

# 気候システムとその変動特性のモデルによる研究

楠 昌司 (気候研究部)

## 1. はじめに

本研究の目的は、これまで主に大気海洋の結合系や対流圏 - 成層圏間の大気相互作用にとどまっていた気候の理解および気候モデルの範囲を、植生・陸面状態、雪氷・海水分布、大気組成の変化（オゾン、二酸化炭素）に広げることである。

本研究は、2つのサブ課題から構成されている。サブ課題1「気候システムに関する基礎的研究」では、従来の大気・海洋結合系モデルを用いたメカニズム研究をひきつづいて行い大気・海洋結合系としての気候の理解を深めるとともに、順次高度化した気候モデルを用いて植生・陸面、雪氷・海水、大気組成が気候システムのなかで果たす役割について研究した。

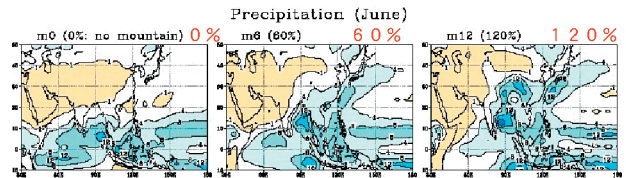
サブ課題2「気候システムのモデル化に関する研究」においては、サブ課題1に必要な植生・陸面、雪氷・海水に関するモデルを導入して、気候モデルの高度化をはかった。また気候モデルの高分解能化とこれに伴う積雲対流や重力波抵抗の過程の改良も行った。

## 2. 結果

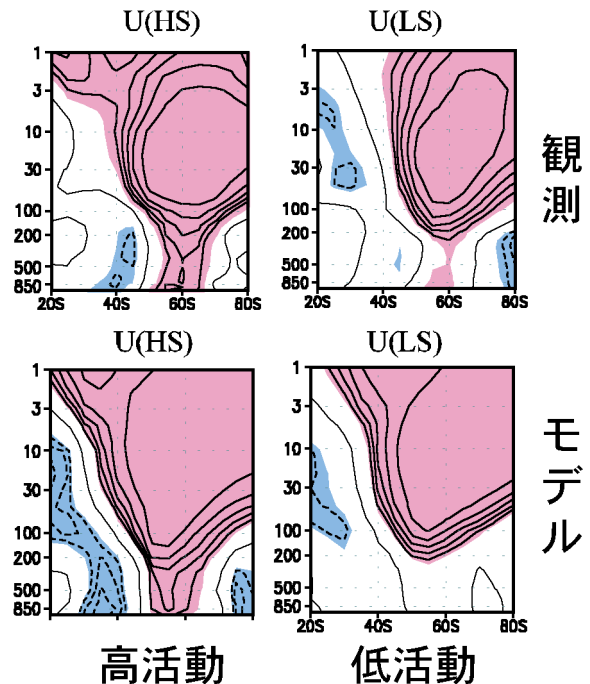
### 2.1. 気候システムに関する基礎的研究

研究成果の一例として、大気海洋結合モデルMRI-CGCM2を用いた大規模山岳実験の結果を第1図に示す。この実験は、アジアにおけるチベット高原の効果を調べた実験である。現実の山を削ったり高くしたりすることは実際には到底不可能であるが、気候モデルにより大規模山岳の地球の気候に対する様々な効果を調べることができる。6月は日本では梅雨期であるが、チベット高原の山が無いと日本付近にほとんど雨が降らない。山の高さを現実の標高の60%にすると日本付近の梅雨が再現される。即ち、チベット高原のおかげで日本の梅雨が存在していることがわかる。熱帯付近の東風貿易風と太平洋高気圧が強くなり、熱帯からの湿った空気が東アジアに輸送され易くなるのが主な原因である。標高が120%となると、現在気候では乾燥気候条件である中国大陸の内陸奥深くまで雨が降ることがわかる。

次にオゾン化学気候モデルMRI-CCMを用いた研究を紹介する。成層圏には、強い西風の極大（ジェット軸）の位置の南北の変動に関連する環状モードと呼ばれる変動が存在している。近年、太陽活動の変動に対して、地球の気候システムがどのように変調しているかという研究が注目を浴びている。



第1図 大気海洋結合モデルMRI-CGCM2を用いた大規模山岳実験における6月降水量（ミリ/日）（左）山無し、（中）高さ60%、（右）高さ120%。

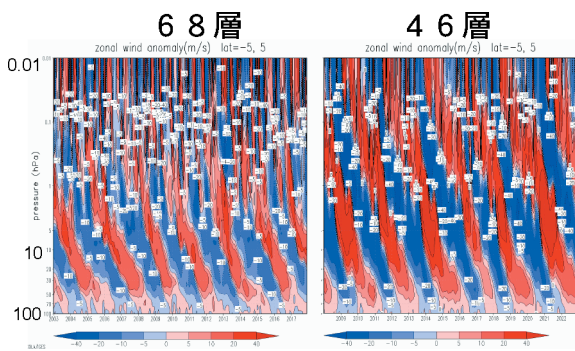


第2図 南半球における対流圏と成層圏間の結合に対する太陽活動の影響、成層圏の環状変動成分と東西平均風との時間相関係数、赤が+0.4以上、青が-0.4以下、縦軸は気圧（hPa）横軸は南緯、（上）観測（11月、ERA40）、（下）オゾン化学気候モデルMRI-CCM、（左）高太陽活動期、（右）低太陽活動期。

第2図は、太陽活動が盛んな高活動時期と盛んでない低活動時期で、対流圏と成層圏間の結合の度合いがどのように変化するかを示している。高太陽活動期の観測（第2図上左）を見ると環状モードと相関の高い場所が対流圏まで伸びているが、低太陽活動期では伸びていない。即ち、高太陽活動期は対流圏と成層圏間の結びつきが強いことを示している。北半球でも観測で同様の傾向があるが、南半球の方がその傾向が一層顕著である。成層圏のオゾンは太陽からの紫外線を吸収し大気を加熱し、成層圏の大循環を駆動している。そのよう

な効果を考慮したオゾン化学気候モデルにおいて、紫外線の量を高太陽活動期および低太陽活動期に対応して変化させた結果が第2図の下段である。モデルでも高太陽活動期は対流圏と成層圏間の結びつきが強いことが再現されている。

紫外線の量の変動が成層圏オゾンの加熱の変動を生じさせているのは確かであろうが、なぜ高太陽活動期に対流圏と成層圏間の結びつきが強くなるのかは、決して自明ではない。オゾンによる加熱の変化は、成層圏の西風ジェットや大規模スケールの惑星波といった成層圏の大循環の変動を生み出す。その結果、惑星波と平均流（西風ジェット）の相互作用が強まって成層圏の変動が対流圏に伝播するのであると推察される。



第3図 大気モデルで再現された赤道における（5N-5S）東西風の成層圏準2年振動、赤が西風、青が東風、縦軸は気圧（hPa）、横軸は時間で15年分、（左）鉛直68層、（右）鉛直46層だが、改良した重力波発生法を導入。

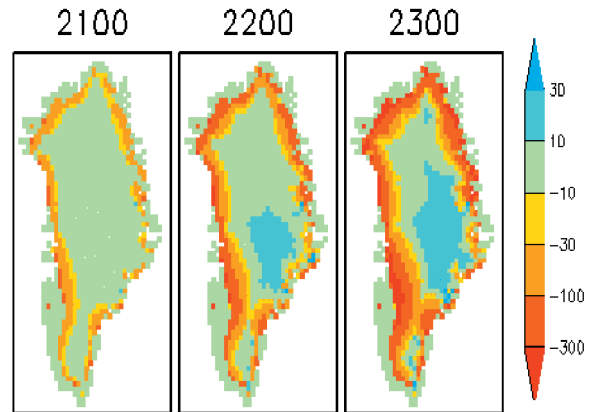
## 2.2. 気候システムのモデル化に関する研究

赤道の成層圏には東西風がほぼ2年周期で反転するという現象（成層圏準2年振動）があり、中高緯度の気候にも影響を与えていると言われている。対流圏から上空に伝わる重力波と呼ばれる波動現象が、成層圏準2年振動を駆動している。成層圏準2年振動を大気モデルで再現するには多数の鉛直層数が必要であることがわかっている。しかし、数百年もの時間積分を行う気候モデルでは計算機資源の制約から十分な数の鉛直を確保できず、成層圏準2年振動の再現が困難であった。

本研究では気候モデル内での重力波の発生方法を改良し、より少ない鉛直層数で成層圏準2年振動を再現することに成功した。第3図の左は鉛直68層の大気モデルで、従来の重力波の発生方法により再現された成層圏準2年振動である。高さ10hPa付近を見ると西風と東風の縦縞が15年で6~7対あることから、周期が約2年であることがわかる。第3図右は、46層に鉛直層の数を減らしたが、改良した重力波発生法を導入した結果である。ここで図を示していないが、鉛直46層で従来の重力波の発生方法を使用すると、成層圏準2年振動はう

まく再現できなかった。

次に、本研究では、力学過程が入ったグリーンランドの氷床流動モデルを構築した。氷床、海氷、積雪は白くて日射を反射し易く、大気を冷却する効果があるので、地球の熱収支を通じて気候システムに多大な影響を与える。このモデルを用いて、300年後の地球温暖化による氷床の変化を予測した（第4図）。周辺部の夏の昇温が大きいため、周辺部の融解が大きいという結果が得られた。



第4図 グリーンランド氷床モデルで予測された20世紀末から21, 22, 23世紀末までの標高の変化（m）。気象研究所の大気海洋結合モデルによる温暖化予測結果を氷床モデルに与えた。

## 3. まとめ

本研究課題のサブ課題1「気候システムに関する基礎的研究」では、ここで紹介した山岳の効果と太陽活動の影響の研究例以外にも、6000年前や21000前の古気候の再現性、モンスーンとエルニーニョとの関係、植生分布が気候に与える影響などに関する研究を行った。これらの研究は気候変動を個々の現象に特化したメカニズム研究であり、気候変動全体の研究に貢献したと考えている。

またサブ課題2「気候システムのモデル化に関する研究」では、ここで紹介した重力波と氷床のモデリング以外にも、海氷モデル、積雲対流方式、気候条件に応答する植生分布評価法、気候モデルにおける炭素循環過程などの改良を行った。これらの研究で行われた個々のモデルのパーツの改良は、大気海洋結合モデルといった複数のモデルのパーツの組合せからなるより統合的なモデルの開発・改良に貢献したと考えている。

※本研究の主任研究者：鬼頭昭雄（H15-18）、楠 昌司（H19）、研究分担者：小寺邦彦、村上茂教、上口賢治、足立恭将、行本誠史、保坂征宏、尾瀬智昭、本井達夫、黒田友二、坂見智法、吉村 純、内山貴雄、新藤永樹、馬淵和雄、藪 将吉、川合秀明、新保明彦