

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 山田 朋人

陸面水循環過程は気候システムにおける下部境界条件を与え、海洋ほどではないにせよ、大気乱流よりも変動の時間スケールが長いため、陸面水循環過程の予測精度の向上は季節スケールの降水量変動の予測可能性の精度を向上させる可能性があるとして、過去 20 年以上にわたって大気陸面相互作用の物理的な研究、野外における陸面と大気との間の運動量やエネルギー、水フラックスのやりとりなどが観測されたりしてきた。

本論文は、大気大循環モデル (AGCM) を用いて、季節スケールの降水量変動の予測精度向上に対して陸面境界条件がどういう場所でどういう季節にどの程度寄与しうるか、その潜在的な可能性を明らかにしたものである。

第 1 章では背景と本論文の目的が述べられ、大気の大規模な非線形性と不安定性によりその挙動はいわゆるカオスであり、初期値のわずかな差異が時間発展によって大きな差に発展するため、通常天気予報は 10 日から 14 日程度が限界であるとされていることなどが紹介されている。これに対し、わずかに異なった初期値を用いた複数の予報結果を統計的に利用するのがアンサンブル予報であり、本論文もこれに準じた手法を用いて、陸面境界条件が大気のカオス的な挙動のばらつきをどの程度抑えるかを明らかにしている。

第 2 章では、 $\Omega$  として知られるアンサンブル予報間の相似度を示す指標の数学的な意味づけに関して詳細な解析がなされている。その結果、従来はアンサンブル間の時系列の相似度を 0~1 で示す簡便な指標としてデータ処理的にしか捉えられていなかった  $\Omega$  が、時系列同士の位相の類似度と振幅や平均値といった強度の類似度からなるという数学的な位置づけが明らかにされている。さらに、アンサンブル平均値からのアノマリー同士の相互相関係数を平均した値である ACCC と、他のアンサンブルメンバーとの分散の比の平均である AVR が  $\Omega$  の数学的解析に基づいて提案され、現時点では通常アノマリー同士の平方平均分散誤差 (RMS) で表現されているアンサンブルメンバー間の類似度を、より適切に指標化することが可能であることが述べられている。

第 3 章では、GLACE と呼ばれるグローバルな大気陸面相互作用強度 (CS) を様々な AGCM によって推定する国際研究プロジェクトに参加した結果がまとめられている。GLACE では、北半球夏に関して、16 アンサンブルメンバーによる海面水温を与えた数値実験 (コントロール実験) と、コントロール実験のうちのひとつのアンサンブルメンバーを真値だとみなし、その土壌水分条件を海

面水温と同様境界条件として毎時間ステップごとに与えた数値実験(陸面固定実験)とにおいて、 $\Omega$ 指標がどの程度異なるかにより、CSの強さを推定する、ということが12のAGCMによって行われた。その結果、北アメリカのグレートプレーンズ、アフリカのサヘル、赤道アフリカ、そしてインドなどでCSが大きいhot spotと呼ばれる地域があることが明らかになり、特に半乾燥条件の領域でCSが大きい傾向が示された。

第4章では、土壌水分のみならず、全陸面境界条件を固定した数値実験により、どういう陸面パラメータがどの程度降水量変動の予測可能性に関係しているかが調べられた。その結果、6日平均降水量の季節スケールの変動に対しては、潜熱フラックスの変動が大きい地域でCSが大きくなることが明らかとなっている。さらにその鉛直一次元的な構造に関しても地表面から大気中層までの気圧や風速等に関するCSを算定することによって解析され、特に雲底より上の大気下層の非断熱加熱が大きい高度の気温場に陸面条件を固定する影響が伝わっていること、しかしながら、水平スケールが小さい対流性降雨によって主にAGCM中では降水量変動に陸面条件が影響を及ぼしているため、風速場への影響は限定的であることなどが示されている。対流性降雨の変動を通じて陸面が鉛直1次元的に大気循環の変動に影響を与えていることは、hot spotとして特定された領域の条件のみを固定した数値実験によっても示されている。

第5章ではCSの季節性が調べられ、北アメリカとインドシナではCSが強まるメカニズムがやや異なり、1次元だけでない陸面の大気への影響が示唆されている。

第6章では、アジアモンスーンによる降水量変動の予測可能性に焦点をあてた数値実験の結果が示され、陸面状態が適切に与えられることにより予測精度が向上する可能性があることが示されている。

第7章では、アンサンブルメンバーではなく観測に近いとみなされる土壌水分条件を与えた場合に地上気温や気圧の予測精度が向上することが示されている。

この様に、大気大循環モデル(AGCM)をまさに数値実験の道具として使い、陸面条件を所与とすることが降水量変動の予測精度向上にいかんにかに資する可能性があるかの研究や、その評価指標の数学的位置づけと新たな指標の提案、AGCMの中での陸面が大気循環と降水量変動に及ぼしているメカニズムを明らかにした点などは大気陸面相互作用と降水量予測可能性の研究に新たな境地を切り開いており、グローバルな水循環科学としての水文学、その応用としての水資源工学への貢献は極めて大きい。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。