

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 階層的モデリングによる広域水循環予測

2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名(研究機関名・職名は研究参加期間終了時点)

研究代表者

木本 昌秀 (東京大学気候システム研究センター 教授)

主たる共同研究者

野中(荒井) 美紀 (東京大学気候システム研究センター JST 研究員)

竹見(安富) 奈津子 (東京大学気候システム研究センター JST 研究員)

渡部 雅浩 (北海道大学大学院地球環境科学院 助教授)

熊倉 俊郎 (長岡技術科学大学環境・建設系 助教授)

江守 正多 (国立環境研究所大気物理研究室 主任研究員)

石井 正好 ((独)海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター 研究員)

前田 修平 (気象庁気候・海洋気象部 予報官)

小泉 耕 (気象庁予報部 数値予報班長)

3. 研究内容及び成果

本研究は、特に日本と係わりの深いユーラシア～東アジア域に注目し、数値モデルを用いて、時間的には季節～年々、空間的には 1000km 程度以上のスケールでの広域水循環変動の予測可能性を明らかにすることを目的とする。モデル開発、水循環に関する種々の気象現象の解析はこれまでも精力的に行われてきたが、長期予測可能性についての検討は不十分である。本研究では、現存のモデルによって多数の予測例を稼ぎ点数を評価するという方法を取るのではなく、いつ、どのような現象が、なぜ起こるのか、またどのように予測可能なのか、についての検討に重点が置かれた。研究は、①モデル開発と②予測可能性評価とに大別され、それぞれにいくつかのサブ課題を置いて進められた。

3-1. モデル開発

(1)大循環モデルの高解像度高精度化： 広域水循環予測の基幹となる大気大循環モデル、大気海洋結合モデルの高解像度化、高精度化を進めた。従来の標準的な解像度である水平格子約300km、鉛直20層のモデルを基に、水平約110km、鉛直56層のモデルに拡張し、プログラムの並列・高速化、新規パラメタリゼーションの導入や既存パラメータの再調整などの作業を精力的に行い、全球の大気大循環/海洋結合モデルを、水循環予測が要求する高い解像度に耐えられるレベルまで向上させた。特に、大気モデル、結合モデルとも、これまで十分に表現されなかった梅雨前線帯の強雨やモンスーン域の季節内変動の再現性が大幅に改善された。

(2)湿潤線型モデルの構築： 大循環モデルは広域水循環予測の最も重要なツールであるが、その複雑さのために現象や予測可能性に関する要因の分析が困難な場合が多い。熱帯の大規模対流の偏差への応答としてどのような循環の偏差が期待できるかといった分析には、大循環モデルの力学部を線形化したモデルが有用であるとの考えのもとに、世界に先駆けて湿潤過程を含む“湿潤線形モデル”の構築に成功した。これにより、海面水温に対する大気循環の応答を求める際に、海面水温のみならず大気循環の関数でもある非断熱熱源をアブリオリに与えざるを得ない矛盾から解放されて、エルニーニョ等の海面水温偏差に対する大気応答(～異常気象)の解釈に湿潤線形モデルが有効であることが示された。このモデルは、予測可能性研究の強力なツールとなった。

(3)局地降積雪のシミュレーション： 高解像度大気モデルよりより細かい降水現象の再現を目指して、北陸地

方を対象に豪雪地帯の局地降積雪の予測可能性を検討するために、領域モデルによるシミュレーションと多層積雪モデルの開発を進めた。圧密過程を含む多層積雪モデルを開発し、観測と比較して良好な結果を得た。

(4) 雲解像モデルと大気大循環モデルの結合：大気大循環モデルのパラメタリゼーションの代わりに雲解像モデルを用いるスーパーパラメタリゼーション手法のプロトタイプモデルを構築した。大循環モデルと雲モデルの結合に伴う鉛直内挿誤差を原因に生じる計算不安定は、擬似拡散の導入やより理想的には双方向互換性を保障する内挿法の導入によって回避できることはわかったが、雲モデルの長期積分時の安定性やさらに要求される計算資源の大きさ等、解決すべき種々の技術的問題があることが明らかになった。そこで課題後期では、大循環モデルに埋め込むモデルを必ずしも雲の解像できる解像度に限定せず、既存領域モデルと大循環モデルの双方向結合系を構築することとし、現在もテストを続けている。

### 3-2. 予測可能性

予測可能性の研究には、次の2つの観点からのアプローチを取った。①大気大循環の変動とそれに伴う降水等水循環の長期予測には、予測可能な成分とその形成維持メカニズムを同定し、数値モデル等を用いて予測可能性を探る。東アジア域の天候変動は、熱帯の水循環の変動と中高緯度ジェット気流の変動の両方によって支配されている。長期観測データを基に夏季アジアモンスーン水蒸気フラックスの年々変動の解析を行うことにより、新たに重要なモードを同定することができ、その形成維持メカニズムと予測可能性の探求を行う。②オホーツク海高気圧など北の気圧システムの長期変動にユーラシア大陸の陸面条件等が大きく影響している可能性が見出され、その実態とモデルによる予測可能性を追求する。

具体的には、(1)夏季アジアモンスーン水循環の主要な変動モードとして、フィリピン沖ーインドネシア間でソーラー状の対流活動の変動が重要であると同定され、その形成維持にモンスーンの季節平均場が重要な役割を果たしていること、(2)新しい仮説として、初夏の東アジアの天候変動に対する晩冬から春にかけてのユーラシア大陸上の循環変動の影響に着目し、春季のユーラシア大陸北部の地表気温は非常に大きな空間スケールを持ち、引き続き初夏のオホーツク海高気圧の活動度に影響を与えていること、(3)その他、東アジアの冬季天候～北極振動(AO)の励起に秋の東シベリアの積雪偏差が鍵となっていること、エルニーニョと夏季東アジアの冷夏傾向のメカニズムについてインド洋海水温の影響を明らかにしたこと、2005/2006年の日本の寒冬に関しては、低緯度の降水活動が深く関わっていたこと、また、予測事例の解析により、亜熱帯ジェットを伝搬する波動や熱帯の帯状平均場に予測可能性が存すること、など予測に繋がる現象が見出された。また、今後広域水循環の実用的な予測可能性を探求する道具立ての基礎として、海洋データ解析ならびにデータ同化と大気海洋結合モデルによる予測実験が開始された。

## 4. 事後評価結果

### 4-1. 外部発表論文(論文、口頭発表等)、特許、研究を通じての新たな知見の取得等の研究成果の状況

原著論文(国内誌6件、国際誌46件)、その他の著作物28件、学会発表(招待講演:国内会議9件、国際会議8件、口頭発表:国内会議111件、国際会議137件、ポスター9件)と、モデル開発は論文数を稼ぎ難い分野にもかかわらず、着実に成果を発表している。また、研究代表者が、マスメディアからの取材への対応を活発に行い、異常気象の発生などについて最先端の研究成果を分かりやすく一般社会に伝えていることも評価される。以下に主要な成果の評価についてまとめる。

(1)大気大循環モデルと大気海洋結合モデルの高解像度・高精度化を達成したことは、この分野の研究を格段に進歩させる基盤として高く評価される。特に高分解能大気海洋結合モデルは、大気の水平解像度 110km (球面調和関数展開の三角形切断で T106)、鉛直層数 56、海洋は、水平  $1/4^{\circ} \times 1/6^{\circ}$ 、鉛直 48 層で、長期積分を行う気候モデルとしては現在、世界で最高レベルにある。

(2)構築された湿潤線形モデルは、大循環モデルが含む複雑なプロセス間の因果関係や要因の分析に有用な

手段として、本研究の予測可能性の検討でもその威力を実証した。今後、世界の研究者に使われることが期待される。

(3) 日本を含む東アジアの水循環予測に結びつくいくつかの予兆現象が見出されて、数値実験等によって検討されており、「広域水循環の予測可能性を検討する」という所期の計画目標に対する成果は十分で出ていると評価される。しかし、一般の期待とこの研究の最終目標は予測の精度を上げることにあるので、“予測可能性の検討”から“予測精度の向上”へと方向を発展させて研究が継続されることを期待する。

#### 4-2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

季節予報の向上は、水資源の効率的・効率的管理にとって革新的な効果を及ぼすほか、農業生産、観光など各方面で期待は高い。これを実用に耐えるレベルに向上させるには、計算資源の更なる大容量化・高速化やモデル開発を必要とするであろうが、研究代表者が主唱する“どのような現象が、なぜ起こるのか、また、どのように予測可能なのか”というアプローチが将来の予測精度の向上に結びつく可能性が高いことが示された。この研究が今後、現業機関等とも連携して予測精度の向上へ向けて継続・発展することを期待する。また、この研究が水循環研究領域で行われたことは、温暖化・気候変動という観点だけからは、換言すれば、水循環という観点がなければ、こうした高解像度・高精度のモデル開発による詳細な検討へのインセンティブが生じなかったという点で極めて意義が大きいものであったと考えられる。今後とも、全球モデルの高解像度・高精度化等への研究は、水循環予測の向上を直接視野に入れて進められるべきである。

#### 4-3. その他の特記事項(受賞歴など)

このプロジェクトに関連して、次の2つの賞を受けた。

2004年 5月 日本気象学会賞 木本 昌秀

2005年 11月 日本気象学会山本・正野論文賞 稲津 将