

酸雨研究報導

陳錫金*李春齡**

內容

本文分成(一)研究史(二)國外觀測情形：(1)水質觀測(2)大氣觀測(三)國內觀測情形(四)酸雨於對流層中氣相化學反應生成之探討(五)酸雨之影響：(1)對河川、湖泊水質之影響(2)對水生物之影響(3)對森林之影響(4)對土壤之影響(5)對作物之影響(6)對建築、物體之影響(7)對人體之影響(八)防範之對策(九)參考文獻。

一、研究史

在各別獨立排放源附近，有酸性雨的報導，此需追溯到1872年，但首次使用 pH量測表示的，則是1939年在美國Maine州之 Brooklin，當時測得之pH值為5.9，其後1949年在 Washington D.C，8個採樣點之 pH量測值為4.2。

從1964至1966年，美國國家氣象研究中心(The National Center for Atmospheric Research)展開首次全國大規模性的酸雨沉降之 pH量測，此發現東北地區之 pH值低至4，西部中區之 pH值在7以上，西北地區之 pH值在6以下，由此可知1970年代中葉前，東北地區即顯示有酸雨的沉降，至1978年美國國家大氣沉降計畫中則已設立50個取樣站來偵測酸雨沉降的化學作用。

歐洲部份，從1950年代瑞典即開始一連串的研究。沉降化學之偵測網自 Scandinavia 建立後，立刻擴及西歐各國，偵測之 pH值為5~6，而最低值則出現在挪威的南方。又自1950年代起亦有逐年酸化的現象，約從過去的6.0降至目前的4.0左右，但 pH值達到4.0以下，亦是常有之事。

雨水通常存在大氣中，雖可因 CO_2 的溶解而稍受碳酸(H_2CO_3)之微酸性的平衡影響，但硫酸、硝酸等氣體受大氣中雨水的沉降沖刷而導至生成pH值低於5.6之酸性雨水，即稱之為酸雨。

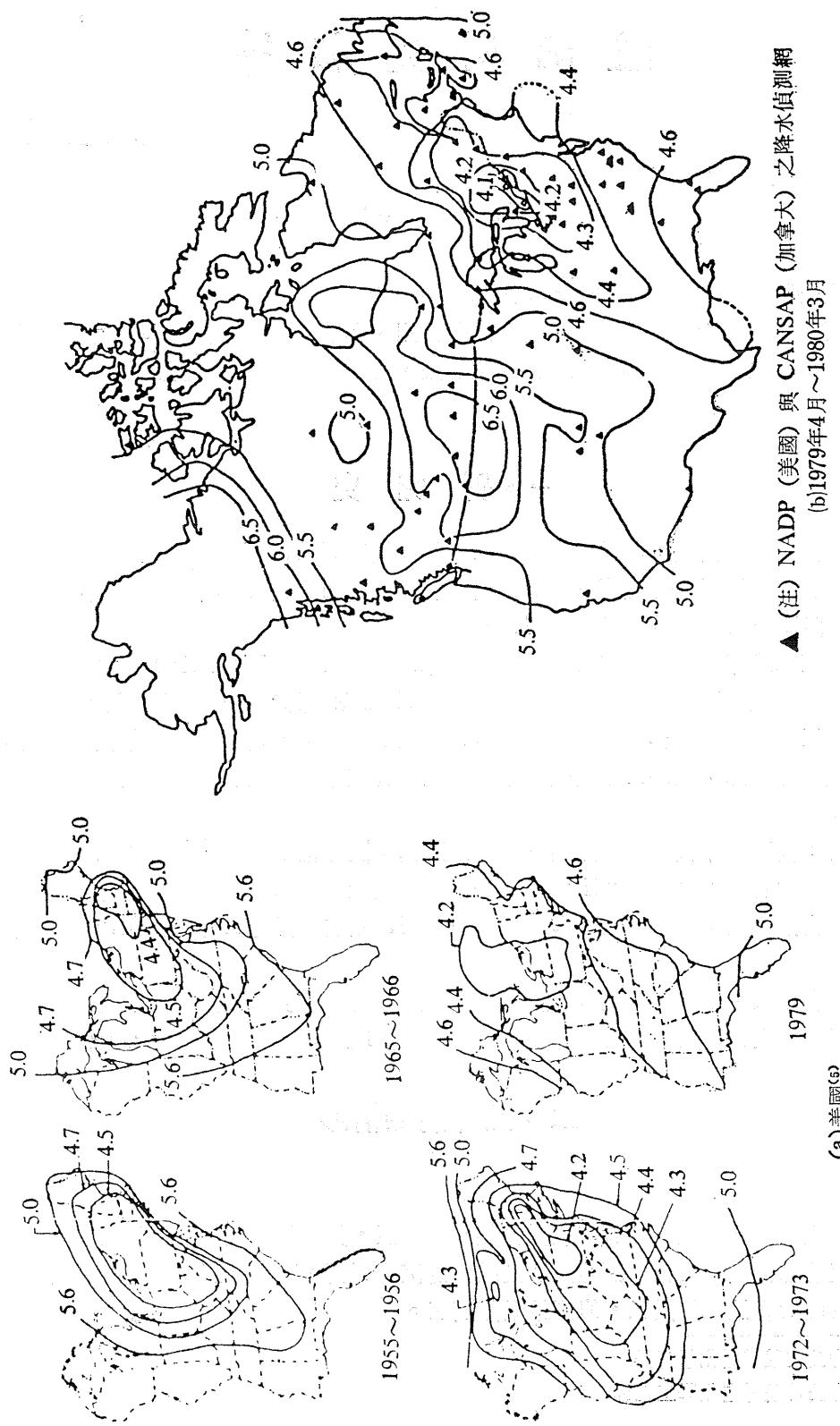
二、國外觀測情形

1. 水質觀測

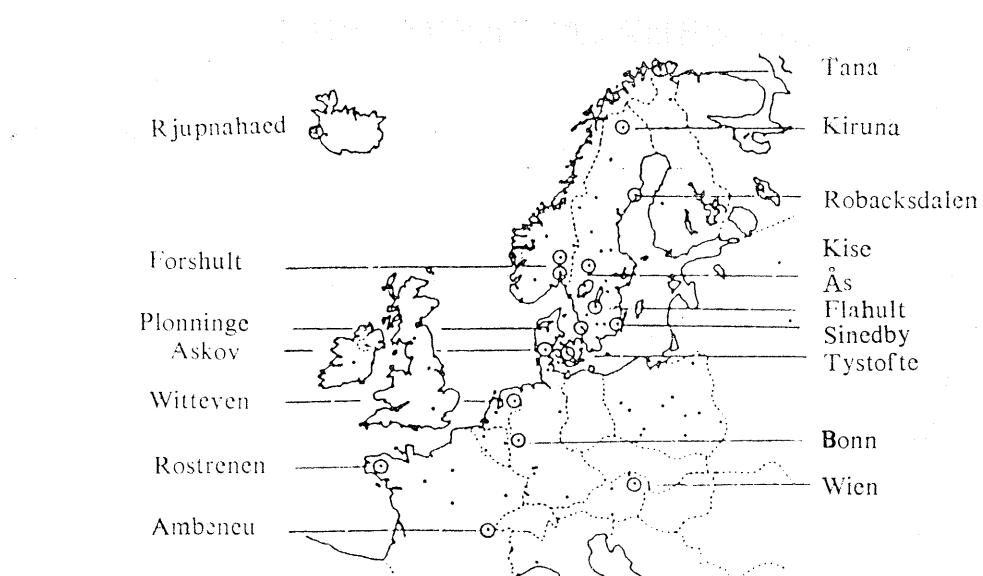
美國國家大氣沉降計畫研究調查包括整個北美地區，其結果如圖一，由此圖中可知北美洲東部，即美國東北部與加拿大東南部地區受到酸雨的沉降影響，歐洲地區；1955年開始在國際氣象研究所，遍及西歐設站，如圖二，偵測結果如圖三。

* 臺灣電力公司發電處化學課長

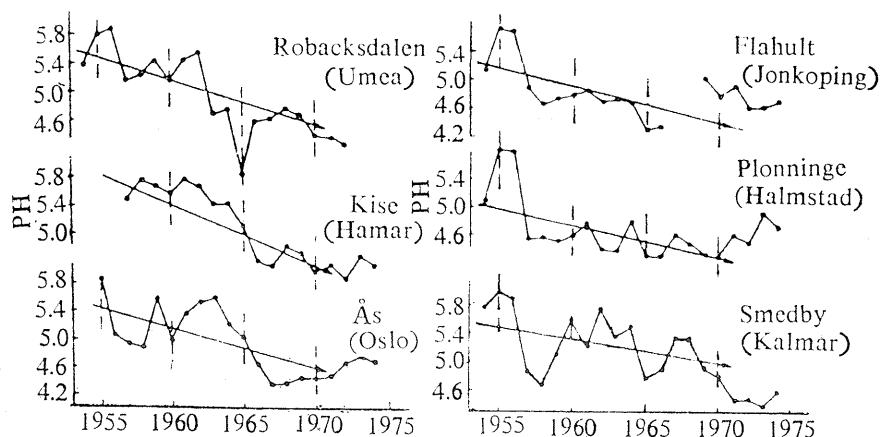
**臺灣電力公司發電處化學工程師



圖一 北美洲降水之酸性化



圖二 歐洲大氣化學偵測網採樣站



圖三 降水之 pH 之經年變化

以上之研究，除了 pH 的量測外，亦包括雨水水質的化學成份分析，陽離子有 Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{++} , K^+ 、陰離子有 SO_4^{-2} , NO_3^- , Cl^- 及鹼度、導電率等項目，同時發現一共同的現象，酸雨地區其雨水中的重金屬濃度，除鋁外，皆比非酸性雨域高，如表一。

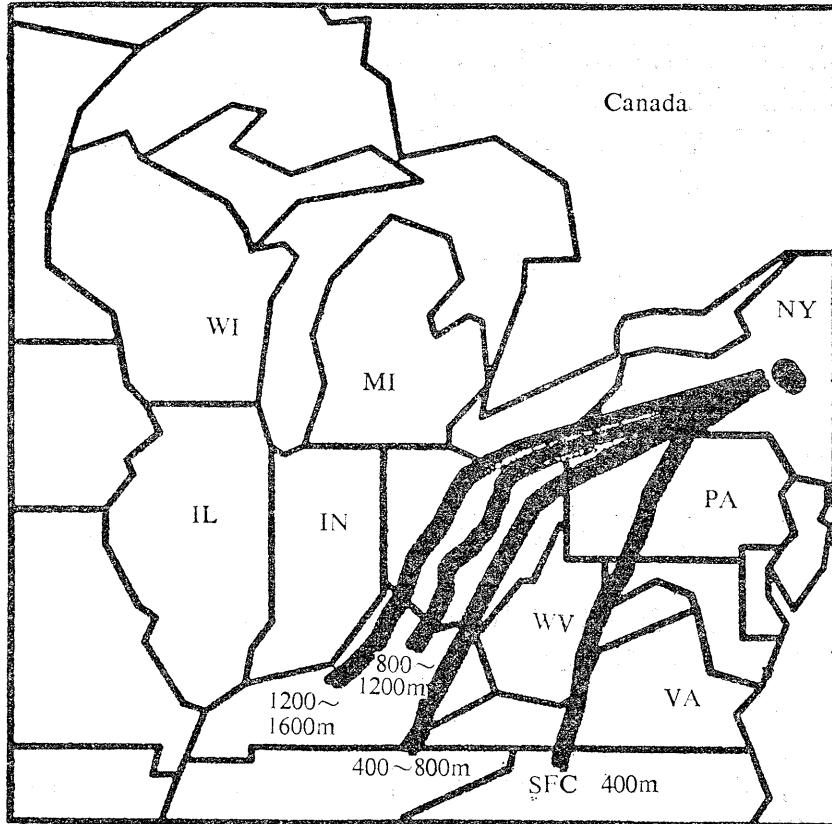
表一 酸性雨域與非酸性雨域降水中金屬類

降 水 之 種 類 與 地 域	金 屬								
	Al	Cd	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn
	濃 度($\mu\text{g}/\ell$)								
非酸性雨域									
雪(マニトバ)			<1	<2		<1	<2	<1	<1
雨、雪(ネブテスカ)	350	0.3	4			5		5	10
雨(挪威北部)		0.4				4		3	38
年平均(挪威北部)		0.2				4		4	8
酸性雨域									
年平均(挪威南部)		0.3	5.3			7		13	29
年平均(サドベリー)		0.6	11	36		30	7	21	26
雨、雪(minnesota)	56	0.2	4	38		3	1	7	93
雨(ニューハンプシャー)		0.6			0.06			13	
年平均(マサチューセッツ)	49	<0.5		27		3	<5	26	<75
年平均(歐洲中部)	190	1.2	21	150	0.04	20	1	38	370
雪(瑞典南部)		7	9	216		5	48	64	311
雪(挪威南部)		0.5	2					3	28
雪(ケバソク)					2.9				
	年間沉積量(g/ha)								
非酸性雨域									
美洲中北部5地點				5	7		26	7	22
酸性雨域									
美洲東北5地點					293		190	60	703
ニューハンプシャー			9	326		0.8			196
歐洲中部	2,000		13	224	1,600	0.4	200	15	405
紐 約							173		3,900
								183	235

2.大氣觀測

大氣中酸性污染物質、硫酸、硝酸等大量的增加，乃由於世界各國產業活動增加，大量使用化石燃料燃燒所排放廢氣造成之結果。因煙氣在沉降前，於大氣中飄送變化多端，對於排放污染源煙流傳送與酸雨形成地區之間究竟關係如何，此美國分別以物理、化學兩種傳送方式加以研究如下：

- (i) 物理傳送方式——以空氣質量，傳送途徑分析(Air mass trajectory analysis)與長距離傳送模式(long-range transport models)兩種程序加以研究，此與煙流的排放高度、風速、風向、地球、公轉等條件息息相關。美 Samson 及 Moody 曾於紐約市以此種方法，反推出 4 種來自北 Carolina 至西 Kentucky 州之傳送途徑，如圖四。



圖四 從選擇出不同高度之排放源，依風向而反推出四個可能來自的空氣質量擴散途徑（資料來源：Samson 及 Moody, 1980）

- (ii) 化學轉化方式——酸性污染物質 SO_2, NO_x 等排放至大氣中，停留 1 ~ 4 天所可能發生光化學反應現象之探討。

三、國內觀測情形

1979年由臺大植物病蟲害學研究所孫岩章、吳瑞鈺展開臺灣地區酸雨的調查研究工作，其工作的範圍、項目，包括雨水的收集與雨水 pH 測定、化學成份 ($\text{SO}_4^{2-}, \text{NO}_3^-, \text{Cl}^-$ 離子) 的定量分析等。詳述如下：

- (i) 雨水的收集，即樣品採樣——於 5 ~ 6 月間在臺北地區採得 57 個樣品，桃園、新竹地區 78 個樣品，高雄縣大社鄉採得 1 次雨水，嘉義市 4 次雨水。6 月以後，臺灣已進入夏季型有陣雨的氣候，在臺北地區採集 27 個樣品，8 月份在屏東南州鄉採集到 3 次雨水樣品。

。颱風雨季節，約每4小時採雨1次，臺北地區共採集25個樣品，高雄縣大社鄉及屏東縣南州鄉則採集了15個樣品。

(ii) 觀測結果顯示——1979年5月及6月間發現臺灣北部地區雨水的平均酸鹼度為pH4.4~4.8，同期間在嘉義與高雄採集5次雨水，亦測得相近之酸鹼度。隨後在夏季(6~10月)期間，收集臺灣北部地區的雨水，測得其酸鹼度為pH3.9~5.3，平均為4.2。同期間自屏東南州鄉採得3次雨水，平均亦為pH4.2，由此證明臺灣已處於酸雨的威脅之下。分析上述雨水中無機酸成份之結果，發現臺灣5、6月雨水約含有4ppm的 SO_4^{2-} ，0.7ppm的 NO_3^- ，及檢定不出的 Cl^- ，但桃園沿海地區的雨水則另含有12.4ppm的 Cl^- 。臺灣的夏季雨發現含有10ppm的 SO_4^{2-} ，2ppm的 NO_3^- ，亦檢查不出 Cl^- 的存在。另在夏季颱風來臨期間於臺北採得25次雨水樣品，發現其酸鹼度平均為5.8，含 SO_4^{2-} 僅1ppm， NO_3^- 為0.4ppm， Cl^- 則達8.7ppm，大部份不是酸雨。同期間自高雄、屏東採得的雨水15次，酸鹼度平均為6.6，含 Cl^- 為1.6ppm，顯示皆受到海水的污染，但皆非酸雨。

* 目前國內(行政院環保局、臺電)僅止於水質方面的觀測；行政院環境保護局並草擬與亞洲各國合作進行酸雨的研究計畫。

四、酸雨於對流層中氣相化學反應生成之探討

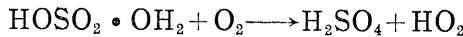
美國國家大氣研究中心Jack G. Galvert及William R. Stockwell所做之研究，最初在實驗室中模擬之化學反應約有130種，其中參與反應之因子，包括有陽光(照射引起刺激反應)、碳氫化物(HC)， $\text{RCHO}, \text{NO}_x, \text{SO}_x$ 及其他人為之污染物質。而碳氫化物模擬之過程，為避免各種過多的反應數目、種類及不合理的計算反應後之時間，通常以3個步驟之HC代表之，即由最基本之alkene, alkane反應成為propylene, propane，再生成 RCHO, RO 類之化物，如 $\text{CH}_3\text{CHO}, \text{CH}_3\text{COCH}_3$ 等，其研究結果顯示：

1.目前使用Computer模擬對流層中，酸污染物質在此對流空氣質量裏之氣相化學反應愈來愈重要。在清澈的夏日時刻，酸在雲水中之反應，並不是最重要的。所選取之情況(Case)為在進行長程傳送空氣污染物質中，平均 SO_2 轉化成 H_2SO_4 之氣相氧化率為13~24%/24小時(50%相對濕度)，當相對濕度增加時，速率增加。

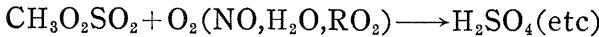
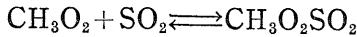
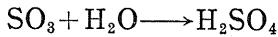
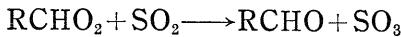
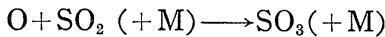
2.酸污染物質排放分佈及反應產物之可能傳送程序

(A) SO_x 部份

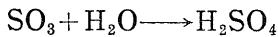
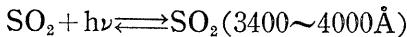
- (i) $\text{HO}-\text{SO}_2$ 反應 $\text{HO} + \text{SO}_2 (+ \text{O}_2, \text{H}_2\text{O}) \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HO}_2$ 可能來自
 $\text{HO} + \text{SO}_2 (+ \text{M}) \longrightarrow \text{HOSO}_2 (+ \text{M}) \dots\dots (1)$ ($K_1 = 1.14 \times 10^{-12} \text{ cm}^3/\text{mole} \cdot \text{sec.}$)
 $\text{HOSO}_2 \dots\dots \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
 $\text{HOSO}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{HO}_2 + \text{SO}_3$
 $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
 $\text{HOSO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HOSO}_2 \cdot \text{OH}_2$



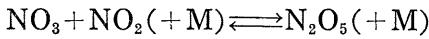
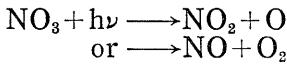
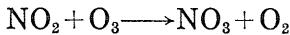
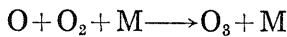
(ii) Criegee 中間介質—— $\text{CH}_2\text{O}_2, \text{CH}_3\text{CHO}_2, \text{RCHO}_2$ 等參與之反應式



(iii) $\text{SO} + h\nu \rightleftharpoons \text{SO}_2 (2900 \sim 3400 \text{\AA})$

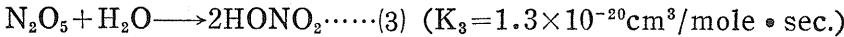
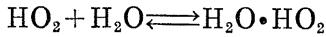
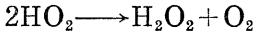


(B) NO_x 部份

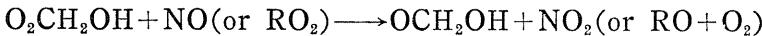
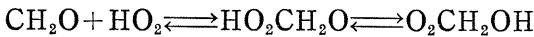
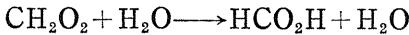
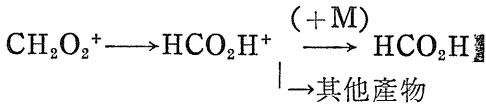


晚上易生成之反應 $\text{NO}_3 + \text{CH}_3\text{CHO} \longrightarrow \text{HONO}_2 + \text{CH}_3\text{CO}$

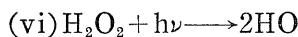
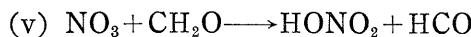
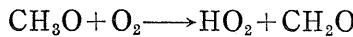
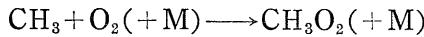
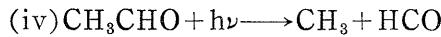
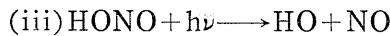
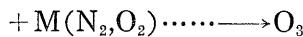
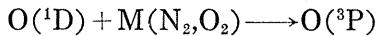
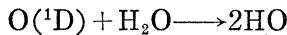
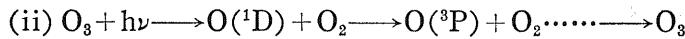
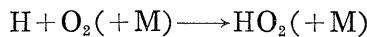
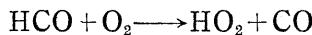
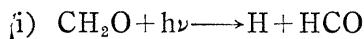
晚上易生成之反應 $\text{NO}_3 + \text{CH}_2\text{O} \longrightarrow \text{HONO}_2 + \text{HCO}$



(C) 其他



其中 HO 基之生成，來自



3.理論上， NO_2 生成 HONO_2 之轉化率遠大於 SO_2 ，而 $\text{N}_2\text{O}_5 - \text{H}_2\text{O}$ 反應速率常數依反應(3)式而定。 K_3 之最大值是在相當污染之對流層中平均每 24 小時多，為 $16 \sim 19\%/\text{h}^{-1}$ (50% 相對濕度)。替代性假設 $K_3 = 0$ ， $\text{NO}_2 \rightarrow \text{HONO}_2$ 之 24 小時平均速率為 $6 \sim 11\%/\text{h}^{-1}$ (此情況在相當污染之空氣團中)。 NO_2 氧化率生成氣相 NO_3 與 N_2O_5 之程序，理論上不僅在白天，亦可連續在夜間生成。

4.對流層中，觀測液相程序，至少需注重用氧化劑 H_2O_2 及 O_3 生成 HSO_3^- 之雲化學。雲層多，則 SO_2 經由 $\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}_2$ 及其他氧化劑轉化成 H_2SO_4 之速率相當快，此即是實際上的生成之主要地方。

5.氣相化學反應總生成酸中，約有 $5 \sim 20\%$ 是由有機酸組成，其他液相反應也可能為有機酸之加入者。

6.目前為模擬控制酸生成實際影響之任何變數，而發展大氣傳送——運輸模式 (atmospheric transport and transformation model) 是必需的。Golomb 等研究酸雨模式動力分析，測定 SO_2 及 NO_x 之酸度為重要的因素，其認為正確的模擬必需包括時間與空間變數之氧化生成率常數。酸雨控制策略的成功與否完全尚建立在這仍未確知、非完全科學化、及推測之模式研究上。

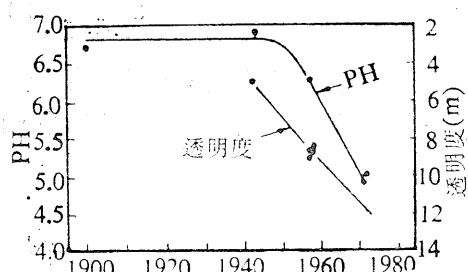
五、酸雨之影響

1. 對河川湖沼水質的影響

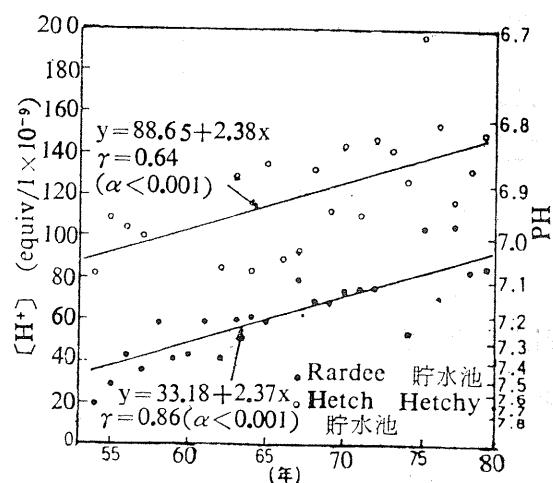
1-1 水質酸性化——歐洲 Almer 於 Swedish 湖西岸地區 3,000 多湖沼中選取代表性湖沼約 400 個，調查研究結果如表二及圖五，美國 Mc Coll 1981 年於 San Francisco Bay 地區，貯水池調查結果，如圖六。

表二 Swedish 西岸地區中湖水之 pH

pH	湖泊之數目		
	1970年 11月～12月	1971年 4月～6月	1972年 8月
≤3.9	15	4	3
4.0～4.9	97	79	17
5.0～5.9	67	129	35
6.0～6.9	116	124	63
≥7.0	19	47	43
調查之湖數	314	383	161
<5.0	36%	22%	12%
<6.0	57%	55%	34%



圖五 Stora Skarsjon 湖水之 pH
與透明度之經年變化



圖六 Pardee 貯水池與 Hetchy Hetchy 貯水池中 H^+ 濃度之經年變化

1-2 酸性化同時伴存金屬類濃度的增加——酸性化湖沼之水質比非酸性化湖沼中之金屬濃度來

得高，如表三，此原因可能是酸雨中伴存的金屬類直接沉降到河川或湖沼，或酸雨使流域中土壤、底泥中之金屬類酸化溶出，而後流入河川、湖沼的結果。

表三 酸性度不同之湖沼之金屬濃度($\mu\text{g/l}$)

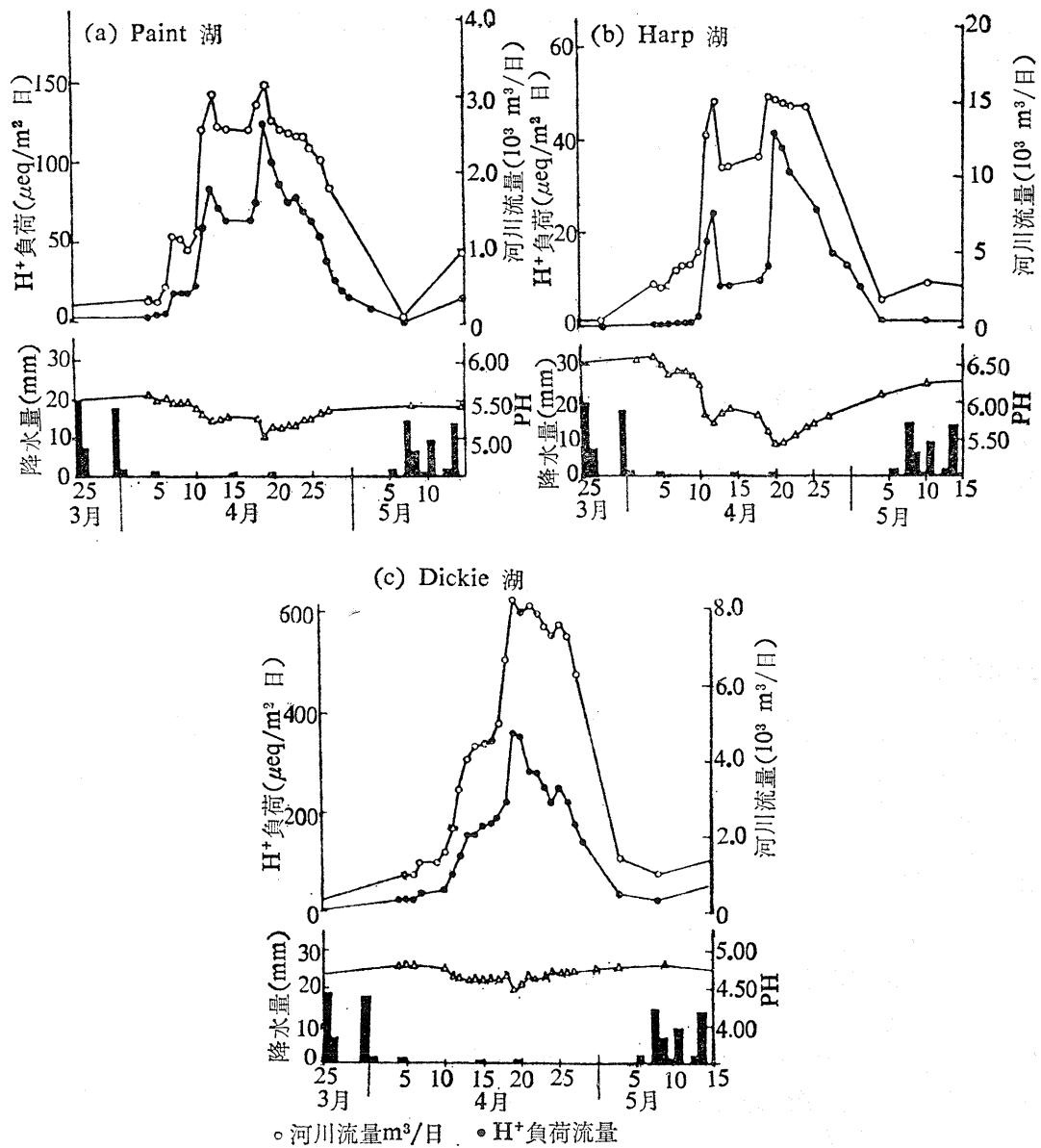
湖沼	金屬						
	Al	Cu	Cd	Mn	Ni	Pb	Zn
非酸性湖	(pH 6.0~7.8)						
Ontario 州 102 湖沼之平均	2	<0.1	3	<3	<1	<1	<1
Blue Chalk 湖 (Ontario州)	13	8	40	3	9		
Panache 北 (サドベリー)		6		28		6	
瑞典北部	<50		0.05~0.23	<100			10~30
挪威中央部		1~10	0~0.5			0~5	1~17
北挪威北部	<20~65						
非酸性湖與酸性湖中間之湖	(pH 5.5~6.0)						
Ontario 南、中部 14 湖沼之平均	5.7		49	3.6		12.6	
均ネルヘン湖 (Ontario州)	13	13	18	10		16	
酸性湖	(pH 4.1~5.3)						
Ontario 州 4 湖沼之平均	3	0.4	239	10	2	30	
Clearwater 湖 (サドベリー)	453	97	300	215		46	
サドベリー中 4 湖沼之平均		450	338	820		83	
瑞典西岸	200~600		0.08~0.63	300~400		1~5	30~122
挪威南西部		1~10	0~0.6			1~10	3~35
Langtjern 湖 (挪威)	218	6	0.21			2	15
挪威南部	50~600						
アディロンダック公園中湖之平均	286			45			23
挪威南部	40~600						
瑞典西部	288	1	0.2	190		3	28

1-3 水質之 pH 與季節變化——加拿大 Jeffries 研究流入湖沼之河川水質，其酸濃度在冬季末期，春季融雪之際，會將原蓄積在河川或湖沼中之酸性化屬或金屬類一舉宣洩出來，而致 pH 值低下，如圖七。

2. 對水生生物之影響

2-1 依據 Alabaster, J. S & Lloyd, R 研之究顯示，如下：

當 pH 為 5.0~5.5 時——魚類的數目受到抑制，但如水中含 CO_2 濃度不高過於 25ppm 以上，且不含鐵成份，則魚類不會迅速致死。而感受性強的魚類，其卵或幼苗也常會致死。底生無脊椎動物，如蚋蠅 (Simuliidae)、蜉蝣 (Ephemerella)、搖蚊 (Chironomidae) 等之數目會產生變化，而蜉蝣之類，則會致死。細菌類的種類會減少，但酵母、硫酸菌、鐵菌變化則普通。藻類增多、高等植物也會生長。



圖七 雪融期間之河川流量 pH, H^+ 負荷與水量

當 pH 為 $4.5 \sim 5.0$ 時——冷水魚不生育，鮭魚的卵及幼魚會致死。鮭魚也不會產卵，高濃度雖有害生存但不會致死。鮭魚 (*Salm trutta*) 成魚能存活。底生動物相受抑制，蜉蝣之數目減少。數種典型之 (*Plecoptera*) 積翅目類昆蟲會致死。主要存活的藻類為莖藻類。

當 pH 為 $4.0 \sim 4.5$ 時——魚類之數目受限制，僅數種能生存，如鱸魚、數種之雜魚等。鱗魚於此環境下會致死。蜻蛉類則能存活。植物相受限定。當 pH 為 $3.5 \sim 4.0$ 時——鮭魚

類等會致死。鯉科之 roach、tench、鱸科 (perch) 等，於馴化後或可耐受更高的酸度，但 pH 值接近3.5時，鯉科(roach)會致死。

當pH為 3.0~3.5時——魚類數小時以上生存希望皆不可能存在，僅一些無脊椎動物，數種的藻類存在，當pH更低時，有時亦可見其存在。

2-2 水質酸性化後，致使底泥與水質之物質交換營養鹽之循環受妨礙，又土壤微生物分解葡萄糖及硝化能力受阻，植物浮游生物或細菌產生負的feedback 作用，Grahn O., & Landner L. 等研究結果稱之為貧營養化現象 (Self-accelerating oligotrophication).

3.對森林之影響

美國 Arthur H. Johnson 及 Thomas G. Siccama 研究調查東部森林樹木衰敗、枯死的因素，不外人為及天然因素所造成，天然因素即指樹木本身之樹齡等，人為因素，則可能受 O_3 、 SO_2 酸雨沉降、土壤 Ca、Al 成份影響，外加天候變化乾旱或感染病毒等因子催殘，致使併發衰敗死亡。森木枯死原因很多，是否全來自酸化雨，似難斷言，但調查顯示酸雨地區之森林土壤常含高 Al、Ca 成份，不利根組織細胞之生存，而衰敗之林木葉中含硫成份通常比健康的多約 10%。

4.對土壤之影響

酸雨可能干擾生物分解營養物重貯回土壤中之程序，並且可能使 Ca、Mg 等元素很快地從土壤中被溶出，遠超過植物生長所需。瑞典的研究中森林中的土壤在酸雨影響下，受限制，僅低營養物質滲出而已。

5.對作物之影響

酸雨干擾作物的光合作用程序，使碳氫化物貯存功能破壞而造成碳氫化物產物減少。葉綠素為植物行光合作用轉化成碳氫化物之組織，但當 pH=3 時，葉綠素被酸從植物體中移出，變白而失去應有的功能。此意即酸雨干擾光合成作用之反應機構。

實驗室所進行之研究，當 pH 值為 2~3 時，多葉植物，如菜豆、蕃茄、萐苣、蘿蔔、松樹等，葉片枯死、成長受到抑制，但天然環境中，酸雨對大宗農產物如大豆的影響，據某些研究結果，却反而光合成反應率增加、葉中葉綠素更多，惟缺乏作物產量明顯不同的統計資料。

此種，對作物產生有益的衝擊，對某些地區，如美國南方之松樹森林更益形重要，據估計氮肥中，約有40%來自大氣，沉降中的氮成份，再由植物轉化成營養物質。

6.對建築物體之影響

酸雨會侵蝕塗漆體表面，特別是對車輛。同時也會引起鋼料腐蝕、及暴露在大氣中之石像表面崩壞。希臘塑像歷經很多世紀，惟獨這個世紀崩壞最烈，美芝加哥現場天然歷史博物館也顯現具70年歷史的大理石已進一步崩壞。由於大理石做成的雕像，會與沉降雨中的硫酸反應，生成石膏，而形成黑色皮剝落下來，所造成嚴重的破壞性堪虞。

7. 對人體之影響

中度酸性雨，滴在人體皮膚、毛髮上，影響較少；當生成的硫酸、硝酸等酸霧，被人體吸入，附著在肺臟及鼻咽黏膜上的感受性比皮膚要大得多。人體直接暴露在酸雨下之恕限值(threshold levels) 與衝擊性如何，目前仍在研究中。

六、防範之對策

一般而言，燒煤與燒重油之工廠、機組等是 SO_2 及 NO_x 之最大來源，若能控制此些廢氣的排出，大抵便能減低雨水的酸度。故依 Likens(1972)的建議：酸雨的防治之道包括：(1)節約能源(2)工廠增設脫硫設備，使用低硫燃料(3)改變燃燒方法，減少廢氣排出(4)使用替代能源如核能等。美國國家酸雨沉降評估計畫(The National Acid Precipitation Assessment Program)所擬的對策，包括(1)酸雨沉降既有知識現狀及其影響評估(1)推薦有效管理酸沉降之政策或行動(3)改善受酸沉降傷害影響之策略。而此計畫，將有一般性的策略，如(1)依現有努力去發展聯邦之酸雨計畫(2)使用既有的科學知識(3)初期長程計畫研究(4)建立長程國家之趨勢工作偵測網(5)繼續評估酸雨方面的訊息及其影響。此計畫，必需由 EPA、國家海洋及大氣管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration)、及其他政府代理 (Government agency) 共同組成之代表通過始能推動。

未來美國酸雨的控制策略的採取，最主要的是依據現況與政治因素。從法規明定，要求執行最為可行，此雖必經國會同意，但已定或即將實施之法規，如美、加之 Memorandum of Intent on Transboundary Air Pollution; New York/Pennsylvania Interstate Pollution Petition; The Acid Precipitation Act of 1980; The Clean Air Act Amendments of 1981等對酸雨的減除，確有助益。

另有 Argonne National Laboratory 之 David G. Streets 等所研究之替代減除策略，如 BP5、CWM、CP2、STF、DAM 等，所謂：

BP5——為無特殊的酸沉降控制策略。

CWM——使用洗煤計畫。

CP2—— SO_2 排放之總量限制在 $2\ell b \text{ SO}_2 / 10^6 \text{ BTU}$ ，其餘與 BP5 類似。

STF——符合 The Stafford 法規 (S3041)，擬定於 12 年內減除 SO_2 之量為 8 million tons/y.

DAM——符合 The D'Amours 法規 (H. R. 4816)，在酸雨減除區 50 個大 SO_2 排放源之 SO_2 排放量，需減少 85%。大於 100MW 之機組其 SO_2 排放總量需在 $1,2\ell b / 10^6 \text{ BTU}$ 以下。

其他，亦考慮使用低 NO_x burners、低氮燃料，添加中和處理藥劑，如 CaCO_3 、 Ca(OH)_2 、 CaO 等於分水嶺或湖沼中。

總之，酸雨之防範方法，不論治本或治標，不外：

1. 設立酸雨偵測站，分析污染成份與調查經年之變化情形。

2. 進行酸雨影響之評估。
 3. 研究空氣質量傳送途徑分析與長距離傳送模式。
 4. 阻斷污染物質轉化成酸雨前之可能進行的化學反應。
 5. 使用中和處理藥劑於受酸化地區之水質中，以資補救。
 6. 使用低硫、氮等燃料。
 7. 增設排煙脫硫、脫硝設備。
 8. 燃煤使用洗煤技術，去除污染之雜質。
 9. 改變燃燒方法，減少污染量。
 10. 採低 NO_x 燃燒器等之低污染設備。
 11. 使用替代能源，如核能、太陽能、風能、海洋溫差發電等。
 12. 明定環境保護有關之法規。
- 上項酸雨防範方法的選用，惟需經過經濟可行性之先行研究，始探行。

參考文獻

1. George Nicholas and Richard R. Boyd, "Acid Rain", Engineering Bulletin 58/Dec. 1981.
2. 細見正明、須藤隆一，“陸水域にぼす酸性雨之影響”，用水と廢水 Vol NO. 9、NO. 11.
3. 孫岩章、吳端鈺，“臺灣地區的酸雨”，科學發展月刊第 8 卷第五期抽印本，69.5.1 出版。
4. Arthur H. Johnson, Thomas G. Siccama, "Acid deposition and forest decline", Environ, Sci, Technol, Vol 17 NO. 7. 1983.
5. David G. Streets, Duane A. Knudson, Jack D. Shannon, "Selected Strategies to reduce acidic deposition in the U. S", Euviron, Sci, Technol, Vol 17, NO. 10. 1983.
6. Jack G. Calvert, William R. Stockwell, "Acid generation in the troposphere by gas-phase chemistry", Environ, Sci. Technol. Vol 17, NO. 9, 1983.
7. 其他