

# アサガオの光化学オキシダント被害に関する研究

## — I. アサガオ被害発現とオキシダント汚染 —

野内 勇 沢田 正 大橋 毅

(足立区公害課長)

大平 俊 男

### はじめに

植物は大気汚染物質によって様々の被害相を生じ、その被害相は汚染物質の種類や植物の相違によって大きく異っている。そのため、ある特定の汚染物質の存在を検知する指標生物として用いられている。オランダではフッ素化合物の検知用として、グラジオラス、フリージア、チューリップが実用化<sup>1)</sup>しており、光化学スモッグが初めて出現したアメリカでは、オキシダント中のPANの指標としてペチュニア、ピントビーン<sup>2)</sup>などが、オゾンにはタバコ<sup>3)</sup> (特に Bel-W 3 種) が有用な指標植物として用いられている。

我国の大気汚染による植物被害は、古くは銅や亜鉛などの製錬に伴って生じるイオウ酸化物が主体であった。そのため、イオウ酸化物の急性被害の観察にソバ、ゴマ<sup>4)</sup>などが、慢性的な影響および環境把握を調査するためにケヤキ、アカマツなどの葉中イオウ含有量<sup>5)</sup>を用いていた。近年著しい汚染現象を呈している光化学オキシダントの指標植物として、アサガオ、ハツカダイコン、ホウレンソウ、フダンソウ、ペチュニアなど数多くの植物<sup>6)</sup>があげられているが、特にアサガオが光化学オキシダントの指標植物として注目を集め、現在では全国的規模にまで広がっている<sup>7)</sup>。

アサガオ被害とオキシダント濃度との関係は解析されてきており、現在最もよく使われているスカーレットオハラ種では、オキシダント濃度が日最高で8pphm、あるいはオキシダント dose (濃度×時間) 50pphm・hrs (日中8~16時) でアサガオに被害を発現する程度であるとされている<sup>7)</sup>。しかし、必ずしもこれらの汚染程度で被害が発現するとは限らず、異なる場合も多い。それには、植物の側のアサガオに、すなわち、気象条件・土壌条件によってアサガオの感受性が影響されることや、各種汚染物質の相互作用などの影響が指摘されている。そこで、大気汚染監視体制の一環として、オキシダントの指標植物としてアサガオを用いるためには、これら気象要素や汚染質の検討を加える必要があること、およ

び、アサガオの被害発現のメカニズム解明に寄与するために、アサガオのオキシダント被害に関する研究を行った。

### 1. 現在までの野外調査におけるアサガオ被害と光化学オキシダントとの関係

東京都公害研究所における、これまでの野外におけるアサガオとオキシダントの調査研究の結果をふり返ってみることとする。

アサガオとオキシダントとの結びつきは、1970年7月の杉並での光化学スモッグ事件以降のことであり、同年東京都公害研究所の緊急の光化学スモッグによる植物影響調査の際に、森らが世田谷区で観察したものが最初の報告<sup>8)</sup>であると思われる。1971年沢田らの調査で、アサガオはオキシダントに非常に感受性が高く被害症状は特徴的で観察しやすく、各家庭で栽培され、分布が広範囲におよんでいること、病害虫に対する抵抗性が大きく、肥培管理が簡単、次々と新しい葉を出し生育期間が長く、しかも光化学オキシダント発生時期に適合しているなどのことから、オキシダントの指標性としてすぐれていることを提案した<sup>9)</sup>。それまでネギ、ホウレンソウなどの農作物被害から光化学スモッグ被害分布図<sup>10)</sup>を作成していたが、農作物の被害分布は作付、作期の差異などから比較が困難であり、農作物調査の欠点を補うために、1972年各家庭のアサガオを対象として被害度を全葉に対する被害葉の比率を現わしランク付けし都内全域の被害分布の子備調査<sup>11)</sup>を行った。この結果、都内全域にわたって被害がみられ、都心から70kmも離れた小河内ダムにも被害がみられた。

さらに1973年には、都農業試験場、都中学校理科教育研究会、読売新聞社とともに東京都全域を5km<sup>2</sup>メッシュに区切りアサガオの被害調査を行った<sup>12)</sup>。この調査ではアサガオのスカーレットオハラ種とパイオレット種の二つの品種の苗を配布し、同時期に播種育成した。オキシダント日 dose (9~16時) 60pphm・hrs、オキシダ

図 1 1972年9月7～21日調査規模5 km<sup>2</sup>メッシュ, 50地点, 1地点2～5カ所, 1カ所5～20本

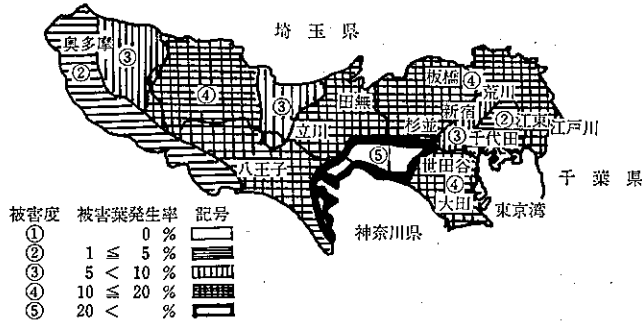


図 2 スカーレットオハラの有効被害葉率の分布<sup>12)</sup>  
1973年9月末日

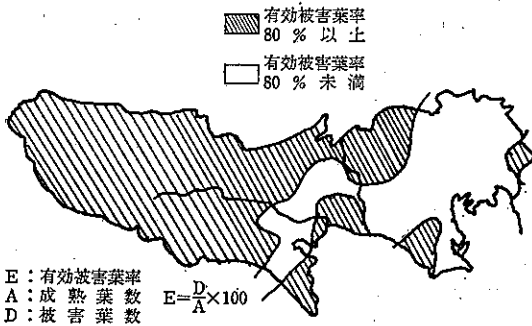
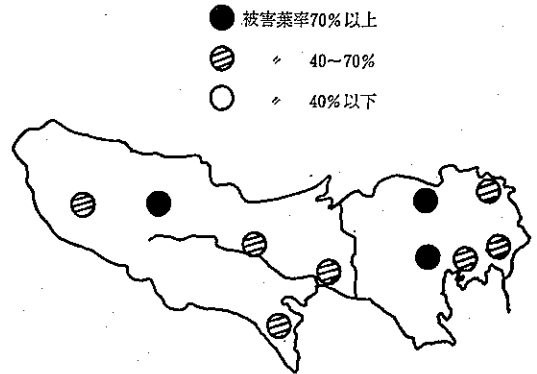


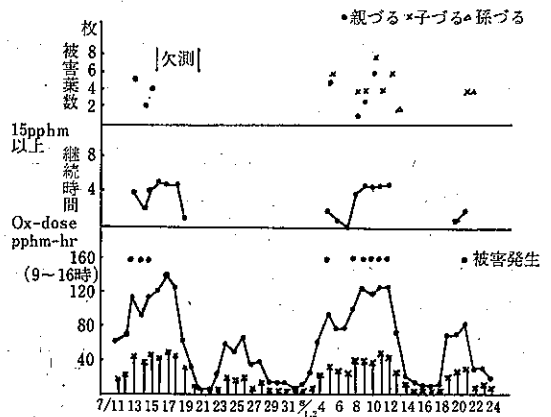
図 3 1974年アサガオ調査8月末日



ント日最高濃度15pphm 近くに達した場合に被害の発現が多く見られ、被害の激しいアサガオでは上位1/4を残してほとんどの葉が激しい被害の現われているものが多かった。また都内全域で激しい被害が生じていたが、特に一次汚染質レベルが低い西部地域の方が重度の被害を生じていた。

また、都公害研独自の調布市でのアサガオの詳細な毎日の観察から、アサガオはオキシダントの影響により葉に特徴的な被害症状を発現するが、その被害症状はオキシダントの濃度によって異っている。オキシダント濃度が比較的小さい場合はクロロシス、中程度までの場合は漂白斑、さらに高い場合はネクロシス(壊死)などのオゾンの症状が成熟葉に現われる。オキシダント被害による葉の被害程度は一般に下位葉が著しく、上位葉にいくに従って軽くなり、被害葉は頂芽から9～15枚目に現われる。漂白斑ネクロシスなどの被害症状は環境のオキシダント濃度が日最高濃度が15pphm 以上で、15pphm 以上継続して2時間以上、あるいは日 dose (9～16時)

図 4 Ox 条件と被害発生との関係<sup>13)</sup> (調布市)



80pphm・hrs 以上のいずれかに必ず被害の発現を見ている<sup>13)</sup>。

1974年にはこのアサガオ調査が全国におよび、全国都道府県・読売新聞社の共催での調査に参画し、全国での

表 1 各種ガスによるアサガオ（スカーレットオハラ種）被害

葉位 暴露ガス	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
O <sub>3</sub> 20pphm×fhrs	4	4	4	4	4	4	3	3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0								
	100	100	100	100	100	100	50	70	5	30	30	10	10													
	ネクロシスおよび漂白斑											漂白斑のみ														
PAN 20pphm×ghrs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	1	0				
																		10	100	80	5					
																		裏面に陥没した光沢化								
NO <sub>2</sub> 2.2ppm×3hrs	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	1	0	0	0											
	90	90	70	100	100	100	100	100	100	40	20	5														
	褐色ネクロシス																									
SO <sub>2</sub> 45pphm×6hrs					3	3	2																			
	0	0	0	0	50	40	40	0	0	0	0	0														
												黒灰色ネクロシス														

上段が被害指数，下段は被害面積

葉位は下から数え，葉の形となっているものを数えた。

被害解析結果で一応オキシダント日最高濃度で 8pphm，日 dose（9～16時）50pphm・hrs 程度が被害を生ずる限界値程度であろう<sup>9)</sup>とした。この場合，この濃度以上にならなければ被害は発現しないが，この濃度以上でも被害が現われるとは限らないということである。このように，ある程度アサガオ被害発現に関して理解できてきたものもあるが，まだオキシダント濃度とアサガオ被害発現に関して理解されていないこともあるため，なお研究の余地が残されている。

## 2. オゾン PAN などの暴露試験による被害相と特徴

野外において高濃度オキシダント時に，アサガオ成葉にクロロシス，漂白斑，ネクロシス，また未成熟葉の裏面の葉脈に沿った銀白斑点が見られていた<sup>9)</sup>。これら被害を生ずる物質の同定のため，オゾン，PAN，二酸化窒素（NO<sub>2</sub>），二酸化イオウ（SO<sub>2</sub>）のガスを，自然光の人工気象室，および人工照明の小型人工気象暴露チェンバーで暴露した。オゾンは高圧無声放電と紫外線ランプ，PANは亜硝酸エチルを酸素中で紫外線照射し，後にクロマト法で精製した高濃度ガスを，NO<sub>2</sub>とSO<sub>2</sub>はボンベからのガスを，希釈空気はすべて活性炭ろ過空気を用いた。これらのガスの測定には，オゾンは化学発光法のオゾン計，PANはECDガスクロ，NO<sub>2</sub>は紫

外線二次導関数スペクトル法の d<sup>2</sup> モニター，SO<sub>2</sub>は導伝率法のイオウ酸化物計を用いた。

### (1) 供試苗と被害の評価法

ふ入り種などを含めてアサガオ各種を用いたが，主にスカーレットオハラ種を用い，1/5000 a のワグネルポットに沖積層火山灰土壌 3：腐葉土 1 の混合土壌を入れ，ポットあたり B I（N10% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 10%，K<sub>2</sub>O 10%）10 g を元肥として加えた。このポットに直接播種し，生育の良い苗を 3 株だけ残し，昼間温度（6時～18時）27℃，夜間温度（18時～6時）22℃の活性炭ろ過の屋外型人工気象室内で育成し，全葉数が 15～30 枚に育成したものをを用いた。オゾン，NO<sub>2</sub>，SO<sub>2</sub>は自然光利用の人工気象室で暴露し，PANのみ人工照明の小型人工気象暴露チェンバーを用いた。被害の評価法は既法<sup>14)</sup>のものと同じで，各葉に現われた被害程度を“0：なし”から“4：著しく濃度”の 5 段階に分けた被害度指数と被害葉面積率をそれぞれ全葉について求め，全体の被害として植物体総被害指数（I）と植物体総被害葉面積率（D）で現わした。I の最大値は 4 で，D の最大値は 100 である。

### (2) オゾン暴露

自然光下の人工気象室内でのスカーレットオハラ種では最低で 15pphm 2 時間，最大で 15pphm 18 時間（6 時間×3 日）で被害が発現し，最も多かったのは，15pphm

で8~10時間であった。

被害は、初め葉上表面の葉脈間に水浸状斑が現われ、その後微細な漂白斑点となり、これらの斑点は集合して多数あるため漂白斑として観察される。この症状は時間の経過とともにやや黄白化するが、このままで長い間とどまっている。さらに、オゾンを経長時間あるいは高濃度処理により、被害が激しくなると葉脈間に大型の褐色のネクロシスや黒色のネクロシスを生じた。また、被害の大きいものでは、主脈まで含めた葉脈が黄色化するものが見られた。さらに激しいものでは葉が完全に脱水し、表面側に巻きあがるカップング症状も呈する。また、オゾン暴露後7~10日後にアントシアニン色素が生成されることもあった。オゾンにより被害を受ける葉は、被害が軽いと最下位葉位より中位葉までの漂白斑であるが、被害が激しく現われた場合は、かなり上位葉まで被害を受け、下位葉では激しいネクロシスを生じていても、上位葉ではわずかな漂白斑を生ずるように上位葉はオゾンに抵抗性を示した。

ふ入りのアサガオはふ入り部分には被害はほとんどなく、緑色部分に漂白斑が見られるが、一部には、ふ入り部分に微細な目立たないネクロシス斑点を生じたこともあった。

光および日の出後の経過時間によるアサガオ葉の感受性の変化を調べたが、夏期に、時刻別のオゾン感受性は晴天時(3万~8万ルクス)で10~16時の間で、真昼時でやや高いようであるが大きな差異はない。しかし、17時以降光エネルギー低下とともに明らかに感受性は低下した。また、夜間にオゾン(20pphm)を8時間×3日暴露したが、被害はまったく現われなかった。しかし高濃度60~70pphmを8時間暴露したところ、夜間でも漂白斑ネクロシスを生じた。

照度8,000~12,000ルクスの蛍光灯の人工気象暴露チェンバーで、20pphmのオゾンで8時間×6日間でも被害を生ぜず、30pphmの24時間連続暴露でも、ややクロシスを生じた程度で被害は出現しなかった。

しかし、この場合も、1ppm程度の高濃度では30分前後で激しい被害を生じた。このように、低濃度と著しい高濃度では被害発現のメカニズムに差異があると思われる。

また、一般にオゾンは葉上表面に被害を与えることが知られているが、下表面の気孔から、あるいは上表面の

気孔から吸収されるのかを明らかにするため、水のりを表面に塗布して完全に気孔を塞ぎ、上表面のみ、下表面のみ、上下両表面、の3種をつくりオゾンに暴露した。この結果、下表面、上下両表面を塗布したものには被害が生ぜず、上表面塗布のものでは上表面に漂白斑被害が発現したことにより、オゾンは下表面の気孔から吸収され、上表面に近い柵状組織に被害を生ずることがわかった。

### (3) PAN暴露

照度8,000~12,000ルクスの蛍光灯の人工気象暴露チェンバー内で、15pphm10時間~24時間、40pphm3時間などの暴露によって葉裏面に陥没した光沢化とブロンズ化、また陥没を伴わない金属光沢を生じた。被害葉位は頂芽より5~8葉位の4枚に限られ、その他の葉位にはどんなにPAN濃度が高くても被害は生じなかった。PAN濃度が高く、被害が激しい場合は、上表面にまで被害が及び、ネクロシス、カップングが生ずる。被害部位に関しては、被害を受けた葉のうちで最も上位の葉では先端部だけに被害が生じ、逆に被害最下位葉では葉基部のみに被害が認められた。その中間の2葉は葉全面に被害を受け、葉の成熟度とよく一致している。また、被害を受ける葉は未成熟葉であるためまだ葉拡大がおこるはずであるが、これら被害を受けた部分のみは成長が抑制され、葉の矮小化と葉の奇形化が見られる。つまり、葉の先端が被害を受けたものでは、葉の中央から基部の被害を受けていない部分は普通に成長するが、被害を受けた部分は成長しないため、葉が下ぶくれの奇形となった。なお、野外で始めPAN被害ではないかと思われていた葉裏面の葉脈に沿った銀白色斑点は、このPAN暴露実験によって、PAN被害ではないことが判明した。また現在までの観察によると、アサガオには野外ではPAN被害は見られていない。今後PAN濃度が高くなってPAN被害が現われるか興味を持たれるところである。

### (4) 二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)暴露

2.0~2.5ppm3時間で成熟葉の葉脈間に大型の黄褐色のネクロシス斑を生じた。1.0ppm、4~8万ルクスの晴天下では18時間(6時間×3日間)で被害がまったく現われなかったが、雨天の明るくない(4,000~6,000ルクス)日では6時間でわずかにネクロシスの被害を生じた。NO<sub>2</sub>被害発現には、弱光下暴露の方が影響が大きいことが見られた。NO<sub>2</sub>濃度が高くなると被害葉位は相当に



表 3 アサガオ被害面積と大気汚染総合測定データ

(1975年7月および8月 調布大気汚染総合測定室)

月日	7 月															
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
被害面積%	63.3	0	0	0	16.7	6.67	0	60.0	5.0	0	0	0	0	0	0	0
Ox pphm·hr	150	61	59	60	68	73	32	89	83	61	69	47	22	27	32	31
SO <sub>2</sub> "	5	1	0	10	13	10	6	6	12	3	0	—	—	0	0	0
NO <sub>2</sub> "	22	9	10	15	19	17	12	19	25	11	10	10	3	0	3	3
風速 m/sec	2.39	3.04	1.61	1.89	2.24	1.91	1.50	1.63	1.71	2.55	2.74	2.90	4.41	4.55	3.63	4.44
温度 °C	27.5	26.7	28.1	31.4	27.6	26.5	26.2	26.6	28.0	28.0	28.9	29.5	29.1	29.5	30.0	30.5
絶対湿度 mg/m <sup>3</sup>	17.3	18.4	19.2	15.0	15.7	18.2	17.4	17.7	17.8	18.3	16.7	17.0	19.6	20.0	17.9	17.8
Ox 8pphm以上 dose	141	44	32	10	37	50	32	60	63	29	37	0	0	0	0	0
相対湿度 %	65.8	75.4	70.5	46.6	59.0	72.6	72.4	70.5	65.8	67.7	59.2	58.1	66.9	68.1	60.1	57.0

月日	8 月												平均値	標準偏差
	3	4	5	15	16	17	18	19	20	27	28			
被害面積%	23.3	0	0	0	0	0	0	0	0	87.0	46.7	11.432	23.349	
Ox pphm·hr	78	42	45	79	13	8	17	17	26	120	141	58.370	36.111	
SO <sub>2</sub> "	0	0	0	11	5	0	0	0	0	11	19	4.480	5.464	
NO <sub>2</sub> "	9	7	9	15	10	0	3	6	5	29	26	11.370	7.818	
風速 m/sec	2.50	3.63	3.14	1.61	2.75	3.72	4.25	3.72	5.16	1.83	1.80	2.861	1.062	
温度 °C	30.4	30.3	30.7	29.1	28.2	27.3	28.5	28.0	29.8	26.8	27.7	28.552	1.424	
絶対湿度 mg/m <sup>3</sup>	18.7	17.3	18.7	18.4	19.7	20.4	18.8	20.1	20.5	14.0	15.7	18.011	1.601	
Ox 8pphm以上 dose	56	0	0	54	0	0	0	0	0	108	132	35.400	40.706	
相対湿度 %	61.0	56.5	59.8	63.1	72.3	78.1	67.3	74.0	68.7	55.2	59.2	64.848	7.251	

風速、温度、絶対湿度、相対湿度は8~17時までの平均値、Ox、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>は8~17時までの累積値

進むものもあった。しかし、オキシダント高濃度連続出現などもあったため、ネクロス出現はいつの日のオキシダントによるものか判別がつかなくなった。そのため、前日の大気汚染の被害を調べることを目的とし、後日のネクロス発現は無視し、被害の評価は被害を受けた部分の目測による面積率で現わした。各葉に現われた被害面積を総計し、後に述べる感受性葉で除した値をその時の被害面積率とした。

(3) 解析データ

大気汚染総合測定室の汚染質 (Ox, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>)、気象要素 (温湿度, 風速) の1時間毎のデータを用いた。オキシダントは中性ヨー化カリ比色法、イオウ酸化物は導電率法、二酸化窒素はザルツマン法、温度・湿度は白金抵抗温湿度計、風速はプロペラ式微風向風速計によった。測定結果はいずれもテレメータ方式により東京都公害局大気汚染監視コントロールセンターに伝送記録され

たものである。なお、湿度は相対湿度で表わされているが、絶対湿度になおしたものも用いた。汚染質・気象要素のデータのうち8時~17時までの日中のデータを用い、風速・温度・湿度は10時間の平均値を、汚染質は10時間の総 dose を用いた。対応するアサガオ被害の観察値は翌日調査のデータである。

4. 結 果

7~8月2カ月間のうち、観察例は30回であり、このうち被害発現日確認は8回であった。2株とも同時に被害が現われないこともあるが、被害評価結果は2株のうち被害の大きく現われた方を用いた。アサガオ被害発現調査結果を表2に、また、大気汚染総合測定室観測データを表3に示した。なお、アサガオ葉数および葉位は、葉の形として認められ開いたもののみを数え、葉位は子葉の次に展開した葉を第一葉とし、順次上へ数えた。

### (1) 感受性葉

アサガオ被害は、下位葉が激しい被害を受けているにもかかわらず何枚かの上位葉はまったく被害を受けない。葉数の少ない場合、7葉中5葉の被害の認められることや、葉数の多くなった37葉では32葉まで被害を受けることが認められるように、かなり上位葉まで被害を受ける。これら全葉数と被害を受けない上位葉数との関係は、全葉数が19枚以下のときは1/4を乗じ、小数点以下を切り上げた葉数、また全葉数20枚以上では、5枚が被害をまったく受けない葉数であるとする矛盾なく説明することができる。これは過去の調査結果の見直しからも妥当な値であると思われる。一方、下位葉は順次被害を受けているが、一度激しい被害を受けた葉はそれ以上にはなかなか被害を受けない。しかし、軽い被害を受けた葉は、再び被害を受ける場合もある。そのため、一度被害を受けた葉はすべて感受性葉から除外するが、再び被害を受けた場合には感受性葉と見なし、今回の被害面積は新たな面積と前回分をも加えた面積とした。これは、前に被害を受けていた部分は感受性が特に高かった部分であり、前回被害を受けていなければ今回必ずその部分も被害を受けることは容易に推定されるからであった。このように、ある上位葉と被害をすでに受けた下位葉は感受性のない葉とし、再び被害を受けた葉があった場合のみ、後にその葉数を感受性葉数に組み入れた。

### (2) 展開後日数と被害発現

完全な葉の形として認められてから、何日後に初めて被害を受けるのかは、7月24日、8月27日のオキシダント高濃度汚染日の例から検討した。

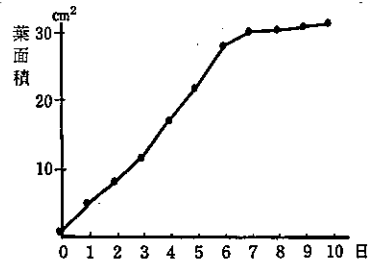
7月24日被害の7月18日展開の9葉位で7日、8月21日展開の32葉位も7日であった。このように、ほぼ7日で被害を受けるだけの葉の形態的構造と機能を有するようになると思われる。

なお、アサガオの展開直後の葉面積の拡大を測定した結果を図5に示した。ほぼ7日で葉面積の拡大が終わり、以後の拡大はほとんどない。この結果からも、葉の完全な成長は展開後約7日であることが知られ、葉の葉展開終了後に初めて被害を受けることがわかった。

### (3) 葉位別感受性

アサガオ被害調査結果は、すべて最下位葉から被害を受けて、順次上位葉へと被害が展開する。まったく正常な全葉20~25枚程度のアサガオをオゾン暴露すると、最

図5 展開後日数と葉面積拡大



下位葉から中位葉まで被害が激しく、上位葉は著しく感受性が低下することが明らかにされている。また、野外でオキシダント高濃度汚染が連続して生じていないと、正常葉が多数存在するようになる。そこに高濃度オキシダントが出現すると、多数の葉に被害が現われる。被害最上位葉は被害が軽微であり、次葉位も軽く、それ以下は非常に激しい被害であるというパターンが一般的である。前項の葉展開後日数と被害発現との関連から、感受性は低いながら初めて感受性を有するのは展開後7~8日であるが、その後感受性が著しく増大するには3~4日であり、その後ずっと長いこと感受性を保っていることが示された。オゾン暴露試験に用いるアサガオの最下位葉は展開後30~40日程度であったことより、少なくとも展開後40日程度は感受性の状態を保っていると思われる。

### (4) 被害発現と環境要素

被害面積および各要素間の単相関マトリックスを表4に示した。被害面積と相関が認められたのは、オキシダントと二酸化窒素であり、他の因子との相関はほとんどなかった。汚染質・気象要素間ではオキシダントは二酸化窒素と正の相関があり、風速とは負の相関を示した。これはオキシダント生成の原料物質の二酸化窒素とオキシダントとは関連が深く、風が強ければオキシダント濃度は高くなることを表わしている。絶対湿度を用いた時の気象要素間では相関のあるものはなかった。なお、汚染質のSO<sub>2</sub>とNO<sub>2</sub>の濃度は、被害発現にはまったく問題にならない程度に低濃度であると思われた。

これらのデータを用いて、被害面積とオキシダントdose、オキシダント8pphm以上のデータのみを加算したオキシダント8pphm以上doseの一次回帰式、環境要因を種々組み合わせた重回帰式を作成した。重回帰式では、三成分(被害面積・Ox・温度、被害面積・Ox・相

表 4 単相関マトリックス

	被害面積	Ox	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	風 速	温 度	絶対湿度	相対湿度
被害面積		0.7774	0.4514	0.7143	-0.4090	-0.4067	0.0121	-0.1826
Ox			0.6519	0.8718	-0.6876	-0.3477	-0.6576	-0.3150
SO <sub>2</sub>				0.8450	-0.6819	-0.3509	-0.6668	-0.2800
NO <sub>2</sub>					-0.7886	-0.4364	-0.7098	-0.2733
風 速						0.4348	0.5657	0.1181
温 度							0.0738	-0.6240
絶対湿度								0.7219
相対湿度								

対湿度), 四成分 (被害面積・Ox・SO<sub>2</sub>・NO<sub>2</sub>), 五成分 (被害面積・Ox・SO<sub>2</sub>・NO<sub>2</sub>・相対湿度) の重回帰式を作成した。なお絶対湿度と風速が入ると組み合わせが悪くなった。これらの結果を表5に表わし, 計算値と観測値を比較した。被害面積とオキシダント dose の一次回帰式のみでも良い相関であったが, オキシダント 8pphm 以上の dose の方がよりよい相関を示した。オキシダント dose を用いた重回帰式では, オキシダント dose の一次回帰式より若干良い結果が得られたが, 正確な近似式を望むことはできなかった。このことは, 被害発現にオキシダント以外の SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, 風速, 温度, 湿度が大きな影響を与えず, 単にオキシダント濃度だけに寄因していることを如実に表わしている。オキシダントと二酸化窒素間の相関と被害発現と二酸化窒素間の相関が共に良いため, オキシダントと二酸化窒素の両者が含まれた場合のみ, オキシダントの被害発現に関する偏相関係数 (2要素のみの変量から相関係数を求める。この場合他の要素は変化しない) は低下するが, その他の場合, オキシダントの偏相関係数は99%有意であり, 他の因子は被害発現との偏相関係数はまったく相関のない値であった。これらの結果, 被害発現はオキシダント単独の一次回帰式で多くの場合説明することができ, さらに 8pphm 以上を取り出せば, さらに良い回帰式となり, アサガオ

被害量からオキシダント濃度の推定ができる。オキシダント以外の他の環境因子を加えても, 計算が複雑になるだけであまり多くの成果を期待することはできなかった。なお, 重回帰式では, 汚染質の二酸化イオウは被害発現にはマイナスに, 二酸化窒素はプラスに作用し, 気象要素の温度はマイナスに, 相対湿度はプラスに作用することを示した。

## 5. 考 察

アサガオ被害発現には, 高濃度オキシダント, 感受性葉の存在, 委凋するほど土壌が乾いていないこと, 日影にならないことの四つの条件が必要であると思われる。なお, 感受性葉であっても, 被害を受ける最上位葉および次上位葉は一般の感受性に比較し, 2~3倍程度の抵抗性を持つことが表2から読み取れる。これはオキシダント高濃度日に被害発現のなかった日の解釈に適用できる。すなわち, 観察のうち7月では17, 19, 21, 24日, 8月では15日の5例がある。17日は8pphmが4時間継続, 19日は10, 11pphm, 21日は8pphmが4時間継続, 24日は10pphmが2時間, 8月15日は最高14pphmで10pphm以上を3時間継続していた。被害の生じていない株では感受性葉はすべて2葉以下であった。この2葉は感受性が低く, 一般感受葉の1/2~1/3程度であるため,



表 5 アサガオ被害面積観察値と近似式値

	7/15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
観 察 値	63.3	0	0	0	16.7	6.7	0	60.0	5.0	0	0	0	0	0	0	0
1	57.5	12.8	11.8	12.3	16.3	18.8	11.3	44.8	23.8	48.6	16.8	5.7	0	0	0	0
2	56.0	14.6	9.5	0	11.6	17.2	9.5	21.4	22.7	8.2	11.6	0	0	0	0	0
3 Ox, Temp	57.0	17.4	12.9	5.0	18.4	23.5	5.1	30.8	24.4	14.1	15.6	3.7	0	0	0	0
4 Ox, Hum	59.1	15.2	13.1	8.2	15.0	20.8	0	28.6	24.4	13.5	15.7	4.1	0	0	0	0
5 Ox, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>	60.0	14.1	16.8	9.7	14.6	17.6	10.0	32.9	31.8	14.4	20.1	0	0	0	0	0
6 Ox, SO <sub>2</sub> , NO, Hum	60.3	15.0	17.0	7.3	13.7	18.3	2.0	33.3	31.6	14.4	19.1	11.5	0	0	0	0
7 8pphm以上 Ox, Hum	60.0	9.7	6.8	9.5	15.3	14.0	5.8	19.8	23.8	6.9	15.3	0	0	0	0	0

	8/3	4	5	15	16	17	18	19	20	27	28	相 関 係 数
観 察 値	23.3	0	0	0	0	0	0	0	0	87.0	46.7	—
1	21.3	3.2	4.7	21.8	0	0	0	0	0	42.5	53.0	0.77
2	19.7	0	0	18.9	0	0	0	0	0	41.9	52.2	0.82
3 Ox, Temp	16.0	0	0	19.7	0	0	0	0	0	44.8	52.3	0.84
4 Ox, Hum	20.8	1.1	3.4	21.7	0	0	0	0	0	41.2	52.9	0.82
5 Ox, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub>	21.3	0	0	14.0	0	0	0	0	0	52.7	41.3	0.86
6 Ox, SO <sub>2</sub> , NO, Hum	20.6	4.4	9.2	14.2	0	0	0	0	0	51.4	41.2	0.86
7 8pphm以上 Ox Hum	23.1	0	0	21.0	0	0	0	0	0	50.4	59.4	0.84

y:被害面積, x<sub>1</sub>: Ox, x<sub>2</sub>: SO<sub>2</sub>, x<sub>3</sub>: NO<sub>2</sub>, x<sub>4</sub>: 温度, x<sub>5</sub>: 相対湿度, x<sub>10</sub>: Ox 8pphm 以上

1.  $y = 0.50x_1 - 17.91$  (Ox dose)
2.  $y = 0.43x_{10} - 4.19$  (Ox 8pphm 以上 dose)
3.  $y = 0.47x_1 - 2.54x_4 + 56.8$  (Ox, 温度)
4.  $y = 0.52x_1 + 0.22x_5 - 33.2$  (Ox, 相対湿度)
5.  $y = 3.0x_1 + 4.9x_2 - 5.4x_3 + 61.7$  (Ox, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>)
6.  $y = 0.34x_1 - 1.6x_2 + 1.7x_3 + 0.12x_5 - 28.8$  (Ox, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, 相対湿度)
7.  $y = 0.47x_{10} - 0.54x_5 + 30.0$  (Ox 8pphm 以上, 相対湿度)

この程度のおキシダント濃度では被害発現がなかったと思われる。また逆に、被害発現のあった日の感受性葉は3葉以上が多く、感受性葉が2葉以下の日に被害発現のあった月のおキシダント濃度は7月23日10pphm 以上5時間、8月28日20pphm に達している。このように、被害発現に感受性葉の存在と感受性葉の強弱も考慮すれば、被害とおキシダント濃度との関連はさらに強固なものとなる。

なお、ここでは葉数を完全展開葉から数えたが、他の報告<sup>15)16)</sup>では頂芽より数えた例があり、被害最上位葉は頂芽より10~11枚目と報告されている。頂芽より完全展開葉までの葉数は3~4枚であり、本報告では頂芽より9~10枚目の位置になる。

おキシダント濃度と被害発現に関しては、服田らがOx 8pphm 以上のドーズと被害指数とよい相関があることを報告しているが、今回の調査結果はそれを裏づけ

た。本調査では、環境要因として  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  の汚染質と気象要素をも考慮に入れた重回帰式を作成したが、非常によく近似式は作成できなかった。オキシダント以外に被害にはあまり関与していないものと思われる。なお、 $\text{SO}_2$  および  $\text{NO}_2$  のバックグラウンドの影響は、調布での汚染質濃度があまりにも低いため明確にはならなかった。これらの影響を調べるためには、一次汚染質の高い地域で調査する必要があると思われる。

調布での過去 2 回の調査結果では、アサガオ被害はオキシダント濃度が 15pphm 以上を越える著しい高濃度の時に発現し、7～8 pphm 程度の汚染では被害の発現はほとんどなかった。一方、全国のアサガオ調査結果では、オキシダント濃度が 8 pphm 程度で被害が生じている。このことは、東京などオキシダント高濃度汚染の頻発する地域では、感受性葉がまったくないか、感受性葉でも抵抗性の高い葉しか残っていないため、15pphm 以上の著しい高濃度にならないと被害が生じない。一方、高濃度オキシダント出現の少ない地域では、感受性葉が数多くあるため、8 pphm 程度の汚染で被害が生じるものと思われる。このようにアサガオ（スカーレットオハラ種）は本質的にはオキシダント 8 pphm 程度で被害発現があるものと思われた。

#### ま と め

1975年調布大気汚染総合測定室近辺でアサガオ（スカーレットオハラ種）を育成し、アサガオ被害発現に関する環境要因の影響を調査し、次の結果を得た。

1) アサガオの感受性葉を次のように定義した。すなわち、葉数は完全展開葉から数え、全葉数が 19 葉以下の場合 1/4 を乗じ、20 葉以上では一律 5 葉を除いた葉数と一度被害を受けた下位葉の葉数を除いた葉をいう。また、下位葉で再び被害を受けた葉は被害を受けた後に感受性葉に合算する。

2) 感受性葉になったばかりの上位 6 葉、7 葉位は、一般感受性葉に比べ 2～3 倍程度の抵抗性を有する。

3) 感受性葉が 2 枚以下では、非常に高いオキシダント濃度にならないければ被害発現はない。そのため、東京などの高濃度オキシダント汚染の頻発する地域では、15 pphm 以上の著しく高いオキシダントが出現しないと被害の発現はないと思われる。

4) 上記のような制限因子もあるが、オキシダント

dose と被害量は相関があり、8 pphm 以上の dose と被害量の回帰式はさらによく相関が得られた

5)  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{Ox}$  の汚染質および温度、湿度、風速の気象要素をも含めた重回帰式を多数作成したが、 $\text{Ox}$  8 pphm 以上の dose と被害量との次回帰式よりも著しくよい近似式を得ることはできなかった。

6) オキシダント以外の環境要因は、被害発現には、あまり影響がないものと思われた。

#### 参 考 文 献

- 1) 松中昭一：指標生物 p96-98 講談社、1975
- 2) Taylor, O.C., E.R. Stephens, E.F. Darley, and E.A. Cardiff: Effects of airborne oxidants on leaves of Pinto bean and petunia, Amer. Soc. Hort. Sci. Proc., 75, 435-444 (1960)
- 3) Heggstad, H.E., and H.A. Menser: Leaf spot sensitive tobacco strain Bel-W3, a biological indicator of the air pollutant ozone, phytopathology, 52, 735 (1962) (Abstr)
- 4) 峠田 宏：環境汚染と指標植物, p23 共立出版, 1974
- 5) 大気汚染防止に関する総合研究報告書, 科学技術庁研究調整局, 1969
- 6) 飯島 勉, 本橋精一：数種農作物のオキシダント指標性, 東京スモッグ生成秩序・植物被害に関する調査研究報告, 695-702, 東京都公害研究所 (1974)
- 7) アサガオによる光化学スモッグ 観察全国調査報告, 全国都道府県, 読売新聞社 (1975)
- 8) 大平俊男, 沢田 正, 森 賀生, 古明地哲人, 野内 勇：東京スモッグの植物影響調査, 東京光化学スモッグに関する調査研究 (第一報) 288-299, 東京都公害研究所 (1971)
- 9) 沢田 正, 古明地哲人, 野内 勇, 小口邦子, 大平俊男：光化学スモッグの影響と思われる植物の被害状況について (第 2 報), 大気汚染研究, 7, 232 (1972)
- 10) 沢田 正, 古明地哲人, 野内 勇：農作物の被害出現状況, 東京スモッグ生成秩序, 植物被害に関する調査研究部会中間報告 (第二報), 409-426, 東京都公害研究所 (1972)

- 11) 沢田 正, 大平俊男: 東京都における大気汚染による植物被害の現状, 植物防疫, 27, 25-28 (1973)
- 12) アサガオによる光化学スモッグ影響調査に関する研究報告の概要, 東京都公害研究所 (1974)
- 13) 沢田 正, 大橋毅, 野内 勇, 大平俊男: アサガオのオキシダント指標性について, 東京スモッグ生成機序・植物被害に関する調査研究報告 (第3報) 640-649, 東京都公害研究所 (1974)
- 14) 野内 勇, 大平俊男, 沢田 正, 小口邦子, 古明地哲人: オゾンによる植物被害症状, 大気汚染研究, 8, 113-119 (1973)
- 15) 服田春子, 寺門和也: オキシダントによるアサガオの被害とその指標性について, 第1報アサガオのオキシダント被害の特徴および被害指数とオキシダント累積値の関係, 大気汚染研究, 9, 722-728 (1975)
- 16) 中村 拓, 松中昭一: 大気汚染にたいする指標植物の利用 (1)光化学はオキシダントにたいするアサガオの感受性とその変動要因. 日作紀, 43, 517-522 (1974)