

場のコンポジット解析の結果、冬季、夏季ともに、海面における上向き乱流熱フラックス、降水頻度、および強い水平相当温位傾度頻度の顕著な減少がこの海面水温低温偏差によって引き起こされることが示され

た。さらに、日本の陸域においても同様の傾向があるという結果が得られた。しかしながら、陸域への影響は、海面水温低温偏差域に比べ最大で20–50%程度で、日本列島中部の太平洋側に限定されていた。

野田 暁・佐藤正樹・山田洋平・小玉知央・宮川知己・清木達也：積雲対流パラメタリゼーションを用いない全球非静力学モデルによる冷たい雨と暖かい雨の数値シミュレーションとその温暖化応答

Akira T. NODA, Masaki SATOH, Yohei YAMADA, Chihiro KODAMA, Tomoki MIYAKAWA, and Tatsuya SEIKI:
Cold and Warm Rain Simulated Using a Global Nonhydrostatic Model without Cumulus Parameterization, and their Responses to Global Warming

全球非静力学モデルにおける低緯度帯洋上の冷たい雨と暖かい雨の再現性能の検証とその温暖化大気下の変化を調べた。7 km 格子と14 km 格子を用いた数値シミュレーション（以下、それぞれ、R7とR14）の結果、低緯度帯（30°S–30°N）の地表面降水量は温暖化大気ではそれぞれ1.9%と2.6%増加した。降水の増加は、水平解像度の高いモデル（R7）では暖かい雨と冷たい雨の両者の増加によるのに対して、水平解像度の低いモデル（R14）では冷たい雨の増加によってもたらされていた。R7では、冷たい雨の正味の増加はより強い降水（ $>40 \text{ mmhr}^{-1}$ ）の増加がより弱い降水（ $<40 \text{ mmhr}^{-1}$ ）の減少を相殺することで生じていた。対照的に、暖かい雨はどの降水強度においても

増加していた。温暖化大気における冷たい雨（暖かい雨）の領域面積はどちらの解像度のモデルでも減少（増加）していた。環境場の力学的、及び、熱力学的な変化が冷たい雨と暖かい雨の変化に与える影響を調べた結果、それらの効果は力学レジームに依存して大きく異なることがわかった。

低緯度帯における冷たい雨と暖かい雨の寿命（鉛直積算した雲水量と雲水量に対する降水フラックスの比で定義）と大気の温暖化による影響も調べた。冷たい雨の寿命にはいずれの降水強度においても顕著な変化は確認されない一方、暖かい雨のそれはいずれのSSTアノマリレジームにおいても減少していた。

榎本 剛・山根省三・大淵 済：アンサンブル予報を用いた簡易感度解析

Takeshi ENOMOTO, Shozo YAMANE, and Wataru OHFUCHI: Simple Sensitivity Analysis Using Ensemble Forecasts

アンサンブル予報を用いて、指定した領域で検証時刻において発達する、感度の高い初期摂動を同定するための簡潔な手法を定式化した。この手法では、接線型モデルや随伴モデルを用いず、アンサンブル予報を用いて近似解を求める。感度の計算の入力には、成長モード育成法、特異ベクトル法やアンサンブル・カルマンフィルタなどで生成された摂動を与えた初期値から積分した、どのようなアンサンブル予報も用いることができる。アンサンブル予報を用いて随伴法と特異ベクトル法を近似した、二つの定式化を示す。既に過去の研究で適用されているアンサンブル特異ベクトル感度は、1回の固有ベクトル計算で求まる。アンサン

ブル随伴感度は、さらに簡単な行列ベクトル積のみで計算できる。

定式化を検証するために、いくつかの事例に対し、アンサンブル感度解析を行った。まず、二つの手法を適用して、2003年1月及び8月に日本付近の検証領域で成長する初期摂動に対して感度の高い領域を同定した。特異ベクトル第一モードは、実際に検証時刻で最も振幅が最大となるが、その後の予報時刻では必ずしも最大ではないことを確認した。温帯低気圧及び熱帯低気圧の事例において、二つの手法は共に高感度領域を単にアンサンブル・スプレッドが大きい領域よりも具体的に特定できることが示された。2003年1月の月

平均の感度は上流のシベリア，チベット及び下流の北西太平洋に現れロスビー波及び総観規模擾乱の影響を，2003年8月の感度はアジアモンスーンの影響を示唆している。次に2002年8月の欧州の低気圧の事例では，アンサンブル特異ベクトルで計算された摂動を水平解像度20 kmの全球シミュレーションの初期条件に

加えた実験を行い，摂動を与えないコントロール実験と比較した。摂動を加えた実験では，観測されたように，低気圧はその北東で数hPa深まり，アルプス以北の降水量が増加した。以上の例から，アンサンブル感度は適切に計算されていることが確認された。

出世ゆかり・眞木雅之・清水慎吾・岩波 越・前坂 剛・鈴木真一・櫻井南海子・三隅良平：2011年8月18日に関東地方で発生した積乱雲における降水コアの挙動と地上降雨の関係

Yukari SHUSSE, Masayuki MAKI, Shingo SHIMIZU, Koyuru IWANAMI, Takeshi MAESAKA, Shin-ichi SUZUKI, Namiko SAKURAI, and Ryohei MISUMI: Relationship between Precipitation Core Behavior in Cumulonimbus Clouds and Surface Rainfall Intensity on 18 August 2011 in the Kanto Region, Japan

2011年8月18日に関東地方で局所的な強雨をもたらした3つの積乱雲について，Xバンド偏波レーダーによる3次元観測を2分間隔で実施した。本研究では，これらの積乱雲内の降水コアの挙動と地上降雨の関係を調べた。降水コアはレーダー反射強度の3次元格子点データにおいて一つの極大値を含む等値閉曲面領域と定義し，可変閾値によって自動検出を行った。2分間隔で検出された降水コア検出データをもとに，主観解析による降水コア追跡を行った結果，3つの積乱雲内に合計15個の降水コアが同定された。

降水コアの挙動における一般的特徴として，上空に出現し地上に落下する様子がとらえられた。降水コア

の平均出現高度は5.25 kmで，0度高度(5.1 km)よりわずかに高かった。また降水コアの寿命は出現高度におおよそ比例していた。

3つの積乱雲がもたらした地上降雨強度の最大値の時間変動には，12回の強いピーク($>10 \text{ mmh}^{-1}$)が観測され，そのうち10回のピークが降水コアの落下に対応していた。またそれぞれの積乱雲内上空で最初に降水コアが検出されたのは，各積乱雲より 10 mmh^{-1} 以上の地上降雨がもたらされる10分から12分前であった。このように，降水コアの挙動は強い降雨の開始とその後の降雨強度の時間変動に密接に関係していることが示された。

松村伸治・山崎孝治・佐藤友徳：2008年8月のオホーツク海高気圧の発達期におけるシベリアの大気陸面結合の役割

Shinji MATSUMURA, Koji YAMAZAKI, and Tomonori SATO: Role of Siberian Land-Atmosphere Coupling in the Development of the August Okhotsk High in 2008

夏季オホーツク海高気圧の形成機構について，シベリアの大気陸面結合の観点から研究を行った。再解析データを用いた解析から，オホーツク海高気圧は初夏と晩夏でその形成機構が異なっていることが分かった。これは，季節進行に伴って，等価順圧構造から傾圧構造へシフトするためである。さらに，この傾圧的な晩夏のオホーツク海高気圧の形成過程を明らかにするために，領域気候モデルを用いて春季積雪の感度実験を行い，大気陸面結合の役割を調べた。日本列島に集中豪雨をもたらした2008年8月のケースにおいて，オホーツク海高気圧，また，東シベリアの大気陸面結

合が良く再現された。少雪を反映した東シベリアの地表面高温化が対流圏上層の高気圧偏差を生じ，南東方向のオホーツク海に地上高気圧が強まることで明瞭な傾圧構造が示された。このため，東シベリアの大気陸面結合が傾圧的な晩夏のオホーツク海高気圧の持続および増幅に寄与していることが示唆される。したがって，晩夏のオホーツク海高気圧は大気と，冷たい海洋，暖かい陸面から構成された地域気候システムとして理解する必要があると考えられる。

高橋 勁・川野哲也・石原正仁：日本での雷活動の活発な豪雨，不活発な豪雨と異なる降水機構

Tsutomu TAKAHASHI, Tetsuya KAWANO, and Masahito ISHIHARA: Different Precipitation Mechanisms Produce Heavy Rain With and Without Lightning in Japan

夏季，日本では，雷活動の活発な豪雨と不活発な豪雨の2種存在することが知られている。両者の違いの原因を調べるために，東アジア及び東南アジアでの多様な雲システムを対象としたビデオゾンデのデータと，日本における梅雨と非梅雨の豪雨事例のデータとを比較した。解析に用いた事例は，2008—2009年の3つの梅雨事例と2つの非梅雨事例である。その結果，

雷活動の差は，降水機構の違いによると考えられる。即ち，雷活動の活発な豪雨は，霰成長型降水機構が，雷活動の不活発な豪雨は凍結氷成長型降水が対応していると考えられる。雲の強い電気活動は，氷晶が多く，着氷電荷機構の活発な霰成長型雲で行われると考えられる。

Dachao JIN・Zhaoyong GUAN・Jiaxi CAI・Weiya TANG：過去50年間の中国大陸上の局地的な夏季降水の年々変動と様々なテレコネクションとの関係性の可能性

Dachao JIN, Zhaoyong GUAN, Jiaxi CAI, and Weiya TANG: Interannual Variations of Regional Summer Precipitation in Mainland China and their Possible Relationships with Different Teleconnections in the Past Five Decades

夏季降水の年々変動，特にその気候学的な極値は，特に中国において農業，水資源，生態系，環境に大きな影響を与える。1961—2008年の中国の596箇所の気象観測点の降水量データを用いて，中国本土の夏季降水の変動の特徴を調べた。複数年で平均した気候学的な夏季降水とその標準偏差は南東から北西に向けて減少することがわかった。複数年平均の気候学的な通年降水量に対する夏季の降水の比率は，中国の西部，北東部の広い領域で大きく，南東部では小さいことがわかった。回転経験的直交関数 (REOF) 分解により，21領域が同定された。このことは，夏季の季節平均の降水の変動が大きく地域に依存することを示している。これらの21領域は，中国西部および南西部の一部領域を除いて，中国のほとんどの領域をカバーしている。ある領域の主要 REOF モードの係数の時間経過

は，40—90%の範囲でその場所での夏季降水の主要な変動を説明できる。異なる領域の降水は異なる周期性をもって変化している。このことは，異なる領域の間の夏季平均降水量の変動は統計的に独立であることを示している。降水量が最大・最小となる年は，領域によって大きく異なっている。領域平均での6—8月の降水とエルニーニョ／南方振動やインド洋ダイポールに関する指数や他の大気のテレコネクションとの相関について調べた。その結果，中国本土の21領域の降水変動は熱帯と中緯度の両方の領域のシグナルに影響されている可能性が示唆される。本論文の結果は，中国の降水変動のさらなる調査・理解に意味をもつものであり，さらに中国の気象災害の防止・緩和に役立つものである。

中山智喜・鈴木博之・鏡谷聡美・池田裕香・内山明博・松見 豊：二種類の光音響分光エアロゾル計測装置 (PASS-3 および PAX) の性能評価

Tomoki NAKAYAMA, Hiroyuki SUZUKI, Satomi KAGAMITANI, Yuka IKEDA, Akihiro UCHIYAMA, and Yutaka MATSUMI: Characterization of a Three Wavelength Photoacoustic Soot Spectrometer (PASS-3) and a Photoacoustic Extinctionmeter (PAX)

光音響分光法およびreciprocal型ネフェロメトリ法によりエアロゾルの光吸収および散乱係数を測

定することができる二種類の市販の光音響分光エアロゾル計測装置 (three wavelength photoacoustic soot

spectrometer (PASS-3, 波長405, 532, 781 nm) および photoacoustic extinctions (PAX, 波長375 nm) の性能を評価するため、様々な室内実験を行った。気相分子のレイリー散乱、単分散のポリスチレンラテックスと硫酸アンモニウム粒子、および多分散の硫酸アンモニウム粒子を用いて求めた散乱測定に対する装置校正ファクター（装置の読み出し値を真値に変換するための係数）は、波長375, 405, 781 nmにおいて、それぞれ5, 5, 10%以内で一致した。一方、波長532 nmにおける散乱測定の校正ファクターは、粒径に大きく依存することが判明した。観測面に対するレーザー光の偏光方向の違いと検出できない散乱角度 (truncation angle) が大きいことが、校正ファクターの粒径依存性に寄与していると考えられる。観測された校正ファクターの粒径依存性から実効的な truncation angle を導出し、その結果を用いて、散乱測定の校正ファクターの典型的な不確定性を見積もつ

た。その結果、体積基準の幾何平均直径700 nm以下の光吸収性が無いか小さい粒子を測定した場合の典型的な不確定性は、波長375, 405, 532, 781 nmそれぞれにおいて、12, 7, 34, 17%と推定された。多分散のプロパン燃焼起源スス粒子を用いて決定した吸収測定の校正ファクターの典型的な不確定性は、波長375, 405, 532, 781 nmそれぞれにおいて、6, 4, 8, 11%と推定された。スス粒子を用いて決定した吸収測定の校正ファクターは、波長532 nmでは、二酸化窒素 (NO₂) 分子の光吸収を用いて決定した校正ファクターとよく一致したが、波長375, 405 nmにおいては、48および36%小さかった。吸収されたエネルギーの一部が NO₂ の光解離に使われることが寄与していると考えられ、NO₂ を波長375, 405 nmにおける吸収測定の校正に使用する場合には、その影響を考慮する必要があることが示唆された。

櫻村博基・余田成男：惑星大気スーパーローテーションのための理想化された準自転軸対称モデルにおける解のレジームダイアグラム

Hiroki KASHIMURA and Shigeo YODEN: Regime Diagrams of Solutions in an Idealized Quasi-Axisymmetric Model for Superrotation of Planetary Atmospheres

本論文は著者らの先行論文で研究した、強い水平拡散を含む準自転軸対称な理想化された系における、スーパーローテーション解の力学的平衡状態のパラメータ依存性をレジームダイアグラムの形で示した。この系では、スーパーローテーションは金星大気四日循環を説明する仮説のひとつであるギーラシメカニズムで維持される。我々は先行論文において、惑星大気スーパーローテーションの強度を見積るためにこの系の理論モデルを構築し、スーパーローテーション強度のパラメータ依存性は3つの外部無次元パラメータに集約できることを示した。

本論文では、この理論モデルを解析して、力学的平衡状態にもとづく解のレジームの境界を求めてレジームダイアグラムを描いた。レジームダイアグラムは非線形力学系を理解するために重要であり、パラメータ依存性を明白に示すために有用である。また、理論モデルのパラメータ空間上の適用限界も見積り、レジームダイアグラムに含めた。この適用限界は、ギーラシメカニズムにおける水平拡散強度の下限とスーパー

ローテーション強度の上限の両者を示している。さらにレジームダイアグラムから、旋衡風平衡にあるスーパーローテーションは水平エクマン数が一定の範囲内のときに実現され、その範囲の幅は鉛直エクマン数に主に支配されていることが分かった。

プリミティブ方程式系の時間発展計算を、非常に広いパラメータ範囲で行って数値解を求めた。そして数値解の力学的平衡状態のレジームを、理論的に求めたレジームダイアグラムと比較した。その結果、理論的に求めたレジームダイアグラムと数値解の力学的平衡状態の分布が大部分のパラメータ領域で一致し、理論モデルの妥当性が示された。水平エクマン数が理論的に求めた下限よりも小さい領域では多重平衡解が得られた。この結果は、水平拡散が予測した下限値より小さくても、ギーラシメカニズムはスーパーローテーションを維持することができるが、静止大気からスーパーローテーションを生み出すことはできないことを示している。