

火星における初期 CO₂ 極冠の形成

Formation of Initial CO₂ Ice Cap on Mars

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.

火星極冠は揮発性元素の大きなリザーバであり、表層環境を決める上で非常に重要な役割を果たしている。極冠の周囲にはダストと氷からなる極層状堆積物が存在することから、極冠の存在領域や質量は大きく変化してきたと考えられている。

Yokohata et al. 2002 は 2 次元 (緯度 - 鉛直方向) エネルギーバランス気候モデルを用いることにより、過去において巨大な極冠が形成された可能性が高いことを示した。地形学的証拠から過去の火星は温暖で大気圧が高かったと考えられている。大気の散逸や化学風化などによって大気圧がある臨界値を下回ると、大気の凝結によって大気量は急激に減少し(「大気崩壊」)大気圧の臨界値程度の質量をもつ CO₂ 極冠(以下「初期 CO₂ 極冠」と呼ぶ)が形成される。

初期 CO₂ 極冠の質量や形状について知ることは、火星表層 CO₂ 循環の進化を理解する上で非常に重要な意味を持つ。例えば大気やレゴリス層と極冠との物質交換過程などは、CO₂ 極冠の質量や形状に依存する。しかし Yokohata et al 2002 では初期 CO₂ 極冠の形状は求めておらず、その質量の見積もりにも不確定性がある。彼らのモデルでは各緯度における太陽放射の季節平均値を与え CO₂ 極冠の存在領域をパラメータとし、季節変化(とりわけ季節極冠の消長)がエネルギーバランスにおよぼす影響が無視されている。

そこで本研究では、太陽放射の季節変化過程を考慮したエネルギーバランスモデルを用いて、大気崩壊によって形成される初期 CO₂ 極冠の質量および形状(存在領域および平均高度)を求める。境界条件を幅広く変化させることにより、極冠形成過程を決めるメカニズムについて調べる。今回用いたモデルは、Yokohata et al 2002 の太陽放射項を季節平均値から日平均値に置き換えたものである。様々な大気圧を与え、各大気圧における年間を通じた CO₂ の夏極蒸発量と冬極凝結量の差額(CO₂ 正味蒸発量)を求める。CO₂ 正味蒸発量が負となる大気圧領域で大気崩壊が起こるとし、その最大大気圧(臨界状態)と最小大気圧(安定状態)の差から初期 CO₂ 極冠の質量が求まる。また安定状態における CO₂ 極冠の存在領域を初期 CO₂ 極冠の存在領域とする。

我々が得た結論は以下のとおりである。

1) パラメータ依存性

初期 CO₂ 極冠の質量は大気圧が高い臨界状態付近でのエネルギーバランスによって決まっているため、H₂O 氷床の広がりや太陽光度などのパラメータに強く依存する。すなわち H₂O 氷床の広がりが大きく太陽光度が小さい場合に、極冠質量は大きくなる。現在の太陽光度、惑星軌道要素およびアルベド分布を与えた場合の初期 CO₂ 極冠の質量は大気圧換算で 10^4 Pa 程度であるが、太陽光度が現在の 0.75 倍で H₂O 氷床が全体的に存在する場合の質量は、 3.5×10^5 Pa にもなる。また太陽放射の季節変化が初期 CO₂ 極冠質量に及ぼす影響は大きく、本研究の結果は Yokohata et al 2002 に比べて一桁程度大きい。これは夏半球に残る CO₂ 極冠がエネルギーバランスに及ぼす影響が大きいためである。

一方初期 CO₂ 極冠の存在領域は大気圧の低い安定状態におけるエネルギーバランスによって決まるため、H₂O 氷床や太陽光度への依存性はそれほど大きくはない。現在の太陽光度、惑星軌道要素およびアルベド分布を与えた場合の初期 CO₂ 極冠下限緯度は 85 度程度であり、太陽光度が現在の 0.9 倍以下あるいは H₂O 氷床下限緯度が 60 度以下の場合には、初期 CO₂ 極冠の下限緯度は約 80 度となる。後者の値は現在の南北両極の極層状堆積物の値に近い。極層状堆積物は過去において形成された初期 CO₂ 極冠の上にダストや H₂O 氷が堆積することにより形成された可能性がある。

2) 初期 CO₂ 極冠の挙動

上記の計算結果から、大気崩壊がより初期に生じるほどより大きな高度を持つ初期 CO₂ 極冠が形成される。太陽定数が現在の 0.75 倍で H₂O 氷床が全球的に広がっていた場合には、初期 CO₂ 極冠の平均高度は 2.6 km(現在の極冠平均高度 900 m)となる。この場合極冠底面圧力(1.3×10^7 Pa)は CO₂ の臨界圧力(7.3×10^6 Pa)を大きく超え、地殻熱流量の見積もりを用いると極冠底面温度も 273 K を大きく越える。初期 CO₂ 極冠の流動や基底融解過程が表層 CO₂ 循環に及ぼす影響が大きいと考えられる。