

大気CO₂濃度を変数とする南北1次元エネルギーバランス気候モデルと新生代における南北両半球の気候発達史

Energy balance climate model with CO₂ dependent outgoing radiation: implication for the climate history through the Cenozoic

池田 敬 [1], 田近 英一 [2]

Takashi Ikeda [1], Eiichi Tajika [2]

[1] 東大・理・地質学, [2] 東大・理・地質

[1] Geological Inst., Univ. of Tokyo, [2] Geological Institute, Univ. of Tokyo

地球放射の大気CO₂濃度依存性を考慮した南北1次元EBMを開発し、定常解の数学的性質を解析した。大気CO₂濃度の変化を気候外力とする南北1次元EBMの定常解は、太陽放射強度の変化を気候外力とする従来の研究結果と同様に多重平衡解が存在し、その形状も、非常に類似している。さらに、得られた定常解をその数学的性質にしたがって分類し、南北熱拡散係数-大気CO₂濃度2次元パラメータ空間上における気候の状態図 (phase diagram) を提案する。地質学的データが示唆する新生代の氷床発達史を phase diagram 上にプロットすることにより、南北両半球における気候進化の相違を示す。

南北1次元EBMは気候の状態と進化を議論するための道具として広く用いられており、これまでも定常解の安定性や気候外力の変化に対する感度などの数学的性質が調べられてきた。こうした従来の研究の多くは、気候外力として太陽放射強度の変化を扱っていた。一方、顕生代における気候変動は、炭素循環モデルを用いた研究によって、その描像が明らかになってきた。地質記録から推定されている気候変動は、モデルから推定されるCO₂濃度の変動と調和的であり、このような長時間スケールにおける気候変動の主たる原因は大気CO₂濃度の変動によるものであることが示唆される。本研究では、まず地球放射の大気CO₂濃度依存性を考慮した南北1次元EBMを開発し、定常解の数学的性質を解析する。次に得られた定常解をその数学的性質にしたがって分類し、南北熱拡散係数-大気CO₂濃度2次元パラメータ空間上における気候の状態図 (phase diagram) を提案する。最後に、これらの地質学的データが示唆する新生代の氷床発達史を phase diagram 上で議論し、phase diagram の有用性と限界について述べる。

本研究ではまず、Budyko-Sellers 型の南北1次元EBMを North et al. (1981)の定式化に従って導入した。さらに、Caldeira and Kasting (1992) による放射対流平衡計算の結果を用いたパラメタリゼーションによって長波放射の大気CO₂濃度依存性を導入し、太陽放射強度を固定して、大気CO₂濃度の変化を気候外力として与えた。その結果、大気CO₂濃度の変化を気候外力とする南北1次元EBMの定常解には、太陽放射強度の変化を気候外力とする従来の研究結果と同様に多重平衡解が存在し、その形状も、非常に類似していることが示された。定常解の安定性についても、太陽放射強度の変化を気候外力とする従来のモデルと同様であることを示すことができる。

一方、Budyko-Sellers 型の南北1次元EBMにおける南北熱拡散係数は地球史を通して一定であったという保証はなく、むしろ、大陸配置や海陸分布、大気大循環、海洋大循環などの変化によって変わり得る量である。実際に、こうした南北熱輸送システムの変化が過去の気候変動の要因となっていたことは十分考えられることであり、南北熱拡散係数Dの変化に対してモデルの定常解がどのように応答するのか調べることは重要である。そこで、モデルの安定定常解の性質に基づいて、南北熱拡散係数-大気CO₂濃度2次元パラメータ空間上に解を分類し、気候の状態図 (phase diagram) を提案する。地質時代における大気CO₂濃度の変動は、炭素循環モデル、古土壌の分析、海洋プランクトンの光合成時における同位体分別効果などによって推定することができる。また、南北熱拡散係数は堆積物中の酸素同位体比や化石記録などを用いた緯度方向の温度分布の推定結果を用いて求めることができる。このようにして複数の時間断面における南北熱拡散係数および大気CO₂濃度を決定し、この phase diagram 上にプロットすることができれば、地質時代の気候の履歴をより深く理解することができると思われる。

新生代を通しての気候の進化は、寒冷化と両極における氷冠の形成によって特徴付けられ、温暖モードから寒冷モードへの進化の過程を経て現在に至っている。新生代を通じた大気CO₂濃度の減少は全球的な寒冷化に大きな役割を担っていると考えられる。しかし、南北両半球における氷冠成立の時期は異なっており、このことは各半球が異なる気候の進化をしてきたことを示唆している。氷冠成立の要因には大気CO₂濃度の減少と、南北熱輸送効率の減少という、2つの異なった要因が考えられる。南北両半球の気候の進化の違いは、各半球における緯度方向の熱輸送システムの相違が生み出した可能性があり、南極氷床成立の主要因は南北熱輸送効率の低下、北半球氷床成立の主要因は大気CO₂濃度の減少である可能性がある。大気CO₂濃度の減少が主要因となって氷床が形成される場合と、南北熱輸送効率の低下が主要因となって氷床が形成される場合とでは、低緯度域における地表面温度の時間的推移が異なっている可能性があり、このことは海洋表層水中の酸素同位体比記録から読み取れ

る可能性がある。