

火星表層システムの安定性

Stability of Martian Surface system

中村 貴純 [1], 田近 英一 [1]

Takasumi Nakamura [1], Eiichi Tajika [2]

[1] 東大・理・地質

[1] Dep.of Geology, Sci., Tokyo Univ., [2] Geological Institute, Univ. of Tokyo

火星表面には多くの河床地形が見られ、過去に温暖湿潤な気候が存在したことが示唆される。本研究では火星の大気主成分がCO₂であることに注目し、南北1次元エネルギーバランス気候モデルを用いて大気-極冠-レゴリスシステムの安定性と進化について検討した。その結果、現在の日射量のもとで2種類の安定定常解が存在することと、地球の気候システムには存在しない3つのフィードバックが存在することが示唆された。また、過去の火星がCO₂の温室効果によって温暖であったとする場合、大気だけでなく全システム中のCO₂量が現在よりも多い必要があることが分った。またその場合、現在より大規模な氷床が過去に存在した可能性が示唆される。

1. はじめに

火星の地表面に見られる河床地形の数々は、火星史初期に温暖で湿潤な環境が存在した可能性を示唆している。火星環境を温暖にするための温室効果ガスとしては、一般にCO₂が想定されている。しかしながら、CO₂は炭酸塩鉱物として固定されたり（水が存在する場合）、凝結してドライアイスの極冠を形成したり、地表に存在するレゴリスに吸着されたりするなど、その挙動は大変複雑である。これまで、CO₂のリザーバとして大気と極冠からなるシステムや大気とレゴリスからなるシステムについて、現在の日射量のもとでの大気CO₂分圧に関する多重平衡解の存在が議論されている。しかし、大気-極冠-レゴリス系の議論は行われていない。一方、CO₂は凝結し雲を形成して地表を温暖にすることを妨げる可能性が示唆されているが、最近の研究によれば、CO₂の雲はむしろ地表を暖める可能性が示されており、その本当の影響はまだ良くわかっていない。そこで本研究では、CO₂の雲は正味の放射収支にあまり影響を与えないものと仮定した上で、CO₂リザーバとして大気、極冠、レゴリスの3つを想定したシステムを考え、火星における気候システムの安定性と進化についての検討を行う。

2. モデル

火星の場合、大気主成分気体（CO₂）がその温室効果を通じて気候状態を規定しているだけでなく、条件によっては凝結し得るということが本質的に重要であると考えられる。そこで、南北1次元エネルギーバランス気候モデルにCO₂の温室効果、CO₂の凝結・昇華によるドライアイス極冠の面積変化、CO₂のレゴリス吸着の温度圧力依存性、南北間熱輸送のCO₂分圧依存性などを考慮したモデルを構築する。簡単のために南北対称を仮定し、日射は年平均量を与える。また、システム全体（大気-極冠-レゴリス中）のCO₂量は一定とする。

3. 結果

上記のモデルを用いてシステムの定常解を求め、それを解析した結果について述べる。(1) 現在の日射量のもとでは、2種類の安定な定常解が存在する。ひとつは部分凍結解（現在の状態）であり、もうひとつはより温暖な無氷床解である。このような多重平衡解の存在は以前の研究からも示唆されていたが、ここで求められた解は大気、極冠、レゴリスの三者間の平衡という条件を満たしており、Gierasch and Toon (1973) や McKay et al. (1991) などの結果とは異なるものである。(2) 地球の気候システムにおいては陸地と氷床のアルベドの違いに起因する氷床アルベドフィードバックが存在するが、大気-極冠-レゴリスシステムにおいてはさらに3つのフィードバックが存在する。それらのうち正のフィードバックとして働くものは、気温が上昇すると氷床が縮小しさらなるCO₂（すなわち温室効果）を生じる効果（氷床大気圧フィードバック）と気温が上昇するとレゴリスへのCO₂吸着量が減りさらなるCO₂（すなわち温室効果）を生じる効果（レゴリス吸着フィードバック）である。これらはCO₂が温室効果気体であることに起因するものであり、この2つを合わせて温室効果フィードバックと呼ぶことにする。一方、負のフィードバックとして働くものは、氷床が縮小するとCO₂の凝固点が下がりさらなる氷床の縮小を妨げる効果（凝結温度フィードバック）で、これはCO₂の凝固点の大気圧依存性に起因するものである。実際にはこれら全てのフィードバックの競合によってシステムの安定性が規定される。温室効果フィードバックと凝結温度フィードバックの相対的な強弱は、CO₂分圧が約300mbar付近で変化する。(3) 河床地形は低緯度地域ほど多く見られることから、赤道を273K以上にするために必要な最小CO₂分圧について調べた。その結果、南北間の温度勾配が最大（南北熱輸送がゼロ）の場合と温度勾配が存在しない場合（南北熱輸送が無限大）とで、必要なCO₂量は期待されたほど変わらず、有効太陽定数が0.7のとき約3.5気圧、1.0のとき約2気圧であった。(4) 過去の火星において温暖・湿潤な環境が存在していたとすると、大気だけでなく全システム中のCO₂量も現在よりも多い必要があることが分かった。したがってこの場合、現在に至るまで何らかのプロセスによってCO₂が大気-極冠-レゴリスシステム外へ除去されてきたことになる。その具体的なプロセスとしては、炭酸塩鉱物の生成、

天体衝突による大気の剥ぎ取り，太陽風に起因するスパッタリングなどが考えられる．また、もし過去の火星表層に現在よりも多量のCO₂が存在していた場合，現在に至る過程において現在よりも大きな氷床が存在した可能性が示唆される．