

火星大気-極冠 CO₂ 質量交換による気候遷移過程MARTIAN CLIMATE TRANSITION BY CO₂ EXCHANGE BETWEEN THE ATMOSPHERE AND ICE CAP

横畠 徳太[1], 小高 正嗣[1], 倉本 圭[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/~yokohata/index.html>

火星表層環境を形成する上で最も重要な過程の一つは、大気の主成分である CO₂ が凝結することである。本研究では大気と極冠の間の CO₂ 交換過程について調べることににより、火星における気候遷移過程(気候の温暖化および寒冷化)について論ずる。

現在の火星は平均気温が 210 K 程度の非常に寒冷な惑星である。しかし様々な地形学的証拠から、初期の気候は液体の H₂O が安定に存在できるほど温暖で、それ以降も温暖な時期がたびたびあったと推測されている。恒星進化の理論によれば過去の太陽光度は現在値よりも小さかったはずである。それにも関わらず現在より温暖な気候が繰り返された原因は、未だ解明されていない。

火星では CO₂ が極域の地表で凝結することにより、CO₂ の氷からなる極冠が形成される。この過程は現在においても大気 CO₂ 量を決める本質的な過程となっている。CO₂ は温室効果ガスであるため、大気量が多ければ温暖な気候が実現し、少なければ寒冷な気候が実現する。

これまでの研究では惑星軌道要素(特に自転軸傾斜角)や表層の CO₂ 総量などが変化することにより、極域の熱平衡状態ひいては大気に分配される CO₂ 量が変化し、全球的な温暖化ないしは寒冷化が生じると考えられてきた。しかしこうした推測は、気候モデルに多様な境界条件を与え、それぞれに実現される定常状態を求めることによつてなされている。このため気候変動をもたらす大気圧変動の時間スケールはほとんど調べられていない。また従来の研究では、火星古環境が現在とは著しく異なったものであった可能性が十分には考慮されていない。特に温暖期の火星には表面に H₂O が豊富に存在し、現在とは著しく異なるアルベド分布を持っていた可能性がある。

そこで本研究では、緯度および高度方向に分解能を持つエネルギー収支モデルを構築した。これにより多様な境界条件を想定した大気圧の安定性解析を行い、気候遷移過程のシミュレーションを行った。モデルでは CO₂ 大気量と極冠形状の長期的な進化過程が考慮されている。計算によって明らかになったことは以下の通りである。

1) 気候状態を不安定化する要因として地表の吸収する日射分布が重要である。大気量が多く温暖な気候状態は、H₂O 氷に覆われた高アルベド域の拡大や自転軸傾斜角の低下によって不安定化する。これにより大気 CO₂ の一方的な凝結が生じ、大気量の少ない寒冷な気候状態への遷移が起こる(「大気崩壊」と呼ぶ)。一方寒冷な気候状態は、CO₂ 極冠アルベドの低下や自転軸傾斜の増加によって不安定化する。これにより CO₂ 極冠は一方的に蒸発し消失する(「暴走蒸発」と呼ぶ)。

2) ひとたび大気崩壊および暴走蒸発が生じると、10³ 年程度と地質学的にごく短時間のうちに大気圧の大きな変化をもたらされる。大気崩壊に伴う大気圧の減少量は H₂O 氷で覆われた高アルベド域の広がりが多いほど、また自転軸傾斜角および太陽光度が小さいほど大きくなる。約 38 億年前の太陽光度の下では、一度の大気崩壊によって約 10⁵ Pa から約 10³ Pa まで、大気圧が急激に減少した可能性がある。大気崩壊にともって形成される CO₂ 極冠の広がり、現在のもの(下限緯度 85 度)と比べてかなり大きい(70-80 度)。一方約 38 億年前の小さい太陽光度の下でも、十分極冠アルベドが低下するか自転軸傾斜角が増大すれば、暴走蒸発が発生する可能性がある。

3) H₂O および CO₂ 氷のアルベドフィードバック機構を考慮すると、温暖化と寒冷化が繰り返される気候変動のシナリオを構築することができる。温暖な気候状態の下では全球的な H₂O 循環が活発化するため、H₂O 氷で覆われた高アルベド域が徐々に拡大するだろう。このような地域が十分に拡大すれば、全球的なアルベド上昇によって大気崩壊が起こり、大気圧の低く寒冷な気候状態への遷移が起こる。一方寒冷な気候状態の下では、H₂O は大気を介して惑星上でもっとも寒冷な極域へ運ばれて固定され、H₂O 露出面積は徐々に縮小するであろう。地表および

大気中 H₂O の減少（乾燥化）と相まって地表ダストが大気中に供給されるようになり，ダストの拡散と堆積によって CO₂ 極冠アルベドの低下がもたらされると考えられる．CO₂ 極冠のアルベドが十分に低下すれば CO₂ 極冠の暴走蒸発が発生し，温暖な気候状態への遷移が起こる．現在南半球低緯度域に観測される氷河地形は，過去に H₂O 氷床が拡大したなごりである可能性がある．また CO₂ 極冠を取り巻いて存在する極層状堆積物は，過去における大気崩壊によって形成された CO₂ 極冠の痕跡かも知れない．