

温暖な気候における海洋無酸素事変と熱塩循環の振舞い

Behavior of thermohaline circulation and ocean anoxia in the warm climate

山中 康裕 [1], 阿部 彩子 [2]

Yasuhiro Yamanaka [1], Ayako Abe-Ouchi [2]

[1] 北大・院地球環境・大気海洋, [2] 東大・気候センター

[1] Environ. Earth Sci., Hokkaido Univ, [2] CCSR, Univ. Tokyo

白亜紀では、低緯度起源の温暖で高塩分水が海洋深層水を形成していたと考えられる。また、有機物に富む層状の堆積物が見つかることから、白亜紀の深層水は無酸素状態だったと考えられ、無酸素事変と呼ばれている。我々は、簡単な海洋循環モデルと物質循環モデルを組み合わせたモデルを用いて、無酸素事変を再現することを試みた。その結果、2つの定常解と1つの周期解という3つの様式の熱塩循環が得られた。周期的な熱塩循環の場合には、地質学的証拠と整合的な海洋無酸素状態、海洋生物生産、海面水準のミランコビッチ時間スケールの周期的状態が得られた。

1. はじめに

現在、極域で冷却され表層水温が低くなり、沈み込んで深層水を形成しているが、現在より温暖な気候である白亜紀などでは、低緯度で多く蒸発し表層塩分が高くなり、沈み込んで深層水を形成していたといくつかの地質学的証拠がある。また、黒色の有機物に富んだ薄い縞が見られる層(black shale)が見つかる。当時の海底が無酸素状態になっていたと考えられることから、海洋無酸素事変(oceanic anoxic event)と呼ばれている。その成因には諸説あるが、Herbert et al(1986)は、堆積物を時間高分解能(約4000年)で解析することによって、約2万年間隔で間欠的に海洋無酸素状態が存在すること、海洋無酸素状態の時期と海洋生物生産が低い時期が一致することを示し、さらに、日射量の変動のため(いわゆるミランコビッチ・サイクル)海洋循環が間欠的に停滞したためと推定したが、氷床がない時期にどのようなメカニズムで起こるのかは今後の課題とした。我々は、本発表において、シンプルなモデルを用いて、熱塩循環の振舞いにより、海洋無酸素事変が説明できる可能性を示す。

2. 用いたモデルについて

用いた海洋循環のモデルは、大西洋程度の大きさの海洋を考え、準定常地衝流近似し東西平均した流体方程式に基づいたもので、流速についてはコリオリ項および圧力項(と鉛直粘性項)がバランスするものと仮定し、温度・塩分については時間変化・移流・拡散項からなる基礎方程式をそのまま解くことにする(Stocker and Wright, 1991)。海面での境界条件は、南北で赤道対称なものを与える。塩分に関しては、極の参照温度が0 のとき現在の海面塩分になるような降水・蒸発フラックス(低緯度で蒸発大・高緯度で降水大)を与える。温度に関しては、赤道で25、極で0~25 となる海面参照水温に緩和させる。過去の温暖な気候における高緯度地域の海面水温上昇は、赤道のものよりも大きいこと(Manabe and Bryan, 1985)などに対応させ、極の海面参照水温を変化させることにより、寒冷から温暖な気候を表現し、ケーススタディを行なう。さらに、簡単な生物化学過程として、Yamanaka and Tajika (1996)のうちリン酸塩・溶存酸素・ ^{14}C に関するものを組み込んだ。

3. 計算した結果

計算の結果、南北温度差が大きい場合には極で沈み込み、深層水温は極域表層水温にほぼ一致し、南北温度差が小さい場合には赤道で沈み込み、深層水温は赤道表層水温にほぼ一致する。その間(約13~17)には両方の解が存在する領域がある。興味深いのは、約5万年周期の振動し続ける解が存在する(約8~13)ことである。この解は、ごく短期間極沈み込み循環によって冷たく重たい水が深層水として供給されるが、すぐにごく浅い赤道沈み込み循環によって代われ、深層の大部分は停滞し表層から徐々に鉛直拡散によって温められてゆき弱い赤道沈み込み循環が海底に達して深層水が十分に暖かくなると、再び極で冷たく重たい深層水が沈むようになる、といった振舞いをする。この深層が停滞するとき、深層が海洋無酸素状態になるとともに、海洋生物生産が低下する。ミランコビッチ外力の代わりとして、極域のSSTを2万年周期で海面参照水温を変動させた場合は、振動し続ける解は、2万年もしくは4万年周期として同期するようになる。同様な振舞いは降水・蒸発フラックスの代わりに海面参照塩分を用いた場合にも得られる。

4. 議論したいこと

また、リン酸に関する簡単な河川流入および堆積過程を入れた場合も計算を行っている。しかし、リン酸の堆積過程は、現在の堆積量の見積もりでも議論があるところであり(Delaney, 1998)、納得いく過程を組み込んだとは言えず、本発表で議論したい。