

急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明

小室 芳樹（海洋研究開発機構 北極環境変動総合研究センター）

1. 全球気候モデルによる研究

1.1. 簡易湿地スキーム導入による全球気候モデルの改良

全球気候モデル MIROC では中高緯度陸上の高温バイアスが夏に特に大きい。一方で、現行の MIROC では融雪水が季節性の湿地などとして一定期間地表面に対流する効果が考慮されておらず、河川に流出してしまうため、春から夏の陸面からの蒸発量が過小評価されている。そこで、MIROC の陸面に簡易湿地モデルを導入して、その効果が大気に及ぼす影響を調べた。簡易湿地モデルでは融雪時に表面流出の一定割合をためておく"タンク"を追加し、降水などとともに陸面に入る水に、地形に応じた時定数で加えている。簡易湿地モデルの導入によって表層土壌水分が年間を通じて増加するが、特に夏の土壌水分が大きく増加し、潜熱も増加して、地上気温が最大3°C低下した(図1)。その結果、夏の高温バイアスの一部が低減された。また、他の季節での影響は小さく、他のバイアスの悪化はほとんど見られなかった。

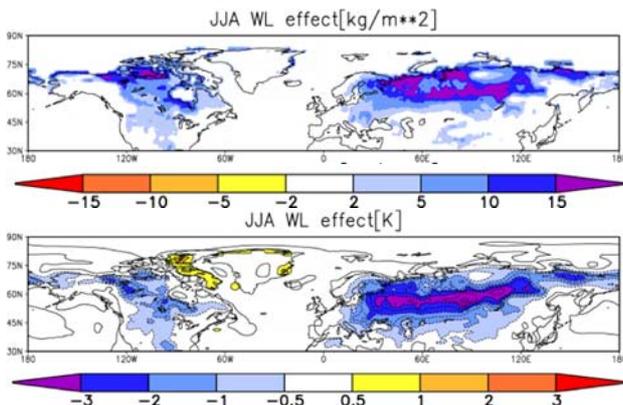


図1 簡易湿地モデルの導入による夏季の表層土壌水分の変化(上図)と地上気温の変化(下図)。

1.2. 北極温暖化における大気熱輸送の役割

地球温暖化実験において、全球平均と北極域平均の地上気温変化に、モデル間で良い相関がある。このことは、地球全体が温暖化する中で、北極域とそれ以外の地域が大気や海

洋を通じて密接に熱交換していることを示唆する。そこで、本研究では、大気熱輸送の北極温暖化への寄与を調べる。具体的には、大気海洋結合モデルを用いて、低緯度と中高緯度に別々に放射強制を与え、熱輸送の変化とそれがもたらすフィードバック効果によってどのように北極域の温暖化(増幅)が決まるのかを理解する。産業革命前のコントロール実験と、CO₂ 倍増実験、異なる緯度分布を持つ CO₂ 増加実験(図2)を行った。実験は、コントロール実験の安定した気候状態から積分を始めた。それぞれの積分期間は100年である。

図3に、100年積分の最後の20年を平均した地上気温変化の緯度分布を、コントロール実験からの差で示す。中高緯度に正の放射強制を与えた場合(EXTRP)は当然であるが、低緯度にのみ正の放射強制を与えた場合(TRP)にも、北極温暖化増幅が見られる。

大気熱輸送の変化を乾燥静的エネルギーと潜熱に分けて、北緯60度でのコントロール実験からの差を見たところ、全ての実験で、乾燥静的エネルギーの輸送は減少していた。低緯度のみ正の放射強制を与えたTRP実験においても減少していることは、この実験における北極温暖化増幅が乾燥静的エネルギーの輸送ではなく、潜熱の輸送によってもたらされていることを示唆する(ただし、海洋の熱輸送の効果についても調べる必要がある)。一方で、潜熱輸送の増加量は、乾燥静的エネルギー輸送の減少量よりも小さかった。このことから、過渡応答において、潜熱輸送が凝結熱による温度上昇だけでなく、水蒸気や雲の温室効果といった放射フィードバックを引き起こすことによって、北極域の大きな温度上昇を引き起こすという仮説が立てられる。この仮説の検証には、もちろん、さらなる解析が必要である。

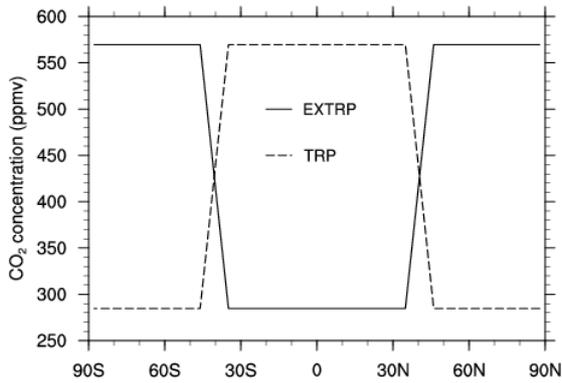


図 2 感度実験に用いた緯度分布を持つ CO₂ 濃度。

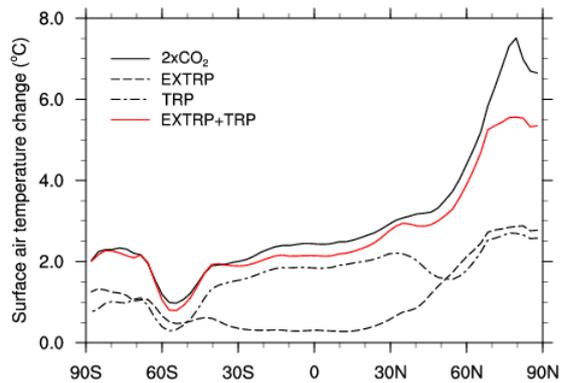


図 3 地上気温変化の東西平均した緯度分布。(コントロール実験からの差)

2. 大気大循環モデルによる研究

2.1. 北極域の海氷減少が中緯度に及ぼす影響と対流圏-成層圏結合

当研究は近年の北極域の海氷減少と中緯度の気候、特に北極振動(Arctic Oscillation: AO)との間の関連を調べる。観測データの解析から晩秋の海氷減少が冬季に負の AO をもたらすことが明らかになった。成層圏全層を解像する大気大循環モデル(AFES version 4.1)を用いて観測された海氷減少に対する大気の応答を調べた。シミュレーション結果は、最近の北極域の海氷減少が中緯度の大陸域に寒い冬をもたらすことを示した。これは負の AO に似たパターンであり、AO 指数が大きな負となる頻度が倍以上に増加した。この負の AO に伴って北極から中緯度への寒気移流が増加する。バレンツ海の家氷減少が定常ロスビー波を励起しこの循環偏差をつくる。子午面循環偏差は中緯度を冷やし高緯度を暖める正のフィードバック効果をもつ。この子午面循環フィードバックによる北極域温暖化効果は海氷減少による海表面からの直接の熱フラック

スによる北極域温暖化の 60%に相当する。

この AFES モデルの結果はまた成層圏・対流圏結合を通して対流圏の AO に影響する点において、成層圏が決定的に重要であることを示唆する。最近の他の研究も成層圏の役割を示唆するが、まだその正確な役割についてははっきりしていない。ここでは成層圏における波-平均流相互作用を人工的に弱める追加実験によって、対流圏の AO 応答は非常に弱くなることを示した(図 4)。この結果は海水が中緯度に与える影響において成層圏、特に、極渦とプラネタリー波の相互作用およびその結果の下部成層圏の東西風変化が決定的に重要であることを確認するものである。また中緯度の気象や気候の季節内から 10 年規模の時間スケールでの予測精度を向上させるためには北極域の境界条件と成層圏過程の現実的な表現が必須であることを意味している。

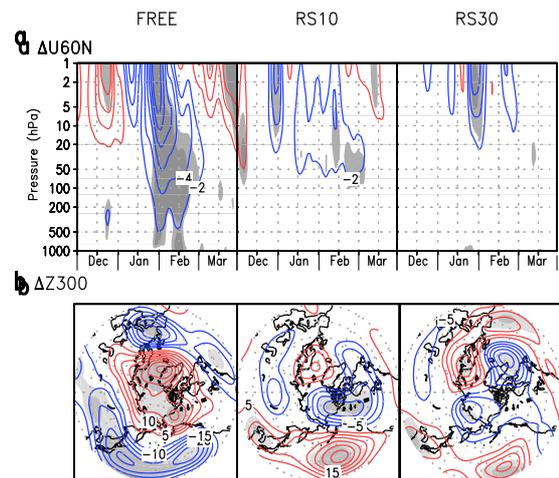


図 4 海氷減少に対する a)北緯 60 度東西平均東西風 b)300hPa 高度場の応答のシミュレーション結果。等値線は偏差の振幅、濃・淡の陰影は統計的有意水準 99・95%を示す。成層圏の変動をフルに計算する FREE に対して、RS10、RS30 ではそれぞれ 10hPa、30hPa より上で変動を抑制している。FREE では成層圏の極渦弱化和対流圏の偏差が結合し、負の AO シグナルが顕著に見られるが、成層圏変動を抑制するとそのようなシグナルは見られない。