

## Oceanic response to large changes in atmospheric carbon dioxide: Why was atmospheric concentration of CO<sub>2</sub> so low at the last glacial maximum?

講演者: S. Manabe (Princeton University)

レポート作成: 名倉元樹 (京都大学・海洋物理学講座)

南極大陸の堆積物を解析した結果から、気温および二酸化炭素濃度は十万年周期で変動しており、低温な時期には二酸化炭素濃度が低いことが知られていた。大気中の二酸化炭素濃度を現在の半分・二倍・四倍に設定して大気海洋結合モデルを駆動し、海洋の熱塩循環に現われた変化について調べた。

二酸化炭素濃度を半分にした実験から得られた水温・気温は現在よりも低く、最終氷期

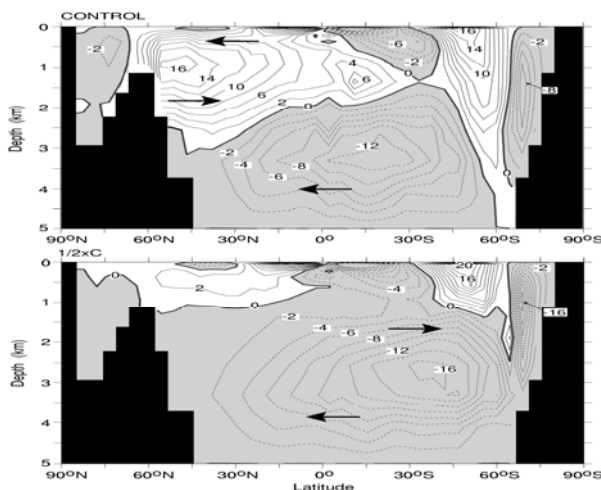


図1: 流線関数の東西平均値の緯度・深さ断面図。上段が二酸化炭素濃度を現在と同じ値に設定した実験の結果を、下段が二酸化炭素濃度を半分にした結果を示す。それぞれのパネルの左上にある反時計回りの循環(正の流線関数)が熱塩循環を、右下の時計回りの循環(負の値)が南極からの海水の沈み込みを表す。

を定性的に再現している。大西洋の熱塩循環は現在のものと比較して浅く弱い(図1の下段)。南極大陸付近の海水は厚く、南極周海の温度前線よりも赤道側まで広がる。このような熱塩循環の弱化と海水の増加は最終氷期極相期に実際に起こったことが観測事実から示唆されている。

南極付近の海水が増加し、深層水が湧昇する南極周極海域にも海水が拡がることによって、二酸化炭素を豊富に含んだ湧昇水と大気の接触が妨げられていることが分かった。このため、海水から大気への二酸化炭素の放出が抑制され、大気中の二酸化炭素濃度は低

いまま保たれると考えられる。

低温な気候状態では熱塩循環の湧昇域と沈降域にあたる大西洋の熱帯域と北部の表層水の温度差が小さくなる。このため熱塩循環が弱化すると考えられる。一方、夏季にエクマンドリフトの効果で南極周極海域の海水が割れ、この海域で海水が露出する。露出した海水は大気からの冷却によって凍結し、高塩高密度の海水が放出される。この結果、南極付近における海水の沈み込みが活発になり、南極低層水が大西洋深層に広がって、熱塩循環が浅く弱くなる(図1の下段)。

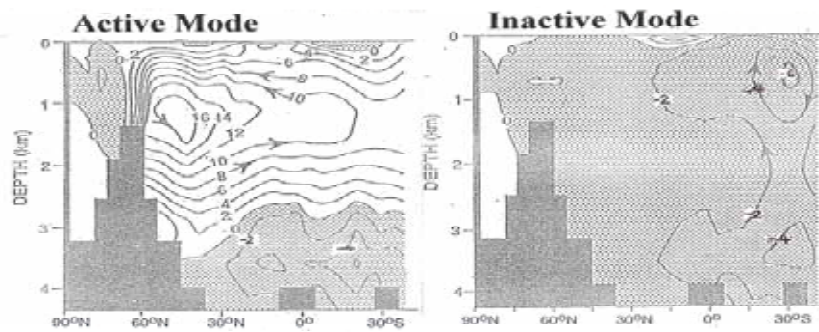


図2：流線関数の東西平均値の緯度・深さ断面図。左側のパネルが強い熱塩循環を、右側のパネルが弱い熱塩循環を表す。

一方、二酸化炭素濃度を現在と同程度にして行ったコントロール実験では熱塩循環が深く強い(図1の上段、および図2の左側)。二酸化炭素濃度を二倍および四倍にした実験でもコントロール実験と同程度の強さの熱塩循環が得られた。二酸化炭素濃度を一定にしたまま大西洋北部の塩分濃度を強制的に小さくしたところ、大西洋北部における表層水の沈み込みが起こらず、熱塩循環が弱体化し向きも反転することが分かった(図2の右側)。熱塩循環が弱い状態と強い状態はいずれも大西洋北部の塩分濃度の小さい変化に対しては安定であるが、塩分濃度を極端に変化させた場合にのみ強い循環から弱い循環への遷移が起こった。このことから、二つの状態は両方とも安定な平衡解であると考えられる。このような結果は二酸化炭素濃度が現在と同程度・現在の二倍・四倍のいずれのケースにおいても見られたが、二酸化炭素濃度を半分にした実験では平衡状態は一つ(弱い熱塩循環)しか存在しないことが分かった。