

第25回メソ気象研究会報告

1. 主旨説明

小林文明 (防衛大学校地球海洋学科)

2005年11月19日に第25回メソ気象研究会が神戸大学百年記念館六甲ホールで開催された。ちょうど紅葉シーズンの週末ということで、宿も思うように取れず集まりを心配したが、70余名の参加者があった。

本研究会は区切りの25回目に当たり、「雷」が初めてテーマに選ばれた(気象学会では1996年春季大会(大宮)のシンポジウムで「雷雲」が取り上げられて以来となる)。雷現象は250年前のグリバルの放電実験、フランクリンの凧の実験に遡り、その後の電荷分離研究の歴史も長い。雷雲(サンダーストーム)に関して例えば、「冬季雷」や「夏季関東の雷雲」などはわが国固有の現象として盛んに研究されてきた。また、最近では雷雲雲頂から電離層への放電現象が確認され、メソ対流システムの全体像が電氣的な立場からも次第に明らかにされつつある。このように大気電気学は電荷分離機構から雷雲の全体構造の理解、さらに地圏から大気圏まで含んだ地球システムの構造へと学際的な広がりを示している。一方、落雷は防災面からも重要であり、人的被害、構造物への雷撃、森林火災、コンピュータなど家電製品の被害などさまざまな種類の雷災害が頻発している。そのため雷予測の社会的なニーズも高く、落雷位置情報がより身近なものとして活用されるようになってきている。

そこで、今回の研究会ではわが国における大気電気研究の歴史を振り返りながら、雷雲の構造を理解するとともに、最新のトピックスまで含んだ話題を提供することにした。なお当日は、「観測、数値計算双方の立場から今後必要なものは何か」を議論することもでき、4時間半におよぶ会を終えたことを付記する。

2. 1969年日本大気電気学会発足当時の日本の雷研究

菊地勝弘 (秋田県立大学生物資源科学部)

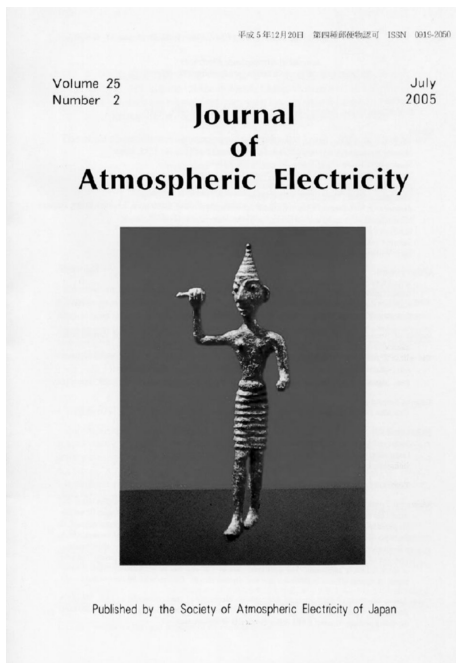
1953年(昭和28年)、北海道大学理学部に地球物理学

科が新設された。当時は、東北大学(山本教授)、東京大学(正野教授)、京都大学(滑川教授)にしか地球物理学学科が無く、また雲物理学(当時は物理気象)、大気電気学(気象電気)を講座の主たる研究対象に挙げているところはなかった。学年進行で気象学講座が認可された1955年に、中谷宇吉郎先生の愛弟子で横浜国立大学教授だった孫野長治先生が講座担当として迎えられた。その当時、孫野先生は *Journal of Meteorology* に発表された「水滴の落下姿勢」や「雪片の落下速度」などの業績を上げられていた。そんなこともあって、1957年の大学院開設と同時に、気象学講座のゼミには雲物理学と大気電気学が選ばれ、*American Meteorological Society* (1951): *Compendium of Meteorology*、後に *B. J. Mason* (1957): *The Physics of Clouds* と *J. Alan Chalmers* (1949, 1957): *Atmospheric Electricity* が使われた。

学会での大気電気は主として雲物理の分野で発表され、学会期間中の夕刻「雷研究会」として議論が行われていた。雷、雷災は、放電物理や電気工学といった工学的なアプローチも当然あったはずであるが、「雷研究会」のメンバーは気象学に関連した研究者に限られていた。

1965年IAMASの下部組織の1つであるICCPが東京と札幌で開催された。101編の論文中、大気電気分野は13編が発表され、高橋 劭(当時、名古屋大学)の「霰の電荷」、菊地勝弘(当時、北海道大学)の「雪結晶の融解による正荷電現象」がロンドン大学のMason教授に激賞された。彼は、札幌では各種の雪結晶が降り、いろいろな条件で研究できるのが羨ましいと何度も言われたことを思い出す。

1961年4月北海道千歳市の航空自衛隊のジェット戦闘機が訓練中、不安定線に伴う強風、吹雪、落雷によると思われる擾乱のなかで4機が墜落した。また1969年2月には石川県小松市の航空自衛隊のジェット機が落雷によると思われる事故で墜落し4名の死者を出した。この頃から、名古屋大学空電研究所、東京大学生産技術研究所、東北大学工学部などが高圧線鉄塔や原子力発電所への落雷といった主として「冬の雷」との



第1図 Journal of Atmospheric Electricityの表紙。写真はフェニキアで発掘された雷神のブロンズ像。

関連での観測研究が積極的に行われ始めた。また、1968年、69年と日本南極地域観測隊の研究分野としての雲物理、大気電気が選ばれ、菊地勝弘(第9次隊)、近藤五郎(第10次隊)が越冬観測を行った。

そんな経緯があって大気電気学会発足の機は熟し、1969年北川信一郎を会長に、磯野謙治、金原 淳、田村雄一、畠山久尚、孫野長治を顧問とし、雷、イオン・エアロゾルを主な研究対象として学会が発足した。1981年には学会誌「Research Letters on Atmospheric Electricity」が発刊され、現在「Journal of Atmospheric Electricity」と改称されて、年2回、約100ページを目標に、2005年現在 Vol. 25まで継続されている(第1図)。

3. 雷雲の内部構造

上田 博(名古屋大学地球水循環研究センター)
雷雲の内部構造に関する研究は雲解像モデルと雷雲内の降水粒子を識別するレーダー等の観測機器の発達によって飛躍的に発展しつつある。電荷発生・分離機構及び放電過程を1 km メッシュの雲解像数値モデルに組み込んだ MacGorman *et al.* (2001) の実験結果

を紹介し、雷雲の内部構造の理解のために不可欠で測定可能な物理量について検討した。落雷と線状降水システムの構造との関係を示した Parker *et al.* (2001) の観測結果や、ポラリメトリックレーダーや電場ゾンデを用いた雷雲の内部構造と雷放電の関係に関する MacGorman *et al.* (2005) の観測結果を紹介した。雷雲の内部構造の理解にとって最も重要な降水粒子の識別法に関して、Zrnicek *et al.* (2001) によるポラリメトリックレーダーを用いた米国の雷雲内の降水粒子の識別や Ohigashi and Tsuboki (2005) による北陸電力の2重偏波レーダーを用いた降雪粒子識別の研究例を紹介した。観測技術の発展によって、近い将来ポラリメトリックレーダーと雲解像数値モデルを組み合わせた雷雲の予測が可能になるであろう。

4. 雷雲を VHF 放射で見ると

河崎善一郎(大阪大学大学院工学研究科)

大阪大学雷研究グループでは、TRMM/LIS による衛星観測と国内外における野外観測を大きな2つの柱と位置づけ研究活動を行ってきた。取り分け後者は、名古屋大学旧空電研究所(現太陽地球環境研究所)以来の伝統で、俗に言うスロー・ファースト両アンテナによる電磁界変化観測や、VHF 波帯広帯域デジタル干渉計(VHF BDITF)を主観測装置とする放電進展様相観測を行っている。このVHF BDITFは大阪大学とNew Mexico 鉱工科大学のグループがほぼ同時に発案、その後大阪大学が実用化の段階にまで機能を高めてきたことから、新しい知見も数多く見出している。特筆すべきは、正極性落雷や雲放電に続く振幅の大きなVHFインパルス放射源が、「正電荷領域」に対応することを明らかにしたことである。例えば冬季の北陸・三国地域の観測結果では、1フラッシュに対応する「正電荷領域」が、350 km³の広がりを持つという観測結果がある。そして観測結果の検証の意味から、同時に行われていた防衛大学校のXバンドレーダエコーと比較したところ、上記領域の主たる部分は雷雲上部の層状部分であることが明らかとなっている。

5. 雲解像モデル(JMANHM)を用いた発雷予測

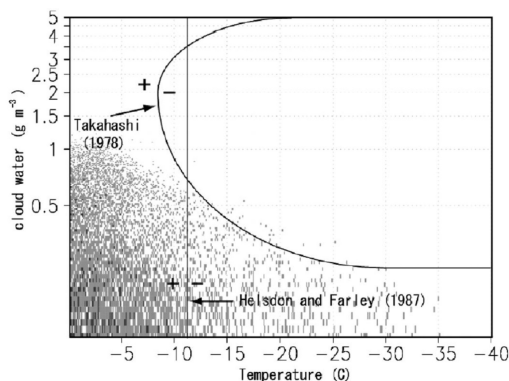
林 修吾(気象研究所)

本研究では、現実大気の予測が可能な3次元の雲解像モデル(JMANHM:気象庁非静力学モデル)に、Takahashi (1984)を参考に電荷の発生および放電をシミュレートする発雷形成スキームを導入した。

夏の熱雷の例として2004年7月9日に関東地方で発生した雷について再現実験を行った。落雷についての観測と比較すると、数値シミュレーションでは正の落雷が過大であった。この原因としては、雲物理スキームや水平解像度(1.5 km)による雲水量の不確かさ、および用いた電荷分離テーブル(Takahashi, 1978)における極性分布特性などが考えられる。そこで、本研究では過去の研究(Helsdon and Farley, 1987など)を参考に、低温-低雲水量域で発生する電荷の極性を改変した電荷発生テーブルを採用した(第2図)。その結果、観測された落雷の極性別割合に最も近く、再現された空間電荷構造も整合的な結果となることを確認した。

冬季雷に対しては、6時間当たりの降雪量が最大30 cm かつ発雷を多数観測した2005年1月20日と、同じく大雪日でありながら発雷を観測しなかった2005年1月9日を対象とした再現実験(電荷分離テーブルは上記の改変したものを利用)を行った。数値シミュレーション結果は、両事例とも大雪を再現した上で発雷の有無を明瞭に再現した。また再現された落雷の極性別割合も観測とほぼ一致した(1月20日の事例は観測された落雷の4割が正極性であった)。この結果は、数値モデルにより発雷の有無を直接予測出来る可能性を示唆している。

このモデルを使うことにより、観測の難しい雲内の詳細な電荷構造についての情報を得ることが可能と



第2図 2004年7月9日の再現実験におけるモデル内のグリッドポイント毎の気温と雲水量の分布。図中の実線は、それぞれ、Takahashi(1978)、Helsdon and Farley(1987)に基づく電荷分離したあられの極性をあらわす。

なった。しかし、モデル内の雲物理量や電荷分離テーブルについてはさらに調査が必要である。このモデルをさらに発展させることにより、従来の診断的な発雷予測手法に比べてより高い精度で発雷予測が行えるようになることが期待できる。

6. 宇宙線・雲・雷のリンクの可能性と超高層雷放電が地球大気へ与える化学的インパクト

佐藤光輝(理化学研究所)

全地球的な雷活動を定常的にモニターするための最も効率的かつ強力な手段として、雷放電から放射される8~50Hz帯ELF波動(Schumann共鳴)の観測が挙げられる。その一例として、南極昭和基地で得られたデータを3年間分解した結果、雷活動には28, 11, 4~6日周期の変動が存在し、特に28日周期の変動と雲量とは逆位相の関係にあることを世界で初めて突き止めた。一方、16年前に初めて発見された雷雲上空での放電発光現象(スプライト、エルプス、ブルージェット)は、窒素酸化物(NO_x)や水素酸化物(HO_x)を多量に生成し、オゾン化学に大きく影響している可能性がある指摘されている。南極と日本で得られたELFデータを解析した結果、スプライトは主に南・北アメリカ、アフリカ、東南アジアで1日あたり約1000イベントも発生していることが明らかになり、地球大気へ与える化学インパクトの定量的推定が大きく進展すると考えられる。このようにSchumann共鳴波動は、全地球的な雷活動のみならず気候変動を表すよい指標であるとみなすことができ、今後の地球環境変動にリアルタイムで監視の目を光らせている。

参考文献

- Helsdon, J. H. and R. D. Farley, 1987: A numerical modeling study of a Montana thunderstorm: 2. Model results versus observations involving electrical aspects, *J. Geophys. Res.*, **92**, 5661-5675.
- MacGorman, D. R., J. M. Straka and C. L. Ziegler, 2001: A lightning parameterization for numerical cloud models, *J. Appl. Meteor.*, **40**, 459-478.
- MacGorman, D. R., W. D. Rust, P. Krehbiel, W. Rison, E. Bruning and K. Wiens, 2005: The electrical structure of two supercell storms during STEPS, *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 2583-2607.
- Ohigashi, T. and K. Tsuboki, 2005: Structure and maintenance process of stationary double snowbands along the coastal region, *J. Meteor. Soc.*

- Japan, **83**, 331-349.
- Parker, M. D., S. A. Rutledge and R. H. Johnson, 2001 : Cloud-to-ground lightning in linear mesoscale convective systems, *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 1232-1242.
- Takahashi, T., 1978 : Riming electrification as a charge generation mechanism in thunderstorms, *J. Atmos. Sci.*, **35**, 1536-1548.
- Takahashi, T., 1984 : Thunderstorm electrification —A numerical study, *J. Atmos. Sci.*, **41**, 2541-2558.
- Zrnic, D. S., A. Ryzhkov, J. Straka, Y. Liu and J. Vivekanandan, 2001 : Testing a procedure for automatic classification of hydrometeor types, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **18**, 892-913.
-