アサガオ（スカーレットオハラ）を指標とするオキシダントの観察[1)]

矢　部　　晨[2)]

Ⅰはじめに

現在の都市部における大気は，大工場などの固定発生源に加えて，高速道を含む自動車道の発達にともなう移動発生源の増加など，広範な地域にわたる不特定多数の発生源から排出される少なくとも2種類以上の汚染物質によって汚染されている。したがって生物に与える被害の状況や機構を，計器や装置を用いて汚染物質の種類やそれぞれの濃度を単一物質として測定し，その結果だけをもとにして解析することは困難である。

多くの植物は，複雑で多様な大気汚染の状況を，汚染物質そのものの濃度として数量的にとらえることこそしないが，単一汚染はもとより複合汚染・相乗作用を総合的に，しかも低濃度でとらえてわれわれに汚染の質や程度などを可視症状として示してくれる。また，被害をうけた植物の形態や生理状態の変化をしらべることによって，汚染物質による生物被害の機構の一部を明らかにすることができる。

1970年夏，オキシダント（以下，Oxと略称する）による植物の被害が東京地域で見出された以後，特定または数種類の大気汚染物質に対して感受性の高い植物が指標植物として選ばれて利用されている。沢田らは，アサガオ（スカーレットオハラ）がOxに対して鋭敏であって，葉の被害発生のいき値が0.076ppmで8時間という低濃度であり，栽培が容易でOx発生期と同じ時期に成長し，多くの新葉を形成する。しかも葉の被害症状は識別・判定しやすいという指標植物として好適な性質をもつことを指摘した（服部および寺門，1975a, b. Nouchi & Aoki, 1979）。1972年以来，関東地区を中心に試験研究機関，地方自治体，学校・生徒および地域住民によるアサガオを指標植物としたOxの調査や研究がおこなわれてきた。

大阪府下各地域の大気汚染物質の濃度は，革新府政時代の公害対策の進展を反映して減少する傾向をたどってきたが，大気汚染による人体および植物の被害発生は未だに後を断たない。

環境庁のNO_2環境基準の緩和（78年7月），とりわけ大阪府では新知事の公害行政の「見直し」発言およびその後の関西新空港建設に関連した国，地方自治体および財界の活発な動きに対して地域住民の目はきびしい。

大阪府下におけるアサガオ（スカーレットオハラ）を指標植物としたOx観測は，地域住民が身近かな大気汚染の状況を自ら観察し，得られた資料を総合的，科学的に解析，認識すると共に，これをもとにして国や自治体の環境行政を改善させる運動として大阪から公害をなくす会を中心としてはじめられた。この運動は76年以来今日まで，4年間多数の住民の参加，協力をえて進められてきた。

今回は，79年度結果は除き（記録を回収，整理中），過去3年間の観測結果の大要と，Oxによる植物被害の機構を解析するための手がかりとしておこなった被害葉の生理学的および形態学的知見について報告する。

Ⅱ観測および観察方法

1．観測期間

各年度ごとに観測開始日は異ったが，期間はいずれもOxによる汚染が顕著な6月中旬より8月にわたって8週間おこない，毎日曜日を観測日とした（計8回）。なお，観測は午前中におこなうことを原則とした。

2．植物の育成と管理

種子を観測開始日の6週間前に，2～3割の腐葉土を混ぜた通常の土壌に下種し，直径20cmの素焼鉢で栽培した。植物は，各観測地点（観測者居住地）の日照，通風ともに良好な場所を選んで配置した。葉数の増加にともなう被害葉の位置および葉数の計数を容易にするために，全期間にわたって側芽をすべて除去し主茎のみの一本仕立てとした。なおアカダニなどによる虫害の被害症状がOx被害症状として誤認されることをさけるために，播種時に適量のダイジストンを土壌中に混入した。

1）関西自然保護機構業績第15号

2）大阪府科学教育センター・生物教室

3．観測

(1) **全葉数**：各観測日に1週間の新生葉（未開裂のものは除く）を計数し，前週の観測日に計数した葉数に加算した。なお，計数の誤りを防ぐために，各観測日に計数した最上位の葉の葉柄にビニールテープなどで標識をつけた。

(2) **被害葉の判定および計数**：観測に先立って説明会を開催し，観測者に葉の可視被害症状を示すカラー写真を配布すると共に，症状の特徴について充分な説明をおこなった。写真1は典型的なOxによる被害葉の可視症状を示す。軽度の被害または汚染後短時間の症状は，漂白斑が葉脈間に点在するが，重度の被害または汚染後かなりの時間を経過したものは，漂白斑が葉脈間に拡大しその間に死斑を形成する。被害葉の判定は，各観測日に発見された最低の症状（漂白斑の点在）を最低基準とした。

アサガオの葉のOx感受性は，代謝活性が最大に達した葉より下位の葉（葉面積の増加が最大に達した葉：成熟葉）で高まる（服部および門田，1975)。また軽度の汚染があった場合は症状の発現が汚染された時期より約1週間遅れることがある。したがって，各株の被害葉の観察範囲と計数は，前週に観察した葉（前週に被害葉としたものは除く）も再び観察し，その中に新たに被害症状を示したものは観測日（当週）の新被害葉として加算した。

(3) **新被害葉率発生率**：各観測日に観察された被害葉数（前週は正常であったものも含む）を計数し，全葉数すなわち2週間分の観察全葉数）に対するパーセントで表わした。

(4) **被害率**：各年度毎の観測期間中に計数した被害葉数の合計を，期間中に計数した全葉数（正常葉+被害葉）に対するパーセントであらわした。



写真1　オキシダントによる成熟葉の可視被害症状．葉脈間に漂白斑がひろがり，ネクロシス部分（矢印）も見られる．

4．被害葉の形態学的観察および生理学的測定

(1) **試料**：　可視被害症状の程度を便宜上3段階に区分（正常葉：0，葉脈間に漂白斑が点在するもの：1，葉脈間に漂白斑が拡大し，死斑をともなうもの：2）し，それぞれの被害部分を鋭利な安全カミソリ刃で切り離し，その後の処理および調整をおこなった。

1）　**電子顕微鏡観察のための試料**：生試料を3％グルタールアルデヒド（pH7.2）で2時間前固定をおこない，緩衝液（pH7.2）で洗浄をくり返したのち，2％オスミウム酸で一夜後固定をおこなった。試料はその後観察の手法のちがいによってつぎのような処理をおこなった。

①　**走査型電子顕微鏡**：アセトン濃度シリーズで脱水後，酢酸イソアミルで置換，臨界点乾燥処理をした試料表面にイオンスパッタで金のコーティングをおこなった。

②　**透過型電子顕微鏡**：アルコール濃度シリーズで脱水後，プロピレンオキサイドで置換，Epon樹脂に包埋し，ガラナイフおよびウルトラミクロトームを用いて超薄切片を作成した。

2）　**光学顕微鏡観察のための試料**：生成料から通常の方法によって薄片を作成した。

3）　**生理的特性の測定**：クロロフィル（以下，chlと略称する）含量は生試料に80%アセトンを加え，抽出液を分光光度計を用いてchl aおよびbの濃度を測定し，葉の乾燥重量g当りのmg数として表現した。chlの抽出性は，60%アセトンで抽出した全chl濃度を測定し，80%アセトンで抽出した濃度に対する比数パーセントで表わした。chl抽出性とはchl分子と葉緑体を構成するタンパク分子の結合の安定さを示すものである（Strogonov，1964)。すなわち，80%アセトンではすべてのchl分子が抽出されるが，60%アセトンでは葉緑体タンパクと強く結合する分子は抽出されず，弱く結合した，不安定な分子のみが抽出される。すなわち，60%アセトンに抽出されたchl濃度が高いほど（比数が大であるほど）被害部分のchl分子は不安定な状態におかれていることを示す。光化学活性の測定は，被害部分細胞からショ糖を用いた磨砕・遠心分離によって葉緑体を分離し，2, 6-dichlorophenol indophenol（DPIP）を加えて光照射条件におけるDPIPの還元量を分光光度計で測定した。活性はDPIPの還元量からchl mg当りのO_2発生量μlを求め$Q_{o_2}^{chl}$であらわした。

Ⅲ観測および観察の結果と考察

1．観測結果

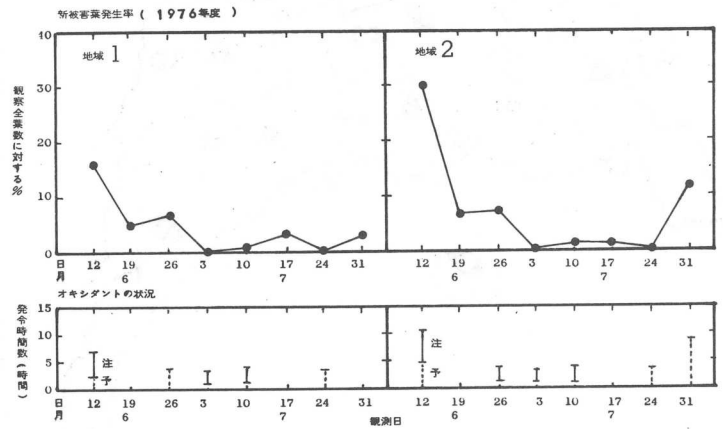


図1　地域1および2におけるオキシダントの状況と新被害葉発生との関係（76年度）.

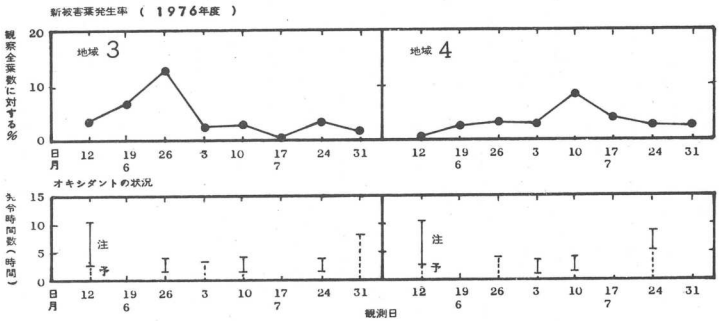


図2　地域3および4におけるオキシダントの状況と新被害葉発生との関係（76年度）.

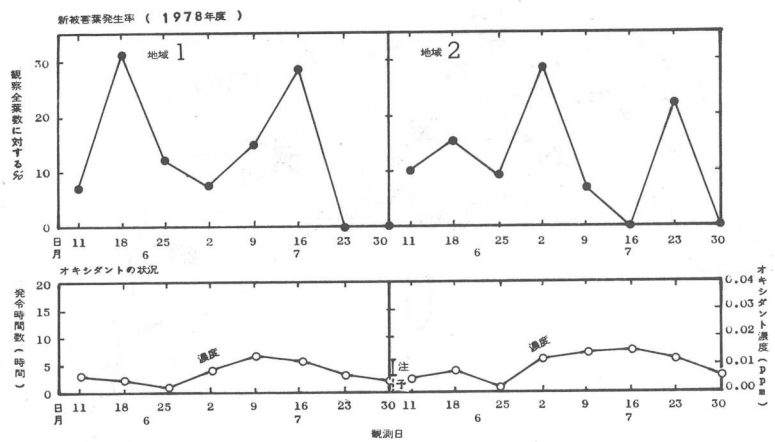


図3　地域1および2におけるオキシダントの状況と新被害葉発生との関係（78年度）.

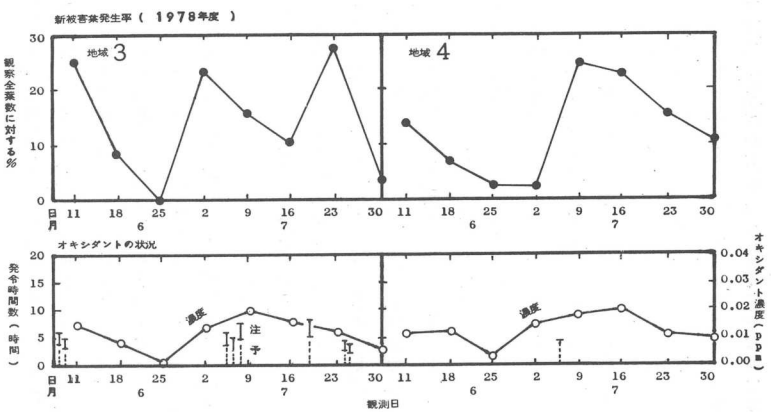


図4　地域3および4におけるオキシダントの状況と新被害葉発生との関係（78年度）.

(1) 地域における Oxの状況と新被害葉発生との関係

新被害葉発生の状況を，大阪府下の光化学スモッグ予報等の発令地域区分ごとにしらべた。図1～4の下段は，各年度毎の光化学スモック予報および注意報の発令日および各発令時間をそれぞれの年度の公害白書から求めて，各観測日の前週1週間の延発令時間数の合計をそれぞれの地域の Ox の状況としてあらわした。新被害葉発生率は，同一地域においても観測地点によって値はかなり変動した。被害状況を各地域の Oxの状況と対比させるために，それぞれの観測日に，各観測地点で観察された全葉数および新被害葉数の合計を求め，それぞれの数値から各地域の新被害葉発生率を算出した。76～78年の各地域のオキシダントの状況と新被害葉発生率との関係は多様な傾向を示した。図1～図4は，同一地域における一例として示したものである。

図1は76年における地域1（大阪市中心部）および地域2（大阪市北部およびその周辺部）の状況を示す。延発令時間数と新被害葉発生率との間には相関性があると共に6月上旬には両地域でかなり急激な被害が発生したことがわかる。しかし同年度における地域3（東大阪地域）および地域4（堺市およびその周辺地域）では相関性が見られない。すなわち，6月上旬に見られる長時間の発令があったのにもかかわらず，被害発生率は低いし，予報が出ていないのにもかかわらず被害が発生している。このことは，短期間の汚染の状況を予報または注意報の延発令時間数のみで評価することは問題があることを示している。図3および図4は1978年における地域1～4のオキシダントの状況と新被害葉発生率との関係を示す。78年は，府下全地域共に発令回数は76年および77年にくらべて減少している。特に地域1では観測期間中に予報の発令はおこなわれなかった。78年の Ox状況は，76年と同様に延発令時間数を求めると共に，各地域における観測日の前週1週間の Ox 日最高濃度の平均値を計算して新被害葉の発生状況と対比させた。各地域における Ox濃度は1週間の平均値であるため，アサガオの葉の被害発生のいきち0.075ppm を下回っているが，いずれの地域でも被害は明らかに発生している。また，新被害葉の発生率は Ox 濃度が上昇すると高まる傾向を示す（図4）。このことは，アサガオの葉がオキシダントに対して敏感に反応することを明らかに示している。地域1および（図3）の7月中～下旬において，被害葉発生の時期は Ox濃度が高い時期より約1週間遅れる。おそらく

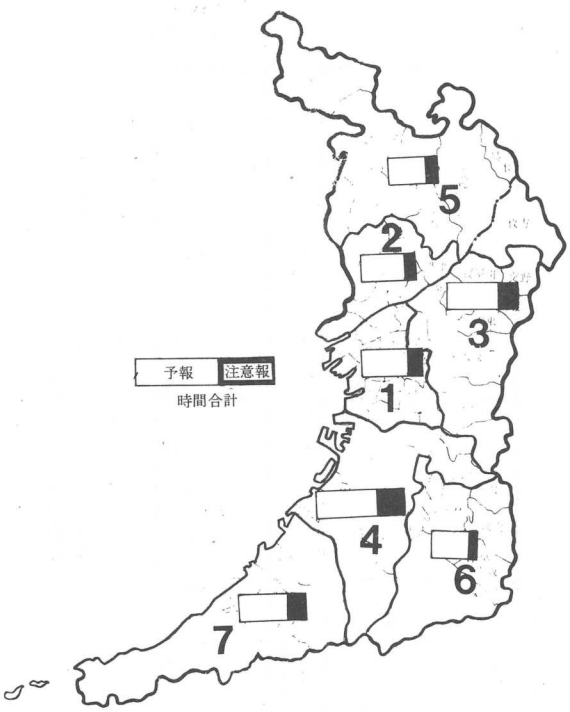


図5　オキシダント予報および注意報の地域別分布（76年度～78年度の発令延時間数の合計）.

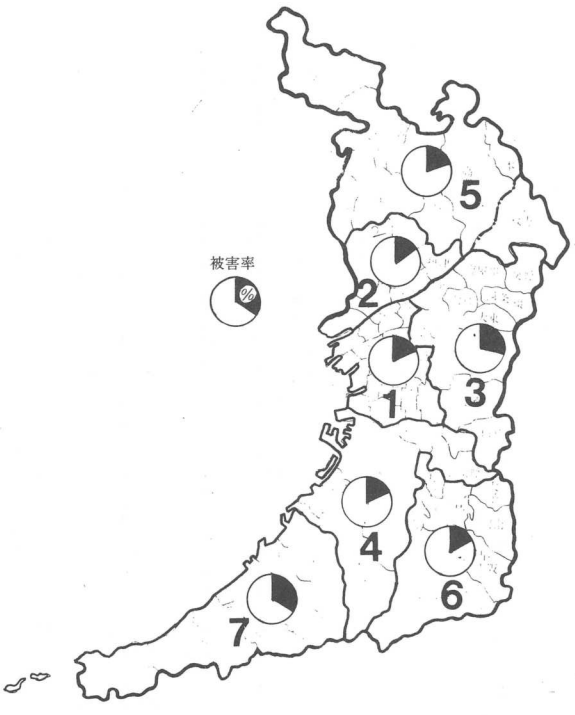


図6　葉の被害率の地域別分布（76年度～78年度の平均被害率）.

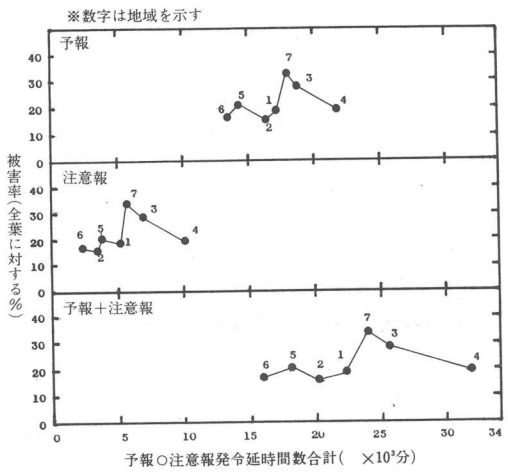


図7　各地域における予報・注意報発令延時間数と葉の平均被害率との関係（図5および図6より）.

この地域の特性としてオキシダント以外の汚染物質（NO_2, SO_2 PAN）または浮遊じん埃によって葉のOxに対する感受性が低下していたと考えられる。

(2) 府下各地域における汚染および葉の被害の分布

Oxによる汚染および被害は，亜硫酸ガスなど単一大発生源による場合とは異って拡散式によって説明ができないことが多い。すなわち広域汚染の傾向が一般的であるが，時には局地的である場合もある。このようにOxが複雑な汚染を示す原因は，発生源分布傾向と気象条件が考えられ，特に気象条件のなかでも海陸風の動向はOx汚染の傾向を決定する要因として重要である（福岡ほか，1972）。大阪湾周辺（大阪平野）は，周囲を山系に囲まれた盆地状の地形であってOx発生期には，紀伊水道から南風が流入する（大志野ほか，1975 a）。また気圧傾度が1 mb/280 kmのとき，大阪湾を中心とする顕著な海陸風系が存在する（大志野ほか，1975 b）。

Oxによる汚染の状況を，大阪府下各地域の地形を考慮して比較することは，それぞれの地域の特性を知るために重要である。そのために，76年から78年にわたる3年間の各地域に発令されたOx予報および注意報の延発令時間数の積算を求めると共に，各地域において3年間観察された被害葉数の合計を同地域，同期間中の全葉数に対するパーセントで表わし，平均被害率として表わした。図5は，3年間の各地域の汚染状況を示す。きわめて明らかなことは汚染状況のランクであって，地域4（堺市およびその周辺地域）が最も汚染度が高く，ついで地域3（東大阪地域），地域7（泉南地域）および地域1(大阪市中心部）の順となる。地域2，5および6は以上の4地域に比べて低い。この傾向は，それぞれの地域の汚染の状況が海風の方向，移動発生源の多少および分布に大きく影響されていることを示している。すなわち4では臨海工業地帯をひかえる，その背後の泉北丘陵，3では生駒山系および7では葛城山系など汚染物質がその地域に停滞しやすい条件を備えているためであると思われる。地域1は，自動車など移動発生源の集中によるものではなかろうか。葉の被害の分布（図6）は，ランクは汚染度の場合と異ったが，被害率の高い地域は，7，3，4および1の地域であった。図7は，3年間の葉の被害率と同期間の大気汚染度（予報，注意報および予報＋注意報の延発令時間数の合計）に対比させたものである。線上の地域2および5の位置は注意報延発令時間数に対比させた場合は変わったが，予報のみおよび予報＋注意報の延発令時間数に対比させた場合は同じであり，汚染の程度と被害率の間には大まかな相関関係が見られた。さらに各地域の汚染の特性を詳細に知るために，3年間の年度別の葉の被害率を，3年間の観測地点別にその分布をしらべた（図8）。3年間に観測地点が同一で重複している場合は3年間の平均被害率および多くの観測地点が集中している場合（茨木市内小・中学校教員，児童，生徒，1978年）は各観測地点の被害率の平均値を示し，同一観測地点の値として示した。高い被害率を示

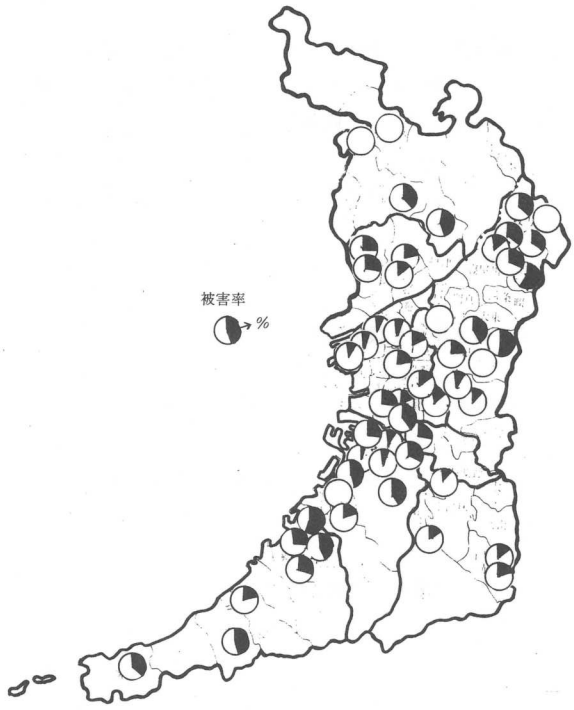


図8　葉の被害率の観測地点別分布（76年～78年の各観測地点における被害率）.

した観測地点は，地域7，4，3および1の南部に見られ，特に生駒山系北部および泉北丘陵地帯および泉南地域など山系をひかえる観測地点が著しい。このことから大阪府下各地域の汚染とその被害発生は，汚染源の量や分布はもとより，海風領域内でその域の地形と関係していることがわかる。以上述べたような大まかな手法および集約結果も各地域の汚染と被害の状況を知るための一つの手がかりになるのではなかろうか。

2．被害葉の生理的特性

Oxによる被害葉の被害部分は，可視症状として明らかな漂白斑を示す。オキシダント成分の約90%がオゾンであるから被害葉が示す可視被害症状は，オゾンによるものと考えても間違いない。表1は，被害葉の被害症状の程度によるchl含量，クロロフィル抽出性（安定性）および被害部分より分離した葉緑体の光化学活性を示す。

(1) chl含量および抽出性

被害葉（1および2）の全chl含量（a＋b）は，正常葉（0）にくらべていずれも低い。chl分子は，葉緑体チラコイド膜を構成するタンパク分子と通常は強く結合して光合成機能を果たしている。被害葉のchl含量の減少は，Oxによるチラコイドのタンパクの破壊がおこってchl分子は遊離し，その後chl分解酵素の作用で無色になるものといわれている。chl抽出性も被害葉では正常葉にくらべて高くなっていることから，被害部分のchl分子と葉緑体チラコイドタンパク分子の結合は，不安定な状態であることがわかる。

(2) 光化学活性（光化学系Ⅱの活性）

被害部分より分離した葉緑体の光化学活性は，正常葉のものにくらべて著しく低下した。すなわち，被害度1では26%，2ではわずか9%である。

オゾンで処理したホウレンソウから分離した葉緑体の光化学活性が低下している（CHANG & HAGGESTAD, 1972）ことや，分離した葉緑体県濁液にオゾンを与えても活性が低下する（COULSON & HEATH, 1974）から，Ox（≒オゾン）は，光合成の光化学系Ⅱの電子伝達を阻害していることがわかる。

また，光化学系Ⅱの活性は，系を構成する色素分子の量によって影響を受けるものと考えられる。表1において系Ⅱの主色素クロロフィルbの含量は，正常葉にくらべて減少し（被害度2：56%），chl aの減少（73%）より著しい。

表1　被害葉の含水量，クロロフィル含量，クロロフィル抽出性，被害部より分離した葉緑体の光化学活性．

被害度	クロロフィル含量（mg／乾重g）			クロロフィル抽出性（比数）	光化学活性
	a	b	a＋b		$Q_{O_2}^{chl}\cdot 10^3$
0	3.16	1.55	4.71	67.9	22.10(100)
1	2.03	0.98	3.01	84.0	5.78(26)
2	2.31	0.88	3.19	70.5	1.90(9)

3．被害葉の形態学的特性

(1) 光学顕微鏡による断面の観察（写真2）

正常葉（Oa）では，棚状細胞は整然と配列し海綿細胞もほぼ均一な間隙をもって隣接している。被害度1の被害葉（1a）では，柵状組織に明確な空隙（写真中の矢印）が生じ，別の被害部分（1b）では，柵状細胞の一部が縮まると共にその配列が乱れる。さらに被害度2の被害葉の柵状細胞のうち，明らかに原形質分離をおこしたものが見られる（2aの矢印）。

柵状細胞は，他の細胞にくらべてオゾンに対して感受性が高いといわれ，Ox被害を受けたアサガオを含む多くの植物の被害部分では柵状細胞の細胞壁が変形していることが認められている（飯島ほか，1974）。アサガオでは，先ず葉緑体のサイズが減少したのち原形質分離がおこるが，原形質連絡が残った状態で細胞は崩壊する。その結果大きな細胞間隙が生じるので被害部分が白く見えるといわれている（NOUCHI ET. AL. 1977）。1a，1bおよび2aに見られる傾向は，オゾンによる典型的な被害症状をよくあらわしている。

細胞のオゾンに対する感受性のちがいは，細胞の体積当りの表面積の比（細胞が大気に触れる効率）のちがいによるものといわれている。この比は，葉の成熟過程で変化するが，柵状細胞は海綿細胞にくらべて高く(1.6～3.5倍）であって，オゾンに対する感受性が最も高い時期に細胞間隙の量も最大になるから柵状細胞のオゾン感受性は海綿細胞にくらべて高い（EVANS & TING. 1974a）とされている。

細胞膜は，葉内に流入した大気汚染物質によって最初に影響を受けるところである。大気汚染物質による細胞の構造や機能の変化についてはさまざまな論議がおこなわれている。

インゲンマメの葉にオゾンを曝露して24時間後，2－deoxy-d-glucose の取込みが増加した（PERCHORCWICZ & TING, 1974），透過性が変化して細胞内への水の透入が減少して透出が増加し脱水がおこると共に，細胞内の溶質も少量透出する（EVANS & TING, 1973），電子顕微鏡を用いた観察によると，被害をうけたタバコの葉の柵

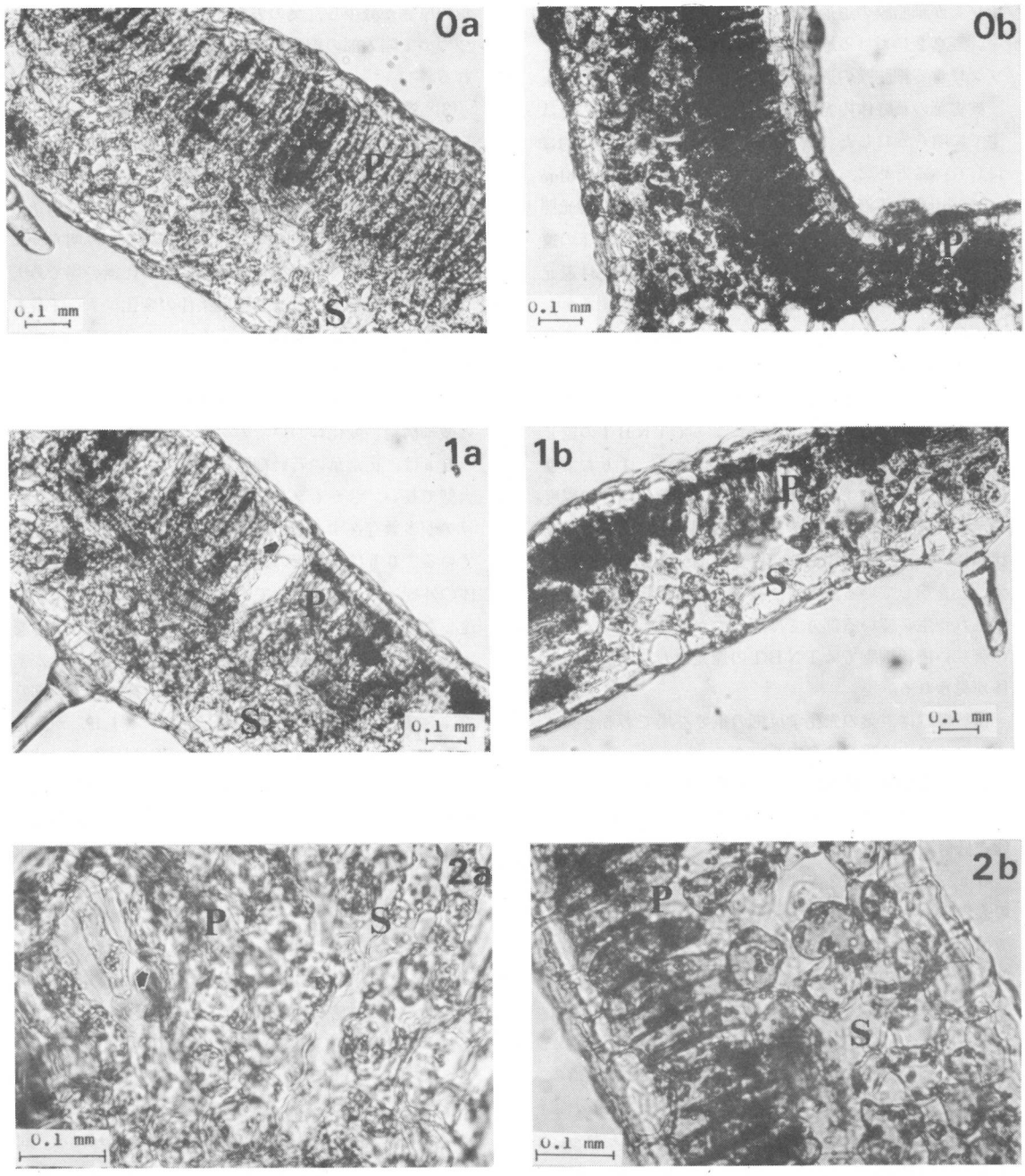


写真2　被害葉断面の光学顕微鏡写真．数字は可視被害症状のランクを示す．aはＴＮＢＴ無処理のもの，bはＴＮＢＴ処理をおこなったもの．正常葉の柵状細胞で著しい還元が見られる(０ｂ)．矢印（１ａ：空隙，２ａ：収縮した柵状細胞)．Ｐ：柵状組織，２ａ：収縮した柵状細胞).Ｐ：柵状組織，Ｓ：海綿組織．

状細胞の中心に細胞質の塊が形成され，この現象は水の流出による脱水による（SWANSON ET. AL. 1973）など，オゾンが細胞膜の透過性に与える影響に関するものが多い。写真2における柵状細胞の形態変化は，いずれもオゾンによる細胞膜の透過性の変化によるものと思われる。

被害葉の葉緑体の光化学活性が著しく減少することはすでに明らかにした。被害葉の光化学活性を組化学的ににしらべるために，生葉をＴＮＢＴ（Tetranitro blue tetrazolium）溶液（1㎎／10ml，pH7.6）に浸漬して光照射をおこない，葉緑体の光化学反応によるＴＮＢＴの還元の程度をしらべた。ＴＮＢＴ（黄色透明溶液）は還元されるとフォルマザンに変化して青紫色に発色するから，その色の濃淡を比較すると還元（光化学的還元，すなわち光化学活性）の程度が肉眼で判定することができる。しかも光化学的還元は葉緑体でおこなわれるから，葉緑体はその光化学的還元力の大小によってＴＮＢＴの還元による発色（染色）の程度がちがう。０ｂ，１ｂおよび２ｂは，正常葉および被害度１，２の光化学活性の程度を示す。還元は，いずれの葉でも海綿組織にくらべて柵状組織が強く，柵状組織の葉緑体が高い光化学活性をもつことを示している。また，被害葉では柵状細胞の配列に乱れが生じている部分では還元力が弱く（１ｂ），被害の著しい柵状細胞ではＴＮＢＴの還元をおこさない葉緑体が見られる。

柵状細胞は，葉の光化学反応の重要な場であると共にオゾンに対する感受性の中心である。

(2) 走査型電子顕微鏡による観察（写真3）

被害葉の被害部分の表面（裏面表皮）および断面の形態を低倍率でしらべた。

０ａ，１ａおよび２ａは葉の表面構造を示す。正常葉の表皮はなめらかで，気孔と毛が見られる（０ａ）。１ａでは表皮細胞層の一部の陥入が見れるが，２ａでは陥入部分がさらにひろがり，変形した毛も見られる。０ｂ，１ｂでは海綿細胞を除いて，ほとんどの柵状細胞は収を剝がすと，充分に緊張した海綿細胞および柵状細胞が見られ，その配列も整然として適当な細胞間隙を組織の中に保っていることがわかる。しかし被害葉（１ｂおよび２ｂ）では明らかな柵状細胞の収縮変形が見られる。１ｂでは海綿細胞を除いて，ほとんどの柵状細胞は収縮変化する。このことはすでにのべたように，この細胞の細胞膜かオゾンによって透過性に変化がおこり，脱水されたものと考えられる。また，被害度２（２ｂ）では，柵状細胞は極度に変形し，いたるところに残骸が見られると共に葉の厚さも明らかに減少する。このことを１ａ，２ａで見られた表皮細胞層の陥入とあわせて考えると，被害部分では先ず柵状細胞の脱水による収縮がおこって葉の厚さが減少し，葉の表皮が陥入すると漂白斑部に，つづいて陥入部の細胞が死ぬと死斑になるものと考えられる。

(3) 透過型電子顕微鏡による観察（写真4）

大気汚染物質による植物被害の状況や機構は，可視症状を基準とした形態学および生化学的な手法に加えて，被害が可視症状として発現されないオルガネラの構造の微細構造の変化をしらべることによってかなり明らかになってきた。多くの研究報告は，植物の代謝の場であり，しかもその植物をとりまく環境条件の変化によって最も顕著な影響を受ける葉緑体とミトコンドリアの形態変化についておこなわれている。ここでは，オキシダント(≒オゾン）による被害葉の，葉緑体およびミトコンドリアの微細構造の変化についてのべる。

０ａは，正常葉の若い細胞のミトコンドリアを示す。大型で長い，しかもクリステがよく発達したミトコンドリアが多数存在することは，呼吸活性が高いことを示している。０ｂは正常葉の通常の細胞の一部を示す。葉緑体の外観は，ほぼ涙滴状であってストロマ中にはよく発達したグラナラメラが見られ，光化学活性が高いことを示している。また葉緑体基質中には70Ｓリボソームが密に分布し，プラスト果粒は見られない。被害度１の細胞ではクリステの膨潤したミトコンドリア（１ｂ）が見られる。オゾンによるミトコンドリアの膨潤は，タバコの葉（SWANSON ET. Al., 1973）およびアサガオの葉（遠山，1976）でも認められている。アサガオの葉では顕微化学的な方法ではチトクローム酸化酵素およびコハク酸脱水素酵素などクリステ膜に結合している酵素活性が低下する（遠山，1976）といわれている。また，被害葉の細胞質内には針状の結晶状構造物（恐らくタンパクの結晶）が認められ（１ａ），被害度の重いものではその構造はより明確になる。被害葉の葉緑体（１ａ，１ｂおよび２ａ）では，グラナラメラが互いに接近し，その部分の電子密度が高くなっているが，chl分子の抽出性が増加しchl含量が減少する結果から考えるとこの状態は正常とは云えない。むしろラメラ構造が崩壊していく一過程と思われる。同じ傾向がオゾンの被害を受けたタバコの葉（SWANSON ET. 1972）およびインゲンマメ（THOMSON, 1972）で認められている。また被害葉の葉緑体では，細胞質の一部をあたかも取り込んだような状態を示している（１ｂ）。この現象は，葉緑体の形そのものが細くなっていることから葉緑体が収縮し，その表面の凹部に細胞質が押し込

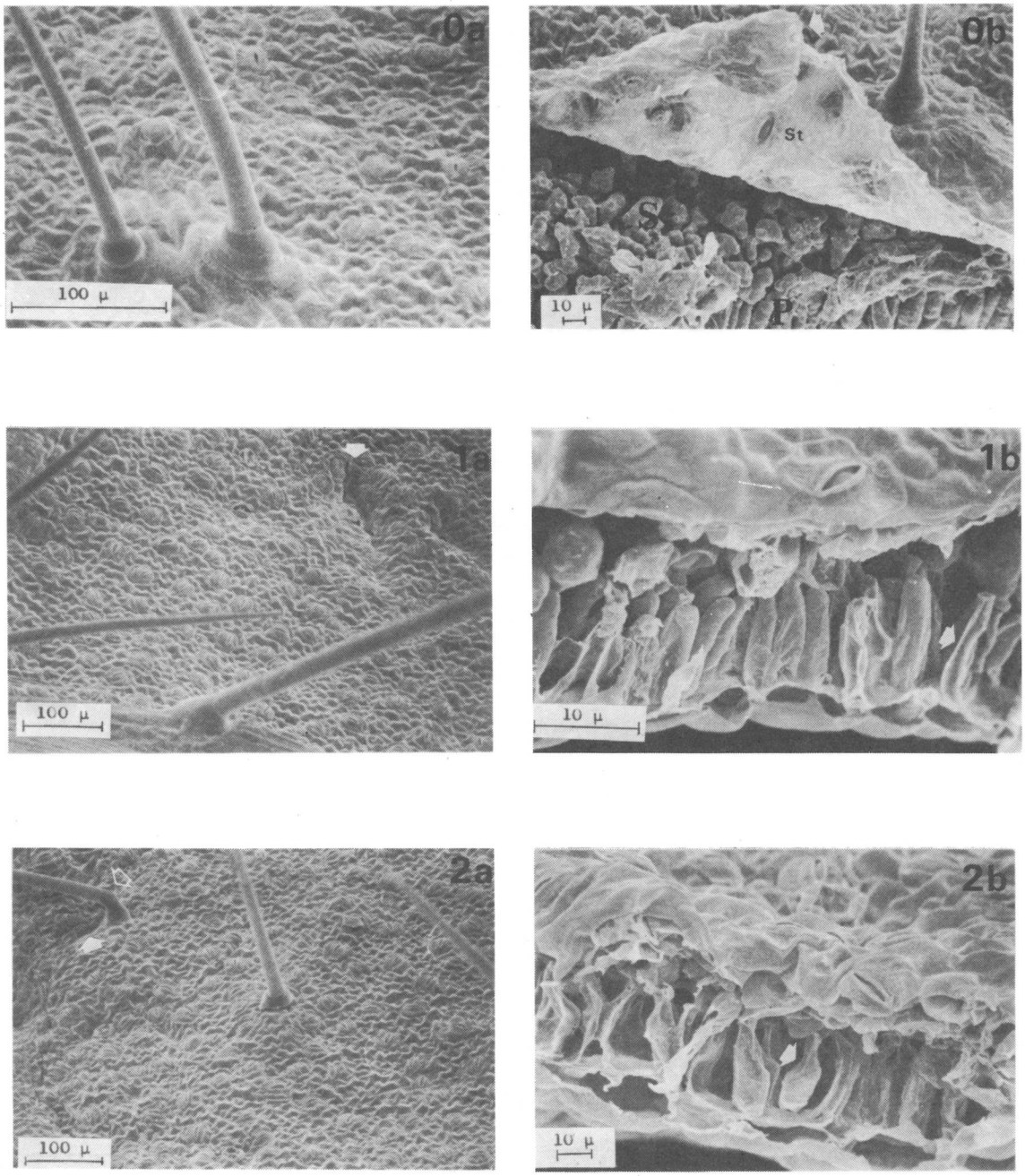


写真３　被害葉の走査型電子顕微鏡写真．数字は可視被害症状のランク，ａは裏面表皮およびｂは断面を示す．矢印（０ｂ：剝がした裏面表皮，Ｓｔは気孔，Ｐは柵状組織，Ｓは海面組織．１ａおよび２ａ：裏面表皮の陥入部分，１ｂおよび２ｂ：収縮した柵状細胞，２ａ空白矢印：変形した毛）．

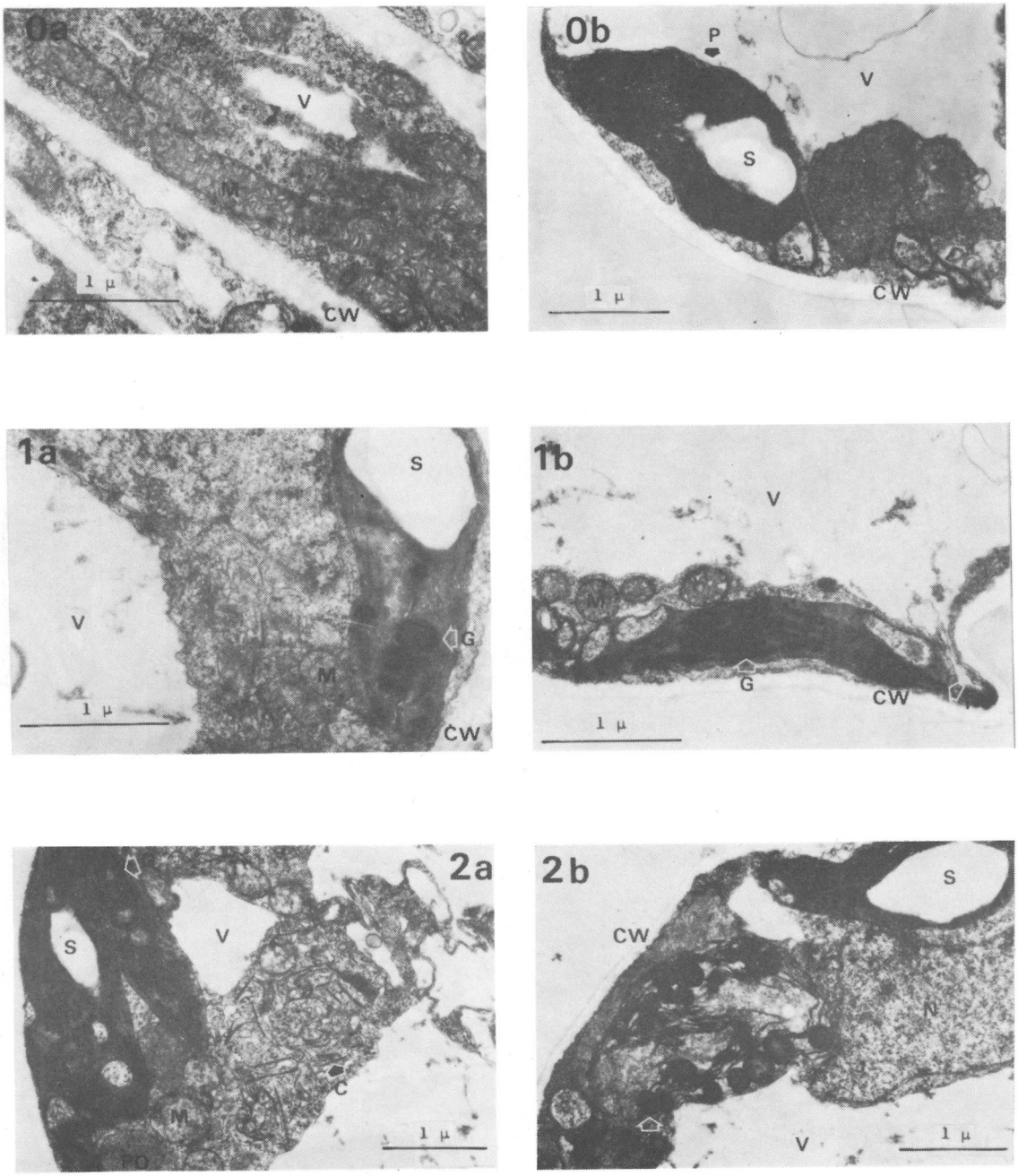


写真4　被害葉細胞の透過型電子顕微鏡写真．数字は可視被害症状のランクを示す．C：結晶状構造物，CW：細胞壁，G：葉緑体果粒，M：ミトコンドリア，N：核，P：葉緑体，PO：パーオキシゾーム，S：デンプン粒，V：液胞．

まれているものと考えられる。グラナラメラの接近も，葉緑体の収縮によるものではなかろうか。被害部のミトコンドリアのクリステの膨潤，細胞質内の結晶状構造物の形成および葉緑体の収縮は，オゾンによってそれぞれの膜の透過性が変化したことを示している。

被害葉の葉緑体基質には大型のプラスト果粒があらわれ（1 aおよび1 b），次第にその数を増す（2 a）。ラメラ構造が崩壊すると果粒のみが残存する（2 b）。プラスト果粒はチラコイド膜の成分であるカロチノイド，プラストキノンおよびビタミンKを含むことから，チラコイド膜がオゾンの害をうけて崩壊するにつれて膜から遊離したこれらの物質が凝集してプラスト果粒を形成する(遠山，1976）といわれている。このようなオゾンによる葉緑体の微細構造の変化の過程は，chl が減少しカロチノイドが残る自然状態における葉の「紅葉」や果実の成熟の過程とよく似ていることから，Ox（オゾン）による被害はある意味で葉の老化を早めていることになる。

Ⅳおわりに

3年間の観測結果をまとめながら，指標植物を用いた大気汚染観測の必要性を痛切に感じた。指標植物を用いた大気汚染の観測は，その方法がたやすいことから地域住民を中心としたとり組みは今後より一層発展することを期待する。同時に行政側でも各地域に設置している環境測定局に指標植物を配置して，計器による測定と平行して指標植物の観察をおこなうと共に総合的な結果を公表してほしいものである。なぜならば指標植物は地域住民の目と鼻の先の汚染状況を知らせてくれるからである。

最後にこの観測運動に積極的に参加された府下各地域の住民のかたがた，運動の計画，設定に細心の配慮をいただいた大阪から公害をなくす会事務局長・伊藤伝一氏および観測記録の集約に尽力された近畿大学農学部学生石田辰子，大野順子および鎌田俊彦の諸君に紙面をかりて厚くお礼を申し上げる。

参考文献

1）Chang, C. W. and Heggestd, H. E. (1974). Effect of ozone on photosystem Ⅱ in Spinacea oleracea chloroplasts. Phytochemistry, 13, 871−873.

2）Coulson, C. and Heath, R. L. (1974). Inhibition of the photosynthetic capacity of isolated chloroplasts by ozone. Plant Physiol., 53, 32−38.

3）Evans, L. S. and Miller, P. R. (1972). Ozone damage to ponderosa pine : A histological and histchemical appraisal. Amer. J. Bot., 59, 297−304.

4）————. and Ting, I. P. (1973). Ozone-induced membrane permeability changes. Amer. J. Bot., 60, 155−162.

5）————. and Ting, I. P. (1974a). Ozone sensitivity of leaves : Relationship to leaf water content, gas transfer resistance, and anatomical characteristics. Amer. J. Bot., 61, 592-597.

6）福岡三郎，京田三恵，大平俊男．(1972)．海風前線とオキシダント広域汚染．東京スモッグ生成機序・植物被害に関する調査研究報告（東京スモッグに関する調査研究．第3報），466−488．東京都公害研究所。

7）服部春子，寺門和也．(1975 a)．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指数とオキシダント累積値の関係．大気汚染研究，9(4)，722−728．

8）————，————．(1975 b)．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2報．オキシダントによるアサガオの被害葉位と葉齢との関係．大気汚染研究，9(4)，729−733。

9）飯島　勉，菅田重雄，本橋精一．(1972)．光化学オキシダントによる被害植物の光学顕微鏡による観察．東京スモッグ生成機序．植物被害に関する調査研究報告（東京スモッグに関する調査研究．第3報），634−639．東京都公害研究所。

10）Nouchi, I., Sawada, T., Ishiguro, T., Toyama, S. and Iijima, T. (1977). Studies on injury of morning glory leaves by photochemical oxidants. In Proceedings of the Fourth International Clean Air Congress. ed. by S. Kasuga N. Yamada, G. Kimura, K. Inagaki and K. Onoe, 95−8. Tokyo, The Japanese Union of Air Pollution Associations.

11）Nouchi, I. and Aoki, K. (1979). Moring glory as photochemical oxidant indicator. Environ. Pollut., 18, 289−303.

12）大阪から公害をなくす会．(1976)．アサガオによる大気汚染観測運動報告書．1976年度。

13）アサガオによる大気汚染観測実行委員会．(1977)．アサガオによる大気汚染観測運動結果報告書．1977年度。

14）アサガオによる大気汚染観測実行委員会．(1978)．

アサガオによる大気汚染観測運動結果報告書．1978年度。

15) 大志野　章，佐藤　功，水間満郎，塚谷恒雄．(1975 a)．単一大発生源と大気汚染Ⅰ．多奈川火力建設問題をめぐって．科学，45 (5)，302－308，岩波書店。

16) ――――，――――，――――，――――．(1975 b)．単一大発生源と大気汚染Ⅱ．多奈川火力建設問題をめぐって．科学，45(6)，361－369，岩波書店。

17) PERCHOROWICZ, J. and TING, I. P.(1974).Ozone effects in plant cell permeability. Amer. J. Bot., 61, 787－793.

18) STROGONOV. B. P. (1964). Physiological basis of salt tolerance of plants (as affected by various type of salinity), pp.132, Academy of Science of the U. S. S. R., Institute of Plant Physiology im. K. A. Timiryazev (Translated from Russian)., Israel Program for Scientific Translations Ltd., Jerusalem.

19) SWANSON. E. W., THOMSON, W. W. and MUDD, J. B. (1973). The effect of ozone on leaf cell membranes. Can. J. Bot., 51, 1213－1219.

20) THOMSON, W. W. (1975). Effects of air pollutants on plants ultrastructure. In: MUDD, J. B. and Kozlowski, T. T., Eds., Responses of Plants to Air Pollution,pp. 179－194, Academic Press, Inc., New York.

21) 遠山　益．(1975)．葉緑体の微細構造にあたえる光化学オキシダントの影響．　細胞，7(11)，519－530．ニューサイエンス社。

22) ――――，(1976)．葉緑体とミトコンドリアの微細構造におよぼす光化学オキシダントの影響．遺伝，30(7)，47－54。