

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

第84巻 第6号 2006年12月 目次と要旨

論 文

- 井上 (吉川) 久幸・松枝秀和・五十嵐康人・澤 庸介・和田 晃・根本和宏・  
Hartmut SARTORIUS・Clemens SCHLOSSER：つくばで観測された  
大気中の CO<sub>2</sub> と <sup>85</sup>Kr の季節変化と長期変動 ……………959-968
- 長澤亮二・岩崎俊樹・浅野正二・斉藤和雄・岡本 創：ヤマセに伴う下層雲の  
生成・発達シミュレーションにおける非静力学モデルの水平解像度依存性 ……………969-987
- M. Venkat RATNAM・津田敏隆・森 修一・古津年章：全球および  
局所スケールの波動擾乱による対流圏界面付近の温度構造の変動  
—ラジオゾンデと CHAMP/GPS 掩蔽の同時観測による事例解析—……………989-1003
- 吉田幸生・浅野正二・岩波 越：3 波長レーダ及びマイクロ波放射計を用いた  
水雲・氷雲・混合相雲微物理特性の導出 ……………1005-1031
- 藤部文昭・山崎信雄・小林健二：日本における大雨と少雨の長期変化 (1901~2004年) ……1033-1046
- 古林絵里子・内山明博・山崎明宏・松瀬光太郎：最尤法を適用した  
解析ソフトによる放射観測からのエアロゾル光学特性の解析 ……………1047-1062

要報と質疑

- 森脇 亮・神田 学：住宅街キャノピーにおけるスカラー粗度パラメータ ……………1063-1071
- 田中 博・野原大輔・Hi-Ryoung BYUN：簡単 2 次元モデルによる韓国 Ice Valley の  
風穴循環の数値実験 ……………1073-1084
- 石原正仁・加藤美雄・阿保敏広・小林健二・泉川安志：気象庁の  
現業用ウィンドプロファイラ網の特性と性能 ……………1085-1096
- 学会誌「天気」の論文・解説リスト (2006年 9 月号・10月号) ……………1097
- 英文レター誌 SOLA の論文リスト (2006年 124-159) ……………1098
- 気象集誌次号掲載予定論文リスト ……………1099
- 気象集誌投稿同意書 ……………1101-1102
- 第84巻 (2006) 総目次 ……………1103-1110
- 索引：A. 著者別索引 ……………1111-1130
- 索引：B. 主題別索引 ……………1131-1134

.....◇.....◇.....◇.....

井上 (吉川) 久幸・松枝秀和・五十嵐康人・澤 庸介・和田 晃・根本和宏・Hartmut SARTORIUS・Clemens SCHLOSSER : つくばで観測された大気中の CO<sub>2</sub> と <sup>85</sup>Kr の季節変化と長期変動

Hisayuki Y. INOUE, Hidekazu MATSUEDA, Yasuhito IGARASHI, Yosuke SAWA, Akira WADA, Kazuhiro NEMOTO, Hartmut SARTORIUS, and Clemens SCHLOSSER : Seasonal and Long-Term Variations in Atmospheric CO<sub>2</sub> and <sup>85</sup>Kr in Tsukuba, Central Japan

つくばにある気象研究所で測定した大気中の CO<sub>2</sub> と <sup>85</sup>Kr 濃度の季節変化と長期的な傾向を比較し、それらに輸送が果たす役割について議論した。大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は、1992年2月以降、気象研鉄塔地上200 m で測定している。また <sup>85</sup>Kr 濃度は、1995年5月以降、ほぼ1週間ごとに測定を行っている。<sup>85</sup>Kr は半減期が10.8年の希ガスであり、核燃料再処理などにより大気中の濃度は増加している。つくばにおいては、<sup>85</sup>Kr 濃度は全球的な分布と長距離輸送を反映して、夏に濃度が低く、冬に高くなることが知られている。一方つくばで観測される CO<sub>2</sub> は、基本的には北半球中高緯度と同じ季節変化、春(4月後半)に高く夏(8月後半-9月前半)に低いパターンを示す。この季節変化の振幅や位相の年々変動は、測定地点周辺の影響と長距離輸送の影響を受けるためである。1995年から2003年までの平均では、<sup>85</sup>Kr の季節変化の位相は CO<sub>2</sub> に先行して生じていることが分かり、特に夏の間、CO<sub>2</sub> は <sup>85</sup>Kr に比べて濃度が低くなる期間が2週間程度長

いことが分かった。また夏の CO<sub>2</sub> と <sup>85</sup>Kr 濃度の間には、強い負の相関が認められた。このことは、起源の異なる空気塊が、季節変化の年々変動に大きな役割を果たしていることを示すもので、観測に基づき大気・植生間の CO<sub>2</sub> フラックスを議論する際に、考慮すべき要因であることを示している。また春の CO<sub>2</sub> 極大と <sup>85</sup>Kr 濃度については両者の間に明瞭な関係が認められなかった。これは春季には相対的に輸送の役割が少ないことが影響しているのかも知れないが、議論するためには(ベースライン観測所などで得られるよりも)より詳細な CO<sub>2</sub> 空間分布に関する情報が必要である。また CO<sub>2</sub> と <sup>85</sup>Kr の長期的な傾向についても、両者の間に明瞭な関係が認められなかった。つくばでの <sup>85</sup>Kr の年々の増加は、主にヨーロッパでの <sup>85</sup>Kr 放出量で説明されることが報告されている。<sup>85</sup>Kr 放出量が年々大きく変動していることが CO<sub>2</sub> と異なる増加率パターンを示す原因として考えられた。

長澤亮二・岩崎俊樹・浅野正二・斉藤和雄・岡本 創 : ヤマセに伴う下層雲の生成・発達シミュレーションにおける非静力学モデルの水平解像度依存性

Ryoji NAGASAWA, Toshiaki IWASAKI, Shoji ASANO, Kazuo SAITO, and Hajime OKAMOTO : Resolution Dependence of Nonhydrostatic Models in Simulating the Formation and Evolution of Low-Level Clouds during a "Yamase" Event

非静力学モデル(以下NHM)を用いてヤマセの下層雲の数値実験を行なった。ヤマセの下層雲は典型的な海上下層雲であり、夏季に三陸(北日本の東部)沖にしばしば出現する。実験期間はヤマセによる冷涼な天候が顕著であった1993年7月から8月である。当時の全球客観解析データにネスティングした40キロメートルメッシュのNHM(NHM40)は、側面境界の緩和領域を広めにとることにより1か月間積分すること

ができ、総観場がよく再現された。

NHM40の結果を元に、ヤマセの下層雲の雲生成・発達過程と構造を調べるため多段ネスティングを行った。再現された下層雲の雲形成・維持メカニズムはもとより分布、形状・雲量・雲水量などの特性は水平解像度に大きく依存した。水平解像度100メートルメッシュの高解像度NHM(NHM01)は、衛星画像にみられる下層雲の対流性の構造を再現できた。さらに、

再現された下層雲の積算雲水量は他の事例のヤマセの観測結果に近かった。これは、NHM01が下層雲の特性をよく再現したことを意味する。一方、水平解像度10キロメートルメッシュの低解像度実験 (NHM10) では、混合層内が湿り過ぎる、観測と比較すると混合層高度が低すぎる、混合層内の下層雲の積算雲水量が過大評価される、等の問題があった。その理由として、NHM10では雲放射-雲形成相互作用がNHM01

と比較して効き過ぎることが挙げられる。またNHM10の放射・凝結・蒸発加熱率の鉛直プロファイルは、NHM01によるものと傾向が異なっていた。以上から、NHM10に代表される低解像度モデルには、下層雲の再現性を向上させるため、部分凝結スキームや適切な浮力生成項のスキームのパラメタリゼーションを導入すべきであると考えられる。

#### M. Venkat RATNAM・津田敏隆・森 修一・古津年章：全球および局所スケールの波動擾乱による対流圏界面付近の温度構造の変動—ラジオゾンデとCHAMP/GPS 掩蔽の同時観測による事例解析—

M. Venkat RATNAM, Toshitaka TSUDA, Shuichi MORI, and Toshiaki KOZU: Modulation of Tropopause Temperature Structure Revealed by Simultaneous radiosonde and CHAMP GPS Measurements

インドネシア西スマトラの Koto Tabang (0.2°S, 100.32°E) において2002年11月に行われたラジオゾンデ集中観測結果、ならびにCHAMP衛星のGPS掩蔽データを用いて、対流圏上部から成層圏下部の高度層におけるケルビン波の特性を解析した。なお、GPS掩蔽データについては東西波数が1と2のケルビン波成分のみを仮定した温度変動 (TF') を解析した。対流圏界面 (約16.5 km) より上層ではラジオゾンデとGPS掩蔽の解析結果は一致したが、対流圏内では明らかな差異が認められた。これは、対流圏では東西波数が3以上の波動成分が卓越するせいだと思われる。そのため、Koto Tabang 付近で  $T_F'$  からの温度偏差分 ( $T_R'$ ) を求めた。 $T_F'$  と  $T_R'$  を合わせたGPS掩蔽解析は、対流圏においても気球観測と比較的良く一致した。

長波放射 (OLR) の衛星データをもとに雲頂分布を調べたところ、積雲対流がインド洋から東に向かい

2002年11月18-19日に Koto Tabang に到達していた。同時期にこの経度帯において、対流圏界面付近で東西波数が4のケルビン波的擾乱が大きくなり、OLRと対応した東方伝播が認められた。

このキャンペーン観測時に対流圏界面の温度構造は大きく変動しており、極小温度高度が高度16.5 km から19 km に不連続にジャンプした。これは東西波数が1-2の全球規模のケルビン波、ならびに特定の経度帯に偏在した高波数の波動擾乱の重畳効果であると思われる。

1点でのラジオゾンデ観測では温度擾乱の水平構造が解明できないが、GPS掩蔽データと組み合わせることでケルビン波の水平伝播特性を解明できることが分かった。なお、この事例ではインド洋からインドネシア域の積雲対流が全球および局所規模のケルビン波の励起に深く関わっていることが示唆された。

#### 吉田幸生・浅野正二・岩波 越：3波長レーダ及びマイクロ波放射計を用いた水雲・氷雲・混合相雲微物理特性の導出

Yukio YOSHIDA, Shoji ASANO, and Koyuru IWANAMI: Retrieval of Microphysical Properties of Water, Ice, and Mixed-Phase Clouds Using a Triple-Wavelength Radar and Microwave Radiometer

3波長レーダ (Xバンド, Kaバンド, Wバンド) とマイクロ波放射計とを組合わせた地上観測から雲微物理量の鉛直構造を導出するアルゴリズムを開発した。本アルゴリズムは、雲粒子の混合状態に依存せ

ず、非降水性の水雲・氷雲・混合相雲の全てに対して適用できるといった特徴を持っている。雲内におけるレーダ波の散乱過程を厳密に扱うため、従前の研究で無視される事の多かった氷晶の非球形性、及び、氷晶

の散乱によるレーダ波の減衰を考慮している。なお、氷晶は六角柱形とし、複数のアスペクト比を考慮した。一方で、本アルゴリズムでは雲内における氷晶の融解過程、および降水を考慮せず、水蒸気プロファイルが測定期間中にほぼ定常状態にあることを仮定している。本アルゴリズムで必要とされるレーダ間の相互校正精度は $\pm 0.1$  dB以内であるが、これは現状のレーダ観測の不確定性と同程度の大きさである。3つのレーダ波長に対する雲粒と氷晶の散乱・減衰特性の違いを利用して、まずは対象とする雲層内における雲粒子の混合状態を識別する。雲層が雲粒のみ、もしくは氷晶のみで構成されていた場合には、広く用いられている2波長法に類する手法で雲粒子の有効半径と雲

水量（雲水量）を推定する。但し、氷晶のみの場合にはさらに氷晶の非球形性の指標となる相当アスペクト比を同時に推定する。雲層が雲粒と氷晶が混在する混合相状態の場合には、各雲層内の氷晶のアスペクト比を仮定して微物理量推定を行い、レーダ・マイクロ波放射計の観測値を満たす微物理量の鉛直構造を、各雲層内のアスペクト比の仮定を変えながら推定する。Vertically Pointing Measurements, Tsukuba, 2001 (VPM\_TKB01) で得られたデータに本アルゴリズムを適用した。氷雲に対して得られた微物理量の鉛直構造の様相は、検証するための直接観測データはないものの、従来の観測結果と良い対応を示し、本アルゴリズムの有用性が示された。

### 藤部文昭・山崎信雄・小林健二：日本における大雨と少雨の長期変化（1901～2004年）

Fumiaki FUJIBE, Nobuo YAMAZAKI, and Kenji KOBAYASHI: Long-Term Changes of Heavy Precipitation and Dry Weather in Japan (1901-2004)

国内51地点の104年間（1901～2004年）の日降水量資料を使って、大雨の強さ・頻度の長期変化を調べた。解析には降水量・降水頻度それぞれに基づいて設定した各10個の降水階級、および大雨の尺度として100 mm以上の日数、年最大降水量、累年の上位100事例の発現頻度などを使った。得られた結果によると、これらの尺度に基づく大雨の頻度は上記104年間に増加している。1次回帰によるトレンドは、全体の上位10%に対応する降水量については2.3%/(10年)、累年の上位100事例の発現頻度については2.6%/(10年)である。増加率は地域的には西日本、季節的には

秋に大きい、他の地域や季節にも弱いながら増加傾向がある。しかし大雨の基準を緩めて50 mm以上の日数や累年上位1000事例の発現頻度を見ると、増加傾向は認められない。

また、5日間、11日間および31日間降水量についても解析を行い、少雨に関する指標の長期変化も調べた。その結果によると、少雨の頻度は104年間に増加している。降水量1 mm未満の日数はすべての季節で全国的に増加し、平均的な増加率は0.4-0.7%/(10年)である。31日間降水量の下位1%に相当する事象の頻度は10%/(10年)の率で増加し、ほぼ倍増している。

### 古林絵里子・内山明博・山崎明宏・松瀬光太郎：最尤法を適用した解析ソフトによる放射観測からのエアロゾル光学特性の解析

Eriko KOBAYASHI, Akihiro UCHIYAMA, Akihiro YAMAZAKI, and Kohtaro MATSUSE: Application of the Statistical Optimization Method to the Inversion Algorithm for Analyzing Aerosol Optical Properties from Sun and Sky Radiance Measurements

現在、エアロゾルの光学特性の把握のため、スカイラジオメーターを用いた放射観測を行っている。このデータ解析ソフトの一つにSkyrad package (SKYRAD.pack)がある。1996年の初期版以来、その解析手法の改良が繰り返されてきて、内容がとても複雑となってきた。そこで、今回は、今後の解析手法

の改良を容易にするため、inversion methodについて誤差の分布が正規分布に従うとして最尤法を適用した解析ソフトに書き換えを行った。この解析ソフトは、体積粒径分布、複素屈折率を推定することができる。書き換えを行った新しい解析ソフトを、エアロゾルモデルを用いたシミュレーションデータを使って解

析精度の検証を行ったところ、従来の SKYRAD. pack と比べて、粒径分布に関しては比較的精度良く、安定に解析できることが分かった。また、実際の観測

データによる解析も行った結果、新しい解析ソフトは SKYRAD.pack よりも安定に動作し、両者の解析結果には大きな差は無い事を確認した。

### 森脇 亮・神田 学：住宅街キャノピーにおけるスカラー粗度パラメータ

Ryo MORIWAKI and Manabu KANDA : Scalar Roughness Parameters for a Suburban Area

自然生態系に比べ都市域においてはスカラーの粗度に関する研究が非常に少ない。そこで東京の住宅街で行った1年間のフラックス観測から、各種地表面パラメータ（運動量粗度・熱粗度・水蒸気粗度・蒸発効率）を算出し報告した。主な結果は以下のとおりである。(1) 熱粗度に対する運動量粗度の比である  $kB_T^{-1}$  は平均で7となった。この値は植生や裸地などで報告されている値よりも大きく、また都市域で唯一報告さ

れている軽工業地域の値よりは小さい。また  $kB_T^{-1}$  には季節依存性・時間依存性がみられた。(2) 水蒸気粗度に対する運動量粗度の比である  $kB_q^{-1}$  は40~600程度の値となった。 $kB_q^{-1}$  は冬季に小さくなる傾向があり、飽差が小さくなることと対応している。(3) 蒸発効率  $\beta$  は0.02~0.3程度の値となった。 $\beta$  は降雨後の経過日数とともに低減していき、降雨後7日以降は0.02~0.1の間で変動する。

### 田中 博・野原大輔・Hi-Ryoung BYUN：簡単2次元モデルによる韓国 Ice Valley の風穴循環の数値実験

H. L. TANAKA, Daisuke NOHARA, and Hi-Ryoung BYUN : Numerical Simulation of Wind Hole Circulation at Ice Valley in Korea Using a Simple 2D Model

本研究では、韓国の Ice Valley における夏季氷結現象を、観測による外気温を与えた簡単2次元モデルを用いて数値的に再現することを試みた。韓国の Ice Valley は有名な避暑地であり、ここでは春から夏に斜面で氷が形成され、秋から冬にはそれが消えるという現象が見られることから、国の天然記念物に指定されている。興味深いことに、春季に外気温が高ければ高いほど、この氷は大きく成長する。この謎めいた夏季氷結現象を解明するために、これまでに一連の数値実験が行われ、その結果、季節的に反転する風穴循環に立脚した対流説でこの現象が説明できることが示されている。本研究では、最近の現地観測で得られた新たな知見により、これまでのモデルを改良し、その結果を韓国 Ice Valley や日本の中山風穴での観測結果

と比較した。

数値実験の結果によると、春季に外気温が上昇すると夏季の風穴循環が強まり、崖錐（がいすい）内部の下向きの流れが強化される。その下降流は、崖錐内部に冬季に蓄積された寒気を斜面下部にある冷風穴まで押し出す働きをする。その結果、春季に外気温が高ければ高いほど崖錐内部からの寒気移流により、冷風穴の氷は成長することになる。崖錐内の風穴循環速度は4月には17 mm/s程度となり、この場合の空気の滞留時間は2.8時間と見積もられた。季節的に反転する風穴循環は、冬季の寒気を崖錐内に効率よく取り込む自然界の熱フィルターの役割を演じており、これが夏季氷結の本質的メカニズムであることが示された。



石原正仁・加藤美雄・阿保敏広・小林健二・泉川安志：気象庁の現業用ウィンドプロファイラ網の特性と性能.

Masahito ISHIHARA, Yoshio KATO, Toshihiro ABO, Kenji KOBAYASHI, and Yasushi IZUMIKAWA : Characteristics and Performance of the Operational Wind Profiler Network of the Japan Meteorological Agency

気象庁は2001年4月にウィンドプロファイラ網“WINDAS”の運用を開始した。WINDASを構成する31の1.3GHzウィンドプロファイラのうち、北海道から九州までのウィンドプロファイラは平均130 kmの高い空間密度で配置されている。WINDASは厳しいデータ品質管理により高い測定精度で高層風を観測するとともに、システムの安定運用により高い運用実績を維持している。観測到達高度は夏季6-7 km, 冬季3-4 km, 通年平均で5.3 kmである。WINDASを運用する主目的は、気象庁の数値予報に高層風のデータを初期値として供給することであり、特にメソモデ

ルMSM(2004年までは静力学モデル, 2004年からは非静力学モデル)を対象としている。現在、WINDASのデータは気象庁のすべての数値モデルに4次元変分法により同化されている。統計解析及び事例解析によりWINDASのデータはメソスケール現象のうち、特に大雨の事例についてMSMの予報精度を向上させていることが立証された。WINDASのデータはGTS回線によりリアルタイムで世界に配信されている。運用の初年度には渡り鳥によってデータに障害が発生したが、除去アルゴリズムを開発することでこの問題を実質的に解決した。