

光化学オキシダント環境基準の見直しとその対策

～健康と環境を守る新たな一歩～

よし かわ けい こ
吉川 圭子

環境省 水・大気環境局 環境管理課長

はじめに

光化学オキシダントに係る環境基準は、健康影響の知見に基づき、「1時間値が0.06ppm以下であること」（昭和48年5月環境庁公示第25号）と設定された。告示に先立って昭和48年4月26日に中央公害対策審議会よりなされた答申においては、健康への影響及び視程の障害、植物被害等生活環境に及ぼす影響などについての調査研究の推進等の課題が示され、様々な研究が進められてきた。

環境基準については、環境基本法において「常に適切な科学的判断が加えられ、必要な改定がなされなければならない。」とされており、環境基準の設定以降に多くの科学的知見が蓄積している状況であることに加え、光化学オキシダントの主な成分であるオゾンによる二酸化炭素の吸収を阻害することから、気候変動という観点からも影響が懸念されている。

環境省では、中央環境審議会大気・騒音振動部会での審議を経たうえで、令和4年1月に「気候変動対策・大気環境改善のための光化学オキシダント総合対策について〈光化学オキシダント対策ワーキングプラン〉」を策定し、光化学オキシダントの環

境基準の再評価や、光化学オキシダント濃度低減に向けた対策の検討を行うこととした。

本稿では、約50年ぶりの改定となる環境基準の見直しと、光化学オキシダントの濃度低減対策に関する取組みについて、光化学オキシダント対策ワーキングプランに基づく取組みと、令和7年5月に開始した中央環境審議会大気・騒音振動部会大気汚染物質小委員会（以下、大気汚染物質小委員会とする）における審議の内容を中心に紹介する。

1. 新たな基準値の検討

(1) 光化学オキシダントに係る科学的知見の整理

光化学オキシダントの新たな基準値の検討にあたり、令和4年3月に「光化学オキシダント健康影響評価検討会（以下、健康影響評価検討会とする）」（座長 新田裕史 国立環境研究所 名誉研究員）、「光化学オキシダント植物影響検討会（以下、植物影響検討会とする）」（座長 伊豆田猛 東京農工大学 教授）を設置し、約2年をかけ、多くの科学的知見のとりまとめを行った。

健康影響については光化学オキシダント

の成分であるオゾン (O₃)、パーオキシアセチルナイトレート (PAN) について、呼吸器、循環器、死亡等の影響に係る諸外国が基準値等の検討に際して整理した文献をはじめとする2,000報を超える疫学研究、人志願者実験、動物実験に係る論文を整理した。

その結果、O₃の曝露と各健康影響の関連性の確からしさについて以下の結論を得た(表1)。

植物影響についても、光化学オキシダントの成分であるO₃、PANについて、農作物への影響、樹木への影響、森林衰退との関係についての知見を整理し、農作物の成長や収量に悪影響があり、樹木の成長に対しても悪影響を及ぼす可能性があるとの結論を得た。

(2) リスク評価

次に、健康影響評価検討会と植物影響検討会でのとりまとめをもとに、令和6年11月には環境影響評価検討会、令和7年5月には大気汚染物質小委員会を開催し、環境基準の案をとりまとめた。なお、評価に当たっては、健康影響、植物影響ともに信頼性の高い科学的知見が得られていることから、O₃を指標物質とした。また、紙面の都合上、詳細は大気汚染物質小委員会報告をご覧ください。

①健康影響

O₃への短期曝露による健康影響に係る環境基準値を導出する際、人志願者実験では

曝露濃度・時間等の実験条件がコントロールされた結果が示されていることから、O₃に関する多くの人志願者実験の結果に基づき、環境基準値導出の第一段階として健康影響指標の変化が認められる濃度を整理して示すことは比較的容易であると考えられた。一方で、短期曝露影響に関する疫学知見から健康影響指標の変化がみとめられる濃度範囲とみとめられない濃度範囲を区別して示すことは、人志願者実験の結果に基づく場合よりも困難がある。以上から、まず、人志願者実験の結果から健康影響指標の変化がみとめられる濃度を整理したうえで、人志願者実験の結果に基づいて目安とした環境基準値を達成している疫学研究の対象地域において影響がみられたか否かを検討することによって、人志願者実験知見と疫学知見を総合的に検討した。

O₃への長期曝露による健康影響に係る環境基準値を導出する手順としては、信頼できる疫学知見、具体的には適切にデザインされたコホート研究及び長期繰り返し研究に基づき、それぞれの対象地域のO₃濃度とその地域の健康影響指標との関係を検討した。

短期曝露による影響については、人志願者実験と疫学研究による知見を総合的に検討した結果、1時間値については0.12ppmを、8時間値については0.07ppmを環境基準値の候補とすることが適切であると判断した。

表1 O₃の曝露と各健康影響の関連性の確からしさについて

健康影響	各健康影響の関連性の確からしさに関する判断
O ₃ への短期間の曝露による呼吸器系への影響	悪影響を及ぼし得ることは確か
O ₃ への短期間の曝露による循環器系、代謝系、神経系などその他の影響	悪影響を及ぼし得ることは確からしいと判断することは困難
O ₃ への長期間の曝露による呼吸器系への影響	悪影響を及ぼし得ることは確からしい
O ₃ への長期間の曝露による循環器系、発がん、生殖・神経発達などその他の影響	悪影響を及ぼし得ることは確からしいと判断することは困難

1時間値については、激しい運動条件下の2時間以下のO₃曝露の結果からは、0.12～0.15ppmを超える範囲でFEV1 (Forced Expiratory Volume in one second. 努力肺活量の1秒量) の低下と呼吸器症状の発現がみられていた。1～2時間のO₃曝露についての知見では0.12ppmより低い濃度で悪影響が表れるという明確な知見はなかった。

8時間値については、6.6時間のO₃曝露実験におけるFEV1の低下については0.06～0.12ppmの範囲で濃度に依存した低下傾向がみられている。一方、0.06ppm曝露における呼吸器症状スコアは一部の被験者でやや大きな変化がみられていたものの平均スコアに上昇はみられておらず、スコアの範囲も全体的には低レベルであった。0.07ppmを超える濃度範囲ではFEV1の低下はより明確で、呼吸器症状スコアの増加もみられていた。

人志願者実験の結果を踏まえて、1時間値においては0.12ppm、並びに8時間値においては0.07ppmを目安として、O₃濃度と種々の健康影響指標との関連性に関する解析結果が示されている疫学研究の各対象地域のO₃濃度分布を検討した。当該濃度以下の地域でO₃濃度と肺機能等の健康影響指標との関連性がみとめられる報告があったが、関連性がみとめられない報告もあり、必ずしも一貫した結果ではなく、1時間値0.12ppm、及び8時間値0.07ppmよりもさらに低い濃度で健康影響がみとめられることが確からしいと判断するに十分な知見は得られなかった。

一方、長期曝露による影響については、疫学研究による知見を検討した結果、日最高8時間値の年平均値0.04ppmを環境基準値の候補とすることが適切であると判断した。

米国の子どもを対象としたコホート研究では平均濃度約0.03～0.08ppmの地域で昼

間8時間O₃濃度の年平均O₃濃度(日最高8時間O₃濃度の年平均値(推定):約0.03～0.08ppm)の低下と喘息新規発症率の低下との関連性がみられたが、小学生を対象とした5年間の調査では平均濃度約0.01ppmの地域(濃度範囲:0.004～0.03ppm)(日最高8時間O₃濃度の年平均値(推定):約0.005～0.04ppm)において5年平均O₃濃度と喘息新規発症に関連性はみられなかった。

また、我が国の調査では日最高8時間値の3年平均値が約0.03～0.05ppmの地域で3歳から6歳までの喘息発症との関連性がみられなかった。

コホート研究対象者における喘息による入院または受診に関しては米国での未成年者を対象とした調査において昼間8時間値の平均濃度約0.04ppm(日最高8時間O₃濃度の年平均値(推定):約0.04ppm)の地域で追跡期間中の喘息による入院または受診の増加に関連性がみられていた。

大気モニタリングデータの解析を行った結果によれば、日最高1時間値と日最高8時間値との比は1～1.2の範囲が全体の約4分の3を占めており、比が1.5を超えるのは2%以下であった。比を1.5とした場合には日最高8時間値0.07ppmに対応する日最高1時間値は0.105ppmとなり、日最高8時間値が0.07ppm以下とした時に、これが達成される場合には日最高1時間値0.12ppm以下も達成できる可能性は高いと考えられる。

以上から、O₃の短期曝露に係る環境基準値としては8時間値のみとすることが適切であると判断された。

②植物影響

O₃の植物影響は植物種や品種によって異なり、植物の生育環境によっても異なるため、国内に生息する植物種を対象とし、エンドポイント、光化学オキシダントの曝露

指標に基づいてリスク評価を行い、複数の植物種における曝露とそのエンドポイントとの曝露-応答関係から、ある一定の影響がみられる曝露水準を導出した。

光化学オキシダント植物影響評価検討会における判断を踏まえ、植物への総合的な影響を表す指標である成長（個体乾重量）や収量を考慮すべきエンドポイントとした。

日本国内における研究データが比較的充実していた植物種を解析対象とし、農作物ではイネとハツカダイコン、樹木ではスギ、アカマツ、カラマツ及びブナについて、植物の個体乾重量や収量の変化率とO₃曝露指標の関係（O₃曝露-応答関係）を解析した。

解析の結果、O₃曝露-応答関係の導出が可能であった農作物等であり、国内において重要な農作物であるイネの収量の5～10%の低下に対応する日中7時間平均値（9：00～16：00）の4カ月平均値（6～9月）34.8～49.6ppbと樹木で最も感受性が高いブナの成長（個体乾重量）の5～10%の低下に対応する日中12時間平均値（6：00～18：00）の6カ月平均値（4～9月）38.2～56.5ppbであった。

(3) 新たな環境基準（案）

上記の評価を踏まえ、光化学オキシダントに関する健康影響に係る新たな環境基準案は表2のとおりである。測定方法については、環境上の条件をオゾンとしたことから、紫外線吸収法などの、いわゆる乾式法のみとする案とした。

これにより、従来の短期基準に加えて、長期曝露による健康影響、植物への影響に

ついても未然防止することが可能となると考えられる。

なお、短期基準については日最高8時間値の99% tile値（年間で上位4番目の数値）と比較し、長期基準については日最高8時間値の年平均値と比較し、いずれも達成することをもって環境基準達成とするが、環境基準の達成評価方法は、大気汚染に対する施策の効果等を的確に判断できることが望ましい。短期基準の評価では、測定局ごとに達成／未達成のみを判断する方法では、対策等による常時監視測定局ごとの濃度の状況を十分に把握することができないという課題があったため、測定局ごとに日最高8時間値について、0.07ppm以下の割合（365日測定していた場合には、そのうち日最高8時間値が0.07ppm以下となった日数を365日で除した数値）を算出し、年間でどの程度の日数が達成しているのかを可視化する方法を導入する方向である。参考として、再評価結果に基づく達成日数割合（乾式測定を行っている測定局のみ）の分布の推移を図1に示す。2000年度では達成日数割合の最小値が75%であったが、2022年度にはいずれも90%以上の割合で達成している（注：箱ひげ図について、ひげの上端、下端はそれぞれ最大値、最小値を示し、箱の上端、下端はそれぞれ25% tile値、75% tile値を示す）。

2. 対策

(1) 「光化学オキシダント対策ワーキングプラン」に基づく取組み

新たな基準の導入は、政策の実効性を高

表2 光化学オキシダントの新たな環境基準案

物質	環境上の条件	測定方法
光化学オキシダント	オゾンとして、8時間値が0.07ppm以下であり、かつ、日最高8時間値の1年平均値が0.04ppm以下であること。	紫外線吸収法、またはエチレンを用いる化学発光法

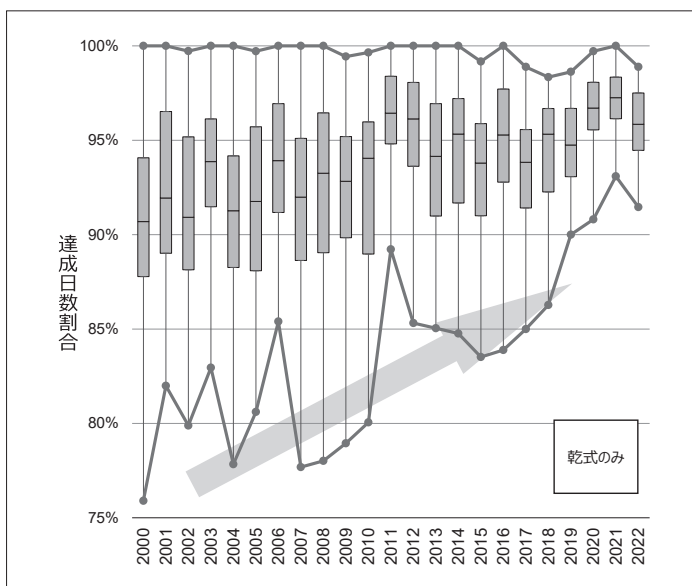


図1 再評価結果に基づく達成日数割合（乾式測定を行っている測定局のみ）の分布の推移

表3 「光化学オキシダント対策ワーキングプラン」に基づいた検討

ア. 現状の把握、生成機構の解明及びシミュレーションモデルの精緻化

観測された光化学オキシダント濃度等を詳細に解析して現状を把握する。また、生成機構に関する新たな知見を収集するとともに、前駆物質の排出インベントリやシミュレーションモデルの精緻化により、光化学オキシダント生成に係る寄与率を明らかにする。

イ. 過去の対策効果の検証（前駆物質削減による効果）

これまでの排出規制や自主的取組みによる前駆物質削減が光化学オキシダント濃度の変化にどれほど寄与したか、シミュレーションを活用して検証する。

ウ. 光化学オキシダント対策の検討・削減シナリオの策定

2050CNに向けた社会経済変化や新たな環境技術の導入、環境対策の進展、東アジアの大気環境変化等を考慮し、光化学オキシダント対策に必要な取組みを検討し、PM2.5対策も含めた総合的な排出削減シナリオを策定する。

めるための出発点でもある。わが国においては、これまでも光化学オキシダント生成の原因となる前駆物質対策としての窒素酸化物（NO_x）対策や、平成17年から開始した揮発性有機化合物（VOC）排出抑制対策に取り組んできた。近年では、令和4年に策定した「光化学オキシダント対策ワーキングプラン」に基づき、令和6年度まで光化学オキシダント濃度低減に向けた新たな対策の検討を進め、具体的には、次のア〜ウについて取り組んできた（表3）。

この取組みにより、これまで講じられてきた光化学オキシダント対策の効果を実測値やシミュレーションモデルなどを活用して検証し、より効果的な対策の検討を行った。具体的には、光化学オキシダントの生成機構の解明や前駆物質削減による効果等の検証を行うことにより、効果的な対策について検討するとともに、排出削減シナリオを策定した。検討結果の概要については以下のとおり。

✓VOC排出抑制対策開始以降、光化学オキ

シダントの前駆物質であるNO_x及びVOCの濃度は着実に低減した。

- ✓光化学オキシダント濃度が上昇する暖候期（4～9月）に着目して春季（4～6月）と夏季（7～9月）に分けて解析した結果、夏季においては、日中の高濃度の出現が減少し、春季においては光化学オキシダントの濃度の低減が少なかった。これは、春季に越境汚染の影響を受けており、夏季は風向き等の気候条件により、越境汚染の影響を受けにくく、国内の削減対策の効果が表れやすくなっているものと推測された。
- ✓シミュレーションによる計算でも国内の前駆物質削減が高濃度の光化学オキシダントの濃度がさらに低減すると予測される結果となっており、国内の前駆物質排出抑制対策による効果が表れていることを支持している。また、このことは、光化学オキシダント注意報発令延日数の減少として表れているものと考えられる。
- ✓ベースラインシナリオにおける2030年度の高位及び低位の前駆物質排出量を用いて、シミュレーションにより推計した光化学オキシダントの将来濃度については、夏季は比較的濃度が低下し、特に内陸地域でオキシダント濃度の低下が大きく、春季は夏季に比べて前駆物質の削減による光化学オキシダント濃度の低減効果は小さくなった。また、春季は夏季に比べて光化学オキシダント生成能が低く、移流の影響を大きく受けることで国内における前駆物質の削減による光化学オキシダント濃度の低減効果が小さくなり、国内対策だけでは光化学オキシダント濃度は下がりにくいことを示していると考えられる結果であった。
- ✓NO_x排出量の削減により、夏季は光化学オキシダント濃度を低下させ、春季は上昇させる傾向があった。

（2）今後の対策に関する検討

近年では、VOCの排出削減が進んだことにより、高濃度の光化学オキシダントの出現が減少するなど、状況は改善傾向にあるものの、環境基準の達成率は依然として低い水準で推移しており、新基準を踏まえて引き続き濃度低減のための対策を行うことが必要となる。また、PM_{2.5}の前駆物質のうち、NO_x及びVOCは光化学オキシダントと共通であることから、PM_{2.5}と光化学オキシダント対策を一体的に進めていくことが重要である。

今後はPM_{2.5}と光化学オキシダントの総合的な対策のための「微小粒子状物質・光化学オキシダント対策ワーキングプラン」を策定し、令和8年以降PM_{2.5}及び光化学オキシダントの大気中濃度の一層の低減に向けて取り組むべく、現在、大気汚染物質小委員会において審議をしているところである。

3. おわりに

光化学オキシダントの環境基準改定は、私たちの健康と環境を守るための重要な一歩です。特に、子どもや高齢者など、空気の質に敏感な人々にとって、より安全で安心な生活環境の実現につながることであります。

また、植物への影響を抑えることは、農業や森林保全、さらには気候変動対策にも貢献します。光化学オキシダントの排出抑制は、温室効果ガスの削減にもつながるため、地球規模の環境改善にも寄与することができます。

「安全・安心な空気」を次世代に引き継ぐために、光化学オキシダントの環境基準達成に向け、VOCやNO_xの削減などについて、皆さまのご理解とご協力をお願い申し上げます。