

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

第91巻 第4号 2013年8月 目次と要旨

論文

- Xiaoge XIN・Li ZHANG・Jie ZHANG・Tongwen WU・Yongjie FANG：東アジア  
における RCP シナリオでの北京気候センター気候モデル BCC\_CSM1.1による  
気候変化予測 .....413-429
- 森 正人・木本昌秀・石井正好・横井 覚・望月 崇・近本喜光・渡部雅浩・野沢 徹・  
建部洋晶・坂本 天・小室芳樹・今田由紀子・小山博司：MIROC による CMIP5  
近未来予測実験を用いた北西太平洋における熱帯低気圧活動の過去・  
近未来予測 .....431-452
- Juan Jose RUIZ・Manuel PULIDO・三好建正：アンサンブルデータ同化を用いた  
モデルのパラメータ推定: パラメータ共分散の扱い .....453-469
- 高橋 洋・石崎紀子・川瀬宏明・原 政之・吉兼隆生・馬 燮銚・木村富士男：領域  
気候モデルによる日本海側冬季降水量に対する海面水温の潜在的影響 .....471-488
- 二宮洗三：1965年9月14-15日の岐阜・福井県豪雨に及ぼした遠方の台風と弱い偏西風  
トラフおよび地形の影響 .....489-506
- Jinfang YIN・Donghai WANG・Guoqing ZHAI：東アジアと他の領域における雲  
-降水の微物理特性の比較研究 .....507-526
- 吉崎正憲・加藤輝之・安永数明：端をもつバンド状降水系により励起される浮力の  
線型応答 .....527-538

要報と質疑

- David SHORT・中川勝広・井口俊夫：降水の鉛直方向の無相関化による非一様性  
効果の減少: その理論とシミュレーション .....539-543
- Mi-Kyung SUK・Ki-Ho CHANG・Joo-Wan CHA・Kyung-Eak KIM：韓国に  
おける現業レーダー推定雨量の実時間調節 .....545-554
- 学会誌「天気」の論文・解説リスト (2013年5月号・6月号) .....555
- 英文レター誌 SOLA の論文リスト (2013年56-78) .....556
- 気象集誌次号掲載予定論文リスト .....557

.....◇.....◇.....◇.....

Xiaoge XIN・Li ZHANG・Jie ZHANG・Tongwen WU・Yongjie FANG：東アジアにおける RCP シナリオでの北京気候センター気候モデル BCC\_CSM1.1による気候変化予測

Xiaoge XIN, Li ZHANG, Jie ZHANG, Tongwen WU, and Yongjie FANG: Climate Change Projections over East Asia with BCC\_CSM1.1 under RCP Scenarios

東アジアにおける RCP (Representative Concentration Pathway) シナリオでの気候変化予測を、CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project-Phase 5) のために北京気候センターの気候モデル BCC\_CSM1.1 で実行されたシミュレーション結果を使用して調べた。すべての RCP シナリオ RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 および RCP8.5 において、21世紀の東アジアの気候は現在気候 (1986-2005) に比較してより温暖かつ湿潤になる。

2080-2099の期間では、東アジアの平均地上気温 (降水量) は、RCP2.6で $0.98^{\circ}\text{C}$  (4.4%)、RCP4.5で $1.89^{\circ}\text{C}$  (7.7%)、RCP6.0で $2.47^{\circ}\text{C}$  (7.1%)、RCP8.5で $4.06^{\circ}\text{C}$  (9.1%)、現在気候より高くなる。これらの東アジアにおける変化は対応する全球の変化よりもすべて大きく、より高い RCP においてより大きい。23世紀末 (2280-2299) まで延長された RCP4.5のシミュレーションにおいては、東アジアに

おいて2080-2099期間に比べてさらに $0.34^{\circ}\text{C}$ 昇温するが、それは全球平均の昇温 ( $0.56^{\circ}\text{C}$ ) よりも小さい。緩和シナリオ RCP2.6においては、22世紀から23世紀を通して、東アジアは全球よりも大きな低温化を経験する。

21世紀末には、東アジア夏季モンスーンの平均降水量は現在気候に比べてすべての RCP において顕著に増加 (10-15%) する。降水量の増加は、主に中国南部および北部東アジアで生じており、それらは対流圏下層の南よりの風の偏差にそれぞれ関連している。中位および高い RCP 下において、長江中流域に干ばつが発生する。これは東アジアのジェット気流の北への変位に関連する $30^{\circ}\text{N}$  付近の下降流偏差によると考えられる。高いシナリオ RCP8.5では、西部太平洋亜熱帯高気圧が西および北に伸びて中国南部に達し、それが長江南の領域における降水量の減少に一部寄与している。

森 正人・木本昌秀・石井正好・横井 覚・望月 崇・近本喜光・渡部雅浩・野沢 徹・建部洋晶・坂本 天・小室芳樹・今田由紀子・小山博司：MIROC による CMIP5 近未来予測実験を用いた北西太平洋における熱帯低気圧活動の過去・近未来予測

Masato MORI, Masahide KIMOTO, Masayoshi ISHII, Satoru YOKOI, Takashi MOCHIZUKI, Yoshimitsu CHIKAMOTO, Masahiro WATANABE, Toru NOZAWA, Hiroaki TATEBE, Takashi T. SAKAMOTO, Yoshiki KOMURO, Yukiko IMADA, and Hiroshi KOYAMA: Hindcast Prediction and Near-Future Projection of Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific Using CMIP5 Near-Term Experiments with MIROC

IPCC 第5次評価報告書に向けた近未来気候予測実験のデザインに従い、3種類のバージョンの大気海洋結合モデル MIROC を用いて、過去予測実験ならびに近未来の将来予測実験を行った。本研究では、初期値化した過去予測実験より、北西太平洋における熱帯低気圧活動の年々・数年の予測可能性を調べた。また将来予測実験より、近未来における北西太平洋の熱帯低気圧活動に対する地球温暖化の影響も調べた。

過去予測実験より、モデルは熱帯低気圧の発生数の年々変動をほどよく予測できることが分かった。また、エルニーニョ南方振動に伴う熱帯低気圧の発生頻

度分布や出現頻度分布の年々変動が予測可能であり、それは主に海面水温とそれに伴う対流圏下層の過度応答が予測できていたためである。この結果は、熱帯低気圧の発生と大気大循環場を関連づける主要なメカニズムをモデルが再現できることを示唆している。少なくとも我々の過去予測実験では発生数の数年スケールの予測は困難であったが、1998年1月にスタートした予測の3年平均場は、1990年代後半に太平洋で発生した気候シフトに伴う熱帯低気圧活動の変動の特徴を初期化によりよく促えていた。

将来予測の結果は、地球温暖化が今世紀末の状況に

比べてそれほど顕著でないと考えられる近未来(2016-2035年平均)においても熱帯低気圧の発生数が有意に減少する(1979-2007年平均より約14%)ことを示しており、それは特に北西太平洋の西側で顕著であった。この減少は、北西太平洋における対流圏下層の過渡場ならびに相対湿度の弱化和、風の鉛直シアー

の強化によってもたらされていた。予測された熱帯海面水温は西太平洋に比べて東太平洋で顕著な昇温を示し、熱帯対流活動の変化を介したウォーカー循環の弱化和を伴っていた。このことが北西太平洋における環境場の変化の主要因であると考えられる。

### Juan Jose RUIZ・Manuel PULIDO・三好建正：アンサンブルデータ同化を用いたモデルのパラメータ推定: パラメータ共分散の扱い

Juan Jose RUIZ, Manuel PULIDO, and Takemasa MIYOSHI: Estimating Model Parameters with Ensemble-Based Data Assimilation: Parameter Covariance Treatment

本研究では、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ LETKF を用いて、モデルパラメータの不確実性及びパラメータと状態変数との間の共分散を推定する方法について調査した。パラメータと状態変数との間の共分散については、2つの方法を比較した。1つは、状態変数とパラメータとを合わせて一つのアンサンブルとして同時推定する方法、もう1つは、状態変数とパラメータとを分離して2つのアンサンブルを用いる方法である。2つのアンサンブルを用いる方法は、観測量とパラメータとの間の共分散をより正確に表現できるが、パラメータと状態変数の推定精度への効果は確認できなかった。一方、一つのアンサンブルを用いる方法は、より効率的であるにもかかわらず、

2つのアンサンブルを用いる方法と同等の推定精度を持つことがわかった。この他、パラメータのアンサンブルスプレッド(不確実性)がパラメータ及び状態変数の推定に及ぼす影響についても調査した。ここで、パラメータのアンサンブルスプレッドを最適化する新しい方法を提案した。この新手法は、状態変数とパラメータを合わせた変数ベクトルの解析誤差共分散行列の構造を保持するように設計した。この新手法は、パラメータのアンサンブルスプレッドを適切に自動推定し、状態変数及びパラメータの両方の推定精度を最適化する結果を得た。低解像度の全球大気モデル SPEEDY を使っていくつかのパラメータ推定法を比較評価した。

### 高橋 洋・石崎紀子・川瀬宏明・原 政之・吉兼隆生・馬 燮銚・木村富士男：領域気候モデルによる日本海側冬季降水量に対する海面水温の潜在的影響

Hiroshi G. TAKAHASHI, Noriko N. ISHIZAKI, Hiroaki KAWASE, Masayuki HARA, Takao YOSHIKANE, Xieyao MA, and Fujio KIMURA: Potential Impact of Sea Surface Temperature on Winter Precipitation over the Japan Sea Side of Japan: A Regional Climate Modeling Study

本研究では、4.5 km の水平解像度の領域気候モデル(WRF-ARW; the Advanced Research Weather Research and Forecasting model)を用いて、日本の日本海側の冬季降水量について海面水温に対しての感度を調べた。再解析データと観測された海面水温データを初期・境界値とした実験を実施した。さらに、計算領域全域の海面水温を1K, 2K, -1K変化させた3つの感度実験を行った。海面水温が1K上昇すると、日本海側の降水は、6-12%の割合で増加した。この降水量の増加に関連して、日本海上での潜熱フ

ラックスは、海面水温1Kの上昇について、11-14%の割合で増加した。相対湿度の変化は小さかったので、潜熱の増加は基本的にクラウドジウス・クラペイロンの式で説明できる。クラウドジウス・クラペイロンの式では、1Kの上昇で約7%の増加を説明できる。7%を超える変化は、日本海上での境界層の発達の結果により定量的に説明できる。この境界層の発達は、海面水温上昇に伴う顕熱の増加により説明できる。また、この結果は、複数の大気海洋全球気候モデルによる日本海の海面水温再現や予測が1Kの不確実性を

持つ場合には、日本海側の降水量が10%程度の不確実性を持つことも示唆している。

### 二宮洗三：1965年9月14-15日の岐阜・福井県豪雨に及ぼした遠方の台風と弱い偏西風トラフおよび地形の影響

Kozo NINOMIYA: Influence of a Distantly Located Typhoon, a Weak Westerly Trough and Orography on the Intense Rainfall on 14-15 September 1965 over Gifu and Fukui Prefectures of Japan

1965年9月14-15日の岐阜・福井県豪雨に及ぼした遠方の台風と弱い偏西風トラフの影響を欧州中期気象予測センター再解析データ (ERA-40再解析データ)、高層・総観地上および地域雨量観測データによって調べた。

この豪雨に先行して9月13日に日本列島南岸に沿って弧状の長い水蒸気前線が形成された。この水蒸気前線は、日本列島から遠方に位置する台風第24号 (T6524) の低気圧循環の外縁北側に形成された。水蒸気前線の強い下層収束に伴って日本の太平洋岸に形成された降水ベルト内では50-100 mm $d^{-1}$ の降水が観測された。

14日に日本海上で弱い短波長のトラフの影響下に小低気圧が発生し、台風外縁から小低気圧に伸びるA

型のトラフが形成された。水蒸気前線の一部は小低気圧に向かって四国から北東に進出し、同時に水蒸気前線から小低気圧に向かって湿潤域とメソ $\alpha$ 規模の強雨域が北東に向かって広がった。

さらに、この強雨域内で鈴鹿-伊吹山脈の東側に沿って南北に伸びる狭い降水帯が形成され、岐阜・福井県で最大800 mm $d^{-1}$ に達する強雨が14-15日に発現した。

この豪雨事例は、「台風の遠隔効果による豪雨事例」の一例と見なされよう。しかし、この豪雨の状況は、台風の遠隔効果に加えて、弱い短波長のトラフの影響下で南北に伸びる狭い降水バンドが山脈に沿って形成された点において、これまでに報告された「台風の遠隔効果による豪雨」と異なっている。

### Jinfang YIN・Donghai WANG・Guoqing ZHAI：東アジアと他の領域における雲-降水の微物理特性の比較研究

Jinfang YIN, Donghai WANG, and Guoqing ZHAI: A Comparative Study of Cloud-Precipitation Microphysical Properties between East Asia and Other Regions

過去の直接観測により得られた雨滴、雲粒、氷晶核 (IN)、雪結晶の微物理特性、およびレーダー反射因子 ( $Z$ ) と降雨強度 ( $R$ ) の関係についてのデータベースを構築する。データを東アジアとその他の領域 (アメリカ、ヨーロッパ、オーストラリア、アフリカ) に分類し、陸上で得られたもののみを考察する。東アジアにおける微物理特性に関する主な変数を示し、他の領域のものと比較する。両領域の主な違いは以下の通りである。東アジアでは他領域に比べて、指数関数でフィットした雨滴粒径分布の切片 ( $N_0$ ) の平均値はずっと小さく、傾き ( $\lambda$ ) はわずかに小さい。また、ガンマ分布でフィットした粒径分布に関しても、切片

の平均値はずっと小さく、各パラメータの変動幅は狭くなっている。さらに、ガンマ分布の形状  $\gamma$  は東アジアではほとんど負であるが、他領域ではしばしば正の値となっている。東アジアでは他領域に比べて、層状雲の雲粒子濃度の平均値はずっと小さく、雲水量は0.114 gm $^{-3}$ だけ低い。IN数濃度の平均値は東アジアで20.2 L $^{-1}$ であり、他領域の2.7 L $^{-1}$ より高い。東アジアでは他領域に比べて、雪結晶の粒径分布の  $N_0$  の平均値はずっと小さく、 $\lambda$  は半分以下である。 $Z-R$  関係について、 $Z$  の平均値は同じ  $R$  で比較したときに対流性の降雨については東アジアが他領域より大きく、層状性の降雨ではわずかに小さくなっている。

## 吉崎正憲・加藤輝之・安永数明：端をもつバンド状降水系により励起される浮力の線型応答

Masanori YOSHIKAZI, Teruyuki KATO, and Kazuaki YASUNAGA: Linear Responses of Buoyancy Induced by Band-Shaped Precipitation with an End

風上側に多くの対流セルを発生させるバックビルディング (BB) 型がバンド状降水系としてしばしば観測される。また対流域では湿潤静的エネルギー ( $h^*$ ) の鉛直分布は中立であるがその周りは条件付不安定なままである。2つの領域で成層が異なることとBB型が発生しやすい理由を理解するために、一様な一般風 ( $U^*$ ) と減衰 ( $\gamma^*$ ) がある場で、与えられた (i) 点源, (ii) 無限に長い線源, (iii) 端のある線源について、熱源に対する浮力の線型応答を調べた。(i) の解をもとに (ii) と (iii) の解は得られた。対流による熱源の振幅が温度偏差  $\Delta T^*$  に相当すると仮定する

と、 $U^* = \gamma^* = 0$  の場合、バンド状降水系の両側に応答を担う重力波が励起されるために、熱源の端から離れた影響領域で励起される温度偏差は高々  $\Delta T^*/2$  となる。この解は、デカルト系における線型応答解に相当する。2つの領域で成層が異なるのは、対流域の対流調節とその熱源による応答の物理過程の違いのためであり、このために対流域の周りでは雨が強くても条件付不安定な成層であり続ける。 $U^* \neq 0$  の場合、風上側は応答の影響が小さく新しい対流は発生しやすいので、BB型が多く形成されるのは一つの可能性として理解される。

## David SHORT・中川勝広・井口俊夫：降水の鉛直方向の無相関化による非一様性効果の減少: その理論とシミュレーション

David SHORT, Katsuhiko NAKAGAWA, and Toshio IGUCHI: Reduction of Nonuniform Beam Filling Effects by Vertical Decorrelation: Theory and Simulations

衛星搭載のレーダにより観測される減衰を含むレーダ反射因子から降水強度を推定するアルゴリズムは減衰補正の方法に依存する。熱帯降雨観測 (TRMM) 衛星に搭載されている Ku 帯の降雨レーダのためのアルゴリズムはその一例である。降水分布のビーム内での非一様性が降雨強度推定値に含まれる誤差の一要因であり、それは特に背の高い対流性降雨の発生する地域で顕著である。この誤差は、減衰係数や降雨強度、有効レーダ反射因子といったような降雨の特性を表す量が水平方向にレーダ分解能以下の距離で変化してい

ることに起因している。

この論文においては、鉛直方向には完全に相関があるとの仮定のもとに開発された非一様性の影響の補正方法を、鉛直方向での相関の減少を考慮した場合について拡張する。今回行った地上設置レーダの観測を用いたシミュレーションの結果には、傾いた対流雲において相関の減少の影響が明瞭に表れている。衛星データからその特性を規定するパラメータの推定値を得ることが困難だという問題は依然として残っている。

## Mi-Kyung SUK・Ki-Ho CHANG・Joo-Wan CHA・Kyung-Eak KIM：韓国における現業レーダー推定雨量の実時間調節

Mi-Kyung SUK, Ki-Ho CHANG, Joo-Wan CHA, and Kyung-Eak KIM: Operational Real-Time Adjustment of Radar Rainfall Estimation over the South Korea Region

韓国気象庁の10台の現業レーダーについて、実時間で降雨強度を調節するレーダー・自動気象観測所 (RAD-RAR) システムを開発した。RAD-RAR システムでは次の4つの手順により降雨強度が推定される: 1) 各レーダーの3次元反射強度の品質管理、

2) 各レーダー範囲内に設置されている地上雨量計の10分間雨量の計算, 3) ウィンドアップロバビリティマッチング法 (WPMM) に基づき CAPPI の10分間レーダー雨量と地上雨量計の10分間雨量の差が最小になるように修正された Z-R 関係式と, RAD-RAR



システムで作成される10分毎の雨量バイアス値から降水強度を実時間で10分毎に推定する、4) 10台のレーダーの合成雨量を求める。ブライトバンド補正を行う機能を持っていないので、このRAD-RARシステムは高度1.5 km付近にブライトバンドが存在しない夏季の降雨に対して適用できる。2006年に観測された合計10の降雨事例についてRAD-RARシステムの性能

を調査した結果、RAD-RARの実時間補正  $Z-R$  関係式から推定した雨量は従来の固定  $Z-R$  関係式から推定した雨量よりも地上雨量計の観測値に近く、RAD-RARシステムの優位性を示唆した。一方、バイアス補正の効果はわずかであった。日雨量のRAD-RAR推定雨量と地上の測定雨量の相関係数の2乗は0.84であった。