, これらの観察結果は誤解によるものに違いないと主張した。彼は, 最後の氷河期には氷床の縁が米国南部諸州にまで達していたことを忘れていたようである。しかし彼は, 少なくともいくつかの観察結果, 特にスクアンタム「ティライト」(ボストン湾層

群) の解釈が正しければ, これは彼のパンゲアモデルに対する深刻な攻撃になると認めた。北米における後期古生代氷河作用の最良の例とみなされているスクアンタム礫岩 (Schwartzback, 1963) は, 礫岩の極めて悪い淘汰と不均質性, 層理の欠如, および条線のある岩石によって裏付けられている。年代を裏付ける唯一の化石証拠は, 保存状態の悪い 2 本の樹幹であり, 年代はデボン紀からペルム紀の間であると限定される (Rehmer and Hepburn, 1974; Rehmer and Roy, 1976, およびその参考文献)。スクアンタムの礫が新原生界末期の年代であることを示唆するジルコン年代 (例: Thompson and Bowring, 2000) は, もちろん周囲の岩石を起源とするものとして解釈できる。

インドは Gondwana 大陸の棺に 打ち込まれた最後の釘となるのか?

北半球大陸の古気候の進化, 特に地球規模の極移動経路の確立について事実に基づいた記述を提供した Wegener が, 希望的観測と南半球のデータの選択的処理の犠牲になったことは残念である。彼の地球規模の極移動経路と緯度に関連する気候システム (図 16) に基づくと, ペルム紀の赤道は中央ヨーロッパを横断し, 南極点は南アフリカの南西のやや南に位置していた。このことから, 当時南アフリカが主要な氷河の中心であったことは当然であった。また, 南半球大陸をそのままにして Wegener の古生代の古赤道 (図 16) を地球全体に延長すると, オーストラリアと南極大陸の両方が古赤道緯度を得る。現在では十分に確立されている石炭紀後期からペルム紀前期の氷河期を除けば, これらの大陸の化石証拠は Wegener の気候システムとよく一致しており, オーストラリアと南極大陸の両方が古赤道緯度を獲得しているが, Wegener はこの事実を無視した。その代わりに, 彼は南部の古地理を操作し始め, 適応上の理由から, ペルム紀の南極点を南極大陸に隣接する南アフリカ東部に移動させた (図 22b)。これは無意味な移動であった。なぜなら, 南極大陸は温暖な気候の長い先史時代を経験しており, 彼の再構成が必要とした氷河期とは全く異なっていたからである。したがって, 古気候に関して言えば, 南極大陸は彼の Gondwana 大陸統一において大きな「ブラックホール」であった。

他の陸塊と同様に, インドは横方向の移動を経験していない。白亜紀後期から暁新世にかけて, インドはその場で慣性回転にさらされていた (Storetvedt, 1990, 2003/23)。このイベントの開始時, インドは断層に関連するテチス海盆と, ラッカディブ・チャゴス海嶺と東経 90 度の海嶺の間にある南北方向の中央インド剪断帯の北部との間に挟まれていた。この露出した位置により, インドは構造的不安定性に対して非常に脆弱になった。結果として生じた時計回りの回転は, 境界帯に沿って (ねじれたトラ

ンプの山のように) 広範囲にわたる構造剪断の再活性化を引き起こし、境界は不明瞭に定義された基底まで達した。地殻のねじれによって、影響を受けたリソスフェアの断層間隔が再活性化され、下方からの流体の浸透が増加した。さらに、インド大陸の回転によって、デカン高原へのマグマの流入と、隣接するテチス海盆へのオフィオライトの注入が可能になった。その結果、境界領域では地震波速度が低下し、地殻変動の影響が少ない中心部の高速度領域へと徐々に移行していくと考えられる。したがって、インドブロックの広い領域では地震波速度が低下し、高速度の中心部は移動する巨大ブロックの「底部」に向かって徐々に低下していくと予想される。Kennett and Widiyantoro (1999) による P 波トモグラフィー研究では、これらの予測とよく一致する上部マントルの速度画像が得られた。この回転過程において、インド南部の薄い海洋地殻は広範囲に破碎され、含水流体によるグラニユライト-エクログジャイト変成作用が生じた (Austheim, 1987; Leech, 2001; Putnis and Austheim, 2010)。これにより、重力による地殻の剥離が下から上へと起こり、これがインド南部の極めて低い重力を持つジオイドの「穴」の原因であると考えられる。

インド大陸地塊を取り囲む低速度の「襟」が岩石圏の破碎帯を表しているとするれば、インドを取り囲む海洋湾、すなわちベンガル湾とアラビア海は、もともと大インドの一部であったと推測できる。推論によれば、この2つの深海域は、地殻変動による回転が停止した直後、おそらくは暁新世初期に形成され始めたと考えられ、この予測は様々な地球物理学のおよび地質学的事実によって裏付けられている (Storetvedt, 2003/23, p. 267-279 参照)。このように、曲線状のオーウェン断裂帯 (OFZ) は、大インド大陸の時計回り回転の最も顕著な西側の構造境界を表しているようで、OFZ の左横ずれ断層を生み出している。アラビア半島の東海岸沿いでは、準大陸性のオーウェン盆地も、この構造回転に関与した明確な兆候を示している (Whitmarsh, 1979 参照)。

図 23 は、GPS 速度パターンの概略図を含む、ヒマラヤ山脈北インドのカラーシェーディング地形図を示している。この図は、インド北部の縁辺部周辺の構造地形的特徴を示しており、地域的に強く曲がった地震活動が活発な剪断帯を表している。東パキスタンから、高度に構造化されたヒマラヤ・テチス海が続き、インドの自転により東に広がり、変形した大陸内テチス海帯が南東-南南東に急激に方向転換する。この広大な地殻切断帯は、当然のことながら、中新世末期におけるマントルからの超臨界流体の供給と、それに伴うチベット高原とその周辺の山脈の隆起にとって極めて重要であった (Storetvedt, 2003/23, 2015; Michaelsen and Storetvedt, 2023 およびその参考文献)。ユーラシア大陸に関しては、インド・ヒマラ

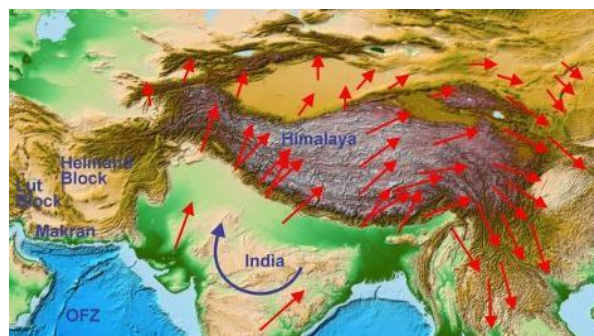


図 23 ヒマラヤ・北インドのカラー陰影地形図 (noaa_world_topo_bathymetric_lg.jpg より) GPS 速度方向は赤い矢印で示されている (参考文献については本文を参照)。GPS パターンとパキスタン東部およびインド北東部/ミャンマー西部の湾曲した構造帯が、大インドの主要な時計回り回転にどのように適合するか注目 (Storetvedt, 2003/23, p. 265-272)。この回転は、ヒマラヤ・テチス海の顕著なせん断構造を生み出した。

ヤ地域の GPS 速度画像 (Zhang et al., 2004; Taylor and Yin, 2009; Bisht et al., 2020) は、もともと K/T 境界付近でのインドのその場での時計回り運動によって引き起こされたもので、この横ずれ回転がまだ進行中であることを示している。インドの回転とそれに伴うヒマラヤ地域でのせん断のため、アルプス/テチス帯に沿った他の顕著な地殻不連続面 (例えば、Daigniers, 1982) と同様に、顕著な断層帯を横切って大きなモホ面ジャンプが発生することが予想される。したがって、Yue et al. (2012) は、崑崙山脈の北端の下で 20 km のモホ面オフセット、金沙江断裂帯の下で 10 km のモホ面ジャンプを発見した。すなわち、テチス海帯内の地殻断面のうち、地殻の薄化の程度が異なる部分が並置されている。

先カンブリア時代には、細長く、おそらく地球を一周していた深部断層に関連したテチス海 (Wilson, 1954 参照) には水がほとんどなく、そのため大きな地形的窪地もなかったと考えられる。平坦またはわずかに起伏のある地表では、最初の大きな水脈は前期古生代にガス放出され、オルドビス紀後期に最大海進が起こった (図 24)。これは、古生代初期には地表水の量が中程度で不均一に分布していたことを意味するが、このような地表条件であれば、北インド (テチス小ヒマラヤ) のカンブリア紀の動物相をより広い文脈で関連させることが可能だった。したがって、北インドの熱帯カンブリア紀海洋生物相が、中国北部および南部の生物相と密接に関連していることは驚くべきことではない。さらに、「非世界的種によってオーストラリアとのつながりが示唆されているが、インドの生物相は中国の一部よりもオーストラリアとの共通点が少ない」 (Hughes, 2016) とされており、これはインドとアジアの間には前期古生代の海洋動物相の密接なつながりがあったことを示唆している。

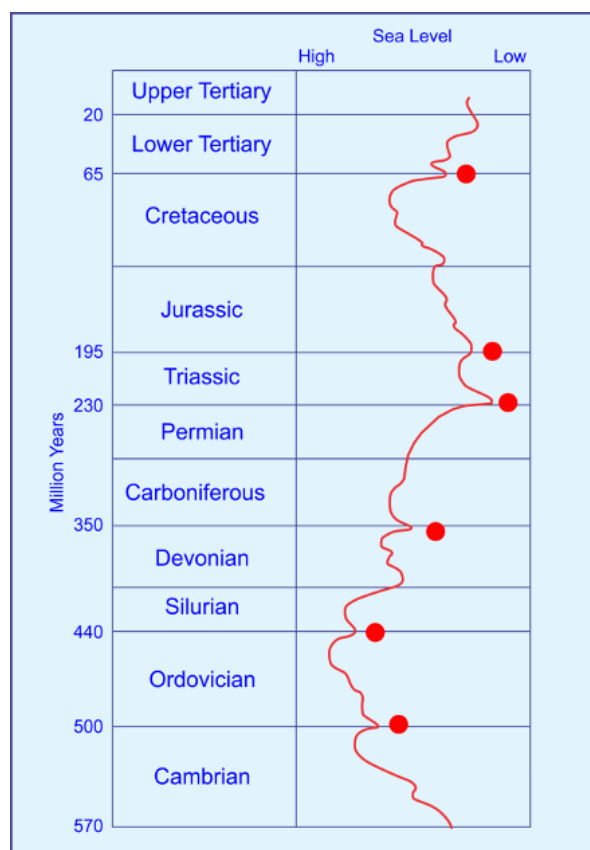


図 24 は、顕生代における海水準の概略曲線を示しており、黒丸は最も重要な 6 つの海洋生物絶滅事象を表している。Hallam (1992) に基づいている。生物の大量絶滅は、海水準が最低になった時期と、それに関連する主要な地質学的境界と一致しており、ガス放出を伴う地球のダイナモテクトニクス的な変動を示している。

古生代の中期から後期にかけて、浅い大陸棚の海は次第に乾燥していく陸地表面から後退し、ペルム紀-三畳紀境界付近で海面が大幅に低下するという事態に至った。まだ限られた量の地表水は、初期の窪地に流れ込み、白亜紀後期にかけて急速に拡大し、大量の地表水が供給されることで、現在の深海となった。ペルム紀には陸地表面が拡大し続け、未同化の多くの大陸稜線や高原が存在したため、インドを起源とする可能性のあるグロソプテリス植物群が世界中に広がり、動植物が広く分布するのに適した環境となった。ダイナモテクトニクスによる海面変動とそれに伴う地殻変動により、テチス海の地形は変化し、一般的に浅いテチス海は、インドと世界の他の地域との間の移動回廊を何度も形成してきた。そのため、後期デボン紀から前期石炭紀にかけてのインドは、世界中の同時代の記録と相関している (Gupta et al., 2023)。

もう 1 つの重要な観察結果は、インドのカシミールヒマラヤの後期石炭紀の植物相は温暖な気候で生育していたと考えられており、したがって石炭紀 - ペルム紀氷河期の直前であったと考えられている (Singh et al., 2013)。この観察結果は、後期古生代氷河期が単なる地球規模の

寒冷化イベントであり、したがって Wegener の仮説上の Gondwana 大陸とは無関係であったことを示すもう 1 つの証拠である。P-T 境界付近での大規模な海退の後、海面は中生代初期には比較的低いままであったため、インドとアジア間の生物の移動経路が存在していた可能性が高く、同時にマダガスカルを経由してアフリカ、そして南アメリカへと続く地峡のつながりもそのまま残っていたと考えられる (下記参照)。これは、近年の研究 (Bajpai et al., 2023; Khosla and Lucas, 2024) によれば、新竜脚類の発達の中心地であったインドが、良好な分散の可能性も持っていたことを示唆している。しかし、白亜紀後期から暁新世にかけて、地球規模の横ずれ断層運動がピークを迎えた時期には、ほとんどの海洋を横断する陸地のつながりが断たれ、上部マントルのプロセスによって同化されてしまった。そのため、インドからアフリカを経由して南アメリカに至る陸上の移動経路は閉鎖されてしまったのである。

ジュラ紀から白亜紀後期にかけて、地球の上部マントルでは静水圧の蓄積が再び大きく増加し、海洋地殻が隆起しました。同時に、進化を続ける海洋地殻は急速に薄化していった。これは、セノマニアン期の海面上昇 (図 24) の原因であり、今日の地表水の大部分が流出した原因でもある。さらに、関連するダイナモテクトニクス過程により、大陸内部のテチス海沿いに構造的な隆起が生じた。暁新世の間、西テチス海の大部分は低地となり、東に向かって排水効果が増大した (Sonnenfeld, 1981)。これには、インドの自転による地形的影響も含まれる。このことから、少なくともセノマニアン期から暁新世以降、インドには陸生動物がユーラシア大陸、さらにアフリカ大陸、そしておそらくは周期的に存在していた赤道付近の陸続きのつながり (前述) を介して南アメリカ大陸へ移動するための開かれたルートがあったに違いない。

ラッカディブ・チャゴス海嶺、マスカレン海嶺、セーシェル堆の地殻断裂と、北マダガスカル・東アフリカ海峡の複雑な海底地形 (Sandwell et al., 2014 参照) は、マダガスカルを経由してインドとアフリカを結ぶ、かつての大陸連結部が地殻的に分裂し、水没したものと見なすことができる。この地殻の歴史が直接露出しているのは、モホ面深度が 33 km (Matthews and Davies, 1966) の浅いセーシェル諸島であり、100 の島のうち 25 の島で花崗岩が露出している (Ashwal et al., 2002)。インドとアフリカの間の元の大陸接続の最終的な分裂と薄化は、極度に剪断されたカールバーグ/中央インド海嶺によって加速されたと推測される。その証拠から、インドは常にアジアの一部であった。したがって、中生代のインドの陸生四足動物に固有種がないこと (Khosla and Bajpai, 2021 およびその参考文献) は、プレートテクトニクスの Gondwana の難問にすぎない。したがって、「それとは対照的に、インド

の中生代および第三紀の脊椎動物はローシアのものとも最も類似しており、インドがアジアから遠く離れていなかったことを示している。インドと南極大陸、およびインドとオーストラリアの間では、動物相の類似性の相関が極めて低い。このことから、インドは大陸移動前の集合体において南極大陸やオーストラリアと並んで位置づけることはできないと考えられる」(Chatterjee and Hotton III, 1986)。したがって、未確認のプレートテクトニクス/ゴンドワナ大流行説を脇に置き、海洋から得られる岩石、地球物理学的、構造的証拠をそのまま受け入れると、インドとオーストラリアおよび南極大陸の間の欠落した陸上リンクは、中生代にインド洋が徐々に沈下したことによって容易に説明できる。

混乱が蔓延している例として、インド洋西部の DSDP 第 25 航海の掘削地点(インドとアフリカを結ぶ漂流以前の生物学的陸橋の最後の節理を含む)に広く分布する粘土鉱物パリゴルスカイトが挙げられる。潮下帯、湖沼、深海などさまざまな堆積環境から報告されているパリゴルスカイト(例: Ryan et al., 2019; Botha and Hughes, 1992; Vallier, 1974; Peterson, 1972)は、一般的に温暖なアルカリ性で蒸発性の条件下で形成されたと考えられている。Thiry and Pletsch (2011)はこの問題を部分的に解決しようと試みたが、同時にありそうもない古気候の問題が生じた。彼らは、一部の海洋堆積物では「パリゴルスカイト粘土は隣接する大陸で形成され、その後堆積場所に運ばれた」と主張した。しかし、微細構造と鉱物学的証拠は、最も純粋な堆積物は中期白亜紀から前期始新世の場合、海底でその場で形成されたことを示唆している。海洋での出現から、著者らは、後期白亜紀の気候条件が極端であったため、深海でもパリゴルスカイトが形成されたのではないかと推測している。しかし、これは海底拡大モデルを満たすための補助的な提案にすぎない。それとは逆に、問題の期間中、DSDP 第 25 航海の掘削地点は温暖な亜熱帯緯度にあり、一方、西インド洋(およびその他の深海域)の大陸縁辺部では、地殻の海洋化と沈降が加速していた。したがって、第 25 航海の掘削地点におけるパリゴルスカイト鉱床は、温暖な沿岸域または浅水域の蒸発性ドロマイト条件下で形成された可能性が高い(例: Peterson et al., 1972; Ryan et al., 2019)ため、極端な気候条件を想定することは適切ではない。

北西アフリカ沖の大陸棚縁辺深海域の発達において、元々陸上および浅水域であった地殻沈降の同様の例が見られる(Storetvedt, 1987)。石油探査井および沖合地震探査ラインのデータ(Querol, 1966; Martinis and Visintin, 1966; Ranke et al., 1982)は、中生代の堆積層が海岸線に平行な「盆地に向かって沈降する」撓曲と正断層パターンで分布しており、海側への沈降に関連していることを示唆している。大陸棚と上部斜面の下では、中生代の堆積層の

厚さは最大で 15 km 以上になる可能性があるが、さらに沖合に向かうにつれて、基盤の深さと堆積物の分布はますます不明瞭になる。しかし、モロッコ沖のマザガン高原にある DSDP サイト 544-547 では、水深約 4,000 m で、片麻岩の基盤の上に岩塩や赤色堆積物を含む、前期中生代の浅海から陸上の堆積物が見つかった。さらに、断層のある北西アフリカ縁辺部の地球物理学的モデリングでは、大陸地殻が約 20 km 薄くなっていることが示唆されている(Hinz et al., 1982 a および b)。北西アフリカ沖の DSDP-IPOD サイト(12, 139-141, 369, 370, 397, 415, 416, 544-547)からの関連情報のまとめは、この結論と一致している。したがって、Storetvedt(1987)は、水深 4,000 m 以上の沖合盆地における蒸発岩とパリゴルスカイト粘土の組み合わせが、地球物理学的結論と、マザガン高原からのより直接的な DSDP/IPOD 証拠の両方を裏付けていることを発見した。つまり、北西アフリカ縁辺に沿った結晶質基盤は、主に白亜紀に形成された薄くなった大陸地殻である。

前期古生代には、地球表面に初めて大量の地中水が流れ込み、オルドビス紀後期には海面が上昇した。特徴のない地表は、浅くほぼ地球全体に広がる大陸棚海に覆われ、世界各地に生息する高等な海洋生物が爆発的に増加した(Boucot and Johnson, 1973 参照)。この古生代初期の地球内部水の放出は、おそらく a)太平洋を囲む深海のベニオフ帯と b)インドネシア諸島弧の沖合にある対応する深海の断裂帯を通して起こり、大陸棚テチス海に沿って続いたと考えられる(Tuzo Wilson, 1954)。古生代初期に海水が大量に排出されたにもかかわらず、地球の外層に蓄積されたガス/液体の圧力は、内向きの重力に対抗し、その結果、始生代後期に形成された断裂帯は深部に向かうにつれて次第に開いていった。このようにして、絶えずガスを放出する地球の大陸地殻は、内部から取り込まれた元素を含む循環水溶液を獲得した。この原理は、ドイツのコラ半島と KTB の深層掘削孔によって十分に裏付けられている。地球の漸進的なガス放出は、地球の慣性モーメントの周期的な変化をもたらし、これが地球が脈動するような地質学的歴史を獲得した理由を説明している。こうしたダイナミックな変化によって地球は一種の油圧ポンプのような状態になり、大陸地殻の流体透過性が確認されていることから、大陸盆地と海洋盆地の発達の間には必然的に相互作用が生じることになる。海洋地殻を形成したのと同じ脱ガス効果が、はるかに穏やかな程度ではあるものの、大陸地殻にも影響を与えている。海進と海退の周期性を示す一般的な海面変動曲線(図 24)は、海水の歴史と断続的な地殻/盆地の発達が複合的に作用した結果を反映している。これらの表面プロセスは、内部質量の漸進的な調節、ひいては回転特性の変化によって引き起こされる動的な変化によって誘発されてきた。

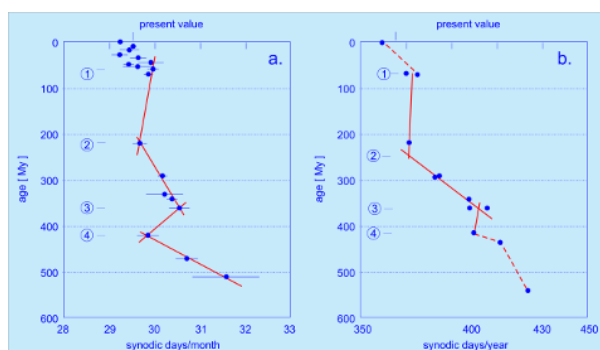


図 25 a) 化石貝殻の成長輪に基づいた、推定される月ごとの日数と b) 推定される年ごとの日数の集計。Creer (1975) を簡略化したもの。

これらの物理的変化は、地球の空間的な移動（真の極移動）や自転速度の変化（図 25）といった事象をもたらした。これらの動的な変動は、地球の脈動する歴史の原動力であると考えられており、重要な地質学的時間境界は、惑星の慣性モーメントの顕著な変化を表している。

最後に考察として

この論文では、深海地殻は元々の大陸地殻が薄くなり、岩石学的に変化したものであると主張した。これは、地球が内部の熱化学平衡を達成しようと永遠に奮闘する過程によって引き起こされたものである。核からの軽い元素の脱ガスは（どのようなメカニズムであれ）地球の夜明け以来続いてきたが、空間的にも揮発性物質含有量に関しても不規則な脱ガスが、今日の不均一な地殻構造につながった。ペルム紀一三疊紀境界付近では、下部地殻の剥離とそれに伴うアイススタシー盆地の沈降が、ある意味で飛躍的な進展をもたらした。しかし、深海掘削データ (Ruditch, 1990) によると、深海盆の発達には主に中期一後期白亜紀の現象であり、暁新世には今日の深海の基礎部分が形成されていた。したがって、典型的な海洋地殻の年齢はわずかに約 1 億年であり、これはかつて存在したことの無いタイプの地殻である。しかし、大陸地殻と海洋地殻はどちらも厚さが非常に変化に富んでおり、前述のように、両者の間にはしばしば滑らかな遷移が見られる。これらの事実はこれまで説明されていなかったが、本論文で概説する新しい地球脱ガス理論に容易に当てはまる。これは、地質学的に見て近年、元々全球規模であった大陸地殻が、広範な岩石学的・重力的変質過程を経たことを意味する。こうした背景から、今日の陸地は、元の地殻が中程度に剥離・変質した部分である。しかし、海底の衛星画像には、より強く同化した大陸の残骸、すなわち海底に沈んだ無地震性の海嶺や海台が多数存在することが示されており、それらの起源は、回収された古代の岩石や変成岩によってしばしば裏付けられている。

地殻発達の遅れは、1960 年代後半以降の深海掘削によ

って確認されている。しかし、プレートテクトニクスの世界観はこの重要な情報を完全に無視し、過去には薄い海洋地殻が出現しては消滅したと推測的に主張している。いわゆるウィルソンサイクルの庇護の下、先カンブリア時代の大陸地塊でさえ物理的な障害なく移動したとされているが、その説明は場当たりの作り話で溢れかえっている。さらに、プレートテクトニクスの基本的な前提は依然として曖昧な難問であり、地質学におけるあらゆる重要な問題は依然として未解決のままである。プレートテクトニクスは、確固たる大陸マントル深部の根源に何をもたらしたのであるか？プレートテクトニクスの支配下で、地球の歴史はますます支離滅裂になり、完全に理解不能なものとなっている。したがって、プレートテクトニクス革命の二人の主導的人物、Stanley Keith Runcom と John Tuzo Wilson が、年を重ね、おそらくは賢明になった頃に、地球についての完全に新しい移動論的理解が必要だと主張して、プレートテクトニクスを否定したのも、まったく驚くべきことではない。

地球科学における新たな革命に必要な重要な事実は既に全て揃っている。必要なのは、プレートテクトニクス信条の基本原則の破綻をあえて暴き出す、オープンマインドで恐れを知らない科学者だけである。地球物理学および地質学の文献には、予測能力を備えた統合的な理論構造を待ち望む重要なデータが満ち溢れている。この論文で概説したように、20 世紀前半には、いくつかの重要なテクトニクス提案が発表されたが、大きな注目を集めることはなかった。Wegener の大陸移動説だけが、その後も継続的に注目を集めた。それは主に、従来の考えから大きく逸脱し、ある種の娯楽性を持っていたためだ。明らかに、最初から人間の本性が作用していた。

盆地の形成に関しては、現時点では深海盆の上部、しかし明らかに主要な堆積層に関する情報しか得られていない。これは大陸とは全く異なる状況である。例えば、ハドソン盆地、ウィリントン盆地、ミシガン盆地、イリノイ盆地を含む北米の内陸部は、テクトニクス的に比較的安定したクラトン地殻を構成しており、その一部には比較的浅い窪地が形成されており、そこには主に前期古生代および中期古生代に由来する先カンブリア時代以降の堆積物が堆積している。プレートテクトニクスの観点から、これらの窪地の起源と発達については依然として議論的となっており、解明されていない（例：Sloss, 1963; Howell and Pluijm, 1990; Klein, 1991; Stevens Goddard et al., 2023; Armitage and Allen, 2010）。様々な説があるが、ミシガン窪地とウィリントン窪地は、流体によって引き起こされた上部中部地殻の弾性と、エクロジャイト化による密度増加の複合的な影響を受けたと示唆されている (Haxby et al., 1976; Fowler and Nisbet, 1985)。

高温含水流体で満たされた断裂群は弾性地殻柱を形成

し、アイソスタシー沈降と盆地形成の好都合な出発点となり、最終的には高度な地殻海洋化につながると考えられる。北アメリカ大陸本土内では、西部盆地、すなわちワイオミング州とノースダコタ州のパウダーリバー盆地とウィリントン盆地のみが中期古生代後期以降の堆積層を有している (Peterson and MacCary, 1987)。大陸中部の例とは全く異なり、西部の堆積性窪地は白亜紀の堆積物が優勢である。この広範な盆地発達の原因は、中生代後期の北アメリカがこの地域のベニオフ帯に押し付けられていたことにあると考えられる (図2 参照)。これにより、西部地殻への新たな含水流体の供給が促進され、それに伴うエクロジャイト化、重力剥離、そして盆地沈下が加速した。一方、比較的安定したクラトン状の米国大陸中部では、モホ面が大きく変化しており、その幅は 28 km から 57 km の範囲である (Xiao et al., 2022)。これは、この地域では、ダイナモテクトニックな流体駆動による地殻薄化が古生代以降には発達しなかったことを示している (Klein, 1991 参照)。これは、アパラチア褶曲帯のテクトニック静穏化と整合する。Xiao et al. の研究で生じたモホ面の起伏は、エクロジャイト化した最上部マントルと下部地殻が層状に剥離した層状構造と剥離していない層状構造を呈する層状構造の組み合わせに起因すると考えられる。前期白亜紀および中部期白亜紀における加速的な地殻海洋化により、進化する深海盆は停滞した優生状態の段階を経た。これは、孤立した前期白亜紀～中期白亜紀の盆地の世界的な特徴である (Jenkyns, 1980 年, Arthur と Sageman, 1994 年, Wilson と Norris, 2001 年を参照)。ただし、この特徴は西ヨーロッパのテチス海とその延長した中央大西洋支流に集中していた (Jarvis et al., 2011; Ohkouchi et al., 2015) を参照)。これらの観察結果は、従来の (プレートテクトニクス以前の) 大陸性テチス海域の分布と一致している (図 1)。つまり、セノマニアン以前のテチス海西部の孤立した無酸素状態は、有機物に富む黒色頁岩堆積物を生み出したが、大西洋地殻の海洋化の加速により、初期の中央大西洋の停滞状態は、酸素に富む条件下での堆積作用に取って代わられた。

Wegener の仮説が直面する根本的な問題、特に南半球における問題が、彼の時代に既に重大な古気候学の問題やその他の喫緊の課題が明らかであったにもかかわらず、これまで公に議論され、科学的に認められてこなかったのは奇妙なことである。南極の化石記録が、南極大陸が数億年にわたる熱帯から亜熱帯の気候、つまり彼がゴンドワナ大陸構築に示唆した氷河期気候ではない先史時代を有していたことを強く示唆していた時、生物地理学者たちはどこにいたのだろうか？さらに、Wegener や他の生物地理学者たちは、両極地域が類似した気候史を経験してきたことをどうして見逃せたのだろうか？彼らの視野を阻んでいたのは、現在の南極の氷床だったのだろうか

か？いずれにせよ、今こそ私たちには、非生産的なプレートテクトニクスの都市伝説から脱却し、新たな科学的姿勢、つまり学生や若手研究者の創造的発展に永続的な影響を与えるような、開かれた心を持った思考の転換が必要だ。

謝 辞

本稿は、いかなる倫理的問題にも抵触するものではありません。編集者の方には、丁寧な査読と有益なご意見をいただき、心より感謝申し上げます。また、Frank Cleveland and Rune Storetvedt 氏には、継続的な技術支援をいただき深く感謝いたします。皆様のご協力なしには、本稿を完成させることはできませんでした。

文 献

- Agocs, W.B., Meyerhoff, A.A., Kis, K. 1992. Reykjanes Ridge: qualitative determinations from magnetic anomalies. In: *New Concepts in Global Tectonics*, Lubbock, Texas Tech. Univ. Press, p.221-238.
- Alfvén, H. and Arrhenius, G. 1976. *Evolution of the Solar System*. Washington, D.C., National Aeronautics and Space Admin. U.S. Govt. Print. Office, 599 p.
- Ampferer, O. 1944. Über die Möglichkeit einer Gasdruck- Tectonik. *Akad.Wissensch. Wien, Math.Naturw. Klasse, Abt. Ia, Bind1-10, Heft 1944/45*, p. 45-60.
- Andel, T. H. van, Bowin, C.O. 1968. The Mid-Atlantic ridge between 22° and 23° north latitude and the tectonics of mid-ocean rises. *J. Geophys. Res.*, 73, p.1279-1298.
- Andel, T. H. van, 1985. *New Views on an old Planet*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 324 p.
- Anderson, M.S., Ronning, E.A., De Vries, R., Martinson, B.C. 2006. The Perverse Effects of Competition on Scientists' Work and Relationships. *Sci. Eng. Ethics*, 13, p. 437-461.
- Armitage, J.J., Allen, P.A. Cratonic basins and the long-term subsidence history of continental interiors. *J. Geol. Soc.*, 2010, 167, 61.
- Artemieva, I.M., Thybo, H. 2008. Deep Norden: Highlights of the lithospheric structure of Northern Europe, Iceland, and Greenland. *Episodes*, 31, p. 98-106.
- Arthur, M.A., Sageman, B.B. 1994. Marine black shales: depositional mechanism and environments of ancient deposits. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 22, p. 499-551. Ashwal, L.D., Demaiffe, D., Torsvik, T.H. 2002. Petrogenesis of Neoproterozoic granitoids and related rocks from the Seychelles: a case for an Andean-type arc origin. *J. Petrol.*, 43, p. 45-83
- Aubouin, J., Blanchet, J.F.S., Tardy, M. 1977. Téthys (Mésogée) et Atlantique: données de la géologie. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D*, 285, p. 1025-1028.
- Aumento, F., Loncarevic, B.D. 1969. The Mid-Atlantic Ridge near 45 N. III. Bald Mountain. *Can. J. Earth Sci.*, 6, p. 11-23.
- Aumento, F., Melson, W.G., Robinson, P.T., Hall, J.M. et al. 1977. *Initial Reports of the DSDP Leg 37*. Washington, D.C., U.S. Govt. Print. Office.
- Austrheim, H. 1987. Eclogitization of lower crustal granulites by fluid migration through shear zones. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 81, p. 221-232.
- Austrheim, H. 1988. Influence of fluid and deformation on metamorphism of the deep crust and consequences for the geodynamics of collision zones. In: *Geodynamics and Geochemistry of Ultrahigh-Pressure Rocks*. Dordrecht, Kluwer Academic, p. 297-323.
- Badding, J.V., Hemley, R.J., Mao, H.K. 1991. High- pressure chemistry of hydrogen in metals: In-situ study of iron hydrides. *Science*, 253, p. 421-424.

- Bajpai, S., Datta, D., Pandey, P. et al. 2023. Fossils of the oldest diplodocoid dinosaur suggest India was a major centre for neosauropod radiation. *Scientific reports*, 13: 12680
- Barrell, J. 1914. The strength of the Earth's crust: Part II. Regional distribution of isostatic compensation. *J. of Geology*, 22, p. 145-165.
- Barrell, J. 1927. On continental fragmentation and the geologic bearing of the Moon's surface features. *Am. J. Sci.*, 213, p. 283-314.
- Barron, J.G., Heirtzler, J.R., Lorentzen, G.R. 1966. An airborne geomagnetic survey of the Reykjanes Ridge, 1963. Report, US Naval Oceanographic Office.
- Belousov, V.V. 1962. *Basic Problems in Geotectonics*. New York, McGraw-Hill, 816 p.
- Benioff, H. 1949. The fault origin of oceanic deeps. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 60, p. 1837-1866.
- Benioff, H. 1954. Orogenesis and deep crustal structures: additional evidence from seismology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 65, p. 385-400.
- Bertrand, M. 1887. La chaîne des Alpes et la formation du continent européen. *Bull. Soc. Geol. France*, 3rd series, 15, p. 423-447.
- Bisht, H., Kotlia, B.S., Kumar, K. et al. 2020. GPS derived crustal velocity, tectonic deformation and strain in the Indian Himalayan arc. *Quaternary International*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.028>
- Bjørkum, P.A. 2016. *Annerledestenkerne* (in Norwegian). Oslo, Universitetsforlaget, 474 p.
- Blanks, D.E., Holwell, D.A., Fiorentini, M.L. et al. 2020. Fluxing of mantle carbon as a physical agent for metallogenic fertilization of the crust. *Nature Communication*, 11. Article 4342.
- Bonatti, E., Chermak, A. 1981. Formerly emerging crustal blocks in the equatorial Atlantic. *Tectonophysics*, 72, p. 165-180.
- Bonatti, E., Sarnheim, M., Gorini, M., Honnorez, J. 1977. Neogene crustal emergence and submergence at the Romanche F.Z., equatorial Atlantic. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 35, p. 369-383.
- Botha, G.A., Hughes, J.C. 1992. Paedogenic palygorskite and dolomite in a late Neogene sedimentary succession, northwestern Transvaal, South Africa. *Geoderma*, 53, p. 139-154.
- Bott, M.H.P., Gunnarsson, K. 1980. Crustal structure of the Iceland-Faeroe Ridge. *J. Geophys.*, 47, p. 221-227.
- Bott, M.H.P., Sutherland, J., Smith, P.J. 1974. Evidence for continental crust beneath the Faeroe Islands. *Nature*, 248, p. 202-204.
- Boucot, A.J., Johnson, J.G. 1973. Silurian Brachiopods. In: *Atlas of Paleobiogeography*. Amsterdam, Elsevier, p. 59-66.
- Brooks, M. 2012. *The Secret Anarchy of Science*. London, Profile Books Ltd, 311 p.
- Brown, D.A., Campbell, K.S.W., Crook, K.A.W. 1968. *The geological Evolution of Australia and New Zealand*. London, Pergamon Press, 368 p.
- Bryan, G., Kumar, N., De Castro, P.J.M. 1973. The North Brazilian Ridge and its extension of equatorial fracture zones into the continent. *Cong. Brasileiro de Geologia, Annais*, 26th, p. 133-143.
- Buchardt, B. 1978. Oxygen isotope palaeotemperatures from the Tertiary period in the North Sea area. *Nature*, 275, p. 121-123.
- Bullard, E.C., Everett, J., Smith, A.G. 1965. In: *A symposium on Continental Drift*. *Phil. Trans. Roy. Soc.*, London, A258, p. 41-51.
- Cameron, A.G.W. 1962. The formation of Sun and Planets. *Icarus*, 1, p. 13-69.
- Carey, S.W. 1955. The orocline concept in Geotectonics. *Proc. Roy. Soc. Tasmania*, 89, p. 255-288.
- Chamberlin, T.C. 1897. A group of hypotheses bearing on climate changes. *J. Geol.*, 5, p. 653-683.
- Chatterjee, S. 1984. The drift of India: a conflict in plate tectonics. *Mem. Soc. Geol. France*, 147, p. 43-48.
- Chatterjee, S., Hotton III, N. 1986. The palaeoposition of India. *J. Southwest Asian Earth Sci.*, 1, p. 145-189.
- Cleal, C.J., Thomas, B.A. 2005. Palaeozoic tropical rainforests and their effect on global climates: is the past the key to the present? *Geobiology*, 3, p. 13-31.
- Clegg, J.A.S., Deutsch, E.R., Griffiths, D.H. 1956. Rock magnetism in India. *Phil. Mag.*, 1, p. 419-431.
- Clegg, J.A., Deutsch, E.R., Everitt, C.W.F., Stubbs, P.H.S. 1957. Some recent palaeomagnetic measurements made at Imperial College, London. *Phil. Mag. Suppl. Adv. Physics*, 6, p. 219-231.
- Cloos, H. 1939. Hebung-Spaltung-Vulkanismus. *Geol. Rundschau*, 30, p. 637-640.
- Coleman, A.P. 1925. Permo-Carboniferous Glaciation and the Wegener Hypothesis. *Nature*, 115, 602.
- Coleman, A.P. 1926. *Ice Ages*. London, MacMillan, 296 p.
- Collins, L.G. 1992. Rock transformation in situ: Mafic to felsic. In *Expanding Geosphere. Energy and Mass Transfers from Earth's Interior*. Calgary, Polar Publishing, 421 p.
- Cox, A., Dalrymple, B., Doell, R.R. 1967. Reversals of the Earth's magnetic field. *Sci. Am.*, 216, p. 44-54.
- Creer, K.M., Irving, E., Runcorn, S.K. 1957. Geophysical interpretations of palaeomagnetic directions from Great Britain. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, A250, p. 144-156.
- Creer, K.M. 1970. A review of palaeomagnetism. *Earth Sci. Rev.*, 6, p. 369-466.
- Creer, K.M. 1975. On a tentative correlation between changes in the geomagnetic polarity bias and reversal frequency and the Earth's rotation through Phanerozoic time. In: *Growth Rhythms and The History of the Earth's Rotation*. London, John Wiley and Sons, p. 293-318.
- Davies, P. 1994. *Introduction to: Richard Feynman's Six Easy Pieces*. London, Penguin Books, 146 p.
- Davis, E.E., Lister, C.R.B. 1977. Heat flow measured over the Juan de Fuca Ridge on a quasi-regular grid. *J. Geophys. Res.*, 82, p.4845-4853.
- Denk, T., Grimsson, F., Kvaček, Z. 2005. The Miocene floras of Iceland and their significance for late Cainozoic North Atlantic biogeography. *Bot. J. Linnean Soc.*, 149, p. 369-417.
- Deutsch, E.R. 1958. Recent palaeomagnetic evidence for the northward movement of India. *J. Alberta Soc. Petrol. Geol.*, 6, p. 155-162.
- Deutsch, E.R., Radakrishnamurty, C., Sahasrabudhe, P.W. 1958. The permanent magnetism of some lavas in the Deccan Traps. *Phil. Mag.*, 3, p. 170-184.
- Dickins, J.M., Shah, S.C., Archbold, N.W. et al. 1992. Some climatic and tectonic implications of the Permian marine faunas of Peninsular India. In: *Gondwana Eight*. A.A. Balkema, p. 333-343.
- Dietz, R. 1961. Ocean basin evolution by spreading of the seafloor. *Nature*, 190, p. 854-857.
- Dickson, G.O., Pitman III, W.C., Heirtzler, J.R. 1968. Magnetic anomalies in the South Atlantic and ocean floor spreading. *J. Geophys. Res.*, 73, p. 2087-2100.
- Dixon, T.H., Farina, F., DeMets, C. et al. 1998. Relative motion between the Caribbean and North American plates and related boundary zone deformation from a decade of GPS observations. *J. Geophys. Res.*, 103, p. 15,157-15, 182.
- Drake, C.L. and Girdler, R.W. 1964. A geophysical study of the Red Sea. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 8, p.473- 495.
- Du Toit, A.L. 1927. *A Geological Comparison of South America with South Africa*. With a Palaeontological Contribution by F.R. Cowper Reed. Washington, Carnegie Institution of Washington, Publ. No. 381, 208 p.
- Dziewonski, A.M., Woodhouse, J.H. 1987. Global images of the Earth's interior. *Science*, 236, p. 37-48.
- Elderfield, H. 2000. From greenhouse to icehouse, across the Eocene-Oligocene boundary. *Nature*, 407, p. 851- 852.
- Eyles, N., Brockert, P. 2001. Glacial tunnel valleys in the eastern Goldfields District of Western Australia cut below the late Palaeozoic Pilbara ice sheet. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 171, p. 29-40.
- Ewing, J., Ewing, M. 1967. Sediment distribution on the mid-ocean ridges with respect to spreading of the sea floor. *Science*, 156, p. 1590-1592.
- Ewing, J., Worzel, J.L., Ewing, M., Windisch, C. 1966. Ages of Horizon A and the oldest Atlantic sediments. *Science*, 154, p. 1125-1132.
- Feyerabend, P. 1988. *Against Method*. London, Verso, 296 p.
- Fielding, C.R., Frank, T.R., Birgenheier, L.P. et al. 2008. Stratigraphic imprint of the Late Palaeozoic Ice Age in eastern Australia: a record of

- alternating glacial and nonglacial climate regime. *J. Geol. Soc.*, 165, p. 129-140.
- Fielding, C.R., Frank, T.R., Isbell, J.L. 2008. The late Palaeozoic ice age – A review of current standing and synthesis of global climate pattern. In: *Resolving the late Palaeozoic Ice Age in Time and Space*, *Geol. Soc. Am.*, p. 343-354.
- Fischer, R.A., Cottrell, E., Hauri, E., Lee, K.M. 2020. The carbon content of Earth and its core. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 117 (16). Doi: 10.1073/pnas.1919930117
- Fowler, C.M.R. 1990. *The Solid Earth. An Introduction to Global Geophysics*. Cambridge, Cambridge Univ. Press., 733 p.
- Fowler, C.M.R., Nisbet, E.G. 1985. The subsidence of the Williston Basin. *Can. J. Earth Sci.*, 22, p. 408-415.
- French, S.W., Romanowicz, B. 2015. Broad. plumes rooted at the base of the Earth's mantle beneath major hotspots. *Nature*, 525, p. 95-99.
- Furon, R. 1949. Sur les trilobites draguées à 4255 m de profondeur par le «Talisman» (1883). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 228, p. 1509-1510.
- Galli, G., Pan, D. 2013. A closer look at supercritical water. *PNAS*, 110, 6250-6251.
- Ghienne, J.-F. 2003. Late Ordovician sedimentary environments, glacial cycles, and post-glacial transgression in the Taoudeni Basin, West Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 189, p. 117-145.
- Godby, E.A., Hood, P.J., Bower, M.E. 1968. Aeromagnetic profiles across the Reykjanes Ridge southwest of Iceland. *J. Geophys. Res.*, 93, p. 11721-11733.
- Gold, T., 1987. *Power from the Earth: Deep Earth Gas – Energy for the Future*. Dent and Sons, London, 208 p.
- Gold, T., 1999. *The Deep Hot Biosphere*. Copernicus, New York, 235 p.
- Goswami, S. 2014. *Glossopteris flora: A review*. *Plant Science Research*, 36, p. 1-5.
- Gottfried, R. 1990. Origin and evolution of the earth – Chemical and physical verifications. In: *Critical Aspects of the Plate Tectonic Theory (vol. II)*. Athens (Greece), Theophrastus Publ., p. 115-140.
- Gouramanis, C., McLoughlin, S. 2016. Siluro-Devonian trace fossils from the Mereenie Sandstone, Kings Canyon, Watarrka National Park, Amadeus Basin, Northern Territory, Australia. *Alcheringa*, 40, p. 118-128.
- Green, A.G., Clowes, K.M., Yorath, C.J. et al. 1986. Seismic reflection imaging of the subducting Juan de Fuca plate. *Nature*, 319, p. 210-213.
- Gregori, G.P. 2001. The origin of the magnetic field and the endogenous energy of the Earth and planetary objects (extended abstract). *Int. Workshop on Global Wrench Tectonics*, Oslo, 9-11 May 2001.
- Gregori, G.P. 2002. *Galaxy-Sun-Earth Relations: The origins of the magnetic field and of the endogenous energy of the Earth*. Arbeitskreis Geschichte Geophysik, Band 3, Heft 3, Science Edition, Berlin, W. Schröder, 471 p.
- Gupta, S., Saxena, A., Shabbar, H. et al. 2023. First record of late Devonian-early Carboniferous palynoflora from the Lipak Formation, Spiti Basin, Tethyan Himalaya, India, and their biostratigraphic implications. *J. Palaeontological Soc., India*, 68, p. 22-41.
- Hall, J.M., Robinson, P.T. 1979. Deep crustal drilling in the North Atlantic Ocean. *Science*, 204, 573-586.
- Hallam, A. 1977. Biostratigraphic evidence bearing on the creation of Atlantic seaways in the Jurassic. In: *Paleontology and Plate Tectonics*. Milwaukee Public Mus. Publ. Geol., 2, p. 23-39.
- Hayes, D.E., Ewing, M. 1970. North Brazilian Ridge and adjacent continental margin. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, p. 2120-2150.
- Haxby, W.F., Turcotte, D.L., Bird, J.M. 1976. Thermal and mechanical evolution of the Michigan basin. *Tectonophysics*, 36, 57-75.
- Heer, O. 1868. *Die fossile Flora der Polarländer*. In: *Flora fossilis arctica*, Vol 1. Zürich.
- Heer, O. 1874. Nachtrage zur Miocenen flora Grönlands. *Kungl. Svenska Vetensk.-Akad. Handlingar*, 13, p. 1-29.
- Heer, O. 1880. Nachtrage zur Fossilien Flora Grönlands. *Kungl. Svenska Vetensk.-Akad. Handlingar*, 18, p. 1-17.
- Heirtzler, J.R., Le Pichon, X., Barron, J.G. 1966. Magnetic anomalies over the Reykjanes Ridge. *Deep-Sea Research*, 13, 427-443.
- Heirtzler, J.G., Dickson, G.O., Herron, E.M., et al. 1968. Marine Magnetic Anomalies, Geomagnetic Reversals, and Motion of Ocean Floor and Continents. *J. Geophys. Res.*, 73, 2119-2136.
- Heki, K., Hamano, Y., Kono, M. 1983. Rotation of the Peruvian Block from palaeomagnetic studies of the Central Andes. *Nature*, 305, p. 514-516.
- Herzen, R. von, Simmons, G. 1972. Two heat flow profiles across the Atlantic Ocean. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 15, p. 19-27.
- Hess, H.H. 1962. History of the ocean basins. In: *Petrologic studies, a volume in honour of A.F. Buddington*, *Geol. Soc. Am.*, p. 599-620.
- Hinz, K., Dostman, H., Fritsch, J. 1982a. The continental margin off Morocco; seismic sequences, structural elements and geological development. In: *Geology of the Northwest African Continental Margin*. Berlin, Springer-Verlag, p. 34-60.
- Hinz, K., Winterer, E.L., Baumgartner, P.O., et al. 1982b. Preliminary results from DSDP Leg 79 seaward of the Mazagan Plateau off Central Morocco. In: *Geology of the Northwest African Continental Margin*. Berlin, Springer-Verlag, p. 23-33.
- Hixon, H.W. 1920. Is the Earth expanding or contracting? *Popular Astronomy*, 28, p. 1-11.
- Holmes, A. 1944. *Principles of Physical Geology*. Edinburgh, Thomas Nelson and Sons, 532 p.
- Holmes, A. 1929. Radioactivity and earth movements. *Trans. Geol. Soc. Glasgow*, 18, p. 559-606.
- Howell, P.D., Pluijm, B.A van der 1990. Early history of the Michigan basin: Subsidence and Appalachian tectonics. *Geology*, 18, p. 1195-1198.
- Hughes, N.C. 2016. The Cambrian palaeontological record of the Indian subcontinent. *Earth-Science Reviews*, 159, p. 428-461.
- Hunt, S., Collins, L.G., Skobelin, E.A. 1992. *Expanding Geospheres. Energy and Mass Transfers from Earth's Interior*. Polar Publishing (Calgary), 421 p.
- Hyndman, R.D., Erickson, A.J., Von Herzen, R.P. 1974. Geothermal measurements on DSDP Leg 26. Doi: 10.2973/DSDP.PROC.26.113.1974
- Irving, E. 1957. Rock magnetism: a new approach to some palaeogeographic problems. *Phil. Mag. Suppl. Adv. Phys.*, 6, p. 194-218.
- Irving, E., 1958. Palaeogeographic reconstruction from palaeomagnetism. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 1, p. 224-237.
- Irving, E. 1964. *Palaeomagnetism and its Application to Geological and Geophysical Problems*. New York, John Wiley and Sons, 399 p.
- Jenkyns, H.C. 1980. Cretaceous anoxic events from continents to oceans. *J. Geol. Soc. London*, 137, p. 171-188.
- Johnson, H.P. 1979. Palaeomagnetism of igneous rock samples-DSDP Leg 45. In: *Initial Reports and Publications, DSDP Leg 45*. Washington, D.C., U.S. Govt. Print. Office.
- Jordan, T.H. 1975. The Continental Tectosphere. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 13, p. 1-12.
- Kaatz, L., Zertani, S., Moulas, E. et al. 2021. Widening of Hydrous Shear Zones During Incipient Eclogitization of Metastable Dry and Rigid Lower Crust – Holsnøy, Western Norway. *Tectonics*, 40, e2020TC006572.
- Kaufman, W.J. 1988. *Universe*. New York, Freeman and Company, 634 p.
- Kawai, N., Ito, H., Kume, S. 1961. Deformation of the Japanese islands as inferred from rock magnetism. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 6, p. 124-129.
- Keating, B., Sakai, H. 1988. Red Beds in Antarctica – ODP 119. *EOS*, 69, p. 1161.
- Keidel, J. 1916. *La Geologia de las Sierras de la Provincia de Buenos Aires y Relaciones con las Montañas de Sud Africa y los Andes*. *Annales del Ministerio de Agricultura de la Nación, Sección Geología, Mineralogía y Minería*, v. XI, no. 3, Buenos Aires.
- Kendall, J.-M., Shearer, P.M. 1995. On the structure of the lowermost mantle beneath the southwest Pacific, southeast Asia, and Australia. *Phys. Earth Planet. Int.*, 92, p. 85-98.

- Kennett, B.L.N., Widiyantoro, S. 1999. A low seismic wave speed anomaly beneath northwestern India: a seismic signature of the Deccan plume? *Earth Planet. Sci. Lett.*, 165, p. 145-155.
- Khosla, A., Bajpai, S. 2021. Dinosaur fossil records from India and their paleobiogeographic implications: an overview. *J. Palaeosciences*, 70, p. 193-212.
- Khosla, A., Lucas, S.G. 2024. Triassic-Jurassic dinosaurs from India, their ages and palaeobiogeographic significance. *Historical Biology*. Informa UK Limited, Taylor & Francis Group.
- Klein, G. de V. 1991. Origin and evolution of North American cratonic basins. *S. Afr. J. Geol.*, 94, p. 3-18.
- Kober, L. 1923. *Bau und Entstehung der Alpen*. Berlin, Gebrüder Bornträger, 283 p.
- Kono, M., Heki, K., Hamano, Y. 1985. Palaeomagnetic study of the central Andes: Counterclockwise rotation of the Peruvian block. *J. Geodyn.*, 2, p. 193-209.
- Krassilov, V.A. 2000. Permian Phytogeographic Zonality and its Implications for Continental Positions and Climates. *Paleontological J.*, 34, Suppl. 1, p. 587-598
- Kuhn, T.S. 1962/1970. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, University of Chicago Press, 213 p.
- Köppen, W., Wegener, A. 1924. *Die Klimate der geologischen Vorzeit*. Berlin, Gebrüder Bornträger, 256 p.
- Khan, Z.A., Tewari, R.C. 2016. Facts and fictions of the Oceanic Tethys concept. *SCIREA J. Geosciences*, 1, p. 12-35.
- Lakatos, I. 1978. *The methodology of scientific research programmes*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 250 p.
- Lake, P. 1922. Wegener's displacement theory. *Geol. Mag.*, 59, p. 338-346.
- Lambart, S., Koomneef, J.M., Millet, M.-A. et al. 2019. Highly heterogeneous depleted mantle recorded in the lower oceanic crust. *Nature Geoscience*, 12, p. 482-486.
- Leech, M.L. 2001. Arrested orogenic development: eclogitization, delamination, and tectonic collapse. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 185, p. 149-159.
- Le Grand, H.E. 1988. *Drifting Continents and Shifting Theories*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 313 p.
- Le Heron, D.P., Howard, J. 2010. Evidence for late Ordovician glaciation of Al Kufrah Basin, Libya. *J. Afr. Earth Sci.*, 58, p. 354-364.
- Le Heron, D.P., El Houicha, M., Ghienne, J.F., Khoukhi, Y. 2007. Maximum extent of ice sheets in Morocco during the Late Ordovician glaciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 245, p. 200-226.
- Li, M., McNamara, A.K., Gamero, E.J., Yu, S. 2017. Compositionally distinct ultra-low velocity zones on Earth's core-mantle boundary. *NATURE COMMUNICATIONS*, 8: 177, DOI: 10.1038/s41467-017-00219, www.nature.com/naturecommunication
- Liebscher, A. 2010. Aqueous fluids at elevated pressure and temperature. *Geofluids*, 10, p. 3-19.
- Limarino, C.O., Sésari, S.N., Spalletti, L.A. et al. 2014. A paleoclimatic review of southern South America during the late Palaeozoic: A record from icehouse to extreme greenhouse conditions. *Gondwana Research*, 25, p. 1396-1421.
- Lister, C.R.B. 1980. Heat flow and hydrothermal circulation. *Ann. Rev. Earth Sci.*, 8, p. 95-117.
- Liu, S.-A., Wang, Z.-Z., Li, S.-G. et al. 2016. Zinc isotope evidence for a large-scale carbonated mantle beneath eastern China. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 444, p. 169-178.
- Lowenstam, H.A. 1964. Palaeotemperatures of the Permian and Cretaceous Periods. In: *Problems in Palaeoclimatology*. London, Interscience, p. 227-248.
- Luyendyk, B.P. and Melson, W.G. 1967. Magnetic Properties and Petrology of Rocks near the Crest of the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 215, p. 147-149.
- Luyendyk, B.P., Mudie, J.D., Harrison, C.G.A. 1968. Lineations of Magnetic Anomalies in the Northeast Pacific Observed near the Ocean Floor. *J. Geophys. Res.*, 73, p. 5951-5957.
- Maheshwari, H.K. 1992. Provincialism in Gondwana floras. *Palaeobotanist*, 40, p. 101-127.
- Manum, S. 1962. Studies in the Tertiary flora of Spitsbergen, with notes on Tertiary floras of Ellesmere Island, Greenland, and Iceland. A palynological investigation. *Norsk Polarinstittut Skrifter*, 125, p. 1-127.
- Martinis, B., Visintin, V. 1966. Données géologique sur le bassin sédimentaire cotier de Tarfaya (Maroc meridional). In: *Bassins sédimentaire du littoral africain*. Assoc. Serv. Geol. Afr., Paris, p. 13-26.
- Marvin, U. 1985. The British Reception of Alfred Wegener's Continental Drift Hypothesis. *History of Earth Science Society*, 4, p. 138-159.
- Masclé, J., Lohmann, G.P., Clift, P. 1995. The Côte D'Ivoire-Ghana Transform Margin Eastern Equatorial Atlantic. *JOIDES Journal*, 21, p. 4-10.
- Mason, R.G. 1958. A magnetic survey off the west coast of the United States. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 1, p.320-1329.
- Mason, R.G., Raff, A.D. 1961. Magnetic survey off the west coast of North America, 32°N latitude to 42°N latitude. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72, p.1259-1266.
- Matthews, D.H., Davies, D. 1966. Geophysical studies of the Seychelles Bank. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, p. 227-239.
- Maus, S., Fairhead, J.D., Mogren, S. 2008. EMAG 3: A3- arc-minte resolution global magnetic anomaly grid compiled from satellite, airborne and marine magnetic data. *SEG Expanded Abstracts* 27, doi: 10.1190/1.3063758.
- Maxwell, A.E et al. 1970. *Initial Reports of the Deep-Sea Drilling Project, Leg 3*. Washington DC, US Govt. Print. Office.
- McKenna, M.C. 1975. Fossil mammals and early Eocene North Atlantic land continuity. *Ann. Miss. Bot. Gard.*, 62, p. 335-353.
- McKenna, M.C. 1983. Cenozoic paleogeography of Atlantic land bridges. In: *Structure and development of the Greenland-Scotland Bridge*. New York, Plenum, p. 351-395.
- McLoughlin, S. 2011. *Glossopteris – insights into the architecture and relationships of an iconic Permian Gondwanan plant*. *J. Bot. Soc. Bengal*, 65 (2), p. 1-14.
- McLoughlin, S., Drinnan, A.N. 1997. Revised Stratigraphy of the Permian Bainmedart Coal Measures, Northern Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Geol. Mag.*, 134 (3), p. 335-353.
- Menard, H.W. 1986. *The Ocean of Truth*. Princeton, Princeton Univ. Press, 353 p.
- Meyerhoff, A.A., Meyerhoff Hull, D., Taner, I., Morris, A.E.L. et al. 1996. *Surge Tectonics: A New Hypothesis of Global Geodynamics*. Dordrecht, Kluwer, Springer, 323 p.
- Michaelsen, P., Storetvedt, K.M. 2023. Tectonic evolution of a sequence of related late Permian transtensive coal-bearing sub-basins, Mongolia: A global wrench tectonics portrait. *Mongolian Geoscientist*, 28, No. 57, p. 1-53.
- Morelli, A., Dziewonski, A.M., 1987. Topography of the core-mantle boundary and lateral homogeneity of the liquid core. *Nature*, 325, p. 678-683.
- Mortimer, N., Campbell, H.J., Tulloch, A.J. et al. 2017. Zealandia: Earth's Hidden Continent. *GSA Today*, 27, doi: 10.1130/GSATG321A.1
- Myers, T.S. 2016. CO2 and late Palaeozoic glaciation. *Nature Geoscience*, 9, p. 803-804.
- Naugolnykh, S.V., Uranbiley, L. 2018. A new discovery of *Glossopteris* in southwestern Mongolia as an argument for distant migration of Gondwanan plants. *J. Asian Earth Sciences*, 154, p. 142-148.
- Nilsen, T.H., Kerr, D.R. 1976. Turbidites, redbeds, sedimentary structures, and trace fossils observed in DSDP Leg 38 cores and the sedimentary history of the Norwegian-Greenland Sea. *Initial Reports of DSDP Leg 38, US Govert. Print. Off.*, p. 259-288.
- Ohkouchi, N., Kuroda, J., Taira, A. 2015. The origin of Cretaceous black shales: a change in the surface ocean ecosystem and its triggers. *Proc. Japan Acad., Ser. B*, 91, p. 273-290.
- Okuchi, T. 1997. Hydrogen partitioning into molten iron at high pressure: implications for Earth's core. *Science*, 278, p. 1781-1784.
- Oldham, R.D., 1906. *The Constitution of the Interior of the Earth as Revealed by Earthquakes*. Q. J. Geol. Soc. London, 62, p. 456-472.
- Olson, P., Silver, P.G., Carlson, R.W. 1990. The large-scale structure of convection in the Earth's mantle. *Nature*, 344, p. 209-215.

- Opdyke, N.D., Glass, B., Hays, N.D., Foster, J. 1966. Palaeomagnetic Study of Antarctic Deep-Sea Cores. *Science*, 154, p. 349-357.
- Oreskes, N. 1999. *The Rejection of Continental Drift*. New York, Oxford University Press, 420 p.
- Pachhai, S., Li, M., Thorne, M.S., Dettmar, J., Thalčić, H. 2022. Internal structure of ultralow-velocity zones consistent with origin from a basal magma ocean. *Nature Geoscience*, 15, p. 79-84.
- Pan, D., Spanu, L., Harrison, B., Galli, G. 2013. Dielectric properties of water under extreme conditions and transport of carbonates in the deep Earth. *PNAS*, 110, p. 6646-6650.
- Pardo, J.D., Small, B.J., Milner, A.R., Huttenlocker, A.K. 2019. Carboniferous-Permian climate change constrained early land vertebrate radiation. *Nature ecology & evolution*, 3, p. 200-206.
- Pearson, D.G., Scott, J.M., Liu, J. et al. 2021. Deep continental roots and cratons. *Nature*, 596, p. 199-210.
- Pérez, O.J., Bilham, R., Bendick, R. et al. 2001. Velocity field across the southern Caribbean plate boundary and estimates of the Caribbean/South-American plate motion using GPS geodesy 1994-2000. *Geophys. Res. Lett.*, 28, p. 2987-2990.
- Peterson, J.A., MacCary, L.M. 1987. Regional stratigraphy and general petroleum geology of the U.S. portion of the Williston basin and adjacent areas. In: *Williston basin: anatomy of a cratonic oil province*. Denver, Rocky Mountain Ass. of Geol., p. 9-44.
- Pilot, J., C.-D., Werner, Haubrich, F., Baumann, N. 1998. Palaeozoic and Proterozoic zircons from the Mid-Atlantic Ridge. *Nature*, 393, p. 676-679.
- Pitman III, W.C., Herron, E.M., Heirtzler, J.R. 1968. Magnetic anomalies in the South Pacific Ocean and seafloor spreading. *J. Geophys. Res.*, 73, p. 2069-2085. Pitman III, W.C. and Talwani, M. 1972. Seafloor spreading in the North Atlantic. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 83, p. 619-646.
- Poirier, J.-P. 2000. *Introduction to the Physics of the Earth's Interior*. Cambridge Univ. Press, 312 p.
- Pomerol, C. 1982. *The Cenozoic Era*. Chichester, UK, Ellis Harwood, 272 p.
- Putnis, A., Austrheim, H. 2010. Fluid-induced processes: metasomatism and metamorphism. *Geofluids*, 10, p. 254-269. Querol, R. 1966. Regional geology of the Spanish Sahara. In: *Bassins sédimentaires du littoral africain*. Assoc. Serv. Geol. Afr., Paris, p. 27-39.
- Raff, A.D., Mason, R.G. 1961. Magnetic survey off the west coast of North America, 40 N latitude to 52 N latitude. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72, p. 1267-1270.
- Ranke, U., von Rad, U., Wissman, G. 1982. Stratigraphy, facies and tectonic development of the on- and offshore Aaiun-Tarfaya Basin – a review. In: *Geology of the Northwest African Continental Margin*. Berlin, Springer-Verlag, p. 86-105.
- Rehmer, J.A., Hepburn, J.C. 1974. Quartz sand surface textural evidence for a glacial origin of the Squantum "Tillite", Boston Basin, Massachusetts. *Geology*, 2, p. 413-415.
- Rehmer, J.A., Roy, D.C. 1976. The Boston Bay Group: the boulder bed problem. In: *Geology of southeastern New England*, 68th Annual Meeting of New England Intercollegiate Geological Conference, Guidebook, p. 71-91.
- Richardson, K.R., Smallwood, J.R., White, R.S. et al. 1998. Crustal structure beneath the Faeroe Islands and the Faeroe-Iceland Ridge. *Tectonophysics*, 300, p. 159-180. Richter, F.M. 1985. Models of the Archean thermal regime. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 73, p. 350-360.
- Ritserma, J.H., Heist, J. van, Woodhouse, J.H. 2004. Global transition zone tomography. *J. Geophys. Res.*, 109, B02302.
- Rivadeneira-Vera, C., Bianchi, M., Assumpção, M. et al. 2019. An Updated Crustal Thickness Map of Central South America Based on Receiver Function Measurements in the Region of the Chaco, Pantanal, and Paraná Basins, Southwestern Brazil. *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 124, p. 8491-8505.
- Rona, P.A. 1980. North Central Atlantic Ocean Basin and Continental Margins. NOAA Atlas 3. Washington, D.C., U.S. Dept. of Commerce.
- Roperch, P., Carlier, G. 1992. Palaeomagnetism of Mesozoic rocks from the Central Andes of Southern Peru: Importance of rotations in the development of the Bolivian Orocline. *J. Geophys. Res.*, 97, p. 17233-17249.
- Roy, J.L. 1972. A pattern of rupture of the eastern North American-western European paleo-block. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 14, p. 103-114.
- Runcom, S.K. 1956. Paleomagnetic comparison between Europe and North America. *Proc. Geol. Ass. Canada*, 8, p. 77-85.
- Runcom, S.K. 1981. Wegener's Theory: The role of geophysics in its eclipse and triumph. *Geol. Rundschau*, 70, p. 784-793.
- Ryan, B.H., Kaczmarek, S.E., Rivers, J.M. 2019. Dolomite dissolution: An alternative diagenetic pathway for the formation of palygorskite clay. *Sedimentology*, doi: 10.1111/sed.12559, p. 1-22.
- Sandwell, D.T., Müller, R.D., Smith, W.H.F. et al. 2014. New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure. *Science*, 346, p. 65-67.
- Schwartzbach, M. 1963. *Climates of the past*. London, Van Nostrand Co. Ltd., 328 p.
- Scheidegger, A.E. 1963. *Principles of Geodynamics*. Berlin, Springer-Verlag, 362 p.
- Scheidegger, A.E. 1985. The significance of surface joints. *Geophys. Serv.*, 70, p. 259-271.
- Scheidegger, A.E. 1995. Geojoints and geostresses. In: *Mechanics of Jointed and Faulted Rock*. Rotterdam, Balkema, p. 3-35.
- Singh, K.J., Singh, R., Cleal, C.J. et al. 2013. Carboniferous floras in siliciclastic rocks of Kashmir Himalaya, India and the evolutionary history of the Tethyan Basin. *Geol. Mag.*, 150, p. 577-601.
- Sleep, N.H. 1969. Sensitivity of heat flow and gravity to the mechanism of seafloor spreading. *J. Geophys. Res.*, 74, p. 542-549.
- Sloss, L.L. 1963. Sequences in the cratonic interior of North America. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 74, p. 93-114.
- Smithson, S.B., Wenzel, F., Ganchin, Y.V., Morozov, I.B. 2000. Seismic results at Kola and KTB deep scientific boreholes; velocities, reflections, fluids, and crustal composition. *Tectonophysics*, 329, p. 301-317.
- Sonnenfeld, P. (Ed). 1981. *Tethys*. Stroudsburg, Pennsylvania, Hutchinson Ross Publishing Company, 331 p.
- Spjeldnaes, N. 1961. Ordovician climatic zones. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 41, p. 45-77.
- Srivastava, A.K., Agnihotri, D. 2010. Dilemma of late Palaeozoic mixed floras in Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 298, p. 54-69.
- Staples, R.K., White, R.S., Brandsdottir, B. et al. 1997. Faeroe-Iceland Ridge Experiment; 1. Crustal structure of northeastern Iceland. *J. Geophys. Res.*, 102, p. 7849-7866.
- Stevenson, D.J. 1981. Models of the Earth's core. *Science*, 214, p. 611-619.
- Stevens Goddard, A.L., Thurston, O.G., Malone, D.H. et al. 2023. Cratonic basins as effective sediment barriers in continent-scale sediment routing systems of Paleozoic North America. *Scientific Reports*, 13: 11126. www.nature.com/scientificreports
- Storetvedt, K.M. 1987. Evidence for ocean-continent crust boundary beneath the abyssal plain of the East Central Atlantic. *Phys. Earth Plan. Int.*, 48, p. 115-129.
- Storetvedt, K.M. 1990. The Tethys Sea and the Alpine- Himalayan orogenic belt: mega-elements in a new global tectonic system. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 62, p. 141-184.
- Storetvedt, K.M. 1997. *Our Evolving Planet*. Bergen, Alma Mater, 456 p.
- Storetvedt, K.M. 2003/2023. *Global Wrench Tectonics*. Bergen, Fagbokforlaget, 397 p. On-line Edition 2023. <https://www.storetvedt.com/book-global-wrench-tectonics-online-edition-2023/>
- Storetvedt, K.M. 2015. Mountain Ranges – A Newcomer in Earth History. *New Concepts in Global Tectonics Journal*, 3, p. 334-356.
- Storetvedt, K.M. 2022. *Vitenskapens fremste rivaler*. Oslo, Kolofon, 538 p.
- Storetvedt, K.M. 2024. Iconoclashing hypothesis. *Leirvik, Storetvedt Nomad Services*, 321 p. <https://www.storetvedt.com/iconoclashing/>
- Storetvedt, K.M., Longhinos, B. 2011. Evolution of the North Atlantic: Paradigm Shift in the Offing. *New Concepts of Global Tectonics Newsletter*, no. 59, p. 8-51. www.ncgt.org

- Storetvedt, K.M and Longhinos, B. 2012. The Atlantic and its bordering continents – a wrench tectonic analysis: lithospheric deformation, basin histories and major hydrocarbon provinces. *New Concepts in Global Tectonics Newsletter*, no. 64, p. 24-63. www.ncgt.org
- Storetvedt, K.M., Michaelsen, P. 2024. Sedimentary basins, hydrocarbons, graphite, and Cu-Au deposits – from Mongolia to the Pacific margin: Interplay between the ubiquitous orthogonal fracture network and Global Wrench Tectonics. *Mongolian Geoscientist*, 29 (58), p. 19-54.
- Stracke, A. 2012. Earth's heterogeneous mantle: A product of convection-driven interaction between crust and mantle. *Chemical Geology*, 330-331, p. 274-299.
- Süss, E. 1904-1909. The face of the Earth (Das Antlitz der Erde), 4 vols. Oxford, Clarendon Press.
- Taber, J., Smith, S.W. 1985. Seismicity and focal mechanisms associated with the subduction of the Juan de Fuca plate beneath the Olympic Peninsula. *Washington. Bull. Seis. Soc. Am.*, 75, p. 237-249.
- Talwani, M., Windish, C.C., Langseth, M.D. Jr. 1971. Reykjanes Ridge crust: a detailed geophysical study. *J. Geophys. Res.*, 76, p. 473-517.
- Taylor, M., Yin, A. 2009. Active structures of the Himalayan-Tibetan orogen and their relationships to earthquake distribution, contemporary strain field, and Cenozoic volcanism. *Geosphere*, 5, p. 199-214.
- Tawaga, S., Sakamoto, N., Hirose, K. et al. 2021. Experimental evidence for hydrogen incorporation into Earth's core. *Nature communications*, 12: 2588.
- Thiry, M., Pletsch, T. 2011. Palygorskite Clays in Marine Sediments: Records of Extreme Climate. *Developments in Clay Science*, 3, p. 101-124.
- Thomas, R., Davidson, P., Rericha, A., Rehnagel, U. 2023. Supercritical Fluids Conserved as Fluid and Melt Inclusion in Quartz from the Sheba-Gold Mine, Barberton, South Africa. *Aspects Min Miner Sci.*, 10, p.1193-1196.
- Thompson, M.D., Bowring, S.A. 2000. Age of the Squantum "Tillite", Boston Basin, Massachusetts: U-Pb Zircon Constraints on Terminal Neoproterozoic Glaciation. *J. Sci.*, 300, p. 630-655.
- Thompson, P.H., Judge, A.S., Lewis, T.J. 1995. Thermal parameters in rock units of the Winter Lake-Lac de Gras area, central Slave Province, Northwest Territories – implications for diamond genesis. *Geol. Survey Canada, Current Res. E*, p. 125-135.
- Tingey, R.J. (Ed) 1991. *The Geology of Antarctica*. Oxford, Clarendon Press, 680 p.
- Thruswell, E. M. 1991. Antarctica: a history of terrestrial vegetation. In: *The Geology of Antarctica*. Oxford, Clarendon Press, p. 499-537.
- Trewin, N.H., McNamara, K.J. 1994. Arthropods invade the lands: trace fossils and palaeoenvironments of the Tumbago Sandstone (? Late Silurian) of Kalbarri, Western Australia. *Trans. Roy. Soc. Edinb.: Earth Sciences*, 85, p. 177-210.
- Tucker, M.E., Reid, P.C. 1973. The sedimentology and context of Late Ordovician glacial marine sediments from Sierra Leone, West Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 13, p. 289-307.
- Tuzo Wilson, J. 1954. The development and structure of the crust. In: *The Earth as a Planet*. Chicago, Chicago Univ. Press, p. 138-214.
- Tuzo Wilson, J. 1963. Evidence from islands on the spreading of the ocean floor. *Nature*, 197, p. 536-538.
- Tuzo Wilson, J. 1965. A new class of faults and their bearing on continental drift. *Nature*, 207, p.43-347.
- Tuzo Wilson, J. 1966. Did the Atlantic close and then re- open? *Nature*, 211, p. 676-681.
- Tuzo Wilson, J. 1992. Two scientific revolutions in the Earth sciences. The Tuzo Wilson meeting, St. John's Nfld., Febr. 27-29, 1992. Abstract volume, 28.
- Urey, H. 1952. *The Origin of the Earth and the Planets*. New Haven, Connecticut, Yale Univ. Press, 245 p.
- Vacquier, V.V., Raff, A.D., Warren, R.E. 1961. Horizontal displacements in the floor of the northeastern Pacific Ocean. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72, p. 1251-1258.
- Vidal, J.E., Benz, H.M. 1993. Seismological mapping of fine structure near the base of the Earth's mantle. *Nature*, 361, p. 529-532.
- Vallier, T.L. 1974. Volcanogenic sediments and their relation to landmass volcanism and sea floor-continent movements, western Indian Ocean. *Deep Sea Drilling Project, Leg 25*, p. 515-529.
- Vine, F.J. 1966. Spreading of the Ocean Floor: New Evidence. *Science*, 154, p. 1405-1415.
- Vine, F.J., Matthews, D.H. 1963. Magnetic Anomalies over Oceanic Ridges. *Nature*, 199, p. 947-949.
- Vine, F.J., Wilson, J.T. 1965. Magnetic anomalies over a young ocean ridge off Vancouver Island. *Science*, 150, p. 485-489.
- Wang, Q.X., Zhou, D.Y., Li, W.-C., Ni, H.W. 2021. Spinodal decomposition of supercritical fluid forms melt network in a silicate-H₂O system. *Geochem. Pers. Lett.*, 18, p. 22-26.
- Watkins, N.D. 1968. Comments on the Interpretation of Linear Magnetic Anomalies. *Pure Appl. Geophysics*, 69, p. 179-192.
- Watkins, N.D. and Richardson, A. 1968. Comments on the relationship between magnetic anomalies, crustal spreading and continental drift. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 4, p. 257-264.
- Webb, S.D. 1995. Biological implications of the Middle Miocene Amazon Seaway. *Science*, 269, p. 361-362.
- Wegener, A. 1929/66. *The Origin of Continents and Oceans*. London, Methuen & Co Ltd, 248 p.
- Wegener, A. 1928. Two notes concerning my theory of continental drift. In: *Theory of Continental Drift*. Tulsa, OK, Am. Assoc. Petrol. Geologists, p. 97-103.
- Wezel, F.-C. 1990. Loosing contact with Mother Earth. *Terra Nova*, 2, p. 507-508.
- Whitmarsh, R.B. 1979. The Owen Basin off the south-east margin of Arabia and the evolution of the Owen Fracture Zone. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, 58, p. 441-470.
- Wilson, P.A., Norris, R.D. 2001. Warm tropical ocean surface and global anoxia during the mid-Cretaceous period. *Nature*, 412, p. 425-429.
- Wolfe, J., Long, M.D., Frost, D.A. 2024. Ultralow velocity zone and deep mantle flow beneath the Himalayas linked to subducted slab. *Nature Geoscience*, 17, p. 302-308.
- Wood, B.J. 1993. Carbon in the core. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 117, p. 593-607.
- Xiao, H., DeLucia, M., Song, X. et al. 2022. Crustal Thickness Variations in the Central Midcontinent, USA, and Their Tectonic Implications: New Constraints Obtained Using the H-κ-c Method. *Geophys. Res. Lett.*, 49, e2022GL099257.
- Yano, T., Choi, D.R., Gavrilov, A.A. et al. 2009. Ancient and Continental Rocks in the Atlantic Ocean. *NCGT Newsletter*, no. 53, p. 4-35.
- Yoshida, M., Yoshizawa, K. 2021. Continental Drift with Deep Cratonic Roots. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 49, p. 117-139.
- Yuan, H., Romanowicz, B. 2010. Lithospheric layering in the North American craton. *Nature*, 466, p. 1063-1068. Zeng, M. 2010. Physical and chemical changes of water in the deep interior of the Earth – Decrepitation-style mud- volcano-earthquake – A bright lamp to shed light on the mysteries of the deep interior of the Earth. *Chin. J. Geochem.*, 29, p. 431-437.
- Zhang, P., Shen, Z., Wang, M. et al. 2004. Continuous deformation of the Tibetan Plateau from global position system data. *Geology*, 32, p. 809-812.
- Zhang, Y., Zheng, S., Kamal, J.S. et al. 2022. Glossopterids survived end-Permian mass extinction in North Hemisphere. *Global Geology*, 25(4), p. 214-254.
- Ziman, J. 1978. *Reliable knowledge*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 197 p.

三宅＝ホーソン・コンシリエンス：地球規模のプラズマ災害 (紀元前 5259 年および紀元前 663 年) の統一的な法医学的再構築

The Miyake-Hawthorne Consilience: A Unifying Forensic Reconstruction of Global Plasma
Catastrophes (5259 BCE & 663 BCE)

Robert Hawthorne Jr.¹

¹ Geoplasma Research Institute, Aurora, CO, USA

Keywords: Absolute Dating, Archeoastronomy, Ancient Iconography, Consilience, Dendrochronology, Miyake Event, Solar Particle Event (SPE), The Miyake-Hawthorne Consilience, Yatararasu Miyake Event of 663 BCE

(要旨 柴 正博 訳)

要旨: 本論文は、年輪年代学、氷河学、歴史神話、芸術的図像学という4つの柱を通して、先史時代の太陽プラズマ大災害を再構築するための統一的な法医学モデルを確立する。我々は、紀元前 5259 年と紀元前 663 年の「八咫鳥三宅事件」が、ディスピリオ碑文 (ギリシャ)、弥生柱 (日本)、および日本書紀の年代記を同期させる絶対的な年代マーカーであることを示す。我々は、日本書紀における八咫鳥 (天の案内人) と金鳳 (翼を広げた光り輝く鳥に似た特定の太陽プラズマ爆発) の記述を、紀元前 664 年 8 月 18 日から 663 年 1 月 17 日への移行期の高精度な目撃記録として分析する。仰韶、弥生、明治時代の美術作品 (芳年、周延) に描かれた「血の空」は、これらの現象を診断するための 630.0 nm フィルターとして機能し、赤い空に関する最初の記録のいくつかであるアッシリアの記録と関連しており、仰韶のアンフォラと半坡の薪の山に対する反証可能な予測の三層プロトコルによって裏付けられていると結論付ける。

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