

2002年春季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会春季大会(さいたま)3日目(5月24日)のセッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会が学会会場の大宮ソニックシティ4階会議室にて行われた。出席者は約40名であった。前半においては、極渦変動に関する一般講演が行われた。冬季から春季に現れる周極渦によって極域成層圏は孤立し低温となり、特に南極ではオゾンホールが形成される一因となる。強い極夜ジェットを境界とする極渦内外の気象交換は、主にプラネタリー波の砕波に伴って形成される微細構造を介して行われると考えられている。今回は、極渦縁辺領域に見られる微細構造と物質分布に関する最新の研究を2名の方に紹介して頂いた。後半では、先の冬に行われた北極海の観測の報告を、やはり2名の方にして頂いた。初めに、日本から北極点、ノルウェーまで圏界面付近を通った航空機観測に関する報告が行われた。この観測は1998年に続き2度目の試みで、極渦との相対的な位置に対する対流圏一成層圏間の物質輸送などを考察する目的で行われたものである。次に、低温な対流圏上部から成層圏でのゾンデによる水蒸気観測の精度・頻度向上を目指した取り組みとして、ノルウェーでのSnow Whiteによる観測の結果を紹介していただいた。以下に、各講演者から寄せられた要旨を紹介する。

世話人：

平沢尚彦(国立極地研究所)
 中村 尚(東京大学理学部)
 浮田甚郎(米国航空宇宙局)
 高田久美子(地球フロンティア研究システム)
 阿部彩子(東京大学気候システム研究センター)
 佐藤 薫(国立極地研究所)
 本田明治(地球フロンティア研究システム)
 齋藤冬樹(東京大学気候システム研究センター)
 高谷康太郎(地球フロンティア研究システム)

© 2002 日本気象学会

1. 極渦縁辺領域の微細構造と物質混合

1.1 「極渦を想定した流れにおけるカオス移流による微細構造の生成」

水田 亮(京都大学大学院理学研究科)

冬の成層圏の極渦は、緯度60度付近に極大をもつ極夜ジェットにより形成されている。極渦の縁にあたる極夜ジェットは南北輸送の障壁になっており、それを横切る物質輸送は非常に少ない。またその周辺では、空気塊が東西方向に強く引き伸ばされて非常に細かい構造を持っており、大きなスケールで見てよく攪拌、混合されている(例えばBowman, 1993; Chen, 1994)。このような極渦周辺の混合過程や輸送障壁について、2粒子間の距離が指数関数的に増加するというカオス移流の性質の観点から調べた。

まず、回転球面上の2次元非圧縮流体モデルを用いて成層圏の極渦を理想化した状況を再現して調べた(Mizuta and Yoden, 2001)。順圧不安定となるジェットを強制として与えて極渦が時間的に変動するようにした。極渦が周期的に変形しながら回転する準周期解の中で多数の流体粒子の移流計算をおこなったところ、空気塊は最初に短時間で西風ジェットの南北シアーにより東西方向に大きく引き伸ばされ、途中でいたる所で折り曲げを受け、そして何重にも折りたたまれる様子が見られた。この引き伸ばしと折りたたみの繰り返しによる典型的なカオスの混合で広範囲に粒子が混合されていた。過去の研究と同様、極渦の縁付近に明確な輸送の障壁が存在していたが、ポアンカレ断面図や有限時間リアプノフ指数といった解析手法を用いることにより、輸送障壁や混合領域の正確な位置を特定することができた。それによって極渦の内側には別種の輸送障壁の構造が存在していることがわかり、また東西方向の強い引き伸ばしによるフィラメント状の微細な構造の形成は極渦の外側でより多く見られた。この2点についてさらに検討をおこなった。

フィラメント状の微細な構造が短時間でつくられる

過程については、Polvani and Plumb (1992), Joseph and Legras (2002) などで調べられているが、ここではその形成条件について、同じ2次元モデルでパラメータ実験をおこなって調べた。ジェット幅を決めるパラメータを変えると、非周期的で細かいスケールの構造をもった流れや、周期性をもって空間的にも滑らかな変化をする流れが得られた。Neufeld *et al.* (2000)が化学トレーサーについて調べた方法を応用することにより、リアプノフ指数と緩和定数の大小によってそれらの性質が決定されることが示された。リアプノフ指数が緩和定数より大きくなる流れの中では、流れ場によってより短時間でフィラメント状の細かい構造が作り出され、時間方向に非周期的な流れ場が形成される。逆の場合には、非保存項の作用により常に滑らかな分布の周期的な渦度場が維持されていた。

また極渦の内部での輸送・混合過程については、UKMO (英国気象局) の4次元同化データから得られる等温位面上の風の分布を用いて、南半球上部成層圏における真冬の様子をコンターアドベクション (仮想的な物質線の移流) などの手法で調べた (Mizuta and Yoden, 2002)。この領域では周期約4日で東進する不安定波がしばしば見られる。この波がよく見られるときには極渦の内側でも効率のよい混合過程が存在していた。有限時間リアプノフ指数は外側での値に近いぐらいの高い値を持っている場所があり、物質コンターは時間とともに指数関数的に伸びることが確かめられた。一方同じ場所でも波動が見られない年には、物質コンターは時間とともに線形的に近い伸びを示し、混合は小さかった。このような混合の強さの年による大きな変動は、その場所でのポテンシャル渦度擾乱の強さの年々変動と良い相関が見られた。

1.2 「極渦縁辺領域に捕捉された小規模波動擾乱」

富川喜弘 (東京大学先端技術研究所)

中緯度ジェットのとや極側の対流圏界面付近に卓越する中間規模波動は、この領域に存在する大きな渦位勾配に捕捉された中立モードと解釈されている。冬季成層圏に卓越する極渦は、その境界領域に中緯度対流圏界面同様大きな渦位勾配を持つことから、極渦境界領域には中間規模波動と類似の捕捉波が存在することが期待される。そこで、1979~93年の15年分のECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 再解析データを用いて、極渦境界

領域の捕捉波の存在の有無、およびその力学特性を調べた。解析では、極渦内外を明確に区別するため、温位・等価緯度座標系での記述や変形ラグランジュ平均などの手法を用いた。その結果、両半球の極夜ジェットのピーク付近 (ほぼ渦位勾配の極大に相当) には、東西波長2000 km程度、周期1日以下のほぼ順圧な構造を持つ東進性波動が卓越することがわかった。この東進性波動は、南北方向には節なし型で、渦位勾配が大きいほど背景風から見た西向き位相速度が大きいことから、極渦境界付近の渦位勾配の極大に捕捉された波動であると考えられる。この波動は、南北物質輸送の強い障壁となっている極渦境界付近に長時間滞在し、その領域で最大振幅を持つことから、極渦内外の大気交換過程に寄与している可能性がある。

2. 2002年冬季北極観測報告

2.1 「北極航空機観測 (AAMP02)」

山内 恭, 平沢尚彦 (極地研究所)

2002年3月に「Arctic Airborne Measurement Program 2002 (AAMP02)」と題した、国際共同観測を行った。北極域で数年来行ってきたAAMP98, ASTAR2000に続く一連の観測であり、科学研究費特定領域研究「北極対流圏・成層圏物質の変動と気候影響」に基づいている。本観測は、ジェット機を使った成層圏高度における長距離ルート (日本ーアラスカースパルバル往復) 上での物質、放射の測定と、ノルウェー海域での低気圧構造の観測を大項目としている。基本的なデータを共有し得る複数の研究目的に応じて、幾つかの大学や研究所のグループ (国立極地研, 北大理, 北大工, 東北大, 環境研, 名古屋大, アルフレッド・ウェゲナー極地研 (AWI) 等) が共同で行ったものである。

目的は、(1)温室効果気体やエアロゾルの空間分布、長距離輸送、変質を成層圏や対流圏における循環、成層圏ー対流圏交換や極渦との関連で明らかにすること。(2)対流圏上部および成層圏におけるエアロゾルの光学的特性を明らかにし、大気ー地表面系に対する放射強制力を評価すること。(3)大気擾乱、特に極低気圧 (polar low) の構造、振る舞いを明らかにすること。そして、(4)以上を通じて、これらの北極域および地球規模の気候影響を明らかにすることである。微量気体としてCO₂, O₃などの他、世界的にもまだ数少ないデータであるSF₆やO₂/N₂比を測定し、エアロゾルの光学的性質としてサンフォトメータ、またエアロ

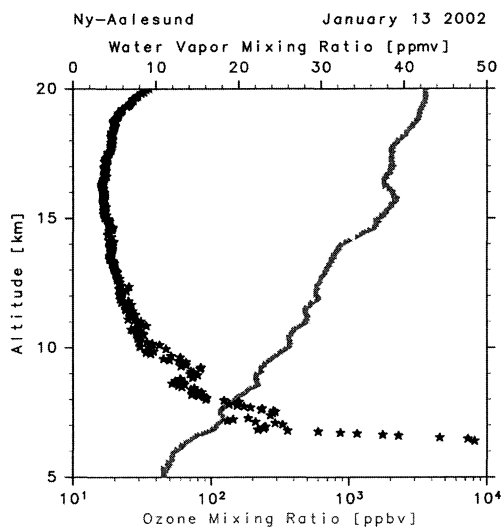
ゾルの濃度や成分の測定を行った。その他、ドロップゾンデの観測を適宜行っている。

飛行期間中は、ベーリング海から北極海に掛けてブロッキング高気圧が形成された。このブロッキングは、対流圏のみならず成層圏にまで影響を及ぼし、鉛直的に深い循環を引き起こしていた。日本からの往路は、ブロッキング高気圧の発達時期にあたり、北極海上空に中緯度の大気を盛んに送りこんでいる。一方、復路は高気圧が北極海上空に切離され、孤立した気団として北極海域を漂っている状況として見る事が出来そうであった。測定データには、こうした総観場が引き起こしていると考えられる物質輸送に関わる結果が幾つか記録されている。今後の気象学会でも報告されていくであろうし、98年の成果も合わせて、北極域の下部成層圏を舞台にしている物質の輸送、変質過程の理解が進むものと期待している。

2.2 「Snow White At Ny-Aalesund (SWAN2002)」—北極における水蒸気ゾンデ観測キャンペーンの速報

藤原正智 (京都大学宇宙電波科学研究センター, 日本学術振興会特別研究員 PD),
柴田 隆 (名古屋大学大学院環境学研究科),
Roland Neuber (Stiftung Alfred-Wegener-Institut fuer Polar- und Meeresforschung ; Koldewey-Station, Ny-Aalesund)

上部対流圏から成層圏領域における水蒸気測定は、現代においても技術的に容易ではなく、測定機器開発および測定性能の比較検討等に関して様々な努力が続けられている (e.g., Kley *et al.*, 2000). スイスの Meteolabor (メテオラボ) 社では、1996年から、ラジオゾンデ・ゴム気球搭載用の鏡面冷却方式露点・霜点温度計 (商品名 “Snow White”) を開発・販売してきている。本稿第一著者は共同研究者とともに Soundings of Ozone and Water in the Equatorial Region (SOWER) という観測プロジェクトにおいて、2000年初頭から、東部・中部・西部赤道太平洋域において、Snow White を Vaisala RS80 ラジオゾンデと組み合わせた観測を実施し、Snow White の測定性能評価および改造提案を行ってきている (藤原ほか, 2002; Fujiwara *et al.*, 2002; Vömel *et al.*, 2002). これまでに、気温 -50°C (熱帯では高度 12 km) までは、Snow White と Vaisala H-Humicap 相対湿度計の測定はよく一致していること、Vaisala A-Humicap 相対湿度

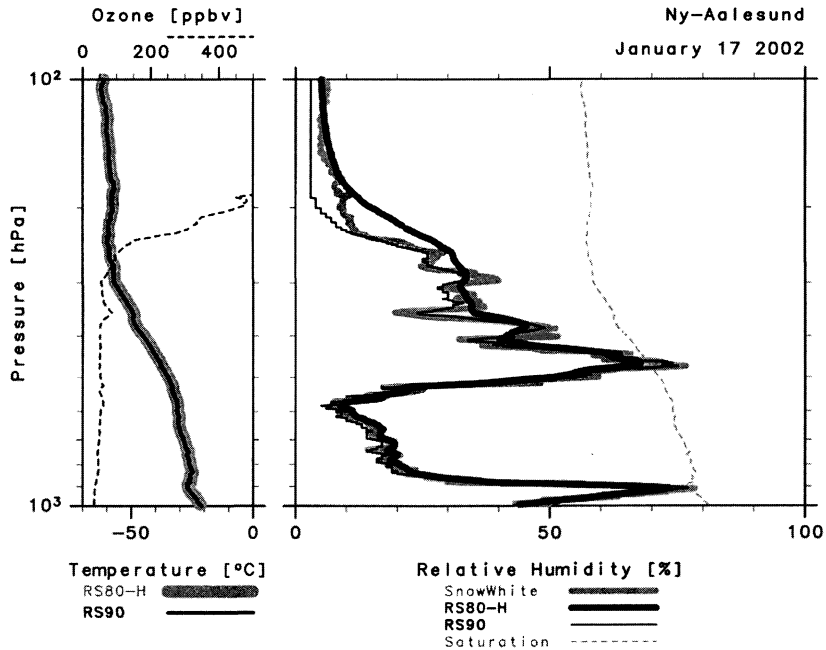


第1図 2002年1月13日のニーオルスンにおける水蒸気 (黒星) とオゾン (灰三角) の混合比高度分布。

計 (2000~2001年のプロダクト) には 2 種類の dry bias error が見られること、Snow White の熱帯対流圏界面領域以高における測定はまだ安定しておらず改良が必要なこと、などが明らかになってきている。

この Snow White 水蒸気計を極域大気環境下で試してみることを目的として、Snow White At Ny-Aalesund (SWAN2002) が計画・実施された。2002年1月に北極海のノルウェー領スピッツベルゲン島のニーオルスン村にあるドイツの Koldewey 観測所において、2日おきに3回の Snow White 観測が実施された。熱帯での観測と同様、RS80ラジオゾンデとラジオゾンデを組み合わせて TOTEX TX2000ゴム気球を用いて成層圏中層約高度 35 km まで飛揚させた。また、第2, 3回目の観測では、Vaisala 社の新しいラジオゾンデ RS90も同じ気球で飛揚させ、同時測定を実施した。

第1図に、1月13日 (第1回目) の観測による、高度 5 km から 20 km までの水蒸気とオゾンの混合比分布を示す。この日は対流圏界面が高度 6 km と大変低い位置にあった。13.5 km から 19 km までの領域において、水蒸気混合比値が 4-5 ppmv で一定ともっともらしい結果を示している。さらに、6 km から 10 km においては水蒸気とオゾンが反相関を示している。なお、19 km 以高においては、明らかに現実的ではない高すぎる水蒸気混合比値を示していた。しかし、他の 2 回



第2図 2002年1月17日のニーオルスンにおける観測結果。左のパネルは、気温 (RS80による測定を灰太線, RS90による測定を黒細線) とオゾン混合比 (点線)。右のパネルは、液体の水に対する相対湿度 (Snow White による測定を灰太線, RS80 H-Humicap による測定を黒太線, RS90による測定を黒細線) と水飽和相対湿度曲線 (灰点線)。

の観測では、10 km 以上の水蒸気混合比値は現実的とは言えなかった。従って、熱帯だけでなく極域においても、Snow White の対流圏界面領域で高い測定は安定しておらず、改良が必要であることが確認された。

第2図に、1月17日(第3回目)の観測による、Snow White, RS80 H-Humicap, RS90の相対湿度計の同時測定結果を示す。RS90に搭載されている相対湿度計は、2機のH-Humicapで構成されており、観測中に交互に加熱されることにより雲内での氷結を防ぐ工夫が施されている。ただし、RS80 H-Humicap と比べると個々のH-Humicapはより小型になっているため、測定時定数がより短い可能性がある。Snow White の測定値を基準として見ると、RS80 H-Humicap は気温 -50°C (気圧高度400 hPa) まではSnow White とよく一致しているが、それより上空では層状構造をとらえられなくなってきている。これは水蒸気が低濃度になるに従って測定時定数が長くなってしまふことに起因している。一方、RS90は対流圏界面付近(200~300 hPa)まで、Snow White が示している層状構造をよくとらえている。以上の結果から、RS80よりもRS90の

相対湿度計の方が特に上部対流圏において性能が良いことが示唆され、また、各種ラジオゾンデ相対湿度計の測定性能の評価を行う際にSnow White を参照機器として利用できることが確認された。

最後に、観測実施にあたり、国立極地研究所と Alfred-Wegener-Institut, 特に Koldewey 観測所職員の方々に大変お世話になりました。また、SOWER のメンバー、特に Holger Vömel 氏、塩谷雅人氏、長谷部文雄氏からも支援を頂きました。

謝 辞

本会の開催に当たって、大会実行委員会、講演企画委員会には大変お世話になりました。また、講演を快く引き受けていただきました諸氏に感謝申し上げます。

参 考 文 献

Bowman, K. P., 1993: Large-scale isentropic mixing properties of the Antarctic polar vortex from analyzed winds, *J. Geophys. Res.*, **98**, 23013-23027.

- Chen, P., 1994 : The permeability of the Antarctic vortex edge, *J. Geophys. Res.*, **99**, 20563-20571.
- 藤原正智, 塩谷雅人, 長谷部文雄, H. Vömel, S. J. Oltmans, P. W. Ruppert, 柴田隆, 2002 : Snow White による対流圏~下部成層圏領域の水蒸気観測, 特定領域研究 B 成層圏力学過程とオゾンの変動およびその気候への影響, 平成13年度公開シンポジウムプロシーディングス, 38-43.
- Fujiwara, M., M. Shiotani, F. Hasebe, H. Vömel, S. J. Oltmans, P. W. Ruppert, T. Horinouchi and T. Tsuda, 2002 : Performance of the Meteolabor "Snow White" chilled-mirror hygrometer in the tropical troposphere : Comparisons with the Vaisala RS80 A/H-Humicap sensors, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, submitted.
- Joseph, B. and B. Legras, 2002 : Relation between kinematic boundaries, stirring, and barriers for the Antarctic polar vortex, *J. Atmos. Sci.*, **59**, 1198-1212.
- Kley, D., J. M. Russell III and C. Phillips, ed., 2000 : SPARC assessment of upper tropospheric and stratospheric water vapour, WCRP 113, WMO/TD No. 1043, SPARC Report No. 2, 312 pp.
- (<http://www.aero.jussieu.fr/~sparc/>)
- Mizuta, R. and S. Yoden, 2001 : Chaotic mixing and transport barriers in an idealized stratospheric polar vortex, *J. Atmos. Sci.*, **58**, 2616-2629.
- Mizuta, R. and S. Yoden, 2002 : Interannual variability of the 4-day wave and isentropic mixing inside the polar vortex in midwinter of the Southern Hemisphere upper stratosphere, *J. Geophys. Res.*, accepted.
- Neufeld, Z., C. López, E. Hernández-García and T. Tél, 2000 : Multifractal structure of chaotically advected chemical fields, *Phys. Rev. E*, **61**, 3857-3866.
- Polvani, L. M. and R. A. Plumb, 1992 : Rossby wave breaking, microbreaking, filamentation, and secondary vortex formation : the dynamics of a perturbed vortex, *J. Atmos. Sci.*, **49**, 462-476.
- Vömel, H., M. Fujiwara, M. Shiotani, F. Hasebe, S. J. Oltmans and J. E. Barnes, 2002 : The behavior of the Snow White chilled-mirror hygrometer in extremely dry conditions, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, submitted.



一覧表

平成15年度 RITE 国際研究交流事業海外研究者招聘事業・国内研究者海外派遣事業募集案内	885
エアロゾルセミナー質量分析装置を用いた大気エアロゾルの連続成分分析法.....	886
計算科学技術活用型特定研究開発推進事業 (ACT-JST) 研究開発終了シンポジウム	944