HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	大気汚染と酸性雨
Author(s)	太田, 幸雄
Description	平成20年度北海道大学公開講座　持続可能な社会と北海道発見ー地球環境と私たちのくらしー. 平成20年7月3日～平成20年7月31日. 札幌市
Relation	平成20年度北海道大学公開講座持続可能な社会と北海道発見 : 地球環境と私たちのくらし. pp.19-23.
Issue Date	2008-07-14
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/34613
Type	other
File Information	47-A5.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

第４回

大気汚染と酸性雨

太　田　幸　雄

太　田　幸　雄（おおた　さちお）北海道大学教授（工学研究科）
昭和45年東北大学理学部地球物理学科卒業、昭和47年同大学大学院理学研究科修士課程修了、昭和50年厚生省国立公衆衛生院研究官、昭和52年８月北海道大学工学部衛生工学科助手、昭和59年助教授、平成６年教授。専門は大気環境保全工学で、大気エアロゾル（大気浮遊微粒子）の気候影響、北極圏の大気汚染、人工衛星による環境汚染のリモートセンシングなどの研究に取り組んでいる。

Ａ．大気汚染

１．外国における大気汚染の歴史

（１）ミューズ渓谷事件（1930年12月）

ベルギーのミューズ川に沿ったリュージュ付近の渓谷において、1930年12月１～５日に高気圧に覆われ、霧が発生した。12月４日、５日に数千人の呼吸器病患者が発生し、60人が死亡した。当時、工場や火力発電所が深さ100ｍの渓谷に沿って並んでいた。

（２）ドノラ事件（1948年10月）

米国北東部ペンシルバニア州のモノンガヘラ川沿いのドノラ渓谷において、1948年10月27日～31日に高気圧に覆われ霧が発生し、14,000人の住民中43％が呼吸器、眼、喉、鼻を冒され、17人が死亡した。当時、製鉄所や亜鉛精錬所が、深さ130ｍの渓谷内に存在していた。

（３）ロンドン・スモッグ事件（1952年12月）

ロンドン地域において、1952年12月５～９日に高気圧に覆われ、ロンドン市内で霧が発生し、4,000人の過剰死を引き起こした。主な死因は、呼吸困難を伴う気管支狭窄であった。当時ロンドンでは、家庭暖房に石炭を使用しており、この事件時の大気中のSO_2（二酸化硫黄、または亜硫酸ガス）の最高濃度は1.34ppm、ばい煙の最高濃度は4.5㎎/㎥であった。ちなみに、札幌の冬季のSO_2とばい煙の最高濃度はそれぞれ0.02ppmおよび0.05㎎/㎥である。このような甚大な被害が発生したため、英国では1956年に空気浄化法を制定し、指定地域内での石炭の使用を禁止した。

以上の三つの事件においては以下のような共通点がある。①長期間、高気圧の区域内に入り、大気が非常に安定になっていて、煙やガスが地表に蓄積されていた。②霧が発生していた。③患者や死者の数は事件発生より３日後に急に多くなり、最大の被害者は老人で、慢性の呼吸器疾患等にかかっている人々であった。

（４）光化学スモッグ事件（ロサンゼルス・スモッグ）

1940年代以降、米国ロサンゼルス地域において、晴れた日に刺激性の強い濃い「もや（スモッグ）」が多発するようになり、ロサンゼルス・スモッグと呼ばれるようになった。このスモッグは眼やのど

を刺激し、その結果、喘息様の発作の患者が増加した。また植物に被害を与え、さらにゴム製品（タイヤ等）を劣化させるなどの被害をもたらした。

２．我が国における大気汚染事件

（１）四日市喘息事件（昭和35～44年）

三重県四日市市において、昭和30年９月より石油コンビナートが操業を開始したが、昭和35年頃から咽喉頭炎、気管支喘息、慢性気管支炎、感冒症候群などを伴う「四日市喘息」の患者が多発した。特に50才以上の高年齢層の気管支喘息患者数が増加した。この被害が発生した地域において、SO_2、H_2S（硫化水素）、炭化水素、NOx（窒素酸化物）の濃度が高かった。SO_2濃度の１日平均値は 0.12ppm、１時間平均値は2.5ppmと非常な高濃度であり、喘息の発症とSO_2濃度との間にかなりの相関が認められた。

（２）大気汚染事件（光化学スモッグ事件）

①立正高校事件（東京都杉並区）：昭和45年７月18日に、女子学生が校庭でソフトボール中に倒れ、呼吸困難や胸痛、四肢のしびれなどの症状を示した。②高石中事件（大阪府泉南地区）：昭和46年８月27日に、校庭にいたが呼吸困難、胸痛、せき込み、四肢のしびれに襲われた。③石神井事件（東京都練馬区）：昭和47年５月12日、26日および６月２日に、石神井中と石神井南中、大泉中において、屋外にいた生徒が四肢のしびれを起こし、チアノーゼ症状を引き起こしたものもいた。

（３）湿性大気汚染事件（酸性雨による人体影響事件）

昭和48～50年の梅雨期に、静岡、栃木、埼玉、茨城、東京、神奈川において、汚染された霧雨により、眼や皮ふを刺激され、数万人の被害者が発生した。すぐに調査が行なわれ、原因物質と考えられる硫酸、硝酸、アルデヒド、過酸化水素、ギ酸などの雨水中濃度、霧水中濃度、大気中濃度が測定されたが、最終的な原因物質は不明であった。

３．大気汚染の定義

大気汚染とは、人間活動（生産活動、輸送、厨房、暖房等）によって排出された各種の煙や粉じんおよびガス状物質が、大気中に、ある値以上の濃度で、ある時間以上存在し、その結果、ある地域の住民のかなり多数の人々に、不快感を生じさせたり健康に悪影響を与えたり、あるいは動植物や建物、器物に悪影響を与えるようになった状態のことである。

４．大気環境基準

このような被害が発生したとから、「環境基本法」の第２章、環境の保全に関する基本的施策、において、「政府は、大気の汚染、水質の汚濁、土壌の汚染及び騒音に係る環境上の条件について、それぞれ、人の健康を保護し、及び生活環境を保全するうえで維持されることが望ましい基準を定めるものとする」として、「大気の汚染に係る環境基準」（対象物質は、SO_2、CO、浮遊粒子状物質（粒径が10μm以下の微粒子）、光化学オキシダント（主としてオゾン）、NO_2）と、「ベンゼン等による大気の汚染に係る環境基準」（対象物質は、ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン）が定められた。また、ダイオキシン類による環境汚染問題が大きな社会問題となったため、ダイオキシン類対策特別措置法（平成11年７月16日交付）により、大気、水質、土壌中のダイオキシン類の環境基準が定められた。

５．大気汚染物質の健康影響

人間は、呼吸により１日に約10㎥の空気をとりこんでおり、その中の大気汚染物質が呼吸器系に取り込まれる。これらの大気汚染物質の吸入により引き起こされる疾病のうち、①慢性気管支炎、②ぜん息、③肺気腫、④ぜん息性気管支炎、の４種が、公害健康被害補償法により慢性呼吸器疾患として指定されている。呼吸器系および慢性呼吸器疾患の発生する部位を下図に示す。

○呼吸器系

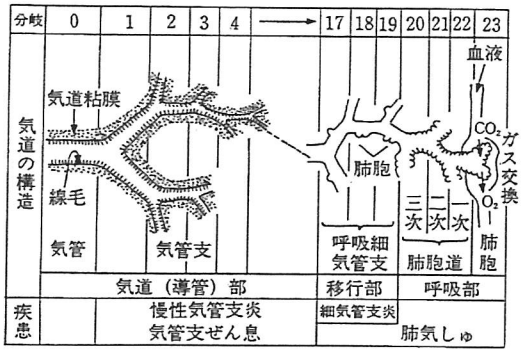


図 1.10　気道の構造と呼吸器疾患の関係
（Weibel の原図を改変）

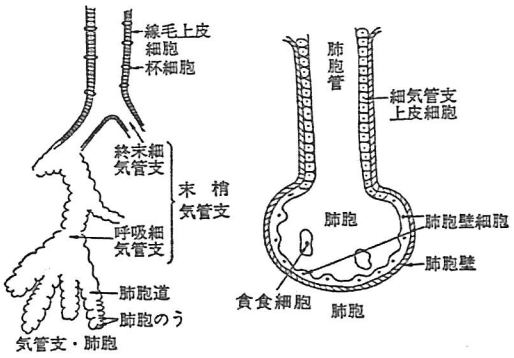


図 7.6　末梢気道

６．大気汚染の発生源対策

燃料の燃焼時に発生するSO_2、NOおよび粒子状物質を除去するために、排煙脱硫装置、排煙脱硝装置、低NOxバーナーおよび集じん装置等が設置され使用されている。

Ｂ．酸性雨

１．酸性雨

近年、スカンジナビア半島やドイツ、アメリカ北東部、カナダ、中国等において、酸性の雨や霧、ガス、エアロゾル（大気中の浮遊微粒子）により、酸性物質が地表に降下、付着（沈着）し、その結果、湖沼、森林、土壌、建築物に悪影響を与えている。

清浄な雨水は、CO_2と炭酸飽和しており、pH（水素イオン指数）は5.6である。それ故pHが5.6以下の雨を酸性雨という。なお、pHが１だけ低下すると、酸性の強さは10倍強くなる。我が国においても、pH3.3～4.5の酸性の雨および霧が観測されている。

２．酸性雨及び酸性の雲、霧の生成機構

酸性の雨や雲、霧の生成機構として以下のものが上げられる。①硫酸水溶液粒子を凝結の核とした酸性の雲粒子の生成。②硝酸ガスの雲粒や雨滴への溶け込み。③亜硫酸ガスが雨や雲、霧に溶け込み、その後、過酸化水素や触媒金属イオンにより水滴中で硫酸に酸化される。

３．酸性沈着

雨及び霧によって酸性物質が地表に降下、付着することを湿性沈着と呼び、ガス及びエアロゾルの地表への吸収、付着により酸性物質が沈着することを乾性沈着と呼ぶ。湿性沈着および乾性沈着の両

者を合わせて、酸性沈着と呼ぶ。

４．酸性沈着による環境影響

（ａ）陸水（湖沼、河川）への影響

酸性沈着により、湖沼の水が酸性化する。酸性化した湖沼中では、Al、Cu、Mn等の金属成分の濃度が増加している。これは、酸性沈着により流域の土壌、底泥から金属類が溶出されてくるためである。この結果、魚類の生殖が停止させられ、魚類の見られない湖沼が増加する。

（ｂ）土壌への影響

土壌は、粘土と腐植と呼ばれる有機物からできた粒子状の物質であり、表面は負の電荷を帯びていて、Ca^{2+}、Mg^{2+}等の塩基性陽イオンを吸着している。この土壌に対して酸性物質が沈着すると、土壌粒子に吸着されているCa^{2+}、Mg^{2+}、K^{+}、Na^{+}等の塩基性陽イオンが溶脱され、代わりにH^{+}が吸着されて、土壌が酸性化する。Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^{+}、Na^{+}は、植物にとって栄養源として重要なイオンであるが、これらが土壌中から失われることにより、土壌中の栄養分が欠乏する。その結果、森林成長率が低下し、作物収量が減少する。

さらに土壌中の塩基性陽イオンが減少し、土壌溶液のpHが４～５以下になると、粘土粒子表面からAl^{3+}イオンが溶け出してくる。このAl^{3+}の溶出により、樹木のCa^{2+}イオンの吸収が抑制される。土壌中のリン酸塩がAl^{3+}と結合すると水に不溶性となり、肥料として働かなくなる。このAl^{3+}が土壌から河川湖沼水中に流出し、魚類に悪影響を与える。また土壌溶液のpHの低下とAl^{3+}濃度の増加により、土壌微生物が減少あるいは死滅する。この結果、有機物の分解や栄養分への還元が遅れて、樹木の生長を遅らせる。

（ｃ）植物への直接的影響

多くの植物では、pHが3.0以下の酸性降水により葉に壊死斑点が生じる。酸性降水により、葉や茎からCa^{2+}、Mg^{2+}、K^{+}、Na^{+}等の栄養分が溶脱する。葉のクチクラ層が破壊され、気孔周辺細胞の機能が妨害される。この結果、植物の病虫害に対する抵抗力が低下する。受精、発芽も妨害される。

また酸性沈着は、冬季の低温に対する樹木の抵抗性を減少させる。その理由は以下の通りである。樹木は、秋になると土壌バクテリアの作用により作られた含窒素栄養分の根からの吸収量が減少することにより、葉の中の水分を油脂成分に置き換え、冬季の凍結を防ぐ準備をする。しかし酸性沈着物は硝酸イオン（NO^{3-}）等の含窒素化合物を多量に含んでおり、その結果、秋以降も樹木に多量の含窒素栄養分を与えることになる。そのため樹木の耐寒性の準備を遅らせ、その結果、葉の氷結作用による被害が生じやすくなる。

５．酸性雨対策

酸性雨は、大気汚染により大気中に排出された硫黄酸化物（SO_2と硫酸粒子）及び窒素酸化物（NOとNO_2）等の汚染物質の、湿性沈着および乾性沈着により生じるものである。それゆえ、酸性雨の防止対策としては、大気汚染対策の項で述べたように、排煙脱硫装置や排煙脱硝装置、低NOxバーナーなどを設置し、燃焼排煙中に含まれている硫黄酸化物と及び窒素酸化物を除去すればよい。

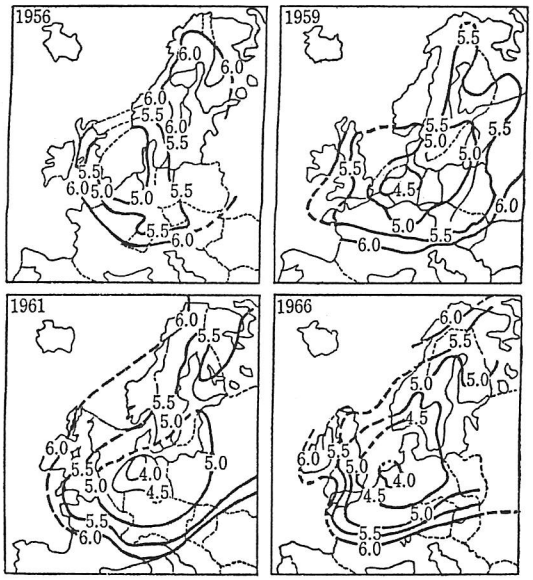
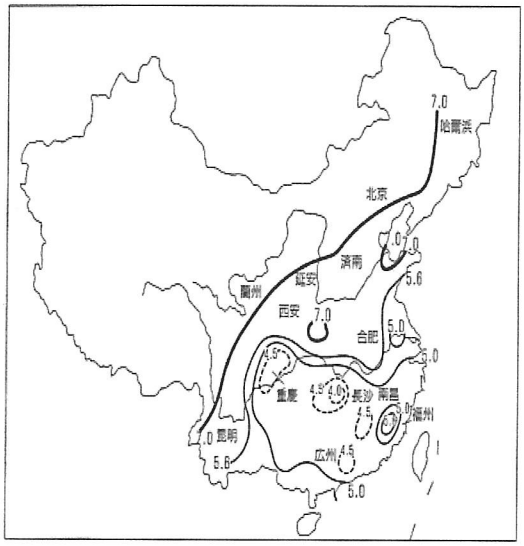
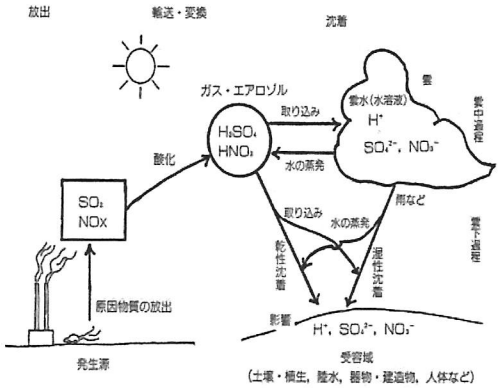


図 7.21　降水の pH の経年変化[30]

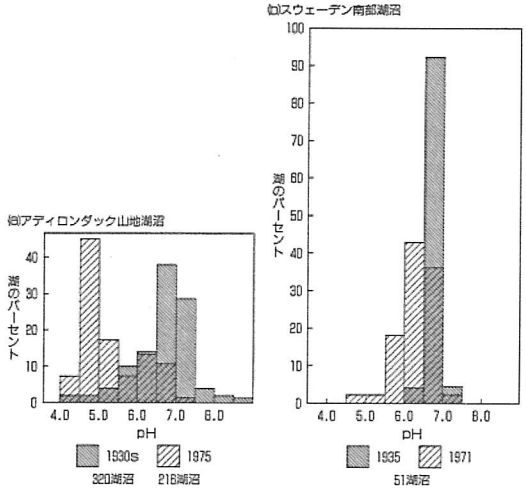
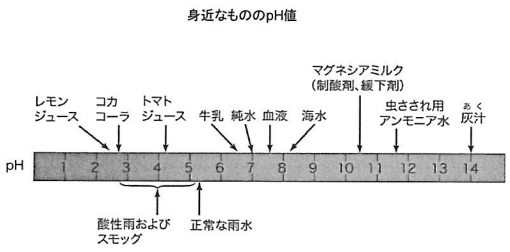
図3．7◉中国の全国降水 pH 分布図（1992年）





出典　日本化学会酸性雨問題研究会編「身近な地球環境問題ー酸性雨を考えるー」コロナ社，1997，P.3，原宏1.2酸性雨ー全体像と研究の展望ー図1．1より．

図2．9◉1930年代と1970年代の湖沼のpH頻度分布



出典　Wright, R.F. and Gjessing, E.T.(1976) Changes in the chemical composition of lakes. Ambio 5,219-223.