

火星 CO₂ 残存極冠の進化と気候変動Evolution of residual CO₂ ice cap and climate changes on Mars

高山 歌織[1], 横島 徳太[1], 小高 正嗣[1], # 倉本 圭[1]
Kaoru Takayama[1], Tokuta Yokohata[1], Masatsugu Odaka[2], # Kiyoshi Kuramoto[2]

[1] 北大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ, [2] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ.

<http://www.ep.sci.hokudai.ac.jp/~shwlab>

表層リザーバ間の CO₂ 分配は火星気候状態を支配する最も重要な過程の一つである。火星には CO₂ の交換可能なりザーバとして大気、極冠、レゴリスが存在

する。そのためある CO₂ 総量に対して実現可能な気候は一つとは限らない。例えば CO₂ の大部分が大気中に存在する場合には気候は温暖になり、一方それが

極冠やレゴリスの中に存在する場合には寒冷な気候となる。現在の火星は寒冷であるが、様々な地形学的証拠は過去の火星が温暖であったことを示唆する。これ

まで研究によって、太陽放射強度、赤道傾斜角、CO₂ の総量などが変化することにより表層の CO₂ 分配が変化し、気候変動が引き起こされたと考えられている。

しかし CO₂ 分配に関するこれまでの研究にはいくつかの問題がある。その一つは、従来の研究では極冠の CO₂ 容量が無限大もしくは一定の厚みを持つと仮定し、極冠の形状を決める物理過程を無視している点である。そこで本研究では極冠の形成過程を考慮した気候モデルを新たに構築した。これにより火星表層 CO₂ の分配について調べ、過去の気候変動と極冠形状進化について議論する。

モデルでは大気分配到される CO₂ 量を与え、2 次元（緯度-鉛直）エネルギーバランスモデル [1] により得られる温度分布を用いて極冠およびレゴリスに分配される CO₂ 量を評価する。極冠に分配される CO₂ 量は、各緯度における大気 CO₂ 凝結フラックスと CO₂ 氷の粘性流動フラックスのつりあいから決まる極冠の形状を用いて評価する。レゴリスに分配される CO₂ 量は、実験によって得られた経験則 [2] を用いて地表面温度の関数として評価する。

現在値（25 度）程度の赤道傾斜角と現在の 0.85 倍の太陽定数を与え、様々な大気 CO₂ 量を与えた場合の極冠形状の応答を調べた。大気圧が 10³ Pa 以下（大気質量 10¹⁷ kg 以下に相当）では大気圧の増加にともない極冠はより低緯度まで張り出すようになる。これは凝結温度が大気圧と共に増加し、CO₂ が凍りやすくなるためである。さらに大気圧が増加すると大気の温室効果によって地表温度が増加し、再び極冠の広がり小さくなる。やがて、大気圧が ~10⁴ Pa に達すると、極冠が全て蒸発して無極冠の解となる。極冠の高さは高緯度ほど大きく、極点における高度は極冠が低緯度まで広がっているほど大きい。極冠の流動によって、極点での極冠高度は流動がない場合の 1/2 程度になる。

図は熱平衡状態における大気と極冠の CO₂ 量を、CO₂ 総量の関数として示したものである。点線は計算の初期条件として CO₂ 極冠が全球を覆っているとした場合、破線は CO₂ 極冠が存在しないとした場合の結果である。前者は極冠に最大限 CO₂ が分配された時の平衡解、後者は極冠に CO₂ が分配されない解である。CO₂ 総量が 10¹⁸ kg より大きい場合、レゴリスの CO₂ 質量はほぼ 10¹⁷ -- 10¹⁸ kg に保たれる。太陽放射および赤道傾斜角が大きくなると、

極冠の形成され始める点 A および極冠 CO₂ 分配量が最大となる点 B での CO₂ 総量は減少する。

CO₂ 総量が十分に大きい場合には、ほとんどの CO₂ は大気分配到される。この状態から CO₂ 総量を減少させていくと、大気 CO₂ 量は経路 I に沿って減少する。系が点 A に達すると、大気の凝結により極冠が成長可能になる。この点を極冠生成点と呼ぶ。ひとたび極冠が生成されると、アルベドフィードバックと流動の効果によって極冠はさらに成長し、最終的にはほとんどの CO₂ が極冠に分配された状態 C 点に達する。これは大気圧の小さい寒冷な気候に対応する。CO₂ 極冠の形成を引き起こす原因としては、太陽定数の季節変化や H₂O の氷床によるアルベド効果が考えられる。

過去において形成されたと考えられる極冠の質量と形状は点 A と点 C との間の大気質量の差から見積もることができる。このとき極冠の広がりはおよそ 80 度、極点での高さは 1.5 km となる。これは現在の極冠のまわりに観測されている極層状堆積物と同程度の広がりと高度である。

図：CO₂ 総量を与えた場合の、平常状態として実現される大気 CO₂ 量（上）と極冠 CO₂ 量（下）。図上で同じ記号で示された点（A, B, C, D）は同じ状態に対応する。太陽定数が現在値の 0.85 倍、赤道傾斜角が現在値（25 度）の場合。詳細は本文参照。

参考文献

- [1] Yokohata et al. 2002, *Icarus* 159, 439-448.
- [2] Toon et al. 1980. *Icarus* 44, 552-607.

