

A-10 衛星データを利用したオゾン層変動の機構解明に関する研究

(5) 3次元化学輸送モデルを用いたオゾン破壊量の定量化に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

成層圏オゾン層変動研究プロジェクト	衛星観測研究チーム	中島英彰
成層圏オゾン層変動研究プロジェクト	オゾン層モデリング研究チーム	秋吉英治
大気圏環境研究領域	大気物理研究室	菅田誠治
社会環境システム研究領域	情報解析研究室	横田達也
名古屋大学大学院環境学研究科		神沢博

平成13～15年度合計予算額 50,898千円
(うち、平成15年度予算額 13,185千円)

〔要旨〕本研究では、CCSR/NIESナudging化学輸送モデルを開発し、北極渦崩壊後のN₂Oとオゾンの変動を計算した。計算結果はILASによる観測データとよく一致した。N₂Oによる変動からは、極渦崩壊後の極渦起源の空気の混合過程が明らかとなり、また、春季の極域および中緯度の下部成層圏のオゾン濃度は、冬季の極渦内で起こるオゾン破壊のみならず、その後のNO_xによるオゾン破壊過程とそれらの輸送効果が複雑に関与していることがわかった。化学輸送モデルを用いたオゾンのトレーサー実験から、オゾンの極渦内化学破壊量を見積もった。1997年の化学オゾン破壊量は、2月下旬から4月上旬にかけて急増したが、これは、時間閾値解析法による解析で、北極渦発達後極端に極渦内外輸送量が少なかった時期に対応していることがわかった。

〔キーワード〕オゾン破壊、化学輸送モデル、極渦、成層圏、時間閾値解析法

1. はじめに

約15年前発見された南極の春先の急激なオゾン減少（オゾンホール）は、90年代に入ってから南極域に比べ規模こそ小さいが北極域にも出現するようになった。北極域では、大気中での物質輸送の複雑さやオゾン破壊に関わる極成層圏雲の生成過程などの複雑さ、また両者の相互作用過程など、まだ明らかにされていない部分が多い。さらに、規制によって大気中のフロンガスの濃度が現在減少し始めているにもかかわらず、南極及び北極でのオゾン破壊には回復の兆しが見えない。このように、オゾン破壊は、局所的なオゾンの化学破壊と、他の場所からの、あるいは他の場所へのオゾン及びオゾン破壊をもたらす物質の輸送過程との相互作用によって生じており、この両者の寄与をオゾンホールの事例毎に定量的に明らかにすることが、極域オゾン破壊メカニズムの解明のために必要とされている。

2. 研究目的

オゾン破壊の主要因と言われている様々な極成層圏雲上で起こる不均一反応過程を取り入れた3次元化学-輸送モデルを開発し、このモデルによる数値計算及びオゾンをトレーサーとした数値実験によって、化学過程によるオゾン破壊量を見積もる。また、時間閾値解析法(TTD法)を用い

て、極渦内外間の大気の輸送量を計算し、極渦内オゾンの輸送による変動を見積もる。以上の異なる2つの手法により、極域オゾン破壊を定量的に見積もることがこの研究の目的である。

3. 研究方法

Ox、HOx、NOx、CH₃Ox、ClOx、BrOx 及び3種類の極成層圏雲（STS、NAT、ICE）上での不均一反応を考慮したCCSR/NIES ナッジング化学輸送モデル（東京大学気候システム研究センター／国立環境研究所共同開発の3次元化学輸送モデル）の開発を行う。この3次元化学モデルでは、気温や風速の気象データを読み込み、モデル内で計算された気温や風速値をこれらのデータ値に同化させて、モデル内の気温や風速を現実的な値に修正し、その現実的な値の上で化学過程と物質輸送の計算を行う。また、時間閾値解析法という、空気粒子の移動を時間空間的に追跡し、境界を通しての空気粒子の出入りを定量的に把握する手法を開発する。この手法を極渦の境界面に適用し、極渦境界面を出入りする大気粒子の移動の軌跡を解析することによって、極渦内外の大気の輸送量を見積もる。

4. 結果・考察

（1）時間閾値解析法（TTD法）による極渦内外輸送量の計算

① 時間閾値解析法の概要

時間閾値解析法¹⁾は、大気中の大気塊の動きを任意の解析面との相対的位置関係で捉えて、解析面の片側で一定の時間閾値以上の滞在を経験したことがある大気塊が解析面を通過後に反対側でも時間閾値以上の滞在を経験するときだけ、その通過を実質的通過としてカウントする方法である。これにより解析面を通しての閾値より長い時間スケールでラグランジュ的に有効と判断される物質輸送を見積もることが可能になる。本研究においては解析面として等価緯度の等値面を用いることにより、極渦の縁を内外に行き来する実質的南北輸送を見積もることができ、極渦の孤立性を解析できる。

② 軌跡計算および閾値解析法の適用

多数の仮想微小大気塊の下部成層圏における軌跡を、客観解析気象データECMWFを用いて求めたのち、時間閾値解析法で解析し、各等価緯度を南北通過する有効通過量を調べた。まず、ECMWFは一日4回で鉛直方向は1000hPaから10hPaまでの15層のオペレーショナルデータを用いた。軌跡の計算は1996年11月15日、12月15日、1997年1月15日、2月15日、3月15日、4月15日と初期日時の異なる6ケースを、それぞれ2ヶ月間行った。大気塊の初期位置は、鉛直方向には110hPaから15hPaまで5Paおきの20層に、緯度方向には赤道から北緯89度まで一度毎に、経度方向には赤道で2度おきで緯度円の長さに応じて高緯度では間引くように配置した。これらの配置により一つ一つの仮想大気塊はほぼ等量の大気を代表すると考えて良い。個数は一層あたり10404個の合計20万個強である。各大気塊の緯度、経度、圧力、温位、渦位、等価緯度を6時間おきに保存した。保存した軌跡に対して時間閾値解析法を適用した。適用時期は軌跡計算の2ヶ月のそれぞれ中程の一ヶ月ずつである。解析面は6.6度から7.5度までの1度おきの等価緯度の等値面で20ケース、時間閾値は1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15日の8ケースとした。各ケースについて有効と判定できた解析面の通過の粒子個数の鉛直位置を温位25K毎に集計した。

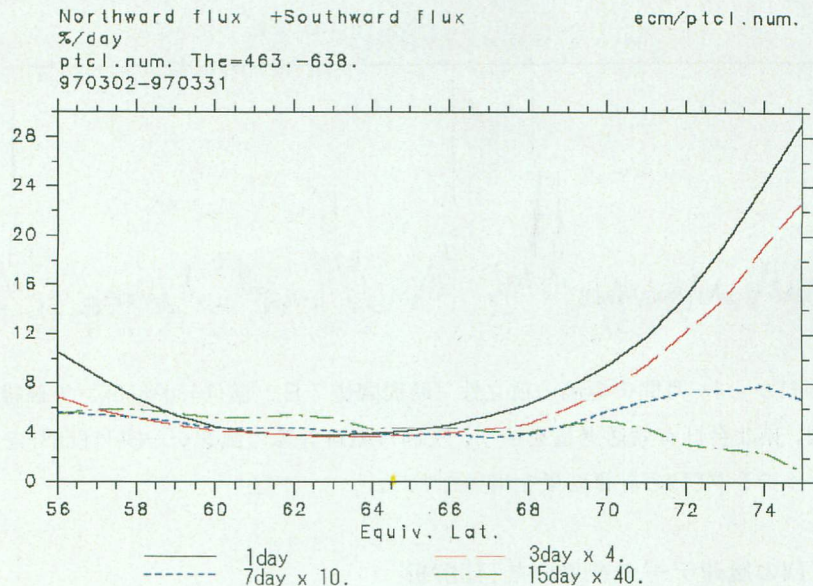


図1：時間閾値を1, 3, 7, 15日にしたときの各判定等価緯度における450-650K温位面間の大気塊の有効南北通過の1997年3月一ヶ月の合計個数をその等価緯度以北の大気塊個数で正規化し一日あたり何%の大気塊が内外で入れ替わるかを単位として示した図。（実線：1日、破線：3日、点線：7日、一点鎖線：15日）図の縦スケールをおおよそ揃えるために閾値3日の図は値を4倍、7日は10倍、15日は40倍にしている。

③ 解析結果

まず、図1に1997年3月一ヶ月に温位450Kから650Kまで層を通過する有効大気塊通過数の南北両方向合計の緯度・時間閾値依存性を見たものである。時間閾値が1日のときに南北通過が極小となる等価緯度はおよそ63度である。時間閾値が大きくなるにつれ極小を取る等価緯度は北極側にずれる。時間閾値が7日のときには66度から67度付近で極小を取る。時間閾値が15日のケースでは等価緯度70度以北で通過数は単調減少となり、他のケースと異なる性質を示している。これは時間閾値がある程度大きくなると、極域の狭い領域に長い時間連続滞在することが困難になることに対応していると考えられる。Nashら²⁾の方法で判定された極渦の縁はこの時期およそ等価緯度66度付近に存在しており、時間閾値7日の結果と対応を示す。

次に極渦の縁での南北輸送量の時間変化を図2（左図）に示す。解析期間中で3月を中心として2月中旬から4月上旬までが極渦の孤立性が高いことがわかった。4月中旬には、出ていく粒子が多く解析された。図には示していないが、4月下旬から5月上旬にかけて一旦孤立性を回復した後、5月中旬から劇的に孤立性を失うことがわかった。上下方向の出入りも解析を行った。96年12月から97年2月においては上端からの流入と下端からの流出が南北方向の出入りに比べて卓越していたのに対し、3月においては上下端からのネットの出入りは南北の出入りとほぼ等量となる。4月と5月においては、上端からの流出と下端からの流入が南北方向の出入りより大きくなる。

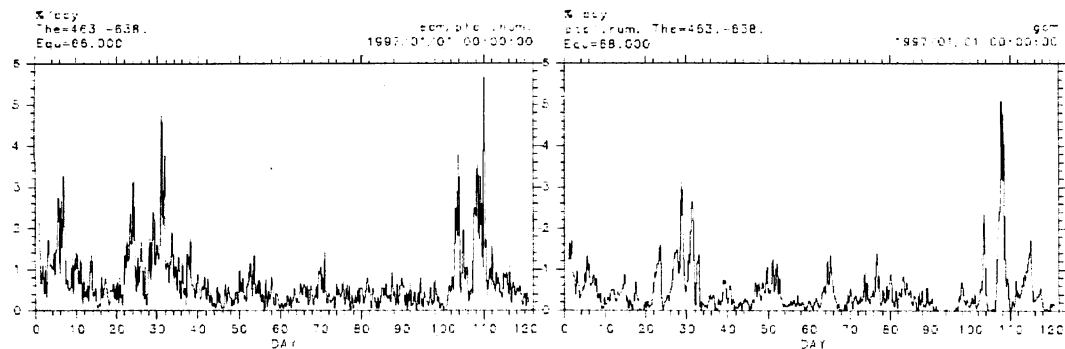


図2：1997年1月1日から4ヶ月間の極渦の孤立性（時間閾値7日、温位450-650K、等価緯度66度）の時間変化を表す図。南北合計有効通過量を示す。左図は軌跡計算の風速データにECMWFを用いたもの、右図は本研究のナッジングCTMの計算結果を用いたもの。

④ ナッジングCTMの風速データを用いたTTD解析

後述するナッジングCTMの風速の計算結果を用いて①と同様の解析をした結果を図2の右図に示す。対応するECMWFの結果と比較すると南北合計通過量の時間変化に関しては非常に似た振る舞いを示しており、両者が良い対応にあることがわかった。ただし、南北別に見ると、極渦の安定する時期の北向き通過量がCTMの結果では若干少ないことが分かった。

（2）化学輸送モデルとILASデータを用いた極域オゾン破壊・輸送過程の解明

①化学輸送モデルの概要

CCSR/NIESナッジング化学輸送モデル（ナッジングCTM）は、CCSR/NIES AGCM²⁾に光化学計算ルーチンを搭載した大循環化学モデル⁴⁾を、水平方向に分解能を上げ（T42、 $2.8^\circ \times 2.8^\circ$ ）、化学計算ルーチンに関する改良を加え、さらにナッジング計算のルーチンを加えたものである。化学計算については、臭素系物質に関する光化学反応を新たに導入し、 N_2O やフロン、ハロンなどの200nm以下の波長でのSchumann-Runge帯による光解離の効果を考慮に入れた。モデルの水平風及び気温の観測値へのナッジングは、 $-(x-x_{obs})/\tau$ というナッジング項を、GCM内で計算された時間変化項、 dx/dt に加えることで行われる。ここで、 x は、東西風速、南北風速、気温であり、 x_{obs} は、それらの観測値（本研究では、6時間毎のNCEP/NCARデータ）、 τ はナッジングのタイムスケールである。計算では、ナッジングのタイムスケールを1日とおいた。このタイムスケールを用いると、オゾン全量をはじめ、日々の微量成分分布がよく再現され、かつ、気温や風速場のもともとのデータ値との違いが小さい状態がモデル内で実現された。また、ナッジングは、6時間毎のNCEPデータをモデルのタイムステップに時間に関して線形内挿し、その内挿された値について行った。

②下部成層圏の N_2O の変動

開発を行った化学輸送モデルを用いて、1997年の亜酸化窒素（ N_2O ）の濃度を計算した。図3に、モデルによって計算された N_2O 混合比の鉛直分布とILASによる観測値との比較を示す。図から、高度20km～30kmの下部成層圏では、極渦内濃度（左図）と極渦外濃度（右図）の間に大きな濃度差があり、同じ高度では、極渦内の方が、濃度が低くなっていることがわかる。この違いは、極渦内で卓越する下降流によって生じたものである。モデルはこの極渦内外の濃度差を、よく再現し

ている。また、モデルにオゾンやN₂OのSchuman-Runge帯における光解離を導入することによって、モデルによる計算値が観測値により近づいていることがわかる（太実線と細実線）。

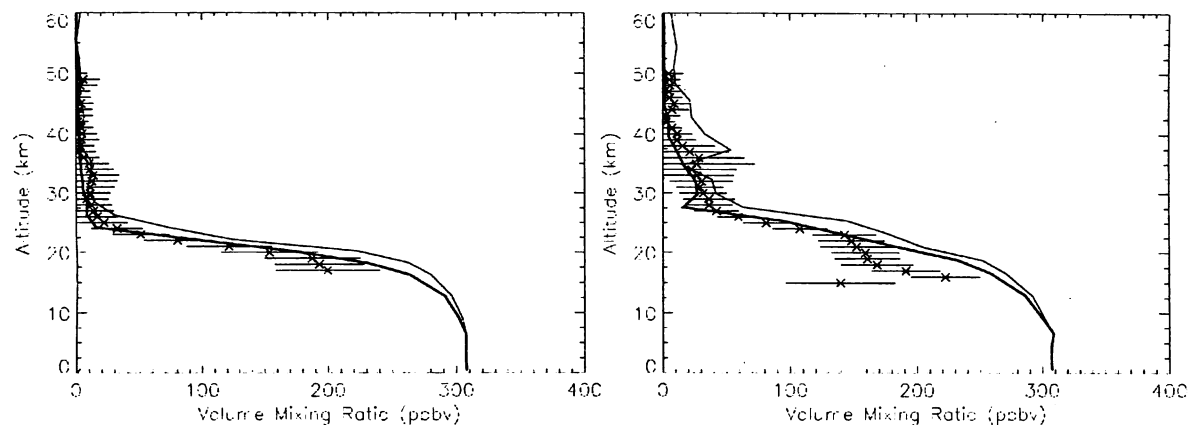


図3：Schuman-Runge帯の光解離を導入したモデルによって計算されたN₂Oの混合比の鉛直分布（太実線）と、導入前のモデルによって計算された分布（細実線）、ILAS Ver. 5.20データ（×）とそのエラーバー。1997年3月12日の分布。左は、北緯69.56° 東経92.75° の分布で、北極渦内に位置し、右は、北緯69.58° 西経141.51° の分布で、極渦の外に位置する。

図4には、ILASデータと化学輸送モデルの計算値の、600 Kの等温位面上におけるN₂Oの混合比の時間-経度断面を示す。1997年4月1日からILAS観測が中止されるまでの6月30日までの期間について示している。いちばん上のパネルでILASの観測が行われた緯度を示した。化学輸送モデルの計算値はモデルに設定された緯度・経度・時間に出力されるので、その値をILASの観測緯度・経度・時間に関して線形補間した。図に示した期間は、1997年の4月初めの北極渦が安定に存在する時期から、5月上旬に極渦が崩壊してその後の6月30日までをカバーしている。化学輸送モデルのN₂O混合比の絶対値は、図に示された1997年の北極渦崩壊（1997年5月10日あたり）を含む極渦崩壊前と崩壊後の期間の間、観測とモデルのN₂Oの変動・分布は、かなりよい一致を示している。本研究では、ILASデータと化学輸送モデルの計算値の一致が特によい600Kの温位面上でのN₂O分布に関して着目した。なお、図1において、極渦崩壊後、低濃度N₂O空気塊を示す筋がとぎれている部分があるが（6月5日あたり）、これは、この気塊がILASの観測緯度をはずれて南へ一時的に移動したためである。図から、5月上旬に起こった北極渦崩壊によって0°E付近に起源を発する半径1000–1500 km程度の極渦内起源の低濃度N₂O空気塊が形成された（5月22日、90°W付近）。この低いN₂O濃度をもつ極渦起源の空気塊は、周囲の高いN₂O濃度をもつ空気塊と即座に混合されることはなく、ILASの観測が終了する6月30日まで存在し、北極の周囲を西へ西へ移動していたことがわかる。化学輸送モデルによる計算結果も、同様な空気塊の移動を示している（図で、5月11日以降の、青、緑、黄色の筋がそれにあたる）。化学輸送モデルによる計算結果を実際、我々の化学輸送モデルによる計算でも、stretchingを経験しているときには、低濃度N₂O空気塊が西に傾いていることが確認された（Akiyoshi, 2002）。化学輸送モデルの中でも水平方向の混合と共にこのような鉛直方向の混合が起こり、低濃度N₂O空気塊の濃度コントラストが弱められていったと思われる。

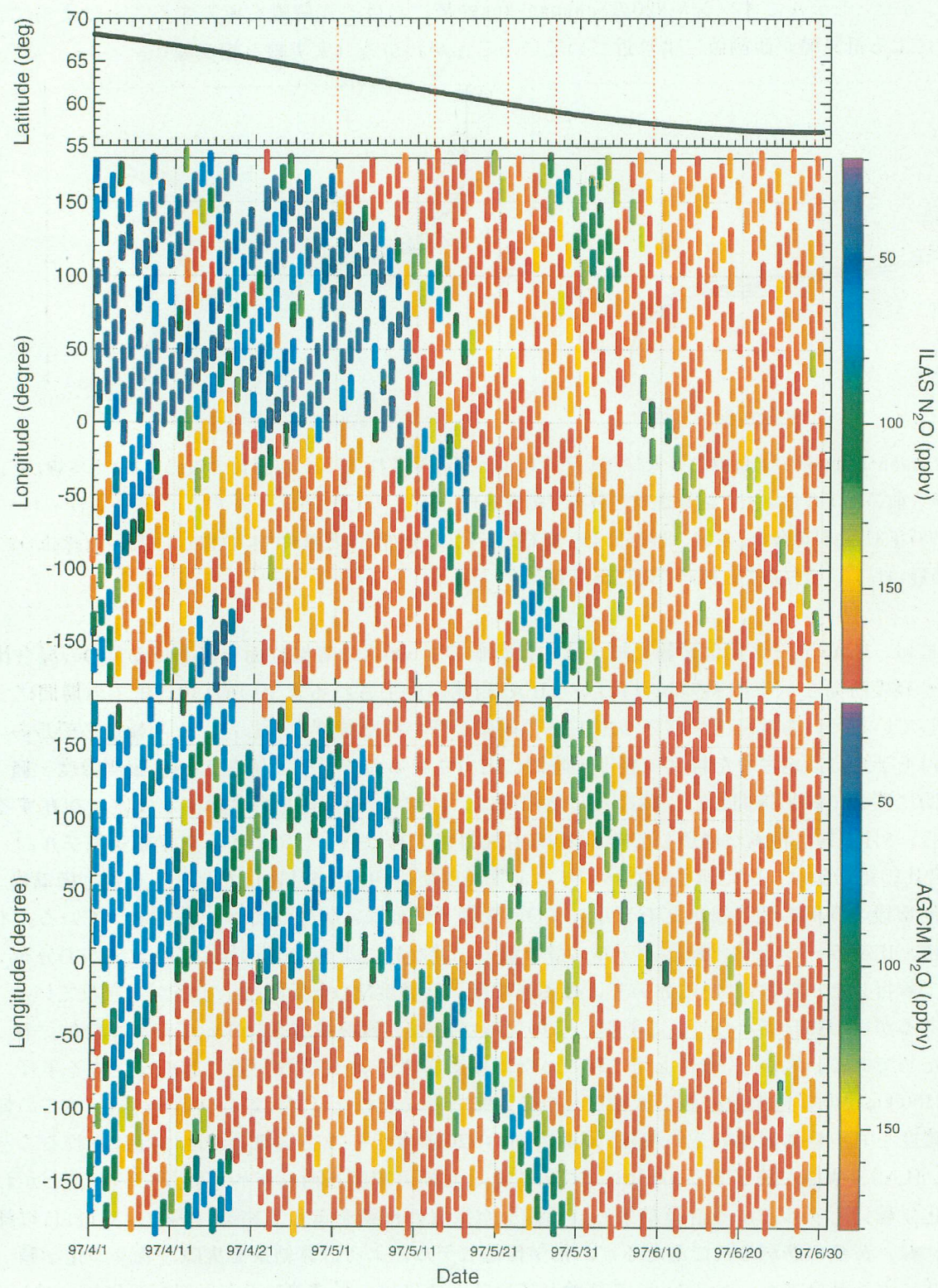


図4: 600 K等温位面上の N_2O 体積混合比のHovmöllerダイアグラム。97年4月1日-6月30日のデータ及び計算結果。ILASによる観測値 (Ver 5.20データ) (上)とナッジング化学輸送モデルによる計算値 (下)。ILASの観測緯度をいちばん上の小パネルで示す。

③ 下部成層圏のオゾンの変動

極渦崩壊後のオゾン分布を調べ、冬季の極渦内で起こったオゾン破壊と、極渦崩壊後に起こったオゾン破壊過程とを区別し、春季のオゾン分布への影響を調べる。

図5に、 N_2O とオゾンの分布を、CCSR/NIESナッジング化学輸送モデルによって計算した結果の、650K等温位面での値を示す。前節でも述べたとおり、下部成層圏にあたるこの高度では、 N_2O は化学反応をほとんど起こさないトレーサーと考えることができ、かつ、極渦内で低い濃度を示すので、極渦内空気のトレーサーとして扱うことができる。1997年5月1日以降に起こった北極渦崩壊によって、極渦内空気が激しい大気の動きによって引きちぎられてバラバラになり、その欠片が極渦崩壊後もしばらくの間成層圏大気中に残ることがわかったが、同時にオゾンの分布を見ると（下段の図）、 N_2O と同様な場所に濃度の低い部分が見られる。これは、極渦内起源の空気の欠片である。オゾンの場合は、北極を中心にして濃度の低い部分が発達してくるが、これは日照時間が急増したこの時期の北極域において、 NO_x によるオゾン破壊が進むためである。さらに、6月に入ると、この北極を中心とした低オゾン域が、プラネタリースケールの大気波動活動によって歪められ伸張し、中緯度まで張り出してくることがわかった（図6の上段）。この事実は、6月1日よりオゾンの化学変化を全く断ち輸送のみ考慮した計算結果からも明らかである（図6の中段）。

以上の結果から、春季の極域および中緯度の下部成層圏のオゾン濃度は、冬季の極渦内で起こるオゾン破壊のみならず、その後の NO_x によるオゾン破壊過程とそれらの輸送効果が複雑に関与していることがわかった。

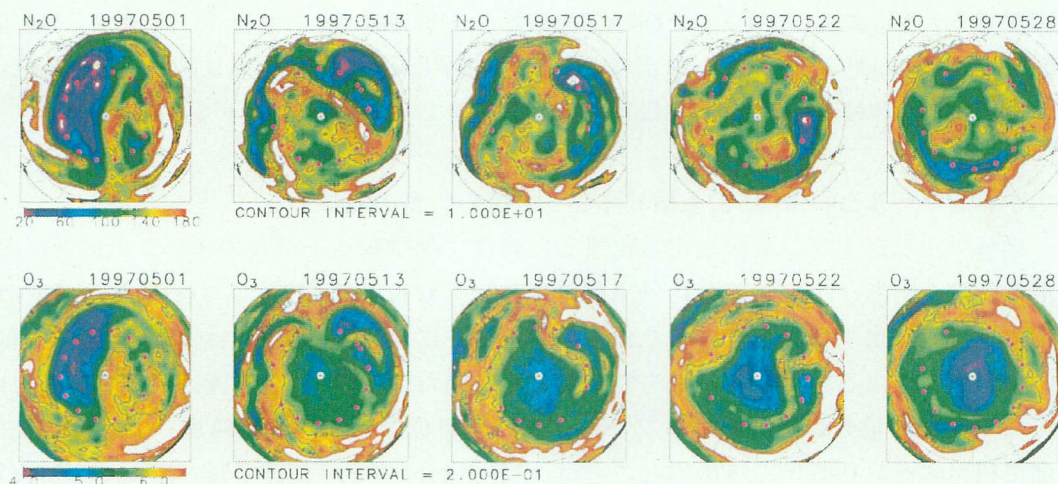


図5: 650 K等温面上の N_2O (ppbv, 上)とオゾン (ppmv, 下)の体積混合比分布の化学輸送モデルによる計算結果。左から右へ、1997年5月1, 13, 17, 22, 28日の分布。北極を中心とした正射図法で表す。青い領域は濃度が低いところ、赤い領域は濃度が高いところを表す。白い部分は、濃度がそれ以下、またはそれ以上の領域を表す。北極の周りのピンクの点は、ILASによるそれぞれの日の観測点を表す。

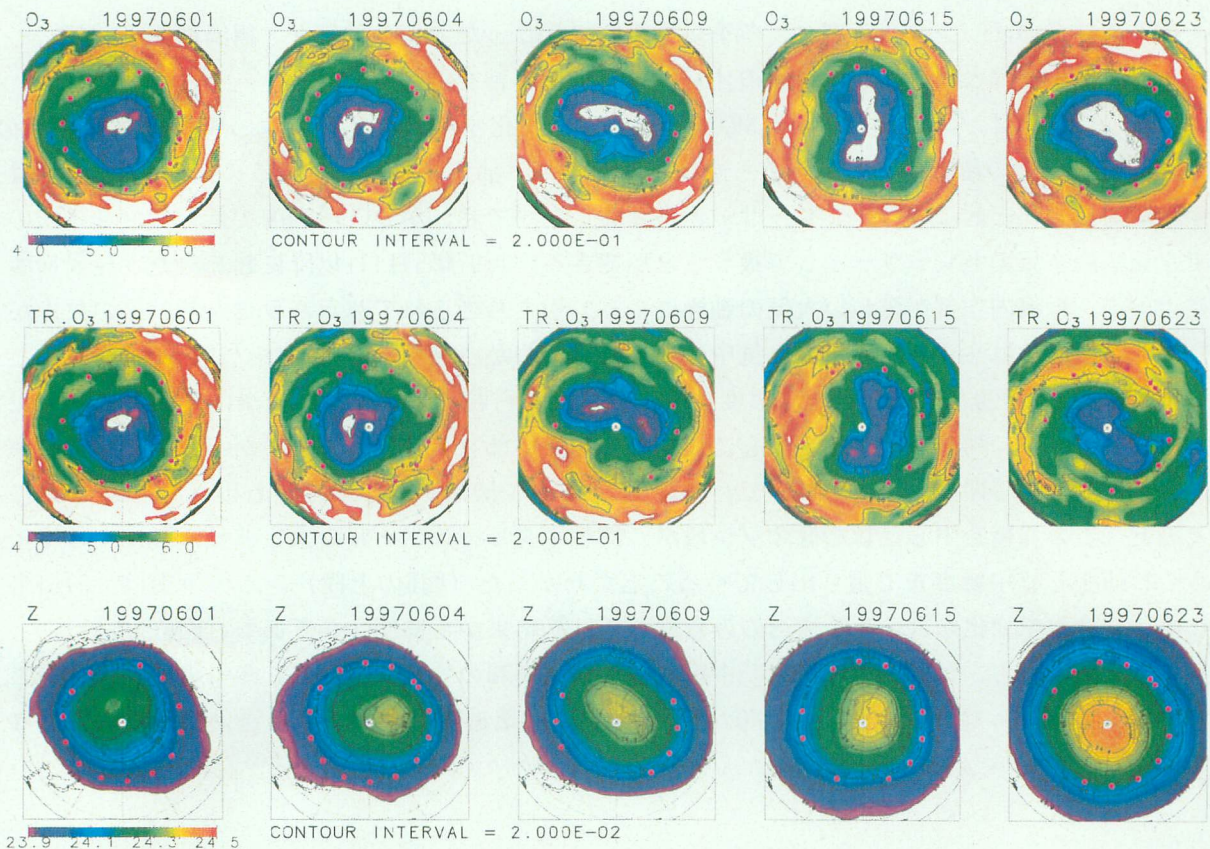


図6: 化学輸送モデルによって計算された650 K等温位面上の1997年6月1, 4, 9, 15, 23日のオゾンの体積混合比 (ppmv) の分布 (上段)。1997年6月1日よりオゾン、化学反応を起こさないトレーサーと仮定して計算されたオゾンの体積混合比分布 (中段)。30hPa気圧面でのジオポテンシャル高度 (下段)。

(3) 化学輸送モデルとTTD法による極域オゾン破壊の影響の見積もり

まず、極域で生じたオゾン破壊を定量化するために、化学輸送モデルのオゾンの化学反応による生成消滅を全く断ち、オゾンの輸送効果だけでオゾン分布を計算する、いわゆるオゾンのトレーサー実験を行い、化学反応を考慮した化学輸送モデルによって計算されたオゾン濃度分布との差から、化学過程によるオゾン破壊量を見積もった。図7には、下部成層圏における等価緯度70S以北でのオゾン破壊量の時系列を、ドブソンユニット単位で示す。等価緯度70S以北は、ほぼ北極渦の内部に相当する。1997年に特徴的なことは、1月におけるオゾン破壊量が少なく、2月の下旬から4月上旬にかけてオゾン破壊量が急増したことである。これは、この年の北極渦の発達時期・消滅時期ともに、他の年に比べて遅かったことに関係している。Millard et al. (2003)⁵⁾も、化学輸送モデルによる計算により、同様なオゾン破壊量を得ている。

>70N Eq. Lat. 370K-525K

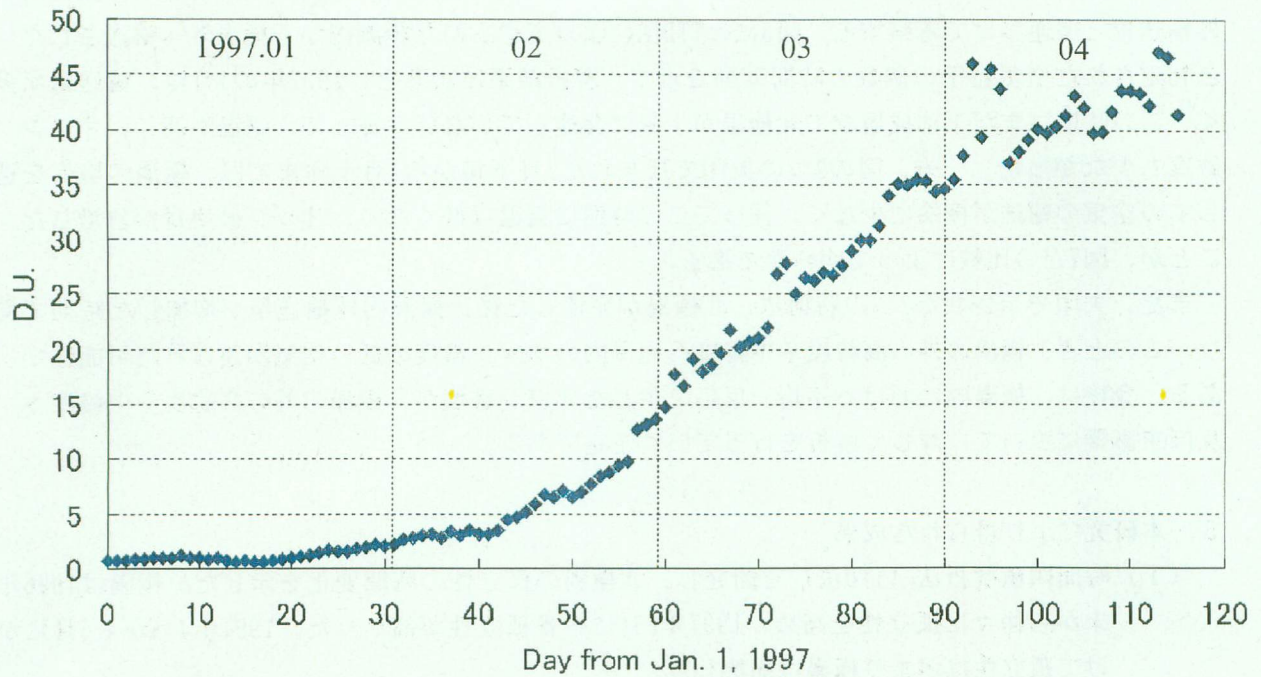


図7:化学輸送モデルで計算された、等価緯度が北緯70度以北の領域でのオゾン破壊量の季節変化(1997年1月~4月)。横軸は、1月1日からの日数。縦軸の単位はドブソンユニット。

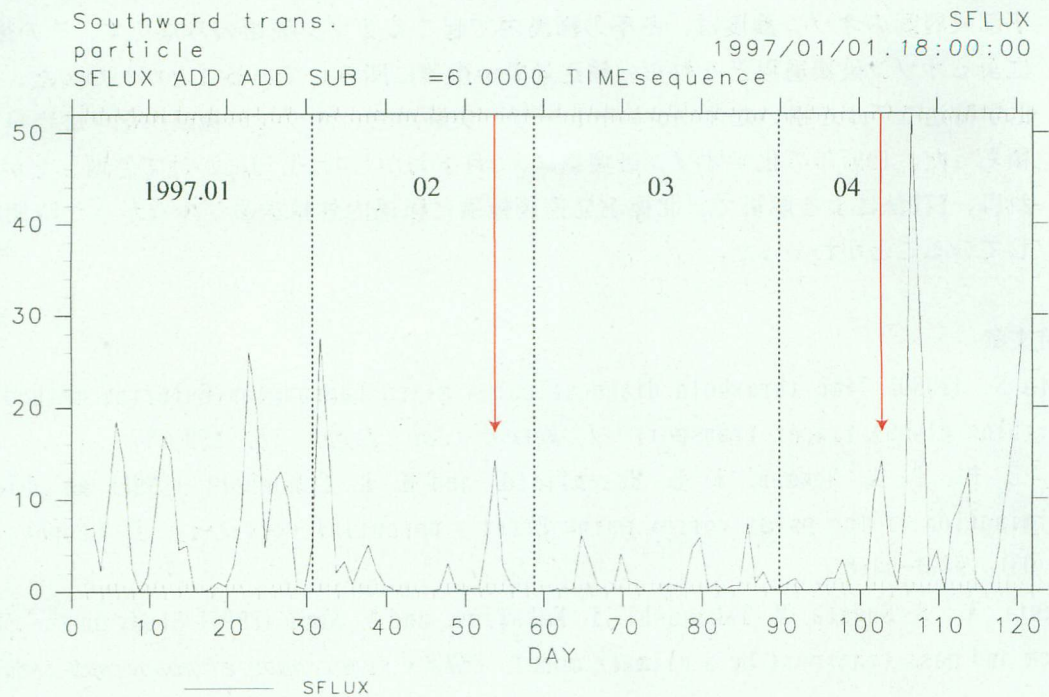


図8: TTD法による極渦内→外輸送量(空気粒子の個数)の時系列。横軸は、1997年1月1日からの日数。赤い矢印は、この年の北極渦生成後、極渦内外輸送量が増加した時を表す。

次に、この1997年の北極域の化学オゾン破壊量を、(1)で述べたTTD法によって解析した極渦内外輸送量と関連づけて考察する。図8に、TTD法によって得られた極渦内から極渦外へ輸送されたと判定された空気粒子の個数の時間変動を示す。解析結果によると、1997年の1月は、輸送量が多く、この時期はまだ下部成層圏で北極渦が十分に発達していない。従って、気温も高く、オゾン破壊も少なかった。一方、図の2つの矢印で挟まれた2月下旬から4月上旬までは、極渦の境界を通しての空気の輸送が極端に少なく、従ってこの時期に気温は低くなり、オゾン破壊量が急増したことが、図7との比較によって明らかである。

また、矢印で示された2つの時期は、北極渦が発達した後、極渦内外輸送量が増加した時期であり、このとき、極渦の外の高緯度や中緯度へ極渦内のオゾン濃度の低い空気が運ばれた可能性がある。今後は、極渦内における不均一反応で生じたオゾン破壊が、極渦の外の高緯度や中緯度へ及ぼす影響について、詳しく解析を行っていく予定である。

5. 本研究により得られた成果

- (1) 時間閾値解析法 (TTD法) を開発し、北極渦の孤立性の時間変化を示した。極渦は1996年末から徐々に孤立性を高め、1997年3月に一番孤立性が高かった。1997年4月から5月にかけて孤立性は弱まり極渦は崩壊した。
- (2) CCSR/NIESナッジング化学輸送モデルを開発し、北極渦崩壊後のN₂Oとオゾンの変動を計算した。計算結果はILASによる観測データとよく一致した。N₂Oによる変動からは、極渦崩壊後の極渦起源の空気の混合過程が明らかとなり、また、春季の極域および中緯度の下部成層圏のオゾン濃度は、冬季の極渦内で起こるオゾン破壊のみならず、その後のNO_xによるオゾン破壊過程とそれらの輸送効果が複雑に関与していることがわかった。
- (3) 化学輸送モデルを用いたオゾンのトレーサー実験から、オゾンの極渦内化学破壊量を見積もった。1997年の化学オゾン破壊量は、2月下旬から4月上旬にかけて急増したが、これは、TTD法による解析で、北極渦発達後極端に極渦内外輸送量が少なかった時期に対応していることがわかった。

6. 引用文献

- 1) Sugata S. (2000) Time threshold diagnostics: A mixed Lagrangian-Eulerian method for describing global tracer transport, *J. Meteor. Soc. Japan*, 78, 259-277
- 2) Nash, E. R., P. A. Newman, J. E. Rosenfield, and M. R. Schoeberl (1996) An objective determination of the polar vortex using Ertel's potential vorticity, *J. Geophys. Res.*, 101 (D5), 9471-9478
- 3) Numaguti, A., S. Sugata, M. Takahashi, T. Nakajima, and A. Sumi (1997) Study on the climate system and mass transport by a climate model, *CGER's supercomputer monograph report*, 3, 91pp.
- 4) Takigawa, M., M. Takahashi, and H. Akiyoshi (1999) Simulation of ozone and other chemical species using a Center for Climate System Research / National Institute for Environmental Studies atmospheric GCM with coupled stratospheric chemistry, *J. Geophys. Res.*, 104,

14003-14018.

- 5) Millard, G. A., A. M. Lee, and J. A. Pyle (2003) A model study of the connection between polar and midlatitude ozone loss in the Northern Hemisphere lower stratosphere, *J. Geophys. Res.*, 108 (D5), 8323, doi:10.1029/2001JD000899.

7. 国際共同研究等の状況

WCRP（世界気候研究プログラム）のプロジェクトのひとつであるSPARC（成層圏プロセスとその気候に対する役割）における活動と連携している。

8. 研究成果の発表状況

（1）誌上発表（学術誌・書籍）

＜学術誌（査読あり）＞

- ① Akiyoshi, H., Chemistry and temperature perturbations calculated by a chemical-radiative coupled 1-D model due to Pinatubo aerosols, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 80, No. 3, 361-385 (2002).
- ② Akiyoshi, H., S. Sugata, T. Sugita, H. Nakajima, H. Hayashi, J. Kurokawa, and M. Takahashi, A low-N₂O airmass simulated by the CCSR/NIES nudging CTM and observed by ILAS in 1997, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 80, No. 3, 451-463 (2002).
- ③ Takigawa, M., M. Takahashi, and H. Akiyoshi, Simulation of stratospheric sulfuric acid aerosol using a Center for Climate System Research / National Institute for Environmental Studies atmospheric GCM with coupled chemistry: Part I, nonvolcanic simulation, *J. Geophys. Res.*, 107, No. D22, 4610, doi:10.1029/2001JD001007 (2002).
- ④ Akiyoshi, H., T. Sugita, H. Kanzawa, and N. Kawamoto, Ozone perturbations in the Arctic summer lower stratosphere as a reflection of NO_x chemistry and wave activity, *J. Geophys. Res.*, 109 (D03), D03304, doi:10.1029/2003JD003632 (2004).

＜学術誌（査読なし）＞

なし

＜書籍＞

- ① Akiyoshi, H., M. Takigawa, T. Nagashima, J. Kurokawa, S. Sugata, M. Takahashi, and H. Nakane, Development of CCSR/NIES nudging CTM and ozone simulation, Present and future of modeling global environmental change: Toward integrated modeling, 383-390, Eds., T. Matsuno and H. Kida, TERRAPUB (2001).

＜報告書類等＞

- ① 秋吉英治, CCSR/NIESナudgingCTMによる1997年の大気微量成分分布の計算－北極渦周辺の物質分布、臭素系物質によるオゾン破壊、ATMOS-C1 Workshop 2001、ATMOS-C1 Workshop

2001 報告書, 9-16

- ② Akiyoshi, H., T. Nagashima, M. Takigawa, S. Sugata, and M. Takahashi, Development of CCSR/NIES 3-D chemical models and study of ozone distribution and variation, CGER's Supercomputer Activity Report, 8, 3-8 (2001).
- ③ Akiyoshi, H., T. Nagashima, J. Kurokawa, S. Sugata, M. Takigawa, M. Takahashi, A study of future ozone trend and N₂O distribution in the high latitudes by CCSR/NIES 3-D chemical models, CGER's Supercomputer Activity Report, 9, 3-10 (2002)
- ④ 秋吉英治・菅田誠治・杉田考史・中島英彰・黒川純一・林寛生・高橋正明、CCSR/NIES ナudging化学輸送モデルでシミュレートされた1997年北極渦崩壊後の低濃度N₂O空気塊、特定領域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、68-73 (2002)
- ⑤ Akiyoshi, H., M. Takigawa, J. Kurokawa, T. Sugita, H. Kanzawa, M. Takahashi, Study on ozone layer variation using the CCSR/NIES AGCM with coupled chemistry and the CCSR/NIES nudging CTM, CGER's Supercomputer Activity Report, 10, 3-11 (2003)
- ⑥ Nagashima, T., M. Takahashi, M. Takigawa, H. Akiyoshi, An estimation of the future development of the ozone layer by a coupled chemistry-climate model, CGER's Supercomputer Activity Report, 10, 23-29 (2003)

(2) 口頭発表

- ① H. Akiyoshi, S. Sugata, H. Nakane, J. Kurokawa, M. Takigawa, T. Nagashima, M. Takahashi, Ozone destruction by bromine species and transport of Arctic polar air mass to the midlatitudes calculated by the CCSR/NIES nudging CTM, IAMAS 2001, Innsbruck (Austria), 2001年7月; (8th Scientific Assembly of IAMAS, Abstracts, 139)
- ② 秋吉英治、黒川純一、菅田誠治、杉田考史、中島英彰、林寛生、高橋正明、CCSR/NIESナudging化学輸送モデルによってシミュレートされた1997年北極渦崩壊後の低濃度N₂O空気塊の挙動、大気化学シンポジウム、豊橋、2001年12月; (第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集、26-29)
- ③ 杉田考史、秋吉英治、中島英彰、林寛生、ILASで観測された初夏の北半球中高緯度成層圏におけるオゾンの挙動、大気化学シンポジウム、豊橋、2001年12月; (第12回大気化学シンポジウム研究集会講演集、30-32)
- ④ 秋吉英治、杉田考史、神沢博、河本望、NO_xサイクルとプラネタリー波による夏の高緯度下部成層圏の低オゾン域、日本気象学会、札幌、2002年10月; 日本気象学会秋季大会講演予稿集、82)
- ⑤ 池内和泉、古橋規尊、福井康雄、水野亮、A. Lukyanov、中根英昭、秋吉英治、渦位予報システム及び一酸化塩素濃度予報システムの構築、札幌、2002年10月; 日本気象学会秋季大会講演予稿集、82)
- ⑥ H. Akiyoshi, S. Sugata, T. Sugita, H. Nakajima, H. Hayashi, H. Kanzawa, J. Kurokawa, N. Kawamoto, and M. Takahashi, A study on transport and chemistry in the summer lower stratosphere using CCSR/NIES nudging CTM and the ILAS observation, International

Symposium on Stratospheric Variations and Climate, Fukuoka, 2002年11月 ; (Abstracts, 167-170)

- ⑦ 秋吉英治、杉田考史、神沢博、河本望、ナッジングCTMとILASデータを用いた夏の下部成層圏のオゾン変動に関する研究—N20の変動との比較、大気化学シンポジウム、豊川、2003年1月 ; (第13回大気化学シンポジウム研究集会講演集、72-75)
- ⑧ H. Akiyoshi, S. Sugata, T. Sugita, H. Nakajima, H. Hayashi, J. Kurokawa, M. Takahashi, Variation and diffusion of low-N20 air masses after the breakdown of the Arctic polar vortex in 1997 simulated by CCSR/NIES nudging CTM, IUGG2003, 札幌, 2003年6月30日—7月11日 ; (Abstracts Week A, A. 96)
- ⑨ H. Akiyoshi, T. Sugita, H. Kanzawa, N. Kawamoto, Ozone perturbations in the Arctic summer lower stratosphere as a reflection of NOx chemistry and planetary-scale wave activity, IUGG2003, 札幌, 2003年6月30日—7月11日 ; (Abstracts Week B, B. 426)
- ⑩ 秋吉英治、杉田考史、河本望、神沢博、菅田誠治、周立波、中島英彰、黒川純一、滝川雅之、永島達也、高橋正明、中根英昭、今村隆史、ILASとCCSR/NIESナッジングCTMを用いた1997年の北極域成層圏に関する研究、仙台、2003年10月15-17日 ; 日本気象学会秋季大会講演予稿集、84)
- ⑪ 秋吉英治、オゾンホールを予測する手立て、第18回「大学と科学」公開シンポジウム—オゾンのゆくえ—、東京、2003年12月1-2日 ; 予稿集、53-54
- ⑫ 秋吉英治、オゾンホールと成層圏オゾンの今後、東京、2003年12月5日、立教大学学術フロンティア2003年研究会「太陽の変動と生物の適応、進化」
- ⑬ 菅田誠治、ラグランジュ的に見た極渦縁辺域での大気粒子の振舞について、南極大型レーダー計画—北極EISCATレーダーおよびグローバルレーダー網との連携による極域大気環境の総合観測に関する研究小集会、東京、2001年9月26日
- ⑭ 秋吉英治、菅田誠治、黒川純一、高橋正明 : T42 CCSR/NIESナッジング化学—輸送モデルによる北極渦崩壊前及び後のN20分布の計算、スーパーコンピュータによる地球環境研究発表会 (第9回) , つくば, 2001年9月

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

今後、一般向け科学雑誌を通じ、成果広報・普及に努める。