

埼玉県における光化学オキシダント による植物被害

小川 和雄 松本 利恵 佐藤 賢一* 江村 薫**

要 旨

埼玉県におけるオキシダントによる植物の可視被害の実態を明らかにするため、1981年から1990年の10年間にかけて、アサガオ・サトイモを指標植物として、県内9～10地点で7月の1ヵ月間に葉面に発現する可視被害を調査した。

10年間の被害発生率の平均はアサガオが91.5%、サトイモが91.4%で、毎年多くの調査地点で可視被害が発現した。アサガオ・サトイモの被害分布はいずれも入間、鶴ヶ島、熊谷を結ぶ地域付近の被害が大きく、アサガオは三郷、秩父、サトイモは秩父で被害が少ない傾向がみられた。

アサガオ・サトイモの被害分布とオキシダント濃度分布の特徴から、アサガオは主としてオキシダントドースに、サトイモは主としてオキシダント最高値に影響されていることが示唆された。

過去10年間でアサガオ・サトイモに被害が発現した時の最低のオキシダント濃度は、昼間10時間の1ヵ月間ドースでは4562ppb・hr、時間値では50ppbで環境基準値の60ppbを下回った。しかし、時間値で180ppbを超えても被害の発現しなかった事例もあり、生物影響の複雑さも示された。

1 はじめに

1940年代前半にアメリカ合衆国のロスアンゼルスで従来と異なる大気汚染が発生し、その大気中からオゾンやアクロレインが検出され¹⁾、晴れた日に発生することから光化学スモッグと呼ばれた。日本では、1970年に東京で、目の痛みや呼吸器系への症状をともなって発生し、ネギやコマツナに白色斑点が発生したり、ケヤキ生葉の異常落葉もみられた²⁾。なお、この1年前には千葉県でサトイモ葉の異常褐変が観察されており³⁾、以後、現在までの20年間、毎年のように健康被害⁴⁾や農作物被害^{5) 6)}が報告されるようになった。

光化学スモッグはモータリゼーションの進行にともなって排出量が急増した窒素酸化物や炭化水素が太陽光中の紫外線によって反応し、酸化力の強い物質となって生成することからオキシダントとも呼ばれ、数次にわたる自動車排出ガス規制が実施されてはいるも

のの全く改善の兆候はみられていない⁷⁾。

ところで、埼玉県の大気汚染によるオキシダントによる大気汚染は全国第1位で、1973年以降1990年末までの光化学スモッグ注意報発令回数は314回に達し、2位東京の268回、3位千葉の187回を大きく上回っている。また、埼玉県は急速に都市化が進んでいるが、約10万haの耕地面積を有する農業県でもあり、農作物被害がしばしば発生している。

関東地方公害対策推進本部大気汚染部会（関東甲信静の1都9県で構成）では、光化学オキシダントの植物影響を重視し、1974年から被害の実態調査に取り組み、埼玉県もその一員として共同調査に参加してきた。本稿は、そのうち最近10年間の埼玉県における植物被害の広がりや経年変化の実態をとりまとめたものである。

なお、本調査は1985年までは埼玉県農業試験場及び埼玉県園芸試験場が、1986年は同、埼玉県農業試験場

* 埼玉県農業試験場

** 埼玉県園芸試験場（現埼玉県農業試験場）

が単独で実施し、翌年に当所が引き継いだものである。

2 アサガオ・サトイモを利用したモニタリングの意義

自然や環境は高度経済成長期頃から受容しうる変化の限界を超え、人や生物圏の生態学的均衡が急速に破壊されてきた。国際学術連合会議の環境問題科学委員会(SCOPE)⁸⁾はモニタリングについて、「科学的に設計された方法で、環境の諸性質の測定と観測を定期的に継続して行うこと」と定義し、その効能については「環境悪化の早期発見、原因解明と対策、予測に役立つ」としている。

生物学的モニタリングについて日本生態学会は、「環境の変化を直接、物理化学的方法で観測するだけでは十分な方法とはいえない。これに生物学的サイクルが加わって三者がたがいに動きあうところに総合された生態系の単位が成立し、一つでも欠けると全体の認識は不完全なものになる」⁹⁾とその重要性を強調している。物理化学的モニタリングには空間的、時間的な限界があり、人間環境への影響の評価としてはどうしても安全基準とか環境基準といった生物影響をもとにした翻訳が必要である。もちろん、生物学的モニタリングにも鋭敏さに欠ける等の欠点はあるが、直接生物環境の状態を反映することだけは間違いない。

関東地方公害対策推進本部大気汚染部会では1974年以降現在まで、オキシダントによる植物影響を把握するため、アサガオ・サトイモ等による広域のモニタリングを実施してきている。これはアサガオ・サトイモが

- (A)オキシダント感受性が高く、その期間が長いこと。
 (B)生育適応性がよく、地域間差が少なく管理しやすい。
 (C)被害症状が明瞭で調査者による評価誤差が小さいこと等、指標植物として優れているからである。

3 アサガオ・サトイモの被害症状⁹⁾

アサガオ；オキシダント暴露直後は葉脈間に黒灰色の水浸状斑、あるいは軽い脱色斑ができ、しだいに微細な白色斑点となる。激しい被害の場合には葉脈を除く葉全体が白色化し、これが進行して大型の褐色壊死斑となる。被害は成熟葉に出やすく、上位の若い葉には出にくい。

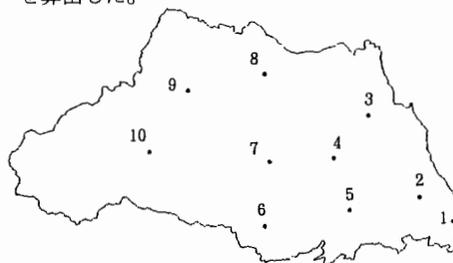
サトイモ；葉表面の葉脈に沿って葉が褐色羽毛状に

変色し、被害が激しいときには葉脈間の被害部が縞状に連結する。被害は上位から第2葉、第3葉に出やすく、若い第1葉にはほとんど発現しない。

4 調査方法

毎年6月下旬に各調査地点に5株ずつ定植したアサガオ(スカーレットオハラ)とその地点付近にすでに栽培されているサトイモ(白芽系)について、7月の1ヵ月間に葉面に発現したオキシダントによる可視被害を、原則として7月末に調査した。

調査は生育中庸な各3株を選定し、草丈を測定した後、主茎の葉位順に1枚ずつ可視被害の有無及びその被害面積(%)〔葉全体を100%とする被害部分の面積割合〕を評価した。これらの結果をもとに3株平均の現存葉数、被害葉率(%)〔被害葉数/現存葉数×100〕、被害面積率(%)〔累計被害面積(%) / 現存葉数〕、平均被害面積率(%)〔累計被害面積(%) / 被害葉数〕等⁶⁾を算出した。



- | | |
|-----------|------------|
| 1 三郷市鷹野 | 6 入間市向陽台 |
| 2 越谷市花田 | 7 鶴ヶ島町太田ヶ谷 |
| 3 久喜市六万部 | 8 熊谷市中奈良 |
| 4 上尾市浅間台 | 9 寄居町藤田 |
| 5 浦和市上大久保 | 10 秩父市中村町 |

図1 調査地点配置図

表1 オキシダント測定局一覧

測定局	設置場所	所在地
三郷	早稲田小学校	三郷市三郷
越谷	東越谷第2公園	越谷市東越谷
久喜	久喜南中学校	久喜市江面
上尾	浅間台第7公園	上尾市浅間台
浦和	公害センター	浦和市大久保
入間	入間市役所	入間市豊岡
坂戸	芦山公園	坂戸市芦山町
熊谷	熊谷市役所	熊谷市宮町
寄居	寄居小学校	寄居町寄居
秩父	秩父市役所第2庁舎	秩父市熊木町

本報告は1981年以降、1990年までの10年間の調査結果⁹⁾をもとにとりまとめたものである。

調査地点は10年の間に数地点が変わっているため、まとめにあたっては図1に示す10地点を対象とした。なお、1981年の和光と1982年の志木のデータは浦和として、1981年の所沢は入間として、川越は鶴ヶ島として扱った。

植物被害調査時のオキシダント濃度は、植物被害調査地点に近い表1の常時監視局のオキシダント濃度測定結果から、7月の調査期間中、昼間9時から18時までの積算値（以下、ドースという）と時間値の期間最高値（以下、最高値という）を用いた。

5 結果及び考察

5・1 埼玉県の被害発生状況の推移

5・1・1 被害発生率の推移

表2に県内及び関東地方の被害発生率の推移を示す。被害発生率とは、全調査地点中でオキシダント被害が観察された地点の割合である。アサガオ・サトイモとも過去10年間のうち6年間で被害発生率100%で、最低でも9調査地点中6地点の67%であった。10年間の埼玉県における被害発生率の平均はアサガオが91.5%で関東地方の86.9%（調査地点数は75～115ヶ所）を上回り、サトイモは91.4%で関東地方の90.3%とほぼ

表2 被害発生率の推移

調査対象	地域	項目	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	合計
アサガオ	埼玉県	調査地点数	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	94
		被害発生地点数	9	6	9	7	9	9	10	8	10	9	86
		被害発生率(%)	100	67	100	78	100	100	100	80	100	90	91.5
サトイモ	埼玉県	調査地点数	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	93
		被害発生地点数	7	7	7	9	9	9	9	8	10	10	85
		被害発生率(%)	78	78	78	100	100	100	100	80	100	100	91.4
アサガオ	関東地方	調査地点数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	93
		被害発生地点数	7	7	7	9	9	9	9	8	10	10	85
		被害発生率(%)	78	78	78	100	100	100	100	80	100	100	91.4
サトイモ	関東地方	調査地点数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	93
		被害発生地点数	7	7	7	9	9	9	9	8	10	10	85
		被害発生率(%)	78	78	78	100	100	100	100	80	100	100	91.4

表3 7月の気象状況等の推移

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	平均値	平年値
最高気温平均値(°C)	31.3	26.3	27.6	30.6	30.7	27.1	31.5	25.4	28.0	30.1	28.9	29.1
降水量(mm)	133.5	141.0	131.0	101.0	158.0	90.5	117.0	164.0	243.5	107.5	138.7	143.3
日照時間(hr)	151.4	100.3	113.4	130.4	174.8	95.4	174.4	62.0	96.4	135.3	123.4	130.4
0x注意報発令回数	4	1	9	6	13	5	8	1	1	9	5.7	—
6～8月の発令回数	7	11	21	25	23	14	26	8	4	14	15.6	—

備考) 気象状況は「気象年報」, オキシダント注意報は「光化学スモッグ発生状況」による。

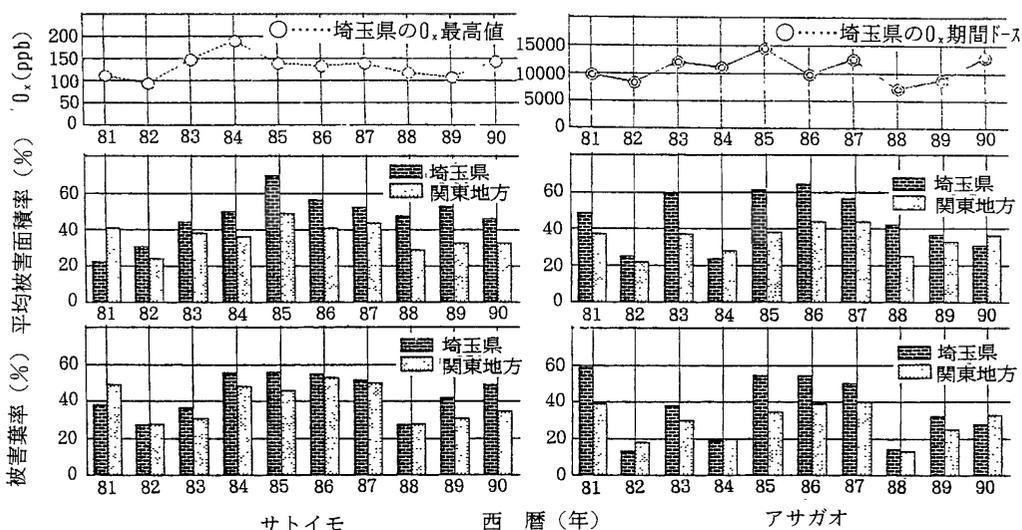


図2 埼玉県及び関東地方のアサガオ・サトイモ被害の推移（全地点平均値）

同程度であった。アサガオで埼玉県の被害発生率が関東地方の平均を下回ったのは1982年及び1984年だけであった。

ここで被害発生率の変動と7月の気象条件及びオキシダント注意報の発令回数(表3)との関係をアサガオを例に検討してみる。1982年と1988年は、最高気温の平均値がそれぞれ26.3度、25.4度と低いことが示すように冷夏で、雨も多く、オキシダント注意報も1回だけであったため、被害発生率が低かった。また、オキシダント注意報が多かった年は被害発生率が100%となっていることから明らかなように、基本的には気象条件とオキシダントの発生状況で被害の発生は解釈できる。しかし、オキシダント注意報が多かったにもかかわらず被害発生率が100%でなかった1984年及び1990年、逆に天候不順でオキシダント注意報も少なかったにもかかわらず100%の被害が発生した1989年のような年もあった。

このように気象条件等による若干の変動はあるものの、未調査の山岳部を除く埼玉県内では、毎年、ほとんどの地域で光化学オキシダントによる植物被害が発生していることが分かった。

5・1・2 被害葉率及び平均被害面積率の推移

図2に埼玉県と関東地方の被害葉率及び平均被害面積率の推移を示す。被害葉率は現在葉数のうち被害が観察される葉の割合を表す。平均被害面積率は被害葉の被害面積率の平均値で、被害発現が1回であっても激しい被害なら大きな数値となる。

アサガオの10年間の埼玉県全域における被害葉率は1株当りの現在葉数23枚に対し被害葉は8.6枚で37.4%、平均被害面積率では44.9%で、関東地方平均の被害葉率29.2%、平均被害面積率34.4%をそれぞれ大きく上回った。

また、10年間のうち被害葉率の最小値及び最大値は、埼玉ではそれぞれ13%及び59%、関東地方平均では13%及び40%、平均被害面積率では埼玉が25%及び64%、関東地方平均は22%及び44%であった。

サトイモの埼玉県の被害葉率は10年間平均で1株当りの現在葉数4.6枚中被害葉が2.0枚で43.5%、平均被害面積率では47.3%で、関東地方平均値のそれぞれ39.9%、36.8%を上回った。10年間の被害葉率の最小値及び最大値は、埼玉ではそれぞれ28%及び56%、関東地方では28%及び53%、平均被害面積率では埼玉が22%及び70%、関東地方では24%及び49%であった。

埼玉県の被害葉率、平均被害面積率のいずれかが関東地方平均値を下回ったのはアサガオが1982年、1984年、1990年の3回のみ、サトイモが1981年、1982年、1988年のやはり3回のみで、埼玉県の植物被害の著しさが示されている。この間のオキシダントドース及び最高値の推移も図示したとおりであるが、全域の平均値であるため被害の状況との関連は明瞭ではない。

5・2 埼玉県内の被害分布

加重一次補完法¹⁰⁾で作成した埼玉県内のアサガオ・サトイモの被害葉率、平均被害面積率、被害面積率を図3に、オキシダントドース及び最高値の10年間平均値の分布を図4に示す。

アサガオの被害葉率の分布は、県の南東部にある三郷を最小に、熊谷方面にむけて北西方向に徐々に高まり、西側は秩父から東及び北東方面にむけて高まって、入間、鶴ヶ島、寄居を結ぶラインが40%を超え、熊谷は県内最高値45%に達した。平均被害面積率では、被害分布のパターンは、基本的には被害葉率と変わらないものの、高被害域がやや東に拡大し、50%以上の地域が鶴ヶ島、上尾から熊谷付近に広がっている。どちらかというと幾分、県北部の被害が大きくなる傾向を示している。被害面積率の分布も同様で、上尾が最高値25.2%を示した。

一方サトイモの被害分布はアサガオとはやや異なり、被害葉率では県の北東部から鶴ヶ島、入間方面にかけて南西方向に徐々に高まり、西側はアサガオと同様秩父から東に向かって高まっていく。被害の各指標の最高値はいずれも鶴ヶ島で、被害葉率が54%、被害面積率が33%、平均被害面積率が60%で、この地域を中心にどちらかというと県南部の被害が大きき傾向を示している。アサガオ・サトイモの被害はいずれも入間、鶴ヶ島、熊谷を結ぶライン付近が大きく、秩父が相対的に小さいといえることができる。

これらの被害分布について、図4に示した調査期間中のオキシダントドース及び最高値の分布図と比較してみると注目すべき傾向が見られる。すなわち、オキシダントドースの分布図はアサガオの各指標の分布図に極めて類似しており、アサガオの被害が主としてオキシダントドースに影響されていることが示唆されている。また、オキシダント最高値の分布図はサトイモの被害分布図、特に平均被害面積率の分布に類似しており、サトイモの被害発生が主としてオキシダント最高値に影響されていることが示唆されている。

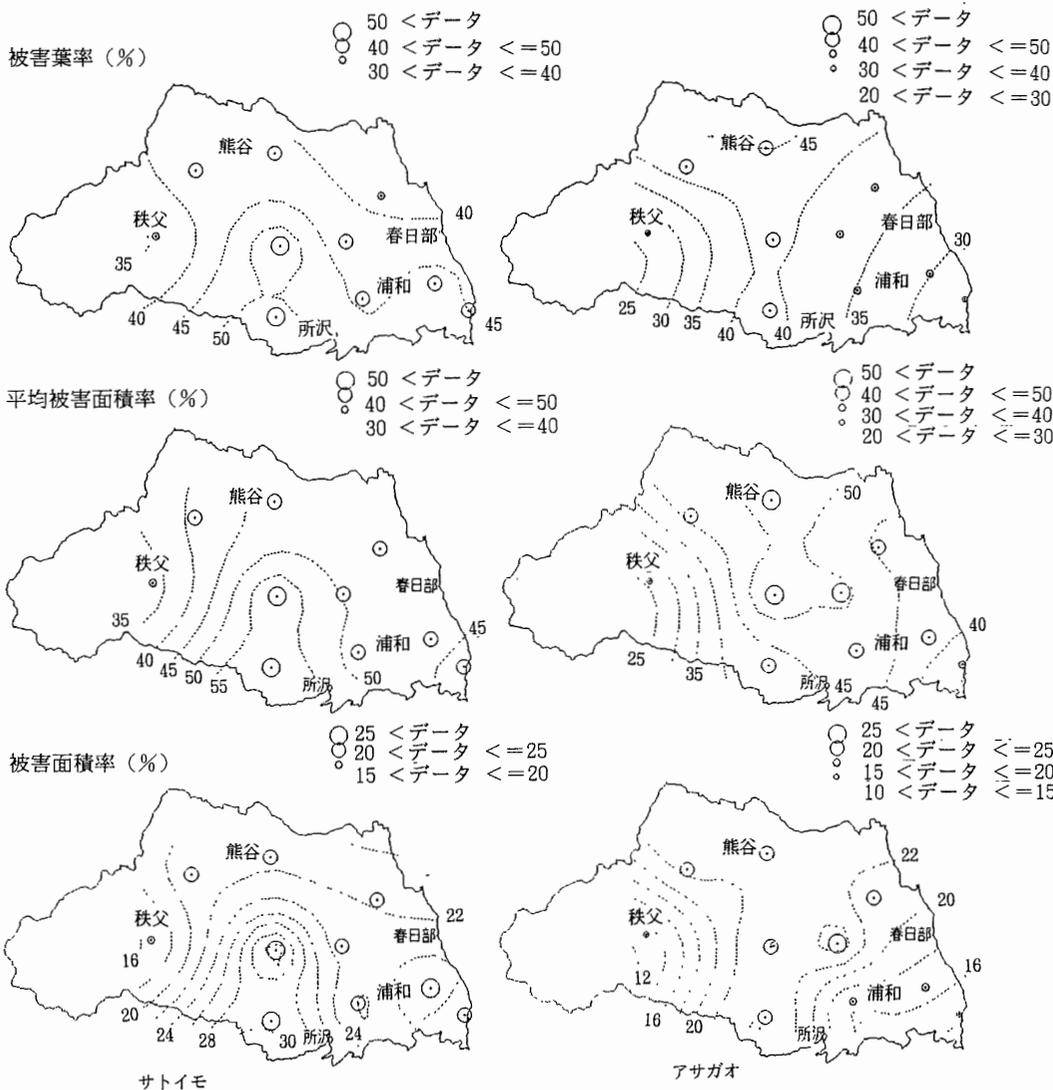


図3 アサガオ・サトイモの被害分布

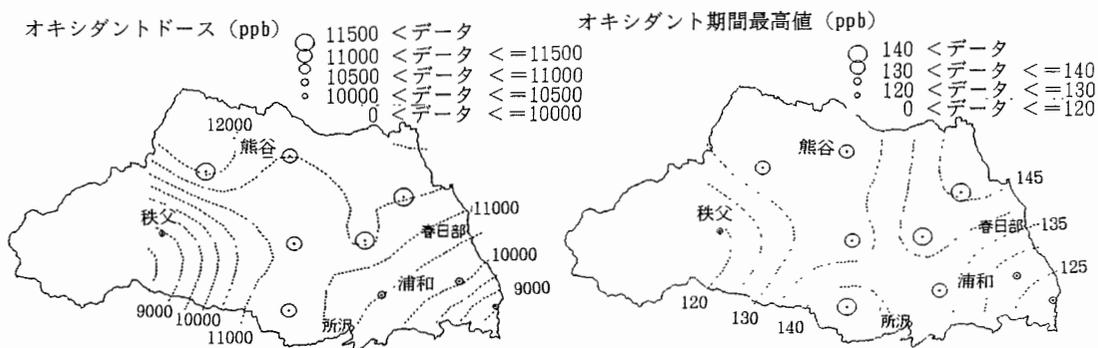


図4 7月のオキシダントドース及び最高値分布

5・3 地点別被害状況の推移

図5に各調査地点別の過去10年間の被害率及び平均被害面積率の推移を示す。アサガオで被害の無かつ

たのは、1982年の越谷、上尾、秩父、1984年及び1988年の三郷、秩父、1990年の越谷であった。サトイモでは1981年の越谷、久喜、1982年、1983年の寄居、秩父、

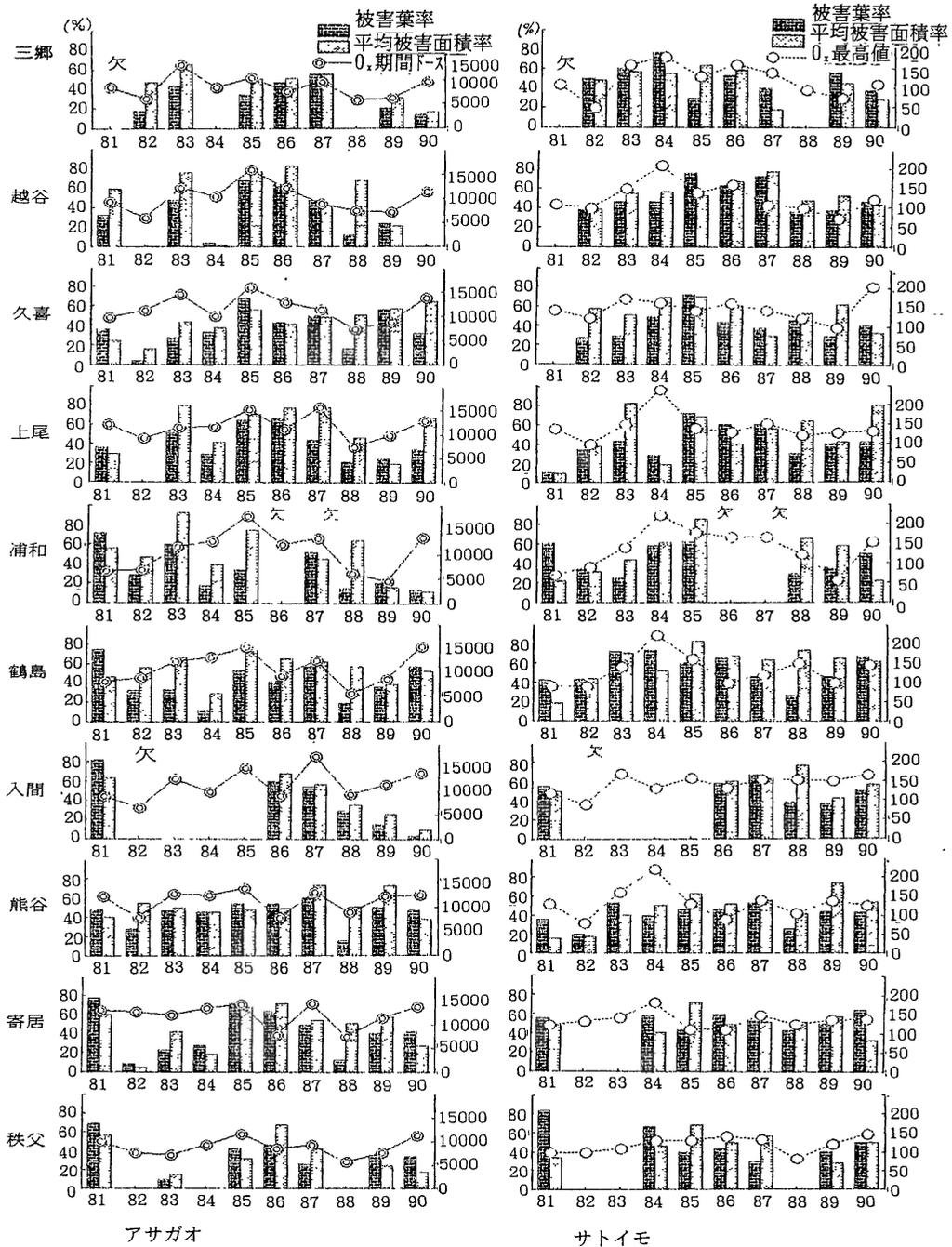


図5 地域別アサガオ・サトイモ被害の推移

1988年の三郷、秩父だけであった。

アサガオ・サトイモとも、被害の大きい年は概ねオキシダントドースやオキシダント最高値が高い傾向がみられるが、被害が小さいからといって、必ずしもオキシダント濃度が低いわけではないようである。

調査地点のうち、秩父、三郷は他地域に比べてアサガオの被害が小さい傾向にあることを前述したが、それは主として被害の発生しない年が他地域よりも比較的多いため、発生した被害そのものが際だって小さいわけではない。

5・4 オキシダント濃度と植物被害

本報告の目的は10年間という長期スケールで、平均的な埼玉県のオキシダントによる植物被害の実態を明らかにすることである。したがって、近傍常時監視局で化学的にモニタリングされたオキシダント濃度と生物影響の結果である植物被害との相関性の有無自体を問題とするものではない。しかしながら、植物がオキシダントによって被害を受けた以上、被害をなくするという立場からはオキシダント濃度と植物被害の間、どの程度の関連性があるのかを明らかにしておく必要がある。

表4 10年間のオキシダント濃度とアサガオ・サトイモ被害の関係

	被害の指標	相 関 係 数	
		最高値	ドース
アサガオ	被害葉数	0.54	0.58*
	被害葉率	0.63*	0.79**
	被害面積率	0.74**	0.85**
	平均被害面積	0.61*	0.68*
	サトイモ	被害葉数	0.33
	被害葉率	0.13	0.24
	被害面積率	0.30	0.37
	平均被害面積	0.60*	0.52

備考) **は危険率1%, *は5%で有意を表す。
最高値はオキシダント濃度の期間最高値
ドースは9時から18時までの昼間の期間積算値

表4に過去10年間のオキシダント濃度とアサガオ・サトイモ被害の相関係数を示す。調査地点別オキシダント濃度のドース及び最高値の10年間平均値、10ヵ所分とアサガオ被害との関係を見ると、各被害指標とも概ね有意な相関関係がみられ、特に被害葉率、被害面積率とオキシダントドースの間に高い相関関係がある。一方、サトイモは被害とオキシダント濃度の相関は低く、唯一、平均被害面積率とオキシダント最高値にだ

け有意な相関がみられた。これは、10年間のスケールでみれば地域によってオキシダント濃度分布に差があり、アサガオの場合は1株当りの葉数が増加過程にあって、平均20枚を超すため、オキシダント暴露回数の影響も受けやすく、平均的にはそれに応じて被害が発現していることを示すものと考えられる。サトイモは葉数が1株当たり4、5枚と少ないため、オキシダント暴露の回数による効果が反映しにくく、かろうじて被害強度を表す平均被害面積率とオキシダント最高値に有意な相関がみられたものと考えられる。

本来、植物は生育環境の影響を受けやすく、生長の良否や土壌水分条件等によっては気孔開度等が変化するため、高濃度オキシダントに暴露されても被害が発現しないことは珍しくない。こうしたことを考えれば、ここで示された相関関係は十分、オキシダントと被害のドースレスポンスを反映したものといえよう。

表5 アサガオ・サトイモ被害の有無とその時のオキシダントドース及び最高値

場 所	(単位 トース ppb・hr, 最高値 ppb)					
	被害か無い時の最高値		被害発現時の最低値		7時前・サトイモ共通	
	アサガオ	サトイモ	アサガオ	サトイモ	ドース	最高値*
三郷	8,440	180	5,873	97	6,130	50
越谷	11,374	122	9,350	110	7,631	72
久喜	—	—	9,700	140	7,307	99
上尾	9,130	100	—	—	7,451	123
浦和	—	—	—	—	4,562	57
鶴ヶ島	—	—	—	—	5,766	90
入間	—	—	—	—	8,873	120
熊谷	—	—	—	—	7,850	80
寄居	—	—	12,670	140	7,607	110
秩父	9,310	130	9,310	130	7,350	110

*印の最高値はオキシダント濃度の期間最高値
ドースは9時から18時までの昼間の期間積算値

とはいえ、この程度の相関関係では植物被害を発現させないためのオキシダント濃度を回帰式から求めたのでは誤差が大き過ぎる。そこで、ここでは表5に地点別に過去10年間の被害の有った時のオキシダント濃度の最低値と、被害が観察されなかった時のオキシダント濃度の過去10年間の最高値を示した。ここに示す被害があった時のオキシダント濃度の最低値は調査地点によってかなり異なるが、1ヵ月間の昼間10時間のドースでは浦和の4562ppb・hr、ついで鶴ヶ島の5766ppb・hr、最高は入間の8873ppb・hrであった。また、被害があった時の時間最高値の最低は三郷の50ppb、ついで浦和の57ppbであった。

すなわち、これまで埼玉県内においては、オキシダントドースが月に4562ppb・hrという低濃度の年にも被害が発現したこと、さらに時間最高値では50ppb、

あるいは57ppbといったオキシダントの環境基準60ppb以下の低濃度でも被害が発現したことを示している。逆に、10年間に限って言えば、それ以下では被害が発現しなかったということであり、これはすなわち、埼玉県からオキシダントの可視被害をなくするためにはオキシダント濃度を時間最高値で50ppb以下にすることが必要である、ということになる。もっともオキシダントの時間最高値がアサガオで180ppb、サトイモで140ppbを超えても被害が発現しなかった例もあり、生物影響の複雑さを如実に示している。

今後、こうした指標植物の生育環境と被害発現のメカニズムを解明することや、より現実的な問題である大気汚染の農作物収量に及ぼす影響等について究明していくことが求められている。もちろん、環境問題の原点である生物影響のモニタリングは、一層重視して取り組んでいく必要がある。

謝 辞

関東地方公害対策推進本部大気部会及び一都三県公害防止協議会による「光化学スモッグによる植物影響調査」を当初から長年にわたり担当されてきた、埼玉県農業試験場及び埼玉県園芸試験場の方々に謝意を表します。

文 献

- 1) Haagen-Smit: Chemistry and physiology of Los Angeles smog, Ind. Eng. Chem. **44**, 1342-1346, 1952
- 2) 東京都公害研究所：東京光化学スモッグに関する研究（第1報），313-320, 1971
- 3) 松岡義浩ら：サトイモ葉の褐変症状の発生経過とその原因究明－特に光化学オキシダントとの関係について，千葉農試研報，[16]，93-102, 1975
- 4) 埼玉県環境白書（1990年版）：埼玉県，357, 1990
- 5) 総合助成試験事業報告書：光化学スモッグによる農作物被害の解析と対策，1-309, 1983
- 6) 関東地方公害対策推進本部大気部会，一都三県公害防止協議会：光化学スモッグによる植物被害調査報告書，1981～1990
- 7) 環境白書：環境庁編集，大蔵省印刷局，1981～1990
- 8) 日本生態学会環境問題専門委員会：環境と生物指標1－陸上編－，共立出版，1975
- 9) 関東地方公害対策推進本部大気部会，一都三県公害防止協議会：植物からみた関東地方の光化学ス

モッグ被害の実態（Ⅲ），光化学スモッグによる植物被害調査報告書－5年間の解析－，1990

- 10) 塩野清治ら：パソコンで不規則に分布するデータを格子データに変換してコンターマップを作成する方法（1）－加重一次補完法－，情報地質 **10**，65-78, 1985