

# 植物に及ぼすパーオキシアセチルナイトレート (PAN) の影響

—PANによる草本植物の被害症状—

野内 勇 飯島 勉 沢田 正  
(東京都農業試験場)  
大平 俊男

## 1. 緒 言

大気中において窒素酸化物と炭化水素とが紫外線の作用を受けて光化学的に反応をおこすことが知られ<sup>1)</sup>、これらの反応によって生成される2次汚染物質には、オキシダント、還元性物質(アルデヒド類)、粒子状物質(硫酸ミスト、硝酸ミストなど)などがある。オキシダントは中性ヨウ化カリ溶液中のヨウ素を遊離する性質をもつものの総称で、その成分はオゾンが85~90%<sup>2)</sup>、その他に二酸化窒素、有機過酸化硝酸塩、有機酸などが含まれている。1970年7月に東京立正高校で人体被害が報じられて以来、顕在化してきたいわゆる光化学スモッグは人体と植物に激しい障害をもたらしてきた。<sup>3)</sup>

現在までの調査研究の結果では、東京を中心とする首都圏でみられている農作物の葉の漂白斑、赤褐色斑点、両表面えそ斑などの被害は、その主要原因がオゾンであることがほぼ確認されてきた<sup>4)</sup>。しかし、1972年よりベチユニアやチシャなどにオゾンによる被害とはまったく異なる葉裏面の光沢化、ブロンズ化、銀白化などの新たな症状がみられるようになり、翌年にはさらに、フダンソウ、ホウレンソウ、インゲンなどにもこれらの症状が多く観察されるようになった<sup>7)</sup>。この被害症状はアメリカでは、すでに1940年代にみられ1950年に光化学スモッグによる被害として報告<sup>8)</sup>されており、1961年にはPANによる被害であることが証明されていた。<sup>10)</sup>、<sup>11)</sup>しかし、わが国においては、現在までPANの暴露実験がまったく行われていなかったため、フダンソウ、ベチユニア、チシャなどの葉裏面の光沢化やブロンズ化などの被害症状がPANによる被害であるとの確証を得ることはできなかった。そこで、PANによる植物の被害症状を把握し、野外で生じているオキシダントによる植物被害の同定を行うために、人工的にPANを合成し、PANの暴露実験を行い、肉眼的な被害症状の観察と光学顕微鏡による組織形態変化の観察を行った。

## 2. 実験方法

暴露実験は、内面がアルマイト、ステンレス、ガラスで構成されている内容積600ℓ(1200×420×1200<sup>H</sup>mm)の人工照明をもった人工気象室(小糸工業株式会社製)で行った。なお、暴露実験開始に先立ち、暴露チャンバーの洩れ、PANのチャンバー内での安定性、適正な供試植物数などの検討<sup>12)</sup>を行って、以下のような実験条件でPANの暴露実験を行った。

### (1) 供試植物

フダンソウ、ホウレンソウ、ダイコン、ハツカダイコン、インゲン、ルーサン、トマト、ラッカセイ、ベチユニア、チシャ、ネギ、アサガオ、タバコの草本植物を用いた。なお、植物は温室で育成し、播種後およそ25~40日になったものであった。

### (2) PANの合成

Stephensら<sup>13)</sup>の方法を基本にして、泉川ら<sup>14)</sup>が行った亜硝酸エチルを酸素中で紫外線照射して光酸化する方法で行い、クロマト法によって分離・精製をした。

### (3) 暴露実験方法

合成した高濃度(500~1000ppm)のPANを500ℓのテドラーバッグ中に一定量採取し、活性炭汚過空気をを用いて目的の濃度に希釈した。そして、ダイヤフラムポンプ(0.8~1.5ℓ/min)で暴露チャンバーに送り込み、暴露チャンバー内ではPAN濃度が均一になるように、2台のプロペラファンで軽く攪拌し、余剰のPANは排気した。

### (4) PANの濃度測定

ECDガスクロマトグラフィーのPAN連続自動測定器(柳本製作所GPH-10A)でカラム5%W/W PEG/Chromosorb WAW HMDS 100/120メッシュ、C.T. 27~30°C、φ3mm×500mmテフロン製を用い、チャンパー中央部付近の濃度を測定した。なお、濃度は20分間隔で測定し、その時の瞬間値を求めた。

### (5) 暴露チャンパー内の気象

PAN暴露実験中およびその前後に光が必要とされている<sup>15)16)</sup>ことから、実験前後には各3時間の光照明を行い、照明は上部のみからの照明で蛍光灯および白熱灯を用いた。照度は中央部で15,000ルクス程度であり、照明中の温度は25あるいは30℃、暗黒時は20℃に設定した。

また、この人工気象室には除湿装置が付属していないため、湿度は開始時には45~60%程度であるが、植物からの水分の蒸散によって徐々に加湿され、最終的には90%程度にまで達した。

#### (6) 被害の評価

オゾンによる被害の評価と同様<sup>6)</sup>に、各葉に現われた被害程度を「0：なし」から「4：著しく激度」の5段階に分けた被害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被害指数 (plant injury index) と植物体被害葉面積率 (plant percentage of damaged area) で表わした。It, Dtは植物体全体に対する被害程度を、Ip と Dp は被害症状のみられた葉だけに限った被害を表わしている。なお、It, Ip, Dt, Dp の計算式は前報<sup>6)</sup>のとおりであり、I の最大値は4で、Dの最大値は100である。

#### (7) 顕微鏡試料

PAN暴露後の葉試料をできるだけ新鮮なうちに徒手縦断切片をつくり、生のまま検鏡を行った。

### 3. 実験および結果

合成したPANは硝酸メチル、硝酸エチルなどの不純物を同量程度含んでおり、純粋なPANではないが、これら混合物による被害をここでいうPAN被害とした。なお硝酸メチル、硝酸エチルなどはPANの分解生成物やクロマト法による分離精製の際に混入した不純物である。これら硝酸メチル、硝酸エチルの植物への影響はまったく調べられていないため、これらの影響度がどの程度あるのか不明のまま実験を行った。しかし、本実験を通して硝酸メチル、硝酸エチルの影響はPANに比較しほとんどなかったことが判明した。合成したPANによって急性被害を生じるには、かなり高濃度のPAN濃度が必要とされる<sup>17)</sup>ことや、アメリカでの実験がほとんど0.1~1.0ppmで行われていることなどから、PAN濃度は都市大気中に存在する濃度（東京都千代田区有楽町、高濃度オキシダント時の最高値30ppb）より非常に

高い60ppmより3ppmの範囲で行った。実験は1973年10月より1974年6月まで行った。

#### (1) 可視被害症状

被害程度および被害症状は、植物の種類、PAN濃度、暴露時間、植物の生長ステージ、植物の育成法、環境条件によって影響されるが、一般的に被害は若い葉に多くみられ、葉裏面に光沢化とブロンズ化がみられた。ペチュニア、アサガオやタバコでは葉位による顕著な横断帯症状がみられた。また、葉裏面の葉脈間が陥没し、葉脈が浮かびあがるのも特徴であった。しかし、高濃度の場合には被害は葉裏面ばかりではなく、上表面にも現われた。

被害症状は暴露後2~3日まで変化するが、それ以後は被害の進行は少なかった。低濃度のPANに暴露されると明確な光沢化とブロンズ化がみられた。すでに報告<sup>15)</sup>した結果の後に得られた新たな結果によると、ペチュニアの托葉への黒褐色えそ斑は生長抑制剤N-(ジメチルアミノ)スクシニアミド酸(商品名、B-ナイン)を施すとPAN暴露で生じ、無使用のペチュニアでは両表面純白漂白えそ斑および裏面の光沢化した陥没斑を生じた。そして、またB-ナインは被害を軽減する薬剤であることがわかった。抽苔したフダンソウはまったく被害が現われなかった。また、ネギはPANで葉身先端の純白えそ斑や先枯れを生じたが、オゾンでもまったく同じ症状を呈することも認められた。以下に植物別の可視的な被害症状を簡単に述べる。

フダンソウ：被害は若い葉のみに限られ、上表面にも黒褐色の小斑点が生じ、裏面には陥没したえそ斑がみられ、光沢を帯びたブロンズ化を呈していた。なお、抽苔して葉の硬くなったものはまったく被害を受けなかった。

ハウレンソウ：葉縁部が脱水症状を示して萎凋し、上表面の葉脈間に黄褐色や白色えそ斑および光沢を帯びた陥没斑が散在していたが、裏面にはあまり被害が認められなかった。供試苗が軟弱なため、被害を受けた葉の表裏面とも被害症状は識別しにくかった。

ダイコン：葉縁部が脱水症状をおこし、上表面の葉脈間に白色の陥没斑が現われた。なお、裏面の葉脈間は光沢を帯びた濃緑色の大きな陥没斑となっていた。

ラッカセイ：被害は葉上表面にのみ生じ、裏面には被害はみられなかった。葉身中央部の主脈沿いに赤褐色斑

が現われた。

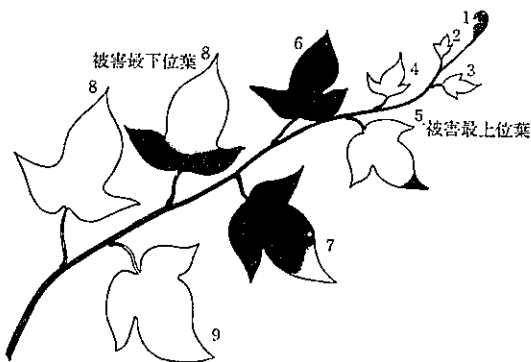
インゲン：被害は上表面および裏面の両方にみられ、上表面にはオゾン被害とは異なる赤褐色えそ斑が現われ、裏面は光沢を帯びたブロンズ化症状がみとめられた。また、裏面の葉脈間は陥没して葉脈が浮かびあがった。さらに、被害が子葉にも及ぶのがみられたが、概してその被害程度は軽かった。つる性および矮性種間では被害症状に差異はみられなかった。

ルーサン：葉脈間や葉縁部分に黄白色のえそ斑を生じ、裏面は光沢をもち陥没していた。

トマト：20pphmの場合、主脈に近い葉脈間の上表面は黒色のえそ斑が現われ、その裏面は陥没してやや黒色を帯びたブロンズ化を生じた。その後、上表面は黄褐色のえそ斑に変化した。10pphmの場合、被害は最上位葉の裏面のみに現われ、その症状は葉脈間の陥没とブロンズ化を呈していた。

ペチュニア：3～10pphmの低濃度で被害が軽い時は、托葉や上位葉のみに上表面の漂白斑および両表面漂白えそ斑であるが、やや高濃度になると、両表面漂白えそ斑が上位葉から下位葉にまで生じ、さらにその下位葉では裏面のみに光沢化した陥没斑を生じた。なお、生長抑制剤B-ナインを散布したペチュニアは被害が托葉のみに現われ、黒色えそ斑となってまったく異なった症状であった。また、被害発現の最低濃度は3pphm×12時間であった。

図1 PANによるアサガオの被害葉位と被害部位



チンジャ：葉の重なりのない光を受けている部分の葉脈間あるいは中肋沿いに褐色のソバカス状のえそ斑やこれ

らの融合した大型えそ斑が現われ、このえそ斑は陥没し光沢化症状もみられた。

ネギ：葉の先端からやや下がった位置に細かい白色斑点の集合体のみられ、被害が激しいものではこれらが融合して純白色の大型えそ斑となっていた。葉はえそ斑の部分境界にして上部が枯死したり、折れて垂れ下がるものなどが多くみられた。

アサガオ：高濃度(50pphm×2時間)に暴露されると葉表面に被害は激しく現われ、灰白色や濃緑色を呈し、激しい脱水症状をおこし巻きあがった。低濃度(8～20pphm)での暴露では、一部被害の激しいものには上表面にも黒色斑や漂白斑も現われるが、多くは裏面に被害が現われ、銀白化したブロンズ症状、光沢化した陥没斑であった。また被害部位は特定の葉位のみに限定され、頂芽も含めた最上位葉から数え5～8葉目の葉位だけであり、その他の葉位のものとはまったく被害を受けなかった。また、葉位別にその被害をみると、被害の現われた最上位葉は先端部のみに、次葉位は葉全面、そして最下位葉位は葉基部のみに被害が現われる特徴が観察された。なお、被害発現の最低濃度は7pphm×6時間であった。

タバコ：葉の上表面に褐色小斑点のみられたが、裏面にも光沢化した陥没斑と褐色化した光沢化症状があった。これらの葉における上表面被害と下表面被害は同じ部位もあるが、上下まったく別々に独立的に被害を受けた。この被害部位は、下表面被害のほうが成熟度の早い部位で上表面被害は下表面被害よりも葉位・被害部位が分化・成熟度の遅い部分であった。

## (2) 顕微鏡観察

PAN暴露試料について検鏡観察を行い、野外被曝植物の組織被害の特徴と比較検討した。フダンソウ、インゲン、トマト、チンジャ、ペチュニアの暴露試料では、オゾン暴露の場合とまったく対照的に柵状組織の細胞には何ら異常がみとめられず、特異的に海綿状組織の細胞に被害がみられた。被害細胞はいずれの場合にも赤褐色を呈して顕著に収縮し、これに伴って細胞間の空隙は拡大していた<sup>(9)</sup>。PAN暴露の場合は個々の細胞が単独に被害を受けることは少なく、海綿状細胞が連続してえ死する傾向であった。また、細胞のえ死に先立って原形質分離がおこるが、原形質連絡が切れないうえに、細胞はえ死してもその連結は切れないう特徴が観察された。フダンソウ

表 1 低濃度 PAN における被害出現の濃度・時間と植物の被害度および被害症状 (1973. 10~1974. 6)

科	植物と品種	植物高 cm	葉数	播種日	露出日	濃度と時間	被害程度			被害症状	
							I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>		D <sub>2</sub>
アカザ科	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>flavescens</i> (フゲンソウ 白根)	8	8	9.27	11.15-22	10pphm×8hours×2days	0.1	2.5	2	60	光沢を帯びた葉面の陥没斑
"	<i>Spinacia oleracea</i> (ホクレンソウ 西条みどり)	10	7	9.27	"	10pphm×8 hrs×2d	0.3	1.4	3	12	光沢を帯びた葉面の陥没斑 上表面の陥没斑
アブラナ科	<i>Raphanus sativas</i> (ダイコン 新三浦)	20	5	9.27	"	10pphm×8 hrs×2d	0.4	2.0	6	30	光沢を帯びた葉面の陥没斑 上表面の陥没斑
"	<i>Raphanus sativas</i> var. <i>radicula</i> (ハツカダイコン コノット)	10	6	9.27	"	20pphm×8 hrs×3d	-	-	-	-	-
アメ科	<i>Arachis hypogaea</i> (アサヒ 千葉半豆)	25	50	9.27	"	20pphm×8 hrs×2d	0.1	2.5	1	50	上表面の赤褐色斑
"	<i>Phaseolus vulgaris</i> (インゲン マントル)	25	9	10.20	"	10pphm×8 hrs×2d	2.0	2.8	45	48	光沢を帯びプロンズ化した陥没斑 上表面赤褐色斑
"	<i>Phaseolus vulgaris</i> (インゲン 新江戸川)	18	8	10.20	"	10pphm×10hrs	2.8	3.7	59	78	光沢を帯びプロンズ化した陥没斑 上表面赤褐色斑
"	<i>Phaseolus vulgaris</i> (インゲン キーストウソウグー)	18	15	10.20	"	10pphm×8hrs×2d	1.0	2.5	30	75	光沢を帯びプロンズ化した陥没斑 上表面赤褐色斑
ヒルガオ科	<i>Pharbitis nil</i> (アサガオ スカーレットキルガ)	150	37	2.10	4.24-30	15pphm×8hrs×3d	0.3	1.8	4	34	表面の光沢化した陥没斑とプロンズ斑状
アメ科	<i>Medicago sativa</i> (ルーゲン)	14	16	9.27	11.15-22	10pphm×8hrs	0.7	2.4	1.7	10	光沢を帯びた陥没斑
ナス科	<i>Lycopersicon esculentum</i> (トマト 東海一分)	10	18	9.27	10.28-11.2	20pphm×6hrs	0.4	2.6	21	38	黒色を帯びた葉面の陥没斑 上表面の黒色えき斑
"	<i>Petunia hybrida</i> (ペチュニア フロイトエントサイオン)	22	18	3.15	6.21-26	8pphm×6hrs	0.7	1.8	14	37	両表面純白剥白えき斑 裏面のみのプロンズ化した陥没斑
"	<i>Petunia hybrida</i> (ペチュニア フルーエンサイオン)	17	85	6.26	11.15-22	10pphm×8hrs×2d	0.5	3.0	3	60	上表面褐色えき斑 裏面の光沢化した陥没斑
"	<i>Petunia hybrida</i> (ペチュニア ローエンサイオン)	14	24	3.15	6.1-10	15pphm×9hrs	0.4	1.5	8	30	上表面褐色えき斑
キク科	<i>Lactuca sativa</i> var. <i>capitata</i> (チシヤ 黒葉ウエアヘッド)	16	16	10.3	11.15-22	10pphm×6hrs	1.0	2.0	10	20	裏面のソバカス状黄褐色光沢斑 大型黄褐色陥没光沢えき斑
ユリ科	<i>Allium fistulosum</i> (ネギ 倉庫原)	30	3	9.19	11.15-22	10pphm×8hrs×3d	1.8	2.2	22	27	純白剥白えき斑、先村山
ナス科	<i>Nicotiana tabacum</i> (タバコ ベージニア)	45	10	3.4	4.24-30	15pphm×8hrs×3d	0.8	2.0	22	54	光沢した被葉面の褐色化 裏面の陥没斑
"	<i>Nicotiana tabacum</i> (タバコ コハク)	30	8	3.4	4.20-30	45pphm×3hrs	1.5	2.5	50	24	光沢化した陥没斑、漂白斑

ウ、インゲン、チシャ、ペチュニアについては野外被曝試料を検鏡した結果でもまったく同一の特徴を観察しており、PAN暴露によって外観症状だけでなく、組織被害の特徴までが再現できたものと判断した。また、PAN被害の特徴といわれている光沢化やブロンズ化などの外観症状は、着色した死細胞と細胞間の空隙に入り込んだ空気によって発現するものと思われた。

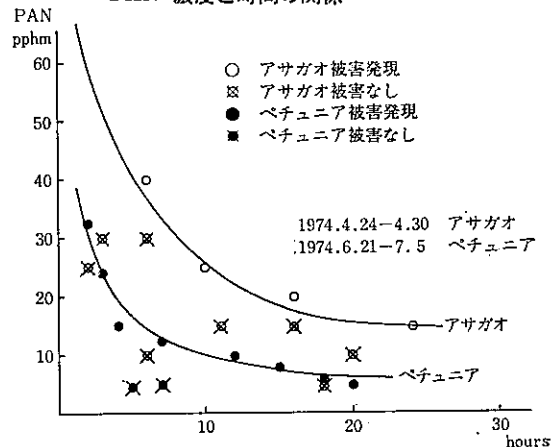
一方、ラッカセイでは裏面に葉の閉閉用の機動組織が著しく発達し、海綿状組織の分化はごく貧弱であるために、例外的に柵状細胞に被害がみられた。しかし、細胞の被害の受け方はオゾンの場合が不連続であるのに対しPANの場合は広く連続的に被害が生じる傾向であった。アサガオの試料は葉表裏面が濃緑化したものであるが、柵状組織と海綿状組織には被害はなかった。しかし、表皮細胞が被害を受け、下表皮細胞は橙色に着色してまったくつぶされてわずかに細胞壁だけが残っていた。そして、上表皮細胞もまたつぶれているのが観察された。

### (3) PANに対する相対的感受性

各濃度で行った暴露実験の結果の概要は表1に示すとおりである。表中の  $I_t$ ,  $D_t$  の数値の大きいことからネギ、インゲン、ペチュニアの被害が大きく、その他の植物では、PANによる被害はごく限られた少数の葉のみに現われていたことが知られた。また、それらの限られた葉の被害は葉全面に及んでいることが、被害葉のみについて調べた  $I_p$ ,  $D_p$  の値が大きいことにより知られた。そして、これらの被害を受けた葉は成葉よりも若い葉であったが、高濃度の場合には被害葉位の範囲が成葉にまで及んだ。

各植物の育成条件や生長ステージが多少異なるため、植物間のPANへの感受性の比較を行うことは困難であるが、表1より供試した植物の感受性の比較を取ると、白花のペチュニア(ホワイトエンサイン種)が最も感受性であり、インゲン、チシャがこれに次ぎ、フダンソウ、ホウレンソウ、ダイコン、ルーサン、トマト、青花のペチュニア(ブルーエンサイン種)、アサガオ、タバコは中程度、ラッカセイ、ネギはやや抵抗性で、ハツカダイコンは最も抵抗性であった。なお、これら実験で植物の育成条件によってPANへの感受性が大きく異なることが観察された。昼温度27°C、夜間温度22°Cに調整した人工気象室で2月中旬～4月中旬に育成したアサガオと

図2 アサガオとペチュニアの被害発現に及ぼすPAN濃度と時間の関係



6月上旬～7月下旬に育成したアサガオでは、感受性がまったく異なっていた。すなわち、4月末日に暴露したものは、1日に15 pphmのPANを8時間暴露することを3日間続けることによって葉裏面の光沢化した陥没斑を生じたが、7月に暴露したものでは15pphmのPANを1.5時間暴露するだけで被害を生じ、7pphmでも6時間で裏面の光沢化が現われた。育成期間中の6月下旬～7月下旬まではほとんど毎日雨が降り、光が十分ではなく、アサガオが非常に軟弱になったためと思われる。そのため、相対的感受性には普通に育成できたと思われる4月末日暴露した結果の方を採用した。

### (4) ガス濃度と被害初発時間

アサガオおよびペチュニアを使つてのガス濃度と被害症状の発現時間の関係は、ガス濃度の低下とともに初発時間は長くなり、双曲線の関係で示された。これは、高濃度・短時間の方が低濃度・長時間よりも被害発生をおこしやすいことを示した。

## 4. 考 察

オゾンとPANはともに光化学的に生成されるオキソダントであるが、暴露実験の結果はオゾンとPANではまったく異なる障害のパターンを示した。オゾンは感受性植物の成熟葉の上表面に赤褐色斑点や漂白斑、両表面えそ斑などを生じたが、PANは成熟葉より少し若い葉に被害を与えることが多く、葉の裏面に光沢化やブロンズ化などを伴う陥没斑が生じた。被害部を縦断して光学顕微鏡で観察した結果は、オゾンの場合には柵状組織が

点々と不連続に被害を受けることが多く、被害細胞は細胞壁が変形して崩壊したり、赤褐色に着色していた。一方、PANの被害は特異的に海綿状組織にみられ、海綿状組織が連続して被害を受け、被害細胞は着色して萎縮していたそして、細胞のえ死に伴って細胞間の空気域が大きくなり、葉の裏面に光沢化やブロンズ化などが生じることもうかがわれた。

PAN被害に関する解剖学的研究は、すでに Bobrov ら<sup>20),21),22)</sup> によって詳細に検討されている。彼女らの報告によると、葉裏面の副気孔室をとりまく細胞が最初に被害を受け、被害細胞には一時的に水分が蓄積するため外観的に光沢症状が生じ、その後すぐに被害細胞は脱水されて収縮し、下表皮と海綿状細胞の間の空隙が拡大し、そこに空気が充満してブロンズ化や銀白化症状が発現するのであろうと推測している。さらに、彼女らは、葉組織の分化・成熟の過程とPAN被害の関係を検討し、タバコなどでPANの被害が、最も若い葉では先端のみで、やや古い葉で中間部分、完全に成熟した葉では基部のみであるという限られた葉位の特定の部分に生じることを認めている。これらの理由として、葉の成熟が先端から基部に向っておき、葉の成熟度にしたがって被害を受けることも明らかにした。また、柵状組織は海綿状組織よりも遅く分化するために、柵状組織が海綿状組織よりも抵抗性をもつことを提案し、非常に若い葉が被害を受けない理由は、気孔が機能的に働いていないことと細胞内空気域がまだ非常に少ないことをあげて説明している。さらに、老化葉のPANに対する抵抗性は、細胞のageの進行に伴い、スペリンが細胞壁に、特に、細胞内空気域を囲む細胞の壁に沈着するためにPANに対する保護作用をもつためであらうとしている。このような観察から、被害発生には機能を備えた気孔の存在と細胞のまわりの空隙量が最も大きく影響することを結論としていた。しかし、我々の実験はPAN被害の同定を目的としたものであり、解剖学的所見は極めて不十分であるが、オゾンとPANが同じオキシダントでありながら異なった組織に影響をおよぼす原因は、気孔から侵入したPANが副気孔室のまわりの細胞に被害を及ぼすが、オゾンの場合では副気孔室周辺の細胞にはまったく被害を与えず、上表皮細胞や柵状組織に被害を及ぼすなど葉組織内への拡散能力に差があるためと、影響を受ける細胞の機能的差異によるものであろうことが予想された。今

回のタバコでの実験ではタバコ葉の上表面と下表面の被害を受ける部位の不一致性が観察されたが、これは Bobrov らの提案のように、柵状組織の分化が海綿状組織よりも遅いということと一致している。

最近、東京近辺で生じている従来のオゾン被害とは異なる植物の被害症状を、今回の暴露実験の結果と比較してみると、フダンソウの葉裏面の光沢化やブロンズ化、ラッカセイの上表面の赤褐色えそ斑、インゲンの裏面の光沢化やブロンズ化および上表面の赤褐色えそ斑、ペチュニアの両表面漂白えそ斑および裏面のブロンズ化した陥没斑、チンヤの裏面のブロンズ化した陥没斑は、肉眼的にまったく同一の症状であった。また、野外および暴露植物の被害部組織を顕微鏡で観察した結果でも、両者は共通して海綿状組織に被害がみられ、野外における組織・細胞被害の特徴が暴露実験によって完全に再現されていた。そして、東京の都心部ではロスアンゼルスやリバーサイドなどで測定されているPAN濃度とはほぼ同じような30ppb程度まで上昇していることを考え合わせれば、これらの植物における上記の症状は、PANによる被害と断定してさしつかえないと考えられる。ネギの純白のえそ斑を伴う先枯れ症状は、オゾンでもPANでも生じたが、オゾンとPANの混合実験では、各々の単独ガスよりもさらに被害が激しく短時間で発現することがわかった。これはネギに対するオゾンとPANの攻撃部位が同じことから相加的になったことによるものと思われる。このことから、野外におけるネギの被害はオゾンとPANの両者による複合被害の可能性が強いと思われる。一方、ホウレンソウの被害症状については、供試苗が軟弱なため明確な結果が得られなかったが実験を続けた上で明確にしたい。

ところで、植物の葉裏面に光沢化やブロンズ化、銀白化症状を生じる大気汚染質は、PANのみではないことが知られている。Haagen-Smit らははじめ多くの研究者によって見出されたオゾンと不飽和炭化水素の暗反応生成物<sup>23),24),25)</sup>と低濃度の塩素ガス<sup>26)</sup>などであり、これらの物質による被害症状出現の可能性がまったくないわけではない。しかし、オゾンと不飽和炭化水素の暗反応生成物は寿命が極端に短いことや Stephens ら<sup>10)</sup>, Taylor<sup>11)</sup>らのピントビーンとペチュニアを用いた詳細な比較実験で、被害が大気オキシダントのものとは完全に一致しなかったことから、光化学スモッグによる葉裏

面のブロンズ化などに直接影響する原因物質ではないとされた。また、塩素ガスに関しては、オルトリジン法による測定で、東京の一般大気中（1972年7～8月、東京都杉並区の住宅地）には検出されていなかった。これらのことから、東京を中心とする首都圏で生じているフダンソウ、インゲン、ペチュニア、チシャの葉裏面の光沢化、ブロンズ化を呈する症状およびラッカセイの上表面の赤褐色化はPANによる被害と判断した。

## 5. ま と め

1973年10月より6科12種の草本植物を用いて、PAN暴露実験を行い、肉眼的観察と光学顕微鏡による観察を行い、次の結果を得た。

- (1) フダンソウ、ホウレンソウ、ダイコン、インゲン、ルーサン、トマト、ペチュニア、チシャ、アサガオ、タバコなどの感受性植物では、10～15pphmのPAN濃度で6～25時間の暴露で被害を生じ、最も感受性の高かったペチュニア（ホワイトエンサイン）は3pphmでも被害がみとめられた。
- (2) PANによる被害は、ネギ、ラッカセイを除いては、低濃度ではすべての植物の葉裏面に光沢化およびブロンズ化を伴った陥没斑を生じた。高濃度（20～50pphm）の暴露では、多くの植物の葉上表面にも被害が現われた。一般的に被害を受ける葉は若い葉が多く、また、被害を受ける葉はごく少数の葉に限られていたが、その葉の被害程度は大きかった。
- (3) 被害を受けた葉を顕微鏡で観察すると、被害は特徴的に海綿状組織の細胞に生じ、細胞の崩壊と着色化がみられた。
- (4) 高濃度オキシダント時に野外で観察されたフダンソウ、インゲン、ペチュニア、チシャなどにオゾンとは異なる葉裏面の光沢化、ブロンズ化症状およびラッカセイの上表面の赤褐色化とPAN暴露した植物の被害を比較すると、可視的な被害症状、および顕微鏡観察でもまったく類似していた。そこで、野外で生じていたこれら植物の上記の被害はPANによるものと判断した。
- (5) ホウレンソウ、ネギの被害は、なお今後の検討を要する。
- (6) アサガオには現在まで、野外においてはPAN被害の症状はみられていないようである。

## 参 考 文 献

- 1) Stephens, E. R., Hanst, P. I., Looor, R. C., and Scott, W. E., "Reactions of nitrogen dioxide and organic compounds in air." *Ind. and Eng. Chem.*, 48, 1498-1500 (1956)
- 2) Stokinger, H. E., and Coffin, D. L., "Biological effects of air pollution." In, "Air Pollution", Stern, A. C., ed. Vol. I, 415-546, Academic Press, New York, 1968
- 3) 朝来野国彦：“オキシダント中のオゾン”，東京スモッグに関する調査研究（第2報），274-277，東京都公害研究所（1972）
- 4) 東京光化学スモッグに関する調査研究（第1報），東京都公害研究所（1971）
- 5) 東京スモッグに関する調査研究（第2報），東京都公害研究所（1972）
- 6) 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)
- 7) 太田保夫，中村拓，渋谷三郎：“埼玉県下の大気汚染による植物被害について——とくにPANによると思われる被害——”，*大気汚染研究*，8, 545 (1973)
- 8) 服田春子，寺門和也：“PANによる植物被害について”，*東京都農業試験場研究連報*，昭和48年度，35-36 (1973)
- 9) Middleton, J. T., Kendrick, J. B., and Schwalm, H. W., "Smog in the south coastal area of California." *Calif. Agr.*, 4, 7-10 (1950)
- 10) Stephens, E. R., Darley, E. F., Taylor, O. C., and Scott, W. E., "Photochemical reaction products in air pollution." *Int. J. Air and Water Pollution*, 4, 79-100 (1961)
- 11) Taylor, O. C., Stephens, E. R., Darley, E. F., and Cardiff, E. A., "Effect of air born oxidants on leaves of pinto bean and petunia." *Proc. Amer. Soc. Hort Sci.*, 75, 435-444 (1960)
- 12) 野内勇，大平俊男：“PANによる植物被害症状”，東京スモッグに関する調査研究（第3報），599-606 東京都公害研究所（1974）
- 13) Stephens, E. R., "The formation, reactions and

- properties of peroxyacetyl nitrates (PANs) in photochemical air pollution." *Advances in Environmental Sciences*, Vol. I, 119-146 (1969)
- 14) 泉川碩雄, 早福正孝, 中野欣嗣, 朝来野国彦, 大平俊男: "大気中PANの連続測定および定量", 東京都公害研究所年報, 4, 41-49 (1973)
- 15) Taylor, O. C., Dugger, W. M. Jr., Cardiff, E. A., and Darley, E. F., "Interaction of light and atmospheric photochemical products ("smog") within plants." *Nature*, 192, 814-816 (1961)
- 16) Dugger, W. M. Jr., Taylor, O. C., Thompson, C. R., and Cardiff, E. A., "The effect of light on predisposing plants to ozone and PAN damage." *J. Air Pollution Control Assoc.*, 13, 423-428 (1963)
- 17) Taylor, O. C., "Importance of peroxyacetyl nitrate (PAN) as a phytotoxic air pollutant." *J. Air Pollution Control Assoc.*, 19, 347-351 (1969)
- 18) 野内勇, 飯島勉, 大平俊男: "植物におよぼすパーオキシアセチルナイトレート (PAN) の影響, I. PANによる草本植物の被害症状" (投稿中)
- 19) 飯島勉, 菅田重雄, 大平俊男: "光化学スモッグによる被害植物の組織的検討", 東京都公害研究所年報, 4, 105-107 (1973)
- 20) Bobrov, Ruth A., "The effect of smog on the anatomy of oat leaves." *Phytopathology*, 42, 558-563 (1952)
- 21) Bobrov, Ruth A., "Smog damage to ferns in the Los Angeles areas." *Phytopathology*, 46, 696-698 (1956)
- 22) Bobrov, R. G., Solberg, R. A., and Scot, F. M., "A developmental study of the leaves of *Nicotiana glutinosa* as related to their smog-sensitivity." *Amer. J. Bot.*, 49, 954-970 (1962)
- 23) Haagen-Smit, A. J., Darley, E. F., Zaitlin, M., Hull, H., and Noble, W. M., "Investigation on injury to plants from air pollution in the Los Angeles area." *Plant Physiol.*, 27, 18-34 (1952)
- 24) Darley E. F., Stephens, E. R., Middleton, J. T., and Hanst, P. L., "Oxidant plant damage from ozone-olefin reaction." *Int. J. Air and Water Pollution*, 1, 155-162 (1959)
- 25) Darley, E. F., Middleton, J. T., and Garber, M. J., "Plant damage and eye irritation from ozone-hydrocarbon reaction." *J. Agr. Food Chem* 8, 583-588 (1960)
- 26) U.S. Department of Health, Education, and Welfare. Public Health Service, Environmental Health Service, "Air pollution injury to vegetation," (1970)