人工酸性雨による造園用植物への影響と指標性

三 沢 彰*
永 井 智 雄*

Damage to Plants for Landscaping by Acid Rain

Akira MISAWA
Tomoo NAGAI

摘要：酸性雨による植物被害について、主に造園用植物を供試体にして実験を行った。人工酸性液を用い、酸性度の違い、器官別差異、葉の生育ステージによる障害の差異などについて検討した。その結果、わが国の場合、酸性雨によって樹木葉が可視障害を受ける可能性はないと考えられた。しかし、花卉では種類によっては障害が発現する可能性があり、指標性を考える上では今後、より感受性の高い種類を見出すことが必要である。

1. 研究の背景及び目的

近年、広域大気汚染として降雨の酸性化、すなわち酸性雨の問題がクローズアップされてきた。世界で最も酸性度の低い値としては、1964年にPH 2.1の降雨がアメリカ北東部で記録されており¹⁾、わが国でも1973年に静岡、山梨両県でPH 2.7～3.5が記録されている²⁾。

この酸性雨の問題はヨーロッパでは、国境を越える大気汚染としても重視され、湖沼の酸性化、土壤の悪化、植物への影響等、自然生態系に及ぼす影響が問題視されている。わが国では降雨時に眼や皮膚に対する刺激を訴える人体影響、アサガオ・ツツジ等の花卉の漂白化、農作物の被害といった事例によって問題となった。このため植物被害に関しては農作物についていくつかの実験報告^{3)~5)}などがあるが、造園用植物、特に樹木に関しては皆無に近い。そこで、本研究では造園用植物への直接影響を調べるために人工酸性液を用い、植物葉と花卉に散布を行い葉・花卉にどのような可視障害が発現するかを観察した。また、人工酸性雨の濃度（酸性度）による差異、供試植物の種による差異等について検討し、さらに同一種においても葉の状態により被害の発現に差異が認められたことから、その新葉と旧葉とで葉自体のPH・含水量の測定を行ない可視障害の発生との関連を追求した。また、酸性雨に対する植物の指標性についても検討した。

なお、酸性雨とは酸性降下物のひとつである。酸性降下物の中には、雨を始めとして雪も霧も含まれる。このように酸性降下物は液体の状態で降下してくるものと、乾いた状態で降下してくるものがある。液体で降下す

るものを wet deposition, 乾いた状態で降下するものを dry deposition という。降下量としては前者が70%, 後者が30%といわれているが、植物への影響からみれば、その割合は逆転するという報告もある^{6,7)}。

一般に降水は空気中の二酸化炭素により弱酸性（PH 5.6～5.7）を示す。それが硫黄酸化物や窒素酸化物といった大気汚染物質によってさらに強い酸性を示すようになったものが酸性雨である。化石燃料の燃焼等により大気中に放出された硫黄酸化物や窒素酸化物は rainout や washout の過程を経て雨の中に取り込まれて地上に落下する。このようにして雨の中に取り込まれた二酸化硫黄や窒素酸化物は、種々の化学反応を経て亜硫酸、硫酸、硝酸等に変化し、降雨の酸性化をまねく。この機構からも理解されるとおり、降り始めの降水に比べて降水量が増すに従って大気中の汚染物質が洗浄、除去されるため、時間の経過とともに降水のPH値は高くなる。降水の酸性化の原因物質として、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- が一般に考えられているが、いずれが主原因になっているかについては現在のところ結論がでていない⁸⁾。ただ、アメリカ北東部に降った1973年のPH 4.05の雨水では、酸性度の貢献度は SO_4^{2-} が65%、 NO_3^- が30%、 Cl^- が5%と計算されており、さらに近年は NO_3^- 、 Cl^- の貢献度の上昇が確認され⁹⁾、わが国でも同様の傾向が認められている¹⁰⁾。

2. 研究の方法

2-1 人工酸性液の作成

98%硫酸と純水でPH 1.0（0.1 N）の硫酸水溶液を作り、さらにこの水溶液を純水で希釈することにより所

* 千葉大学園芸学部環境緑地学科

定の PH 値の人工酸性液を作成した。また、61%硝酸、36%塩酸と純水でそれぞれ PH 2 (0.01 N) の水溶液を作り、硫酸と同様に硝酸・塩酸の各所定の PH 値の人工酸性液を作成した。

2-2 散布方法

ハンドスプレーとマイクロピペットによる 2 種類の 방법으로散布を行なった。ハンドスプレーによる散布は、葉の散布面に対して垂直になるようにして約 10cm 離れたところから行った。散布量はハンドスプレーの引き金をいっぱいまで握り散布するのを 1 回とし、花卉には 1 回、広葉には 2 回、針葉には 5 回それぞれ散布した。この回数 (散布量) は、散布面に水滴が一樣に付着する量である。なお、このハンドスプレーの 1 回の噴出量は 0.7 ml であった。一方のマイクロピペットによる散布は、供試体の散布部位に 20 μ l のマイクロピペットを用いて、それぞれの量をスポット状に落して散布した。

散布を行なった時間は、水分の蒸発が多いと考えられる正午から午後 2 時の間とし、1 日 1 回行った。なお、葉への散布は可視障害の発現まで連日行った。

2-3 観察方法

肉眼及びルーペを用いて可視障害の有無を観察した。

2-4 供試体の PH 値測定

供試体 1.0 g に 3.0 ml の純水を加えて、すり鉢と乳棒ですりつぶし、それをろ紙によってろ過した液を PH メータで測定した。使用した PH メータは日立・堀場 PH メータ・H-7 デジタルシリーズで PH 複合電極の内部電極には AgCl、比較電極には AgCl・KCl を使用した。

2-5 供試体の含水量の測定

供試体 5.0 g を赤外線水分計で 120 °C 下に保ちその減少含水量を 1 分毎に追跡し、脱水の経時的変化について測定した。

2-6 実験経過及び供試材料

8 月上旬から 9 月中旬に行ったものを測定 I、10 月上旬から中旬に行ったものを測定 II、11 月下旬から 12 月上旬に行ったものを測定 III として各時期において千葉大学園芸学部内における植物の葉及び花卉に 2-2 の方法により人工酸性液の散布を行った。各測定ごとの供試植物は次のとおりである。

測定 I

ムクゲ	<i>Hibiscus syriacus</i>
ノウゼンカズラ	<i>Campsis grandiflora</i>
ビヨウヤナギ	<i>Norystca chinensis</i> var. <i>salicifolia</i>
キョウチクトウ	<i>Nerium indicum</i>
アベリア	<i>Abelia grandiflora</i>
スギ	<i>Clyptomeria japonica</i>
ミズキ	<i>Cornus controversa</i>

アカソ	<i>Boehmeria tricuspis</i>
イタヤカエデ	<i>Acer mono</i>
測定 II	
シナサワグルミ	<i>Pterocarpa stenocarpa</i>
カジカエデ	<i>Acer diabolicum</i>
ヌルデ	<i>Rhus chinensis</i>
フジ	<i>Wisteria floribunda</i>
サワラ	<i>Chamaecyparis pisifera</i>
サンゴジュ	<i>Viburnum awabuki</i>
ベニカナメ	<i>Photinia glabra</i>
ネズミモチ	<i>Ligustrum japonicum</i>
スギ	前掲
測定 III	
サザンカ	<i>Camellia sasanqua</i>
キク	<i>Chrysanthemum morifolium</i>
サンゴジュ	前掲
モッコク	<i>Ternstroemia japonica</i>
カイズカイブキ	<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>kaizuka</i>
セイヨウヒイラギ	<i>Ilex aquifolium</i>
サカキ	<i>Cleyera japonica</i>
マテバシイ	<i>Pasania edulis</i>
キョウチクトウ	前掲
ベニカナメ	"
ネズミモチ	"

なお、20 μ l マイクロピペットによる酸性液の散布は 9 月 4 日実施した。また 10 月 4 日にムクゲ紫花に硫酸、硝酸、塩酸を人工酸性液として 20 μ l マイクロピペットによって散布を行った。測定 III においてキク、サザンカの花弁について PH 値測定を行い、ベニカナメ、ネズミモチ、サカキ、セイヨウバクチノキ、マテバシイについて新葉・旧葉を区別して実験を行い、供試葉の PH 値、含水量の測定を行った。

2-7 実験条件

ハンドスプレーによる散布実験は、スギについては自然降雨の影響がないようにビニール屋根のもとで行ったが、他は全て学部内に生育している状態のままで行った。また、マイクロピペットによる散布は、花を切りとりフラスコに水差しして研究室内で行い、8 時間後に可視障害の発生を観察した。

3. 結果及び考察

葉及び花卉に対する硫酸人工酸性液の散布結果は表一 1～5 のとおりであった。なお、表一 3 は酸性液の成分の違いによる比較実験の結果である。また、図一 1 に花卉の PH 値を、図一 2 に新葉と旧葉での PH 値と含水量の測定結果を示した。以下に結果の概要を述べ、項目別に考察を加えることとする。

表－1 花に対する酸性液散布の影響

		pH			備 考
		2.0	2.5	3.0	
ノウゼンカズラ	花卉	+	+	+	
	葉	3－	－	－	
ビヨウヤナギ	花卉	+	+	－	水滴状に茶のふちどり
	葉	3－	－	－	
キョウチクトウ	白	+	+	－	
	花卉桃	+	+	－	水滴状に赤のふちどり
	赤	+	+	－	
	桃の葉	3－	－	－	
ムクゲ	白	+	+	+	白色から透明に変化
	紫	+	+	+	
	八重の紫	+	+	－	
	白の葉	3－	－	－	
アベリヤ	花卉	+	－	－	水滴状に茶のふちどり
	白	+	+	－	水滴状に茶のふちどり
サザンカ	花卉桃	+	+	－	
	八重の赤	+	+	±	
	白	+	－	－	白色から透明に変化
キク	花卉黄	+	+	－	黄色から透明に変化
	紫	+	－	－	

凡例
(以下表－4と同じ)

+ 可視障害発生
 ± 可視障害の発生が明確でない
 － 変化なし
 数字は連続散布日数

表－2 マイクロビペットによる酸性液散布の影響

		pH	3.00	3.15	3.25	3.30	3.50
ノウゼンカズラ	花卉		+	－	－	－	－
	白		+	±	－	－	－
ムクゲ	花卉		+	+	+	±	－
	紫		+	+	+	±	－

3－1 人工酸性液の pH 値と可視障害

硫酸人工酸性液による植物葉への可視障害の発生と酸性液の pH 値との関係については、いくつかの研究報告がある。それらの結果は、人工酸性液の散布量、散布方法、散布回数等に若干の差異はあるものの、葉に関しては pH 3.0 より低い値になると可視障害の発生が認められる点ではば一致している。本測定においても酸性雨に弱いとされているスギが pH 2.5 で連日散布17日後に障害が発生し、ペニカナメ、フジ、サワラも pH 2.5 で障害が発現したが、pH 3.0 以上で発現したものはなかった。

一方、花卉に対する実験では、ほとんどの供試体が pH 2.5 で散布後、翌日可視障害が発生しており、それぞれの葉と比較しても明らかに花卉の方が障害が発生しやすい。その中でもノウゼンカズラ、ムクゲの白花、紫花はそれぞれ pH 3.15、3.30 の硫酸人工酸性液20mlの散布により障害が発生しており、その感受性の高さが認められた。

わが国の場合、pH 3.0 以下の酸性雨が連続して降るといことは考えられず、したがって葉に対する可視障

害が天然の降雨によって発現する恐れはないといえよう。しかし、花卉に対しては感受性の高い植物なら可視障害の発現が十分考えられ、これらの植物による酸性雨の指標性が認められた。

3－2 水滴の形状と可視障害

酸性液による可視障害は散布した水滴の存在した箇所に発生する。その水滴が大きく厚いほど可視障害の発生は著しい。これは酸性液が植物の組織面を破壊するのは、その面の一定面積あたりの酸性液の浸透量によって決定されること、さらに酸性液は浸透後、あまり移動していないことを示唆している。直径の大きな水滴では、水滴の周辺から小さくなり、障害は水滴の中心に生ずることも観察された。これは水滴の中心ほど酸性液の浸透量が多くなっているため、と考えられた。また、水滴中の水分が蒸発し硫酸等が濃縮することによる酸性度の低下の影響も考えられる。

一方、花卉への散布実験では水滴がふちどりされたように脱色が観察されるものがあつた。ムクゲの白色、キクの白花、黄花では透明に脱色したのに対して、サザンカの白花、ビヨウヤナギの黄花では、それぞれ茶色のふ

表一 3 ムクゲ紫花の人工酸性雨による影響

pH		2.5 0	2.7 5	3.0 0	3.2 5
硫 酸		+	+	+	+
硝 酸		+	+	-	-
塩 酸		+	+	-	-

表一 4 葉に対する酸性液散布の影響

			p H			備 考				
			1.5	2.0	2.5					
	ス	ギ	測定Ⅰ	3+	7+	17+	新葉の下から被害			
			測定Ⅱ	2+	6+	20-	新葉から被害			
測定Ⅰ	ミ	ズ	キ	+	2+	4-				
				ア	カ	ソ	+	4-	白色化し落葉	
				カ	エ	デ	+	2+	4-	
測定Ⅱ	シナサワグルミ			+	+	15-	pH/・5で激しく被害			
		カ	ジ	カ	エ	デ	+	2+	15-	
		ヌ	ル	デ	+	+	15-	翼から被害		
		フ		ジ	+	+	14+			
		サ		ワ	ラ	2+	10+	12+		
	サン	ゴ	ジュ	新葉	+	+	15-	水滴状に赤斑点		
				旧葉	+	3+	15-			
				新葉	5-					
測定Ⅲ										
	モ	ッ	コ	ク	10-					
	カイズカイブキ				10-					
	セイヨウヒイラギ				10-					水滴ができない
	キョウチクトウ				5+	12-	12-			

表一 5 葉に対する酸性液散布の影響（新葉と旧葉との比較）

			p H			
			1.5	2.0	2.5	3.0
ベニカナメ	測定 II	新葉	+	+	4+	11-
		旧葉	3+	15-		
	測定 III	新葉	+	10-		
		旧葉	5-			
ネズミモチ	測定 II	新葉	+	+	15-	
		旧葉	+	15-		
	測定 III	新葉	2+	10+	10-	
		旧葉	2+	10-		
サカキ	測定 III	新葉	2+	5+	10-	
		旧葉	5+	10+	10-	
セイヨウバクチノキ	測定 III	新葉	5+	10-		
		旧葉	8+	10-		
マテバシイ	測定 III	新葉	3+	10-		
		旧葉	10-			

ちどりが生じ、その内側が脱色した。

また、サザンカ、ツバキの葉は酸性液を散布すると水滴が形成されず、葉面が一様に濡れたような状態になり、可視障害が生じにくく、重力落下の方向の下側の葉縁から障害が発現した。つまり、水滴とならないためにその厚さが薄くなり一定面積あたりの酸性液の浸透量が少なくなることにより可視障害が発生しにくく、重力落下の方向に液がたまるため、その部分から障害が発生するものと考察された。

3-3 供試体の生理状態と可視障害

葉の可視障害は、秋（測定 II）より冬（測定 III）、新葉より旧葉の方が発生しにくいという結果であった。秋より冬という季節的变化は、日照・温度・湿度などの気象の変化も考えられるが、ここでは秋から冬の時間的变化、つまり葉が新葉から旧葉化すると考え、新葉と旧葉の生理的差異と可視障害との関係について考察してみたい。

硫黄酸化物による植物影響は生長し終った新葉に生じやすいという報告¹⁰⁾がある。本実験でもスギにおいて同

様の結果が得られた。スギは8月下旬の実験では新葉よりも下方の幹よりの成葉から障害が発生したのに、9月中旬の実験では新葉から発生した。これは8月下旬にはまだ生長し終わっていなかった新葉が9月中旬には成葉化したためではないか、と推定された。測定Ⅲ（冬）の実験でも、明らかに新葉より旧葉の方が障害が発生しにくいことがわかる（表－5）。この原因を検討するために新葉、旧葉それぞれのPH値、含水量を測定した結果が図－2である。供試体のPH値が高ければ散布される人工酸性液とのPH値差がひろがり、酸性度によるストレスが大きくなって可視障害が発生しやすいのではないかと考えられたからである。しかし、結果はネズミモチ以外はすべて旧葉の方がPH値は高かった。特に可視障害の差異の著しいベニカナメにおいては、PH値にして0.7旧葉の方が高い値であった。これらは上記の仮説とは逆の結果であり、PH値が7.0に近いということは、安定した状態にあるといえるのであって、供試体の酸性度が小さいということは、それだけ水素イオンに対する緩衝能力が大きく、人工酸性液の浸透に対しても抵抗性を示すものと考えられた。

次に供試体の含水量であるが、これは水素イオンに対する緩衝機能が含水量によって影響されるのではないかという仮定による。しかし、結果はこれも逆であった。水素イオンの緩衝機能は解離した有機酸や塩基性物質が関与しているという研究報告もある。含水量による緩衝機能の差は存在しないといえよう。なお、新葉は旧葉に比べて組織が柔らかいである。その柔軟さが人工酸性液の浸透を容易にしているために障害が発生しやすいのではないかと考えられるが、スギの測定Ⅰの例もあり一概にはいえない。

3－4 人工酸性液の組成と可視障害

人工酸性液の散布実験は主として葉によって行われることが多いが、いずれも硫酸、硝酸、塩酸等の人工酸性液の組成について述べた研究報告は少ない。もっぱら酸性度の比較、つまり水素イオン濃度の高低によって可視障害の発生は左右されるとしている。しかし、花卉による今回の測定結果では人工酸性液といってもその組成によって障害の発現の仕方が相違することが明らかであった。花卉の色素の研究においては、フラボノイド類の色素は存在する細胞液のPHによって、PH値が減少すると変色するという報告もあるが、これは変色であって脱色ではない。人工酸性液による可視障害は水素イオンによるものだけでなく、硫酸、硝酸、塩酸といったそれぞれの化学性に起因するものも考えるべきである。この色素と酸性液との研究をさらに進めることによって、酸性液の脱色作用に敏感な色素の発見が可能であり、これはまた、植物の酸性雨に対する指標性の検討にも有効であると考えられる。

図－1 花卉のPH

図－2 新葉と旧葉でのPHと含水量

4. まとめ及び今後の課題

以上の実験の結果を総括すると、わが国の場合、酸性雨によって樹木の葉が可視障害を受けることはまず考えられない。しかし、花卉では種類によっては障害が発現する可能性はあり、指標性を考える上では今後、より感受性の高い種類や花色を検討することが必要であろう。

今回は植物の表面に酸性液を散布した上での障害の発現をみてきたのであるが、酸性物質は酸性雨だけでなく固体、気体状の大気汚染物質の中にも存在する。この問題を考えるためには、このようなものを含め酸性降下物としてとらえる必要がある。また、酸性雨による植物被害の一方の問題は、土壌の酸性化にともなう根系の活力低下に関する点である。これらについてはいずれも今後

の課題である。

なお、本報は昭和60年度に千葉県環境部より受けた「環境汚染等が人体及び動植物に与える影響調査研究」の一部をなすものであり、また、国立公害研究所の嘱託研究員として行った研究の一環でもある。本研究の遂行にあたっては、千葉大学園芸学部緑地保全学講座の高橋啓二教授と国立公害研究所大気環境計画室の植田洋匡室長のお世話をいただいた。ここに記して深く感謝申し上げる次第である。

引用文献

- 1) 大喜多敏一(1977): 湿性大気汚染—酸性降雨—: 公害と対策, Vol. 13 No 7
- 2) 大喜多敏一(1983): 酸性雨の物理と化学: 公害と対策, Vol. 19 No12~Vol. 20 No12
- 3) 藤原喬・梅沢武・河野吉久(1980): 酸性雨の数種植物に対する試験ならびに文献調査: 電力中央研究

報告

- 4) 荒井邦夫・戸塚績(1979): 植物—土壌系への酸性雨の影響: 国立公害研究所報告 第10号
- 5) 関東地方公害対策推進本部大気汚染部会(1981): 湿性大気汚染調査報告書
- 6) 小山功・古明地哲人・小峰昌弘(1985): 降水の低PH化とその気象条件: 東京都公害研究所年報
- 7) 古明地哲人・小山功(1985): 降水中化学成分濃度の長期的推移とその特性(Ⅱ): 東京都公害研究所年報
- 8) 網川正男(1974): 酸性降雨による被害の発生と対策: 大気汚染ニュース No83
- 9) Likens, G. E. and Borman, F. H. (1977): Acid rain Science 184
- 10) 平石尹彦(1984): 酸性雨問題の把握: 公害と対策 Vol. 20 No 1

Summary : We investigated on damage to plants for landscaping by acid rain. We made some experiments on the damage to difference in hydrogen ion concentration of manmade acid rain, in the organs of plants and in the life stages of the leaves.

From the results, it is assumed that the leaves of trees and shrubs do not receive the damage visibly by acid rain in Japan. But, it is feared that the petals of some kinds of plants receive the damage by acid rain. So, investigations on plants susceptible to acid rain are necessary for the indication.