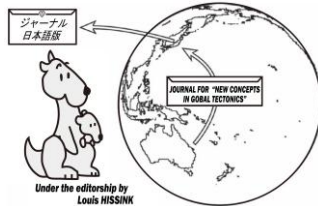


NCGT Journal, Volume 13, Number 9, November 2025

<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2月

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



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

副編集長: Masahiro SHIBA, Japan (shiba@dino.or.jp)

編集委員: 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 (vlananokhin@yandex.ru)

目次

■編集者コーナー

(柴 正博 訳)

編集長 Bruce Leybourne によるコメント

..... 184

今後の会議に関するお知らせー論文募集

..... 184

編集者への手紙

..... 185

会社案内

■原著論文 Articles

Go for the anomaly - a golden strategy for discovery? Seepology & the origin and crucial role of the biosphere Earth and planetary objects. Supercritical water and serpentinization:

Giovanni Pietro Gregori, Martin Torvald Hovland

異常現象を追う — 発見のための黄金戦略? 浸透学と生物圏の起源と重要な役割 地球と惑星の物体 超臨界水と蛇紋岩化作用 (要旨と一部 柴 正博 訳) 186

■NGCT ジャーナルについて

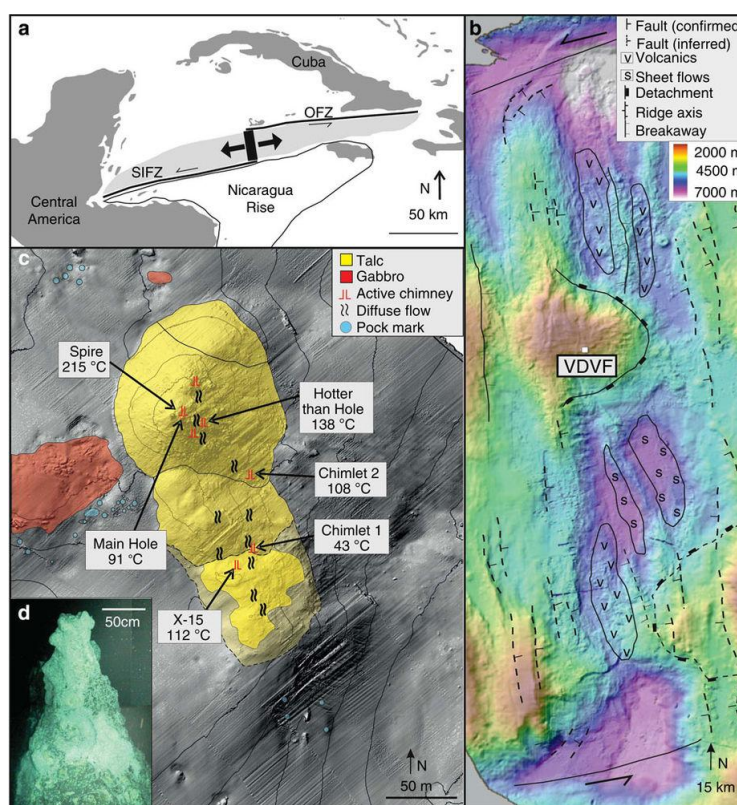
..... 198



EDITOR'S CORNER

編集長 Bruce Leybourne のコメント

(柴 正博 訳)



表紙画像: ケイマン トラフ (a) ミッドケイマン海膨の位置を示すカリブ海の地図, 黒い四角は (b) の領域を表す. 薄く塗りつぶされた領域はケイマン トラフの占める領域である. OFZ はオリエンテ断裂帯, SIFZ はスワン島断裂帯, (b) ミッドケイマン海膨の海底地形図と解釈地質学で, 広域の地殻構造を示す. (c) 活発な VDFV の海底地形図で, 噴出孔全域の熱水活動の位置を示す. 等高線は 20 度間隔. (d) 高解像度ビデオから取得した. 主要な VDFV 円錐形の頂上にあるスパイアのフォトモザイク. 図とキャプションは Hodgkinson et al. (2015) による. Nature Communications の許可を得て転載 (CC BY 4.0). 参照: 図 47. (Gregori and Hovland - 本号)

今後の会議に関するお知らせ - 論文募集

2026 年 9 月, 1 年後にイタリアで開催される NCGT が Valentino Straser (valentino.straser@gmail.com) によって開催されます. 会議のあらゆる側面にご参加をご希望の場合は, Valentino までご連絡ください. 重ねて申し上げますが, セッショントピック, 要旨, 論文, セッション議長, オーガナイザー, スタッフ, 資金提供などを募集しています. どのような形でご参加をご希望か, 私と Valentino までお知らせください. 可能な限り

対応させていただきます.

2026 年 9 月, イタリアでは Valentino Straser 氏による現地主催のセッションが複数開催されます.

- 1). Straser 氏 - 地震予報 (要旨募集中)
- 2). Leybourne 氏 - Stellar Transformer - 全球宇宙天気相互作用 (New Concepts in Global Tectonics Journal 第 12 巻第 4 号 (2024 年 12 月) の Editor's Corner に 6 件の要旨が掲載されます)

3). アノーキン - ラドガ湖 - シベリア (New Concepts in Global Tectonics Journal (第 13 巻第 1 号, 2025 年 3 月, 5~8 ページ) のエディターズコーナーに

アブストラクト 2 件掲載. アブストラクト追加募集中)
4.) Longhinos - インドテクトニクス (アブストラクト募集中)

編集者への手紙

Giovanni Gregori による書簡

編集者様

地球科学は一般的に地球物理学に依拠しており、地球化学に加え、可能な限り生物学の知見も統合することで、地球の歴史と地球進化の現在のメカニズムを解明しようとしている。実際、地球の地殻のほぼ構成物質は再生バイオマスである。

したがって、より適切なアプローチは生物学から出発し、地球化学と地球物理学の補助的な貢献を加えることにある。しかしながら、現在および地質学的過去における生物学的現象に関する私たちの理解が限られているため、これはまだ不可能である。

Martin T. Hovland 教授は、この根本的なギャップを埋める真の先駆者である。彼は大手石油会社が提供していた設備を最大限に活用した。さらに、真の科学者にふさわしい並外れた情熱と技能によって、最も権威のある科学機関でさえも同等の設備がないため達成できなかった研究を遂行することができた。

実際、Hovland の発見は、生命の起源、そして太陽系内外の天体上の生命の起源を理解するための前例のない基本的な一歩である。

二つの側面を強調したいと思う。一つは、彼の科学への「愛」が重要な役割を果たしたことである。この愛が、石油会社に対する義務をはるかに超えて彼を駆り立てた。つまり、彼は真の科学者の本能に従って行動した。

もう一つの側面は、彼の「異例の出所」である。そのため、かつては官僚機構から部外者とみなされていた

た。その結果、私の理解では、彼の計り知れない貢献はしばしば過小評価され、十分に認められていないように思われる。

私が American Journal of Engineering and Applied Sciences (AJEAS) の特別号の編集を依頼されたとき、Bruce A. Leybourne 氏にその仕事を分担するよう依頼し、M. T. Hovland 教授には地球科学に対する彼の数々の基本的な貢献を強調した総合的な論文を執筆するよう依頼した。

彼は、これほど大規模な論文を執筆する能力はないと説明した。しかし、私が作成した目立つ草稿を検討していただくことは承諾した。彼はまず私に共著者として論文を分担するよう依頼し、その後すぐに私が第一著者になるべきだと主張した。私は、この発見の真価は M. T. Hovland 教授のみにあることを明確に強調した上で、この提案を受け入れた。

その後、AJEAS との協力は、出版社の AI 手順との不適合により終了した。これにより、すべての論文を撤回するとともに、編集責任を辞任した。

ここで発表された論文は、地球科学にまったく新しい実践的かつ具体的な観点からアプローチした M. T. Hovland 教授の多大な貢献を強調する試みである。

私たちが知る限り、彼の根本的な貢献は、現在生きている地球科学者の中で最も偉大な人の一人として、最も重要な栄誉を授与されるべきものである。

この記念紙の発起と主催をさせていただくことは、私と NCGT 編集者にとって本当に光栄である。

会社概要

NCGT13-6 号に掲載されているので省略

原著論文 Articles

異常現象を追う — 発見のための黄金戦略？ 浸透学と生物圏の起源と重要な役割 地球と惑星の物体 超臨界水と蛇紋岩化作用

Go for the anomaly – a golden strategy for discovery?

Seepology & the origin and crucial role of the biosphere Earth and planetary objects

Supercritical water and serpentinization

Giovanni Pietro Gregori¹ and Martin Torvald Hovland²

¹ Former Senior Researcher at IDASC-Institute of Acoustics and Sensors O. M. Corbino (CNR), Rome, now merged with the INM-Institute of Marine Engineering "Section of Acoustics and Sensors O.M. Corbino"- (CNR Rome); and ISSO-International Seismic Safety Organization, Italy

² Institute of Geobiology, University of Bergen, (former), Now: Independent researcher, Sola, Norway

Keywords: manifestations of vitally important exchange processes - potential terrestrial sources of geological CH₄ - palaeo- CH₄ fluxes - potential offshore and oceanic sources of geological CH₄ - terrestrial mud volcanoes - marine mud volcanoes - pockmarks - stromatolites, microbialites, and other bioherms - gas hydrates - deep-water corals - crucial role of water and of the biosphere - “unusual” states of matter - salt theory and supercritical water (ScriW) - theoretical background - laboratory experiments - the Red Sea - Lake Asale, Ethiopia - Global Salt Cycle - Serpentinization and serpentosphere - the deepest penetration of water - case histories of evidence of serpentinization - water in the mantle – ringwoodite - water inclusion in diamonds - buried hydrothermal systems - evaporites on other planetary objects - other unusual states of matter

(要旨と一部 柴 正博 訳)

要旨: この論文は、石油探査の副産物として、そして、異例かつ特に有能で権威のあるさまざまな専門家に頼り、単なる学術研究では一般的ではない運用ツールを使用して、数十年にわたって実行された学際的な調査の総合的な説明を示している。ここでのトピックは、まず、大気地球流の具体的な一側面である、海底を通じた極めて重要な交換プロセスの発現について議論することから始まり、次に、水と生物圏の重要な役割、そしてそれに関連する物質の「異常な」状態に焦点を当てた一連のトピックが続く。この点において、極めて重要な現象は超臨界水 (ScriW) である。これは「魔法の」物質であり、高压高温下で存在し、地球深部で根本的な役割を果たしている。この項目は、塩の理論と地球規模の塩の循環に関連している。次に議論すべき重要な問題は、蛇紋岩化作用と蛇紋岩圏である。最後に検討する項目は、地底熱水系に関するものであり、続いて他の惑星上の蒸発岩について議論し、さらに他の異常な物質状態の可能性についても簡潔に考察する。結論の簡潔な要約は、この型破りで独創的な学際的アプローチ全体における主要な成果を、可能な限り少数の記述で示す試みである。

目次

提案

序文

科学：アイデアをめぐる戦い

表層流体の流れ - 極めて重要な交換プロセスの兆候

序論

地質学的 CH₄ の潜在的な陸上発生源

古地質学的 CH₄ フラックス

地質学的 CH₄ の潜在的な沖合および海洋発生源

陸上泥火山

海洋泥火山
 ポックマーク
 ストロマトライト、微生物岩、その他のバイオハーム
 ガスハイドレート
 深海サンゴ

水と生物圏の重要な役割、そしてそれに伴う物質の「異常な」状態

塩の理論と超臨界水 (ScriW)

理論的背景

超臨界水 (ScriW)
 塩の理論。室内実験
 観察事例

紅海
 エチオピア、アサレ湖

結論

「地球規模の塩の循環」

蛇紋岩化と蛇紋圏、そして水の最深部浸透

蛇紋岩化と蛇紋圏

蛇紋岩化の証拠となる事例
 マントル中の水、リングウッダイト、そしてダイヤモンド中の水包有物

埋没熱水系
 他の惑星上の蒸発岩
 その他の異常な物質状態

要約と結論

(訳者注: 太字の項目のみ訳出した。)

提案 (G. P. Gregori による)

Martin T. Hovland 教授は物理学 (気象学) の学位を有しているが、専門職としてのキャリアはノルウェーの大手企業で石油探査に従事していた。彼は真の科学者であり、自然哲学者でもあり、「人間の書いたものよりも自然の書物を読む」(Leonardo da Vinci) 人物である。そのため、彼は異例の大規模な施設を備えた特殊な環境で科学研究を展開した。彼は世界各地の石油探査に必要な技術設備を活用することができた。標準的な学術環境には、この設備に匹敵するものはありません。さらに、地震学、化学、地質学、古生物学、堆積学、鉱物学、生物学など、貴重な専門家たちの協力を得ることができた。これらの科学者や技術者の主な関心事は、論文の発表ではありません。全ての専門家は、土壌の噴出とあらゆる形態の土壌下層構造が、石油の生成、そして大気、気候、地下における様々な現象とどのように関連しているかを理解するという共通の目標を持っていた。つまり、これは大気地球流に対する真に前例のない学際的なアプローチであった。

このように、Hovland はいくつかの革新的な成果を、数冊の書籍と論文にまとめ、叡智に満ち溢れ、かつ予想外の内容も含み、標準的な科学論文とは大きく異なる成果

を数多く発表した。この長大な論文を深海サンゴ (Lophelia pertusa) に関する考察まで読むと、M.T. Hovland 自身でさえも「驚き」を覚え、「自然の書」がいかに魅惑的な「詩の書」であるかを考察するであろう。M.T. Hovland の原文は、真の自然哲学者らしく、深海底における生命の起源を探究した際の彼の詩的な驚きを鮮やかに物語っている。

Hovland 氏の業績は、過去数十年間の地球科学における最も傑出した成果の一つと言えるであろう。しかしながら、これらの発見は、一見すると相応の評価を受けていないように思われる。M.T. Hovland 氏は定年後、標準的な大学環境で、複数の国の科学者と協力しながら、より活発に活動できるようになった。ある意味で、彼は応用科学が「公式」な学術科学をはるかに凌駕することを示す好例と言えるであろう。例えば、光ファイバージャイロスコープ (MacKenzie, 1993) の事例は、学術的な議論をはるかに超えるものである。その議論は、彼ら側ではキャック実験さえ忘れ去られていました (例えば, Canales, 2015, Gregori et al., 2022a, 2022b, 2022c, 2022d, 2022e, 2025w)。

本稿は、膨大な量の新知見に基づき、現在の知識を更新する必要があるため、長文となっている。本稿は、Hovland の著書および論文集から引用したいくつかの独自の引用を G. P. Gregori がまとめたものである。M. T. Hovland の強い要望により、G. P. Gregori は共著者、そして筆頭著者として名を連ねている。しかし、最大の功績は M.T. Hovland に帰せられるべきである。全てのトピックは、大気と土壌の間を流れる電流よりもはるかに大きな気地電流の重要性という観点から考察される。大気地電流は、むしろ地球の浅部および深部における変容と関連しており、太陽と地球の関係において重要な構成要素である地球大気回路の一部である。さらに、深海底における生命の永続的な再生にとって、現在進行中の3つの重要な点が重要である。したがって、G.P. Gregori が作成した草稿には、本特集号の観点に基づいたコメントがいくつか含まれており、Martin T. Hovland 教授が編集とコメントを行い、追加と修正を行った。

固体地球、生物圏、水圏、そして大気圏 (大気の上層を含む) に関わる現象が、独自のシナリオに大きく重なり合っていることを考慮する必要がある。そのため、トピックを順序立てて計画することさえ困難である。そこで、Martin T. Hovland 教授の知見も踏まえ、本論文では以下の主要な項目を扱う。

- 表層流体の流れと極めて重要な交換プロセスの発現
- 水と生物圏の重要な役割、そしてそれに伴う物質の「異常」状態
- 塩理論に基づく超臨界水 (ScriW) と地球規模の塩循環

- 環
- ・蛇紋岩化作用と蛇紋圏，そして水の最深部浸透
 - ・埋没熱水系
 - ・他の惑星上の蒸発岩
 - ・その他

よって発生する内因性熱によって供給され，岩石の加水・脱水反応を引き起こし，生物エンジンに供給する土壌放出の役割を果たす．つまり，土壌放出は生物圏に供給され，生物圏の主要な栄養源である CO_2 と CH_4 を変換する．

序文 (M. T. Hovland による)

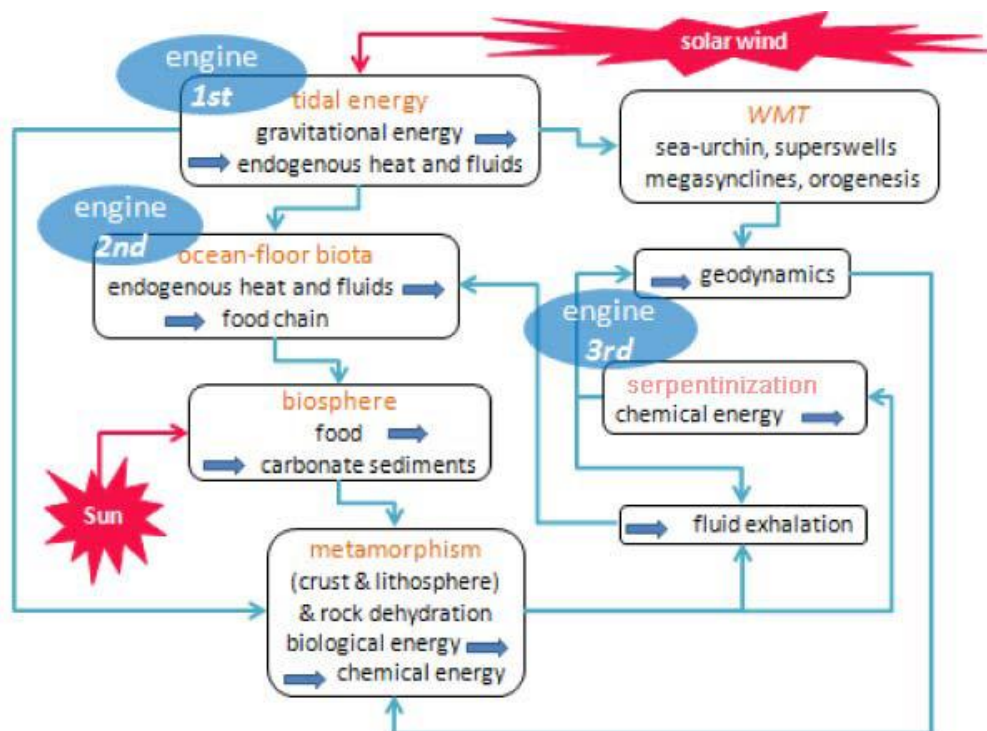


図1 - 「『気候』を左右する主要な原動力は3つのエンジン．太陽は太陽風を通して，物理的なエンジン（すなわち TD 地球ダイナモ）の効率を調節する．さらに，食物連鎖とバイオマス生産の観点から見ると，太陽放射は土壌から放出される液体とエネルギーの役割を増幅させる．バイオマスは最終的に有機堆積物の形で炭素を地中に還元する」．図とキャプションはGregori (2015b) によるもの．New Concepts in Global Tectonics, Journal の許可を得て掲載．

大気地球流に関するこの特集号に，このような長文の論文が掲載されたことは，誠に光栄である．これは，往々にして宣伝されることのない文献の中に埋もれたままになっている，極めて重要な成果の数々について，科学界に啓蒙する機会となるからである．AJEAS のこの特集号の編集者一同は，Martin T. Hovland 教授の友好的な協力と貢献に深く感謝申し上げる．

本研究で裏付けられている一般的な論拠として，気候，すなわち生命が生存可能な環境の時空領域は，3つの「エンジン」によって制御されている（図1）．物理的なエンジンは潮汐駆動型（TD）ダイナモであり，そのエネルギーは月と太陽の潮汐作用によって供給され，地球深部の様々な構成要素を変位させる（Gregori, 2002; Gregori and Leybourne, 2021, Gregori et al., 2025a）．本稿で論じる化学エンジンは蛇紋岩化作用である．これは物理エンジンに

海底は，目に見える陸地表面の約3倍の広さを覆っている．この表面の大部分はまだ未解明である．水は電磁スペクトルにおいて「黒体」物質であるため，当たる可視光線のほとんどを吸収してしまうからである．音波とは対照的に，光線は海水を透過する率が非常に低い．このように目視では確認できないため，私たちは地球の海底表面を掘り下げ始めたばかりである．私たちは音響システムを用いて，広大な海底の地図を作成している．これらのデータの意味を理解し，海底で起こっているプロセスを理解するには，人間の解釈に頼る必要がある．過去40年間，海底に関する膨大なデータを収集してきた結果，私たちはそこで数多くの予想外の特徴を発見しており，現在，その発見率は非常に高くなっている．

かつての気象学の教授，Carl Ludvig Godske はかつてこう言った．「良い科学者になるには，子供のような好奇心，ラクダのようなスタミナ，そしてライオンのような勇氣

が必要だ」。当時は、ただ気象学者になるつもりだったので、それ以上深く考えることはなかった。その後、7年間、教師と環境コンサルタントとして働いた後、1976年にノルウェー国営石油会社スタトイルに就職し、2012年に退職するまで勤めた。私の仕事は、海底の状況を水中エンジニアに伝えることであった。私たちは、音響測深器、海底下プロファイラー、サイドスキャンソナーなどのリモートセンシングシステムに加え、堆積物のサンプリングと目視検査によるスポット的な「地上検証」も行った (Hovland and Judd, 1988; Judd and Hovland, 2007)。北海、ノルウェー海、バレンツ海から膨大なデータを収集し、インフラ（パイプライン、ケーブルなど）、油田開発（ガルフアックス、トロールなど）、地質災害評価など、数多くのエンジニアリングプロジェクトに携わった。私は最終的に、スタトイルだけでなく、ODPやIODPでもシニアアドバイザーを務めた。

たった1シーズンのマッピング（1977～1978年）で、原因となるプロセスがわからなかったため、理解したり適切に解釈したりできない異常な特徴が現れた。

こうして私は科学者となり、海底のクレーター、つまりポックマークに関する最初の科学論文 (Hovland, 1981) を発表した。ポックマークは、海底から吹き付けるガスによって形成されたか、あるいは以前の氷河期に氷河と共存して残存した地形である可能性がある。氷河との関連性を確信していたベテランの地質学者たちと何度か議論した後、私は突然、Godske教授が子供、ラクダ、ライオンについて語った言葉を思い出しました。彼の言葉は実に正しかった。

以下では、型破りな科学者として40年間、数々の新発見を成し遂げてきた私の経験を振り返る。その多くは、異常現象を追い求める中で得られたものである。私は、新しく奇妙なものが現れたら知りたいと思う子供のように、ありのままの自分でいられるという贅沢な境遇に恵まれてきた。まずはポックマーク・クレーターから始め、メタン起源の炭酸塩団塊、浅層ガス災害、その他多くの関連テーマを取り上げ、最後に、全く異なるテーマ、つまり地球と火星の巨大な塩の堆積層がどのようにして形成されたのかという謎を解き明かすことに取り組む。

水と生物圏の重要な役割、 そしてそれに伴う物質の「異常な」状態

水は、彗星を含む太陽系の天体において非常に一般的な構成要素であることがよく知られている。近年、月、火星、水星、そしていくつかの惑星に、現在または過去に水が存在したことを裏付ける証拠がますます多く報告されている。実際、水は比較的単純な分子であり、多様な性質を特徴としている。仮に、太陽系のある天体から水が最終的に存在しないことが証明されたとしましょう。何ら

かの特別な理由がそれを正当化しない限り、これは矛盾しているように思われる。

しかし、懸念されるのは、水が地球や特定の惑星の天体にどの程度深く浸透できるかということである。水は氷点下以外では大きな流動性を持つ。そのため、水は熱移流の効果的かつ重要な媒体となり得る。したがって、水循環は、特にTDダイナモなどの何らかの内部の内因性熱源が局所的な温度を水の凝固点より高く保つ場合には、物体のエネルギーバランスにおける基本的なプロセスであることは間違いない。

「標準」または「通常」の状態における水の特性のいくつかは、Gregori et al. (2025w) によって既に議論されている。ここでは、あまり知られていない、特異で基本的な側面に焦点を当てる。

重要な懸念事項は、水が「かなり」深いところまで浸透したときに引き起こされる物理的および化学的プロセスであり、非常に大きな圧力と顕著な（そして最終的には局所的に異常な）熱放出を特徴とする。熱と圧力は重要な化学反応を決定づける可能性があり、劇的な結果、つまり真の「爆発」プロセスを伴う場合もあり、地殻を通じた応力の伝播に影響を与える可能性がある。これが蛇紋岩化作用である（下記参照）。

「...地質学は固体と同じくらい流体にも関心を寄せる。つまり、地質学というと、地球を構成する岩石だけを思い浮かべがちであるが、この岩石こそが、流体と固体の主要な相互作用の場なのである。流体はまず堆積物の環境に関係しており、その環境は場所によって異なる。例えば、塩水、大陸の淡水、大気などである」。そして、地下水位の動き（地層に沿って走る偶然の現象）は、例えば湧き水によって証明される重要な現象である。石油探査者が探査する油田やガス田は、流体が地質学的プロセスにどのように関与しているかを示すもう一つの例である (Biju-Duval, 2002; Judd and Hovland, 2007 による引用)。

堆積学は、内因性熱流と気候の過去の歴史に関係しているが、地球上の生命の現在の状態は、現在の流体の流れと現在の内因性熱放出を扱っている (M.T. Hovland, 私信, 2009)。

図32は、この項目のいくつかの重要な概念を強調した図である（後ほど詳しく説明する）。内因性熱の重要な役割は強調されるべきである。

気候の推進要因のように重要な役割を果たすこれらの基本的な項目に対する私たちの現在の理解は、(i) 主要なプロセスが発生する極端な環境条件と (ii) 生物圏の主導的役割という2つの偏りによって大幅に制限されている。

実際、極限条件においては、これらすべての現象は、実験室で一般的にシミュレートできる環境の理論的根拠に基づいては到底考えられない。全く異なる理論的アプロ

一が必要であり、おそらく現時点ではこの方向への予備的な取り組みはごくわずかしか進んでいない。現在、文献には重大な誤情報や誤解がしばしば見られる。したがって、このテーマは特別な配慮を必要とする。研究者たちは概して、古典熱力学から借用した時代遅れの概念に依拠し続けているが、これは量子効果が決定的に重要な極限環境では現実的とは言い難いものである。現時点ではいくつかの基本的な成果が評価されているものの、

における非生物起源炭化水素の生成に焦点を当ててきた」と主張している。我々は、3つ目の可能性として、熱水性変成流体中のドロマイト炭酸塩、金属に富む黒色頁岩、その他の鉱物の冷却、分留、堆積の過程で起こる反応によってCH₄およびより重質の炭化水素が生成されるという可能性を提案する」。これらの流体は、水素に富む還元条件下での炭素に富むペリドタイトの蛇紋岩化によって生成されたものであると提案されている。これらのテ

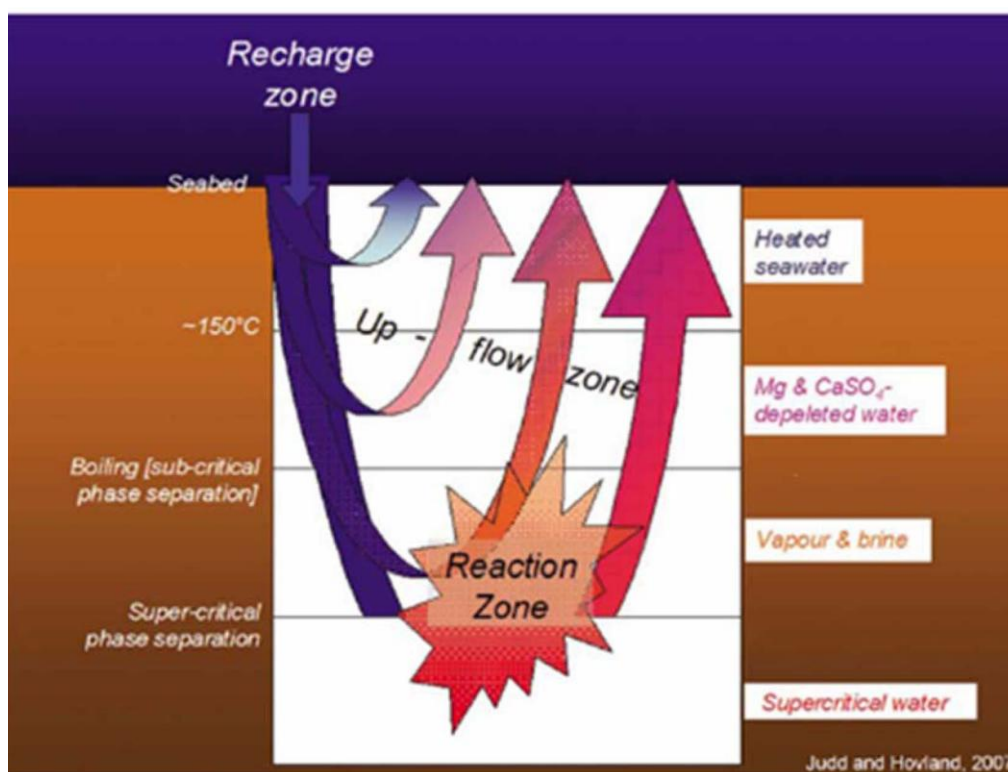


図 32. 「熱水循環システムの主要な領域を示す図. しきい値の深さは水深、地温勾配、および水の塩分濃度に依存する」。図とキャプションはJudd and Hovland et al. (2007)に基づく。ケンブリッジ大学出版局の許可を得て転載。

網羅的な理解は未だに得られていないようだ。

生物圏の役割に関して、クラスレートとガスハイドレートとの関係については既に上で述べた。一般的に、石油の起源と入手可能性に関する懸念が（おそらく）大部分、あるいは少なくとも部分的に、生命の起源や他の惑星における生命の存在といった領域への外挿を含め、いくつかの重要な進展がもたらされ、促進された（下記およびGregori et al., 2025wを参照）。したがって、エネルギー源とその利用可能性に関する主に経済的な懸念は、学術的関心と気候の要因とその変動への応用の両方において、他の科学調査分野で大きな成果をもたらした。

例えば、Keith and Swan (2005) は、「炭化水素の起源に関する理論は、1) 生物起源で有機物に富む堆積岩の埋没続成作用によるガスと原油の生成、および2) マントル

マは、地球科学に生物学的項目を適切に組み込むための、最初の体系的なステップとなるかもしれない。これらすべては、十分な議論と詳細な検討にふさわしい優先順位を与えられるべきである。しかしながら、おそらくそれは時期尚早である。

塩の理論と超臨界水 (ScriW)

Hovland et al. (2015) は、「熱水塩モデル」と呼ぶ新しい概念モデルを提唱している。このモデルは、海水の熱水循環が海底下層に塩の蓄積を引き起こす可能性を予測している。有力な仮説は、ScriWの物理化学的挙動に基づいている。実際、海水を超臨界領域(407°C, 298 バール)まで加熱すると、海水は一般的な海塩(塩化物および硫酸塩)の溶解度を失う。このように、塩は水で満たされた

間隙に自然に沈殿する。さらに、例えば海洋地殻の沈み込みにおいて、塩分を含んだ間隙水を含む多孔質岩石が十分に高い温度と圧力にさらされた場合にも、同様のプロセスが起こる可能性がある。

理論的背景

このセクションにおける以下の引用、およびその後のいくつかの引用は、Hovland et al. (2006, 2006c) から完全に借用したものであるが、より具体的な適用例と詳細は Hovland et al. (2015) 以降に報告されている。彼らはまず、水における塩の溶解度について論じている。この理論は、原子や分子の効果、すなわち量子効果が、地球科学における重要なプロセスを決定する上で重要な役割を果たしていることを示す注目すべき例である。重要な概念の一つは、Hovland et al. (2005) によれば「魔法の」物質である ScriW である。

なお、本研究に関する限り、量子効果の重要な役割は、例えば、(i) AE (Gregori et al., 2025a を参照) や、(ii) 凝縮核の周りの水滴集積 (Gregori et al., 2025d の図 11 および 12 を参照) を扱う議論でも強調されていることに注意。

Hovland et al. (2015) は、理論的側面を以下のように簡潔に紹介している。彼らは、垂直方向に「ピアスセメント」構造を形成する塩水構造を想定している。この構造は、塩水を含む高温流体の導管のように機能し、巨大な熱水煙突を形成する。大規模な塩水の地下蓄積に関する重要な論点は、塩水が地下で加圧・加熱され、その臨界温度を超えた際にどのように挙動するかということである。海水は深度が 3 km を超えると沸騰しなくなる ($P > 298$ bars)。この圧力下で 407°C 以上に加熱されると、海水は超臨界状態になる (Koschinsky et al., 2013)。これにより相分離が起こり、高密度の塩水 (固体塩粒子の沈殿を含む) が形成されると同時に、臨界点における比密度が 0.3 g cm^{-3} の ScriW 蒸気相が発生する。したがって、 570°C を超える温度では、ほぼ純粋な蒸気相と固体塩が共存する。したがって、温度勾配 (Geiger et al., 2005) が対流を駆動する。さらに、ScriW は一般的な海塩を溶解できないため、塩水が超臨界領域に移行するたびに、導管内に塩粒子が蓄積する。

Hovland et al. (2006c) は、より詳細で学術的な解説を行っているが、本論文では必ずしも必要ではなく、簡潔にするためにここでは割愛する。興味のある読者は原著論文を参照。

結論

紅海に関する議論において、既にいくつかの結論が述べられている。Hovland et al. (2006c) は、地質学的に重要な塩形成プロセスに関する研究を以下のように要約している。

最初の関心は、天然の熱水系に関連するいくつかの基本的なプロセス、そして海塩 (主に岩塩と無水石膏) がどのように沈殿し蓄積されるかについての理解を深めることであった。以下の3つの主要なプロセスが想定される。

- 1) 海水と塩水からの塩の沈殿は、地下の超臨界領域で「塩析条件」に達したときに発生する。
- 2) 海水または塩水を地下で沸騰させて塩を沈殿させ、その後
- 3) 高温の循環水 (凝結水) による塩分の再溶解と海底または地表への上方輸送。

追加の関連プロセスは次のとおりである。

- ・ 海水温が 130°C を超える地域では、無水石膏の沈殿が観測されている。

- ・ 海底に存在する飽和塩水による温水プールでの冷却によって、岩塩の沈殿が引き起こされる。室内実験およびモデル実験では、以下の点が確認されている。

- ・ 実験室での観察と分子モデリングにより、塩水または海水が超臨界状態に達すると、自発的な塩の沈殿が起こることが確認された。この状態は、水深 3km 以上 (300 バール)、温度 430°C 以上で達成される。

- ・ 簡単な実験室試験により、海水が水中の多孔質の砂の中で沸騰すると塩 (無水石膏と岩塩) が沈殿することが確認された。つまり、加熱要素と接触している砂が塩に置き換わり、「純粋な」塩の物体が生成される。

アトランティス II 深海、紅海、エチオピアのアサレ湖地域に関する公開情報を注意深く分析すると、これらの地質学的環境に堆積した塩の大部分は、上記で詳細に説明したように、熱水現象によるさまざまな塩形成プロセスに従って生成された可能性が高いと考えられる。

海底に蓄積される塩分に関しては、比較的急速な堆積が塩分の再溶解を防ぐ上で重要な役割を果たす。狭く狭いリフト盆地は、このような環境の例である。熱水作用に関連する陸生塩類堆積物 (例えばアサレ湖) に関しては、乾燥した温暖な気候が重要な役割を果たす。なぜなら、天水は急速に再蒸発するからである。こうして、堆積した塩類の過剰な溶解が避けられる。さらに、海底に存在する高塩分池 (塩分沈殿に関連している) は、典型的には高密度で停滞した水質を呈している。そのため、この水は塩水にとって効果的な保護環境となり、海水によって薄められることはない。

蛇紋岩化作用と蛇紋圏、そして水の最深度浸透

I - 蛇紋岩化作用と蛇紋圏

Allaby and Allaby (1999) によると、「蛇紋岩化作用とは、火成岩中の高温の一次鉄マグネシウム鉱物が蛇紋岩群の鉱物へと変質する過程である。この過程は、岩石系に低温の水を導入することで開始され、水は高温の一次鉄マグネシウム鉱物を低温の二次蛇紋岩群鉱物へと変換する

反応の触媒として作用する」。

蛇紋岩化は超塩基性岩石、特にオフィオライトに見られる岩石全体に蛇紋石鉱物が転化して蛇紋岩を形成する場合に極めてよく見られる…」。

蛇紋岩は、1種類以上の蛇紋石鉱物からなる岩石で、低温で起こる地質学的変成作用である蛇紋岩化作用によって形成される。水と熱は、低シリカの塩基性岩石および超塩基性岩石を酸化させ、蛇紋岩へと加水分解する。

重要な意味合いとして、大量の水が岩石に吸収され、その結果、岩石の体積が増加し、構造が破壊されるという点が挙げられる。この反応は、変質した岩石の体積あたり平均約 300 kgm^{-3} の水を消費する。この反応は非常に発熱性が高く、大量の熱エネルギー、すなわち岩石の体積あたり約 $6.6 \times 10^8 \text{ Jm}^{-3}$ の熱エネルギーが発生する。岩石の密度は約 3.3 gcm^{-3} から約 2.7 gcm^{-3} に変化し、体積は約 20~40%増加する。岩石の温度は約 260°C に上昇する可能性があるが、熱輸送と岩石の冷却を伴う他のプロセスも考慮する必要がある。したがって、このプロセス全体が地殻を通る水循環において重要な役割を果たしている。

この現象は世界中に広がっており、地殻の亀裂や地殻の多孔性構造とともに遍在する水とよく似ている。また、海洋地殻の他の地球物理学的特性にも影響を与える。岩石の地震波速度を低下させ、重力特性や機械的特性を変化させ、磁性を高める。

蛇紋岩化作用における岩石の密度変化と膨張は、山が軽くなり隆起し、標高が上昇するという重要な効果をもたらす。岩石の膨張は亀裂の増加にもつながり、最終的には急斜面に沿って岩盤の崩壊を引き起こす。これにより新たな亀裂が形成され、海水が山のさらに奥まで浸透し、新鮮な橄欖石を含む岩の新しい部分と反応できるようになる。したがって、断層、体積膨張、質量減少のプロセスによって制御される、比較的冷たい新鮮なペリドタイトへの海水のアクセスは、特に新しく形成された亀裂によって追加の蛇紋岩化が促進される比較的亀裂の多い地域に沿った地殻応力の伝播を制御するために重要である。

いずれの場合も、この推測されたメカニズムは、蛇紋岩化の原因となった化学変化を逆転させ、地殻を蛇紋岩化前の状態に戻すことができる、何らかの強力な内因性熱源の作用に依拠している。つまり、蛇紋岩化のプロセスは外因性の化学反応に依存しており(下記参照)、一方、内因性の熱源に代表される「ストーブ」は水を再分離させ、流体の放出を通じて地表へ戻す。一方、「ストーブ」は内因性の化学反応にエネルギーを供給し、逆の蛇紋岩化プロセスを引き起こして水を解放する。その後、蛇紋岩化のプロセスが新たに開始される。いずれの場合も、内因性熱の放出の役割が不可欠である。

好奇心から、中世から、あるいはそれ以前、デカルトを経て19世紀まで、斉一説の立場から広く支持されていた古代のモデルについて、改めて触れておきたい。地球は、ある種の長い水循環を永続的に経験していると考えられていた。

水は沈殿し、地下に浸透する。時には、何らかの原因で地殻が崩壊し、沈下し、水は地表で再び蒸発し、最終的には大気中の降水などによって再び地表に降り注ぐ。これは明らかに推測に過ぎず、物理的な根拠は全くない。しかし、蛇紋岩化サイクル、すなわち蛇紋岩化反応による水の消費と、内因性エネルギーによって駆動される深部の「逆蛇紋岩化」(脱水)プロセスによる地表への水の再注入は、モホ面、そしてより小規模ではあるがALB(アセノスフェア・リソスフェア境界)に至るまでの水循環である。

蛇紋岩化作用(水が非常に効率的な触媒として作用する)から生じる化学エネルギーのエネルギー的に重要な放出は、(i) 海底または海洋底からの噴出(例えば、非火山性熱水噴出孔の形成)、および(ii) 地殻を通じた応力伝播に対して重要な結果をもたらす。

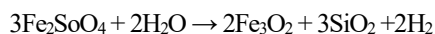
蛇紋岩化は海洋システムに大きな地球物理学的、地球化学的、そして生物学的影響を及ぼす。磁鉄鉱を形成する化学反応によって水素が発生し、炭酸塩と硫酸塩は還元されてメタンと硫化水素を生成する。これらのガスは、化学合成微生物と呼ばれる深海生物のエネルギー源となる。したがって、蛇紋岩化は、初期地球(例: Van Dover, 2000; Judd and Hovland, 2007) や火星(例: Früh-Green et al., 2004; Schulte et al., 2006) における生命の発達に必要な可能性のある前提条件であると考えられている。また、 CH_4 と石油の生成は、研究と議論の主要な基礎的テーマとなっている(Judd and Hovland, 2007; Kolesnikov et al., 2009)。

地殻を通じた応力の伝播は、水がより容易に利用できる地域、つまり海または海洋環境、および地殻が比較的破壊されている地域で特に顕著になる。これは典型的には、プレートテクトニクスによればプレート境界の一部(すなわちMORを除く)と解釈される地域で発生し、他の地球力学モデルによれば比較的大きな歪みと破碎を特徴とする地域で発生する。一般的に、蛇紋岩化は地球のマントルから採取された岩石が海水にさらされることで発生すると考えられている。また、蛇紋岩化は地球の初期の歴史のほとんどの期間によく見られ、太陽系の他の場所でも発生したか、現在も発生している可能性が高い。

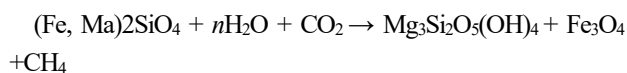
橄欖石から蛇紋岩を形成する反応はいくつかあり、中には互いに補完し合う反応もある。しかし、起こり得る化学反応のシナリオは研究対象であり、本研究では直接的な関心の対象ではない。ここでは、最もよく知られ、最

もよく評価され、そして一般的に報告されている反応の
みを列挙する (熱力学については Sleep et al., 2004, 詳細
については Judd and Hovland, 2007 も参照). 反応(1)と(2)
は非常に発熱性が高い.

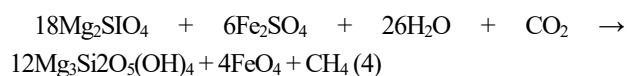
ファイアライト + 水 → マグネタイト + 水性シリカ
+ 水素 (1)



ファルステライト + 水性シリカ → 蛇紋石 (2)



あるいはバランスの取れた形で



反応 (3) は、蛇紋岩に Mg が乏しい場合、またはタルク
の形成を促進するのに十分な CO₂ が無い場合に有利に
なる.

橄欖石 + 水 + 炭酸 → 蛇紋石 + 磁鉄鉱 + マグネサ
イト + シリカ (5)

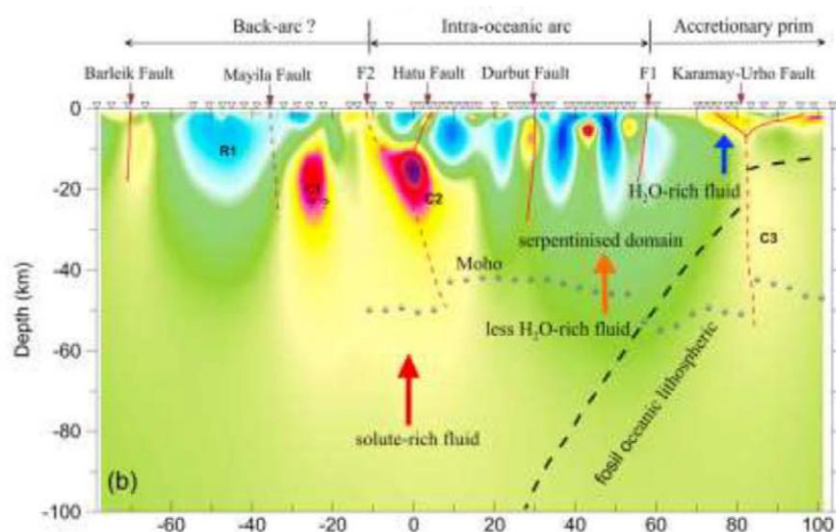
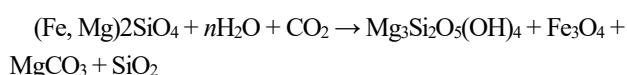


図 67. 中国ジュンガル西部における化石沈み込み帯 (新生代から古生代末期) の MT 画像. 深部断層帯周辺の約 20m 深部で溶質に富む流体が観測されている. 地表またはその付近で蛇紋岩化が確認された地域では、導電率が低い. Xu et al. (2016) を改変. 図とキャプションは Johnsen et al. (2021) による.

しかし、他の可能性も存在する. 例えば、橄欖石と水が
反応して蛇紋石と Mg(OH)₂ (「ブルーサイト」と呼ばれる)
が生成されるというものである. 他の反応は、Mg と SiO₂
が蛇紋石化作用を起こした体積から運び出されたことを
示唆している. さらに、輝石族鉱物にも同様の反応が見
られる. これらの反応は比較的起こりにくく、輝石や輝
石-橄欖石混合物のより幅広い組成に由来する最終生成
物も存在する.

いずれにせよ、関与する流体は一般的に非常に反応性
が高い. 周囲の岩石に激しい応力を伝えるだけでなく、
Ca などの元素を輸送することもあり、流体反応によって
Ca に富む交代反応帯が形成されることがある. しかし、
CO₂ が存在する場合、蛇紋岩化作用によってマグネサイ
ト (MgCO₂) が形成されるか、あるいは CH₄ が生成され、
一部の炭化水素ガスの生成につながる可能性があり、非
生物起源石油起源説の重要な論拠となる.

橄欖石 + 水 + 炭酸 → 蛇紋石 + 磁鉄鉱 + メタン (3)



反応 (5) は、マグネシウム含有量が高く、CO₂ 分圧が
低い場合に有利に進行する.

Hovland (2013) は、このプロセス全体が重要である理
由として、(i) H₂ を生成すること、(ii) 淡水を消費して塩
を生成すること、(iii) 体積膨張 (最大約 40%) を引き起
こすこと、(iv) CH₄ の生成につながることを挙げている.
さらに、「非生物起源の CH₄ は、H₂ + CO₂ を CH₄ + H₂O に
変換するフィッシャー・トロプシュ反応 (Szatmari, 1989)
を介して、地殻の蛇紋岩化プロセスによって生成される
可能性がある。」

炭化水素の非生物起源に関しては、権威ある地質学者
2人の発言も言及する必要がある.

それは Storetvedt (2014) と Hunt (2016) で、Storetvedt
(2014) は議論の対象に焦点を当てているのに対し、Hunt
(2016) は「石油と石炭は化石バイオマスの分解産物で
はない. むしろ、低温上部地殻中に豊富に存在する水素

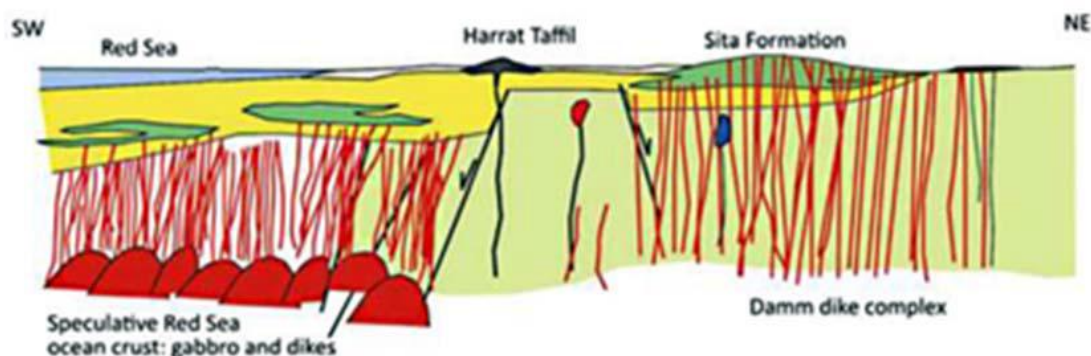


図 70. 「高温のマグマ岩床と岩脈による地殻岩石の侵食. 岩脈と岩脈はマントルと地殻間のエネルギーと流体の流れを増加させる. これは塩の排出と沈殿を促進する (Stern et al. (2019) を改変)」。図とキャプションは Johnsen et al. (2021) による。

化物 CH_4 を栄養源とするバクテリアや古細菌によって生成される...石炭は CH_4 を生成するのではなく、 CH_4 が石炭を生成する」と主張している。

したがって、蛇紋岩は、前述の様々な反応の観点から、炭素隔離のための効率的な試薬として提案されている。様々な反応の役割の比較に関する詳細は、(i)ここでは考慮しない鉱物学的事項、および(ii)プロセス中に流体が Ca を運び去るかどうかに関係する。Mg およびその他の元素。一般的に、橄欖石 (Mg-Fe ケイ酸塩) 鉱物を多量に含む岩石は、 400°C 以下の温度で海水と反応し、蛇紋岩鉱物 (含水 Mg ケイ酸塩) と磁鉄鉱 (強力な磁性を持つ酸化鉄) を形成すると言われています。さらに、蛇紋岩鉱物は非常に延性が高いため、ペリドタイトの塊が蛇紋岩化作用を受けると、通常、それ以前の組織学的証拠はすべて破壊されます。一部の蛇紋岩内部では、ペリドタイトから受け継がれた組織が明らかに保存されていることが稀に観察されます。しかしながら、蛇紋岩の脆く延性的な性質は地殻のレオロジーに重要な影響を及ぼし、ひいては島弧などの特定の地殻構造における地質力学にも影響を及ぼす可能性がある (例: Bostock et al., 2002; Murata et al., 2009)。また、地殻内の水循環にとって重要なこのプロセスの発生速度を評価する上で、蛇紋岩化作用の化学反応の実際の組み合わせを評価することも重要である (例: Skelton et al., 2005)。

文献には多数の論文や研究が掲載されている。例えば、Ernst (2004) は大規模な論文集である。

Keith and Swan (2006) は、概念を次のように要約している。「 $200\sim 500^\circ\text{C}$ の強い還元条件下で、海洋起源または変成岩起源の塩水によってペリドタイトが蛇紋岩化され、炭化水素を豊富に含み、塩化物および/または重炭酸塩金属を含む塩水が生成される」。蛇紋岩化は、断裂帯に沿った海底 (Lost City)、堆積埋没 (メキシコ湾) または逆断層荷重 (Roan トラフ) によるリフト内の従来の石油の下、および沈み込む平坦な海洋地殻の上部 (ユタ州, コロラド州, ワイオミング州の下) の始新世) でよく見られる。

ペリドタイトは高い重力、低い磁気特性を示す。蛇紋岩化したペリドタイトは高い磁気、低い重力特性を示す。蛇紋岩化に伴う体積膨張は最大 8 倍に達し、ダイアピル状のドーム状構造を形成し、炭化水素安定塩水の排出を引き起こす。ペリドタイトには、主に 2 つの種類がある: 1) V/Ni が低く、Au - Mg - Cu - Cr - Na/K が高く、最大 1400 ppm C (岩石圏起源 $51 - 130 \text{ km}$) のマグネシウム ダナイト ペリドタイト、2) V/Ni が高く、S - Mo - Ti - Al - Mn - Fe - U - K/Na が高く、最大 800 ppm C (アセノスフェア起源 $360 - 420 \text{ km}$) の石英アルカリ アルミニウムスピネル ペリドタイト。

水素安定性 (主に熱分解 CH_4) のペリドタイト起源の鹹水が陸棚炭酸塩層に上昇すると、マグネシアまたは石英アルカリ熱水性ドロマイト (HTD) と熱分解ガスが形成される可能性がある。鹹水が水圏を突破すると、断層沿いに「ホワイトスモーカー」(凝灰岩噴出孔マウンド/ピナクルリーフ) を形成し、頁岩に噴出金属と炭化水素を豊富に含む可能性がある。石油コンデンセートは通常、HTD 帯とリソスフェア上部の湧出域との間の貯留層で形成される。タイプ I ケロジェンはマグネシウムペリドタイト起源の鹹水から黒色頁岩噴出孔に、タイプ II ケロジェンは石英アルカリペリドタイト起源の鹹水から黒色頁岩噴出孔にそれぞれ存在する。同様に、炭化水素化学では石油とガスを 2 つの主要なタイプに分類する。1) マグネシウム系スイートケロジェン (低硫黄パラフィン-ナフテン酸)、2) 石英系アルカリ系サワーケロジェン (高硫黄芳香族アスファルト酸) である。石油とガスを特定のペリドタイト熱水源と結び付ける地球化学的マーカーとしては、ナノ粒子の天然金属やダイヤモンド、V-Ni ポルフィリンなどが挙げられる。

Keith et al. (2008) は「蛇紋岩圏」の定義を提唱した。水はどこにでもあり、地殻はほぼあらゆる場所で断裂しているため、蛇紋岩化は (程度の差はあれ) どこにでも見られる一般的な特徴であるはずである。Keith et al. (2008) の主張を具体的に引用すると、蛇紋岩圏は「蛇紋岩族鉱

物(蛇紋岩)を主体とする,地球全体にわたるほぼ連続した岩石層(または球殻)から構成される」とされている。蛇紋岩圏は,海盆の下では通常約2kmの厚さで,主にリザードタイトで構成されています。大陸の下では,蛇紋圏は主にアンチゴライト(アルプスペリドタイト/蛇紋岩)で構成され,数kmの厚さになることもある。蛇紋岩圏の基底は,大陸と海盆の両方の下にある重力と高速地地震によって定義される遷移層と一致しており,一般的にモホ面と呼ばれている。[本研究で提案された推測によれば,これがモホ面の説得力のある説明であるように思われ,これによって,地球の水循環の観点から,モホ面は地表水が地球深部へ何らかの形で浸透していることの証拠であるということを確認しておきたい]

海洋盆地の下や拡大中心に隣接して,海洋蛇紋岩圏は,蛇紋岩化作用と呼ばれるプロセスにおいて,部分的に超臨界状態にある深層循環海洋構成水とハルツバージャイト橄欖岩との相互作用によって継続的に生成される。超臨界条件下でのハルツバージャイトからリザードタイト質蛇紋岩への変化は,組織保存効果を有し,おそらく約40%の体積膨張を引き起こす。この体積膨張は,炭化水素を含む流体生成物を蛇紋岩化域から地殻水圏/大気圏界面の浸透域へと排出・推進する優れたメカニズムを提供する。あらゆる海洋盆地の下には,下向きに拡散する超臨界蛇紋岩化フロントが存在し,海嶺熱異常付近で形成された場所ではより活発に活動している。海洋蛇紋岩が大陸地殻または海洋地殻領域に沈み込むと,アンチゴライトを主体とする蛇紋岩(一般に緑色片岩相の変成作用と一致する)に変化する。平坦な沈み込みの間,比較的低密度のアンチゴライトは「浮遊」し,モホ面の地球物理学的境界で大陸地殻の底部に埋め込まれる。

実際には,海洋蛇紋岩圏と大陸蛇紋岩圏の両方が,深部地殻と海洋の水を主成分とする流体と,地球のリソスフェアマンツルの最上部にある主にハルツバージャイト質のペリドタイトの上部との相互作用からなる深部「風化」プロセスを反映している。このプロセスは,地球水圏・大気圏層と地球リソスフェア地殻層上部との相互作用によるペドスフェアの形成に類似している。この文脈において,蛇紋岩圏は,マンツルにおける水に乏しく生命の存在しない生命起源過程と,蛇紋岩圏上部の海洋地殻における水に富み生命に関連する過程を隔てる薄い膜と見ることができる。[この重要な記述を強調しておきたい。Gregori et al. (2025w)を参照]

蛇紋岩圏は,地質学界と社会界が現在関心を寄せている4つの主要な地質学的問題,すなわちプレートテクトニクスの駆動メカニズム,生命の起源,炭化水素の起源,そして地球の気候への影響に対して,非常に大きな新しい影響を及ぼす。

原油中の微量元素と蛇紋岩の間には密接な関係がある

ことが判明している。蛇紋岩に含まれる炭化水素が海底や大陸の水中環境の湧出域へ移動することは,生物圏の食物連鎖の基盤であり,これらの環境における生命に栄養源とエネルギー源を提供している。蛇紋岩化反応中に生成される熱,CH₄,CO₂は,地球の水圏大気系に大きな熱効果と温室効果をもたらすが,これは現在の地球規模の気候科学では見過ごされ,過小評価されている。

蛇紋石鉱物の延性は,地殻プレートが蛇紋圏/モホ界面において地殻上を滑動することを可能にするテクトニックな「グリース」の役割を果たす。蛇紋岩圏は地質時代の始まりから継続的に生成されてきたため,私たちが知る唯一の水惑星である,水に覆われた地球の基本的な構成要素の一つとみなされなければならない。

この最後のコメントは,他の場所で議論されている議論を予期した上で,少し考察する価値がある。LNの法則(Gregori et al., 2025aの図5)によれば,地球深部には3つの層が存在し,それぞれICB(内核境界),CMB(核マントル境界),ALB(高エネルギー準位境界)という3つの近似球殻で近似できると推定される。それぞれの殻は,観測される地磁気の空間スペクトルを正当化する何らかの電流*j*の場であるように思われる。エネルギーバランス計算の結果,微量の*j*がCMBから漏れ出し,ALBを流れる*j*を支えているのではないかと最終的に推測される(Gregori, 2002; Gregori and Leybourne, 2021; Gregori et al., 2025a)。結論としては,ALB上の*j*から放出されるジュール熱が,リソスフェアの下部マンツルに対する移動を促進する潤滑剤として実際に機能しているということになる。しかし,この議論全体を通して,なぜこの潤滑層が他の深度ではなく特定の深度に発生するのかを説明する理由が欠けている。

蛇紋岩圏は,水やScriW(あるいはその両方)に浸された破碎された岩石で構成されていると推測するのが妥当である。したがって,上層に比べて蛇紋岩圏はより優れた電気伝導体であるはずである。そのため,CMBから漏れ出る電流の上方浸透は,蛇紋岩圏全体まで上方に広がる。これらは最終的に,電気伝導率が急激に低下するとジュール熱によって崩壊する。前述の蛇紋岩圏に関連するテクトニックな「グリース」は,ALBの深さ(それ自体は,前述のように,LNの法則に基づく地磁気学的証拠から導き出される)が蛇紋岩圏の上限であると想定している。

まとめると,地震波の速度から検出できる水の最深部はモホ面によって表され,蛇紋岩化の影響はさらに深いところで現れる。実際,アセノスフェアは,媒質が部分的に溶融していると考えられるため,地震波の伝播効率が低い弱層であることがよく知られている。実際には,原因は部分溶融ではなく,ストリキニーネ化であるべきである。言い換えれば,水の存在が検出され,それによって

モホ面が定義される。しかし、岩石の破碎、蛇紋岩化、そして延性蛇紋岩群鉱物の存在は、モホ面よりもさらに深いところで観測されるいくつかの影響を引き起こし、これが ALB の地震学的定義である。

また、部分的に蛇紋岩化したペリドタイトは、脆性地殻を通過してマントルに流入した（海水）に由来するのではないかと推測されている。これは、必要な水量（% ~ 500 立方メートル）がリソスフェア内に存在しないためである。一般的に、数値モデルでは、当初はレオロジー的に成層化した地殻が想定されるが、地殻の伸張、薄化、および／または冷却に伴い、地殻は次第に脆性化していく。水平方向の圧縮が小さいほど脆性変形が促進され、低温では塑性クリープが起こりにくくなる。このようにして観測結果をモデル化することは可能であるが、断裂した地殻を通過する水または水性流体の量は正確には分かっていない。言い換えれば、深部における水の存在は、モホ面、蛇紋岩圏／アセノスフェア、あるいは部分的に蛇紋岩化したペリドタイトなど、様々な方法で検出できる。

地震学的な観点からのみ、モホ面の特定は明確に定義されていないようで、その発見を目指す深海掘削の試みはすべて失敗に終わっている。Kerr (2005a) は、国際統合深海掘削計画 (IODP) の継続調査として行われたモホ面の探査について報告している。探査地点は、MAR とアトランティス断裂帯の交差点、約北緯 30° に位置し、地震学的証拠からモホ面の深さは 1 km 以下、MAR のすぐ沖合にあった。

彼は、54 日間で 12 本のドリルビットを 1415 m の岩盤に打ち込んだと主張している。しかし、その下にあるマントルらしきものは何も発見されなかった。実際、Kerr (2005a) は、異なる組成の岩石でも同じ地震波速度が見られる場合があることを指摘している。したがって、問題は地震学に関するものである。

つまり、モホ面は単に地震波の速度に関係しているのではなく、蛇紋岩圏の概念は、地殻を貫通する水の浸透の下限に関してより正確な定義を与えるようである。要約すると、蛇紋岩化は地球内部の水を含む地球全体の水循環における基本的なプロセスである。この一般的な事項は非常に複雑で、十分に理解されていない。また、他のいくつかの地球化学的循環とも密接に関連している。このトピックは Hirschmann and Kohlstedt (2012) によってレビューされているが、簡潔にするため、ここでは詳しく論じることができない。

ごく最近の関心事は、衛星リモートセンシングを利用して、地球の地殻や月の地殻、その他の惑星の地殻にある蛇紋岩をマッピングすることです。

ほぼ同じ深度範囲で発生するいくつかの地球化学反応は、炭素循環、特に二酸化炭素の排出に関連している。例

えば、Frezzotti et al. (2009) はイタリア地域で綿密な研究を行った。興味のある読者は、彼らの原著論文を参照することを勧める。

最近の論文 (Malusà et al., 2018) では、炭素の深部隔離に関連するいくつかの地球化学的項目が調査されている。沈み込み中の炭素隔離と火山活動によるガス放出のバランスはまだよくわかっていない。

地表に現れたマントル岩石や捕獲岩中には炭素を豊富に含む流体包有物や鉱物の存在が報告されているものの、上部マントルにおける大規模な炭素貯留を裏付ける説得力のある地球物理学的証拠は未だに不足している。本研究では、沈み込んだヨーロッパスラブ上部のマントルウェッジを対象とした地球物理学的表面波地震トモグラフィモデルを用いて、深さ 180 km を超える地点で顕著な S 波低速度異常を同定した。[つまり、この現象は蛇紋岩圏内部で発生すると考えられる。]

この異常は、炭酸塩に富む溶融体がアセノスフェア（アセノスフェアと呼ばれる「厚い」層の標準的な定義を指しているが、本研究では「アセノスフェア」はより正確には蛇紋岩圏の上層、すなわち電気伝導率がほぼ段階的に増加する領域と定義される）から抽出され、冷沈み込み後のスラブ炭酸塩と含水鉱物の分解によって促進された結果生じたと我々は提唱する。結果として生じた炭素に富む溶融体の一時的なネットワークは、火山活動を引き起こすことなくマントルウェッジ内で凍結される。

私たちの研究結果は、プレートテクトニクス規模で上部マントルに炭素が隔離されていることを初めてその場で観測的に証明するものである。冷たい沈み込みの過程で隔離された炭素は、海嶺や海洋島から放出される炭素を部分的に相殺している可能性があるかと推測される。しかしながら、沈み込んだ炭素は大陸のリフティングの際に急速に放出される可能性があり…]

これらすべてのプロセスにおいて、典型的な深度は同じ範囲にあることに注意すべきである。一つの推定値は、地磁気によるリソスフェアの定義、すなわち LN プロットから導かれる。これは惑星平均深度であり、例えば約 80 km となるが、リソスフェアの他のすべての定義で検出されたものと同じばらつきを示すことが予想される。2 つ目の推定深度は蛇紋岩化作用に関するものであり、3 つ目の推定深度は前述の CO₂ 脱ガス作用の範囲である。

つまり、約 100 ~ 200 km までの上層が、地殻のリサイクルと炭素循環にとって非常に重要であると考えられる。

いずれにせよ、この一連のプロセス全体は、生物圏の重要な役割を含め、非常に複雑である。これらの非常に複雑な現象を十分に理解するには、まだ長い道のりが残されている。

要約と結論

これは、もともと M. T. Hovland によって作成された短い最終結論である。

世界の海洋や大規模湖の底は、一般的に高い多孔性を持つ細粒の堆積物で構成されています。CH₄, CO₂, H₂S などのガスは、これらの高多孔性表層堆積物中に、気泡状またはガスハイドレートの形で蓄積することが知られている (Judd and Hovland, 2007)。これらのガスの最終的な発生源を特定することはしばしば困難であるが、その多くは、以下の 1 つまたは複数の要因により、より深層から発生している。

- 1) 生物学的プロセス (例: 生物起源ガス)
- 2) 熱触媒作用 (例: 熱起源ガス)
- 3) 蛇紋岩化作用 (上記参照) およびその他の熱水プロセス (例: 熱水ガス)
- 4) 火山活動および脱ガス (例: 火山ガスおよびマントルガス)

海底は高潮、外洋波、津波、生物活動などによって絶えず「マッサージ」されているため、浅い堆積物に含まれるガスは「汲み上げられ」、上部の水柱に浸透する。ガスは水柱に入る前に、微生物 (バクテリアや古細菌) によって利用され、堆積物のバイオマスの一部となる。場合によっては、海底にバクテリアマットを形成することもある。これらは一部のガスの放出を妨げ、マットの下に小規模な地下堆積物を形成する。こうして、マットの下には潜在生息地が形成され、堆積物中に自生炭酸塩クラストの沈殿に適した環境が整う。これらのクラストは最終的に元の流体の流れを遮断し、流れは方向を変えて部分的に水平方向に流れ、その後地表から水柱へと放出される。このプロセスは「湧出の自己封鎖性」(Hovland, 2002) と呼ばれている。

海底を流れる流体は、一般的に 2 つの形態で発生する。A) 深部に根付いた泥火山、または B) 海底の *Pm* を介したものである。ポックマークや泥火山は地球上のほとんどの海洋、多くの湖や海で発生するため、流体の流れは自然のプロセスであり、海洋生物や水生生物にとって不可欠な基礎生産を間違いなく刺激する。したがって、表層流体の流れは、海洋の形成以来活発に行われてきた基本的な物理プロセスであり、マントル、地殻、堆積物、そして水柱間の鉱物の交換に不可欠であると結論付けることができる。したがって、これは地球上の生命の起源と持続にとって根本的なプロセスである。

したがって、これらすべての現象は、大気地球流の枠組みにおいて極めて重要である。加えて、補足として、磁気衛星 CHAMP の 6 億年分の記録に適用された Quinn の逆解析結果について触れておきたいと思う。この結果は、比較的断裂の進んだ地殻領域から主に流出する、巨大で大規模な大気地球流の存在を示している (Quinn et al., 2025 参照)。これは、土壌下層と大気圏、さらには電離層と磁気圏に至るまで、互いに独立して扱える複数の構成要素の結果として近似的にさえ考えられないことを意味する。むしろ、地球全体を一つの固有のシステムとして捉えなければならない。したがって、地球科学を異なる分野に分けるという慣習は、人間の精神が求める「単純化」の欲求を満たすための慣習に過ぎず、自然界は暗黙のうちに必要とされる「単純化」の仮定を満たすことができない。

生物圏は、太陽と地球の関係における様々な側面の調査と説明にとって極めて重要な要素である。これは地球科学における真に偉大な挑戦である。G. P. Gregori は、M. T. Hovland と共に本論文の先駆的な共著者となったことを大変光栄に思う。

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