

図 2-7 日本上空における 1970～1985 年(左)と 1986～2002 年(右)のオゾン濃度の比較 (Naja and Akimoto,2004 , 海洋研究開発機構プレスリリース,2004)

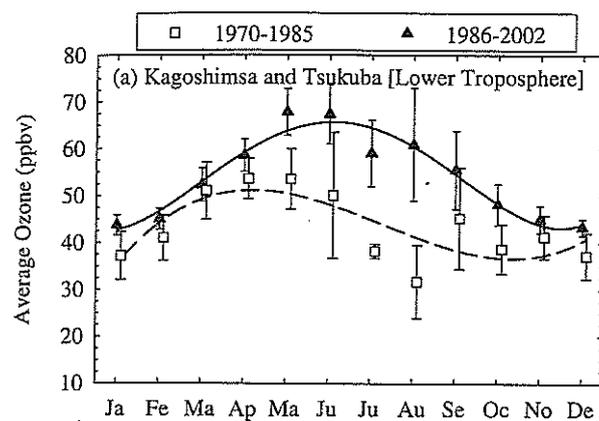


図 2-8 1970-1985 年(破線)と 1986-2002 年(実線)における中国・韓国などの汚染地域を通過してきた気塊中のオゾン濃度の季節変化の比較(つくばと鹿児島上空 2.1km～4.3km の平均) (Naja and Akimoto,2004)

次に、現状における東アジアからのオゾン濃度寄与量について、定量的に研究した報告をみる。領域化学輸送モデルによる再現結果によれば、4月は東アジアからの前駆物質起源のオゾンが日本の中高緯度に輸送されており、我が国における地表オゾンに対して月平均で5~10 ppb程度の寄与がみられ、5月は高緯度への輸送が減る一方で中緯度では影響が大きくなり10~20ppb程度の寄与がみられる(Tanimoto et al.,2005, 国立環境研究所記者発表,2005)。(図2-9)

図2-9から、本州付近の4月から5月の月平均オゾン濃度に対して概ね10~20数%程度が東アジア起源であると考えられる。

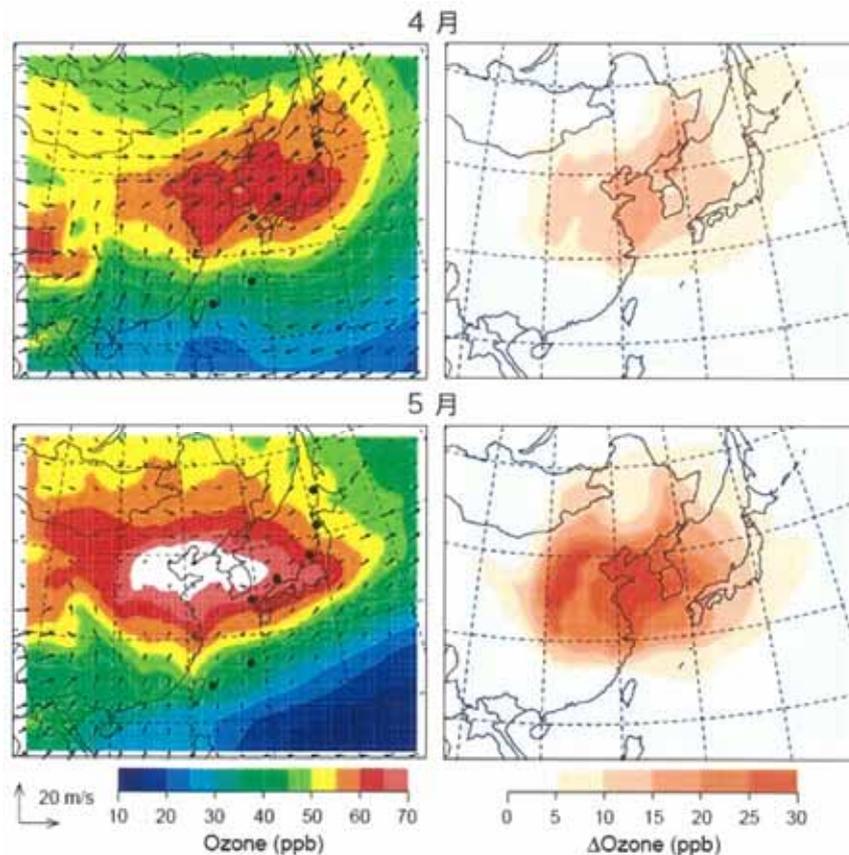


図2-9 領域化学輸送モデルにより求めた4月(上段)及び5月(下段)の地表オゾンの濃度分布(左列)及び中国・韓国からの前駆物質によるオゾンの生成量(右列)(国立環境研究所記者発表,2005)

このようなアジア大陸からの影響については、常に一定の量がある訳ではなく、日本に到達する気塊のルートにより変動がみられる。隠岐における後方流跡線解析の結果からは、隠岐を通過する気塊は、東アジア大陸性地域汚染気塊(WNW/W)、東アジア大陸性清浄気塊(N/NE)、海洋性気塊(Marine)及び中間気塊(NW)に分けられ、隠岐におけるオゾン濃度の変動は、これらの気塊が日々交代するために発生している(Pochanart et al.,1999, 2002,

秋元,2003)。(図 2-10)

また、沖縄では海洋性気塊の中でも人間活動等の影響を受けていない、隠岐で観測されるものより清浄な気塊が捉えられ、利尻ではほとんど通年にわたって大陸性清浄気塊が捉えられるなど、緯度によって観測される気塊は大きく異なるため、オゾン濃度変動の要因も地域によって相違がみられる(Pochanart et al.,1999 , 2002 , 秋元,2003)。

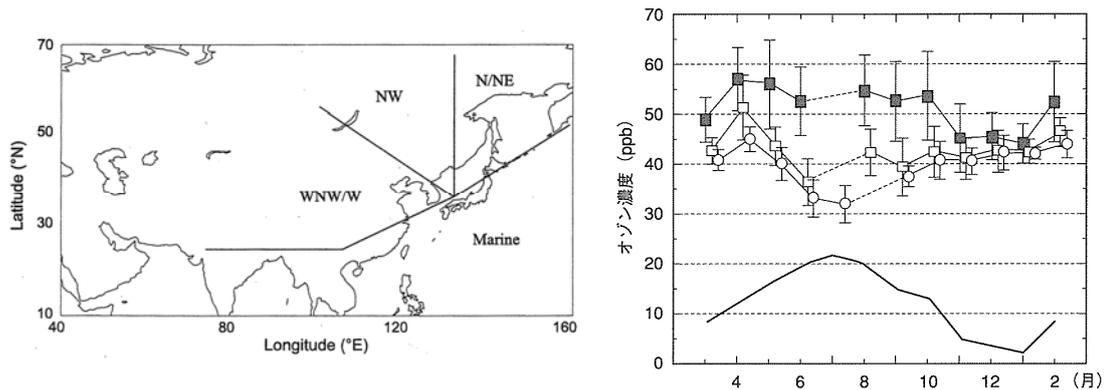


図 2-10 隠岐におけるトラジェクトリーのセクター分類(左)及び大陸性気塊カテゴリー別の月平均オゾン濃度 (右)(1994~1995年)(Pochanart et al.,1999)

：東アジア大陸性地域汚染気塊(WNW/W)、 □：東アジア大陸性清浄気塊(NNE)、 ○：地域汚染気塊と清浄気塊の中間気塊 (NW) 下部の実線は地域汚染気塊中と清浄気塊中のオゾン濃度の差

全球モデルによる計算によれば、首都圏グリッド(180kmメッシュ)におけるオゾン(2~4月)に対する中国からの寄与濃度(12時から16時までの日中の1時間変化値)は2~18 ppbの範囲で大きく変動する(Akimoto et al., 2006)。

オゾン濃度の将来予測に関する研究も近年活発に行われており、その中の研究報告の一例を紹介する。

[Ohara et al.,2007a]は、アジア域排出インベントリ『REAS』(Regional Emission Inventory in ASia)を開発し、アジア(東アジア、東南アジア、南アジアを含む)における2010年と2020年の将来排出量を予測している。この中で、中国については、将来のエネルギー消費と環境対策の動向を考慮して、現状推移型(燃料消費や環境対策が現状のまま推移し排出量が最も増加するシナリオ。PFC: Policy Failure Case) 持続可能性追求型(エネルギー対策や環境対策を適度に進めたシナリオ。排出量は3種類のシナリオの中位。REF: Reference Case) 対策強化型(エネルギー対策や環境対策を強力に進めることにより排出量が最も少ないシナリオ。PSC: Policy Success Case)

の3種類のシナリオを設定している。その他の国については、国際エネルギー機関（IEA）のエネルギー需要予測（基準シナリオ）に基づく排出シナリオを設定している。REFのシナリオの場合、アジアのNO<sub>x</sub>排出量は25.1Mt（2000年）から36.1Mt（2020年）まで増大する。（図2-11）

各シナリオでの2020年におけるオゾン年平均濃度の予測結果をみると、PSCでは日本は全域で55ppbより低い濃度となっており、REFでは北海道や沖縄を除いた多くの地域で50~57.5ppb程度、PFCではほとんどの地域が年平均で52.5~60ppbの濃度になると予測されている(Uno et al.,2007)。（図2-12）

また、このシナリオのうち中位のREFにおいて領域化学輸送モデルにより再現した2020年のオゾン濃度予測結果では、5~6月および7~8月の日本域の地表オゾン濃度は20年の間に2~5ppb増加する。特に5~6月に、東北地域北部を除く本州と四国・九州の北部で、オゾン濃度の2ヶ月平均値が65ppbを超えることが予測されている(Yamaji et al.,2006b, 山地・秋元,2007)。

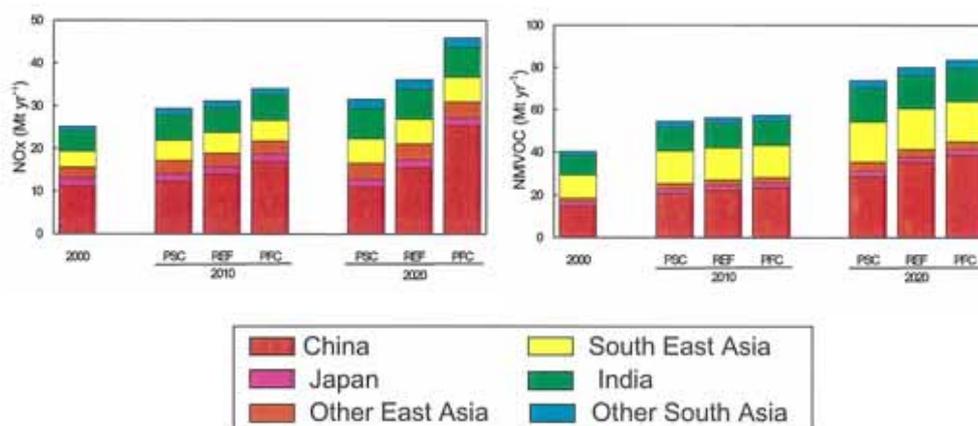


図 2-11 2000年、2010年、2020年のアジアにおけるNO<sub>x</sub>（左）及びNMVOC（右）の排出量の将来変化(Ohara et al.,2007a)

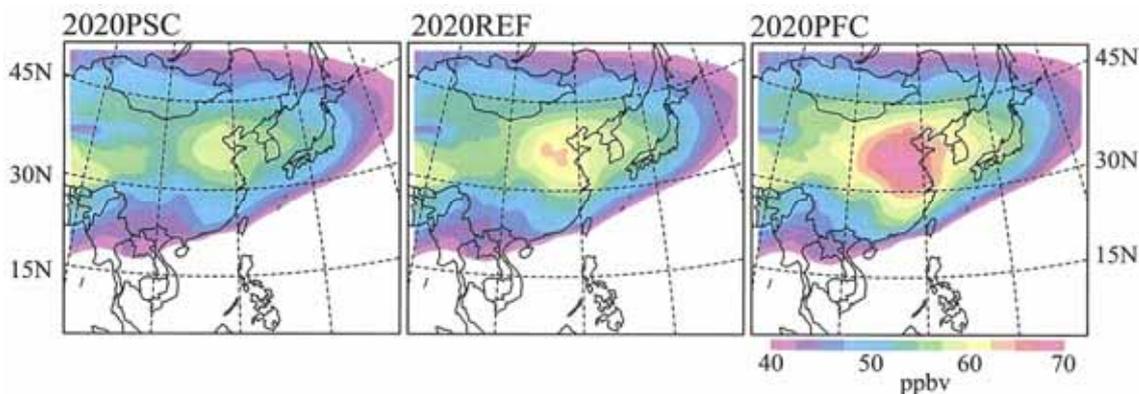


図 2-12 3つのシナリオ(PSC:左、REF:中央、PFC:右)による2020年の境界層オゾン(<2km)の年平均濃度の分布(Uno et al.,2007)

### 2.2.3 半球規模でのオゾンの輸送

アジア・北米・ヨーロッパの間のオゾン輸送は、それぞれの大陸間で相違がみられる。アジアからのオゾンの生成・輸送は上部対流圏で活発に起こるため、北半球全域に影響する。これに対し、ヨーロッパからアジアへのオゾン輸送は境界層内部から下部対流圏で起こり、北米からヨーロッパへの輸送は中部対流圏での輸送が主となっている(Wild and Akimoto,2001 , 秋元, 2006)。( 図 2-13 )

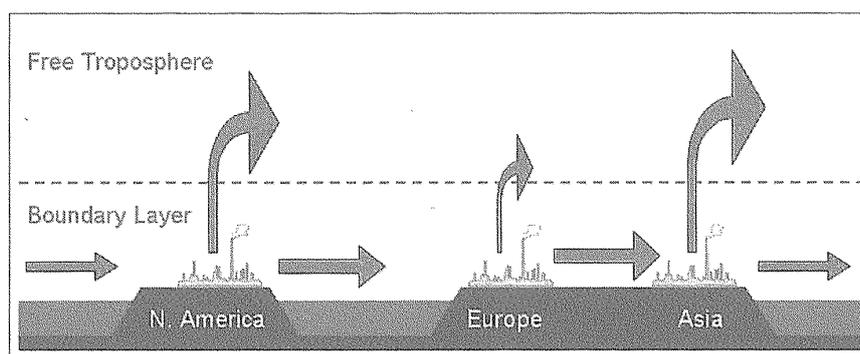


図 2-13 北米からヨーロッパへ、ヨーロッパからアジアへ、アジアから北米へ渡る大気汚染物質の大陸間輸送の概念図(秋元,2006)

第 1 章で示したように、北半球の様々な地域でバックグラウンドオゾン濃度は増加傾向となっているが、[TF HTAP,2007]では、この増加の一つの要因としてアジアにおけるオゾンの前駆物質排出量の増加が考えられるとしている。アジアでみられるような急速なオゾン前駆物質排出量の増加は、地域スケールのみならず、半球スケールにも多大な影響を与えるものと思われる。

大陸間輸送に関するソース・リセプター関係（発生源地域とその影響を受ける地域の関係）を研究した論文等は数多く報告されており、そのうち被影響地域がアジアまたは日本に関するものをみると、ヨーロッパ及び北米から東アジアに対して数 ppb の寄与があり(TF HTAP,2007)、ヨーロッパから我が国への寄与も 0.2 ~ 2.5ppb あるとの研究成果がある(Wild et al.,2004)。( 表 2-1 )

表 2-1 ヨーロッパ及び北米からの東アジアへの地表オゾン寄与量(TF HTAP,2007 より被影響地域がアジアのみ抜粋)

| 被影響地域              | 発生源地域 | オゾン寄与量(ppb)          | 参考文献                   |
|--------------------|-------|----------------------|------------------------|
| アジア                | ヨーロッパ | 1.1                  | Wild and Akimoto,2001  |
| 東アジア               | ヨーロッパ | 3 (昼間平均：春季)          | Liu et al., 2002       |
| 日本                 | ヨーロッパ | 0.2-2.5              | Wild et al., 2004      |
| 東シベリア<br>(1997-99) | ヨーロッパ | 2 (年平均)<br>3 (春季-夏季) | Pochanart et al., 2003 |
| アジア                | 米国    | 0.8                  | Wild and Akimoto,2001  |

全球モデルを用いたタグ付きトレーサー実験の結果、ヨーロッパから鹿児島島の境界層オゾンへの影響は4月に2~2.5 ppb程度、北米からの影響は4月に1~2 ppb程度となっており、夏季には影響が低くなっている(Sudo and Akimoto,2007)。また、八方におけるモデル計算の結果でも、ヨーロッパ及び北米の影響は冬季から春季に大きくなり、夏季に低くなっていた(Wild et al.,2004)。(図 2-14)

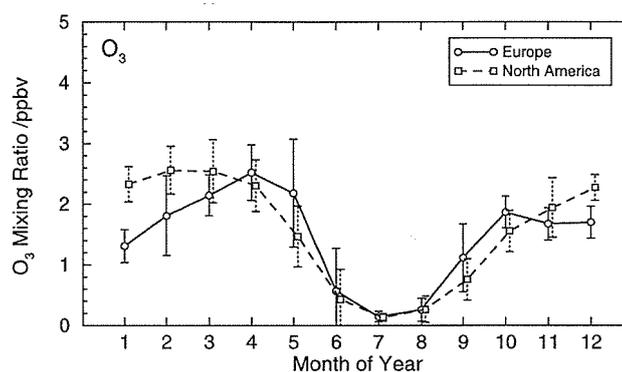


図 2-14 八方におけるヨーロッパ及び北米からのオゾン影響濃度の季節変化(Wild et al.,2004)

東アジア(八方、Mondy)をヨーロッパの遠隔地域(Arosa、Mace Head)と比較すると、秋季・冬季で約5ppb、春季には10 ppb程度オゾンの濃度が高くなっているが、このうち4割程度は中央アジア付近での成層圏オゾン降下によるものであり、残りがユーラシア大陸や自由対流圏からの輸送によるものである(Akimoto et al.,2004, Wild et al.,2004)。(図 2-15)

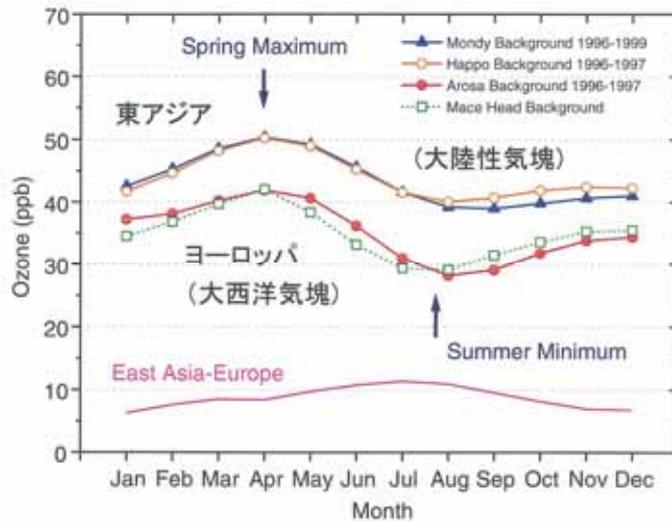


図 2-15 東アジアとヨーロッパのバックグラウンドオゾン濃度の観測値の比較(Akimoto et al.,2004)

隠岐などの我が国自身の大気汚染物質放出による直接的影響をほとんど受けていないと思われる離島においても、春季のオゾン濃度は月平均で 55～60 ppb に達している。(図 1-11 参照) 春季のオゾンに及ぼす影響については、これまでの様々なモデル計算と観測データ解析によれば、成層圏オゾン降下、大陸内越境輸送及び大陸間輸送の寄与がそれぞれおおよそ 15 ppb (図 2-19 及び図 2-21 参照) 15 ppb (図 2-9 及び図 2-10 参照) 及び 5 ppb (図 2-14 及び図 2-21 参照) 程度と推定できるが、これらを合わせても 40ppb 以下にしかならず、観測される濃度を説明できない。このようなことから、これまで考慮されてこなかったヨーロッパ・北米・東アジア以外の地域からの影響も大きい可能性が示唆される(Pochanart et al.,1999 , 2002 , Sudo and Akimoto,2007 , Tanimoto et al.,2005 , Wild et al.,2004 , 秋元,2006)。

## 2.3 光化学オキシダントの前駆物質 (NO<sub>x</sub> 及び VOC) との関係

光化学オキシダントは大気中の NO<sub>x</sub> や VOC が太陽光 (特に紫外線) を受けて、光化学反応によって生成される。光化学オキシダントの前駆物質である NO<sub>x</sub> 等の濃度は第 1 章で示したとおり、排出量削減対策の効果を反映して近年減少傾向を示しているにもかかわらず、光化学オキシダントの濃度は上昇傾向となっている。

光化学オキシダントの生成量は、NO<sub>x</sub> 及び NMHC の濃度に対して複雑な応答を示すことが知られており、首都圏における解析結果によれば、NMHC /NO<sub>x</sub> 比 (ppmC/ppm) が 6 以上の場合に高濃度出現割合が増加していることが報告されている。1996 年以降は首都圏における NMHC /NO<sub>x</sub> 比が増加していることが高濃度オキシダントの出現頻度を高めている可能性もあり、首都圏における光化学オキシダント濃度の削減には NO<sub>x</sub> 削減とともに VOC の排出削減が必要であることが考えられる(東京都,2005 , 東京都環境局環境改善部,2005)。(図 2-16)

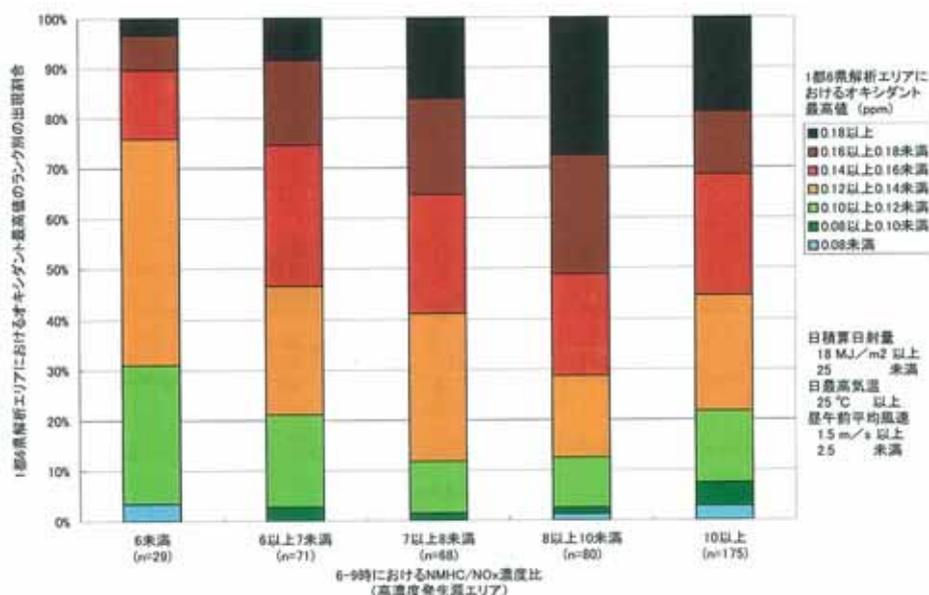


図 2-16 NMHC/NO<sub>x</sub> 濃度比とオキシダント最高値の出現割合との関係 (1977 ~ 2002 年 4 ~ 9 月) (東京都,2005 , 東京都環境局環境改善部,2005)

このように、首都圏などでは NMHC /NO<sub>x</sub> 比の減少が高濃度オキシダントの出現頻度の削減に効果を持つ可能性があるが、図 2-17 に示す全国の測定局における NMHC/NO<sub>x</sub> 比の長期的な減少傾向と、近年の全国的な光化学オキシダント年平均濃度の上昇トレンドには明確な関係がみられない。したがって、近年の全国的な光化学オキシダント年平均濃度の長期的上昇が、NMHC/NO<sub>x</sub> 比の変化によってもたらされている可能性はないものと考えられる。

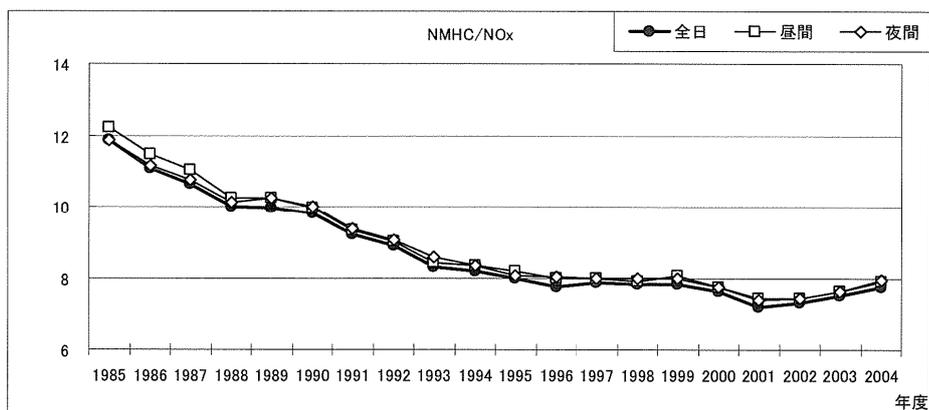


図 2-17 全国の継続測定局における NMHC/NO<sub>x</sub> 比 (ppmC/ppm) の経年変化 (全日・昼間 (5 ~ 20 時)・夜間 (20 ~ 翌 5 時) 別の全国平均値) (大原編,2007)

NMHC 成分の組成についてみると、1992 年度と 2003 年度を比較すると NMHC の濃度は減少しているが、NMHC の 23 成分の組成が変化しているとの調査結果がある。この比較結果では、反応性ポテンシャル は約 40%減少しており、NMHC の組成変化が近年の光化学オキシダント濃度の上昇に与える影響は少ないものと思われる (東京都,2005 , 東京都環境局環境改善部,2005)。ただし、この調査には光化学オキシダント生成能が大きいアルデヒド類は含まれていないことに留意する必要がある(竹内ほか,2006 , 星ほか,2005)。

#### 反応性ポテンシャル

反応性ポテンシャルとは、炭化水素のオゾン生成に関する指標である。NO<sub>x</sub> は紫外線を受けて炭化水素と反応しオゾンを生産するが、炭化水素の種類や量によりオゾンの生成速度や生成量は異なる。このため、ここではこのように炭化水素の反応性が異なることを考慮し、各炭化水素成分  $i$  と OH ラジカルとの反応速度定数  $k_i$  に着目し、環境大気中各炭化水素成分の濃度  $C_i$  と  $k_i$  との積 ( $C_i \times k_i$ ) の和を反応性ポテンシャルと定義した。

アルデヒド類については、アルデヒド類濃度と光化学オキシダント濃度の経時変化が類似していることや、夜間上空に残存しているアルデヒド類等の二次生成物により、光化学オキシダント濃度がより早い時刻に上昇することがある(Wakamatsu et al.,1990 , 1999 , 竹内ほか,2006 , 若松,2007)。

大気中 OH ラジカルの反応性の実測結果と約 70 種類の化学種から見積もった反応性の比較では、冬季は比較的よい一致を示したが、それ以外の季節では、反応性のうち 2~3 割が未知の反応相手によるものであることが明らかになり、それは大気中で生成する二次的な化学物質である可能性が示唆されている。(梶井ほか,2006)

VOCには人為由来だけではなく植物由来のものも多く含まれているが、植物起源のVOCの中には、イソプレンのようにOHラジカルとの反応性が高いものも含まれるのでオゾン生成に大きな役割を果たしている可能性がある。全国ではVOCの総排出量に対して植物起源の排出量は40%程度と大きな割合を占めているのに対し、東京や大阪などの都市域では3~4%程度と少ないが、このような都市域においても植物起源のVOCによるオゾン生成への寄与には注意をする必要がある(産業技術総合研究所,2007)。

光化学オキシダントの前駆物質についてはアルデヒド類や植物由来VOCの影響、OHラジカルの挙動など未解明の部分も多く、更なる知見の集積が必要といえる。

## 2.4 気象状況の変化との関係

紫外線量が増加すると光化学反応が進み、光化学オキシダント濃度が上昇する可能性がある。つくばの観測結果によれば、1990年～2000年で紫外域日射量の年平均値は約10%増加しており、光化学オキシダント濃度上昇の一因となっている可能性は否定できないが、その定量的な評価はなされていない(大原,2003)。

また、気温との関係については、暖候期の光化学オキシダント高濃度発生頻度と日最高気温平均値の間に正の相関関係があるという報告があるが(Wakamatsu et al.,1996)、実際の観測結果では、気温と光化学オキシダント濃度の変動傾向は一致していない(大原・坂田,2003)。

天気図を用いた判定では、1990年前後より2000年前後には夏季に高気圧圏内に入る日が増加しており、好天日の増加は平均気温の上昇や期間積算紫外線量の増加につながり、光化学オキシダント高濃度増加の一因となった可能性もある(吉門,2004)。(図2-18)

なお、ヒートアイランドによる高温が光化学オキシダント濃度に与える影響についても、[吉門,2004]を始めとして多くの研究が進められているが、現在のところ、その影響については不明である。

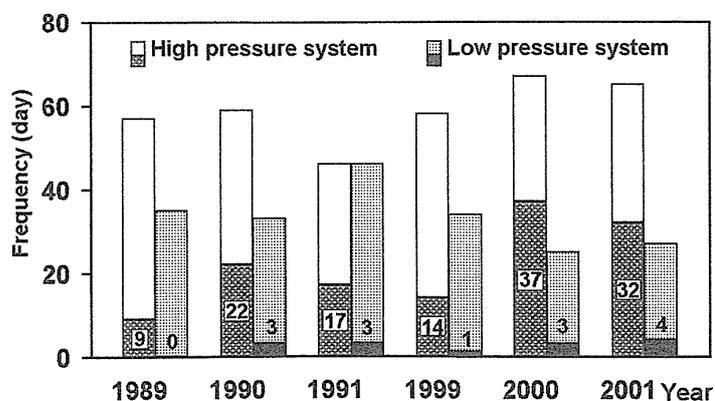


図2-18 9時の天気図により関東地方を高気圧下、低気圧下で分類した結果

(6～8月：下段のパターン及び数値は光化学オキシダント高濃度日 の日数)(吉門,2004)

光化学オキシダント高濃度日とは、ここでは昼間に120ppb以上が2時間以上続いた日と定義している。

## 2.5 成層圏オゾン降下との関係

春季に成層圏から対流圏へのオゾン降下の寄与が大きくなることが知られており(Wakamatsu et al.,1989)、全球化学輸送モデルによる解析結果では、札幌や鹿児島県の境界層のオゾンに対し成層圏から輸送されたオゾン濃度は春季に高く、夏季に低くなる変動を示しており、4月の月平均値で10ppb程度となっている(Sudo and Akimoto,2007)。(図2-19)

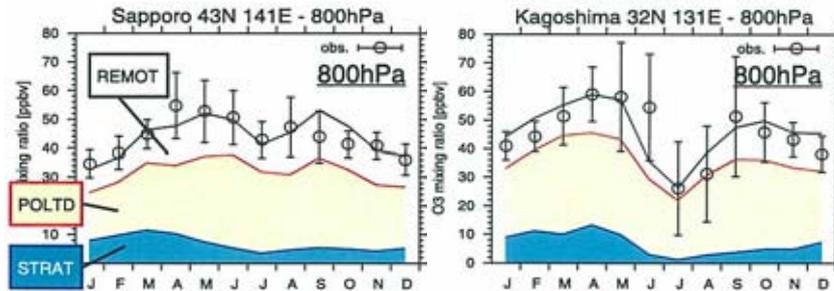


図2-19 観測及び計算によるオゾン濃度の季節変化(左列:札幌、右列:鹿児島)  
STRAT:成層圏由来、POLTD:汚染地域由来、REMOT:清浄地域由来(Sudo and Akimoto,2007)

このように、成層圏オゾンの降下はオゾン濃度の季節変動や地域における濃度差に寄与するが、後方流跡線解析やオゾンゾンデ観測の結果からは、成層圏オゾンによる対流圏オゾン年平均濃度レベルの長期的上昇に及ぼす影響はみられない(気象庁,2007,大原編,2007)。(図2-20)

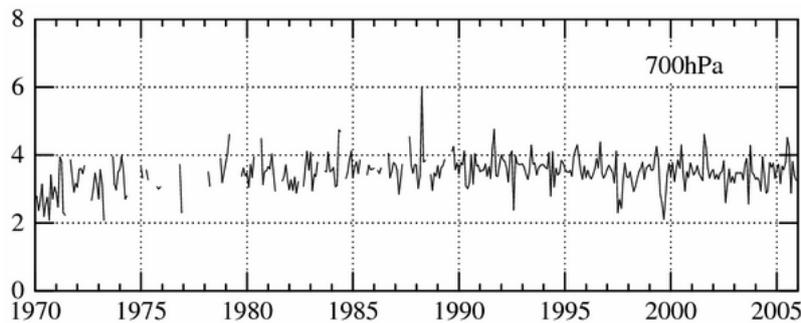


図2-20 つくばのオゾンゾンデ観測による1970年以降の700hPaにおけるオゾン分圧(mPa)の経年変化(気象庁,2007)

## 2.6 高濃度日における各要因の解析

これまでの研究成果から、我が国における光化学オキシダントの濃度は、国内の局地汚染由来の他、アジア大陸からの大気汚染物質の大陸内越境輸送や、ヨーロッパ、北米からの大陸間輸送、成層圏由来の影響を受けていることが分かっている。これらの寄与割合が変わることで日々の濃度変化が生じ、様々な要因の光化学オキシダントの高濃度日が現れることが報告されている。このような要因解析の例を下記に紹介する。

1996年4月の八方における観測結果及び化学輸送モデルによる計算の結果、北米及びヨーロッパの影響は1~3ppb程度で変動が小さいが、東アジア(2~20ppb程度)及び日本由来(1~35ppb程度)の影響は変動が大きく、影響要因の寄与割合では成層圏、東アジア及び日本由来の影響が同程度の日や(4月7日)、日本由来の影響が非常に大きい日(4月25日頃)が存在している(Wild et al, 2004)。(図 2-21)

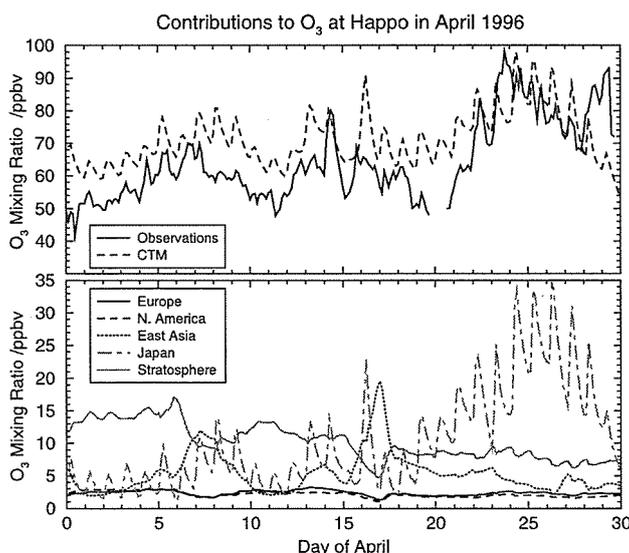


図 2-21 1996年4月の八方におけるオゾン観測値と化学輸送モデルによる計算値(Wild et al, 2004)

後方流跡線や気圧配置、各種大気汚染物質の観測結果から、2007年春の福岡県で発生した注意報発令の高濃度は越境汚染の影響が大きいと推定され、また、近年の福岡県における高濃度日(5局以上で日最高1時間値が80ppbを超過)を、後方流跡線や気圧配置、NO<sub>x</sub>濃度や硫酸塩濃度など他項目の変動などから推定される高濃度の主要因別に分類すると、アジア大陸からの移流及び地域汚染が主要因と推定される日数はそれぞれ30%程度となっており、近年では大陸からの移流の寄与が大きいと推定される日の割合が増加しているという報告もある(岩本ほか,2007a,2007b)。(図 2-22)

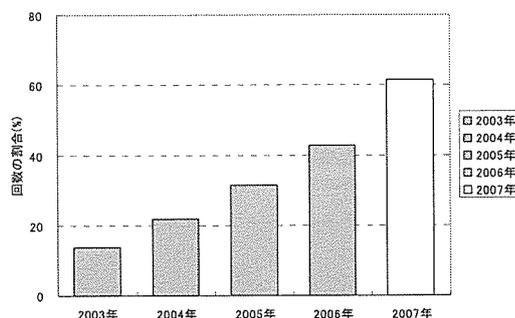


図 2-22 移流の寄与が大きいと推定される高濃度日の割合の経年推移(岩本ほか,2007b)

このように、同程度の高濃度日においても国内の発生源による影響が大きいケースや東アジアの越境輸送の影響が大きいケース、それぞれが複合的に影響しているケースなど、様々な状況が考えられることや、[2.2.2]で述べたように、地域や季節によりそれらの影響量が大きく異なることから、今後、より効果的な対策を検討する上で、詳細な実態の解明を進める必要がある。

なお、図 2-21 では我が国の遠隔地域(八方)の春季における各要因の定量的な解析結果を紹介したが、我が国の都市域などでみられる夏季の高濃度出現時の、日本の局所汚染由来による寄与、国内の他地域からの輸送による寄与、大陸内越境輸送などの寄与を都市スケールで定量的に示した研究成果はまだみられておらず、今後の研究課題といえる。

また、大陸間輸送に関する解析についても、TF HTAP などモデルの相互比較実験が進められているところであり、[TF HTAP,2007]の報告によると、それぞれのモデルから得られた数値は地表オゾン濃度の季節サイクルは似た傾向を示しているが、月平均値で見ると、ある地域・季節においては大きな変動があり、ばらつきがみられている。今後研究が進む中で、モデルによる観測値の再現性を向上させることが望まれる。

### 3. 今後の課題

本報告書では、光化学オキシダント及び対流圏オゾン等に関して、今後必要とされる調査研究や的確な対策等を明らかにするために、既存の科学的知見について収集整理を行ってきた。

今後、光化学オキシダント対策を更に効果的・効率的に実施していくためには、下記に示すような取組みが促進される必要がある。

#### 3.1 調査研究・モニタリングの一層の推進

##### (1) 調査研究

対流圏オゾンの濃度レベル上昇のメカニズムを解明するため、世界各地のリモート地点における、成層圏オゾン降下、大陸内越境輸送、大陸間輸送など、それぞれの寄与割合の定量的評価や、ソース・リセプターの研究解明を推進する。

光化学オキシダント濃度の上昇、光化学オキシダント注意報の発令地域の広域化について、地域ごとのより詳細な要因分析を実施する。

予測モデルの更なる精度の向上を図るため、オゾンの輸送・拡散・反応・沈着過程のモデリングの精緻化、モデルの相互比較及びフィールド観測データによる検証を通じた予測モデルの改良を図る。

全球スケール、領域スケール、都市スケールなどそれぞれのスケールにおいて観測値の再現などの評価を行い、精度を検証した上で、大小スケール間の相互作用を予測できる都市からグローバルまでの統合モデルシステムを確立する。

##### (2) モニタリング

今後の対策検討・効果検証のため、光化学オキシダントをより高い精度で測定するための方策を検討する。また、VOCのリアルタイム測定やアルデヒド類、植物起源の成分等、知見が不足している項目の観測結果の収集を進める。

地方自治体において、定員の削減、知識や経験の豊かな技術者の退職などが問題となっていることを踏まえ、適正な大気環境常時監視システムの維持を図る。

#### 3.2 国内における削減対策等の更なる推進

##### (1) 削減対策

平成22年度までに、固定発生源からのVOC排出量を平成12年度比で3割程度抑制することを目標とした対策が現在進められており、この対策を着実に実施する。

地域ごとの調査や高精度の予測モデルによる解析等を踏まえ、科学的根

拠に基づくより効果的な対策のあり方を検討する。

## (2) 排出インベントリ

人為起源と自然起源の双方について、NO<sub>x</sub> 及び VOC に係る排出インベントリを整備・更新する。

その際、VOC の発生源のうち情報が少ない工事車両、農業関係、空港施設、港湾施設等に関する排出量データ等を把握するよう努める。

また、VOC は物質により反応性が異なるため、削減効果をシミュレーションで検証する上で不可欠な VOC 組成の把握に努める。特に VOC の組成別排出インベントリを観測データによって検証する。

## 3.3 国際的な取組の推進

本件の国際的な重要性を東アジア近隣諸国において共有し、政府間での共通認識に立った政策対話が進められているところであるが、光化学オキシダント対策に関する大臣合意に基づき、オゾン汚染メカニズムの解明や共通理解の形成に資するよう、既存の調査結果の共有など科学的な研究について国際協力を推進する。さらに、光化学オキシダントの測定に関する能力開発、人材育成など、一層の協力を推進する。

特にアジアにおいては、オゾンの観測体制が不十分であることから、アジア諸国との協力の下、EANET の枠組みにおけるオゾンモニタリングの実施を推進する。その際、開発途上国においても導入可能なオゾン簡易測定方法を検討し、普及を図る。

各国国内の大気汚染問題の改善のためにも、大気保全対策に関する近隣諸国との協力を推進する。

特に、発生源対策として大気汚染物質と温室効果ガスを一体的に削減するコベネフィット対策を活用することによる近隣諸国との協力を推進する。

半球規模での大気汚染物質の大陸間輸送の存在が明らかとなっていることから、大気汚染物質の半球規模輸送に関するタスクフォース (TF HTAP) 等の地球規模の国際的な枠組みとの協力方策を検討する。

## < 参考文献 >

- Akimoto, H.; Nakane, H.; Matsumoto, Y.(1994); The Chemistry of Oxidant Generation: Tropospheric ozone increase in Japan, in *The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact on Global Change*, edited by Calvert, J. G., Blackwell Science publication, , p. 261-273
- Akimoto, H.(2003);*Global Air Quality and Pollution*, Science, vol. 302, p. 1716-1719
- Akimoto, H. ;Wild,O. ; Pochanart,P.(2004); Why background ozone in northeast Asia is higher than Europe? , AOGS(Asia Oceania Geoscience Society) 1st Annual Meeting, 6-9 July, 2004, Singapore
- Akimoto, H.; Yoshitomi, M.; Wild O.(2006); Contribution to surface ozone in Japan by different sources, inter- and intra-continental transport, stratospheric intrusion, and in situ formation, Joint CACGP/IGAC/WMO Symposium, Atmospheric Chemistry at the Interfaces 2006, 17-23 September 2006, Cape Town, South Africa
- Chou, C. C.-K.; Liu, S. C.; Lin ,C.Y.; Shiu ,C.J.; Chang ,K.H.(2006) ; The trend of surface ozone in Taipei, Taiwan, and its causes: Implications for ozone control strategies, *Atmospheric Environment*, vol. 40, p. 3898-3908
- EANET(2007);<http://www.eanet.cc/jpn/>
- EMEP(2007); <http://www.emep.int/>
- EPA(2007); INVENTORY OF U.S. GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND SINKS: 1990-2005, <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html>
- EPA;National Trends in Ozone levels, <http://www.epa.gov/airtrends/ozone.html>
- Fishman,J. and Brackett,V.G.(1997);The climatological distribution of tropospheric ozone derived from satellite measurements using version 7 Total Ozone Mapping Spectrometer and Stratospheric Aerosol and Gas Experiment data sets, *Journal of Geophysical Research*, vol. 102, p. 19275–19278
- Irie, H.; Sudo, K.; Akimoto, H.; Richter,A; Burrows,J.P ; Wagner,T ; Wenig,M; Beirle,S; Kondo, Y.; Sinyakov, V.P; Goutail,F.(2005); Evaluation of long-term tropospheric NO<sub>2</sub> data obtained by GOME over East Asia in 1996-2002, *Geophysical Research letters*, vol. 32, L11810 doi:10.1029/2005GL022770
- Itano,Y.; Wakamatsu,S.; Hasegawa,S.; Ohara,T.; Sugata,S.; Hayasaki,M.; Moriya,T.; Kobayashi,S.(2006); Local and regional contributions to springtime ozone in the Osaka metropolitan area, estimated from aircraft observations, *Atmospheric Environment*,vol.40, p.2117-2127
- IPCC(2007); IPCC 第 4 次評価報告書第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約(気象庁翻訳) [http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc\\_ar4\\_wg1\\_spm\\_Jpn\\_rev2.pdf](http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wg1_spm_Jpn_rev2.pdf)
- Jaffe,D; Price,H; Parrish,D; Goldstein,A; Harris,J(2003); Increasing background ozone during spring on the west coast of North America, *Geophysical Research Letters*,vol.30,no.12,1613,doi:10.1029/2003GL017024
- Jonson J. E.; Simpson, D.; Fagerli, H. ; Solberg, S.(2006);Can we explain the trends in European ozone levels?, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 6, p. 51-66
- Jo, W. K.; Yoon , I. H.; Nam,C. W.(2000);Analysis of air pollution in two major Korean cities: trends, seasonal variations, daily 1 - hour maximum versus other hour-based concentrations, and standard exceedances, *Environmental Pollution*, vol. 110, p. 11-18
- Lamarque, J.-F.; Hess, P.; Emmons, L.; Buja, L.; Washington, W.; Granier, C.(2005); Tropospheric

- ozone evolution between 1890 and 1990, *Journal of Geophysical Research*, Vol.110, D08304, doi:10.1029/2004JD005537
- Lelieveld, Jos. and Dentener, F.J.(2000);What controls tropospheric ozone?, *Journal of Geophysical Research*, vol. 105, p. 3531-3551
- Liu, H.; Jacob, D. J.; Chan, L. Y.; Oltmans, S. J.; Bey, I.; Yantosca, R. M.; Harris, J. M.; Duncan, B. N.; Martin, R. V.(2002); Sources of tropospheric ozone along the Asian Pacific Rim: An analysis of ozonesonde observations, *Journal of Geophysical Research*, Vol.107,NO.D21,4573, doi:10.1029/2001JD002005
- Logan, J.A.(1999);An analysis of ozonesonde data for the troposphere: Recommendations for testing 3-D models and development of a gridded climatology for tropospheric ozone, *Journal of Geophysical Research*, vol. 104, p. 16115-16149
- Monks, P.S.(2000); A review of the observations and origins of the spring ozone maximum, *Atmospheric Environment*, 34, p. 3545-3561
- Naja, M. and Akimoto, H.(2004);Contribution of regional pollution and long-range transport to the Asia-Pacific region: Analysis of long-term ozonesonde data over Japan, *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, D21306, doi:10.1029/2004JD004687
- Ohara, T.; Akimoto, H.; Kurokawa, J.; Horii, N.; Yamaji, K.; Yan, X.; Hayasaka, T.(2007a); An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980–2020, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 7, p. 4419-4444
- Ohara, T.; Yamaji, K.; Uno, I.; Kurokawa, J.; Horii, N.; Akimoto, H.(2007b); Long-term simulations of surface ozone in East Asia during 1980-2020 with CMAQ and REAS inventory, *Proceedings of 29<sup>th</sup> ITM on air pollution modelling and its application*, 2, 5
- Oltmans, S. J.; Lefohn, A.S. ; Harris, J.M. ; Galbally, I. ; Scheel, H.E. ; Bodeker, G. ; Brunke, E. ; Claude, H. ; Tarasick D.; Johnson, B.J. ; Simmonds, P. ; Shadwick, D. ; Anlauf, K. ; Hayden, K. ; Schmidlin, F. ; Fujimoto, T.; Akagi, K.; Meyer, C ; Nichol, S. ; Davies, J. ; Redondas, A. ; Cueva, E.(2006); Long-term changes in tropospheric ozone, *Atmospheric Environment*, vol. 40, p. 3156-3173
- Pochanart, P.; Hirokawa, J.; Kajii, Y.; Akimoto, H. ; Nakao, M.(1999);Influence of regional-scale anthropogenic activity in Northeast Asia on seasonal variations of surface ozone and carbon monoxide observed at Oki, Japan, *Journal of Geophysical Research*, vol. 104, p. 3621-3631
- Pochanart, P.; Akimoto, H.; Kinjo, Y.; Tanimoto, H.(2002);Surface ozone at four remote island sites and the preliminary assessment of exceedances of its critical level in Japan, *Atmospheric Environment*, vol. 36, p. 4235-4250
- Simmonds, P.G. ; Derwent, R.G. ; Manning, A.L. ; Spain, G.(2004);Significant growth in surface ozone at Mace Head, Ireland, 1987-2003, *Atmospheric Environment*, vol. 38, p. 4769-4778
- Sudo, K. and Akimoto, H.(2007);Global source attribution of tropospheric ozone: Long-range transport from various source regions, *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, D12302, doi:10.1029/2006JD007992
- Tanimoto, H.; Sawa, Y.; Matsueda, H.; Uno, I.; Ohara, T.; Yamaji, K.; Kurokawa, J.; Yonemura, S.(2005);Significant latitudinal gradient in the surface ozone spring maximum over East Asia, *Geophysical Research letters*, vol. 32, L21805, doi:10.1029/2005GL023514

- TF HTAP(2007); HEMISPHERIC TRANSPORT OF AIR POLLUTION 2007 AIR POLLUTION STUDIES No. 16, Interim report prepared by the Task Force on Hemispheric Transport of Air Pollution acting within the framework of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution,  
[http://www.htap.org/activities/2007\\_interim\\_report/HTAP%202007%20EB%20version.pdf](http://www.htap.org/activities/2007_interim_report/HTAP%202007%20EB%20version.pdf)
- Uno, I.; Ohara,T.; Yamaji, K.; Kurokawa,J.(2007); Recent Trends and Future Projections in Asian Air Pollution, *Journal of Disaster Research*, vol.2,p.163-172
- Vingarzan,R.(2004); A review of surface ozone background levels and trends, *Atmospheric Environment*, vol. 38, p. 3431-3442
- Volz,A. and Kley,D.(1988) ; Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century , *Nature*,vol.332, p.240-242
- Wakamatsu,S.;Uno,I.;Ueda,H.;Uehara,K.;Tateishi,H.(1989); Observational study of stratospheric ozone intrusions into the lower troposphere, *Atmospheric Environment*, vol. 23, p. 1815-1826
- Wakamatsu,S.; Uno,I. ; Suzuki,M.(1990); A field study of photochemical smog formation under stagnant meteorological conditions, *Atmospheric Environment*, vol. 24A, p. 1037-1050
- Wakamatsu,S.; Ohara,T.;Uno,I. (1996);Recent trends in precursor concentrations and oxidant distributions in the Tokyo and Osaka areas, *Atmospheric Environment*,vol.30,p.715-521
- Wakamatsu,S.(1997);High concentrations of photochemical ozone observed over sea and mountainous regions of the Kanto and eastern Chubu districts, *Journal of Japan Society for Atmospheric Environment*, vol. 32, p. 309-314
- Wakamatsu,S.; Uno,I. ; Ohara,T.(1998a);Springtime photochemical air pollution in Osaka : Field observation-, *Journal of Applied Meteorology*, vol. 37, p. 1100-1106
- Wakamatsu,S.;Ohara,T. ; Uno,I.(1998b) ; Springtime photochemical air pollution in Osaka : Model analysis-,*Journal of Applied Meteorology*, vol. 37,1107-1116
- Wakamatsu,S.; Uno,I. ; Ohara,T. ; Schere,K.L.(1999);A study of the relationship between photochemical ozone and its precursor emissions of nitrogen oxides and hydrocarbons in Tokyo and surrounding area, *Atmospheric Environment*, vol. 33, p. 3097-3108
- Wild, O. and Akimoto, H.(2001);Intercontinental transport of ozone and its precursors in a three-dimensional global CTM, *Journal of Geophysical Research*, vol. 106,D21, p. 27729-27744
- Wild, O.; Pochanart,P. ; Akimoto, H.(2004);Trans-Eurasian Transport of Ozone and its Precursors, *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, D11302, doi:10.1029/2003JD004501
- WMO(2007); [http://www.wmo.ch/pages/index\\_en.html](http://www.wmo.ch/pages/index_en.html)
- Yamaji,K.; Ohara,T.; Uno,I.; Tanimoto,H.; Kurokawa,J. ; Akimoto,H.(2006a);Analysis of the seasonal variation of ozone in the boundary layer in East Asia using the Community Multi-scale Air Quality model: What controls surface ozone levels over Japan? , *Atmospheric Environment*, vol. 40, p. 1856-1868
- Yamaji,K.; Ohara,T. ; Uno,I. ; Kurokawa,J. ; Akimoto,H.(2006b) ; Spatial-temporal variations of tropospheric ozone over east Asia, *Abstract book of Joint CACGP/IGAC and WMO conference, Atmospheric Chemistry at the Interfaces*, 548
- 秋元肇;2-1.対流圏オゾンの濃度変動プロセスの解明と温暖化影響に関する研究,新世紀重点研究創生プラン Research Revolution 2002 人・自然・地球共生プロジェクト,平成17年度研究成果の詳細報告,

- <http://www-aos.eps.s.u-tokyo.ac.jp/kyosei/member/pdf/17-2-1akimoto.pdf>
- 秋元肇(2003);東アジアオゾン汚染の日本への影響,資源環境対策, vol. 39, p. 90-96
- 秋元肇(2006);大気汚染物質の大陸間輸送と半球規模汚染, 大気環境学会誌, vol. 41, A1-A8
- 秋元肇; 河村公隆; 中澤高晴; 鷲田伸明 編(2002);対流圏大気の化学と地球環境, 学会出版センター,223p
- 岩本真二(2007);離島におけるオキシダント濃度について,第3回光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会  
参考資料
- 岩本真二;大石興弘;田上四郎;力寿雄;山本重一(2007a);大陸からの移流についてのモニタリングに関する最近の話題, 第48回大気環境学会年会講演要旨集, p.202-205
- 岩本真二;大石興弘;田上四郎;力寿雄;山本重一(2007b); 福岡県におけるオキシダントの高濃度現象について, 福岡県保健環境研究所・福岡女子大学合同研究成果発表会講演要旨集,p.13-16
- 大原利真;若松伸司;鶴野伊津志;神成陽容(2001a);関西地域における春季高濃度汚染の数値シミュレーション (1) 数値モデルの構築と立体観測データによる検証,大気環境学会誌,vol.36,p.208-230
- 大原利真;若松伸司;鶴野伊津志(2001b);関西地域における春季高濃度汚染の数値シミュレーション (2) 汚染発生機構の感度解析,大気環境学会誌,vol.36,p.231-243
- 大原利真(2003);最近の光化学オキシダント汚染の実態 - 全国及び関東地域の経年変動 -, 資源環境対策, vol. 39, p. 86-89
- 大原利真;坂田智之(2003);光化学オキシダントの全国的な経年変動に関する解析,大気環境学会誌, vol. 38, p. 47-54
- 大原利真編(2007);日本における光化学オキシダント等の挙動解明に関する研究, 国立環境研究所研究報告 第195号 (R-195-2007),256p
- 温室効果ガス世界資料センター(2007); [http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/jp/wdcgg\\_j.html](http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/jp/wdcgg_j.html)
- 海洋研究開発機構(2004);過去約30年間に我が国上空の対流圏オゾンが広域で著しく増加, 海洋研究開発機構プレスリリース, <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/jp/press/041206/index.html>
- 海洋研究開発機構(2005); 中国におけるNO<sub>2</sub>濃度の増加を衛星データで実証, 海洋研究開発機構プレスリリース, <http://www.jamstec.go.jp/frcgc/jp/press/050617/index.html>
- 梶井克純;吉野彩子;渡邊敬祐;定永靖宗;松本淳;西田哲;加藤俊吾(2006);都市郊外地域のオキシダント生成能の評価, 大気環境学会誌,vol.41,p.259-267
- 環境省(2004);酸性雨対策調査, 環境省酸性雨対策調査総合とりまとめデータ集,  
<http://www.env.go.jp/earth/acidrain/monitoring/cdrom/index.html>
- 環境省(2006a);平成17年 光化学大気汚染関係資料
- 環境省(2007a);平成18年 光化学大気汚染関係資料
- 環境省(2007b);光化学オキシダントの状況,第2回光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会資料
- 環境省(2007c);モニタリングデータ,酸性雨対策調査, <http://www.env.go.jp/earth/acidrain/index.html>
- 環境省(2007d);平成18年度大気汚染状況について,報道発表資料
- 気象庁(2001);IPCC第三次評価報告書～脚注一覧  
[http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/ipcc\\_tar/spm/voc.htm](http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpinfo/ipcc_tar/spm/voc.htm)
- 気象庁(2007);2.6対流圏オゾン, 大気・海洋環境観測報告第7号,  
[http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/cdrom/report2005/pdf/report2005\\_02\\_chap02.pdf](http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/cdrom/report2005/pdf/report2005_02_chap02.pdf)
- 国立公害研究所(1983);スモッグチャンバーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究-環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究(フィールド研究2)-, 国立公害研究所研究報告第44号 (R-44-1983)

- 国立環境研究所(1998);環境負荷の構造変化から見た都市の大気と水質問題の把握とその対応策に関する研究,国立環境研究所特別研究報告第 26 号 ( S R-26-1998 )
- 国立環境研究所(2001); 都市域における VOC の動態解明と大気質に及ぼす影響評価に関する研究 ( 特別研究 ) ,国立環境研究所特別研究報告第 42 号 ( S R-42-2001 )
- 国立環境研究所記者発表(2005); 東アジアの大気汚染が日本のオゾンに与える影響を定量的に解明 バックグラウンドオゾンの季節変化と緯度依存性 ,  
<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2005/20051108/20051108.html>
- 国立環境研究所記者発表(2007);2007 年 5 月 8、9 日の広域的な光化学オキシダント汚染について—国立環境研究所及び九州大学が数値シミュレーションによる再現に成功—, 平成 19 年 5 月 21 日,  
<http://www.nies.go.jp/whatsnew/2007/20070521/20070521.html>
- 産業技術総合研究所(2007);第 3 章常時監視測定局データを用いた大気中濃度評価,詳細リスク評価書「オキシダント(オゾン)」
- 酸性雨研究センター(2005); 増えつづける対流圏オゾンの脅威, 26p
- ジェイコブ D.J. ( 著 ) 近藤豊 ( 訳 ) (2002);大気化学入門, 東京大学出版会,278p
- 大気の汚染に係る環境基準について;昭和 48 年 5 月 8 日環境庁告示 25 号
- 竹内庸夫;唐牛聖文;石鍋恵子;前原良子;竹川暢之;近藤豊;坂本和彦(2006);炭化水素類の地点別時間帯別の挙動と光化学オキシダントとの関係, 第 47 回大気環境学会年会講演要旨集
- 谷本浩志(2007);地球環境問題としてのオゾン汚染, 資源環境対策, vol. 43, p. 21-27
- 谷本浩志 ,向井人史(2006); 日本におけるオゾン標準とトレーサビリティシステムの構築, 大気環境学会誌, 第 41 巻, p. 123-134
- 東京都;光化学オキシダント対策検討会報告(2005), 78p,  
<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kaizen/keikaku/oxidant/index.htm>
- 東京都環境局環境改善部(2005);光化学オキシダント対策検討会報告について,大気環境学会誌第 40 巻, A65-A77
- 早崎将光; 大原利真;宮下七重(2007);2007 年 5 月に発生した広域的な光化学オキシダント汚染 ( 1 ) 観測データ解析, 第 48 回大気環境学会年会講演要旨集, p.639
- 藤哲士;森淳子;鵜野伊津志(2007);九州地方における光化学オキシダント高濃度化への対応,資源環境対策,vol.43,p.36-41
- 星純也;天野冴子;大橋毅;佐々木裕子;芳住登紀子(2005); 大気中 VOC モニタリングデータを用いた排出源およびオゾン生成能の評価, 東京都環境科学研究所年報 2005, p. 93-101
- 森淳子;山川和彦;宮下七重;若松伸司(2005);日本における光化学オキシダント等の挙動解明に関する研究(4) - オキシダント濃度月別出現パターンの広域的分布 - ,第 46 回大気環境学会年会講演要旨集,p.482
- 山地一代;秋元肇(2007);最近のモデル研究による東アジアオゾン汚染の現状と将来予測, 資源環境対策, vol. 43, p. 28-35
- 吉門洋(2004);近年の光化学オキシダント濃度変化の一要因, 大気環境学会誌, vol. 39, p. 188-199
- 若松伸司(2001);都市・広域大気汚染の生成機構解明に関する研究, 大気環境学会誌, vol. 36, p.125-136
- 若松伸司(2007);VOC とオゾン・微小粒子 PM<sub>2.5</sub>, 第 48 回大気環境学会年会講演要旨集, p.64-67
- 若松伸司;篠崎光夫(2001);広域大気汚染 - そのメカニズムから植物への影響まで -, 裳華房,209p

## 光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会委員名簿

(敬称略)

- 秋元 肇 (独) 海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター  
大気組成変動予測研究プログラム プログラムディレクター
- 石井康一郎 (財) 東京都環境整備公社東京都環境科学研究所  
調査研究担当科長
- 岩本 真二 福岡県保健環境研究所 大気課長
- 植田 洋匡 (財) 日本環境衛生センター酸性雨研究センター 所長
- 鵜野伊津志 九州大学応用力学研究所 教授
- 大原 利真 (独) 国立環境研究所 広域大気モデリング研究室長
- 坂本 和彦 埼玉大学大学院理工学研究科 教授
- 中根 英昭 (独) 国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ長
- 森 淳子 長崎県環境保健研究センター 専門研究員
- 若松 伸司 愛媛大学農学部 教授

(注) : 座長

(オブザーバー参加)

堤 之智 気象庁 地球環境・海洋部 全球大気監視調整官

## 検討会の開催状況

第1回 平成19年(2007年)7月26日

- ・光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会について
- ・光化学オキシダント及び対流圏オゾンの状況
- ・光化学オキシダント及び対流圏オゾンに係る最近の知見
- ・検討会における検討事項について

第2回 平成19年(2007年)9月26日

- ・光化学オキシダント及び対流圏オゾンに係る最近の調査研究について
- ・光化学オキシダント及び対流圏オゾンに係る最近の取組等について
- ・光化学オキシダント及び対流圏オゾンに係る知見の整理について
- ・今後必要とされる調査研究等の方向性について

第3回 平成19年(2007年)10月29日

- ・平成19年度光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書素案について

第4回 平成19年(2007年)12月20日

- ・国際的な取組の最近の動向について
- ・平成19年度光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書案について