

A-1 オゾン層の回復を妨げる要因の解明に関する研究

(5) 観測データ等による三次元光化学モデルの検証に関する研究

エコフロンティア フェロー：
独立行政法人国立環境研究所
大気圏環境研究領域

Alexander Lukyanov

中根 英昭

平成11～13年度合計予算額 996千円
(うち、平成13年度予算額 0千円)

[要旨] 本研究では、特定の日付および地域における長寿命化学種の ILAS データの移流を行って、当該地域における計測された化学種の空間分布を得るために、トラジェクトリー上を移動するモデルを開発・使用した。短寿命化学種については、トラジェクトリー光化学ボックスモデルも用いた。分布の不均一なトラジェクトリー到着点を規則的グリッドに補間するためには、バーンズ客観解析スキームを適用した。また、トラジェクトリー光化学モデルを 1996 年冬季のオゾン破壊プロセスの研究とオゾンゾンデ・データの解析に適用した。統計的アプローチの適用にあたっては、極渦内の数多くの非断熱トラジェクトリーを考慮した。非断熱冷却率の平均値は、これらのトラジェクトリーに沿った交差等温位面上運動の平均値とした。温位 475K でのオゾンゾンデ観測によって得られたオゾン混合比は、モデルによって得られたその温位の平均オゾン混合比と標準偏差内で一致した。

[キーワード] トラジェクトリー光化学モデル、非断熱冷却率、極渦、トラジェクトリーマッピング

1. ILAS データのトラジェクトリー移流

非総観的な分布の衛星データから総観的マップを得るために、さまざまなデータ集積方法が使われる。そうした方法のひとつ、「トラジェクトリーマッピング」では、特定の日時へと計測値を時間的に前後移流させることによって総観的マップを構築する。この方法はそのままでは長寿命化学種にのみ有効で、短寿命種の場合は化学変化を考慮に入れなければならない。トラジェクトリーの到着点は不規則に分散しており、これらの点上での化学種の値をグリッド化（規則的グリッドへのデータ補間）するには特殊な客観解析技法が必要である。バーンズークレスマン方式では、荷重関数を適用している。ひとつの計測値がその格子点全体の値に寄与する重みが、その点から距離が離れるに従い急速に落ちるというものである。実際には、格子点について円外の測定位置は考慮に入らないように、影響半径が選ばれている。

この研究では、トラジェクトリー光化学モデル[EFF、1997、1998]をILAS（改良型大気周縁赤外分光計Improved Limb Atmospheric Spectrometer）データ Version 3.1に適用した。2週間以上の長期の等温位面上トラジェクトリーを補正するには、冬季極渦における等温位面を横切る非断熱冷却による下降運動を考慮に入れなければならない。

1997年冬-春季、ILAS データ Version 3.1 のトラジェクトリー移流を温位 480K で行った。長寿命化学種 (CH_4 、 H_2O 、 N_2O) は化学変化なしで等温位面上トラジェクトリーによって移流し、一方オゾンと硝酸は ILAS データで初期化した後、これらトラジェクトリーに沿って光化学ボックスモデルにより積分した。残る化学種 (非 ILAS) の初期値としては、SLIMCAT (三次元 CTM) の結果を用いた。ILAS は、1月から4月までの期間に 60N-70N 周辺の緯度範囲で各化学種につき1日およそ12の鉛直プロファイルを提供する。前方向トラジェクトリーの数は、1月10日から3月10日までの期間の温位 480K で使用された ILAS 測定値に等しい。1月10日を出発点とするトラジェクトリーが最長であり、以降、各日を出発点とするトラジェクトリーは前日のものより1日ずつ短くなり、日毎に信頼性が高まる。最終日であるゼロ日、3月10日のトラジェクトリーは、移流された ILAS 測定値ではない。長寿命化学種について、4月10日から3月10日まで後方トラジェクトリー計算を行った。図1で示されているように、3月10日のトラジェクトリーの到着点は不規則に分布している。規則的グリッド上の化学種の値を求めるために、バーンズ客観解析法 (荷重平均化) を各格子点につき影響半径 1000km で適用した。トラジェクトリーと最終化学種分布を検証するためには、UKMO (英国気象局) が各 ILAS プロファイルについて提供しているポテンシャル渦度 (PV) データも移流し、図1において1997年3月10日の UKMO PV 図と比較した。PV 図の一般的構造は、1000km 以下の影響半径のものに似ている。この半径が大きくなると、画像はより均一になるものの、PV と化学種分布の疑似スムージングが起こる。化学種分布図は図2に示す。

2. オゾンゾンデ・データ解析へのトラジェクトリー光化学モデルの応用

オゾン層破壊がもっとも著しい冬-春季に得られたオゾンゾンデ・データにトラジェクトリー解析を適用するため、統計的アプローチが用いられた。初期値として極域成層圏雲 (PSC) 上の不均一反応による攪乱を受けていない気候の平均値を使用するには、数カ月の期間は、トラジェクトリーボックスモデルを走らせる必要がある。しかし、長いトラジェクトリーでは、経路長に比例する不正確度が高くなる。そうした不正確さの影響を減らすため、大量のトラジェクトリーの使用が検討される。オゾンゾンデ観測が行われた1996年4月23日の母子里ステーション (142.3E、44.4N) において、温位475Kでの後方向非断熱トラジェクトリー (ECMWF を用いて鉛直風を分析) が計算された。温位625Kでのこのトラジェクトリーの到着点は1995年12月1日である。その後、化学変化を伴う50前後の前方向非断熱トラジェクトリーが極渦の内部で温位625Kで12月1日に開始され、4月終わりまで計算された。この結果を図3に示す。母子里からの後方向トラジェクトリー (太線) は陰になった地域の内側に位置し、つまり、極渦内部での前方向トラジェクトリーの位置の内側にあることを示している。気温の低い部分も陰をつけた寒冷地域内にある。すなわち、オゾンゾンデは渦プロセスを経た気塊を捉えたことになる。図3で示されるように、非断熱冷却率の平均値は、他の放散モデルによるこの速度の計算結果と一致している。つまり、冬季初めに急傾斜を見せ、春季にはほとんど等温位面的な動きかたをしている。高度19km周辺でのオゾン層破壊の平均値は56%となる。オゾンゾンデのオゾン混合比 (1.5ppmv) は、平均化・モデル化されたオゾン混合比率の標準偏差内にある。

3. まとめ

ILASデータの総観的マップ作成のため、ILAS 測定値のトラジェクトリー移流を行った。移流したポテンシャル渦度分布は、1997年3月10日の UKMOによる PV図に類似した構造を示した。

低い値のオゾン、亜酸化窒素、メタン、ガス状硝酸と、高い値の水蒸気が、極渦内部で観測された。オゾンゾンデ・データは、1996年4月末の高度19km周辺における極渦オゾン平均値と比較された。このオゾンゾンデのオゾン混合比は、平均化・モデル化されたオゾン混合率の標準偏差内にある。1996年冬季の非断熱冷却率を計算するのに用いた同様の統計的アプローチを、1997年のトラジェクトリーマッピングにおいて適用することも可能である。

[国際共同研究等の状況]

なし

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

- ① V. A. Yushkov, V. M. Dorokhov, N. D. Tsvetkova, A. N. Lukyanov, I. G. Zaitsev, S. N. Merkulov: “The study of the tropo-, ozone-, and hygro- pause over Yakutsk in winter-spring seasons 1995-1997”, *Meteorology and Hydrology*, 2, 81-86 (1999).
- ② A. N. Lukyanov, V. A. Yushkov, H. Nakane, and H. Akiyoshi: “Trajectory photochemical model for lower stratosphere”, *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, 36, 823-830 (2000).
- ③ V. Yushkov, V. Dorokhov, A. Lukyanov, H. Nakane, H. Akiyoshi, Y. Sasano, T. Ogawa, and M. Hayashi: “ Balloon-borne regular and correlative measurements of ozone, water vapor, aerosol and ground-based reference total ozone observation at Yakutsk (62N, 130E) station”, *Summary Report of ADEOS PI Scientific Achievement*, pp. 33-44 (2001)

(2) 口頭発表

- ① H. Nakane, A. Kournossenko, A. Lukyanov, H. Akiyoshi and M. Ninomiya: IUGG99 (1999)
“Inter-annual variability of Arctic polar vortex and its effects on ozone”
- ② 中根英昭、近藤豊、中島英彰、瀬良正幸、池神優司、A. Lukyanov、二宮真理子：日本気象学会1999年度秋季大会 (1999)
「北海道への極渦到来時のオゾン破壊量の定量的評価」
- ③ H. Nakane, H. Akiyoshi, Y. Kondo, A. Lukyanov, V. Yushkov, V. Dorokhov, K. Saigo, and M. Ninomiya: *Quadrennial Ozone Symposium Sapporo 2000* (2000).
“Effects of chlorine loading and Arctic polar vortex behaviors on vertical profiles of ozone in mid- and high-latitude region in Northern Hemisphere”
- ④ 池内和泉、黒川純一、古橋規尊、A. Lukyanov、中根英昭：日本気象学会2001年春季大会 (2001)
「三次元流跡線解析モデルの開発とその適用例。」
- ⑤ H. Nakane, A. Lukyanov, T. Nagahama, H. Akiyoshi, I. Yamasaki, K. Nakagawa, K. Saigo, N. Furuhashi, J. Kurokawa, and I. Ikeuchi: *Network for the Detection of Stratospheric Change 2001 Symposium* (2001).

“Variability of polar vortex and its effects on ozone”

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞など

なし

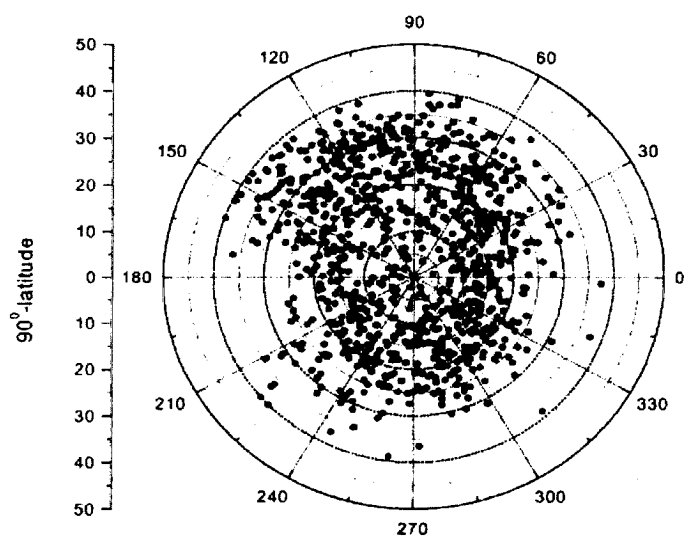
(5) 一般への公表・報道等

なし

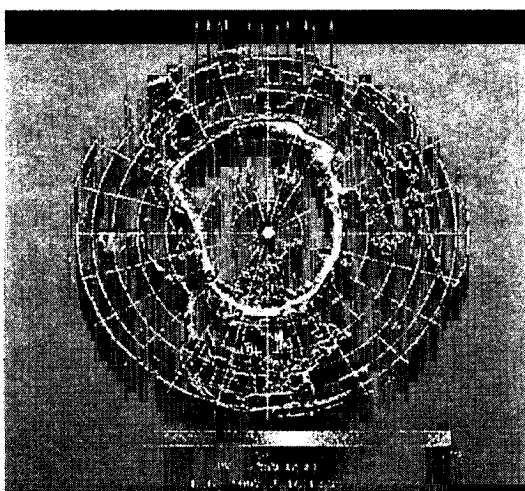
(6) その他成果の普及、政策的な寄与・貢献

成果の一部は公開シンポジウムや（一般向け）講演会などで紹介している。

Trajectories end point location, March, 10 1997



UKMO PV-map, latitudes 0-90N



Advection PV, latitudes 50N-90N

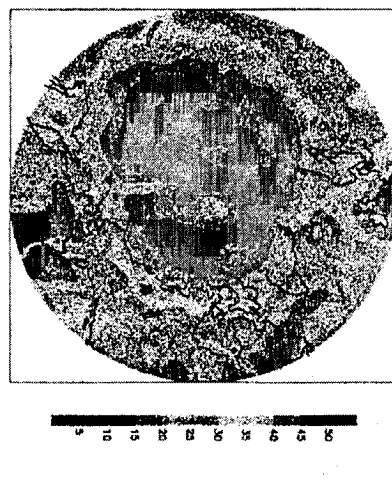


図1 480K温位レベルにおけるILASデータのトラジェクトリーアドベクションの結果

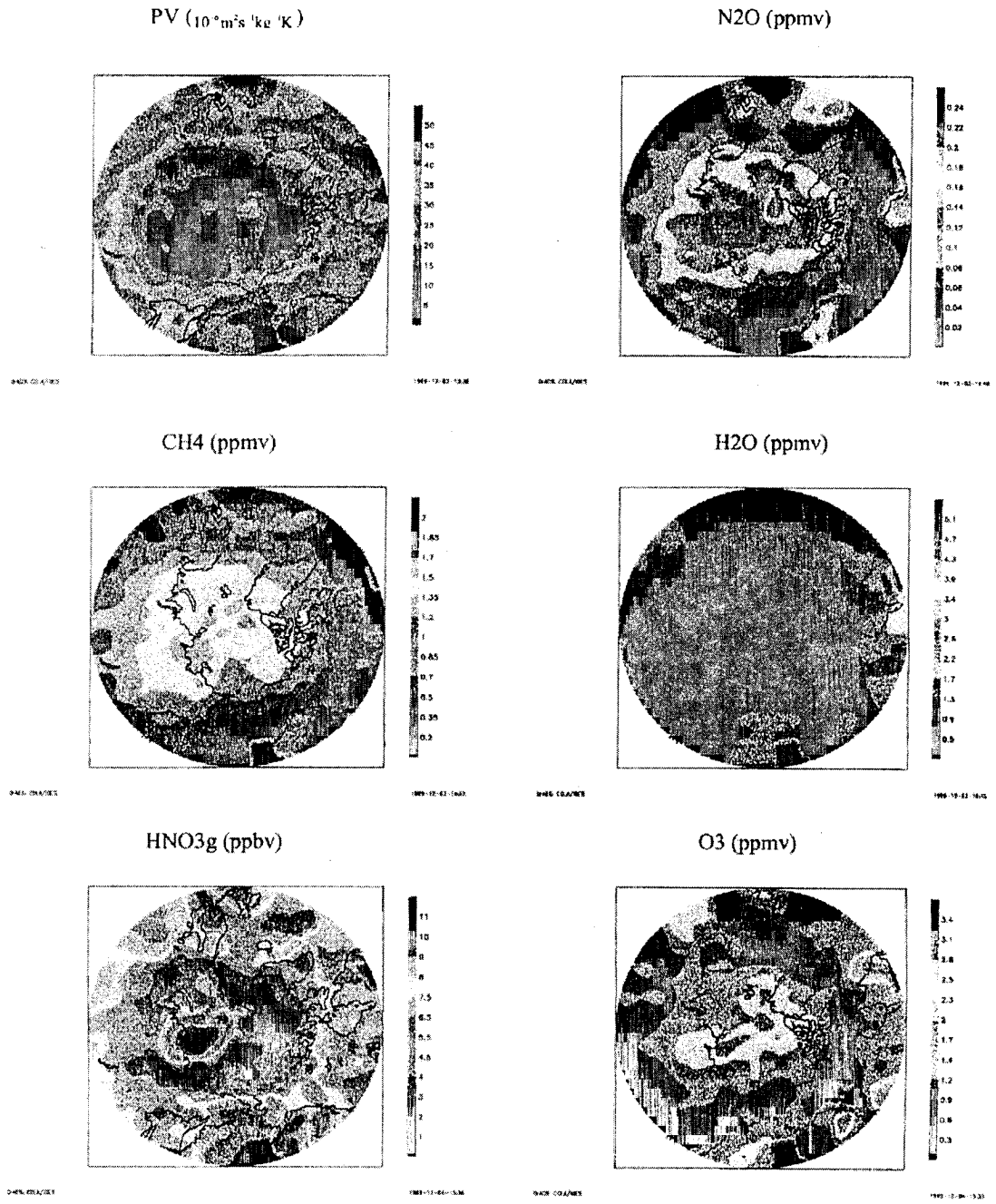


図2 1997年3月10日の480K温位レベルにおける北緯50度～90度の渦位及び微量物質の分布

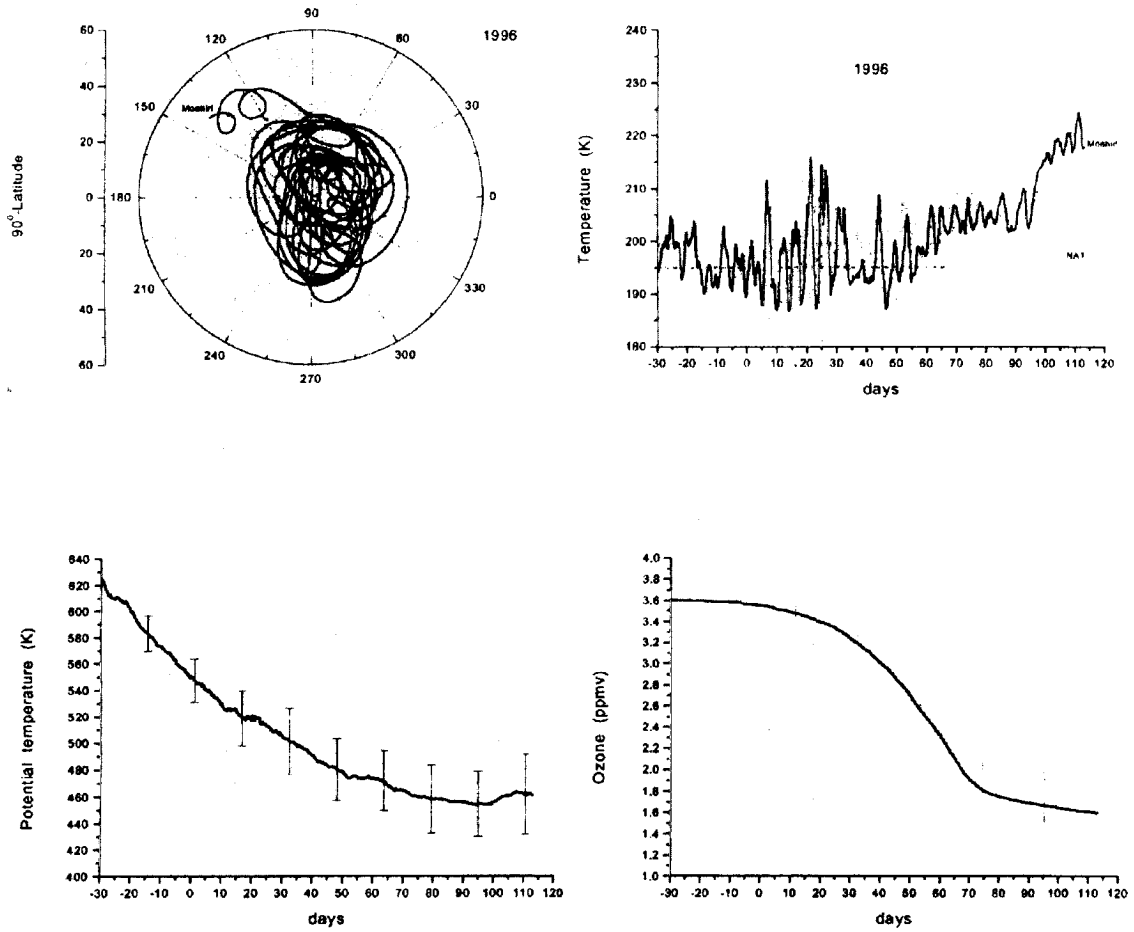


図3 1995年12月1日から1996年4月23日までのトラジェクトリーボックスモデル計算結果。上段左は、母子里観測所からの後方トラジェクトリーが極渦内部に戻ることを示した。上段右は、トラジェクトリーに沿った気温の履歴。下段左はトラジェクトリーの高度履歴。下段右は、オゾン濃度変化。