

# 大気電気学

三崎方郎\*

## 1. はじめに

大気電気学は約20年前あたりから変貌を始め、雲物理学、エーロゾル科学、超高層大気物理学等との境界領域に浸透していった。現在の大気電気研究のポイントを手取り早く見渡すには、三崎：最近の大気電気学(1976)を一読されたい。しかしながら、古来の大気電気学はやはりその基礎である。これについては、前回の入門講座で紹介した 畠山・川野：気象電気学(1955)、Chalmers: Atmospheric Electricity (1967)、もしくは Israel: Atmosphärische Elektrizität (Teil I, 1957, Teil II, 1961)のいずれかを教科書として載せたい。

さきに述べたように、最近の大気電気学は細分化され、他の学問との接触が大きいため、この入門講座でも必然的に別項、雲物理学、エーロゾル、あるいは超高層大気物理学等で述べられることと抵触する面が多かろうと思われるが御了解願いたい。以下、大気電気学の分野別に述べよう。

## 2. 雷の研究

雷は対流圏の電気現象の根源であるが、その電荷発生の機構についての議論が未だに混沌とした状態にあるので、物性論や電磁気の実験に強い研究者にとっては、存分に腕が振える分野である。歴史的に有名な論文としては、Reynolds・Brook・Gourley (1957)があり、続いて温度傾度説を説いた Latham・Mason (1961)がある。さらに、温度傾度説を自ら批判した Mason: The physics of the thunderstorm (1972) は必読すべきであろう。

Magono: Precipitation electricity of thunderclouds and showerclouds (1977) は降水電荷に関する諸説を総合し、併せて自説を強く打ち出している。Mason, 孫野等の説はいずれも降水を必要とする帯電機構であるが、これに対し、Moore: An assessment of thunderstorm electrification mechanism (1977)

は、雲内の対流運動を主因とする Vonnegut, その他の説を総合した報告となっている。これら3編の論文は併行して読み比べることをお勧めする。

Schonland に始まった雷雲内の電荷分布と放電機構の研究では、Brook・Kitagawa (1962) で1段落の感がある。それ以後の発展は、新しい研究観測の手法待ちというところであろう。すでにその現われとして、Brook・Krehbiel (1972) は、雲の早い変化に追従できるレーダを開発し、Proctor (1971) は放射波の5点観測から放電位置を決定する方法を述べ、Lennon (未刊)はこの受信信号と計算機を直結して、雲中の見えない放電路の微細構造を明らかにしている。将来可能な新しい研究方向を示すものとして参考にならう。なお、北陸の冬の雷の特異性を明らかにした、Takeuti・Nakano・Brook Raymond・Krehbiel (1978) もこれからの雷研究の方向を示すものとして見逃さない。

放電機構を解説した著書としては、Golde ed: Lightning, Vol. 1, 2 (1977) がある。27人の著者がそれぞれの章を受け持って書いている。Vol. 1 は“放電の物理”、Vol. 2 は“避雷”となっている。筆者はまだその内容を読んでいないが、Uman の書評は Vol. 1 では Brook・Ogawa: The cloud discharge の章を激賞している。Uman 自身の著書にも Lightning (1969) がある。

## 3. イオン・エーロゾルの研究

空気に電気伝導率などの特性を与えているものは、そこに存在するイオンであるが、イオンの特性や濃度を左右するものはエーロゾルである。したがって、空気の電気的特性はエーロゾルを除外しては語るができない。

大気電気に関わり合いを持つエーロゾル粒子は、直径 $0.1\mu\text{m}$ 以下の粒子(エートケン粒子ならびに雲核)である。これがまた近年のエーロゾル研究の主体をなしている「気体分子の粒子化現象」(Gas-to-particle conversion)の産物である。したがって、この項については別

\* M. Misaki, 気象研究所高層物理研究部

項「エロゾルの気象学」もしくは「大気化学」と重複することはやむを得ない。この分野を目指される読者はこれら別項の案内にも十分留意されたい。

大気イオンがエロゾルと切れぬ関係を持つゆえんは、エロゾル粒子の帯電過程（小イオンとエロゾル粒子の衝突結合）にある。これについては、古い論文であるが基礎として **Junge** (1955) もしくは **Bricard** (1962) を一応学んでおく必要がある。

近年の研究主題は、上述の衝突の素材である小イオンならびにエロゾル粒子の生成過程に移っている。小イオン生成に関しては、**Mohnen: Formation, nature, and mobility of ions of atmospheric importance** (1977) の総合報告が良い。Gas-to-particle conversion に関する論文は枚挙にいとまがないが、総まとめとしては、**Stauffer・Walker・Brown・Wise・Kiang: Nucleation literature review 1972** (1974) 以後 **Current work on nucleation** が *J. Aerosol Sci.* の各巻に出ているので良い参考になる。代表的な論文として学ぶには、**Kiang・Stauffer・Mohnen・Bricard・Vigla** (1973) がある。

かくして生成された成層圏エロゾルの総合報告には、**Cadle・Kiang: Stratospheric Aitken particles** (1977)、また、それが成層圏化学に対してどんな役割りを果たすかを示唆した **Cadle・Crutzen・Ehhalt** (1975) などは、中層大気研究 (MAP) の重要性が説かれている。今日、研究方向の選択に重要な足がかりとなろう。対流圏エロゾル（雲核およびエアロゾル粒子）については、オーストラリア上空のエロゾルの起源について述べた **Bigg・Turvey** (1978) も極めて示唆に富んでいる。

エロゾルに関する教科書としては、**Fuchs: The mechanics of aerosols** (1964) が定評がある。この本はエロゾル粒子の力学について大変に詳しい。気象学研究の立場からは、近刊の **Twomey・Atmospheric aerosols** (1977) の方が有難いと私は感じている。和書には、**高橋: 基礎エアロゾル工学** (1972) がある。

放射能および放射性エロゾルも大気電気の一分野である。新しいエネルギー源として原子炉の普及が進めば、環境問題としての重要性が増すこととなろう。この方向での教科書には、**Junge: Air chemistry and radioactivity** (1963) や、**Israel・Krebs (ed.): Nuclear radiation in geophysics** (1962) がいずれも地球物理の立場から書かれていて良い本である。後者の中の **Radioactive aerosol** の章は **Junge** の筆になってい

る。

#### 4. 宇宙空間電気学の研究

近年の大気電気では、上層大気の運動と関連した電離層電流系とのつながりが論ぜられるようになって、ここでも超高層大気物理との重複が避けられなくなった。この項については小川俊雄氏にお願いした文を転載する。

和書でぜひ薦めたいのは、**赤祖父: オーロラ—地球をとりまく放電現象—** (1975) で、**Alfvén, Chapman, Störmer, Birkeland** 等のエピソードをおりまぜて、オーロラを中心とする太陽・地球間物理学全体がおもしろく書かれている。これに次いで、**西田篤弘: 宇宙空間への招待** (1978) がある。

洋書では、教科書として **Ratcliffe: An introduction to the ionosphere and magnetosphere** (1972) がたいへんわかり易い。その他、**Haymes: Introduction to space science** (1971) と、**Hess・Mead (ed.): Introduction to space science** (1968) もよく使われている教科書である。観測法としては、**Ogawa: Analyses of measurement techniques of electric fields and currents in the atmosphere** (1973) が絶好である。なお、一般的な大気電気の測定法としては **三崎: 大気電気の測定** (1976) を見られたい。

おわりに、雷の項については名古屋大学の**高木増美氏**より、放射性エロゾルの項では同じく池辺幸正氏より貴重な御助言を載いた。上記の京都大学の**小川俊雄氏**に併せて、厚く御礼申し上げる。

#### 文 献

##### (1) 教科書

- R.H. Golde (ed.), 1977: *Lightning, 1: Physics of lightning*, 496 pp, 2: *Lightning protection*, 353 pp, Academic Press.
- N.A. Fuchs, 1964: *The mechanics of aerosols*, Pergamon Press, 408 pp.
- S. Twomey, 1977: *Atmospheric aerosols*, Elsevier Scientific Publ. Co., 302 pp.
- 高橋幹二, 1972: *基礎エアロゾル工学*, 養賢堂, 252 pp.
- Ch. E. Junge, 1963: *Air chemistry and radioactivity*, Academic Press, 382 pp.
- H. Israel and A. Krebs (ed.), 1962: *Nuclear radiation in geophysics*, Springer-Verlag, 418 pp.
- 赤祖父俊一, 1975: *オーロラ—地球をとりまく放電現象—*, 中央公論社, 230 pp.
- 西田篤弘, 1978: *宇宙空間への招待*, 岩波新書, 200 pp.
- J.A. Ratcliffe, 1972: *An introduction to the iono-*

- sphere and magnetosphere, Cambridge, 256 pp.  
 R.C. Haymes, 1971: Introduction to space science, John Willy & Sons Inc., 556 pp.  
 W.N. Hess and G.D. Mead (ed.), 1968: Introduction to space science, Gordon and Breach Science Publ. Inc., 1056 pp.
- (2) 解説・総合報告
- 三崎方郎, 1976: 気象研究ノート, 128, 201-213.  
 B.J. Mason, 1972: Proc. Roy. Soc. A, 327, 433-466.  
 Ch. Magono, 1977: Electrical Processes in Atmosphere, ed. H. Dolezalek and R. Reiter, Dr. D. Steinkopff Verlag, 368-378.  
 C.B. Moore, 1977: Ibid, 333-352.  
 V.A. Mohnen, 1977: Ibid, 1-17.  
 D. Stauffer, G.H. Walker, G.R. Brown, J.D. Wise and C.S. Kiang, 1974: J. Aerosol Sci., 5, 157-173.  
 R.D. Cadle and C.S. Kiang, 1977: Reviews of Geophys. and Space Phys., 15, 195-202.  
 T. Ogawa, 1973: Contributions of the Geophysical Institute, Kyoto Univ., No. 13, 111-137.  
 三崎方郎, 1976: 気象研究ノート, 130, 105-118.
- (3) 論文
- S.E. Reynolds, M. Brook and M.F. Gourley, 1957: Thunderstorm charge separation, J. Met., 14, 426-436.  
 J. Latham and B.J. Mason, 1961: Generation of electric charge associated with the formation of soft hail in thunderclouds, Proc. Roy. Soc., A, 260, 537-549.  
 N. Kitagawa, M. Brook and E.J. Workman, 1962: Continuing currents in cloud-to-ground lightning discharges, J. Geophys. Res., 67, 637-647.  
 M. Brook and P.R. Krehbiel, 1972: A fast-scanning radar for lightning-precipitation relationships, Trans. Ame. Geophys. Union, 53: 999.  
 D.E. Proctor, 1971: A hyperbolic system for obtaining VHF radio pictures of lightning, J. Geophys. Res., 76, 1478-1489.  
 T. Takeuti, M. Nakano, M. Brook, D.J. Raymond and P. Krehbiel, 1978: The anomalous winter thunderstorms of the Hokuriku Coast, J. Geophys. Res., 83: 2385-2394.  
 Ch. E. Junge, 1955: The size distribution and aging of natural aerosols as determined from electrical and optical data, J. Met., 12, 13-25.  
 J. Bricard, 1962: La fixation des petits ions atmosphériques sur les aérosols ultra-fins. Geofis. Pur. Appl., 51, 237-242.  
 C.S. Kiang, D. Stauffer, V.A. Mohnen, J. Bricard and D. Vigla, 1973: Heteromolecular nucleation theory applied to gas-to-particle conversion, Atmos. Environ., 7, 1279-1383.  
 R.D. Cadle, P. Crutzen and D. Ehhalt, 1975: Heterogeneous chemical reactions in the stratosphere, J. Geophys. Res., 80, 3381-3385.  
 E.K. Bigg and D.E. Turvey, 1978: Sources of atmospheric particles over Australia, Atmos. Environ., 12, 1643-1655.