

季節変化モデルによる火星気候システムの挙動解析

Theoretical analysis of the Martian climate system with a seasonal change model

中村 貴純[1], 田近 英一[1]

Takasumi Nakamura[1], Eiichi Tajika[2]

[1] 東大・理・地惑

[1] Department of Earth & Planetary Science, University of Tokyo, [2] Dept. Earth Planet. Sci., Univ. of Tokyo

火星表面の河床地形は、過去に温暖湿潤な気候が存在したことを示唆する。我々はこれまで、年平均・南北対称を仮定した火星気候システムモデルの解析を行い、火星の気候状態の安定性と進化について議論を行ってきた。しかしながら、火星の気候状態に大きな影響を与えてきたと考えられるCO₂極冠のふるまいを正しく理解するためには、日射量の季節変化を考慮に入れる必要がある。そこで今回、日射量の季節変化や南北非対称性を考慮に入れたモデルを構築し、従来の年平均・南北対称モデルの結果との比較を行った。その結果、季節変化を考慮することにより結果が大きく異なることがわかった。

火星の地表にはヴァレー・ネットワークなどの河床地形や古海岸線の跡と考えられる地形が存在する。これらの地形は、火星においてかつて温暖で湿潤な環境が存在した可能性を示唆している。火星の気候状態がどのようにして決まっているかを考える際に重要となるのは、大気中のCO₂量である。なぜなら、火星の地表温度はCO₂の温室効果によって強く左右されるからである。ところが、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物理吸着されたりするなど、その挙動は複雑である。そのような火星気候システムのふるまいを理解しようとする研究が過去にいくつかなされてきた。Gierasch and Toon (1973)はCO₂のリザーバとして大気と極冠から成るシステムを、McKay et al. (1991)は大気とレゴリスからなるシステムをそれぞれ想定した上で、火星の気候状態がどのように決定されるかを、特に気候の多重平衡解の存在という問題に着目して議論した。しかしながら、彼らのモデルではCO₂リザーバを2つしか考慮していないことや、0次元モデルである等の問題点が存在する。そこで、本研究では、火星表層中の主なCO₂リザーバとして大気、極冠、レゴリスの3つを仮定し(大気-極冠-レゴリスシステム)、気候モデルとして南北1次元エネルギーバランス気候モデル(EBM)を導入し、南北熱輸送やCO₂極冠の拡がり表現した。その上で、火星の気候システムをエネルギー収支とCO₂収支に着目して解析することによってシステムの安定解及びその存在条件について検討する。

我々はこれまで、年平均日射を仮定した場合(年平均モデル)について、火星気候システムの定常解とその安定性の解析を行ってきた。その結果、太陽定数として現在の値を用いた場合、部分的に極冠の張った状態と極冠が全く存在しない状態の2つの解が実現可能であることを示した(気候の多重平衡解の存在)。また、このことは大気-極冠-レゴリスシステム中の総CO₂量には依存しないことを明らかにした。しかしながら、火星の自転軸が傾いていることと極冠の面積が季節変化することにより、日射によるエネルギー供給量は大きく季節変化するため、気候システムの状態も影響を受ける可能性がある。にもかかわらず、このような火星気候システムの安定性の解析を行った過去の研究は、どれも日射量として年平均値を用いてきた。そこで、新たに日射量の季節変化、南北非対称、CO₂の凝結・昇華ともなう潜熱を考慮に入れた南北1次元エネルギーバランス気候モデル(季節変化モデル)を構築し、気候システムの季節変化を取り入れた場合の解析を行った。

その結果、火星の気候システムの状態はCO₂極冠の挙動に着目すると4種類に分類されることがわかった。それらは、(i) 残存極冠解、(ii) 季節極冠解、(iii) 無極冠解、そして(iv) 片側残存極冠解である。ここで(i)と(iv)の場合、大気圧はシステム中の総CO₂量によらず太陽定数の関数として一意に決定される。これは、極冠が1年を通じて存在するような条件下では、極冠による大気圧制御メカニズムが働くからである。その場合の大気圧は、本質的に、地表温度の大気圧依存性(温室効果)とCO₂の凝結温度の大気圧依存性(飽和蒸気圧)とのつり合いで決定されていると考えられる。一方で、(ii)と(iii)の場合には、大気圧はシステム中の総CO₂量に依存する。さらに、現在の太陽定数条件下では、気候多重平衡解の存在は現在の極冠中とレゴリス中に保持されているCO₂の量に依存することを示した。これは年平均モデルの結果とは異なる。この理由は、冬季の低い日射量のもとでは極冠が形成されやすく、いったん極冠が形成されると、その高いアルベドのために夏季においてもなかなか氷が融けにくいからであると考えられる。