

## 火星大気 - 極冠システムの安定性

### The stability of Martian atmosphere-polar cap system

# 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

惑星の気候は、外的、内的要因によって変動する。外的要因としては、惑星軌道要素の変化や大気の散逸過程が考えられる。また内的要因としては、大気と惑星表層リザーバ間の質量交換過程考えられる。本研究では火星気候変動の内的要因として最も重要である極冠 - 大気間の質量交換過程に着目し、火星気候の安定性について調べた。その結果以下のことが明らかになった。1) 火星において安定に存在する大気圧は CO<sub>2</sub> 極冠の受け取る太陽放射に非常に敏感である。2) 太陽放射などの外的条件が現在とは異なれば、現在とは異なった気候状態が安定に存在していた可能性がある。

#### 1. はじめに

惑星の気候は、外的、内的要因によって変動する。外的要因としては、惑星軌道要素の変化や太陽風による大気の散逸過程が考えられる。また内的要因としては、大気と惑星表層リザーバ(地殻、海洋、極冠氷床など)間の質量交換過程考えられる。

火星は地質学的な証拠から、これまで非常に大きな気候変動を経験したと考えられている。現在の火星は大気圧が非常に低く(600 Pa 程度)寒冷である(平均気温 220K)が、過去においては大気圧が高く(10<sup>5</sup> Pa 程度)温暖であったと考えられている。

現在の火星大気圧は、CO<sub>2</sub> が冬極で凝結し、夏極で蒸発することによりコントロールされていると考えられている。また、CO<sub>2</sub> 極冠は火星表層における大きなCO<sub>2</sub> リザーバである。それゆえ極冠 - 大気間の質量交換過程は、火星気候を変動させる内的要因として非常に重要である。この質量交換過程には、太陽放射の緯度変化や大気圧による温室効果の変化、極冠における CO<sub>2</sub> 蒸発凝結過程などが関与する。これらの素過程が複合してどのように振舞うのかについては、不明な点が多い。そこで本研究では、上記の素過程を取り記述した数値モデルを構築し、火星大気 - 極冠システムの安定性について調べた。

#### 2. モデルの概要

本研究で構築したモデルは、緯度方向と鉛直方向に解像度を持つ 2 次元エネルギーバランスモデルである。モデルには極冠上での CO<sub>2</sub> 蒸発凝結過程が組み込まれている。方程式系は各緯度における大気および地表面のエネルギーバランス方程式からなる。それぞれ大気における 水平熱移流、鉛直熱移流、赤外放射による正味加熱の釣合い、および地表面における 鉛直熱移流、赤外放射、CO<sub>2</sub> の蒸発凝結の潜熱、太陽放射による正味加熱の釣合いを記述するものである。これらの素過程は大気圧、地表大気温度、地表温度の関数として記述する。

幅広い領域の大気圧(10<sup>2</sup> Pa から 10<sup>5</sup> Pa まで)を与えて上記のエネルギーバランス方程式を解くことにより、地表大気温度、地表面温度、およびCO<sub>2</sub> 蒸発凝結量の緯度分布が求まる。蒸発凝結量について全球の総和(蒸発量を正、凝結量を負とする)をとり「正味蒸発量」とする。大気圧の変化しない平衡状態は、正味蒸発量がゼロとなる点(=「平衡大気圧」)として求められる。一方正味の蒸発がおこる場合には大気圧が増加し、正味の凝結がおこる場合には大気圧が減少することになる。

#### 3. 結果と考察

a) 平衡大気圧の大きさは、CO<sub>2</sub> 極冠表面のアルベドに強く依存する。極冠表面アルベドが高い(0.70 程度以上)場合、正味蒸発量がゼロとなる平衡大気圧が 2 点存在する。このうち低い(10<sup>3</sup> Pa 程度以下)平衡大気圧を A 点、

高い( $10^{*4}$  Pa 程度以上)大気圧を B 点と呼ぼう。A 点より低い大気圧では正味の蒸発が起こり、高い大気圧では正味の凝結が起こる。それゆえ A 点の大気圧は安定な平衡状態と考えられる。反対に B 点より低い大気圧では正味の凝結が起こり、高い大気圧では正味の蒸発が起こる。それゆえ B 点の大気圧は不安定となり、B 点より高い大気圧では CO<sub>2</sub> 極冠が全て蒸発した状態しか実現されない。一方極冠表面アルベドが低い(0.70 程度以下)場合には平衡大気圧は存在せず、どの大気圧においても正味の蒸発が起こる。この場合実現しうるのは、CO<sub>2</sub> 極冠が全て蒸発した状態が実現される。

b) 現在の大気圧は安定な平衡大気圧として理解できる。軌道要素の変化にともなって太陽放射が変化したり、極冠アルベドが変化する場合、安定な大気圧は現在とは異なる値にシフトすると考えられる。また、かつては CO<sub>2</sub> 極冠が完全に蒸発し、大気圧が高く温暖な気候が実現していたとしても、大気の散逸や CO<sub>2</sub> の風化作用やなどによって大気圧が B 点を下回ると、大気圧は安定な A 点まで減少することになる。温暖な気候から寒冷な気候への変動は、このメカニズムによって起こったと考えられる。

c) 現在の CO<sub>2</sub> 極冠のアルベドは、入射する太陽放射によって変化することが知られている。観測によって得られる CO<sub>2</sub> 極冠アルベドの値は 0.54 から 0.69 程度である。本研究ではこの効果を取り入れていないため、今後は CO<sub>2</sub> 極冠アルベドの時間的、空間的变化を取り入れてモデルを構築する必要がある。