

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

第91巻 第6号 2013年12月 目次と要旨

論 文

- 野田 暁・中村昉三・岩崎俊樹・佐藤正樹：層積雲を伴う境界層のラージェディシミュレーション：減衰する雲と逆転層を跨ぐ安定度パラメータとの関係 .....727-746
- 石坂雅昭・本吉弘岐・中井専人・椎名 徹・熊倉俊郎・村本健一郎：観測される粒径  
－落下速度関係を用いた降雪における代表的な降雪粒子の種類の判別手法 .....747-762
- Sanghun LIM・Dmitri MOISSEEV・Venkatachalam CHANDRASEKAR・  
Dong-Ryul LEE：レーダ反射因子の空間変動性にもとづく雪の分類と定量測定 .....763-774
- 伊藤享洋・金久博忠：離散順圧モデルにおける渦ロスビー波の解析解 .....775-788
- 酒井 哲・永井智広・折笠成宏・財前祐二・山下克也・真野裕三・村上正隆：2008-2010年  
暖候期の高知における2波長偏光ライダー観測によるエアロゾル特性評価 .....789-800
- Xiaofan LI・Xinyong SHEN：熱帯の深い対流レジームにおける雨の雲微物理量収支：  
2次元雲解像モデルによる研究 .....801-815
- Xiaowen LI・Wei-Kuo TAO・Hirohiko MASUNAGA・Guojun GU・Xiping ZENG：  
熱帯太平洋の雄大積雲数に与えるエアロゾルの効果：雲解像モデルを用いた研究 .....817-833

要報と質疑

- Hong-Li REN・Fei-Fei JIN・Malte STUECKER・Ruihuang XIE：2つのタイプの  
ENSO で表される1970年代以降の ENSO レジームの変化 .....835-842
- 石岡圭一：順圧不安定からの擾乱発達に対する2つの上限値の同一性の証明 .....843-850
- 学会誌「天気」の論文・解説リスト (2013年9・10月号) .....851
- 英文レター誌 SOLA の論文リスト (2013年125-160) .....852
- 気象集誌次号掲載予定論文リスト .....853
- 第91巻 (2013) 総目次 .....859-863
- 索引：A. 著者別索引 .....865-880
- 索引：B. 主題別索引 .....881-883

. . . . . ◇ . . . . . ◇ . . . . . ◇ . . . . .

- 野田 暁・中村昉三・岩崎俊樹・佐藤正樹：層積雲を伴う境界層のラージェディシミュレーション：減衰する雲と逆転層を跨ぐ安定度パラメータとの関係
- Akira T. NODA, Kozo NAKAMURA, Toshiki IWASAKI, and Masaki SATOH: A Numerical Study of a Stratocumulus-Topped Boundary-Layer: Relations of Decaying Clouds with a Stability Parameter across Inversion

これまでの層積雲の数値的研究では雲は雲頂エント レインメント不安定の安定度パラメータ  $k$  に依存し

て単調に減少することが示されている。ここで  $k$  は雲頂をまたいだ全水混合比と相当温位の比で定義される。更に、 $k$  が十分大きければ雲は完全に蒸発する。最終的には平衡状態に達するまでに積算液水量 (LWP) と  $k$  とは準線形的な関係を示す。この論文ではラージエディシミュレーション (LES) において、これまで着目されてこなかった遷移期間に着目することで、なぜその様な関係が得られるのか、その機構を明らかにする。

従来の LES 結果と同様に、雲頂をまたぐ混合による蒸発冷却で得られる負の浮力は  $k$  とともに大きくなる。ここで、 $k$  が大きな実験ほど雲頂付近でより強い乱流を励起する。その結果、遷移期間中に雲水量はより蒸発する。

境界層過程の詳細な解析によって次のことがわかつ

た。混合は逆転層付近で時間とともに形成される中間層とその下の雲層の間で起こるが、時間発展する中間層は元々の逆転層空気と比較するとより冷たく湿っている。このため、混合気塊の蒸発冷却によって生じる負の浮力は徐々に小さくなり5時間後には  $O(10^{-3}) \text{ m}^2\text{s}^{-3}$  程度まで減衰する。最終的に、系は準平衡状態に達し、その後、雲の減衰は収まる。乱流エネルギーの収支解析では、シア生成をはじめとする他の項とともに減衰した浮力生成がエネルギー消散とバランスすることでこの準平衡状態に達することがわかった。この結果は、例えば  $k$  の変化は小さくても、最終的に形成される LWP をコントロールする上で中間層の成層状態が特に重要であることを示唆している。本論文では急速に減衰する雲と境界層乱流の時間スケールについても考察した。

### 石坂雅昭・本吉弘岐・中井専人・椎名 徹・熊倉俊郎・村本健一郎：観測される粒径-落下速度関係を用いた降雪における代表的な降雪粒子の種類の判別手法

Masaaki ISHIZAKA, Hiroki MOTOYOSHI, Sento NAKAI, Toru SHIINA, Toshiro KUMAKURA, and Ken-ichiro MURAMOTO: A New Method for Identifying the Main Type of Solid Hydrometeors Contributing to Snowfall from Measured Size-Fall Speed Relationship

本論文は、降雪イベントにおける代表的な降雪粒子の種類を粒径と落下速度の観測から同定する新たな手法を提案している。降雪の種類には、霰や霰状雪、雪片、その雲粒付着度の違い、単独雪結晶等小粒子などの降雪を含み、代表的な降雪粒子は、観測される粒径-落下速度関係と個々の粒子の降雪寄与とを考慮して決められる。粒子の降水寄与を評価するには質量フラックス (質量と落下速度の積) が必要であるが、それに必要な個々の粒子の質量は、粒径-落下速度の観測と同時に測定することは今のところ実践的に困難なので、これまで経験的に得られている粒径-落下速度及び粒径-質量の関係式を利用して推定している。こうして得られる粒径-落下速度座標上に表現される観測粒子の質量フラックスの分布は、降雪の特徴と降水量への寄与をよく表わすことがわかった。そこで、さらに粒径-落下速度座標上における観測粒子の質量フ

ラックス分布の中心 (CMF=Center of Mass Flux distribution) という新しい指標を導入した。CMF は、質量フラックスで重みづけられた粒径と落下速度の平均であり、力学における重心を求めるのと同様な手法で求めることができる。それは、観測されたすべての粒子を代表する降雪粒子の粒径、落下速度を表すと考えることができ、本手法は粒径-落下速度座標における CMF の位置から代表降雪粒子を定量的に判別するものである。論文では本手法を種類が異なると考えられる降雪事象に適用してその有効性を検証した。質量フラックスの推定にはまだ不確定な部分が残るが、代表的降雪粒子の定量的な判別を可能にする本手法は、降雪イベントにおける主要な降雪粒子のタイプの同定とともに、レーダ反射強度の定量的な理解にも役立つものと期待される。

## Sanghun LIM・Dmitri MOISSEEV・Venkatachalam CHANDRASEKAR・Dong-Ryul LEE：レーダ反射因子の空間変動性にもとづく雪の分類と定量測定

Sanghun LIM, Dmitri MOISSEEV, Venkatachalam CHANDRASEKAR, and Dong-Ryul LEE: Classification and Quantification of Snow Based on Spatial Variability of Radar Reflectivity

本研究では、氷晶・凝集結晶・雲粒付雪片・霰といった雪粒子種別を等価レーダ反射因子の空間変動性を用いて分類する手法を提案する。この手法の構築にあたり、垂直指向ドップラレーダとスキャン型二偏波気象レーダおよび地上観測の解析を用いる。ここで提案された雪種別同定手法を用いると、等価レーダ反射因子と水量換算時間降雪量を結ぶ関係式のべき係数を具体的に決められることを示す。Vaisala WXT 観測

は、雪については高密度粒子の検出に利用できるもので、これを分類結果と比較することにより分類手法の検証を行う。また、Cバンド現業ヘルシンキヴァンターレーダおよび地上測器 (Vaisala PWD-11, Pluvio) で取得されたデータ例を用いて、本研究で提案された定量的降雪強度推定アルゴリズムの性能を実証する。

## 伊藤享洋・金久博忠：離散順圧モデルにおける渦ロスビー波の解析解

Takahiro ITO and Hirotsada KANEHISA: Analytical Solutions of the Vortex Rossby Waves in a Discrete Barotropic Model

$f$  平面上の線形化された順圧方程式系で、渦ロスビー波の初期値問題を解析的に解く。基本軸対称渦度  $\bar{q}$  は、動径方向に区間一様と仮定する。それにより基本渦度の動径勾配  $\frac{d\bar{q}}{dr}$  および擾乱渦度  $q$  はディラックのデルタ関数で表現される。方位角方向に波数  $m$  でフーリエ変換した後で、線形化された渦度方程式は、時間に関する常微分方程式系となる。これより、与えられた初期値に対する解析解が得られる。

基本渦度  $\bar{q}$  が単極の場合、中心に近い初期値から出発する解は、渦ロスビー波の外側への伝播を示す。外側の擾乱が生まれると共に内側の擾乱は小さくなる。一方、中心近くに強制がある場合には、内側の擾乱は

小さくならず、渦ロスビー波の外側への伝播は、スパイラル状の擾乱渦度の分布を作り出す。

基本渦度  $\bar{q}$  が濠を持ち、更にある条件を満たす場合、濠の付近で互いに反対の方位角方向へ伝播する渦ロスビー波の相互作用が生まれる。これにより波数  $|m| \neq 1$  の解は時間と共に指数関数的あるいは一次関数的に成長する。波数  $|m| = 1$  の解は、どのような基本渦度  $\bar{q}$  に対しても指数関数的に成長する事はないが、一次関数的に成長することはある。波数  $|m| = 1$  の解の一次関数的成長は、系内部の二つのモード間の共鳴の結果として解釈され得る。

## 酒井 哲・永井智広・折笠成宏・財前祐二・山下克也・真野裕三・村上正隆：2008-2010年暖候期の高知における2波長偏光ライダー観測によるエアロゾル特性評価

Tetsu SAKAI, Tomohiro NAGAI, Narihiro ORIKASA, Yuji ZAIZEN, Katsuya YAMASHITA, Yuzo MANO, and Masataka MURAKAMI: Aerosol Characterization by Dual-Wavelength Polarization Lidar Measurements over Kochi, Japan during the Warm Seasons of 2008 to 2010

2波長偏光ライダーを用いたエアロゾル・雲の観測を、2008~2010年暖候期（6~8月）における湯水対策のための人工降雨・降雪に関する総合研究のフィールド観測キャンペーン中に高知（33.6°N, 133.5°E）において行った。ライダー観測からシーディングに適

したエアロゾル特性を評価する有効性を調べるために、ライダーで観測したエアロゾル光学特性と航空機搭載測器で観測した微物理特性を比較した。その結果、波長532 nm 粒子後方散乱係数は、直径 ( $D_p$ ) 0.3  $\mu\text{m}$  以上のエアロゾル数濃度と良く対応していた

(相関係数  $r=0.89$ )。それに比べて、過飽和度0.7%もしくは1.0%で活性化する雲核との対応は低かった(相関係数  $r=0.74$ )。その理由は、サイズの小さい ( $D_p \sim 0.04 \mu\text{m}$ ) 雲核に対してライダーの感度が低いためである。2008年7月1日のライダーデータは、高度4~6 kmで20%の高い偏光解消度と0.5以下の低い波長指数、高度0.5~1.0 kmで低い偏光解消度(2.5%)と中程度の波長指数(0.7)を示した。このことから高度4~6 kmにミクロンサイズの非球形粒

子が分布し、高度0.5~1.0 kmにはサブミクロンサイズの粒子もしくは球形粒子が卓越することが示唆された。この結果は、航空機観測で得られた上層にミクロンサイズの鉱物粒子が分布し、低層でサブミクロンサイズの硫酸塩粒子とミクロンサイズの高塩液滴粒子が卓越する結果と整合的であった。これらの比較結果は、ライダー観測によるエアロゾル特性評価の有効性を示す。しかしながら、雲核の評価には更なる改善が必要である。

### Xiaofan LI・Xinyong SHEN：熱帯の深い対流レジームにおける雨の雲微物理量収支：2次元雲解像モデルによる研究

Xiaofan LI and Xinyong SHEN: Rain Microphysical Budget in the Tropical Deep Convective Regime: A 2-D Cloud-Resolving Modeling Study

TOGA COARE (Tropical Ocean Global Atmosphere Coupled Ocean Atmosphere Response Experiment) の大規模強制力により駆動した2次元の1.5 kmメッシュ雲解像シミュレーションの格子スケールデータを用いて、熱帯の深い対流レジームにおける雨に関する雲微物理量収支を調べた。各水平格子点について雲微物理量収支による降雨の分類を行い、各型の降雨と鉛直流・水蒸気・降水混合比の鉛直分布との関

係を調べた。総降雨の67%以上は対流圏全層に及ぶ上昇流域で生じ、その場所での正味の雨の生成においては雲粒の併合の効果の方が氷粒子の融解の効果よりも大きかった。総降雨の26%以上は対流圏下層に下降流がある場で生じ、氷粒子の融解が主要な雨の生成要因であった。また、総降雨の約15%は降水粒子の移流に対応したものであった。

### Xiaowen LI・Wei-Kuo TAO・Hirohiko MASUNAGA・Guojun GU・Xiping ZENG：熱帯太平洋の雄大積雲数に与えるエアロゾルの効果：雲解像モデルを用いた研究

Xiaowen LI, Wei-Kuo TAO, Hirohiko MASUNAGA, Guojun GU, and Xiping ZENG: Aerosol Effects on Cumulus Congestus Population over the Tropical Pacific: A Cloud-Resolving Modeling Study

本研究では、雲凝結核CCNとして作用するエアロゾルが熱帯海洋上の対流強度変調をもたらす重要性を調査する。精巧なビン法雲微物理スキームを装備した雲解像モデル(水平解像度750 mのGoddard積雲アンサンブルモデル)をTOGA COARE (Tropical Ocean Global Atmosphere Coupled Ocean Atmosphere Response Experiment)の事例に適用し、エアロゾル濃度が低いと対流強度が抑制されることを見出した。下層の水蒸気が豊富で0°C高度付近に弱安定層が遍く存在する熱帯西部太平洋では、低濃度の背

景場海洋性エアロゾルが雄大積雲の形成を誘起する。感度実験の結果、清浄な海洋環境において対流の減衰をもたらすのは、過冷却水の凍結・雲頂における蒸発・雨粒の蒸発もシミュレーション結果に寄与するものの、凝結成長の低下が主要なメカニズムであることがわかった。さらに、熱帯力学やマッデンジュリアン振動(MJO)ライフサイクルにおける雄大積雲の重要性を鑑み、極めて清浄な環境においては海洋上のエアロゾル・雲・降水相互作用が熱帯対流の減衰機構として機能し得るという仮説を提唱する。

## Hong-Li REN・Fei-Fei JIN・Malte STUECKER・Ruihuang XIE：2つのタイプの ENSO で表される 1970年代以降の ENSO レジームの変化

H.-L. REN, F.-F. JIN, M. F. STUECKER, and R. XIE: ENSO Regime Change since the Late 1970s as Manifested by Two Types of ENSO

1970年代後半、エルニーニョ-南方振動 (ENSO) は振幅、卓越周期、および海面水温 (SST) 偏差の伝播特性に系統的な変化を生じた。本研究は、これらの ENSO のレジーム変化が典型的な ENSO である Cold-Tongue (CT) タイプの性質変化に起因すること、および中部赤道太平洋に SST 偏差の中心をもち CT ENSO とは異なる Warm-Pool (WP) タイプ ENSO の出現頻度増大に関連することを示す。ENSO レジーム変化にともなう上記2つのタイプの

ENSO の現れ方の違いは、背景の強い10年規模変動を取り除くことで明瞭となる。1970年代以降、WP ENSO は発達期の弱い東進、減衰期の西進を示し、CT ENSO の4-5年周期に比べ2-3年と周期が短い。観測データからは、WP と CT がそれぞれ準2年および準4年の周期性をもつ独立な熱帯太平洋の気候変動であること、またエルニーニョあるいはラニーニャが2つのタイプに分離可能になった1970年代後半以降にはそれらが共存していたことが示唆される。

## 石岡圭一：順圧不安定からの擾乱発達に対する2つの上限値の同一性の証明

Keiichi ISHIOKA: A Proof for the Equivalence of Two Upper Bounds for the Growth of Disturbances from Barotropic Instability

ある過去の研究において、回転球面上の2次元非圧縮流体における帯状流の順圧不安定からの擾乱発達に対して2つの上限値計算手法が提案され、それら2つが同一の値を与えるのではないかという予想がなされていた。その手法の一方は領域平均された擬運動量密度の保存に基づくもので、もう一方は全てのカシミア保存量と全絶対角運動量の保存の束縛のもとで最小化

問題を解くものであった。本論文では、この予想に対する解決、すなわち、この同一性に対する証明を与える。この証明には、開発された焼きなましに似た手続きによって、上限値に対応する絶対渦度分布に到達できることを用いている。さらに、この証明の過程で導入される手続きは、上限値に対するより効率的な計算法も与えるものである。