

地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー研究分野「気候変動の適応又は緩和に資する研究」領域)

気候変動予測とアフリカ南部における応用

(南アフリカ共和国)

平成 21 年度実施報告書

代表者：山形 俊男

独立行政法人海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・ラボヘッド

<平成 21 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

アフリカ南部は、自然に強く依存した生産形態をとっており、気候変動リスクに対して極めて脆弱である。異常気象に伴う被害を軽減するため、南アフリカ共和国では、大気海洋結合モデルに基づいた気候変動予測技術の向上が喫緊の課題となっている。そこで、本プロジェクトでは、アフリカ南部における環境問題に適用可能な季節気候予測システムの能力の強化を目指す。

これまでに、アフリカ南部の降水に大きな影響を与える南インド洋亜熱帯ダイポールモード現象の発生メカニズムを明らかにした。また、ベンゲラ・ニーニョ（アフリカ南部の気候にも影響を与える気候変動現象）の励起海域でもある大西洋赤道域の海面水温を大気海洋結合モデルによって再現することに世界で初めて成功した。これらの成果は、本プロジェクトで行う高解像度大気海洋結合モデルによるアフリカ南部広域予測の精度を大きく向上させるものである。さらに、高解像度大気海洋結合モデル（SINTEX-F）による予測実験を毎月行い、1年先までの季節予報を海洋研究開発機構のホームページで公開した。この予測結果をアフリカ南部にダウンスケールするために必要な領域大気モデルの開発も開始している。しかし、当初の予定に比べ、MoU の調印が遅れたため、今年度は、カウンターパートへの技術移転を行うことはできなかった。2010年2月末に無事、調印されたため、次年度以降は円滑に行われることが期待される。

2. 研究グループ別の実施内容

（1）「亜熱帯ダイポールモード現象のメカニズムと予測可能性」グループ

①研究のねらい

アフリカ南部の降水に大きな影響を与える亜熱帯ダイポールモード現象の予測を行うためには、まず現象の理解が不可欠である。そこで、本グループでは、亜熱帯ダイポールモード現象の発生・減衰メカニズム、及び長期変動メカニズムを解明する。また、亜熱帯ダイポールモード現象のアフリカ南部への影響についても明らかにする。

②研究実施方法

南インド洋亜熱帯ダイポールモード現象のメカニズムの詳細を解明するために、1950年から2006年までの海面水温データを用いて、非線形統計解析手法である自己組織化マップ解析を行う。この解析により、特徴的な海面水温偏差パターンを捉えることが可能であり、現象が発生した年を特定する。次に、海面水温偏差の形成機構を明らかにするために、海洋大循環モデルの結果を用いて、混合層厚の変動を考慮した熱収支解析を行う。また、現象の発達に重要な役割を果たすと考えられているマスカリン高気圧（南インド洋の亜熱帯高気圧）の変動メカニズム、及び、アフリカ南部の降水への影響を調べる。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

当初の今年度の計画通り、観測データと海洋大循環モデルの結果の解析を行い、南インド洋の亜熱帯ダイポールモード現象のメカニズムとアフリカ南部への影響を調べることができた。研究成果をまとめ、国際誌に投稿するとともに、国内外の学会で発表した。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
MoU の締結が遅れたため、今年度はカウンターパートへの技術移転は、行われなかった。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）

先行研究では、南インド洋の亜熱帯高気圧であるマスカリン高気圧の強化と南偏による風系の変化により、潜熱偏差が生じ、亜熱帯ダイポールモード現象が発生するとされてきたため、未解明のマスカリン高気圧の強化と南偏のメカニズムを調べる予定であった。しかし、本プロジェクトの研究により、潜熱偏差により直接、海面水温偏差が形成されるのではなく、潜熱偏差により混合層厚偏差が生じ、短波放射に対する感度が変わることによって、形成されることが新たにわかった。南大西洋の亜熱帯ダイポールモード現象についても、先行研究では潜熱偏差の重要性が示唆されているが、南インド洋の現象と同様に混合層厚偏差による短波放射に対する感度の違いが重要かどうかをまず調べる必要がある。

（２）「季節予測とダウンスケーリング」グループ

①研究のねらい

大気海洋結合モデルを用いた地球規模の気候変動予測とアフリカ南部（特に、リンポポ州と西ケープ州）にダウンスケーリングした異常気象予測を連携させ、異常気象の影響の軽減に貢献する。

②研究実施方法

高解像度大気海洋結合モデル（SINTEX-F）を用いて、広域季節予測を行う。さらに、この予測結果を領域モデルに取り入れ、アフリカ南部（主にリンポポ州）の地域季節予測を行う。また、西ケープ州をターゲットとした最先端のシームレス・ダウンスケーリングを行う。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

今年度は、地球シミュレータで、高解像度大気海洋結合モデル（SINTEX-F）によるアンサンブル予測実験を毎月行い、1年先までの季節予報を行った。この広域予測結果は、下記の(4)で記述しているように、海洋研究開発機構のホームページで公開している。さらに、この予測結果をアフリカ南部にダウンスケールするために必要な領域大気モデルの開発を開始した。具体的には、WRF と呼ばれている領域大気モデルをもとにした鉛直 23 層、水平解像度 30km の領域モデルを開発した。対象領域は、70° E-100° E, 40° S-3° S としている。また、地球シミュレータを使い、西ケープ州をターゲットとしたシームレス・ダウンスケーリングのためのモデル開発を開始した。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）
MoU の締結が遅れたため、今年度はカウンターパートへの技術移転は、行われなかった。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）
特になし。

(3) 「大気海洋結合モデルの高精度化」グループ

①研究のねらい

本研究で使用する高解像度大気海洋結合モデル (SINTEX-F1) や IPCC が使用した大気海洋結合モデルには、雲や降水過程等のパラメタリゼーション (サブグリッド・スケールの現象の影響をパラメータを用いてモデル化すること) に大きな不確実性が残る。そこで、中解像度大気海洋結合モデル (UTCM) を用いた感度実験を通して、大気海洋結合モデルを高精度化させ、早期予測システムの精度を向上させる。

②研究実施方法

東京大学で開発した中解像度大気海洋結合モデル (UTCM) に3種類の積雲対流パラメタリゼーションを導入し、それぞれについて50年間積分する。年平均と季節変動について、モデル結果を観測データと比較し、再現性の違いの原因を探る。また、再現性の良いモデルについては、さらに詳細な解析を行い、モデル改良のための提言を行う。

③当初の計画 (全体計画) に対する現在の進捗状況

当初の計画通り、3つのバージョンのUTCM (東京大学で開発した中解像度大気海洋結合モデル) を50年間ずつ積分し、年平均と季節変動について観測データとの比較を行うことができた。

④カウンターパートへの技術移転の状況 (日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

MoU の締結が遅れたため、今年度はカウンターパートへの技術移転 (中解像度大気海洋結合モデルの移植) は、行われなかった。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況 (あれば)

大気海洋結合モデル (UTCM) によって、大西洋赤道域の年平均海面水温を世界に先駆けて再現することに成功した。再現できた原因を探ることで、本プロジェクトで行う高解像度大気海洋結合モデル (SINTEX-F) による広域予測の精度の向上に貢献することが可能となる。

(4) 「早期予報システムの改良」グループ

①研究のねらい

2009年には第三回世界気候会議が開かれ、地球温暖化に伴うと考えられている気候変動の変調と極端現象が大きな社会・経済的な被害を人類社会に及ぼしている事を受け、気候変動予測の結果を、様々な社会活動における被害や災害を軽減するための応用研究に結びつける事と、その結果得られる有効なデータ配信のサービスの重要性が確認された。そこで、本グループでは、このような世界的な動きとシンクロする応用研究活動をアフリカ南部という具体的な地域において行う。

②研究実施方法

本グループでは、ダウンスケーリング手法も含め、力学的手法を中心に応用研究を展開して行く方針をとる。具体的には、二つの部分からなる：(a)新規性のある予測手法の導入とその検証に関する研究を行う、(b) (a)の成果に基づき、現地において早期予測システムを構築するための準備的システムを構築する。このような力学的手法に基づく予測結果を、エンドユーザーのニーズに繋げていく試みは、

今始まりつつあるもので、過去の手法との比較検証も研究の大きなテーマの一つとなる。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

本年度は、このような応用研究を具体的にどのような分野において展開すべきかを南アフリカ共和国側研究者と協議した。また、SINTEX-F1 による広域予測結果を海洋研究開発機構のホームページで公開した。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

MoU の締結が遅れたため、今年度はカウンターパートへの技術移転は、行われなかった。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）

特になし。

(5) 「研究者ネットワークの構築」グループ

①研究のねらい

アフリカ南部において気候変動に関連する研究者のネットワークを構築する。このことを通して、アフリカ南部における気候変動予測精度を向上させ、アフリカ南部社会の持続的な成長に貢献することを目指す。

②研究実施方法

国際イベント（シンポジウム等）とワークショップやセミナー・シリーズを毎年1回開催することにより、アフリカ南部において気候変動に関連する研究者のネットワークを構築する。

③当初の計画（全体計画）に対する現在の進捗状況

2009年9月に行った詳細研究計画策定調査の際には、多くの南アフリカ共和国側研究者に参加していただき、研究者のネットワーク構築に向けた第1歩を踏み出すことができた。

年に1回、国際シンポジウム等の国際イベントを開催することになっているが、今年度は、2009年12月3日に両国の研究者（南アフリカ共和国側からは、6名の研究者）が参加する JAMSTEC アプリケーションラボ 国際シンポジウム-南アフリカにおける気候変動と亜熱帯海洋の役割-を開催した。また、両国の研究者が参加するワークショップやセミナーも年に1回、開催することになっているが、今年度は、2009年12月4日に JAMSTEC アプリケーションラボ 国際ワークショップ-インド洋と大西洋における気候変動-を開催した。上記の国際シンポジウムとワークショップの講演要旨をまとめた proceedings を出版した。以上の講演や議論を通して、今後、研究を進めて行く上での貴重な指針を得ることができた。

④カウンターパートへの技術移転の状況（日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む）

国際シンポジウム、ワークショップの際の講演や議論、その際に出版された proceedings を通して、気候変動予測技術情報が交換された。

- ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況（あれば）特になし。

3. 成果発表等

(1) 原著論文：国内 0 件、国際 6 件

Wang, B., J.-Y. Lee, I.-S. Kang, J. Shukla, C.-K. Park, A. Kumar, J. Schemm, S. Cocke, J.-S. Kug, J.-J. Luo, T. Zhou, B. Wang, X. Fu, W.-T. Yun, O. Alves, E. K. Jin, J. Kinter, B. Kirtman, T. Krishnamurti, N. C. Lau, W. Lau, P. Liu, P. Pegion, T. Rosati, S. Schubert, W. Stern, M. Suarez, and T. Yamagata, 2008: Advance and prospectus of seasonal prediction: assessment of the APCC/CLIPAS 14-model ensemble retrospective seasonal prediction (1980–2004). *Climate Dynamics*, 33, 93–117.

Rao, S. A., J.-J. Luo, S. K. Behera, and T. Yamagata, 2009: Generation and termination of Indian Ocean Dipole events in 2003, 2006 and 2007. *Climate Dynamics*, 33, 751–767.

Nakamura N., H. Kayanne, H. Iijima, T. R. McClanahan, S. Behera, and T. Yamagata, 2009: Mode shift in the Indian Ocean climate under global warming stress. *Geophysical Research Letters*, 36, L23708, doi:10.1029/2009GL040590.

Doi, T., T. Tozuka, and T. Yamagata, 2010: The Atlantic Meridional Mode and its coupled variability with the Guinea Dome. *Journal of Climate*, 23, 455–475.

Luo, J.-J., R. Zhang, S. Behera, Y. Masumoto, F.-F. Jin, R. Lukas and T. Yamagata, 2010: Interaction between El Niño and extreme Indian Ocean Dipole. *Journal of Climate*, 23, 726–742.

Izumo, T., J. Vialard, M. Lengaigne, S. Masson, S. Cravatte, C.B. Montegut, J.-J. Luo, S. K. Behera, and T. Yamagata, 2010: Role of Indian Ocean in extending El Niño predictability. *Nature Geoscience*, 3, 168–172.

(2) 特許出願：0 件

4. プロジェクト実施体制

(1) 「亜熱帯ダイポールモード現象のメカニズムと予測可能性」グループ

① 研究グループリーダー： Swadhin K. Behera ((独) 海洋研究開発機構・チームリーダー)

② 研究項目

1-1 南インド洋と南大西洋の亜熱帯ダイポールモード現象の発生と減衰メカニズムを観測データと海洋大循環モデルの解析により明らかにする。他の気候変動モード（南極環状モードなど）との関係を検証する。

1-2 南インド洋と南大西洋の亜熱帯ダイポールモード現象の（アフリカ南部の気候への）影響を調

べる。また、Agulhas と Benguela のシステムへの影響についても検証する。さらに、イベントによる違いも検証する。

- 1-3 IPCC が使った約 20 のモデルについて、亜熱帯ダイポールモード現象の再現性を、観測データとの比較を通して検証する。
- 1-4 上記の結合モデルによる亜熱帯ダイポールモード現象のアフリカ南部の気候への影響の再現性を、観測データとの比較を通して検証する。
- 1-5 再現性の良い結合モデルを選び、亜熱帯ダイポールモード現象の自然変動と地球温暖化に伴う長期変動の様子と、そのメカニズムを明らかにする。
- 1-6 これまでに高解像度大気海洋結合モデル (SINTEX-F) で行われた 1982 年から現在までのアンサンブル予測実験結果の詳細な解析を行い、亜熱帯ダイポールモード現象の影響を受けるアフリカ南部の降水量と気温がどのくらいの先行時間をもって予測できるのかを明らかにする。
- 1-7 亜熱帯ダイポールモード現象の、イベントごとの予測精度の違いの原因を究明する。

(2) 「季節予測とダウンスケーリング」グループ (研究題目)

①研究グループリーダー： 高橋 桂子 ((独) 海洋研究開発機構・ラボヘッド代理)

②研究項目

- 2-1 地球シミュレータで、SINTEX-F モデルによるアンサンブル予測実験を毎月行い、1 年先までの季節気候を予測する。南ア側の既存のモデル (WRF/C-CAM) がリンポポ州の高解像シミュレーションのために再構築される。この既存のモデルの結果は、SINTEX-F の結果との比較に使われる。
- 2-2 リンポポ州における降雨パターン、さらには亜熱帯ダイポールモード現象と全球の海面水温がリンポポ州の降雨に与える影響について研究される。
- 2-3 WRF と C-CAM モデルがより大きなコンピュータ (ケープタウンにある CHPC) にロードされ、リンポポ州における初めての季節予報シミュレーションが行われる。このシステムは、毎月はじめに日常的に運用されることを目的に設計される。大気海洋結合モデルの結果によって強制された WRF、PRECIS (英国のハドレーセンターで開発され、南アで用いられている領域大気モデル)、伸縮可能なグリッドを持つ大循環モデルのシミュレーションが、複数モデルによる季節予報解析の枠組みに含まれる。
- 2-4 比較として、既存の統計的ダウンスケーリング手法が適用される。
- 2-5 地球シミュレータを使い、西ケープ州をターゲットとしたシームレス・ダウンスケーリングのためのモデル開発を行う。

(3) 「大気海洋結合モデルの高精度化」グループ (研究題目)

①研究グループリーダー： 山形 俊男 ((独) 海洋研究開発機構・ラボヘッド)

②研究項目

- 3-1 南アフリカの CCAM (等角立方体格子を用いた大気モデル) と海洋モデルを結合させた大気海洋結合モデル と CAM-EULAG (非静水圧の大気モデル) と海洋モデルを結合させた大気海洋結合モデル、及び 3 つのバージョンの UTCM (東京大学で開発した中解像度大気海洋結合モデル) が共通の実験で比較される。また、観測データとの比較を通して検証される。
- 3-2 上記の 3 つの大気海洋結合モデルを用いて、アフリカ南部の経年変動と気候変動モード (例え

ば、インド洋ダイポールモード現象、エルニーニョ／南方振動、南極振動、南極環状モード等との関係を調べる。

- 3-3 観測データよりアルベドの季節変動を調べる。
- 3-4 陸面強制（特に、植生、アルベド、土壌水分について）の役割が3つの大気海洋結合モデルによって調べられる。
- 3-5 UTCM が南アフリカ側共和国の研究者に提供される。
- 3-6 異なる大気海洋結合モデルの積雲対流パラメタリゼーション・スキームが比較される。また、観測データとの比較を通して評価する。
- 3-7 以上の結果より、何が海面水温を決定するかを考察する。

(4) 「早期予報システムの改良」グループ（研究題目）

①研究グループリーダー： 佐久間 弘文 ((独) 海洋研究開発機構・チームリーダー)

②研究項目

- 4-1 これまでの SINTEX-F で試みられた再現実験結果を活用して、気候変動予測からの影響を評価する。
- 4-2 活動 2-1 により得られた予測結果を、プロジェクトのウェブサイトで公開し、予測結果をアップデートするシステムも（同時に）構築する。
- 4-3 活動 2-2 で得られた地域予測結果を、ウェブサイトやその他のメディアで公開し、予測結果をアップデートするシステムを構築する。
- 4-4 気候変動予測の変数を組み入れ、最終出力に必要とされる形に変換する数理サブ・モデルをシステムの一部として構築する。
- 4-5 上記の成果を組入れ、既存の早期予測システムを強化する。

(5) 「研究者のネットワーク構築」グループ（研究題目）

①研究グループリーダー： 山形 俊男 ((独) 海洋研究開発機構・ラボヘッド)

②研究項目

- 5-1 国際イベント（シンポジウム等）を毎年1回開催する。
- 5-2 両国の研究者が参加する技術的なワークショップやセミナーを開催する。
- 5-3 両国の優秀な研究者が、本課題に参加することを奨励する。

以上