

## 火星, パンスペルミア, そして生命の起源

—すべてはどこで始まったのか?—

ジョセフ L. カーシュビnk\* ベンジャミン P. ワイス\*

翻訳: 磯崎 行雄\*\*

### Mars, Panspermia, and Origin of Life: Where did it all begin?

Josef L. KIRSCHVINK\* and Benjamin P. WEISS\*

Translated by Yukio ISOZAKI\*\*

#### Abstract

Recent paleomagnetic studies on the Martian meteorite ALH84001 have shown that this rock traveled from Mars to Earth with an internal temperature entirely below 40 °C. Dynamical studies indicate that the transfer of rocks from Mars to Earth (and to a limited extent, *vice versa*) can proceed on a biologically-short time scale, making it likely that organic hitchhikers have traveled between these planets many times during the history of the Solar system. These results demand a re-evaluation of the long-held assumption that terrestrial life first evolved on Earth, as it could just as easily have evolved on Mars and traveled here. We argue here that the chemical environment on early Mars would have been better for the evolution of early biochemical reactions than that of early Earth.

**Key words** : origin of life, Mars, evolution of atmosphere, early Earth, redox

キーワード: 生命の起源, 火星, 大気進化, 初期地球, 酸化還元電位

#### I. パンスペルミア説

定常宇宙論がもてはやされていた 19 世紀では、ケルビン卿や S. アーレンニアスといった高名な科学者たちでさえも、宇宙の時空間は無限に広がっていると考え、その中では生命が惑星間を移動することなど当然おこるべきことだと信じていた。この生物の惑星間移動という考えはパンスペルミア (Panspermia: 原義は、すべての共通種子の意

味) 説として知られるが、その後ビッグバン理論が受け入れられたこともあって、いつの間にか忘れ去られてしまった。そして、その後の生命の起源を探る試みは、生命が地球上で発生したという前提に縛られることになった。

しかし、まさにパンスペルミア的な生命の惑星間移動が過去にはごく普通にまた頻繁に起きていたことを支持するデータがこの 10 年間に集積しつつある。最近の古地磁気学の研究は、火星起源

\* カリフォルニア工科大学地質惑星科学部門

\*\* 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学系宇宙地球科学教室

\* Division of Geological and Planetary Sciences, California Institute of Technology, Pasadena, CA91125, USA

\*\* Department of Earth Science and Astronomy, The University of Tokyo

This article originally appeared in *Palaeontologia electronica*, vol. 4, no. 2, 1-8 (Jan., 2002), and is translated into Japanese under permission of the authors.

隕石 ALH84001 が火星から地球まで移動した間に、その内部が一度も摂氏 40℃ 以上に加熱されなかったことを明らかにした (図 1: Weiss *et al.*, 2000)。ヨーロッパ宇宙局の長期露出実験施設は、バクテリアの胞子が宇宙空間で 5 年以上生存できることを示し (Horneck *et al.*, 1994; Horneck, 1999), また隕石が惑星からの脱出あるいは着地の際に被る衝撃や振動にもバクテリアは十分耐えることが室内実験により明らかにされた

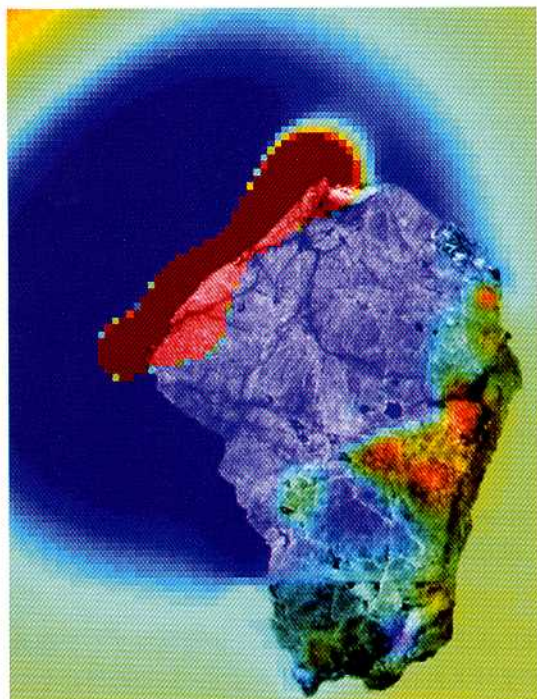


図 1 火星起源 ALH84001 隕石スライスの磁気マッピング (光学写真に重複表示)。画面に垂直方向の磁気強度を赤-青色スケール (画面からが赤、画面へが青) で表示。大きな磁気異常が隕石の外側焼結殻を中心として存在すること、および焼結が表面から数 mm 以下に限られることに注目されたい。岩石サンプルの中心部は不均質な磁気パターンを持っており、1500 万年以上にわたって摂氏 40℃ 以上には加熱されていないことを示す (Weiss *et al.*, 2000)。これは、岩石が火星-地球間を熱殺菌されることなしに移動できることを意味している。

Fig. 1 Magnetic scan of a slice of ALH84001, superimposed on its optical image.

(Mastrapa *et al.*, 2001)。さらに動力学研究から、火星から地球への (また限られるとはいえ、その逆の) 岩石の移動が、生物学的には十分短い時間でおきることが示され、太陽系の歴史の中で、このような“宇宙ヒッチハイカー”が惑星間を何度も行き来した可能性が現実味を帯びてきた (Mileikowsky *et al.*, 2000; Weiss and Kirschvink, 2000)。これらの研究によって、地球生命が外界から完全に孤立した地球上で進化したという永く信じられてきた仮定は再検討を迫られるようになった。

## II. 40 億年前の共通祖先

地球生命が 40 億年前にはすでにかなり高いレベルにまで複雑化していたことを示す 3 つの証拠が新たに得られ、初期地球での頻繁な隕石爆撃 (Cohen *et al.*, 2000) が生命の発生や存続にとって致命的であったという仮定も疑問視せざるをえなくなった。一番目の証拠は、グリーンランドの太古代 (38 億年前) の地層中のリン灰石結晶に石墨 (炭素のみから構成される鉱物) が微小な包有物として含まれ、その石墨をつくる炭素が異常に低い同位体比をもつこと (Mojzsis *et al.*, 1996) である。一般に、低い炭素同位体比は生物の炭素分別/固定作用でできた有機物、それも光合成の産物であったことを示唆するからである。しかし、このリン灰石結晶自体が 15 億年という明らかに若い放射性 (U-Pb および Pb-Pb) 年代をもつことから、周囲の 38 億年岩石の形成後に結晶成長したか、あるいは二次的な変成作用によって同位体比がリセットされたと考えられ、38 億年前の光合成産物という解釈には疑問が出された (Sano *et al.*, 1999)。また測定サンプル採取地域の地質学的解釈 (起源、形成過程) を疑う研究者もいる (Myers and Crowley, 2000)。

二番目の証拠は、火星起源隕石 ALH84001 中の炭酸塩鉱物に含まれる 39-41 億年前の磁性バクテリア化石 (現世種がつくるマグネトソームという磁鉄鉱結晶に酷似) とされるものの存在である (Thomas-Keprta *et al.*, 2000, 2001; Friedman *et al.*, 2001)。この解釈の正否はまだ議論の渦中



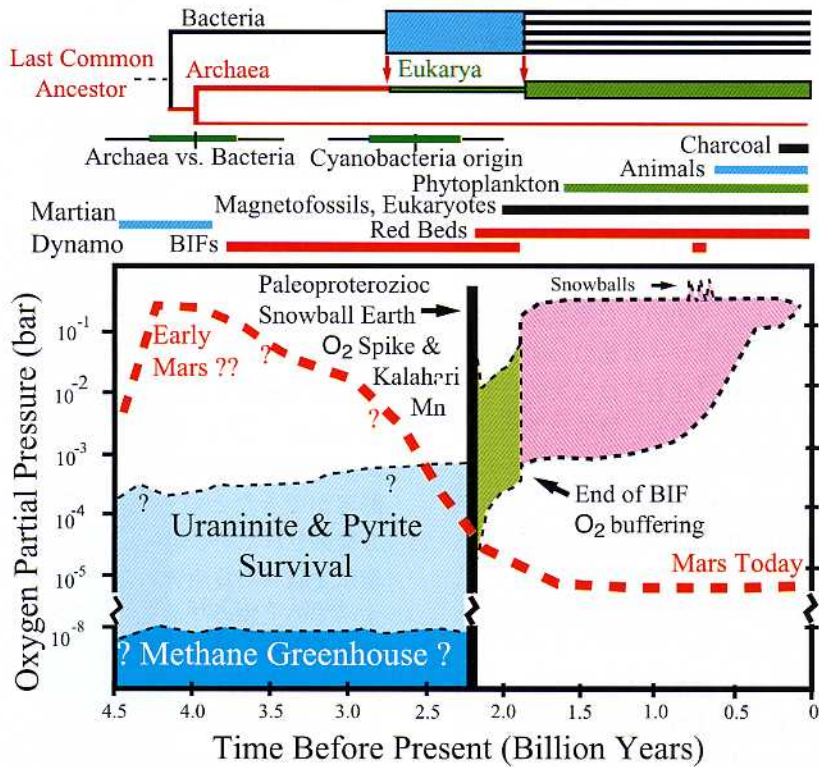


図 2 生物進化と地球大気と火星大気の酸素分圧の経年変化の比較図。

図上段に、最近 Hedges *et al.* (2001) によって推定された、真正細菌 (Bacteria)、古細菌 (Archaea) そして真核生物 (Eukarya) の分岐時期の分子時計的見積もりを示す。図の左最上部に地球生物すべての共通祖先 (Last Common Ancestor; LCA) を表示。その直下の Archaea vs. Bacteria と表示された誤差範囲は、この共通祖先の生存期間に関する 1 ないし 2 シグマ (標準偏差) の誤差推定で、同様にその右側にはシアノバクテリアの出現時期について誤差範囲を示す。シアノバクテリアすなわち酸素発生型の光化学系 II は、共通祖先よりもずっと後に出現したことに注目されたい。その下に示された色表示バーは、大気や表層海水中の酸素濃度を示す岩石や化石 (層状鉄鉱層、赤色層、磁性バクテリア化石と真核生物、光合成プランクトン、動物、木炭) の地質年代範囲を示す (Kasting, 1993 を改変)。左端の青色バーは、太陽風による大気侵食を防いだ火星磁気ダイナモの推定活動期間 (ALH84001 隕石の磁化年代に基づく: Weiss *et al.*, 未公表) を示す。図の下半は、地球と火星の大気酸素の歴史を表す。地球については、45-23 億年前の淡青色の領域が、流水で円磨された砕屑性の黄鉄鉱 (pyrite) や閃ウラン鉱 (uraninite)、還元的古土壌、層状鉄鉱層 (BIF)、浅海炭酸塩岩中の 2 価マンガンなどの存在を示す。下部の濃青色の領域は、温室効果が有効に働く領域のメタン主体大気中の酸素分圧の上限 10<sup>-8</sup> 気圧 (Pavlov *et al.*, 2000 の推定) を示す。地球進化史前半では、火山ガスの供給源であった地球マントルがより還元的であったために、温室効果はより促進された (Kump *et al.*, 2001)。23 億年前の垂直の黒いバーは、約 7000 万年間続いた前期原生代の全球凍結事件 (Snowball Earth)、その後のカラハリ、マンガン鉱床の堆積 (おそらく既存のシアノバクテリアに新たに光化学系 II が獲得された結果)、そして酸素の大量発生とメタン温室効果 (Pavlov *et al.*, 2001) の崩壊の時期を示す。これに続く緑色の領域は、全球凍結後の事件から、世界中の海洋で酸素バッファとして働いた 2 価鉄の枯渇がおきるまでの移行を示す。ピンク色の領域は、現在のレベルに至る最終的な酸素分圧の増加を示しており、その中では原生代後期の全球凍結事件に続くシアノバクテリアの大量発生によって 3 回ないし 4 回の酸素急増エピソードがおきた。

火星に関する赤い点線は、現世の火星大気中の酸素分圧で右端が固定され、過去については推定に基づき、より濃密な大気が外挿されている。筆者らは、ALH84001 隕石の炭酸塩鉱物が質量比依存性の酸素同位体分別をもつこと (Farquhar *et al.*, 1998) から、40 億年前の火星大気がオゾン層をもっていたと考えエビークを示した。また、火星の磁気ダイナモによる火星大気の磁氣的保護が働き、酸素は残る一方、水素のみが宇宙空間へ失われるので、この酸素ピーク以前は酸素が増加傾向にあったと推定した。

Fig. 2 Biological evolution, compared with a schematic representation of the atmospheric partial pressure of oxygen in the earth and martian atmospheres, as a function of geologic time.

