

## 火星生命探査の岩石学的アプローチ —玄武岩の中に生息した微生物の痕跡を追う—

菅原 久誠

Sugawara Hisanari

### 1. はじめに

“Somewhere, something incredible is waiting to be known (どこかで驚くべき事実が発見されるのを今か今かと待っている。”これは、アストロバイオロジー(宇宙生物学)を世に広める功績を多く残した故カール・セーガン博士の言葉である。“アストロバイオロジー”とは、宇宙における生命の起源、進化、分布および未来に関する学問であり、その内容は、生命が存在できる惑星環境、地球の初期生命、地球の生命の地球外環境への適応など多岐にわたる。

筆者とアストロバイオロジーの出会いは、中学校の授業で理科の先生がカール・セーガンの著書『COSMOS』の内容を紹介してくれたことだった。27年前の話である。世界の広さを実感した衝撃と、この宇宙のどこかに存在するかもしれない地球外生命について考えると、何とか自分が解き明かしてみたいと思い、胸が高鳴った。しかし、アストロバイオロジーは、当時の日本で学問の分野としてほとんど認知されていなかったため、高校を卒業した後でもなお進路の選定に悩み続けた。このぼんやりとした不安を取り払い、この分野に関わる強い動機を与えてくれたのが、カール・セーガン博士(当時はコーネル大学の教授)に宛てた進路相談に対する返信だった。カール・セーガン博士は、アストロバイオロジーは応用科学の分野であり、複数の分野からアプローチできることや、推奨する専攻分野を列記してくれた。筆者はこの助言がひとつの指標となり、現在、岩石学的手法で岩石型惑星における生命活動の可能性について探る研究をしている。

### 2. 生物圏に関するパラダイムシフト

地球における“生物圏”とは、地球の生命が存在する領域の事である。地球表層において、田畑や雑木林の下に広がる土壌の中には実に様々な生物が存在することは用意に想像することができる。これまで、鉛直下向き方向に広がる生物圏は、概して土壌圏の広がりとは一致すると考えられてきた。ところが、深海掘削計画などによって掘削・回収された海洋底の岩石の研究から、どうやら海洋底の火山活動でできた岩石が生命生息の場となりうるということが1990年代に入って明らかになってきた<sup>1)</sup>。一般的に、海洋底における火山活動では、玄武岩質マグマが海水中に噴出する。その際、海水によって急冷された部分はガラス化する。したがって、チューブを押すと出てくる歯磨き粉のように、海底で次々に形成される枕状溶岩などの外縁部はガラス質になっていることが多い。このように、様々な時代に海洋底で形成された玄武岩質ガラスにおいて、直径数 $\mu\text{m}$ 程度までのチューブ状または粒状を呈する微生物活動の痕跡(いわゆる微生物生痕化石)が多数報告されている<sup>2)</sup>。今までに報告された玄武岩質ガラスにおける微生物生痕化石は、形態的特徴に基づき区分され、生痕化石として命名されている<sup>3)</sup>。現在の海洋底の玄武岩質ガラスから約35億年前に海洋底で形成されて現在陸域で見られる玄武岩質ガラスまで、時代や空間的分布を問わず微生物活動の痕跡が見られる事実は、海洋底が定常的に微生物活動の場となっていることを示している。つまり、“生物圏”の空間的分布に関する認識は、岩石圏上部にまで拡大されることになり、このことは地球全体の生物量は今までに考えられていた量の2倍程度になるので

はないかと思われている<sup>4)</sup>。

### 3. 火星に生命は存在する可能性

生息するための隙間が極端に小さく（低空隙率）、暗黒、貧栄養などといった極限環境である玄武岩質ガラス内部において微生物が生息・増殖できる事実は、アストロバイオロジー的に非常に重要な意味を持つ。何故ならば、火星をはじめとする太陽系の岩石型惑星・衛星の表層は、多くの場合、玄武岩、玄武岩質安山岩またはそれらを起源とする堆積物で構成されているからである<sup>5)</sup>。岩石型惑星・衛星の誕生から現在までの間に、表層または地下に豊富な水や氷が存在する環境で火山活動が起きていれば、その時に玄武岩質ガラスが形成されたと予想できる。最近の研究では、火星表層の低アルベド領域に玄武岩質ガラスの存在が示唆されているため<sup>6)</sup>、火星表層には微生物が生息・増殖できる条件の一部は整っていると考えられる。

### 4. 微生物活動の痕跡を探る

この研究を進めるうえで、考慮しなくてはならないややこしい問題がある。地球の比較的古い時代の玄武岩と同様に火星の岩石の一部は、過去に既存の条件と異なる温度・圧力の影響を受けていると言われている<sup>7)</sup>。これに起因して、固体のまま岩石を構成する鉱物や組織が変化する作用を変成作用と言う。つまり、たとえ玄武岩質ガラスの中に微生物活動の痕跡があったとしても、玄武岩質ガラスが変成作用を受けることで微生物活動の痕跡（形態や化学的特徴）が失われる可能性がある。変成度が高くな

るほど（岩石がさらされた温度・圧力条件が高くなるほど）、変成作用を受ける前に形成されていた組織の形態や化学的特徴が失われる可能性が高くなる。しかし、変成度により微生物活動の痕跡の形態・鉱物・化学的特徴などがどのように変化していくかはほとんどわかっていないのが現状である。火星生命探査の岩石学的検討をより現実的に行うためには、様々な変成作用を受けた地球表層の玄武岩を研究試料として、産出する微生物化石に類似する組織の、形態・鉱物・化学的特徴について明らかにしていく必要がある。

筆者らの研究では、岡山県井原市に分布する低度の変成作用を受けた古生代ペルム紀の枕状溶岩を採集し、玄武岩質ガラスである枕状溶岩外縁部からチューブ状の組織を見出した<sup>8)</sup>。電子顕微鏡観察に基づくと、チューブ状組織は変成作用でできたチタナイトという鉱物で構成されていることがわかった。また、組織のうちのひとつは、チューブとその周りのらせん状に分布する細粒なチタナイトの集合体で構成されていることが明らかになった（図1）。この特徴は、玄武岩質ガラスにおける微生物生痕化石 *Tubulohyalichnus spiralis* isp. と一致する<sup>3)</sup>。さらに、元素の分布を調べるマッピング分析を行った結果、チューブ状組織の一部で生物とともに挙動する炭素の濃集を確認した。つまり、これらの組織は、ペルム紀の海底でできた玄武岩質ガラスを生息場とする微生物によって形成された生痕化石が、変成作用によって再結晶（チタナイト化）したものであると考えられる。この研究結果は、たとえ玄武岩質ガラスが低度の変成作用を受けていても、産状・形態・

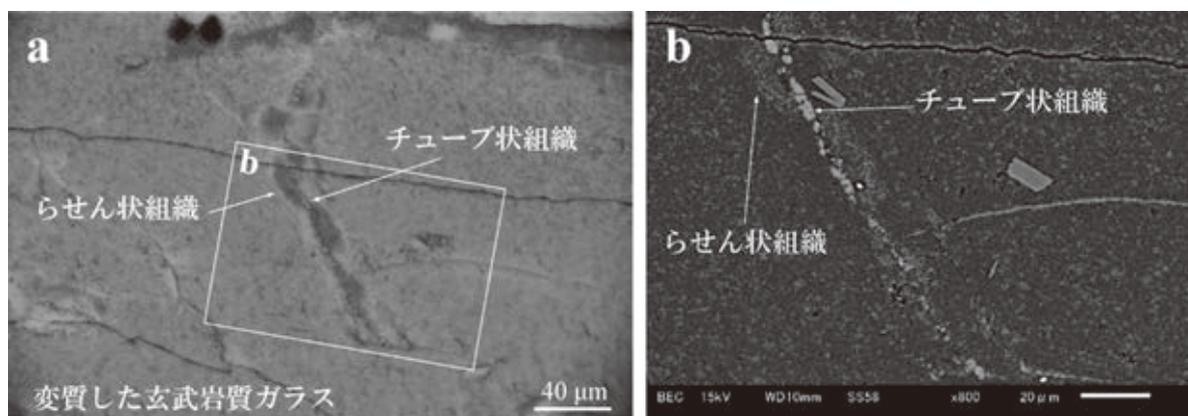


図1 a) ペルム紀の玄武岩質ガラスに産するチューブ状組織とらせん状組織の偏光顕微鏡写真および b) 電子顕微鏡写真

化学的特徴に基づき、微生物活動を起源とする組織の認定ができることを示している。火星表層の岩石は、この研究で用いたペルム紀の玄武岩と同様の変成作用を受けたと考えられており、この研究が火星表層の岩石を対象とした生命探査のための基礎的研究になると期待される。

## 5. おわりに

日本列島の基盤の主な部分は、海洋底で形成された岩石がプレートの動きで運ばれ、海溝で沈み込む際に日本に付加した“付加体”で構成される。帯状に分布する付加体は、太平洋側から日本海側に向かって新しい時代から古い時代に形成された岩石で構成される傾向がある。さらに、付加体を構成する岩石は、これまでに変成作用を受けているものが多く報告されている。つまり、日本列島は、様々な時代の玄武岩を対象として、火星生命探査の基礎的研究を行うフィールドとして最適な環境のひとつであると言っても過言ではないだろう。ご紹介した火星生命探査の岩石学的アプローチの優れた点は、現在生息している生命だけでなく、過去に生息していた生命に関する知見も得られるという点である。

今後も日本列島に分布する多様な玄武岩を対象として研究を行っていく予定である。その中で、マイクロPIXEの利点を生かして微量元素マッピング分

析を行い、微生物化石様組織における生物必須微量元素の分布を明らかにしたいと考えている。

日本におけるアストロバイオロジーは、様々な分野の研究者が集まる日本アストロバイオロジー・ネットワーク<sup>8)</sup>のシンポジウムや、日本地球惑星科学連合<sup>9)</sup>大会の国際セッション“*Astrobiology: Origins, Evolution, Distribution of Life*”などで活発に議論され始めているのでぜひ注目していただきたい。

## 参考文献

- 1) Thorseth, I.H., *et al.*, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **56**, 845–850 (1992)
- 2) McLoughlin, N., *et al.* *Jour. of Geol. Soc., London*, **166**, 159–169 (2009)
- 3) Whitman, W.B., *et al.* *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **95**, 65789–6583 (1998)
- 4) Christensen, P.R., *et al.*, *Jour. Geophys. Res.*, **105**, 9609–9621 (2000)
- 5) Cannon, K.M., Mustard, *et al.*, *Icarus*, **252**, 150–153 (2015)
- 6) McSween, H.Y., *et al.*, *Meteorit. Planet. Sci.*, **50**, 590–603 (2014)
- 7) Sugawara, H., *et al.*, *Planet. Space Sci.*, **95**, 79–83 (2013)
- 8) 日本アストロバイオロジー・ネットワーク, <http://www.ls.toyaku.ac.jp/astrobiology-japan/>
- 9) 日本地球惑星科学連合, <http://www.jpгу.org>

(群馬県立自然史博物館)