

## B-8 地球温暖化に係わる対流圏オゾンと大気微量成分の変動に関する研究

### (1) 対流圏オゾン分布の地域特性、季節変動要因の解析

研究代表者 環境庁国立環境研究所・地球環境研究センター・総括研究管理官 井上 元

環境庁 国立環境研究所

地球環境研究グループ	温暖化現象解明研究チーム	町田 敏暢
地球環境研究センター	総括研究管理官	井上 元
(委託先)	東京大学	秋元 肇

平成 8-10 年度合計予算額 24,408 千円

(平成 10 年度予算額 8,066 千円)

#### [要旨]

東アジアのリモート地点における地表オゾンの変動は、一般に長距離輸送によつ支配されており、その濃度と季節変動は大陸性清浄気塊、大陸性汚染気塊、海洋性気塊などにより特徴づけられることが分かった。北東アジアにおける大陸性清浄気塊および大陸性汚染気塊中の地表オゾン濃度は、それぞれ春季及び夏季に最大となり、これらの特徴はヨーロッパにおいてこれまで報告されているものに対応するが、その濃度はヨーロッパに比較して約 10ppbv 程度高い。また、我が国に到達する大陸性汚染気塊中でのリージョナルなオゾン生成量は、夏季には約 20ppbv に達することが分かった。一方、東南アジア大陸部における地表オゾンの変動は、雨期と乾期の気塊の交替によって支配され、雨期にはインド洋海洋性気塊による極めて低いオゾン濃度が、乾期にはリージョナルなバイオマスバーニングに起因する高濃度のオゾンが出現することが分かった。

#### [キーワード]

対流圏オゾン、地表オゾン、東アジア、大陸性汚染気塊、バイオマスバーニング

#### 1. 序

対流圏オゾンのような短寿命大気微量成分は長寿命温室効果ガスと異なって、その分布が地球上で一様でなく、大陸規模で特徴づけられる地域分布を持っているため、地球温暖化に対して特異な影響を及ぼすものと考えられている。東アジアにおける対流圏オゾンに関しては、特にこの地域におけるリージョナルな人間活動によって、オゾン濃度がどのような影響を受けているかを明らかにすることが非常に重要である。これまでこうしたリージョナルな人間活動の影響を定量的に明らかにする試みはほとんどなされておらず、本研究はそのような問題解決に向けての初めての取り組みである。

#### 2. 研究目的

本研究では、東アジアにおける地表オゾンについて、その分布の地域特性、季節変動の要因を明らかにすることを通じて、北東アジア・東南アジアのそれぞれについてリージョナルな人

間活動が、地表オゾンに及ぼしている影響を定量的に明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究方法

(1) 我が国及び海外における東アジアのリモート地点のいくつかに、地表オゾン及び CO の測定器機を設置し、通年連続観測データを取得する。

(2) 得られたデータについて、1日2回、1年 365 日にわたるトラジェクトリー解析を行い、気塊のカテゴリー分類を実施する。

(3) 各カテゴリー毎のオゾン及び CO 濃度の季節変化を明らかにし、その特徴をヨーロッパなどとのデータと比較する。

EAST ASIA

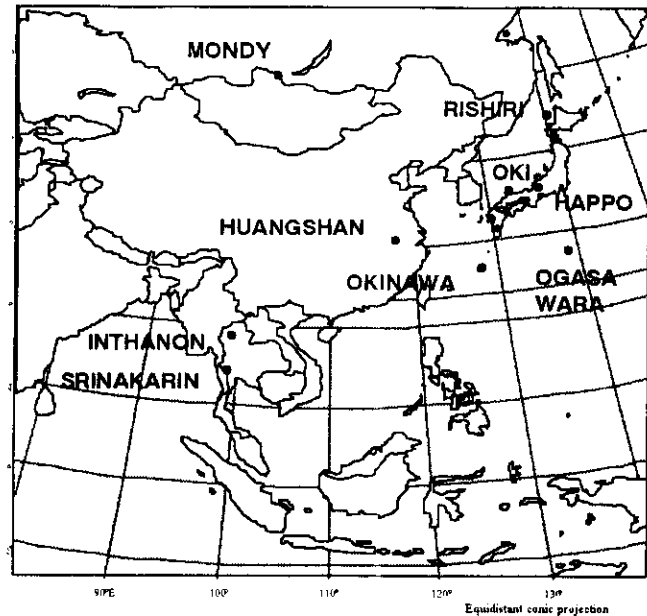


図1 東大・先端研で管理しているオゾン・二酸化炭素通年観測ステーション

### 4. 結果・考察

#### (1) 東アジアにおけるオゾン・CO の観測と典型的気塊の分類

3年間にわたる本研究、およびこれまでの関連研究において、当研究室では東アジアのリモート地点におけるオゾン・CO 濃度の通年連続観測を行ってきた。図1に現在、当研究室で管理している東アジアリモートステーションの配置を示す。これらのうち特にロシアの Mondy およびタイの Srinakarin、Intanon の3地点は本推進費の支援を得て立ち上げたものである。海外ではこれらのほか中国の黄山での観測を最近開始した。わが国での観測としては、図に示した利尻、八方、隠岐、小笠原、沖縄の各ステーションでの観測を継続している。

これらの地点におけるこれまでの観測データのトラジェクトリー解析から、東アジアにおけるリモート地点におけるオゾン・CO 濃度の短期的変動は、主

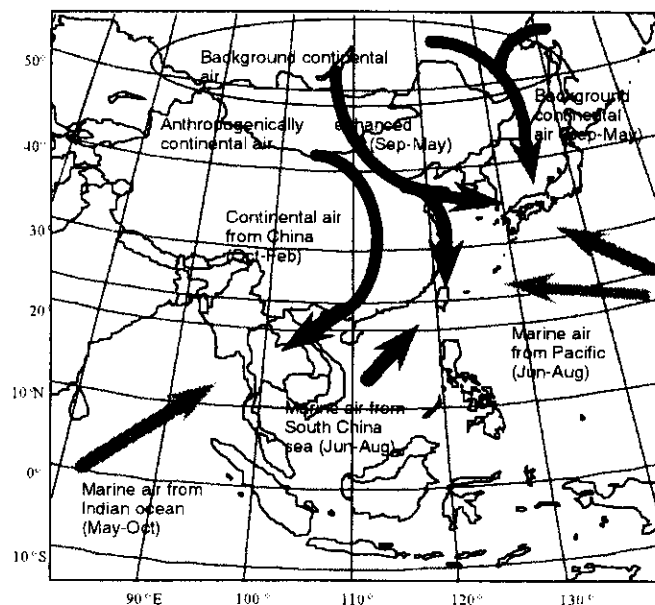


図2 東アジアにおける典型的気塊

として長距離輸送に支配されていることが明らかとなった。図2には東アジアにおけるこれら化学種の長距離輸送を特徴づける、いくつかの典型的な気塊を示す。気塊はまず大きく大陸性気塊と海洋性気塊に分類される。大陸性気塊はさらに、オゾン・COの東ユーラシアにおけるバックグランド濃度を反映する「大陸性清浄気塊」と、中国沿岸部・朝鮮半島・日本など北東アジアにおける地域規模(リージョナル・スケール)での人間活動の影響を強く受けた「大陸性汚染気塊」とに二分される。図に典型的に示すように、東ユーラシアの「大陸性清浄気塊」は北東アジアの人間活動の盛んな地域を通過することなく、東シベリアから北ないし北東からの気塊としてわが国の北海道や本州の日本海岸に到達するものである。一方「大陸性汚染気塊」は出発点は「大陸性清浄気塊」と同様に東シベリアであるが、ここから直接南下し、中国華北平原の人間活動の活発な地域で大気境界層付近まで降下した後に、我が国の本州に西ないし西北西の気塊として到達する。「大陸性汚染気塊」の一部は東シナ海を南下して沖縄から台湾に到達する。中国大陸内部における「大陸性汚染気塊」の輸送は、これまでの研究ではまだはっきりとは明らかにされていないが、トラジェクトリー解析の結果ではベトナム、タイなどの東南アジア大陸部に到達するものと思われる。「大陸性汚染気塊」中では、人為起源大気汚染物質が十分取り込まれる結果、COなどの一次汚染物質だけでなく、光化学反応によって生成されるオゾンなどの二次生成物質の濃度が非常に高いことが大きな特徴である。

他方、東アジアに到達する海洋性気塊としては、図2に示すように「太平洋気塊」「南シナ海気塊」「インド洋気塊」がある。我が国に到達する海洋性気塊は「太平洋気塊」のみであるが、台湾付近では「太平洋気塊」のほかに「南シナ海気塊」が、タイには「インド洋気塊」が到達する。これらの海洋性気塊のうち「太平洋気塊」「インド洋気塊」は特に清浄で、オゾン・COの濃度がきわめて低いのが大きな特徴である。これに対して「南シナ海気塊」では、周辺の沿岸諸国、島諸国の人間活動の影響を受けて、海洋性気塊としてはオゾン濃度が高く、清浄な海洋性気塊と大陸性バックグランド気塊との中間の値をとることが分かっている。

## (2) 隠岐における大陸性気塊中のオゾン・CO濃度の季節変動

本研究では隠岐における大陸性気塊中のオゾン・CO濃度について、トラジェクトリー別の季節変化を明らかにした。ここで用いられたトラジェクトリーの 카테고리分類は、後方トラジェクトリーの

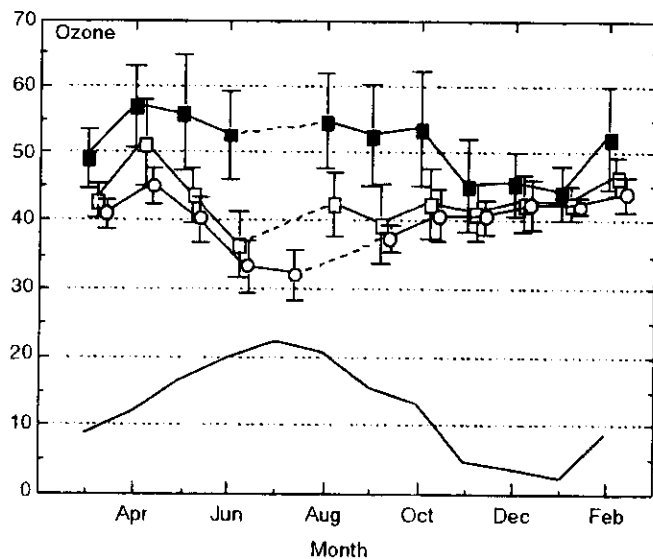


図3 隠岐におけるトラジェクトリー別 O<sub>3</sub> の季節変化と北東アジアにおける O<sub>3</sub> の人為起源増分の季節変化。■ WNW/W, □○ NW, ○ N/NE, 下段実線は WNW/W と N/NE との差

到達方向に応じて、大陸性清浄気塊に相当する<N/NE>、大陸性汚染気塊に相当する<WNW/W>、およびその中間に位置する<NW>の3種である。図3にはこれら各トラジェクトリー別のオゾン濃度の季節変動を示す。図に見られるように、オゾン濃度にはこれらの気塊間に明らかに差が見られ、大陸性汚染気塊<WNW/W>中で最も高く、大陸性清浄気塊<N/NE>中で最も低い。その中間の<NW>ではオゾン濃度も<WNW/W>と<N/NE>の間になっていることが確かめられる。またこれらの季節変動を見ると大陸性清浄気塊<N/NE>ではオゾン濃度の極大は春季4月にみられるのに対し、大陸性汚染気塊<WNW/W>では3月から9月まで春季/夏季/秋季にわたるかな高原状の極大値が現われていることがわかる。一方、中間の<NW>では<N/NE>と同様の4月ピークであり、濃度レベルと合わせて<NW>気塊の特性は、汚染気塊<WNW/W>より清浄気塊<N/NE>にずっと近いことが分かる。ちなみにトラジェクトリー分類の<NW>と<WNW/W>との境界は、朝鮮半島の東側の付け根である。

オゾンの大陸性汚染気塊中と大陸性清浄気塊中の濃度の差は、北東アジアの人為汚染地域を気塊が通過する間にオゾン前駆体物質が添加され、隠岐に到達する間の2-3日の間に光化学的に生成したオゾン濃度に相当するものと解釈することができる。図3の下部に示した実線は、この差の季節変化を表わしたものである。図に見られるように<WNW/W>と<N/NE>の気塊中のオゾン濃度の差は夏季に最大となり、これは夏季に紫外線が強く、気温も高く光化学オゾン生成が最大になることと良く一致している。その最大値は約20 ppbvであり、北東アジアにおいてわが国に到達するまでの間に、人為的原因により増加するオゾン濃度が夏季には約20 ppbv、春季、秋季には10 ppbv前後であることが、本研究により初めて定量的に明らかにされた。また、図3から大陸性汚染大気中のオゾン濃度は4-10月には月平均値で約55 ppbvと、わが国の環境基準値(1時間値60 ppbv)に近い値に達していることも、本研究から初めて明らかになった。

### (3) 北東アジアとヨーロッパのオゾン濃度の季節変動の比較

北東アジアにおける大陸性気塊の特徴をさらに明らかにするために、次に隠岐の観測データの解析から得られた大陸性清浄気塊中におけるオゾン濃度の季節変化を、東シベリアのMondyにおけるオゾン濃度の季節変化と比較してみた。Mondyは、バイカル湖周辺のリモートな山岳地帯(標高2006 m)に位置し、日本周辺に到達する大陸性気塊はこの付近を出発点として南下してくることが多い。したがって、高度の差を別にすれば

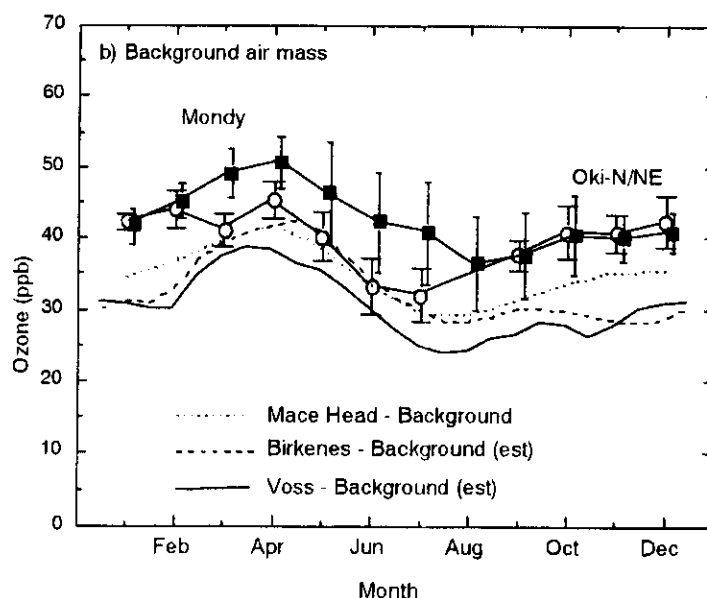


図4 北東アジア(モンディ・隠岐)とヨーロッパ(MaceHead, Birkenes, Voss)における清浄気塊中の地表オゾン濃度の季節変動の比較

Mondy において観測される化学種の濃度は、隠岐で観測された大陸性清浄気塊中の濃度と同じ特性を持つことが期待される。図4は隠岐における大陸性清浄気塊中のオゾン濃度の季節変化を、後に述べるヨーロッパにおける清浄大気中のデータおよび Mondy のデータと比較したものである。

図4に見られるように Mondy におけるオゾン濃度は、明確な春季4月ピークを示し、隠岐で観測された大陸性清浄気塊中のオゾンの季節変化と一致する。濃度レベルについては秋季から冬季には Mondy と隠岐のオゾン濃度は、高度差があるにもかかわらずほぼ一致し、大気が鉛直方向によく混合されていることを示唆している。一方、春季から夏季にかけては隠岐におけるオゾン濃度は Mondy に比べて約 10 ppbv 低い。その理由の少なくとも一部は、この季節のオゾン濃度の鉛直分布を反映しているものと考えられる。

大陸性清浄気塊中におけるオゾンの春季ピークは、これまでヨーロッパ、北米など北半球のリモート地点での観測でも良く知られている事実である。図4にはヨーロッパの地表オゾン観測データのうち、清浄気塊中のものがトラジェクトリーを用いて抽出されている、アイルランドの Mace Head, ノルウェーの Birkenes, Voss のデータについて比較を行った。ヨーロッパにおいても清浄気塊をカテゴリー分類したものについては春季ピークが見られ、オゾン濃度の季節変化は、北東アジアのものと良く一致している。しかるに濃度レベルでは図にみられるように、北東アジアの方がヨーロッパより一般に数 ppbv 高いことが分かった。

一方、大陸性汚染気塊中におけるオゾン濃度の季節変化について、北東アジアとヨーロッパの比較を行ったのが図5である。図に見られるように隠岐の観測データから得られた大陸性汚染気塊中のオゾン濃度の季節変化は、Pic du Midi および Arosa において観測されたものと非常に良く似た春季から夏季にかけてのブロードなピークを示している。すなわちヨーロッパの大陸部においては、光化学オゾン生成は大陸規模に広がっているため、特にトラジェクトリー分類しなくとも一般にオゾン濃度は光化学オゾン生成を反映して、夏季ピークとなっていることが判る。オゾンの絶対濃度について見てみると、Arosa (1840 m) は山岳ステーションであるにも関わらず、そのオゾン濃度は隠岐に比べて数 ppbv-10 ppbv 程度低い。隠岐と同様に海面付近の Mace Head の大陸性汚染気塊では隠岐に比べて、20 ppbv 近くも濃度が低いことが見られる。これは、図4に見たバックグラ

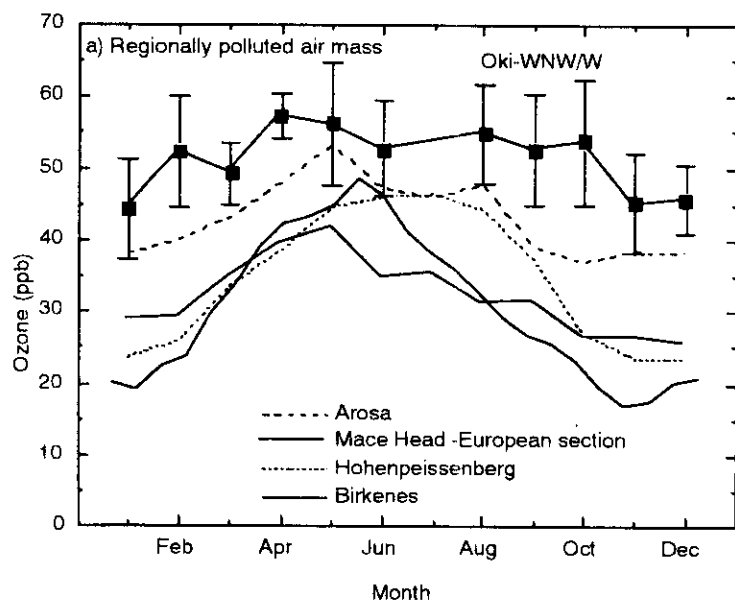


図5 北東アジア（隠岐）とヨーロッパ（Arosa, Hohenpeissenberg, Birkenes）における大陸性汚染気塊中の地表オゾン濃度の季節変動の比較

ンド濃度が低いことと、ヨーロッパが北東アジアに比べ程度が高いため、NO<sub>x</sub> の排出量は北東アジアに比べてより大きいにも関わらず、光化学オゾン生成の効率が低いためではないかと考えられる。Hohenpeissenberg, Birkinnes の冬季の値がはるかに低いのは、これらの地点では、地表における沈着が強く効いているのではないかとと思われる。

以上の結果から、北東アジアにおける大陸性清浄大気、大陸性汚染大気中の大損の季節変化の特性はヨーロッパに非常に類似しているが、その絶対濃度はヨーロッパに比べてさらに 10 ppbv 以上高く、北東アジアはリモート地域としては世界でも最もオゾン濃度が高い地域であることが示唆される。

#### (4) 東南アジア大陸部における地表オゾンの季節変化

本研究で明らかにされたタイのリモート地点におけるオゾン濃度の季節変化の様子を、Srinakarín、Inthanon について比較したのが図6である。図に見られるように Srinakarín と Inthanon は互いに 500 km 以上離れているにも関わらず、オゾンの季節変動パターンは類似しており、これらの地点が十分地域代表性

を持っていることが分かる。タイにおけるオゾン濃度は雨期と乾期によって、はっきりと特徴づけられ、雨期である 6-10 月には、地表オゾン濃度はほぼ 10 ppbv と極めて低く、一方 11-5 月の乾期には高くなりそのピークは 3 月に現れることが分かった。3 月の極大値は約 60 ppbv に達し、北東アジアの大陸性汚染大気中の濃度に匹敵する。トラジェクトリー解析を行ってみると、雨期のタイに流入する大気は全てインド洋からの海洋性大気であり、雨期の低濃度オゾンはこのインド洋気塊中の低濃度オゾンを反映したものであり、その濃度は太平洋気塊中と同程度に清浄であることが分かった。一方、乾期におけるトラジェクトリーを行ってみると、西アジアからの気塊、南シナ海からの気塊、中国から大陸性汚染気塊が混在するが、オゾン濃度は隠岐で見られたようなトラジェクトリー毎のカテゴリー分けでは説明できない。これは、東南アジアの熱帯・亜熱帯域では、乾期のオゾン濃度は地域スケールのバイオマスバーニングの影響によって決まっており、大気が地域的に十分混合されているため、気塊の出発点の記憶を喪失しているためではないかと思われるが、さらに詳しい気象学的な解析が必要である。

東南アジア大陸部のリモート地点におけるオゾンの季節特性が明らかにされたのは本研究が

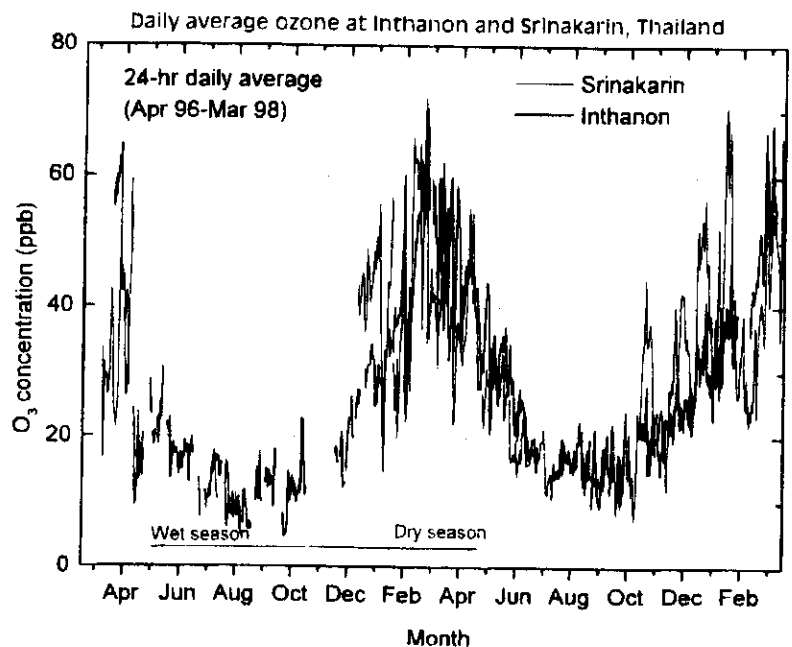


図6 タイ（インタノン、スリナカリン）における地表オゾン濃度の季節変動。

始めてである。

## 5. 本研究の成果

3年間にわたる本研究、および関連研究の結果、北東アジアおよび東南アジアにおける地表オゾンの長距離輸送メカニズムとそれぞれの気塊毎のオゾン濃度が初めて定量的に求められ、気塊毎の季節変動パターンが明らかにされた。またヨーロッパにおける観測データとの比較から、北東アジアで観測される大陸性清浄気塊、大陸性汚染気塊がヨーロッパで観測される大西洋清浄気塊、大陸性汚染気塊と、オゾンの季節変動パターンは類似しているが、その絶対濃度は北東アジアの方がかなり高いことが明らかにされた。一方、東南アジアにおいては雨期におけるインド洋海洋性気塊、乾期におけるインドシナ半島全域規模と思われる地域スケールでのバイオマスバーニングによって、オゾン濃度が決定されていることが明らかとなった。

## 6. 航空機による対流圏オゾン濃度の鉛直分布の定期観測

成層圏からの降下したオゾンが対流圏に混合する場合は、一般的に高高度ほど濃度が高くなる。また、地上から放出される NO<sub>x</sub> や非メタン炭化水素の光化学反応によって生成する場合は中から低高度で濃度が高くなる。従って、オゾンの高度分布を測定することは、その地域のオゾンの起源を解明する重要な手がかりになる。

1996年から成層圏オゾンのカラム濃度が最も高いヤクーツクに注目し、ヤクーツク=チクシ間の民間航空機にオゾン計を搭載し定期的に測定を行う計画を立て鋭意交渉を行ったが、一般に使用されている紫外光吸収型のオゾン計には航空機から電力供給を受ける必要があり、安全審査などの事情で実現出来なかった。そのため計画を変更し1998年からノボシビルスク（北緯55°、東経82°）で観測を行うことにした。

使用した航空機は観測用に改造された An-28 型機である。大気はコクピット直後のサンプリングポートからテフロン管によりサンプリングした。使用したオゾン計は Thermo Environmental Instruments Co.の紫外線吸収型のオゾン計 Model 43S である。これは紫外線吸収セルを二つ持ち一方はオゾンを分解した試料を、他方はそのままの試料を測定し、双方を10秒置きに切り替えセルの光学的アンバランスを補正する方式となっており、かつ、セルが二つあるので常時測定が可能である。オゾン計の後でポンプで吸引する構造となっており、セル内の圧力を測定し補正を加えている。圧力補正が正しくなされていることは、光化学チャンバーを使用し一定濃度のオゾンを含んだ空気を計測しつつ、チャンバーの圧力を変えた試験により確認している。

98年11月から99年3月までのデータを図7に示す。全体としては予想に反し1,000m以上でオゾン濃度は殆ど一定であり、観測地点から比較的近い場所で成層圏からオゾンが大規模に降下した形跡がない。11月から2月の期間はおおむね40ppbであり、3月に突然60ppbに上昇している。高度1,500m以下の濃度は11、1、2月には30ppb近くに下がっている。高度1,500mから地表面にかけての濃度が2000m以上の自由対流圏濃度に比べ10ppb程度低いのは、地表面でのオゾン吸収を反映したもので、この差は一般的なものである。

ヨーロッパにおける同緯度帯の冬季の地表面オゾン濃度は30ppb程度であり、3-5月は40ppbに上昇する事が知られている。3-5月にオゾン濃度が上昇する理由は低気圧の通過に伴い成層

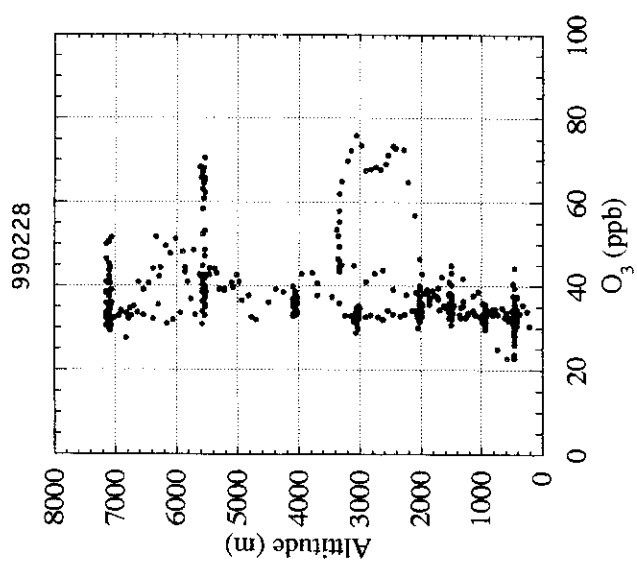
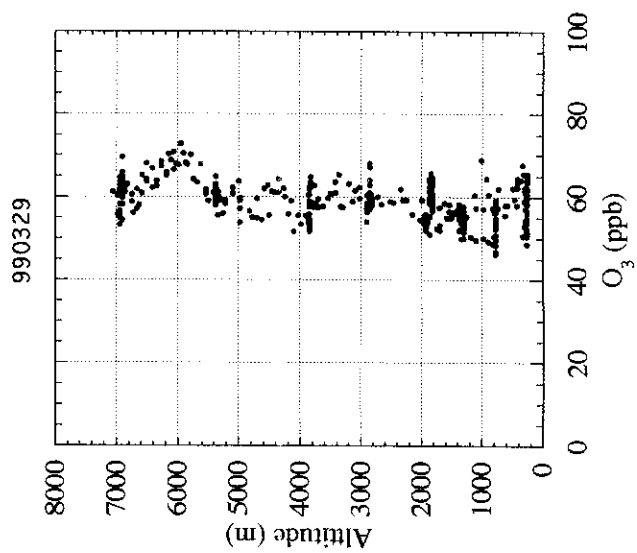
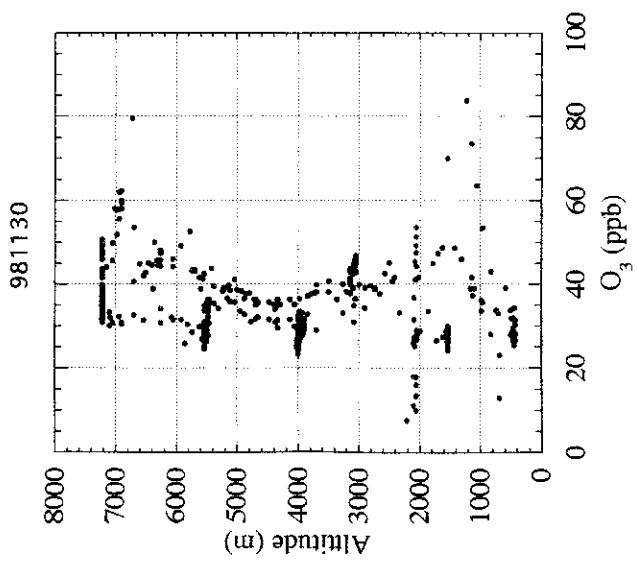
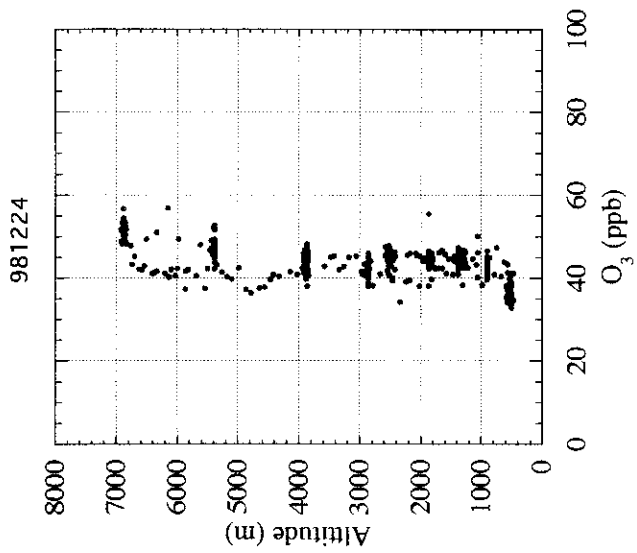
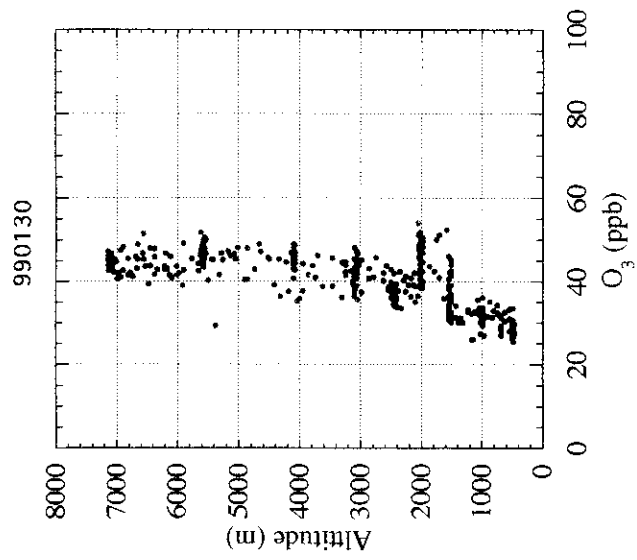


図7 1998年11月から99年3月までの  
ノホシビルスク上空におけるオゾン  
濃度の高度分布



圏オゾンが進入するためと考えられている。航空機により3月に観測された高濃度(60ppb)は、ヨーロッパで一般に観測されている地表面濃度の上昇と同様に、成層圏オゾンの進入影響と考えられる。しかしながら鉛直変化は少なく上空で特に高いという訳ではない。成層圏からの高濃度オゾンの進入は極めて狭い範囲で起こり、そこでは数100ppbのオゾン濃度が観測されることが知られているが、それは数10km規模の小さい領域である。成層圏から進入した空気は対流圏では短日の内に混合されてしまい、広範囲の濃度を上昇させるとともに自由対流圏内での高度分布も均一化される。3月の比較的オゾン濃度の高い観測結果に高度勾配が見られないことは、かなり以前に成層圏オゾンの進入があった事を示唆する。

図7で500、1000、2000、3000、4000、5500、7000mの高度でオゾン濃度に幅があるのは、この高度で濃度の激しい変動があったのではなく、この高度で大気のサンプリングを行った際、約100kmの半径での水平飛行を行ったためである。即ち、この濃度幅は、それぞれの高度での100km規模の水平濃度分布の幅を反映している。その幅は一般には約10ppbであるが、高度分布に大きな変動のある11月の例ではその幅が大きくなっている。即ち水平の濃度変動幅が大きく、かつ、鉛直分布にも濃度の分布むらがあったことを意味する。その原因を検討するために、二酸化炭素や気温のデータと比較するのは意味がある。

11月と2月のデータには場所により10から80ppmの大きな濃度変動が見られる。図8に11月に観測されたオゾンの濃度分布と共に、高度(b)、二酸化炭素(c)、気温(d)を示した。17時10-15分の大きな変動は雲を通過する際の水滴吸収に伴うノイズと推測される。気温は地表面から700mまでは1,000mまでは-21℃まで冷えており、温度逆転した接地境界層があることを示している。1,700mから2,200mの間は-12℃で一定しており弱い温度逆転があり、二酸化炭素の濃度は2,500mまでの高度では上昇中には371-372ppm、降下時には377ppmと高くなっている。地表面の二酸化炭素発生を反映した高濃度二酸化炭素が閉じこめられていると判断される。オゾン濃度は30ppbでほぼ一定である。2200mから7000mにかけては気温は-12℃から-37℃まで低下する。飛行機が降下した地点でも気温の分布はほぼ等しく、大気安定度は中立に近い。飛行機が上昇する17時15分から18時にかけてはオゾンの濃度が高く、降下する18時から19時にかけては30ppbで比較的安定している。この間、二酸化炭素は367~369ppmと低くなっている。オゾンの濃度とは負の相関関係にある。このことは上昇中に観測された高濃度オゾンは付近の地表面から輸送されたものではない事を意味する。このオゾンのソースとしては、光合成が活発で窒素酸化物の排出も大きい南で光化学反応により生成し輸送された可能性と、成層圏から輸送された可能性が考えられる。トラジェクトリー解析など今後の解析に判断は委ねられる。

2月の観測結果(図9)は11月とは異なった様相を示している。二酸化炭素の濃度はバックグラウンド大気と同様に、植物や土壤の呼吸による二酸化炭素放出により370~375ppmと高い濃度になっている。気温の分布からは500~1000mの高度まで接地逆転層があると判断される。しかしながら部分的には高濃度の二酸化炭素が測定されたものの、11月に観測されたような数ppmもの蓄積はない。この時期は地表面は凍結し雪におおわれており土壤呼吸は停止しており、樹木の活動も停止している。従って、ノボシビルスク市などの人為的排出以外には地表面に二酸化炭素のソースはない。そのことから合理的な結果である。高度5500mと2200~3300mにオゾン濃度が狭い範囲で65~70ppbと高くなっていることが注目される。この高濃度

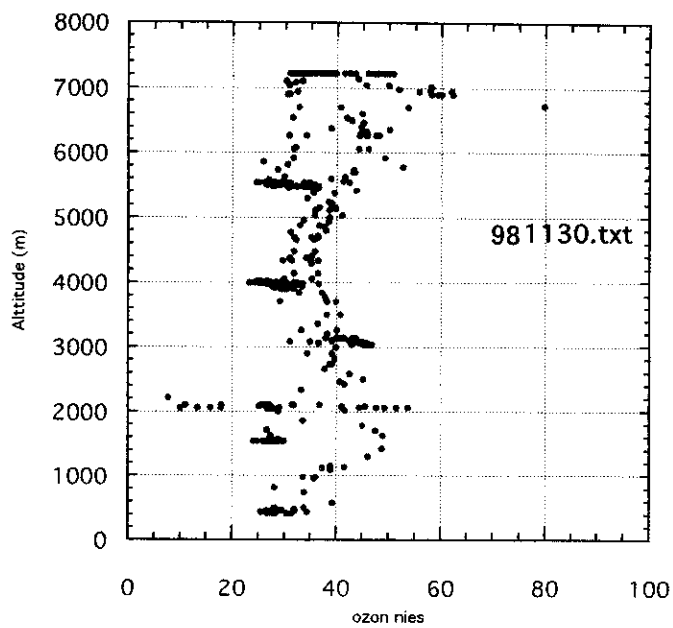
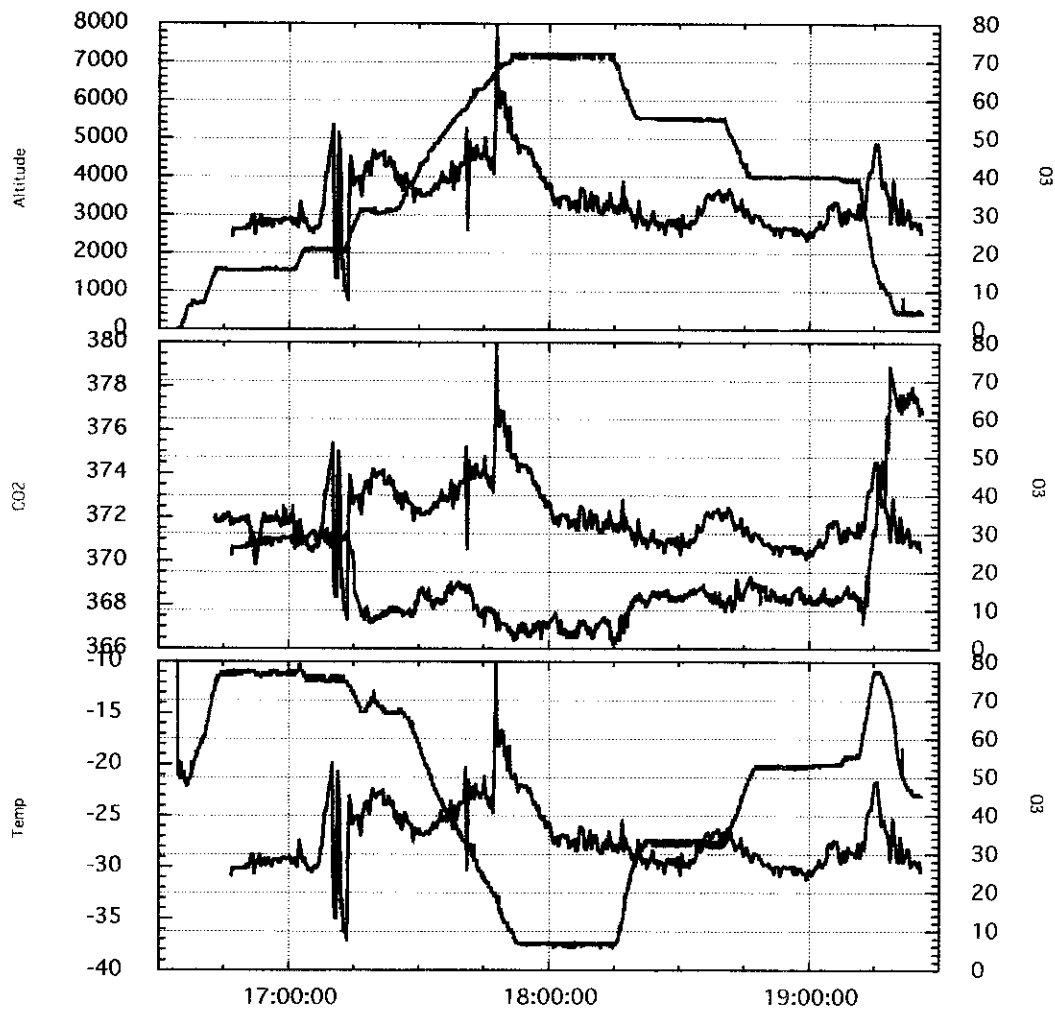


図8 1998年11月の観測飛行における飛行高度(a)、二酸化炭素濃度(b)、気温(c)の経時変化をオゾン濃度と共に図示した。





オゾンの範囲は水平距離で数 10km である。上昇時にも 6000m 近辺で 50ppb のピークがあり、高度 5500m の水平飛行中に観測された 65ppb と同一の減少である可能性が高い。これは成層圏から降下したオゾンである可能性が高い。17 時 15 分から 30 分に観測された 2200 ~ 3300m のピークはノボシビルスクに近い地域であるが、二酸化炭素の増加は見られないことから光化学反応の影響を受けた可能性はすくない。逆に 500m の高度で温度逆転した接地境界層内での観測結果には、二酸化炭素の 60 ~ 65ppm のピークが見られ、それに伴いオゾンは 5ppb 程度減少している。化石燃料の消費に伴う一酸化窒素の排出によりバックグラウンドのオゾンが暗化学反応で消費されたと理解される。この時期、太陽高度が低く気温も低いことから、光化学反応によるオゾンの生成は無いと考えられる。こうした故殺から 2000 ~ 3000m に見られたオゾンのピークも成層圏オゾンに起因する可能性が高い。

#### [国際協同研究などの状況]

ロシア・Mondy における観測はイルクーツクの湖沼研究所の研究者と、タイの Inthanon および Srinakarin における観測はそれぞれチェンマイ大学、環境研究訓練センター(ERTC)の研究者との協同研究として実施されている。

#### [研究成果の発表状況]

##### (1) 口頭発表

- ①バクボン ポチャナート・廣川 淳・中尾 允・梶井克純・秋元 肇：第 3 回大気化学討論会 (1967)  
「隠岐における地表オゾン・一酸化炭素の通年トラジェクトリーによる解析」
- ② H. Akimoto : 1997 Joint Assemblies of IAMAS/IAPSO, Melbourne (1997)  
"Climatology of ozone in the East Asian/North Pacific region."
- ③ H. Akimoto, P. Pochanart, K. Shobatake, J. Hirikawa, Y. Kajii : International Symposium on Atmospheric Chemistry and Global Environment, Nagoya (1997)  
"Analysis of seasonal variation of surface ozone at Oki and Okinawa in a global perspective."
- ④ P. Pochanart, D. Narita, J. Hirokawa, Y. Kajii, H. Akimoto, J. Kreasuwun, P. Sukasem, T. S. Tabukanon, T. Khodzher : International Symposium on Atmospheric Chemistry and Global Environment (1997)  
"Evaluation of surface ozone and carbon monoxide data observed at newly established sites in East Asia."
- ⑤バクボン ポチャナート・廣川 淳・梶井克純・秋元 肇・中尾 允：第 4 回大気化学討論会, 秋保 (1998)  
「隠岐において観測された北東アジアの地表オゾンおよび前駆体の変動」
- ⑥ H. Akimoto, P. Pochanart, J. Hirokawa, Y. Kajii, T. Khodzher : Ninth Symposium of the CACGP / Fifth Scientific Conference of IGAC (1998)  
"Seasonal variation of surface ozone in Eurasian continent."
- ⑦ P. Pochanart, D. Narita, J. Hirokawa, J. Kreasuwun, P. Sukasem, M. Tabukanon, Y. Kajii, H. Akimoto, , Ninth Symposium of the CACGP / Fifth Scientific Conference of IGAC (1998)  
"Regional characteristics of surface ozone and carbon monoxide in tropical South East Asia observed in Thailand."

- 8) 泉 真帆・秋元 肇・梶井克純・廣川 淳・バクボンボチャナート・谷本浩志・成田大樹・鹿角孝男・金城義勝：, 第9回大気化学シンポジウム (1999)  
「八方/Arosa、沖縄/Cape Grim の地表オゾンの比較」

(2) 誌上発表

- ① 秋元 肇：, 地球環境, 2, 21-31 (1997)  
「北東アジア・太平洋周縁地域における対流圏オゾンの生成と輸送」
- ② Y. Kajii, H. Akimoto, Y. Komazaki, S. Tanaka, H. Mukai, K. Murano, J. T. Merrill : J. Geophys. Res., 102(D23), 28637-28649 (1997)  
"Long-range transport of ozone, carbon monoxide, and acidic trace gases at Oki Island, Japan, during PEM-EST B / PEACAMPOT B campaign."
- ③ S.-H. Lee., H. Akimoto, H. Nakane, Y. Kinjo : Geophys. Res. Lett., 25, 1637-1640 (1998)  
"Lower tropospheric ozone trend observed in 1989-1997 at Okinawa, Japan."
- ④ Y. Kajii, K. Someno, H. Tanimoto, J. Hirokawa, H. Akimoto : Geophys. Res. Lett., 25, 3505-3508 (1998)  
"Evidence for the seasonal variation of photochemical activity of tropospheric ozone: Continuous observation of ozone and CO at Happa, Japan."
- ⑤ Y. Kajii, H. Akimoto, Y. Komazaki, S. Tanaka, H. Mukai, K. Murano, J. T. Merrill : Proceedings of the XVIII Quadrennial Ozone Symposium (1998)  
"ground-base measurements of ozone, carbon monoxide, and acidic trace gases at Oki island, Japan during PEM-West(B) campaign, in Atmospheric Ozone."
- ⑥ P. Pochanart, J. Hirokawa, Y. Kajii, and H. Akimoto : Proceedings of the XVIII Quadrennial Ozone Symposium (1998)  
"Surface ozone and carbon monoxide measurement at Oki Islands, Japan, During March 1994 to February 1996, in Atmospheric Ozone."
- ⑦ H. Akimoto : Global Environ. Res. , 2, 21-29 (1998)  
"Long-range transport of ozone and carbon monoxide in the northwest Asian Pacific rim region."
- ⑧ P. Pochanart, J. Hirokawa, Y. Kajii, H. Akimoto, M. Nakao : J Geophys. Res. 104, 3621-3631 (1999)  
"The influence of regional scale anthropogenic activity in Northeast Asia on seasonal variations of surface ozone and carbon monoxide observed at Oki, Japan."