

火星古環境下における極冠の形成

Formation of the polar caps in the Martian paleo-environment

横畠 徳太[1], 倉本 圭[1], 小高 正嗣[2], 渡部 重十[1]

Tokuta Yokohata[1], Kiyoshi Kuramoto[2], Masatsugu Odaka[3], Shigeto Watanabe[2]

[1] 北大・理・地球惑星, [2] 東大・数理科学

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ, [2] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ., [3] Mathematical Sciences, Univ. Tokyo

流水地形の分布から、火星表層にはかつて全球的に H₂O が分布していたと考えられる。しかしながら現在、表面上で H₂O は極冠においてのみ観測されている。いかなる気候の下で H₂O は極冠へ集まったのだろうか？本研究ではこの疑問に答えるために気候モデルを構築し、極冠の形成過程について調べた。

その結果として、次のことが明らかになった。

1. 現在の気圧は、夏極の昇華量と、冬極の凝結量のバランスによって決まっている。
2. 全球が雪氷で覆われた状態では、 10^4 Pa から 10^5 Pa までの気圧は安定に存在し得ない。
3. 全球が雪氷で覆われた状態では、現在の気圧の下では極冠は形成されない。

本研究では火星における気候モデルを構築し、全球的な H₂O 分布の進化という観点から極冠の形成について調べる。現在のような極冠が形成される条件を求めることにより、火星の気候進化に関して新たな知見を得ることが目的である。

流水地形の分布から、火星表層にはかつて全球的に H₂O が分布していたと考えられる。しかしながら現在、表面上の H₂O は極冠においてのみ観測されている。いかなる気候の下で H₂O は極冠に集まったのだろうか？この疑問に答えるため気候モデルを構築し、極冠の形成について調べた。火星における H₂O 環境の進化に関わる謎を解くことは、地球型惑星の表層環境に関する一般的性質を知るためにも非常に重要である。

火星の気候状態に関する従来の研究のうち、現在でも広く受け入れられているのが Gierasch and Toon (1973) (以下 G&T) である。G&T は、火星では大気の主成分(CO₂)が極冠で凝結するため、極冠表面温度に対する飽和蒸気圧が大気圧となると考えた。彼らは極冠で成立するエネルギーバランスを様々な大気圧の下で解き、極冠表面温度を求めた。そして CO₂ 極冠と大気間の蒸気圧平衡が同時に成立する条件を課し、安定な大気圧を求めた。この結果は、現在の気圧とほぼ一致する。以後、火星のテラフォーミング(Mackay et al., 1991)や過去の温暖な気候の安定性(Haberle et al., 1994)を調べるためにも、G&T のモデルが用いられてきた。

しかしながら、彼らのモデルにはいくつかの問題点がある。一つは、極域における年平均したエネルギーバランスのみを解き、赤道域の温度は一定であると仮定している点である。実際には、赤道域の温度もエネルギーバランスによって決まるはずである。また極域の温度は、夏極と冬極で大きく異なると考えられる。もう一つの問題点は、大気の温室効果を全く考慮にいれていない点である。

そこで本研究では、G&T のモデルを改良した気候モデルを構築した。この気候モデルでは、夏極、赤道域、冬極において成立する季節平均のエネルギーバランスを様々な大気圧の下で解く。モデルには地表-大気間、赤道-極域間の大気運動による熱移流が考慮されている。また温室効果を再現するため、鉛直方向に灰色大気の放射対流平衡構造を考えた。H₂O が極冠に集まる過程としては、大気の移流による H₂O 輸送過程を考えた。これは、大気を介さない H₂O 輸送過程は無視できると考えられるためである。大気中の H₂O が飽和していると仮定し、エネルギーバランスから得られた大気温度を用いて極域への H₂O 輸送量を求める。表層における H₂O 分布の進化を想定し、二通りの地表面アルベド分布に対して計算を行った。一つは極域のみ雪氷に覆われた場合で、もう一つは全球が雪氷で覆われた場合である。

モデル計算の結果から、火星の気候進化に関して次のような知見を得ることができた。

1. 現在の気圧の下では、エネルギーバランスから得られる夏極温度が CO₂ の凝結温度よりも高くなり、冬極温度が凝結温度より低くなる。これは夏極で CO₂ の昇華が起こり、冬極で凝結が起こることを意味する。すなわち、現在の気圧が CO₂ 極冠と大気間の相平衡によって決まるのではなく、夏極の昇華量と冬極の凝結量のバランスによって決まる。この結果は、G&T を初めとする火星大気圧に関する従来の描像とは大きく異なる。

2. 全球が雪氷で覆われた状態では、赤道域地表面の吸収する太陽放射が減少し、全球的に温度が低下する。特に大気圧が 10^4 Pa から 10^5 Pa 領域では、全球的に地表面温度が CO₂ の凝結温度より低くなる。すなわち CO₂ が全球的に凝結する。したがって、この領域の大気圧は安定に存在し得ない。全球的に CO₂ が凝結する可能性は、従来考えられて来なかった。

3. 全球が雪氷に覆われた状態では、現在の気圧下では 46 億年以内に極冠が形成されない。このことから、かつて全球が雪氷に覆われる状態があった場合、H₂O が極冠に集まるシナリオとして次の二通りが考えられる。一

つは、表層の CO₂ が全て昇華し、大気圧が 10⁵ Pa 越えるイベントがあったというものである。もう一つは、全球を覆っていた雪氷の一部が解けることによりアルベドが低下したというものである。