

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

はじめに

1. 光化学オキシダント・対流圏オゾン汚染の状況
 - 1.1 概要
 - 1.2 我が国における光化学オキシダント・対流圏オゾン濃度の状況
 - 1.2.1 我が国における監視測定体制
 - 1.2.2 全国的な状況
 - 1.2.3 地域的な状況
 - 1.2.4 都市域（関東・関西）における汚染の特徴
 - 1.2.5 遠隔地域における状況
 - 1.2.6 最近の高濃度の事例
 - 1.3 東アジア及び半球規模のオゾン濃度の状況
 - 1.3.1 東アジア及び半球規模での監視測定体制
 - 1.3.2 東アジアの状況
 - 1.3.3 半球規模での状況
2. 光化学オキシダント・対流圏オゾン濃度の上昇トレンドの要因
 - 2.1 概要
 - 2.2 ヨーロッパ、東アジア等から排出される大気汚染物質との関係
 - 2.2.1 オゾン前駆物質の排出量
 - 2.2.2 東アジアからの影響
 - 2.2.3 半球規模でのオゾンの輸送
 - 2.3 光化学オキシダントの前駆物質（NO_x 及び VOC）との関係
 - 2.4 気象状況の変化との関係
 - 2.5 ヒートアイランド現象との関係
 - 2.6 成層圏オゾン降下との関係
 - 2.7 高濃度日における各要因の解析
3. 今後の課題
 - (1) 予測モデル等の改良
 - (2) NO_x 及び VOC の排出量等の把握
 - (3) 光化学オキシダント測定体制の強化
 - (4) 国際的な取組みの推進

はじめに

- ・近年、我が国における光化学オキシダント及び対流圏オゾンの濃度レベルの上昇が問題になっている。
- ・これに加えて、光化学オキシダント注意報の発令地域が広域化していることも最近の特徴であり、平成 18 年には長崎県及び熊本県で過去初めて注意報が発令され、平成 19 年には大分県及び新潟県で初めて注意報が発令された。平成 19 年の注意報発令地域数 28 都府県は、過去最多である。
- ・また、対流圏オゾン濃度も、北緯 20 度～60 度において全球的に高くなっている。
- ・光化学オキシダント濃度の上昇の要因としては、大陸からの移流、前駆物質の構成比の変化、気象状況の影響、成層圏オゾンの降下等が指摘されている。
- ・環境省では、光化学オキシダント及び対流圏オゾンの濃度レベルの上昇の要因を明らかにし、的確な対策を図るため、この分野の学識経験者から成る光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会を設置したところである。
- ・光化学オキシダント等の濃度レベルの上昇の要因を明らかにするため、検討会においては、まず、光化学オキシダント、対流圏オゾン等に関する既存の科学的知見の収集整理を行うこととした。
- ・本報告書は、平成 19 年 7 月以降 4 回の検討会を開催し、既存の知見を収集整理した結果及び今後取り組むべき課題を取りまとめたものである。
- ・光化学オキシダント及び対流圏オゾンについては、その生成機構が複雑であり、濃度レベルの上昇の要因の寄与も地域や日によって異なる。
- ・本報告書は、これまでに得られた関連する知見の収集整理を行ったものであり、その意味で、「中間報告」とした。
- ・今後、本報告書で示した「今後の課題」に行政及び研究者が取り組むことにより、光化学オキシダント対策が効率的に進むことを期待する。

1. 光化学オキシダント・対流圏オゾン汚染の状況

1.1 概要

- ・環境基準の達成状況は、低い水準で推移。
- ・光化学オキシダント濃度は増加傾向にあり、年平均値は20年間で約5ppb上昇。
- ・光化学オキシダント注意報の発令地域が広域化。平成18年は長崎県、熊本県で初発令。平成19年は新潟県・大分県で初めて発令され、発令地域は28都府県で過去最多。
- ・我が国のバックグラウンドオゾン濃度は経年的に増加傾向。
- ・北半球（中高緯度）の遠隔地域における地表オゾン濃度は、19世紀末の工業化以前から2倍以上に増加。
- ・ヨーロッパの西海岸及び北アメリカでは、過去20年間にピークオゾンが減少する一方で、バックグラウンドオゾンが増加。

1.2 我が国における光化学オキシダント・対流圏オゾン濃度の状況

1.2.1 我が国における監視測定体制

- ・平成17年度末現在、一般局1,157局、自排局27局において大気汚染防止法に基づく光化学オキシダントに係る常時監視を実施。¹⁾
- ・これらとは別に、環境省（国設酸性雨測定所）9地点、気象庁3地点、国立環境研究所1地点で遠隔地域におけるオゾン測定を実施。²⁾

1.2.2 全国的な状況

- ・環境基準の達成状況は、低い水準で推移。¹⁾
- ・注意報等発令延日数は、近年200日程度で推移。¹⁾
- ・光化学オキシダント注意報の発令地域が広域化。平成18年は長崎県・熊本県で初めて発令され、発令地域は25都府県で過去最多。平成19年は新潟県・大分県で初めて発令され、発令地域は28都府県で過去最多を更新。³⁾
- ・光化学オキシダント濃度は増加傾向にあり、年平均値は20年間で約5ppb上昇。（図1-1）⁴⁾
- ・境界層オゾンの濃度は、1970～80年代の約10年間で約8ppb増加。⁵⁾

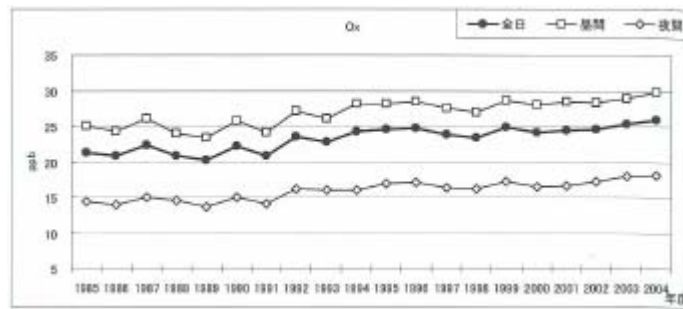


図 1-1 全国の測定局におけるオキシダント年平均濃度の経年変化⁴⁾

1.2.3 地域的な状況

- 光化学オキシダント濃度の季節変動パターンは、関東及び中部では「春＋夏」型（春に引き続き夏も高濃度の時間が出現）が多いのに対し、関西では大部分が「春＋夏＋秋」型（春から秋まで高濃度の時間が出現）で、「春＋秋」型も関西以西を中心に広く観測。^{4) 6)}
- 最近 15 年間の光化学オキシダント濃度の経年変化を見ると、中国地域を除いた濃度上昇が明らか。⁷⁾

1.2.4 都市域（関東・関西）における汚染の特徴

- 沿岸部に位置する都市の汚染物質が海風により内陸に運ばれ、内陸部で高濃度が観測されており、この状況は年々増加傾向。⁸⁾
- 関東地域における高濃度が出現する位置は風系の変化と対応し、南関東型、北関東型、広域型に分類。⁶²⁾
- 大規模な気象観測と航空機観測から、時間や高度、海からの距離などによってオゾン濃度の分布状況の変化を示した東京首都圏における光化学大気汚染の立体分布や、関東地域から長野県への光化学大気汚染の輸送現象が解明。^{51) 62) 63) 64)}
- 関東地域では、一般風が弱く、閉鎖的な大気場が継続する場合には、二日以上にわたって汚染の滞留と循環が発生し、このような場合、上空に残存した前日の光化学反応生成物が再び混合層の中に取り込まれ、当日に発生した汚染物と混合することで前日より高濃度のオゾンが発生。^{65) 66)}
- 気象条件によっては、海風で内陸まで輸送されたオゾンを含む高濃度の大気汚染空気塊が内陸地域に発生した熱低気圧に取り込まれ、上空数 km まで上昇し、これが上層一般風で海上に運ばれ、海上で冷却されて高度を下げ、再度、海上低層の一般風によって陸上に達するメカニズムが存在。⁵⁴⁾
- 気象解析、データ解析及びモデル解析の結果、関西地域では春季に光化学大気汚染が発生しやすい気象条件が関東地域に比べて多く出現。^{51) 67)}

1.2.5 遠隔地域における状況

- ・ 八方尾根、隠岐及び小笠原等の観測結果から、バックグラウンドオゾン濃度は経年的に増加傾向、辺戸岬のように減少傾向の地点も存在。²⁾
- ・ 月変動については、春季に高濃度、夏季に低濃度となる傾向。²⁾
- ・ 隠岐及び対馬でオゾン濃度が 80ppb を超過した日数を見ると、4～6月に集中しており、春の高濃度が顕著。⁹⁾
- ・ 東アジアから我が国に気塊が流入した際に 120ppb を超過したオゾン濃度を観測。⁹⁾

1.2.6 最近の高濃度の事例

【最近の広域高濃度事例】

- ・ 2007年5月8日から9日にかけて九州から東日本の広い範囲で光化学オキシダント注意報が発令。この光化学オキシダント汚染状況について数値シミュレーションを行った結果によると、東シナ海に位置する高気圧の北側の西風によって大陸東岸から流れ出した汚染気塊が朝鮮半島南部を経て、九州北部から東日本の広い範囲に高濃度のオゾン域が形成。注意報レベルに相当する汚染気塊のスケールは東西 500km を超えるもので、中国国内の汚染物質のみでなく、韓国や日本国内の汚染物質の影響も受けている可能性。5月8日は越境汚染の影響が大きく、5月9日は気温上昇や弱風などの気象条件や首都圏等で濃度のピーク時刻が内陸側に行くにつれ遅れが見られたことなどから判断すると、越境汚染に加えて都市大気汚染の影響も大きかったことが推測。(図 1-2)^{10) 11)}

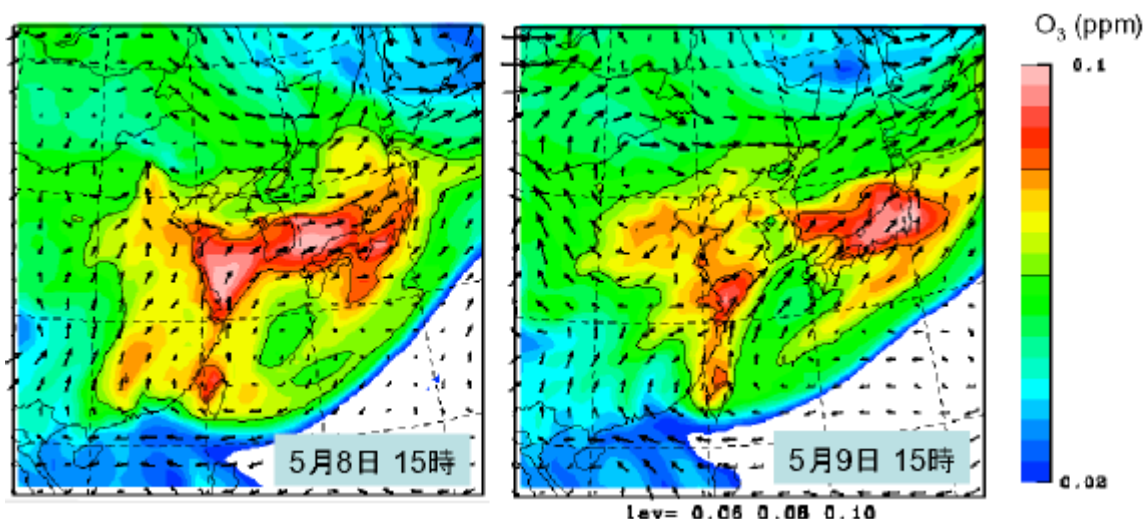


図 1-2 化学物質輸送モデルで計算されたオゾンの平均濃度 (地上～450m)¹⁰⁾

【夏季の関東における高濃度事例】

< 内陸部で高濃度となった事例：平成 17 年 9 月 2 日 >

- 平成 17 年 9 月 2 日は埼玉県で警報が発令されたほか、東京湾沿岸部や栃木県などの内陸部でもオキシダント濃度が高くなり、平成 17 年の被害者総数の約 6 割の被害届。この日は朝のうちから濃度が高く、下層大気が安定で日照が十分にあるという状況で、東京湾や相模湾からの両海風による収束線が東京都、神奈川県、千葉県、埼玉県の南部に形成され、関東南部ではオキシダントの生成が促進されやすい条件。北関東では東京湾や九十九里からの海風が長時間流入しており、午後から夕方にかけて内陸部では高濃度域が発生。(図 1-3 (左))¹²⁾

< 沿岸部で高濃度となった事例：平成 18 年 7 月 14 日 >

- 平成 18 年 7 月 14 日は神奈川県を中心に沿岸部でオキシダント濃度が高くなり、平成 18 年の被害者総数の約 7 割の被害届。この日は下層大気が安定で、朝 9 時にオキシダントの初期濃度としてはやや高い 0.060 ~ 0.103ppm を示す地点が東京湾や茨城県の沿岸部で存在し、昼前から濃度が急に上昇。気象状況は朝から晴れて、最高気温は 35 を超えたところが存在。朝 9 時には海風と陸風の収束線が東京湾岸と三浦半島から神奈川県中央部にかけて形成され、東京湾海風による収束線は昼頃も引き続き神奈川県中央部に停滞したため、東京湾沿岸部を中心に高濃度のオキシダントが観測。(図 1-3 (右))¹³⁾

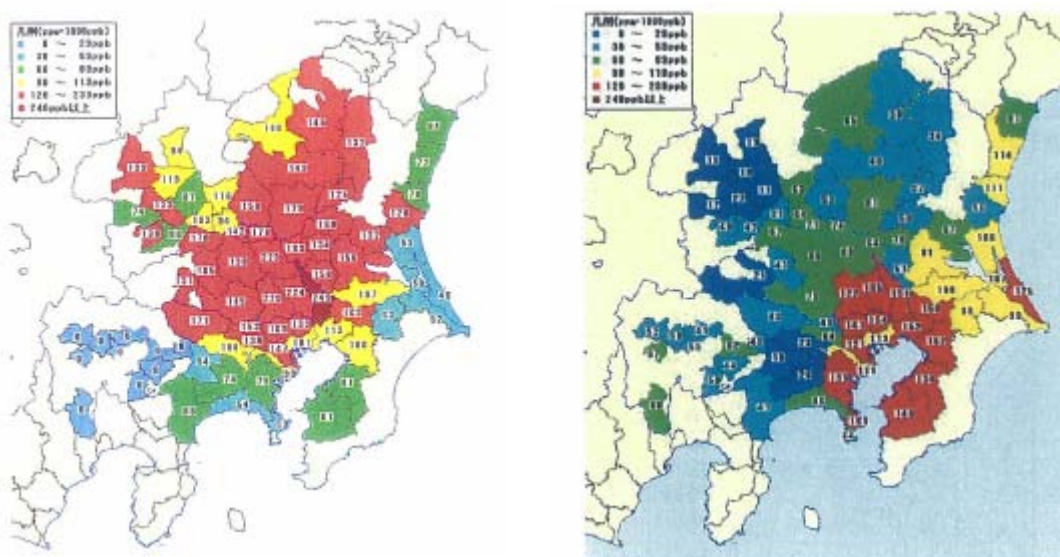


図 1-3 オキシダント予報区別最高濃度分布^{12) 13)}

(左 : 平成 17 年 9 月 2 日 15 時、右 : 平成 18 年 7 月 14 日 15 時)

1.3 東アジア及び半球規模のオゾン濃度の状況

1.3.1 東アジア及び半球規模での監視測定体制

- ・東アジアにおいては、EANET 参加国の一部においてオゾンを観測。¹⁴⁾
- ・世界規模の観測としては、WMO が全球大気監視 (GAW) 計画で、オゾン地上固定モニタリング地点として世界中の 88 地点(2007 年 10 月現在)の観測網を統合。^{15) 16) 17) 18)}
- ・ヨーロッパでは国境を越えて長距離を移動する大気汚染物質の量などに関する情報を共有するために EMEP が設立され、157 地点のオゾン観測地点(2007 年 10 月現在)が登録。^{19) 20)}
- ・近年、衛星観測技術の進歩により、衛星観測データが充実。²¹⁾

1.3.2 東アジアの状況

- ・EANET の枠組みで測定している韓国の地点(遠隔地域及び田園地域)では、春と秋にオゾン濃度が高く、夏に低くなる傾向。¹⁴⁾
- ・韓国の都市域(ソウル)での日最高 1 時間値の平均オゾン濃度をみると、5~6 月に高くなっており、8~10 月にセカンドピークが存在。²²⁾
- ・台湾の大都市圏である台北におけるオゾン濃度の傾向を見ると、日最高 1 時間値の年平均は 10 年間で 3 割増加。季節変動については春季に高くなり、夏季に低くなる傾向。⁶⁸⁾
- ・春季から夏季における中国の 3 地点(泰山、華山、黄山)のオゾン濃度は、5~6 月の初夏に 80~100ppb、最高値は 120ppb を超えるなど、華北平原におけるオゾン濃度が、日本の都市域における光化学オキシダントレベルに匹敵。²⁵⁾
- ・ロシアの地点(遠隔地域)では、春に濃度が高くなる傾向。¹⁴⁾
- ・領域化学輸送モデルによる東アジアの地表付近のオゾン濃度は、冬と比較して春や夏に上昇。(図 1-4)^{21) 26)}
- ・領域化学輸送モデルによるアジア大陸におけるオゾン濃度は夏季に最大。一方、日本付近では、夏季には太平洋からの南風が強くアジアからの影響を受けないため、春季に最高濃度(ただし、大都市地域では夏季に高濃度化)。(図 1-4)^{21) 26)}

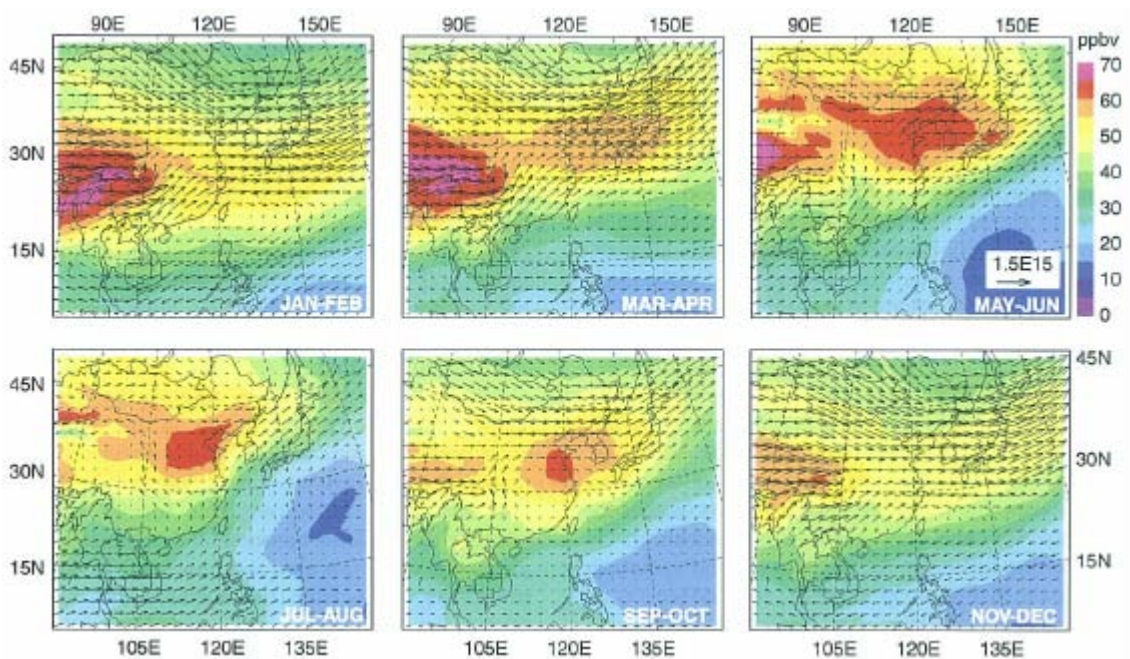


図 1-4 領域化学輸送モデルによる境界層オゾンの 2 ヶ月平均値 ²⁶⁾

1.3.3 半球規模での状況

- ・北半球（中高緯度）の遠隔地域における地表オゾン濃度は、19 世紀末の工業化以前から 2 倍以上に増加。（図 1-5）²⁷⁾

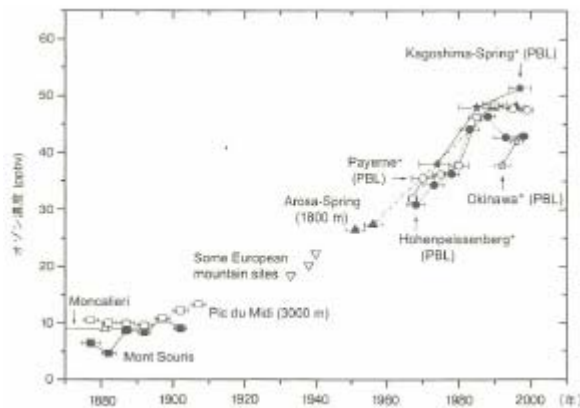


図 1-5 北半球中緯度における春季地表付近のオゾン濃度変化 ²⁷⁾

- ・ヨーロッパの西海岸及び北アメリカでは、過去 20 年間にピークオゾンが減少する一方で、バックグラウンドオゾンは増加。その増加傾向は夏季に小さく、冬季に増大。 ^{28) 29) 30) 31)}
- ・衛星観測の結果では、対流圏オゾンの全球分布は、北半球（中高緯度）の夏季に最大。春季及び秋季には、北米東部や北西部太平洋など人間活動が

盛んな地域の風下側に、高濃度のオゾンが分布。ただし、中高緯度の遠隔地域では、春季に最大、夏季に最小となる傾向。(図 1-6) ^{27) 32) 33)}

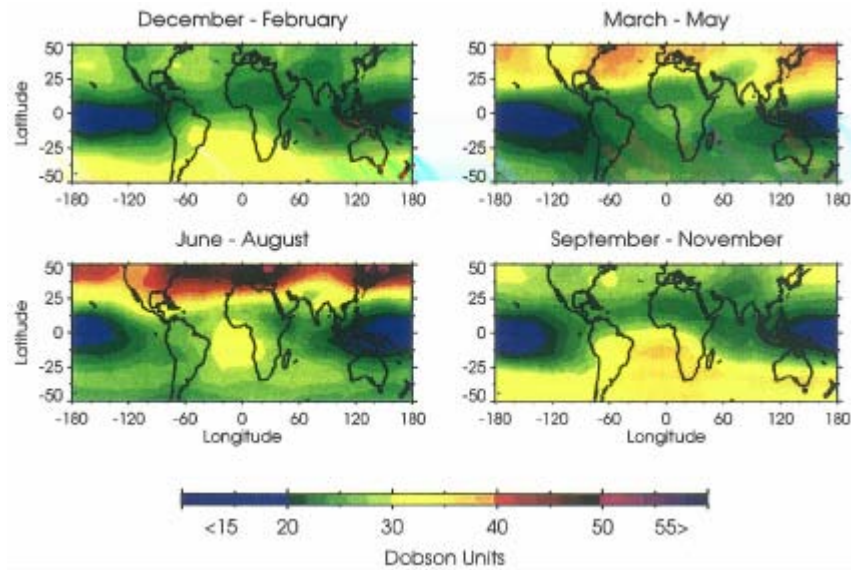


図 1-6 衛星観測による季節別オゾン全球分布 ³²⁾

- ・ 北半球中高緯度の対流圏内で高度別のオゾン濃度の季節変化を見ると、高度 2 km 程度までは地表と同様の傾向にあるが、上層に行くほど季節変化のパターンに地域差がなくなり、濃度のピークが春季へシフト。 ^{27) 34)}

2. 光化学オキシダント・対流圏オゾン濃度の上昇トレンドの要因

2.1 概要

〔ヨーロッパ、東アジア等からの影響〕

- ・ NO_x の排出量は、1980 年代以降ヨーロッパ及び北米大陸では概ね横ばいで推移し、ヨーロッパ大陸では 90 年代以降、アメリカでは 2000 年頃から減少傾向が顕著。
- ・ アジア大陸の NO_x 排出量は 70 年代には少なかったが、その後の急激な増加により、90 年代半ばにはヨーロッパ及び北米両大陸の排出量を凌ぐレベル（2～3 倍程度の増加）。
- ・ 隠岐における春季のオゾンに及ぼす影響については、モデル計算（全球モデル）と観測データ解析によれば、成層圏オゾン降下、大陸内輸送及び大陸間輸送の寄与がそれぞれ 15 ppb、15 ppb 及び 5 ppb と推定。
- ・ 領域化学輸送モデルによる再現結果では、我が国の 4 月の地表オゾンの平均分布に対する北東アジアからの前駆物質起源のオゾンの寄与は 5～10 ppb 程度。
- ・ 我が国においては、上空を通過する気塊が地域や日によって異なるため、光化学オキシダントの高濃度要因に差異。
- ・ これまでの研究でヨーロッパ及び北米から東アジアへの増加寄与が数 ppb あり、日本の環境基準に比べて無視し得ない量。
- ・ アジアから北米へのオゾンの生成・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。一方、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。

〔NO_x 及び VOC との関係〕

- ・ 光化学オキシダントの生成量は、NO_x 及び NMHC の濃度に対して複雑な応答を示し、NO_x 濃度に敏感に応答する領域、NMHC 濃度に敏感に応答する領域が存在。
- ・ 首都圏においては、NMHC /NO_x 比が 6 以上の場合に高濃度出現割合が大きくなるとの解析。
- ・ アルデヒド類により光化学オキシダント濃度がより早い時刻に上昇。
- ・ 植物起源の VOC は、排出量が少なくてもオゾン生成に大きな役割。

〔気象要因等〕

- ・ 気温と光化学オキシダント濃度との関係については、変動傾向は一致せず。
- ・ 日積算日射量と光化学オキシダント濃度の地域内平均値との関係等が存在。
- ・ 紫外線量の増加が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。
- ・ ヒートアイランドが光化学オキシダント濃度に与える影響については不明。
- ・ 成層圏オゾンが、近年のオゾン年平均濃度レベルの上昇に及ぼす影響は見

られない。

2.2 ヨーロッパ、東アジア等から排出される大気汚染物質との関係

2.2.1 オゾン前駆物質の排出量

- ・ NO_x の排出量は、1980 年代以降ヨーロッパ及び北米大陸においては概ね横ばいで推移し、ヨーロッパ大陸では 90 年代以降、アメリカでは 2000 年頃から減少傾向が顕著。^{35) 36) 37)}
- ・ 一方、アジア大陸の NO_x 排出量は、70 年代には少なかったが、その後の急激な増加により、90 年代半ばにはヨーロッパ及び北米両大陸の排出量を凌ぐレベル（2～3 倍程度の増加）（図 2-1）^{37) 38)}

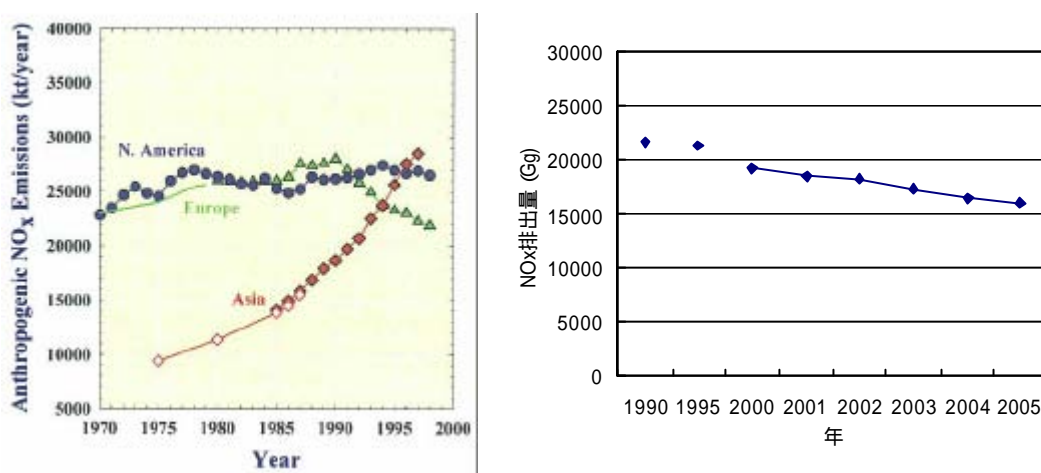


図 2-1 人為起源 NO_x 排出量のトレンド^{35) 37)}

（左側：1970～2000 年の北米、ヨーロッパ、アジア、右側：近年の米国のトレンド）

- ・ 1980 年～2003 年の期間に、アジア全体の NO_x 排出量は 2.8 倍（中国は 3.8 倍）に増加。また、NMVOC 排出量も増加しており、アジア全体で 2.1 倍（中国は 2.5 倍）（図 2-2）³⁹⁾

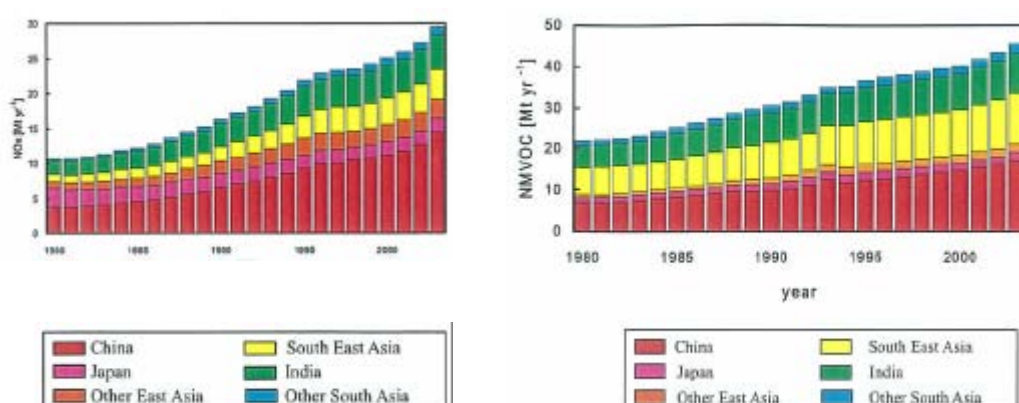


図 2-2 アジア全体の NO_x 及び NMVOC 排出量推計値³⁹⁾

- ・地球規模でCOを削減することによりOHラジカルが増加し、オゾンの前駆物質であるCH₄が減少するが、アジアにおけるCO排出量推計を見ると、2000年以降は上昇傾向を示しており、CH₄濃度、オゾン濃度への影響が懸念。^{27) 30) 39) 40)}

2.2.2 東アジアからの影響

- ・西日本では春・夏のみならず秋に光化学オキシダント濃度が高くなる日が増加していること、及び四国及び九州における濃度の増加が大きいことが、大陸からの影響が経年的に増加していることを示唆。^{4) 6)}
- ・1970～1985年及び1986年～2002年におけるつくば及び鹿児島から東アジア大陸への後方流跡線の解析結果からは、前者には春季に濃度が最も高くなっていたが、後者には夏季に濃度が最大。前駆物質の排出量増加により、紫外線の強い夏季に光化学反応が活発に行われ、オゾンがより多く生成。(図2-3)⁴¹⁾

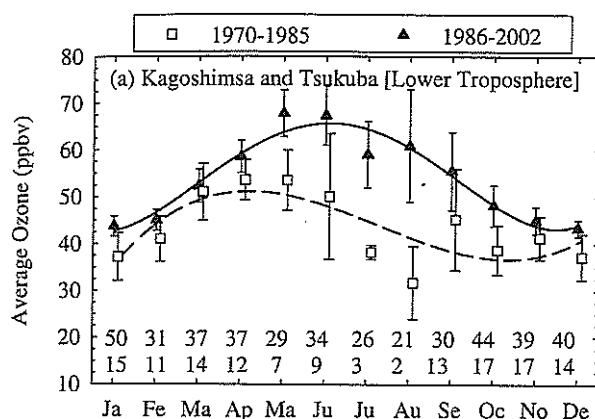


図2-3 1970-1985年(破線)と1986-2002年(実線)における中国・韓国などの汚染地域を通過してきた気塊中のオゾン濃度の季節変化の比較(つくばと鹿児島上空2.1km～4.3kmの平均)⁴¹⁾

- ・隠岐における後方流跡線解析の結果、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、隠岐で見られるオゾン濃度の日々の変動は、これらの気塊が日々交代するために発生。(図2-4)^{5) 42)}

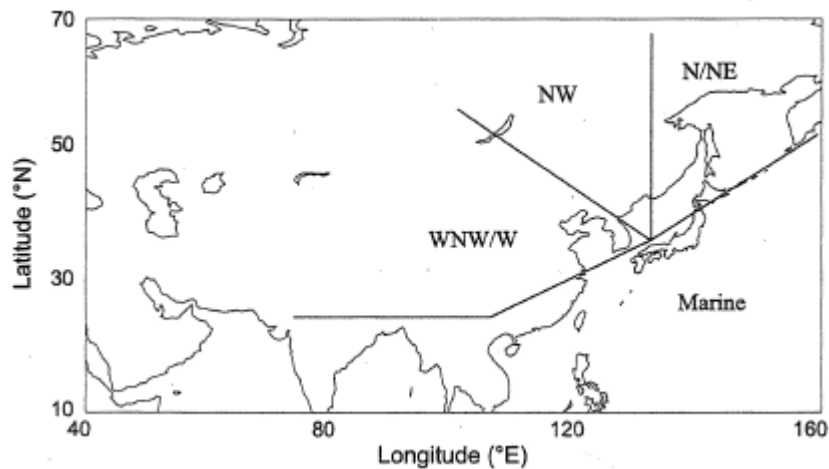


図 2-4 隠岐におけるトラジェクトリーのセクター分類⁴²⁾

- ・ 利尻ではほとんど通年にわたって大陸性清浄気塊が、沖縄では海洋性清浄気塊がそれぞれ捉えられるなど、緯度によって捉えられる気塊は大きく異なり、このため、高濃度要因も地域によって相違。^{5) 42) 43)}
- ・ 領域化学輸送モデルによる再現結果によれば、我が国における 4 月の地表オゾンのうち、北東アジアからの前駆物質起源のオゾンは 5 ~ 10 ppb 程度。(図 2-5)^{44) 69)}

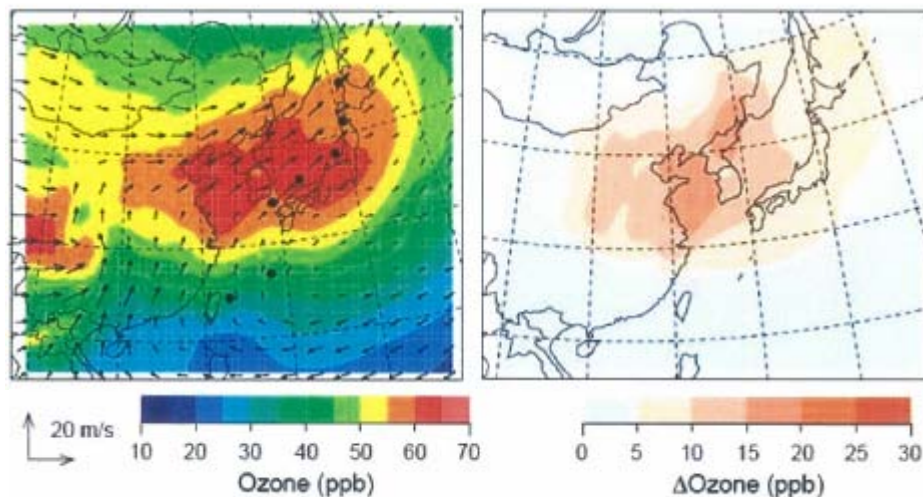


図 2-5 領域化学輸送モデルにより求めた 4 月の地表オゾンの濃度分布 (左) 及び中国・韓国からの前駆物質によるオゾンの生成量⁶⁹⁾

- ・ 全球モデルによる首都圏のオゾンの発生源別寄与の計算結果 (2 ~ 4 月) では、中国からの寄与濃度は日によって大きく変動 (2 ~ 18 ppb 程度) 。⁴⁵⁾
- ・ 2020 年の地表オゾン濃度の将来予測 (アジアの排出量推計 (REAS) の持続可能性追求型シナリオ (Reference Case) と領域化学輸送モデルを使用)

の結果によれば、5～6月及び7～8月の日本域の地表オゾン濃度は、20年間に2～5ppb増加。特に5～6月に、東北北部を除く本州、四国及び九州北部で、2か月平均値が65ppbを超える予測。³⁸⁾

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。アジアから北米へのオゾンの生成・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。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。(図2-6)^{46) 47)}

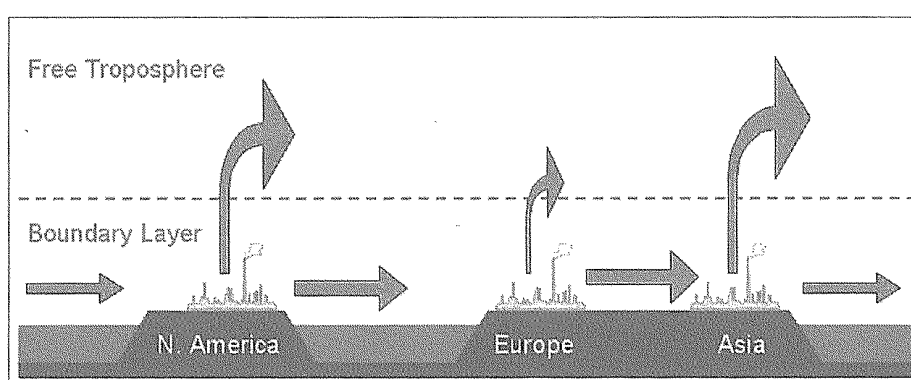


図2-6 北米からヨーロッパへ、ヨーロッパからアジアへ、アジアから北米へ渡る大気汚染物質の大陸間輸送の概念図⁴⁷⁾

- ・ これまでに発表された研究でヨーロッパ及び北米から東アジアへの増加寄与を見ると数ppbの寄与があり、日本の環境基準に比べて無視し得ない量。(表2-1)³⁰⁾

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増加寄与量³⁰⁾

影響地域	発生源地域	影響量(ppb)	参考文献
アジア	ヨーロッパ	1.1	Wild and Akimoto, 2001
東アジア(春季)	ヨーロッパ	3(昼間平均)	Liu et al., 2002
日本	ヨーロッパ	0.2-2.5	Wild et al., 2004
東シベリア (1997-99)	ヨーロッパ	2(年平均) 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への影響は4月に2～2.5ppb程度、北米からの影響は4月に1～2ppb

度出現割合が増加。⁵⁰⁾

- ・ 1992 年度と 2003 年度とで NMHC の組成が変化しているとの調査結果があるが、反応性ポテンシャルの変化を見ると、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影響はなし。(同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ず。)⁵⁰⁾
- ・ 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という報告や、夜間上空に残存していたアルデヒド類等 2 次生成物質が翌日混合することで光化学オキシダント濃度をより早い時刻に上昇させるとの解析結果。^{52) 65) 66)}
- ・ 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排出量が少なくてもオゾン生成に大きな役割。⁵⁵⁾

2.4 気象状況の変化との関係

- ・ シミュレーション結果によれば、夏季に気温が 2℃ 上昇するとオゾン濃度(昼間平均)が 4%増加するとされているが、実際の観測結果では、気温と光化学オキシダント濃度とは変動傾向が一致せず。⁵⁶⁾
- ・ 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。館野の観測結果によれば、1990 年以降の紫外線量は増加(年平均値は 1990 年～2000 年までに約 10%増加)しており、光化学オキシダント濃度上昇の一因の可能性。⁵⁶⁾
- ・ 気象要素(日積算日射量、日最高気温等)と光化学オキシダント濃度には、日積算日射量が大きい日が多い年は 4～9 月の光化学オキシダント濃度の地域内平均値が高くなる傾向などの相関。⁵⁰⁾
- ・ 天気図を用いた判定を行った結果、1990 年頃より 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の可能性。^{55) 57)}

2.5 ヒートアイランド現象との関係

- ・ ヒートアイランド発生場所と光化学オキシダント高濃度域の位置関係には一定の傾向が見られるが、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は現在のところ不明。⁵⁸⁾

2.6 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が見られるが、低気圧に伴う寒冷前線に沿って、圏界面から対流圏上層に輸送された成層圏オゾンが、引き続き発生する移動性高気圧の下降流により、地上へと輸送されるメカニズ

ムが解明。⁵⁹⁾

- ・地上へと輸送される時の下降流の強さや、局所的な気温逆転層の強さ、移動性高気圧の東進速度が、地上でのオゾン濃度や高濃度出現の地域を決定。⁵⁹⁾
- ・成層圏オゾンの降下は地域的には、ジェット気流の動きと密接な関係があり、ジェット気流の中心軸が南下する場合は、日本の南の地域においても、地上で成層圏起源のオゾンが観測される場合が存在。⁵⁹⁾
- ・後方流跡線解析やオゾンゾンデ観測の結果から、成層圏オゾンが、近年のオゾン年平均濃度レベルの上昇に及ぼす影響は見られない。(図 2-8)^{4) 60)}

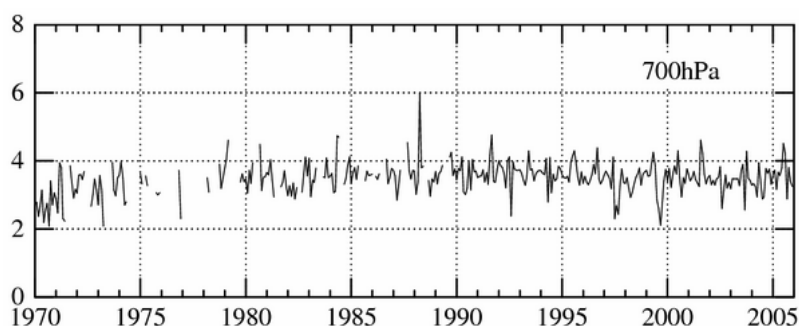


図 2-8 つくばのオゾンゾンデ観測による 1970 年以降の 700 hPa におけるオゾン分圧 (mPa) の経年変化⁶⁰⁾

2.7 高濃度日における各要因の解析

- ・近年の福岡県の高濃度日の主要因を分類すると、大陸からの移流、地域汚染がそれぞれ 30%程度、成層圏からの下降が 10%程度となっており、近年では大陸からの移流の割合が増加。⁶¹⁾
- ・2007 年 5 月 8 日及び 9 日に観測された全国的な高濃度オキシダント発生事例の再現シミュレーションの結果、8 日は越境汚染の影響が大きく、9 日は越境汚染に加えて都市大気汚染の影響を受けていることが判明。^{10) 11)}
- ・1996 年 4 月の八方における観測結果及び化学輸送モデルの計算結果を見ると、北米及びヨーロッパの影響は変動が小さいが、東アジア及び日本由来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もあれば(4 月 7 日)、日本由来の影響が非常に大きい日(4 月 25 日頃)も存在。(図 2-9)⁴⁹⁾

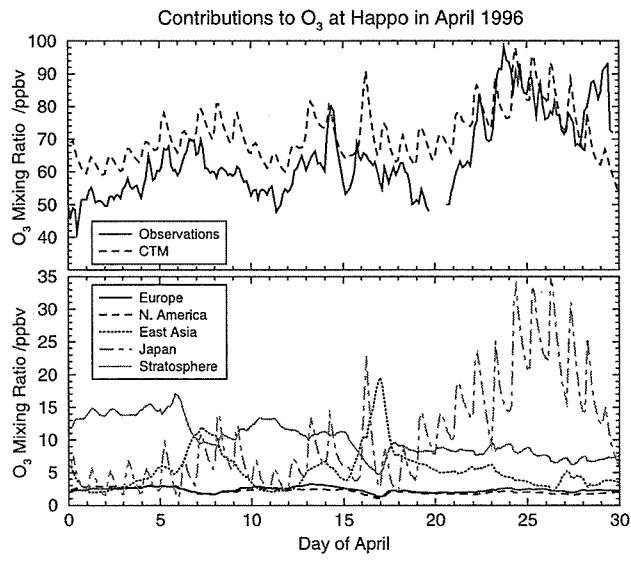


図 2-9 1996 年 4 月の八方におけるオゾン観測値と化学輸送モデルによる計算値⁴⁹⁾

3. 今後の課題

(1) 予測モデル等の改良

- ・世界各地のリモート地点における、成層圏オゾン降下、大陸間輸送、大陸内輸送の寄与割合の定量的評価。
- ・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の高度化。
- ・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。
- ・光化学オキシダント濃度の近年の上昇要因について、地域により状況が異なることから、地域ごとのより詳細な要因分析を実施。

(2) NO_x 及び VOC の排出量等の把握

- ・人為起源と自然起源の双方について、排出インベントリを整備・更新。
- ・VOC の発生源で、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の把握。
- ・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。

(3) 光化学オキシダント測定体制の強化

- ・今後の対策検討・効果検証のため、国内観測網の精度向上を実施。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から、適正な大気環境常時監視システムを維持。

(4) 国際的な取組みの推進

- ・各国国内の大気汚染問題の改善のためにも、大気保全対策について近隣諸国との協力を推進。
- ・大気汚染と温暖化対策を一体的に進めるコベネフィット対策を活用し、近隣諸国との協力を推進。
- ・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で、EANET の枠組みにおけるオゾンモニタリングの実施を推進。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、普及を図ることも有効。
- ・科学的知見の共有を目的とした中国等とのオゾンに関する共同研究の実施を検討。

<参考文献>

- 1) 環境省；平成 17 年度 大気汚染状況報告書, 2006
- 2) 第 1 回光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会資料, 対流圏オゾンの状況, 2007
- 3) 第 1 回光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会資料, 光化学オキシダントの状況, 2007
- 4) 大原利眞編；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)
- 5) 秋元肇；東アジアオゾン汚染の日本への影響, 資源環境対策, vol. 39, pp. 90-96, 2003
- 6) 大原利眞；光化学オキシダントと浮遊粒子状物質の全国的・地域的特性, 第 48 回大気環境学会年会講演要旨集, 2007
- 7) 大原利眞, 坂田智之；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, pp. 47-54, 2003
- 8) 若松伸司；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, pp. 125-136, 2001
- 9) 岩本真二；離島におけるオキシダント濃度について, 2007
- 10) 国立環境研究所記者発表；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>
- 11) 早崎将光, 大原利眞, 宮下七重；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, 2007
- 12) 環境省；平成 17 年 光化学大気汚染関係資料, 2006
- 13) 環境省；平成 18 年 光化学大気汚染関係資料, 2007
- 14) EANET；<http://www.eanet.cc/jpn/>
- 15) 世界気象機関 (WMO)；http://www.wmo.ch/pages/index_en.html
- 16) 温室効果ガス世界資料センター (WDCGG)；http://gaw.kishou.go.jp/wdcgg/jp/wdcgg_j.html
- 17) 気象庁；WMO 全球大気監視 (GAW) 計画, <http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/infohp/gaw.html>
- 18) 国際研究計画・機関情報データベース；GAW, <http://www-cger.nies.go.jp/cger-j/db/info/prg/gaw.htm>
- 19) 欧州モニタリング評価プログラム (EMEP)；<http://www.emep.int/>
- 20) 国際研究計画・機関情報データベース；EMEP, <http://www-cger.nies.go.jp/cger-j/db/info/prg/emep.htm>
- 21) 谷本浩志；地球環境問題としてのオゾン汚染, 資源環境対策, vol. 43, pp. 21-27, 2007
- 22) Jo, W. K., I. H. Yoon, and C. W. Nam；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, pp. 11-18, 2000
- 23) Chan C.Y., L.Y. Chan and J.M. Harris；Urban and Background Ozone Trend in 1984-1999 at Subtropical Hong Kong, South China, J. Ozone: Science & Engineering, vol. 25, pp. 513-522, 2004
- 24) Chan L.Y., Chan C.Y. and Qin Y.；Surface Ozone Pattern in Hong Kong, Journal of Applied Meteorology, vol. 37, no. 10, pp. 2003-2016, 1998

- 25) 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>
- 26) Yamaji, K., Ohara, T., Uno, I., Tanimoto, H., Kurokawa, J. and Akimoto, H. ; 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, no. 10, pp. 1856-1868, 2006
- 27) 秋元肇, 河村公隆, 中澤高清, 鷲田伸明編 ; 対流圏大気の化学と地球環境, 学会出版センター
- 28) EPA ; National Trends in Ozone levels, <http://www.epa.gov/airtrends/ozone.html.2007>
- 29) J. E. Jonson, D. Simpson¹, H. Fagerli, and S. Solberg ; Can we explain the trends in European ozone levels?, Atmospheric Chemistry and Physics, vol. 6, pp. 51-66, 2006
- 30) TF HTAP ; Hemispheric Transport of Air Pollutants 2007 ; An Interim Report of the Task Force on Hemispheric Transport of Air Pollutants of the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Draft TF HTAP Interim Report, August 2007
- 31) P.G. Simmonds, R.G. Derwent, A.L. Manning, G. Sp ; Significant growth in surface ozone at Mace Head, Ireland, 1987-2003, Atmospheric Environment, vol. 38, pp. 4769-4778, 2004
- 32) Fishman.J,V.G.Brackett ; 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, pp. 19275-19278, 1997
- 33) Lelieveld.Jos,F.J. Dentener ; What controls tropospheric ozone?, Journal of Geophysical Research, vol. 105, pp. 3531-3551, 2000
- 34) Logan. J. A ; 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, pp. 16445-16149, 1999
- 35) EPA; INVENTORY OF U.S. GREENHOUSE GAS EMISSIONS AND SINKS: 1990-2005, April 2007, <http://www.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html>
- 36) EPA ; Air Emissions Summary Through 2005, http://www.epa.gov/air/airtrends/2006/emissions_summary_2005.html
- 37) Akimoto, H. ; Global Air Quality and Pollution, Science, vol. 302, pp. 1716-1719, 2003
- 38) 山地一代,秋元肇 ; 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, pp. 28-35, 2007
- 39) Ohara, T., Akimoto, H., Kurokawa, J., Horii, N., Yamaji, K., X. Yan, and Hayasaka, T.; An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020, Atmospheric Chemistry and Physics, vol. 7, pp. 4419-4444, 2007
- 40) ジェイコブ D.J. (著), 近藤豊 (訳); 大気化学入門, 東京大学出版会, 2002

- 41) Naja, M., and Akimoto, H. ; 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, 2004
- 42) Pochanart, P., Hirokawa, J., Kajii, Y., Akimoto, H. and Nakao, M. ; 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, pp. 3621-3631, 1999
- 43) Pochanart, P., Akimoto, H., Kinjo, Y., and Tanimoto, H. ; Surface ozone at four remote island sites and the preliminary assessment of exceedances of its critical level in Japan, *Atmospheric Environment*, vol. 36, pp. 4235-4250, 2002
- 44) Tanimoto, H., Sawa, Y., Matsueda, H., Uno, I., Ohara, T., Yamaji, K., Kurokawa, J. and Yonemura, S. ; Significant latitudinal gradient in the surface ozone spring maximum over East Asia, *Geophysical Research letters*, vol. 32, L21805, doi:10.1029/2005GL023514, 2005
- 45) Akimoto, H., Yoshitomi, M., O. Wild ; 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
- 46) Wild, O. and Akimoto, H. ; Intercontinental transport of ozone and its precursors in a three-dimensional global CTM, *Journal of Geophysical Research*, vol. 106(D21), pp. 27729-27744, 2001
- 47) 秋元肇 ; 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, 2006
- 48) Sudo, K. and Akimoto, H. ; Global source attribution of tropospheric ozone: Long-range transport from various source regions, *Journal of Geophysical Research*, vol. 112, D12302, doi:10.1029/2006JD007992, 2007
- 49) Wild, O., P. Pochanart, and Akimoto, H. ; Trans-Eurasian Transport of Ozone and its Precursors, *Journal of Geophysical Research*, vol. 109, D11302, doi:10.1029/2003JD004501, 2004
- 50) 東京都 ; 光化学オキシダント対策検討会報告書, 2005
- 51) 国立環境研究所 ; 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, 国立環境研究所研究報告第 26 号 (S R -26-1998)
- 52) 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 ; 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, 2006
- 53) 若松伸司 ; VOC とオゾン・微小粒子 PM_{2.5}, 第 48 回大気環境学会年会講演要旨集, 2007
- 54) Wakamatsu, S. ; 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(4), pp. 309-314, 1997
- 55) 産業技術総合研究所 ; 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)」, 2007
- 56) 大原利眞 ; 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, pp. 86-89, 2003

- 57) 吉門洋；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, pp. 188-199, 2004
- 58) 飯村文成, 飯田信行, 山川和彦, 田村義男, 若松伸司, 大原利眞；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 (5) - 光化学オキシダント高濃度域とヒートアイランドの関係 -, 第 47 回大気環
 境学会年会講演要旨集, 2006
- 59) Wakamatsu, S., Uno, I., Ueda, H., Uehara, K., Tateishi, H. ; Observational study of stratospheric
 ozone intrusions into the lower troposphere, Atmospheric Environment, vol. 23, pp. 1815-1826,
 1989
- 60) 気象庁；2.6 対流圏オゾン, 大気・海洋環境観測報告第 7 号, 2005
- 61) 岩本真二；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, 2007
- 62) 国立公害研究所；スモッグチャンパーによる炭化水素 - 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)
- 63) 国立公害研究所；炭化水素 - 窒素酸化物 - 硫黄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 1), 国立公害研究所研究報告第 61 号 (R-61-1984)
- 64) 国立公害研究所；炭化水素 - 窒素酸化物 - 硫黄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 72 号 (R-72-1985)
- 65) Wakamatsu, S., Uno, I. and Suzuki, M. ; A field study of photochemical smog formation under
 stagnant meteorological condition, Atmospheric Environment, vol. 24A, pp. 1037-1050, 1990
- 66) Wakamatsu, S., Uno, I. and Ohara, T. and Kenneth L. Schere ; A study of the relationship between
 photochemical ozone and its precursor emissions of nitrogen oxides and hydrocarbons in the Tokyo
 area, Atmospheric Environment, vol. 33, pp. 3097-3108, 1999
- 67) Wakamatsu, S., Uno, I. and Ohara, T. ; Spring time photochemical air pollution in Osaka - Field
 observation-, Journal of Applied Meteorology, vol. 37, pp. 1100-1106, 1998
- 68) Chou, Charles C.K., Shaw C. Liu, C.Y. Lin, C.J. Shiu, K.H. Chang, ; The trend of surface ozone in
 Taipei, Taiwan, and its causes: Implications for ozone control strategies, Atmospheric
 Environment, vol. 40, pp. 3898-3908, 2006
- 69) 環境省；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 , 地球環境研究総合推進費の研究成果に関する報道発表, 2005