

成層圏大気微量成分の分布再現

～化学ボックスモデルと流跡線を用いて～

河瀬 祥子、香川 晶子（奈良女子大院）、林田 佐智子（奈良女子大学・理）

1. 本研究の背景・目的

大気微量成分の空間分布を地球規模で把握する事は、地球大気微量成分の力学／化学過程の研究をする上で重要である。しかし、観測データのみからすべての微量成分の全球分布を知ることは、観測が行われている期間や場所が限られているため、困難である。このため、近年、流跡線を用いた長寿命化学種の再現手法が提案された [Pierce et al.,1994 ; Morris et al.,1995,2000]。Morris et al. [1995,2000]は流跡線解析と衛星データを用いて、長寿命化学種の全球分布マップの作成手法を提案した。この手法は ' Trajectory mapping ' と呼ばれており、この手法が地球規模の化学種分布作成に有効な手段であることを報告している。

本研究では Morris らの手法を基に、流跡線と観測値に化学ボックスモデルを組み合わせ、短寿命化学種を含む多くの大気微量成分の全球分布図作成を試みこの手法を Chemical Species Mapping on Trajectories (CSMT)と名付けた。

2. Chemical Species Mapping on Trajectories (CSMT)

地理的・時間的に限られて観測されたデータから、化学種の空間分布マップを作成する事は、観測値を初期値にしたボックスモデル計算を、観測点を始点とした流跡線上で行うことから可能にする。

今回、大規模なオゾン破壊が報告された 1997 年冬／春季北極域に着目した [Newman et al., 1997]。北極域では南極と比較してオゾン破壊が複雑に進行するという特徴があり [WMO,1999]、極渦内の化学種の空間分布を把握することは北極オゾン破壊メカニズムを調べる上で重要である。今回、ILAS (Improved Limb Atmospheric Spectrometer; 改良型大気周縁赤外分光計)(ver. 5.20) の 1 月から 3 月までの観測値をもとに地図作成を試みた。流跡線の計算は、ECMWF 全球気象解析データ Basic Level III-A と EORC-TAM 流跡線計算ツール [Matsuzono et al., 1998]を用いて、ILAS の観測点(1 日約 14 点)を始点として流跡線を計算した。今回の研究では、温位は、オゾン破壊が顕著に進行する 475 K に注目した。この全ての流跡線上(約 1100 本)で、化学ボックスモデルを用いて化学種混合比の計算を行った。モデルの初期値は流跡線始点の ILAS 観測値の O_3 、 HNO_3 、 N_2O を与え、他の化学種については、Becker et al.[2000] の ' Idealized trajectory ' を参照した。

化学種の地球規模分布作成は、分布を再現したい日を基点に、7 日前からその日までの間に計算を開始した約 90 本の流跡線を用いて、着目する日に計算されたモデルの化学種混合比を流跡線上に表示して作成する(図 1a)。この化学種空間分布の地図作成方法を、今回、Chemical Species Mapping on Trajectories (CSMT)と名付けた。ボックスモデルと CSMT の詳細については、本講演集の香川らの報告を参照されたい。

長寿命化学種の代表として 2 月 20 日の N_2O を例に示す(図 2)。ILAS 観測点は北緯約 70° 付近に限られているため、低緯度側と最も高緯度側では空白領域があるが、CSMT の手法を用いることで、極渦内の N_2O の分布をほぼ再現できる(図 2a)。さらに本研究では、発展として、CSMT の空白部分について、極渦内全域の混合比を見積もった。今回は初期

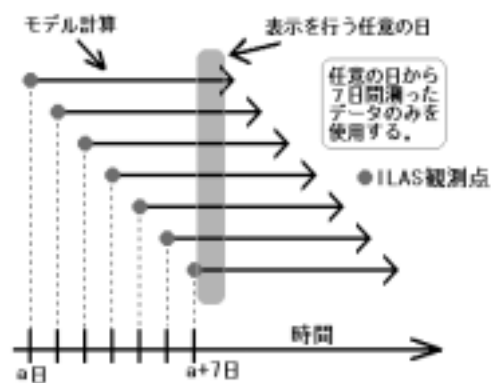


図 1(a) 流跡線とモデル計算

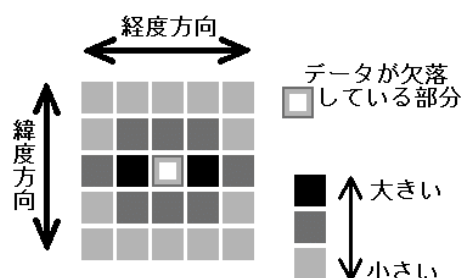


図 1(b) 補間の方法

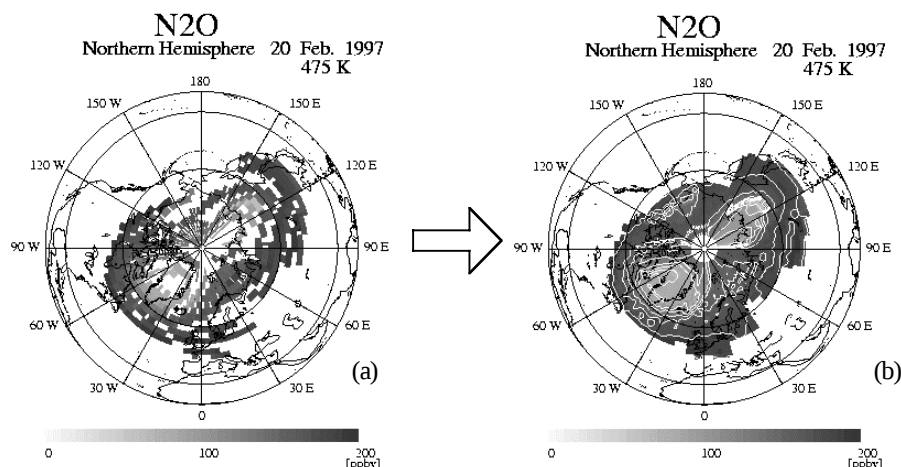


図2(a)(b)

CSMT手法を用いた北半球の
N₂Oの分布

(b)は(a)を更に補間した図。
コンター線は、2ppbv ごとに
引いている。

段階としてデータが欠落しているグリッドについて、周囲 5×5 のグリッドの値から、経度方向のデータ依存性を高くして、2次元補間を行い、空白領域の混合比を推定した(図 1b)。この補間方法を用いることで、高緯度側の N₂O の分布も推定された。

3. CSMT の妥当性

図 3a は CSMT とその補間を用いた 1 月 31 日の 475K のオゾン分布であり、オゾンは極渦内で約 3ppmv の値を示している。図 3b に図 3a と同じ日(1 月 31 日)の MLS (ver 5.0)のオゾン分布を示す。Nash の方法を用いて導かれた極渦境界を黒い実線で示す[Nash et al.,1997]。図 3 (a, b ; 1 月 31 日)のオゾン分布は本手法で得られた結果の方が少し大きな値を示すが、混合比は CSMT と MLS でほぼ一致している。図 3c は、本手法で導かれた 3 月 30 日のオゾン分布を示す。また図 3d に図 3c と同じ日(3 月 30 日)の TOMS のオゾン全量を示す。本手法で導かれたオゾン分布と TOMS の値は分布のパターンが一致する。オゾン濃度は 1 月後半では極渦内で約 3ppmv を示しているが(図 3a)、3 月後半になると(図 3c)、図 3a (1 月 31 日)より低い値を示している。オゾンの減少は、極渦内のより高緯度側で顕著であり、極渦内で非一様にオゾン減少が起きることが分かる。図 4 は CSMT と MLS の同じ日のマップ上で同じグリッド内にあるデータ同士の統計比較である。Best fitting line の傾きは 1 月後半(a)1.03 、2 月後半(b)1.04 であり、よい一致を示す。

図 5(a;1 月 28 日)(c;2 月 20 日)は CSMT の 475K の HNO₃ を示す。図 5(b;1 月 28 日)(d;2 月 20 日)に 475K の MLS (ver. 5)の HNO₃ を示す。図 5(a, b)(1 月 28 日)の硝酸分布は極渦内で約 12ppbv であり、両者の分布はほぼ一致している。図 5(c) (2 月 20 日)の本手法で再現された硝酸は、MLS(図 5d)よりやや高い値であるが、硝酸の低濃度領域は一致している。2 月後半(図 5c)には極渦内の 30° E、80° N を中心とした領域で硝酸が大きく減少しているが、この減少は PSC 生成の閾値の低温領域 [Santee et al., 1997]と一致している。HNO₃ の CSMT と MLS の統計比較における Best fitting line の傾きは、1 月後半 (a)0.91、2 月後半 (b)0.90 であり CSMT の方がすこし高い値を示すが(図 6)、極域では、MLS の HNO₃ がやや高い値で観測される事[<http://mls.jpl.nasa.gov>]を考慮すれば、統計的にほぼ一致している。

次に短寿命化学種について ClO を代表として比較した。図 7(a; 2 月 20 日) (c; 2 月 26 日)は本手法で得られた ClO 分布を示す。ClO は日照条件下 (太陽天頂角 < 94°)のデータのみについて表示した。太線は 1 日の日照時間を示し、低緯度側は 10 時間、高緯度側は 5 時間を示す。図 7(a, c)と同じ日に観測された MLS(ver.5)の ClO を図 7(a, c)と同じ条件で示したのが図 7(b;2 月 20 日)(d;2 月 26 日)である。ClO は日変化が大きいため、時刻を合わせて比較することが必要であるが、同じ時刻では同じ経度帯が日照領域となるため、ほぼ同じ時刻同士の比較となっている。2 月後半(図 7)になると、ClO は極渦内で大きく活性化し、ClO の最大値は約 1.5ppbv を示している。MLS の ClO は CSMT の ClO と比較して少し大きな値を示すが、両者の ClO 活性の分布はほぼ一致している。これはボックスモデルが妥当に塩素活性を表現していること、また、本手法は短寿命化学種についても空間分布を再現できる有効な手段であることを示す。ClO の統計比較については、ClO の日変化が非常に大きいため難しく、現在検討中である。

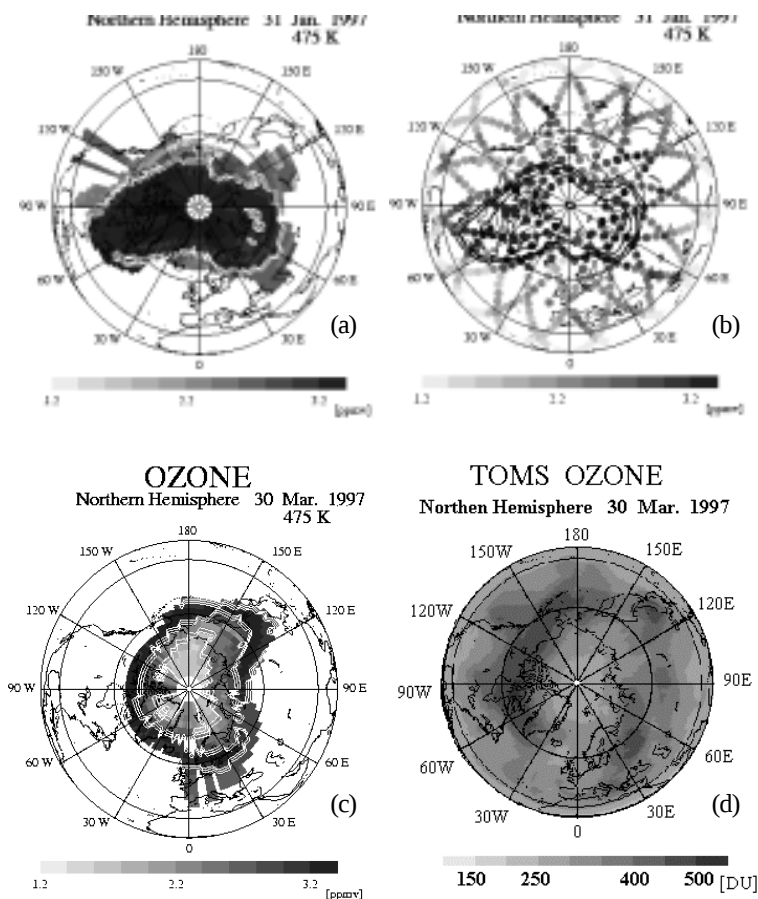


図3：北半球における475KのO₃空間分布

(a)(c) CSMT マップ (コンター線 0.4 ppmv 毎) (b) MLS データ (ver.5)

(d) TOMS (b)の実線はNash et al.[1996] の手法で導かれた極渦境界線を示す。

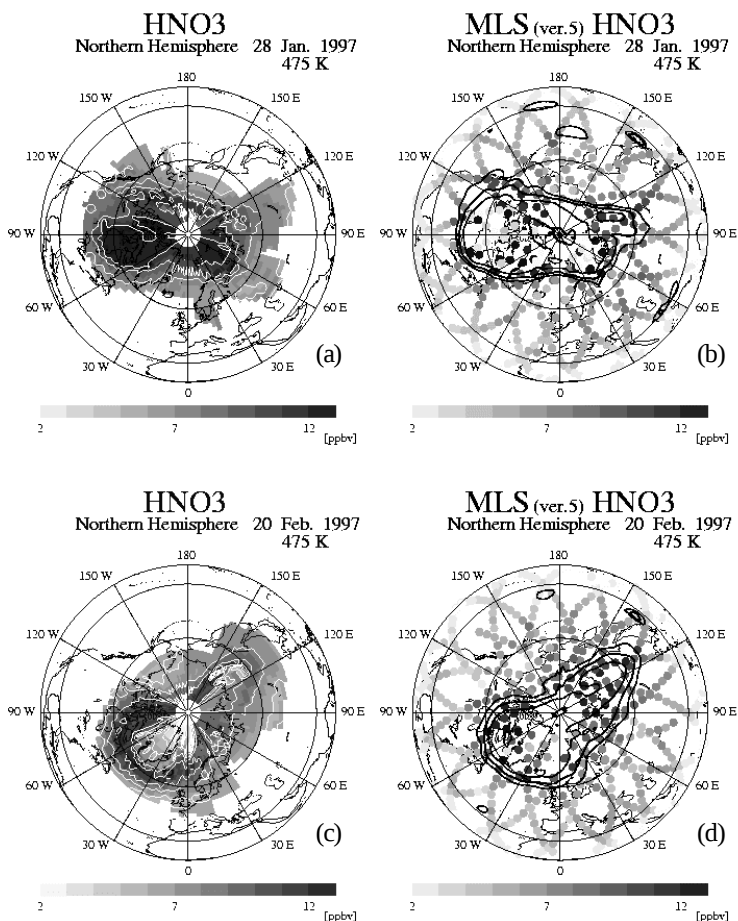


図5：北半球における475KのHNO₃空間分布

左：(a)(c) CSMT マップ (コンター線 2 ppbv 毎) 右：(b)(d) MLS データ (ver.5)

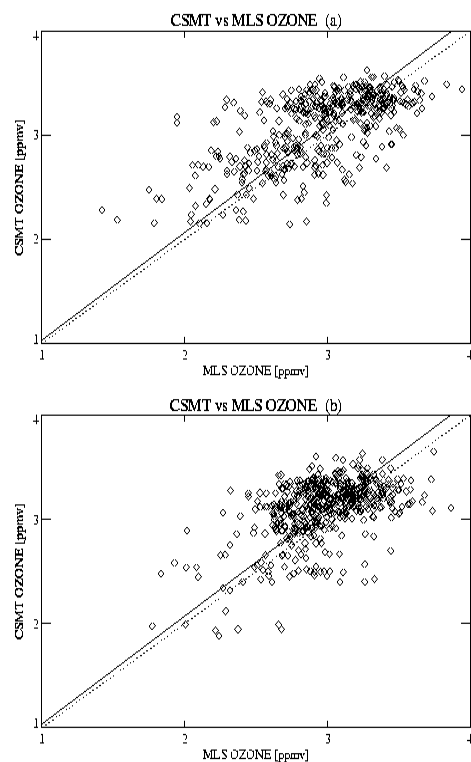


図4：O₃の統計比較 (MLS と CSMT)

(a) 1/28, 29, 31, 2/1, 2 (b) 2/20, 21, 22, 24, 26

同じ日のマップ上で同じグリッド内にあるデータを比較している。点線は傾き 1、実線は Best fitting line を示す。

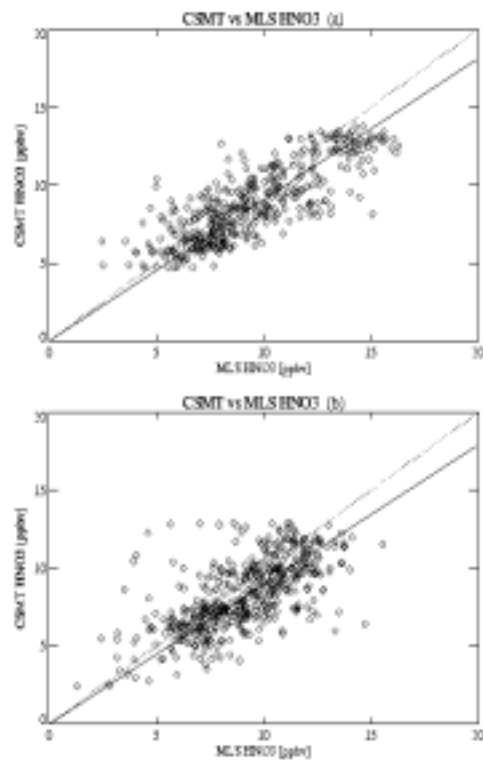


図6：HNO₃の統計比較 (MLS と CSMT)

(a) 1/28, 29, 31, 2/1, 2 (b) 2/20, 21, 22, 24, 26

以下図4と同じ。

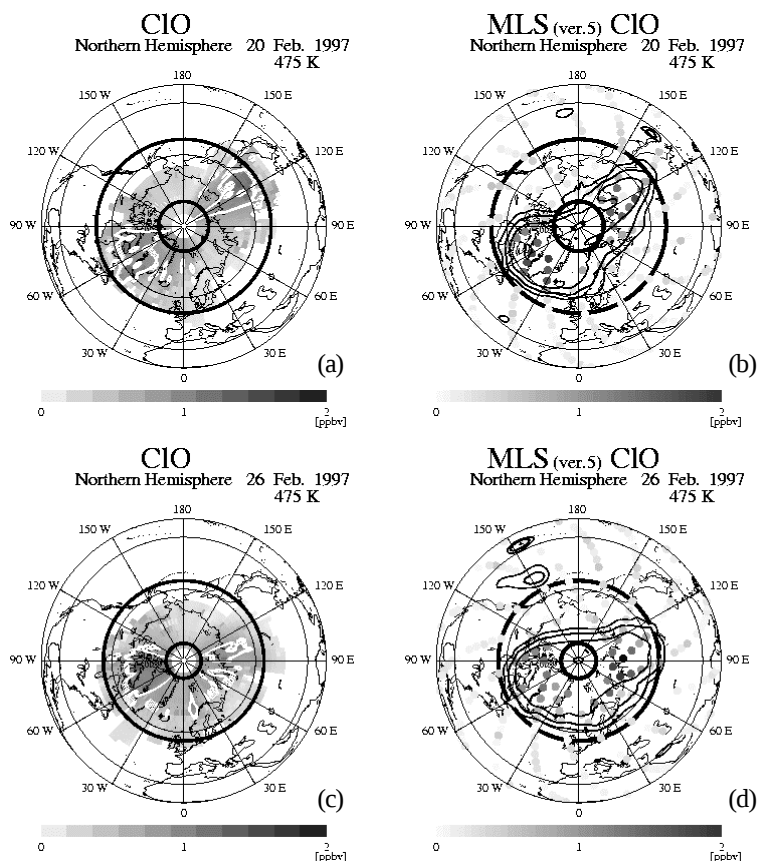


図 7：北半球における 475K の CIO 空間分布

左：(a)(c) CSMT マップ

(コンター線 0.2 ppbv 毎)

右：(b)(d) MLS データ(var.5)

実線は Nash et al.[1996] の

手法で導かれた極渦境界線

を示す。

太線は 1 日のうちの日照時間

を示す。

外側・10 時間 内側・5 時間

4. まとめと今後の課題

本研究では人工衛星センサー ILAS による観測データをもとに光化学ボックスモデルと流跡流跡線解析とを組み合わせることで、多種の化学種混合比の空間分布マップを作成する手法 CSMT を開発した。本手法を用いることで、多くの化学種空間分布図の作成が可能となった。CSMT を MLS センサーの観測結果と比較した結果、オゾン、硝酸は分布がほぼ一致した。また、短寿命化学種である CIO についてもほぼ分布が一致した。本研究では、観測点を始点とした 7 日間の流跡線上で計算された結果のみを用いているため、部分的にデータの空白領域が存在するものの、データが存在する領域については十分な信頼性を持つことを確認した。本手法は、Morris ら[1995]によって開発された Trajectory Mapping の手法を短寿命化学種の分布再現へ拡張した、データ同化手法の一種である。本手法は、異なった場所・時間に観測されたデータの相互検証へ応用することも可能である。

本研究では、空間的補間方法として簡便な方法を試みたが、今後の課題としては PV 値を元にした補間を行う予定である。また短寿命化学種の計算結果についての検証方法の検討を行う予定である。

謝辞

本研究で使用した流跡線ツールは EORC/NASDA で開発された EORC-TAM を用いました。また観測データは ILAS の ver.5.20 を用いました。ILAS サイエンスチームの方々に感謝いたします。

参考文献

- Becker, et al., *J. Geophys. Res.*, 105, 15175-15184, 2000.
- Manney, et al., *Geophys. Res. Let.*, 24, 2697-2700, 1997.
- Matsuzono, et al., *EORC Technical Report No1.*, 1998.
- Morris, et al., *J. Geophys. Res.*, 100, 16,491-16,505, 1995.
- Morris, et al., *J. Geophys. Res.*, 105, 17,875-17,894, 2000.
- Nash, et al., *J. Geophys. Res.*, 101, 9471-9478, 1996.
- Pierce, et al., *Geophys. Res. Let.*, 21, 213-216, 1994.
- Santee, et al., *Geophys. Res. Let.*, 24, 2713-2716, 1997.