

大 気 汚 染*

大喜多 敏 一**

1. 緒 言

1980年に刊行された「続・気象学への手引」の大気汚染の項(1)を見て、大気汚染の現状と比較すると、従来主眼がおかれていた都市域の大気汚染については、基本的な知識の主要なものはずつかし、モデル等による精密化がはかられている状況である。しかし開発途上国の大都市等の大気汚染はより深刻になっており、著者の知っている範囲でも、中国の西安・重慶・瀋陽・昆明等、タイのバンコック、トルコのイスタンブール、メキシコ市、ブラジルのサンパウロ、チリのサンチャゴ等非常に深刻な大気汚染問題をかかえている都市は枚挙にいとまない。

他方1986年のチェルノブイリの原発事故や1984年のインドのボパールにおける農薬工場からの有毒ガスの流出事故等、多くの人々の生命を奪い、健康に障害を与える事故が多くなっている。

更に酸性雨等の現象にみられる如く、大気汚染現象の広域化がみられ、その場合従来の汚染物の拡散・輸送に加え、光化学スモッグ中でみられた光化学反応の広域への拡大、汚染物の湿性・乾性沈着、更に自然発生源や野焼き・山火事等からの物質の発生等も加わり、全体として対流圏化学の名称で研究が行われている。

又大気汚染の影響としては、従来人体影響が主体であったが、酸性雨や広域汚染を通して森林、土壌、水域等の生態系への影響が次第に重要となって来た。

以上の状況の下での文献を紹介する。

2. 大気汚染の全般

これについては、1にも幾つか記載されているが、最近では取扱い分野が拡大し、1冊にまとめるのが困難になってきている。その中では2が最もよくまとまっており、大気汚染物、発生源、影響、大気化学、エアロゾル、大気拡散、モデル、除去機構が記載されている。な

お3もほぼ同一の分野の記載をしている。又4も広域汚染の良い教科書である。

3. 都市大気汚染

わが国の都市大気汚染について、主要汚染物とその発生源、大気拡散、人体影響がかなり解明され、環境基準も定められている。色々と対策もたてられ、二酸化硫黄(SO₂)や一酸化炭素(CO)はほぼ環境基準を満足する。他方未だに東京、神奈川、大阪地域を中心に二酸化窒素(NO₂)の環境基準を達成できぬのみならず、ディーゼル自動車等の急増のためNO₂汚染は悪化している。それに対して環境庁の対策委員会では車種規制を提案せざるを得なくなった。

他方現在余り表面化していないが、浮遊粒子状物質や光化学オキシダントについても環境基準超過の地点が多い。前者については発生源の同定と寄与率の調査により、次第にその発生源が解明されつつある(5)。その結果ディーゼル自動車排出の煤粒子や、自動車走行により道路より舞い上がる粉塵、更にSO₂、NO_x、炭化水素等のガスの大気中での変換により生ずる硫酸塩(SO₄²⁻)、硝酸塩、有機エアロゾルが主要成分となっていることが分かった。これらの成分の人体への影響は完全には解明されていないが、米国では硫酸ミストが慢性気管支炎の原因となるのではないかと研究が進められている(6)。

光化学オキシダントについては、1970年代には学生等に対する人体影響が主として問題となったが、その後人体被害事件が表にでなくなり、その結果余り対策に熱意がみられなくなった。しかし東京周辺でも現在オキシダント濃度として未だに0.20ppm程度もある。又最近ではオゾンによる森林被害が社会問題となりつつある(7)が、これは広域の大気汚染問題にも含まれる問題であろう。他方光化学オキシダント生成機構は殆ど解明され、先に述べた2, 3にも記載されている。

各国の都市汚染は色々な文献に散在しているが、国際協力事業団の大気汚染研修に提出されたカントリーリポ

* Air Pollution.

** Toshiichi Okita, 桜美林大学国際学部.

ートでも各主要都市の汚染のひどさが示されている。その発生源は規制されていない自動車の排ガス、石炭燃焼等が主因で、各国とも規制の努力をしているが、経済との関係で改善がはかばかしくない。なお大気汚染研究協会ではアジア地域の大気汚染の現状をまとめた書を出版する予定である(8)。9はラテンアメリカの状況を、10はロスアンゼルスの大気質の現状をまとめている。

なお1980年代より始められた大気汚染研究誌上(A)の総説では、廃棄物処理に伴う汚染物(11)、悪臭物質(12)、有機ハロゲン化合物(13)、簡易測定(14)がとりあげられている。又大気汚染行政とアセスメントの総説は15にある。又米国でも新しい空気清浄法が定められた(16)。

最後に1970年代には Benarie らが編者となって、主として都市域の大気汚染研究がまとめられてきたが、1980年の刊でもって終了したようである(17)。

又大気汚染の解析(18)や大気汚染制御のための都市計画(19)も都市大気汚染対策に用いられよう。

今後都市汚染は NO_x、粒子状物質、オキシダント対策を中心として進められねばならないが、その場合中心となるのは自動車による汚染対策であろう。又汚染のひどい都市の汚染対策の援助をすべきである。

4. 広域汚染と酸性雨

モデルの項でも少しふれたが、1980年代の大気汚染の研究の最大の特徴は広域汚染と酸性雨である。しかしこれらの現象はかなり前から知られていたのであって、例えばスカンジナビア半島における酸性雨が、欧州の他地域からの汚染物の長距離輸送の結果であることは、1940年代から一部の研究者には知られており、1974年のストックホルム国連環境会議の開催の一因もそこにあったといわれている。欧州ついで北米で国際的な問題となるにつれて、広範な研究が行われるようになり、又多くのレビューが出されるようになった。

酸性雨とは、工場、住宅、自動車等での化石燃料の燃焼により生ずる SO₂、NO_x が、大気中の光化学等で生じた OH ラジカルや過酸化水素等により硫酸、硝酸の強酸に酸化し、それが長距離を輸送される間に降水中にとりこまれ降下し(湿性沈着)、或いは直接森林等の地物に沈着(乾性沈着)する。その結果土壌を酸性化し、湖沼内の動植物や森林に被害を与える現象である。この内 SO₂、NO_x の酸化反応は光化学スモッグを生ずる反応の延長とみられ、従って光化学大気汚染の知識がその

まま使用できる。

わが国では1973~1975年に関東地方で発生した霧雨による人体刺激事件(20)以後、環境庁等を中心とする雨の調査が開始されたが、生態系への影響を考慮した合同調査は1983年より開始された。そのような歴史のため酸性雨及びその関連の環境科学に関する文献は最近数多く生み出された。

まずわが国では21がある。酸性雨全般に影響も含めて記載し、初級としてはよいと思うが、一步進めたい人には物足りぬ部分があるかも知れない。入門講座としては22がある。環境庁の最初の調査結果としては、酸性雨対策検討会大気分科会の報告書(23)がある。なお気象庁に関係した方ならば、24も入門書として使用して貰えよう。

欧米でこの10年間に酸性雨や酸性降下物に関して刊行された出版物は恐らく20を超えるだろう。そのいずれも発生源、輸送、大気中の化学反応、雲化学(雲中への物質の取り込みと反応)、植生、湖沼等への影響が記載されている。その中 Acid Precitation Series 全9巻(25)はよくまとまっている。又多くの図書、その中かなりの部分は会議の Proceedings であるが、その中最近の書をあげると、26(雲化学、雲沈着を含む)、27(発生源とリセプターの関係を含む)、28(過去10年間の米国における酸性降下物計画の結果)がある。29には酸性雨評価の経費・利益解析、リスク解析、政策決定が含まれている。又酸性雨生成機構の理解に役立つものとして30の降水の微物理学、31の雲物理学の教科書がある。

欧米ではこの分野の研究はほぼ完成に近づいているが、東・東南アジアではこれからで、特に海上の輸送の研究が残されている。更にこの分野では世界的にみて、自然源からの物質発生・交換等を含む「対流圏化学」が進展しており、特に対流圏オゾンの生成等を中心とした研究が1990年代の主役となるであろう。

更にこの分野の今後の研究目的としては、対流圏における各種物質の循環を知ることであろう。32では硫黄、窒素化合物の循環が、33では循環における大気・海洋交換の役割が記されている。34は汚染物の長距離輸送を取り扱っている所に特徴がある。

5. エアロゾル及び大気質

Whitby(35)は、大気エアロゾルはガス状物質の変換・凝集で生成される微粒子と、機械的分散で生成される粗大粒子に分けられ、両者は粒径約 2.5 μm で分ける

れることを見出したが、1980年代は各種エアロゾルサンブラーを用い、全世界的に Whitby の発見を再検証する時代だったともいえる。それと共に各種エアロゾルの発生源の同定や、ガスよりエアロゾルへの変換の研究が広範になされた。又最近ではエアロゾルの気候に与える研究も活発だが、これは他の項に譲る。我国でもこれらの研究は盛んで、大気汚染学会誌の総説に 5, 36 がある。

なおエアロゾルについては、化学成分と共に物理的な挙動を知ることが、その捕集、地表への沈着、降水粒子への捕集等を知るために重要で、37はこの点につき良い教科書となろう。又38はエアロゾルにつき発生源と大気質の関係を与えたものであり、39は微粒子と視程の関係を論じたものである。

ガス状物質を含めた大気質についてもその全貌が次第に明らかになりつつあるが、40は大気中の無機・有機成分につき、その性質や発生源等をまとめており、41は大気質全般につき分析法、反応、循環、輸送とモデルにつき記載している。1990年代は先にも述べた通り各種大気質の地球規模の循環が議論されよう。

6. 大気拡散とモデル

大気拡散の教科書として1にもある Pasquill の著書が有名であるが、その後の良書として、米国気象学会で出版された42がある。この中では主として大気境界層中の拡散、拡散モデル、煙の上昇、複雑地形上の拡散、都市域内の拡散を取り扱っている。43も教科書風で、モデル等も含んでいる。44もまとまった初歩的入門書として適切で、気象拡散、モニタリング、制御につき記載されている。1980年代は特に大気境界層内の拡散に関心が持たれたが、境界層に関するものとして45(クロージャーモデルを含む)をあげておきたい。

ボパール事故後重いガスの拡散につき関心が高まっているが、46はそれをまとめたものである。なお米国気象学会では乱流・拡散・大気汚染に関するシンポジウムを開催し、大気質、視程、沈着、風洞実験、都市や複雑地形の効果等につき討議しているが、その一例として第5回会議のプロシーディング(47)を示した。又他学会と共同で大気汚染気象学の応用に関する会合も持たれ、最近の第5回会議(48)では、雲化学、酸性降水物、大気化学と気象学、長距離輸送、都市域汚染、複雑地形上の拡散等につき討議がなされた。

最近都市の大気汚染制御対策のため大気汚染モデルが用いられ、それに伴い多くのモデルに関する教科書、ハ

ンドブック、アルゴリズム等が出版されている。その1つをあげると、49がある。我国でも50のNOx総量規制マニュアル、51の濃度予測手法マニュアルが刊行されている。

その他の特色あるモデルとしては52の都市大気に関する各種モデル、53の規制政策に関するもの、54の乾性沈着・洗浄係数等のモデル係数の決定法、雲の物理化学、政策決定に関するものがある。又大気中の化学反応のモデル化の研究が盛んであるが、その例として55をあげておく。なお大気汚染学会誌上にモデル関係の総説がある(その一例として56をあげる)。

拡散モデル、その基本となるメカニズムの研究、及びそのモデルを検証する観測に対する努力は今後も続行せねばならないだろう。それと共に、長距離輸送・沈着モデルの開発も進めて行かねばならない。

7. 人体影響

大気汚染も環境科学の一分野とみれば、その環境影響を考えながら研究をしなければならない。最近では以前程急性影響がみられなくなったが、慢性気管支炎や肺がんのような慢性影響の問題と、又1970年代初期にみられた光化学大気汚染事件は何だったろうかという問いかけがある。前者の総説には、57が対応し、58は後者に対応する。

大気中の毒物につき59の論文をあげておく。又最近関心が高くなってきた健康リスクの考え方についても60の論文をあげる。

8. 森林を含めた植物への影響

先にも述べたように最近大気汚染物の植物に対する影響に注目されるようになった。邦文で書かれたものとして61がある。洋書としては62がある。

9. 室内汚染

現在人々の多くは戸外よりも室内で暮らすことが多い。そのような事情もあって、最近では室内汚染についての関心がたかまっている。特に建材より放出されるホルムアルデヒド、室内ストーブからのNOx、ラドンと肺がんの関係等が主な研究課題である。その中より生まれた総説として、63をあげておく。これはモデルや評価を含んでいる。

10. 大気汚染に関連した雑誌

国内では大気汚染学会誌が専門誌であるが、公害(資

源環境技術研究所刊), 公害と対策, 産業公害にも総説等が掲載されている. 又エアロゾル研究誌にも大気エアロゾルの研究が多く掲載されており, 環境科学会誌では今後酸性雨等のマルチメディアの研究が掲載されることを期待している. なおこれらの雑誌の詳細については1も参照されたい.

国際誌としては, これも1に記載されているが, The International Journal of Air Pollution Control and Waste Management (JAPCA), Atmospheric Environment (大気汚染, ミクロ気象学, エアロゾル, 工業空気力学), Journal of Applied Meteorology (米国気象学会誌; 拡散, エアロゾル, 局地汚染解析), Environmental Science and Technology (米国化学会誌; 大気汚染化学)が専門誌としてよく知られている.

又最近盛んになった大気化学(対流圏化学を含む)は Tellus, Journal of Geophysical Research, Journal of Atmospheric Chemistry に多くの論文が掲載されるようになった. Boundary Layer Meteorology は大気境界層の物理過程の研究を通して大気汚染と関連が深い.

参考文献

- 1) 河村 武, 原田 朗, 1979: 大気汚染, 天気, 26, 623-632.
- 2) Scinfeld, J.H., 1986: Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution, pp. 737, John Wiley & Sons, Inc.
- 3) 大喜多敏一, 1982: 大気保全学, pp. 254, 産業図書.
- 4) Rodhe, H., Eliassen, A., Isaksen, I., Smith, F.B. and Whelpdale, D.M., 1982: Tropospheric Chemistry and Air Pollution, WMO Technical Note, 176, pp. 141.
- 5) 笠原三紀夫, 高橋幹二, 島田 学, 1984: 大気中粒子状物質の発生源の同定と寄与率の推定, A, 19, 337-358.
- 6) Lipfert, F.W., Morris, S.C. and Wyzga, R.E., 1989: Acid aerosols: The next criteria air pollutant? Environ. Sci. Tech., 23, 1316-1322.
- 7) 高橋啓二, 沖津 進, 植田洋匡, 1987: 関東・甲信地方におけるスギの衰退と大気二次汚染物質の分布, 第98回日林論, 177-180.
- 8) 大気汚染研究協会編, 1992: 地球大気環境とその対策—アジアからの視点, オーム社.
- 9) Romieu, I., Weitzenfeld, H. and Feldman, J., 1991: Urban air pollution in Latin America and the Caribbean, JAPCA, 41, 1166-1171.
- 10) Lloyd, A.C., Lents, J.M., Green, G. and Nemeth, P., 1989: Air quality in Los Angeles. Perspectives on past and future emission control strategies. JAPCA, 39, 696-703.
- 11) 平岡正勝, 武田信生, 1981: 廃棄物処理と大気汚染, A, 16, 357-370.
- 12) 石黒辰吉, 1985: 悪臭公害, A, 20, 317-330.
- 13) 川本克也, 浦野紘平, 1986: 大気中有機ハロゲン化合物の測定方法と調査例, A, 21, 179-190.
- 14) 溝口次夫, 松本光弘, 池浦太莊, 1991: 大気汚染物質の簡易測定法とその評価, A, 26, 191-203.
- 15) 浜中裕徳, 1981: 環境アセスメント制度の問題点—主として技術的側面からの考察, A, 16, 77-87.
- 16) Novello, D.P., 1991: The new clean air act operating permit program: EPA's proposed regulations. JAPCA, 41, 1038-1044.
- 17) Benarie M.M., 1980, Atmospheric Pollution 1980, Studies in Environ. Sci., 8, pp. 440, Elsevier Scientific Publishing Co.
- 18) 鈴木武夫編, 1980: 大気汚染の機構と解析—環境科学特論一, pp. 301, 産業図書.
- 19) Guldmann, J.-M. and Shefer, D., 1980: Industrial Location and Air Quality Control, pp. 237, John Wiley & Sons.
- 20) Ohta, S., Okita, T. and Kato, C., 1981: A numerical model of acidification of cloud water, J. Meteor. Soc. Japan, 59, 892-901.
- 21) 大喜多敏一編, 1987: 酸性雨, 気象研究ノート, 158, pp. 168, 日本気象学会.
- 22) 原 宏, 1991: 入門講座, 酸性雨 I ~ II, A, 26.
- 23) 酸性雨対策検討会大気分科会, 1990: 酸性雨対策調査報告書.
- 24) 大喜多敏一, 1990: 我が国の酸性雨及びその調査上の問題点, 測候時報, 57, 293-324.
- 25) Acid Precipitation Series, 1984: (ed.) Teasley, J.I., Ann Arbor Sci. Book, Butterworth Publishers, 1~9.
- 26) Unsworth, W.H. and Fowler, D., 1988: Acid Deposition at High Elevation Sites, pp. 609, Kluwer Academic Publishers.
- 27) White, J.C., 1988: Acid Rain, pp. 223, Elsevier Sci. Publishing Co.
- 28) National Acid Precipitation Assessment Program, State of Science and Stage of Technology, SOS/1990: T Report.
- 29) Mandelbaum, P., 1984: Acid Rain, pp. 287, Plenum Press.
- 30) Pruppacher, H.R. and Klett, J.D., 1980: Microphysics of Clouds and Precipitation, pp. 714, D. Reidel Publishing Co.
- 31) Agee, E.M. and Asai, T., 1981: Cloud Dynamics, pp. 423, Terra Scientific Publishing Co.
- 32) Galloway, J.N., Charlson, R.J., Andreae, and Rodhe, 1984: The Biogeochemical Cycling of Sulfur and Nitrogen in the Remote Atmosphere. NATO ASI Series, pp. 249, D. Reidel Publi-

- shing Co.
- 33) Baut-Menard, P., 1985: The Role of Air-Sea Exchange in Geochemical Cycling. NATO ASI Series, pp. 549.
- 34) Martin, H.C., 1982: Long-range Transport of Airborne Pollutants, pp. 430, D. Reide Publishing Co.
- 35) Whitby, K.T., 1978: The physical characteristics of sulfur aerosols, *Atmos. Environ.*, 12, 135-159.
- 36) 溝畑 朗, 松田八束, 坂本和彦, 角脇 怜, 1986: 粒子状大気汚染物質の化学組成, *A*, 21, 83-103.
- 37) 高橋幹二, 1984: 応用エアロゾル学, pp. 328, 養賢堂.
- 38) Macias, E.S. and Hopke, P.K., 1981: Atmospheric Aerosol. ACS Symposium Series, 167, pp. 359, American Chem. Soc.
- 39) Mathal, C.L., 1990: Visibility and fine particles. *JAPCA*, 40, 1486-1494.
- 40) Gradel, T.E., Hawkins, D.T. and Claxton, L.D., 1986: Atmospheric Chemical Compounds.
- 41) Angeletti, G. and Restelli, G., 1987: Physico-Chemical Behavior of Atmospheric Pollutants. pp. 809, D. Reidel Publishing Co.
- 42) Haugen, D.A., 1980: Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analysis, pp. 296, American Met. Soc.
- 43) Panofsky, H.A. and Dutton, J.A., 1984: Atmospheric Turbulence, pp. 397, Wiley-Interscience Publication.
- 44) Henderson-Sellers, B., 1984: Pollution of Our Atmosphere, pp. 202, Adam Hilger Ltd.
- 45) Stull, R.B., 1988: An Introduction to Boundary Layer Meteorology, pp. 666, Kluwer Academic Publishers.
- 46) Ooms, G. and Tennekes, H., 1984: Atmospheric Dispersion of Heavy Gases and Small Particles, pp. 440, Springer-Verlag.
- 47) American Meteorological Soc., 1989: Sixth Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology. pp. 285.
- 48) American Meteorological Soc., 1981: Fifth Symposium on Turbulence, Diffusion, and Air Pollution. pp. 276.
- 49) U.S. Environmental Protection Agency, 1986: Guideline on air quality models (Revised), EPA-450/2-78-027 R, NITS PB 86-245248.
- 50) 環境庁, 1982: 窒素酸化物総量規制マニュアル・公害研究対策センター.
- 51) 通産省立地公害局, 1985: 産業公害総合事前調査における大気に係る環境濃度予測手法マニュアル, pp. 170.
- 52) Benarie, M.M., 1980: Urban Air Pollution Modeling, pp. 405, MIT Press.
- 53) Trijonis, T., 1987: Reconciliation of air quality models for control strategy decisions, *JAPCA*, 37, 355-358.
- 54) van Dop, H., 1988: Air Pollution Modeling and Its Application III, pp. 702.
- 55) Atkinson, R., Lioyd, A.C., and Winges, L., 1982: An updated chemical mechanism for hydrocarbon/NO_x/SO₂ photooxidations suitable for inclusion in atmospheric simulation models. *Atmos. Environ.*, 16, 1341-1355.
- 56) 林 復基・岡本真一・塩沢清茂, 1991: 自動車排出ガスによる大気汚染予測モデルについて, *A*, 26, 292-319.
- 57) 常俊義三, 1989: 大気汚染の人体影響に関する疫学的研究—呼吸器症状・呼吸機能に及ぼす影響, *A*, 24, 75-89.
- 58) 横山栄二, 1988: 大気汚染と運動, *A*, 23, 1-6.
- 59) Lioy, P.J. and Daisey, J.M., 1988: Toxic Air Pollution, pp. 294, Lewis Publishers Inc.
- 60) Paustenbach, D.J., Jernigan, J.D., Finley, B.L., Ripple, S.R. and Keenan, E., 1990: *JAPCA*, The current practice of health risk assessment: Potential impact on standards for toxic air contaminants, *JAPCA*, 40, 1620-1630.
- 61) 井上敬雄, 大喜多敏一, 河合崇欣, 戸塚 纈, 野内 勇, 松島二良, 山中芳夫, 脇 孝介, 1989: 酸性雨—生態系に与える影響, pp. 323, ゴルファーの緑化促進協力会.
- 62) McLaughlin, S.B., 1989: Effects of air pollution on forests, *JAPCA*, 35, 511-534.
- 63) Wadden, R.A. and Scheff, P.A., 1983: Indoor Air Pollution, pp. 213, John Wiley & Sons.