

日本気象学会誌 気象集誌  
(Journal of the Meteorological Society of Japan)

第81巻 第1号 2003年2月 目次と要旨

論文

Editorial .....	i
Youmin TANG・William W. HSIEH: ハイブリッド結合モデルと データ同化による ENSO 現象のシミュレーションと予報 .....	1-19
Ibrahim HOTEIT・Dinh-Tuan PHAM: 縮小状態空間の時間発展と カルマンフィルターに基づくデータ同化法 .....	21-39
Karumuri ASHOK・管兆勇・山形俊男: エルニーニョとインド洋の ダイポールの関係についての考察 .....	41-56
Wilhelm MAY: 高解像度大気大循環モデルに現れるインド夏季モンスーンと その海面水温分布に対する依存性 .....	57-83
楠 昌司・小林ちあき: 大気の子節予測可能性実験による確率予報の精度評価 .....	85-112
河谷芳雄・高橋正明: 高解像度 AGCM を用いた梅雨前線シミュレーション .....	113-126
石戸谷重之・青木周司・中澤高浩: 質量分析計を用いた大気中 O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> 比の高精度測定 .....	127-140
藤部文昭: 首都圏における暖候期晴天日午後の地上風系の長期変化 .....	141-149
矢吹正教・塩原匡貴・小林 拓・林 政彦・原圭一郎・長田和雄・久世宏明・ 竹内延夫: 船上観測による東京からフリーマントル (オーストラリア) 間の 海洋境界層のエアロゾル光学特性 .....	151-162

要報と質疑

Sergio H. FRANCHITO・V. Brahmananda RAO: 南北半球での温度勾配と 熱輸送の相関 .....	163-168
部辺羅諷訪人・山形俊男: インド洋のダイポール現象が南方振動に及ぼす影響 .....	169-177
池田元美・Jia WANG・Alexander P. MAKSHITAS: 北極海海水の 減少トレンドと10年周期変動における雲の重要性 .....	179-189
学会誌「天気」の論文・解説リスト (2002年11月号・12月号) .....	191
気象集誌 次号掲載予定論文リスト .....	193

.....◇.....◇.....◇.....

## Youmin TANG・William W. HSIEH：ハイブリッド結合モデルとデータ同化による ENSO 現象のシミュレーションと予報

Youmin TANG and William W. HSIEH：ENSO simulation and prediction in a hybrid coupled model with data assimilation

ハイブリッド大気海洋結合モデルを用いて、1980-98年のシミュレーションと ENSO の予報スキルを解析した。海洋モデルの初期値は、種々の観測データ（海面水温(SST)、海面高度偏差(SLHA)、海洋上層(400 m)の熱容量偏差(HCA))に3次元データ同化スキームを適用して求める。本研究の主な目的は、データ同化に用いる変数の種類によって、海洋場や ENSO の予報スキルがどのように異なるのか調べることである。

SST を同化した場合は海面水温偏差に加えて HCA と SLHA のシミュレーションが赤道太平洋（特に東部）で向上した。SLHA を同化した場合は、赤道太平洋で SST 偏差、SLHA 及び HCA が、そして HCA を同化した場合には、SLHA と HCA のシミュレーショ

ンがそれぞれ改善された。ENSO 予報に関しては、SST を同化した場合に最も高い予報スキルが得られた。この場合、Nino3 SST の予報スキルは3か月以下の予報で最も高くなるが3か月以上の長期予報では大きく低下する。3か月以上の長期予報においては、HCA と SLHA を同化した方が SST を同化した場合よりも高い予報スキルを示した。SLHA は HCA と同様、ENSO の長期予報において有効であり、海面高度計データの今後の実用性が期待される。最後に、ニューラルネットワークを用いて、HCA 及び SLHA のデータ同化におけるモデル変数間の非線形的な統計を解析した。ニューラルネットワークを用いると、線形回帰を用いた場合よりも予報スキルが向上する。

## Ibrahim HOTEIT・Dinh-Tuan PHAM：縮小状態空間の時間発展とカルマンフィルターに基づくデータ同化法

Ibrahim HOTEIT and Dinh-Tuan PHAM：Evolution of the Reduced State Space and Data Assimilation Schemes Based on the Kalman Filter

現実的な海洋モデルに拡張カルマンフィルタをそのまま適用することは、コストがかかり過ぎて非現実的である。この課題を解決するため、低次元の副状態空間へのある種の射影を通じてシステムの次元を減少させる方法がいくつか提案されている。ここではそのうち、縮小状態空間の時間発展を許す方法の有効性について調べた。実際には、Pham *et al.* (1997) による特異時間発展拡張カルマンフィルタ (SEEK) と Cane *et al.* (1996) による低次元化拡張カルマンフィルタ (ROEK) について、理論および実利用の両面から比較

検討した。ROEK の計算コストの低減のため、システムの非線形力学を1次の自己回帰確率モデルによって近似している。パリ大学海洋モデル (OPA) を使って熱帯太平洋を対象とする現実的な状況でのデータ同化実験により、SEEK の、縮小状態空間の時間発展を許すという特徴が、経験的直交関数 (EOF) で張られる縮小状態空間ではうまく変動を記述できないモデルの不安定期に有効で、ROEK に対して優位性が認められることがわかった。

**Karumuri ASHOK・管 兆勇・山形俊男：エルニーニョとインド洋のダイポールの関係についての考察**  
 Karumuri ASHOK, Zhaoyong GUAN and Toshio YAMAGATA : A Look at the Relationship between the ENSO and the Indian Ocean Dipole

海面水温データ (1871年-1998年) および風データ (1958年-1998年) を用いて、最近発見されたインド洋のダイポールモード現象が物理的に実在することを確認した。多くのダイポールモード現象がエルニーニョとは独立に存在することも明らかにした。東太平洋の海面水温偏差に基づく適切なエルニーニョの指標を用いて、エルニーニョの影響を評価した結果、ダイポールモードの指標 (東西の海面水温の差で定義) の大部分は、インド洋海域に限られるプロセスによって決定されていることも明らかになった。ダイポールモード現象のみが起きる時のインド太平洋上のウォーカー循環はエルニーニョ現象の時の状況とは明確に異なっ

ている。また、パワースペクトルやウェーブレット解析からエルニーニョとダイポールモード現象の周期性が異なることが明らかになった。ウェーブレットのコヒーレンス解析から、強いダイポールモード現象が頻繁に起きる時はダイポールモードの指標は赤道に沿うインド洋中央部の風の時系列とよい相関を示す。これは大気海洋が結合した現象であることを示している。インド洋中央部の風とエンソの指標がある程度相関を示す時は、ダイポールモードの指標とインド洋中央部の風は1995年以降を除いて有意なコヒーレンスを示さない。これは大部分のダイポールモード現象がエンソと関係がないことを示唆している。

**Wilhelm MAY：高解像度大気大循環モデルに現れるインド夏季モンスーンとその海面水温分布に対する依存性**

Wilhelm MAY : The Indian summer monsoon and its sensitivity to the mean SSTs : Simulations with the ECHAM4 AGCM at T106 horizontal resolution

高解像度 (T106) 大気大循環モデル (ECHAM4) を用いて、インド夏季モンスーンの季節平均場及び季節内変動について調べた。解析は二つのシミュレーション実験に基づく。一つは、モデルの下端境界条件として海面水温と海水被覆率の月平均気候値を与えたAMI実験 (積分期間1970-1993) であり、もう一つは、低解像度 (T42) 大気海洋結合モデル (ECHAM4/OPYC) の気候変動遷移実験から得られた海面水温と海水被覆率及び海水の厚さを与えたTSL実験 (積分期間1970-1999) である。主要な温室効果気体の濃度について、TSL実験とECHAM4/OPYCによる遷移実験では、観測値 (1990年まで) とIPCCのIS92aシナリオに基づいた値 (1990年以降) を用い、AMI実験では一定値 (1978-1988年の観測値レベル) を与えた。

観測値との比較から、AMI実験の結果は、インド夏季モンスーンの季節平均場および季節内変動を良く再現していることがわかった。観測値をうまく再現できない点としては、まず地表面温度の季節平均値が高すぎることがあげられる。これによりインド洋とインド内陸地表面の温度差が大きくなり過ぎ、モンスーンに伴う下層風速が過大評価され、上層風速とインド半島

での降水量 (特にインド半島西岸の降雨最大値) が過小評価される。AMI実験のもう一つの欠点は、インド洋と太平洋上の熱帯収束帯 (ITCZ) の北偏と変形である。これは東アジアモンスーンを含む西部太平洋上の大規模循環場のシミュレーションが、現実的でないことに起因する。インド半島西岸付近における降水量の過小評価は、モンスーン季における降水の日日変動の空間分布に影響する。AMI実験から得られた降水変動の主要な空間分布は観測値と似た構造を示しているが、インド半島西岸における活動中心の強さは、観測値と比較して著しく小さい。

TSL実験では、AMI実験における季節平均場に関するほとんどの欠点が改善された。その理由として、次に挙げるような仕組みが考えられる。(a) インド洋上の初期高温傾向が、インドにおける降水量の過小評価、インドとパキスタンにおける気温の高温化、そしてインド洋とインド半島の過剰な温度差を減らす方向に働く。(b) 熱帯太平洋上のエルニーニョに似た暖水分布が、モンスーンに伴う強すぎる下層流の向きを反転するのに寄与する。(c) 結合モデルによる西部太平洋の海面水温の偏りが、ウォーカー循環を介して、

ITCZならびに西部太平洋上の大規模循環（特に東アジアモンスーン）のシミュレーションを改善する。し

かし TSL 実験においても、季節内変動については、ほとんど改善が見られない。

### 楠 昌司・小林ちあき：大気の季節予測可能性実験による確率予報の精度評価

Shoji KUSUNOKI and Chiaki KOBAYASHI: Skill Evaluation of Probabilistic Forecasts by the Atmospheric Seasonal Predictability Experiments

大気の季節予測可能性実験による確率予報の精度を評価した。使用したモデルは気象庁 (JMA) 大気大循環モデル (AGCM) で、T63の分解能を持つ全球スペクトルモデルである。対象とする季節に先立つ連続した9日の初期条件から、4か月のアンサンブル積分を実行した。1979年から1993年までの15年間の全ての4季節を、実験対象とする季節として選んだ。積分期間中は、観測された海面水温でモデルを強制した。

500 hPa 高度、850 hPa 気温、降水量の確率予報を4つの精度基準で検証した。即ち、ブライアー・スキル・

スコアとその信頼度と分離度への分解、Relative Operating Characteristics (ROC), Ranked Probability Score (RPS), Rank Histogram である。北半球の冬に相対的に精度が高く、東アジアや北米で相対的に精度が高いといった決定論的予報に見られた季節性と地域性が、確率予報でも同様に明らかになった。決定論的予報の精度でも確認されているように、降水量の精度は、500 hPa 高度、850 hPa 気温より一般に低いことがわかった。

### 河谷芳雄・高橋正明：高解像度 AGCM を用いた梅雨前線シミュレーション

Yoshio KAWATANI and Masaaki TAKAHASHI: Simulation of the Baiu Front in a High Resolution AGCM

CCSR/NIES AGCM を水平鉛直方向に高解像度にして現実に近い梅雨前線を再現させた。用いた解像度は T106L60 で Lindzen and Fox-Rabinovitz (1989) に習い水平分解能に対する適切な鉛直分解能に設定した。積雲対流スキームとしては Arakawa-Schubert 型スキームを用いた。6月の月平均降水分布を見ると中国から日本南岸に集中して東西に伸びた降水帯が形成された。large-scale の特徴は梅雨前線が形成される為に必要な条件 (Ninomiya, 1984) と一致していた。また梅雨前線に特徴的な下層ジェット、比湿の強い水平勾配、湿潤中立成層の形成という数100 km の構造が極めて良く再現された。下層ジェットや前線帯での上昇流等は、低解像度では難しかった定量的な面においても観測と良く一致した結果が得られた。モデルの中に現れたメソ  $\alpha$  スケール擾乱も観測と類似した特徴が再現できていた。鉛直層をととも20層に設定した T21, T42, T106 の結果を見比べると、解像度を上げる

につれて全球的な降水分布は良くなった。具体的には ITCZ の降水量、ITCZ と SPCZ の分離、梅雨前線帯がより明確になること等が挙げられる。水平解像度のみを高くした T106L20 実験においては重力波抵抗パラメタリゼーションを強くし、亜熱帯ジェットの強さを適切にすることが求められる。また T106L20 で積雲対流パラメタリゼーションを湿潤対流調節型にした場合は北緯20度付近で非現実的な多量の雨が降り、太平洋高気圧の東への後退、インドモンスーンが西経140度位まで進入するなど、梅雨前線が形成されるための主要な条件を満たしていなく、日本付近の降水帯は不明瞭であった。Kuo 型ではインドモンスーンや太平洋高気圧などの形は比較的良く梅雨前線も見られた。しかしながら上記3つの全てのパラメタリゼーション実験に於いて梅雨前線明けが現実と比べて早いという問題が見られた。

石戸谷重之・青木周司・中澤高次：質量分析計を用いた大気中  $O_2/N_2$  比の高精度測定Shigeyuki ISHIDOYA, Shuji AOKI and Takakiyo NAKAZAWA : High Precision Measurements of the Atmospheric  $O_2/N_2$  Ratio on a Mass Spectrometer

質量分析法を用いて、大気中  $O_2/N_2$  比を高精度で測定する装置を開発した。試料空気及び参照ガスは、断熱された極細の融解シリカキャピラリーを通して質量分析計に導入された。質量分析計のイオンソースにおいて試料空気中の  $CO_2$  から生成された  $CO$  による干渉効果、および質量分析計に試料空気と参照ガスが導入される際の両者の圧力不均衡によって生じる  $O_2/N_2$  比のバイアスは、実験的に決められた方法によって補正された。また、試料空気をフラスコに保存した場合の  $O_2/N_2$  比の変質および試料採取の方法についても詳細に検討を行った。 $O_2/N_2$  比の測定精度は  $\pm 5.4$

per meg ( $\pm 1.1$  ppmv) であった。測定の基準となる標準ガスは、大気を除湿することによって製造し、47 L の高圧シリンダーに充填・保存した。これらの標準ガスを相互に比較することによって、 $O_2/N_2$  比が過去2年にわたって20 per meg 以内で安定であったことを確認した。本研究で開発した装置を用いて実際の大気の  $O_2/N_2$  比の測定を1999年5月より開始した。仙台市郊外における  $O_2/N_2$  比は明瞭な季節変化および経年変化を示し、それらの変化は  $CO_2$  濃度と逆位相の関係にあった。

## 藤部文昭：首都圏における暖候期晴天日午後の地上風系の長期変化

Fumiaki FUJIBE : Long-term Surface Wind Changes in the Tokyo Metropolitan Area in the Afternoon of Sunny Days in the Warm Season

首都圏の都市化による昇温効果は、暖候期の午後には100 km のオーダーの広い範囲にわたることが指摘されている。この“広域ヒートアイランド”に伴う地上風系の変化を検証するため、1923~1928年と1991~2001年の資料を5~8月の晴天日を対象にして比較した。その結果、1990年代は1920年代に比べて関

東平野中部~北西部で午後の気圧低下量(14時と06時、22時との差)が0.2~0.3 hPa 増大し、南寄りの地上風系(広域海風)は平野の東部ではわずかながら東寄りに、南西部では南西寄りに変移して平野中部への収束傾向を増していることが示された。

## 矢吹正教・塩原匡貴・小林 拓・林 政彦・原圭一郎・長田和雄・久世宏明・竹内延夫：船上観測による東京からフリーマントル(オーストラリア)間の海洋境界層のエアロゾル光学特性

Masanori YABUKI, Masataka SHIOBARA, Hiroshi KOBAYASHI, Masahiko HAYASHI, Keiichiro HARA, Kazuo OSADA, Hiroaki KUZE and Nobuo TAKEUCHI : Optical Properties of Aerosols in the Marine Boundary Layer during a Cruise from Tokyo, Japan to Fremantle, Australia

東京からフリーマントル(オーストラリア)に至る観測結果に基づき、西太平洋地域における海洋境界層のエアロゾル光学的特性について報告する。この観測は、第42次南極地域観測隊(JARE42)の一環として、2000年11月に観測船「しらせ」により行われた。測定には、光散乱式粒子数濃度計測器、積分型ネフェロメータ、および吸収型フォトメータを用いた。緯度にもなうエアロゾル特性およびその起源の変化を調べるため、流跡線解析を行った。その結果、エアロゾルタイ

プは(A)人為/大陸起源エアロゾル( $30^{\circ}$ - $33.5^{\circ}$ N)、(B)海塩起源エアロゾル( $3^{\circ}$ - $28^{\circ}$ N)、および(C)植物燃焼エアロゾル( $12^{\circ}$ - $2^{\circ}$ S)の3つに分類できることが明らかとなった。観測データから得られる吸収特性や微小/粗大粒子の比率は、この分類を支持する結果となった。複数の測定器による粒径分布、散乱係数、および吸収係数の測定値から、複素屈折率の虚数部を矛盾なく導出する手法を新たに開発・提案した。この手法により、虚数部を比較的よい精度で導出することが可能とな

り、各エアロゾルタイプの虚数部の平均値は、源エアロゾル), 0.0036 (植物燃焼エアロゾル) となつた。0.0056 (人為/大陸起源エアロゾル), 0.0003 (海塩起源エアロゾル) となつた。

### Sergio H. FRANCHITO・V. Brahmananda RAO : 南北半球での温度勾配と熱輸送の相関

Sergio H. FRANCHITO and V. Brahmananda RAO : The Correlation between Temperature Gradient and Eddy Heat Flux in the Northern and Southern Hemispheres

NCEP/NCAR 客観解析データを用いて、鉛直積分した擾乱による熱輸送と温度勾配の相関を両半球について計算した。鉛直積分した擾乱による熱輸送を1000 hPa における温度勾配および鉛直積分した温度勾配と比べたところ、北半球ではよく知られているように両方とも高い正の相関があった。一方、南半球では、

鉛直積分した温度勾配と熱輸送は全ての緯度で正の相関であったが、1000hPa の温度勾配と熱輸送には高い負の相関となる緯度が存在する。

このことから、南半球では、擾乱による熱輸送を温度勾配と関係づけて議論する場合には、鉛直積分した温度を用いる必要がある。

### 部辺羅諏訪人・山形俊男 : インド洋のダイポール現象が南方振動に及ぼす影響

Swadhin K. BEHERA and Toshio YAMAGATA : Influence of the Indian Ocean Dipole on the Southern Oscillation

インド・太平洋海域における大気圧の経年変動にインド洋のダイポール現象がいかなる影響を及ぼすかを調べた。ダイポール現象の指標と海面気圧の相関図を描くとインド洋の東西に気圧場の双極構造が現れる。東の極はオーストラリアにまで広がっているために、南方振動の西の極であるダーウインの地上気圧変動はダイポール現象の指標と最大で約0.4の相関を示す。こ

の最大値は、ダイポール現象の指標をダーウインの地上気圧変動よりも一か月先行させた時に得られるものである。相関解析を季節毎の時系列で行うと、ダイポール現象が先行する様子がより明瞭になる。しかも、この相関関係は10年スケールで変化し、過去50年間では1990. 99年の10年間が最も強く、1980. 89年の10年間が最も弱い。

### 池田元美・Jia WANG・Alexander P. MAKSHITAS : 北極海海水の減少トレンドと10年周期変動における雲の重要性

Motoyoshi IKEDA, Jia WANG and Alexander P. MAKSHITAS : Importance of clouds to the decaying trend and decadal variability in the Arctic ice cover

最近40年に渡って北極海の海水面積は減少し、また10年周期の変動はより顕著になってきた。この減少トレンドについては、明らかにすべての季節における放射バランスが影響を与えている。秋から春までは、雲の増加が差し引きで正味の海面長波放射を減らしている。夏は雲の減少が短波放射を増やすが、同時に下向き長波放射を減少させるので、わずかな下向き放射を加えるだけである。これらはすべて海水減少に貢献し

ており、近い将来に起こりうる温暖化にとって雲が重要であることを示唆している。雲に起因する放射が海水に与える影響は、夏期に海水が減少したためにアルベドが下がり、それに伴う海洋への短波放射吸収増加と同程度で非常に重要である。10年周期変動もトレンドと同様に、雲が海水変動に顕著な影響を与えていることを示している。