

地球シリーズ

鉄が地球温暖化を止める？

海と鉄

Dissolved iron in the ocean

姫路科学館 学芸・普及担当 宮下直也

「タンカー半分の鉄をくれれば、氷河期を贈ろう (Give me a half tanker of iron, and I will give you an ice age)」、1988 年にアメリカの海洋学者ジョン・H・マーティン (1935-1993) が残した言葉です¹。彼は、特定の海域では鉄 (Fe) の濃度が植物プランクトンの増殖を制御している可能性を報告しました²。植物プランクトンが増減すれば、光合成に伴う二酸化炭素 (CO_2) の消費量も増減します。そこで彼は、南極のボストークにおける氷床コアの分析で得られた二酸化炭素濃度と鉄濃度の逆相関関係から、地球の氷河期-間氷期サイクル (10 万年周期の気温変化；図 1^{3,4}) に影響を及ぼしたという「鉄仮説」を提唱しました⁵。

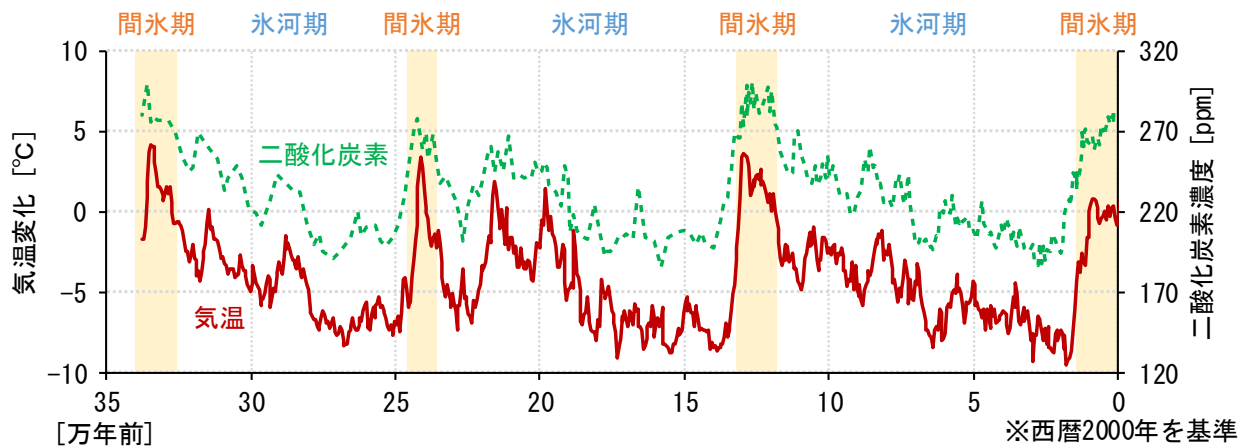


図 1 南極「ドームふじ」氷床コアから復元された過去 34 万年の気温変化と二酸化炭素濃度^{3,4}

■HNLC 海域

植物の生長には多様な栄養素が必要で、最も足りない元素によって生長が制限されるといわれます (図 2)。そのような不足しがちな元素のことを栄養塩といい、窒素 (N) やリン (P) に加えて海洋ではケイ素 (Si；陸で豊富) が、陸域ではカリウム (K；海で豊富) がしばしば植物の生長を制限します。

陸域や海底から栄養塩が供給されやすい海域 (例えば沿岸域) は、植物プランクトンが比較的豊富です。しかし、栄養塩が豊富にあるにもかかわらず、植物プランクトンが少ない海域も存在します (図 3⁶)。HNLC 海域 (High-Nutrient Low-Chlorophyll regions) と呼ばれ、南極海がその代表です。このような「南極パラドクス」の答えとして、「鉄仮説」が提唱されました。

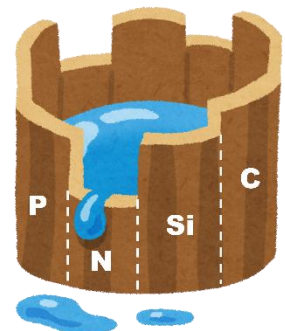


図 2 「リービッヒの最小律」理論に基づく「ドベネックの桶 (おけ)」。植物の生長を桶にためられる水量に例えた。

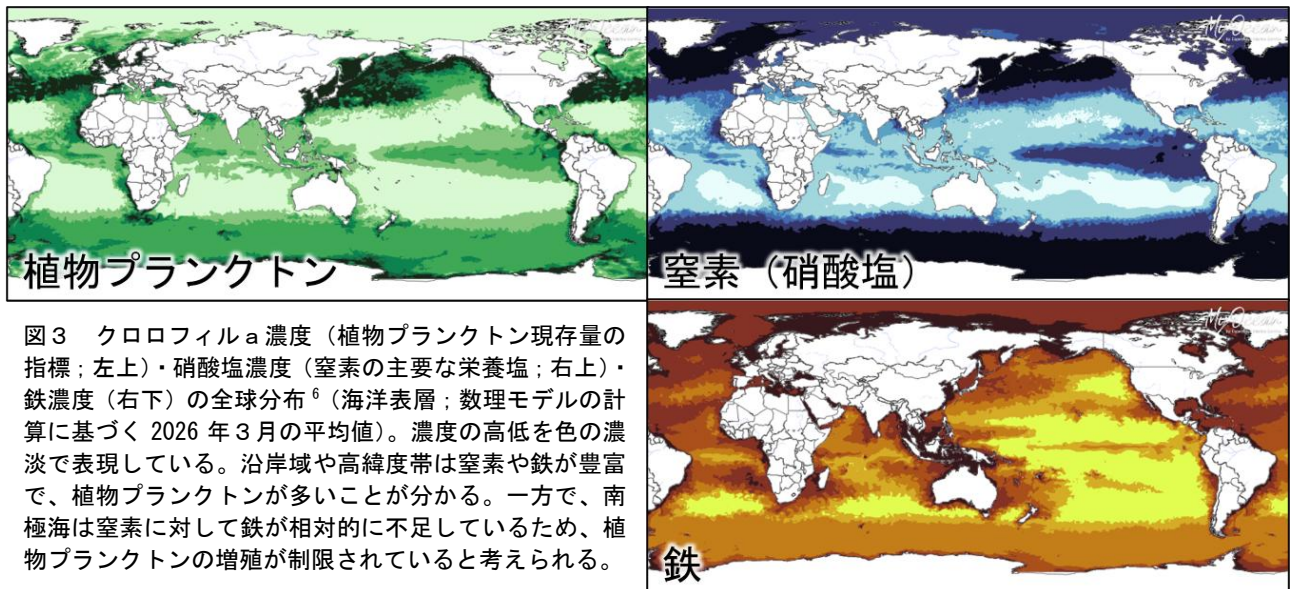


図3 クロロフィルa濃度（植物プランクトン現存量の指標；左上）・硝酸塩濃度（窒素の主要な栄養塩；右上）・鉄濃度（右下）の全球分布⁶（海洋表層；数理モデルの計算に基づく2026年3月の平均値）。濃度の高低を色の濃淡で表現している。沿岸域や高緯度帯は窒素や鉄が豊富で、植物プランクトンが多いことが分かる。一方で、南極海は窒素に対して鉄が相対的に不足しているため、植物プランクトンの増殖が制限されていると考えられる。

■鉄仮説の検証

鉄仮説を検証するため、HNLC海域である南極海や北大西洋亜寒帯域の海水を採取した瓶に鉄を添加して培養する実験が行われ、植物プランクトンが増殖することが確認されました^{7,8}。実験室レベルでは仮説が正しいことが分かりましたが、現場検証も必要であるため、赤道太平洋の外洋に鉄を散布する実験が行われました⁹。その結果、植物プランクトンの増殖や光合成による生産の増加が確認され、一部の海域では鉄濃度が植物プランクトンの生長を制限しているという仮説は立証されました。

■鉄で地球温暖化を止められるか？

では、世界中のHNLC海域に鉄を散布すれば、地球温暖化は止められるのでしょうか。確かに、植物プランクトンが増殖して光合成が活発になった結果、二酸化炭素をたくさん固定することが予想されます。しかし、このような人為的な環境の改変が、中長期的に生態系や産業などに与える影響は明らかになっていません。カーボンニュートラルに向けた取り組みとしては魅力的な選択肢のように思えますが、社会実装にあたっては慎重になるべきといえます。

■特別展「ひめじの鉄学」を2026年7月25日から8月30日まで開催！

姫路科学館では、宇宙の鉄から姫路市の鉄鋼業まで、鉄を幅広く紹介する特別展を開催いたします。楽しく学べるイベントも盛りだくさんですので、ぜひ鉄の可能性を感じてください。

¹ John Martin. NASA. (<https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/john-martin/> 2026年6月4日確認)

² Gordon et al. (1982), Iron in north-east Pacific waters, *Nature*, 299, 611-612.

³ Kawamura et al. (2007), Northern Hemisphere forcing of climatic cycles in Antarctica over the past 360,000 years. *Nature*, 448, 912-916.

⁴ Kawamura et al. (2003), Atmospheric CO₂ variations over the last three glacial-interglacial climatic cycles deduced from the Dome Fuji deep ice core, Antarctica using a wet extraction technique, *Tellus B*, 55(2), 126-137.

⁵ Martin, J. H. (1990), Glacial-interglacial CO₂ change: The Iron Hypothesis, *Paleoceanography*, 5(1), 1-13.

⁶ Global Ocean Biogeochemistry Analysis and Forecast. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). (2026年6月5日確認)

⁷ Martin & Fitzwater (1988), Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic, *Nature*, 331, 341-343.

⁸ Martin et al. (1989), Vertex: phytoplankton/iron studies in the Gulf of Alaska, *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 36(5), 649-680.

⁹ Martin et al. (1994), Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean, *Nature*, 371, 123-129.