

光化学オキシダントと植物

- オゾンが農作物におよぼす影響 -

自然環境担当 米倉哲志

1 光化学オキシダントとは

「光化学オキシダント(O_x)」とは、光化学スモッグの原因となる大気中の酸化性物質の総称である。工場や自動車などから大気中に排出された一次汚染物質である窒素酸化物(NO_x)や揮発性の有機化合物(VOC)、炭化水素(HC)などが、太陽光線に含まれる紫外線を受けて光化学反応を起こして生成される。この光化学オキシダントは、オゾン(O_3)やパーオキシアセチル・ナイトレート(PAN)などを含む酸化性物質などの二次的生成物質を示し、光化学スモッグの原因となる物質である。また、その光化学オキシダントの大部分がオゾンであるため、「光化学オゾン」とも言われている。大気汚染防止法では、このオキシダントのうちで、中性よう化カリウム溶液と反応して、よう素を遊離する物質のことをオキシダント(全オキシダント)と呼び、この全オキシダントの中から、二酸化窒素(NO_2)を除いたものを光化学オキシダントと呼び、光化学スモッグが発生しているかどうかの指標物質として、環境基本法に基づく環境庁告示により環境基準が設定されている。光化学オキシダントの環境基準値は、昼間(5~20時)の1時間値の最高値が0.06ppm(60ppb)以下とされているが、平成13年度の関東地方での基準達成率は非常に少ない。また、注意報や警報は各都道府県が独自に要綱等で定めているので若干異なる場合もあるが、一般的には光化学オキシダントの濃度が1時間値で0.12ppm(120ppb)で注意報が、0.24ppm(240ppb)以上でその状態が継続されると判断される場合に警報が発令される。平成14年に関東地方で「光化学スモッグ警報」が18年ぶりに出され、23都道府県で注意報などが発令された。光化学スモッグは、昭和40~50年代に関東や近畿圏を中心に発生し始め、被害の訴えも多数あったため、当初は大気汚染の重要な課題となっていた。その後、下火になったが、近年のオゾン濃度の増加によって再度この問題が表面化しつつある。

埼玉県は、全国的に見ても光化学オキシダント(オゾン)濃度の高い県である。光化学オキシダントの日最高1時間値の年間平均の推移は、1970年代から低下傾向にあったにもかかわらず、近年において光化学オキシダント濃度の上昇傾向が認められる(参項文献1)。また、埼玉中部の浦和や東秩父の堂平においても約1ppb/年の割合でオゾン濃度が上昇続けている(図1)。平成14年度においては、埼玉県全域に約40局設置されている一般環境測定局の全局において光化学オキシダントの環境基準値(60ppb)を超えており、注意報発令日数に至っては平成11年~14年の4年連続で全国最多日数を記録している。加えて、光化学オキシダントの前駆物質である二酸化窒素の年平均濃度も全国平均と比べ高い濃度で推移している(参項文献1)。なお、このような埼玉県の大気環境の現状については、当センター発行の『埼玉県環境科学国際センター報 第4号「埼玉の大気環境」』などを参照されたい。また、埼玉県内の大気汚染常時監視測定結果の速報を当センターホームページ(<http://www.kankyuu.pref.saitama.jp>)にて公開しているので、あわせて御覧いただきたい。

光化学オキシダントの主成分であるオゾンは、非常に酸化性の高い物質であり、農作物や自然植生に様々な悪影響を及ぼすことが知られている。前述のように、埼玉県のみならず都市域を中心としてオゾン濃度が増加しつつあるため、オゾンの植物影響について検討することは急務の課題である。このような背景のもと、当センターにおいてはオゾンの植物影響に関する研究を行なってきた。

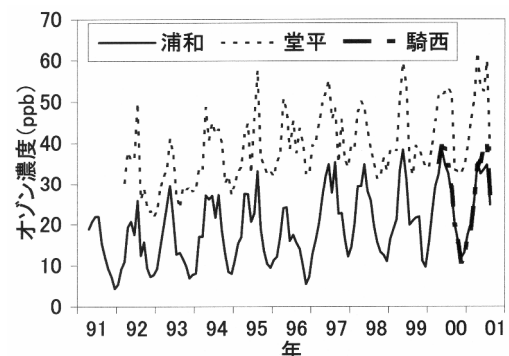


図1. 埼玉県各地の月別オゾン濃度の推移

(参考) オゾンが植物におよぼす影響とは

オゾンの植物におよぼす影響は非常に複雑で多岐にわたっているが、植物の生理機能、成長、収量などを低下させる。最も顕著な影響としては、葉の可視障害が挙げられる。写真1と2に示したように、植物がオゾンに曝されると茶褐色や白色の斑点状の障害が現れる。さらに高濃度もしくは長期間曝されると壊死にいたる。また、オゾンは光合成を行なうために重要な色素であるクロロフィル、重要な酵素であるルビスコ (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxugebase: Rubisco) の含量や活性などを低下させることにより純光合成速度の低下が引き起こされる。そのため光合成同化産物量が減るため、植物の成長や収量も減少する。また、オゾンによる同化産物の転流障害によって、葉や茎などに比べて根の成長量の減少が比較的顕著である。本稿の最後にオゾンの植物影響に関する参考図書などを示したので、詳しい解説については参照されたい(参考文献3、4)。



正常



被害葉



写真1. オゾンによるサトイモの葉の可視障害



写真2. オゾンによるコマツナの葉の可視障害

2 研究事例紹介

当センターは、オゾンを人工的に暴露することが可能な温室や人工気象室などを備えている数少ない地方自治体の研究機関である。今回は、当センターで行なったオゾンが農作物におよぼす影響に関する研究を数例紹介する。

2.1 現状レベルのオゾンがコマツナの成長に及ぼす影響

目的: 埼玉県における現状レベルのオゾンがコマツナの成長にどの程度悪影響を与えているかを調べる。なお、コマツナは埼玉県で比較的多く栽培されており、作付面積および収穫量は国内最大である(表1)。また、東京都、神奈川県、千葉県など関東4県で全作付面積の半分以上を占めている。

表1. コマツナの作付面積と収穫量(平成14年)

順位	作付面積 (ha)		収穫量 (t)	
1	埼玉	584 [15%]	埼玉	11200 [16%]
2	東京	577 [15%]	東京	10900 [16%]
3	神奈川	449 [12%]	神奈川	8360 [12%]
4	千葉	317 [8%]	千葉	6940 [10%]
5	大阪	248 [6%]	大阪	5210 [6%]

[]内は全国計に占める割合である。データは農林水産省統計より抜粋。

材料と方法: コマツナ(品種:楽天)を埼玉県環境科学国際センター内生態園に設置した小型オープントップチャンバーに外気導入(非浄化)区と空気浄化区を設け育成した。オープントップチャンバー(写真3)とは天井部のない透明チャンバーであり、野外に一对のオープントップチャンバーを設置し、一方には野外の空気をそのまま導入し(非浄化区)、他方には活性炭フィルターなどによってオゾン除去した空気を導入する(浄化区)。これらのチャンバー内で育成した植物の成長などを比較することによって、その場所におけるオゾンが植物に与える影響を調べられる。平成14~15年の春から秋にかけて計10回、それぞれ30日間育成し、非浄化区と空気浄化区の成長量を比較検討した。



写真3. 小型オープントップチャンバー

結果と考察：浄化区に比べて非浄化区のコマツナ成長量はオゾンドース(育成期間のオゾン濃度を積算した値)の増加に伴って低下する傾向を示した(図2)。特に顕著だった平成14年の7月に実施した例を図3示すが、野外の空気ですべて育ったコマツナの成長低下が著しく約50%程度の成長量の低下を示した。すなわち、すでに埼玉県における現状レベルのオゾン濃度はコマツナの成長に悪影響を及ぼしていることが考えられる。なお、図3においてプロットにばらつきが認められるのは、コマツナのオゾン応答に他の環境要因(気温や日射量など)が関与していることを示唆している。

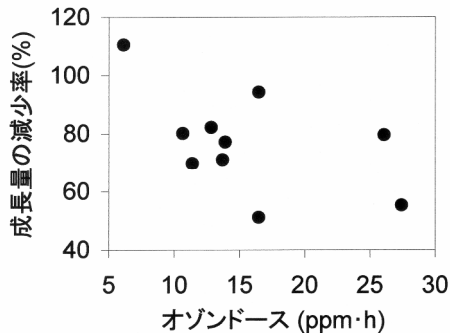


図2. コマツナの相対成長率とオゾンドースとの関係

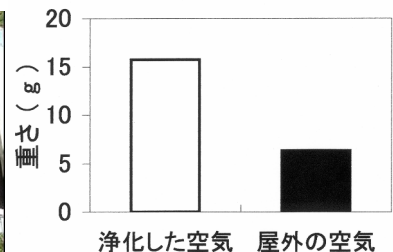


図3. コマツナの成長におよぼすオゾンの影響(H15年7月) 昼間の平均オゾン濃度:52ppb、最大オゾン濃度:143ppb

2.2 現状～将来レベルのオゾンがイネの収量に及ぼす影響

目的：埼玉県における現状～将来レベルのオゾンがイネの収量にどの程影響を及ぼすか調べる。

材料と方法：16品種のイネ[日本の品種9種: コシヒカリ、キヌヒカリ、朝の光、日本晴、あきたこまち、ひとめぼれ、トヨニシキ、彩のかがやき、サキハタモチ、外国の品種7種: Lemont (USA)、M401 (USA)、Dawn (USA)、IR8 (Philippine)、Boro8 (Pakistan)、Te-tep (Vietnam)、WSS-2 (Vietnam)]を埼玉県環境科学国際センター内オゾン濃度の制御可能な温室(写真4)において平成15年の6月下旬～10月上旬まで育成した。設定処理区は、オゾン浄化区、外気区(非浄化区)、野外の1.5倍のオゾン濃度になるように制御した×1.5倍外気区の3段階を設けた。収穫時にそれぞれの処理区9個体の穀重を量り収量とした。なお、埼玉県において作付面積の上位3品種は、コシヒカリ(県生産量の32%)、キヌヒカリ(18%)、朝の光(15%)である。



写真4. オゾン濃度の制御可能な温室(埼玉県環境科学国際センター)

結果と考察：オゾン濃度の増加にともなって16品種のイネすべて収量は低下する傾向が認められた(図4)。図4の横軸に用いたAOT40(Accumulated exposure to O₃ over a threshold of 40ppb)とは、欧米で植物のオゾン影響の評価に用いられている概念で、40ppb以上のオゾンを積算した値である(参考文献4)。しかしながら、その収量の低下程度には品種による差異が認められた。本実験に用いた日本の品種と外国の品種を比べると、日本の品種がオゾンによる収量低下が比較的少なかった。また、日本の品種間で比較

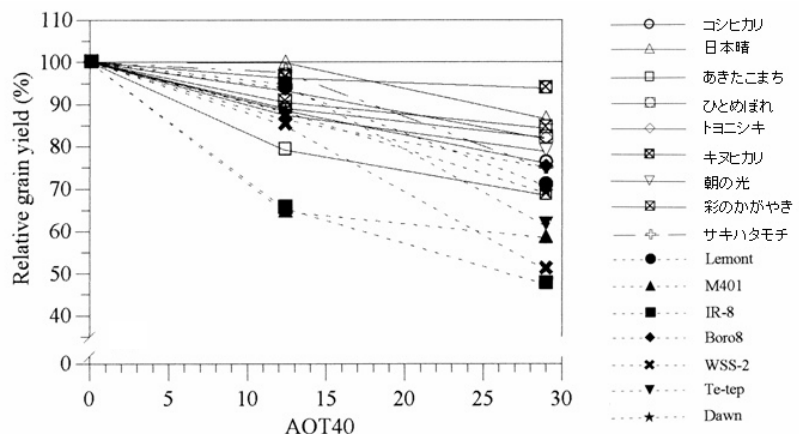


図4. オゾンがイネの生産量におよぼす影響

したところ、日本で最も生産量の多い品種であるコシヒカリ(国内総生産量の約40%を占める)はオゾンの悪影響を受けやすいことが明らかになった。なお、埼玉県で作付面積の上位3品種を比較すると、オゾンの悪影響を受けにくい順にキヌヒカリ>朝の光>コシヒカリであった。すなわち、オゾン影響のみを考慮した場合、埼玉県においてはキヌヒカリや朝の光を生産した方がイネの生産量の低下が少ないことが示唆された。

さらに、本実験結果に基づいて現状レベルおよび2050年の関東地方のオゾンがイネの収量をどの程度低下させるか試算した(図5)。その結果、埼玉県、群馬県、東京都においては、現状レベルのオゾンでイネの生産量が約10%低下していると考えられる。また、オゾン濃度がこのままの割合で増加し続けると2050年には群馬県、茨城県など

では、生産量が30~40%低下すると予測され、埼玉県においても地域によっては20%近い生産量の低下が予想される。なお、本試算は実験に用いた8品種の平均値を用いて行なっている。したがって、オゾンの悪影響を受けやすいコシヒカリなどは予測値より生産量の低下は著しくなると考えられる。なお、本研究の詳細は、Yonekura et al. (2005) Journal of Agricultural Meteorology, vol. 60 (5)を参照されたい。

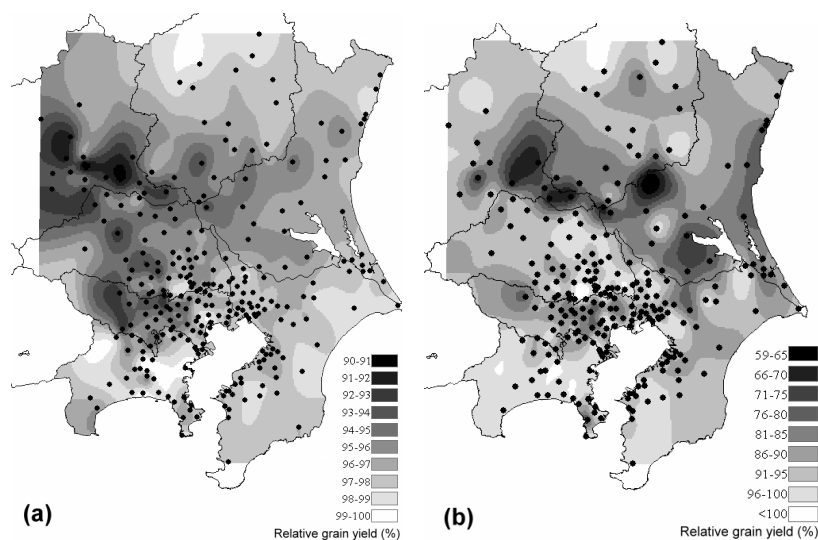


図5. 現状および将来レベルのオゾンが関東地方のイネの生産量におよぼす影響予測(a:2000年, b:2050年)

3 終わりに

植物の存在は我々人間にとって非常に大切なものである。我々と異なって植物は自ら移動することが出来ないため、地域環境の影響を反映する。すなわち、植物は環境変化を把握するための有用な指標として用いることが出来る。しかしながら、我々はこのような研究結果を植物を利用する立場としてだけ捉えるのではなく、植物が我々の生活環境の現状や将来に警鐘を鳴らしていると考えることが必要であろう。当センターでは、オゾンだけでなく、現在進みつつある温暖化環境(二酸化炭素濃度の上昇や気温の上昇)が農作物や樹木におよぼす影響などについても研究を行なっている。このような研究が、自然環境だけでなく我々が生活する環境の現状や将来を考えるためのきっかけや手助けになれば幸いである。

(参考文献)

埼玉の大気環境について

- 1) 埼玉県環境科学国際センター報 第4号「埼玉の大気環境」(2004)
- 2) 環境省大気汚染物質広域監視システム (<http://w-soramame.nies.go.jp>)
 全国の大気汚染状況について情報提供しているホームページ。大気汚染測定結果と光化学オキシダント注意報・警報発令情報の最新1週間のデータを見ることができる。

オゾンの植物影響などについて

- 3) 広域大気汚染 - そのメカニズムから植物への影響まで - 若松伸司・篠崎光夫 裳華房(2001)
- 4) 植物保護のための対流圏オゾンのクリティカルレベル 伊豆田猛・松村秀幸 大気環境学会誌 32(6) A73-A81(1997)
- 5) 大気環境変化と植物の反応 野内勇 編著 養賢堂(2001)