

第7回国際大気電気学会議の報告*

小川俊雄**・高木増美***・北川信一郎****
織笠桂太郎*****・川本洋人**・牧野雅彦**

1. はじめに

1984年6月3日から8日まで、第7回国際大気電気学会議が、State University of New York (SUNY) at Albanyにおいて開催された。この会議は、1954年 Portsmouthにおいて開催された第1回会議以来続いているもので、IAMAPのコミッションである International Commission on Atmospheric Electricity (ICAE, 国際大気電気学委員会)の主催によるものである。第2回会議は'58年に同じく Portsmouthで、第3回は'63年にスイスの Monteuxで、第4回は'68年に東京で、第5回は'74年に Garmisch-Partenkirchenで、第6回は'80年に Manchesterで開催され、それぞれ論文集が出版されている。

今回の国際会議は、AMS (アメリカ気象学会)、AGU (アメリカ地球物理学連合会)、WMO (世界気象機関)の後援を得て開催され、イオン、電気伝導度、晴天日電気現象、雷雨電気、雷放電等、10のセッションで約150編の論文が発表された。そのうち米国からが約半数で、わが国からは14編が受理された。しかし8名しか出席できず、招待講演1編を含め10編の論文が発表された。

会議は、主として Poster and discussionの形式で行われた。各セッションでは、ポスター会場でポスターを見た後主会場にもどって各著者による数分間の要旨発表後、各論文について議論が行われた。AMSの形式に従って full paperに近い論文を集録した500頁以上の Preprint volume が各人に渡され、それぞれ図を見ながら説明を聞き、議論が進められた。この新しい形式の会

議についての評価には賛否両論があったが、複数会場に分かれるよりはよかったとの声が多かった。この会議で発表された、招待(レビュー)、一般の両論文とも、新たためて7月1日締切りで JGR に投稿され、査読を通ったもののみ、大気電気学特集号として1985年はじめに出版されることになっている。

なお、過去7回の国際大気電気学会議の論文集は以下の通りである。

Proceedings on the Conference on Atmospheric Electricity, edited by R.E. Holzer and W.E. Smith, Geophysical Research Directorate, Air Force Cambridge Research Center, Air Research and Development Command, pp. 247, 1955.

Recent Advances in Atmospheric Electricity, edited by L.G. Smith, Pergamon Press, London, pp. 631, 1958.

Problem of Atmospheric and Space Electricity, edited by S.C. Coroniti, Elsevier, pp. 616, 1965.

Planetary Electrodynamics, Vols. 1 and 2, edited by S.C. Coroniti and J. Hughes, Gordon and Breach, pp. 587 (Vol. 1) and 503 (Vol. 2), 1969.

Electrical Processes in Atmospheres, edited by H. Dolezalek and R. Reiter, Steinkopff, Darmstadt, pp. 865, 1977.

Proceedings in Atmospheric Electricity, edited by L.H. Ruhnke and J. Latham, A Deepak Publishing, pp. 426, 1983.

VII International Conference on Atmospheric Electricity, Preprints, American Meteorological Society, pp. 517, 1984.

(小川俊雄)

* Report on the 7th International Conference on Atmospheric Electricity.

** Toshio Ogawa, Hiroto Kawamoto, Masahiko Makino, 京都大学理学部.

*** Masumi Takagi, 名古屋大学空電研究所.

**** Nobuichiro Kitagawa, 埼玉大学.

***** Keitaro Oriyasa, 室蘭工業大学.

2. イオン・エアロゾル及び晴天日大気電気

この主題に関係して合計41の報告が3つのセッションで行われた。内容別にみると、成層圏5, 対流圏14, 地表境界層5, 大気電流回路および太陽活動影響14, 観測法3という内訳になる。このうち比較的興味をひいた

論文について簡単に紹介する。

成層圏に関するものでは、Wyoming 大学のグループによる導電率の気球測定結果がある。El Chichon の噴火後10カ月たった83年1月になって、Laramie (41°N) 上空 30 km 付近で、凝結核濃度の2桁以上の急激な増大と、それに伴う導電率の1/2以下への急減少が観測された。この効果はその後6カ月程次第に減少しながらも認められた。このことは火山から直接噴出された粒子状物質の拡散の問題とともに、噴出ガスから微小粒子への成長が、成層圏エアロゾルの問題にいかにか重大であるかを端的に示す一つの観測事実である。

成層圏イオンの移動度スペクトルの観測も Wyoming グループから報告された。結果は正負とも $1 \sim 2.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の範囲にあるが、対流圏よりもシャープな分布を示している。しかし移動度スペクトルの分解能は本質的に高くないので、イオン組成の同定という面では質量分析にたちうちできない。

質量分析装置を気球につんだ成層圏イオンの測定は Arijs 等により報告された。それによると、負イオンの主体は $\text{NO}_3^-(\text{HNO}_3)_n$, $n=1, 2$ であり、またもうひとつのグループとしてこれと硫黄化合物が結合した $\text{HSO}_4^-(\text{H}_2\text{SO}_4)_m(\text{HNO}_3)_n$ がある。これは従来の報告と特に変わるものではないが、El Chichon 噴火後の観測 ('83年9月)で、28 km 付近でイオン組成から求められる硫酸量が極小になっており、これはエアロゾルに転化したためであると説明されている。

対流圏関係の報告は多岐にわたるが、従来活発に行われていた、イオンの化学組成およびこれと移動度との関係、エアロゾルの形成とその際のイオンの作用、といった室内実験の報告が皆無であったことは意外である。これらの問題は、イオン・エアロゾルの本質に関わるものでありながら、実験の難かしさが次のステップへの発展の隘路となっているようである。

導電率の長期変動についての新しい見方が報告された。海洋上の導電率については background pollution の漸増という概念が有名であるが、Meyerott の今回の報告は、導電率の推移が火山活動と相関をもっているとしている。対流圏内のエアロゾルの寿命は数日に過ぎないので、このためには成層圏からの長期にわたる補給が必要で、したがって電離層電位にはより一層はっきりした火山活動の対応が見られるとしている。しかし Markson のまとめた電離層電位の長期変動からは、どうも火山噴火の影響ははっきりしない。この辺は資料の選び

方、解析手段にも問題がありそうである。

大気電流回路への太陽活動の影響という点では、太陽が惑星間空間に作る磁場の極性逆転が地球上のうず度の変化と関わりがあり、それがひいては太陽-気候の関係のひきがねになるという報告が、これまでにしばしばあらわれている。今回の Newell の報告は、うず度ひいては雷活動度に関係するのは、太陽面上のブラージュの発生(太陽X線の源)であり、これがしばしば地球が通過する惑星間空間磁場の逆転と時期的に重なることから、上記のような現象が外見上見られるものだとしている。長期のうず度の統計をとると、弱い太陽極大(1968~1970年)では上記の現象が強く見られるのに、強い太陽極大(1956~1960年)ではむしろ負の相関になる。これから考えると、太陽-気候の関係に強く関与しているのは太陽X線であり、これは電流回路についてもその電離に銀河宇宙線とともに関係するほか、対流活動を刺激し、また直接雷雲頂部の電荷分離をおこす可能性もあり、発電源としての雷活動にも寄与しているのである。

(高木増美)

3. 雷雨電気と雷放電

この分野に関するものは全体の半分の5セッションであった。以下、順を追って主要な点を述べる。

セッション5. 雷雨観測(座長 M. Brook ニューメキシコ鉱工大学)では、Krehbiel(ニューメキシコ鉱工大学)が総合報告を行った。同博士は、座長の Brook とともに、長年電界の多点同時測定によって、放電要素毎に電荷中心の3次元決定を行う方法で、雷雲の電氣的構造解明の研究を行ってきた。報告はこの研究成果を反映した包括的なもので、その中で、落雷にあずかる雲の負電荷は、 $-10^\circ\text{C} \sim -30^\circ\text{C}$ の温度高度に水平に分布することを強調していた。

一般発表論文の数は11編で、航空機によるもの、ラジオゾンデによるもの各々1編の他は、地上に各種の装置を設置した観測結果であった。Krehbiel 等の電界多点同時測定に加え、ドップラー・レーダーを駆使した、フロリダにおける雷雨の観測結果が見事であった。Kridler(アリゾナ大学)は、雷雲の電氣的特性は、電荷分布で示すより、電流分布で示す方が適切であるとし、電流として伝導電流と変位電流を合成した Maxwell current を用いるべきことを提唱した。

セッション6. 雷放電I(座長 S. Lundquist ウプサラ大学)では、Kridler が "Electrical and Optical Obser-

vations of Lightning”と題し、Beasley (NSF) が“Cloud to Ground Lightning Observations”と題して、それぞれ総合報告を行った。Kridler は、回転カメラから、最近の衛星による観測まで、雷の観測法全般を系統的に概括し、内容の豊富な報告を行った。

一般発表論文数は11編で、そのうち雷放電を統計的に扱ったもの6編、放電による電界変化、電界放射に関するもの4編、高い塔への落雷を扱ったもの1編という内訳であった。

セッション7. 雷放電Ⅱ (座長 D.E. Proctor 南ア NITR) の総合報告は、Uman (フロリダ大学) が、“A Review of Measured and Calculated Return Stroke Electric and Magnetic Fields both in the Time and Frequency Domain”と題して、同博士が中心になって行われてきた電磁界の解析、物理的な意義を明確にしたモデルの提唱 (Lin 他, JGR, 85, 1571-1583, 1980)、最近の航空機による観測結果との比較、今後の見通し等について述べ、最近までの研究成果を総合して Return Stroke の物理像を明らかにする報告を行った。また Bouly (フランス ONERA) は“Triggered Lightning”と題し、288回のロケット発射で167回の誘雷に成功した、1973~1983年の観測全般について報告した。

一般発表論文の数は18編で、そのうち6編は、雷放電の機構をさぐるための人為的放電に関するものであった。雷放電を観測する手段は、すべて電界変化、電磁波放射を記録する方式のものであったが、そのうちの3編は、VHF電波の到来時間差から、放電路を3次元的に決定するものであった。この方法で求めたVHF源と、電界変化から求めた電荷分布がよく一致することが確かめられた。また、VHF電波で観測すると、雲中での雷放電の頻度は意外に高く、1秒に1回位の割合で起こる場合もあるという。この他、落雷に含まれる重要な放電要素の1つである連続電流に関する研究が2編あり、今後の発展が期待される。

セッション8. 雷放電—人工衛星による観測 (座長 A. Few ライス大学, J.C. Dodge SLWRO) では、Christian (NASA) が“Lightning Observation from Above Clouds”と題し、地球上の雷雨分布について、1925年のBrooksの統計からスタートし、最近の気象衛星による観測諸結果をまとめる報告を行った。また、Rinnert (マックス・プランク宇宙研究所) は、“Lightning on Other Planets”と題し、全ての惑星の大気環境を調べ、雷放電の可能性を検討し、人工衛星による探索結果と比

較した報告を行った。

一般発表論文10編中、5編は地球上の雷放電、5編は惑星の雷探索に関するものであった。金星、木星、土星には、雷に相当する大規模放電が存在し、土星の衛星Titanにも存在の可能性があるかと推定している。

セッション9. 雷放電—音響測定他 (座長 小川 京大, J.C. Dodge SLWRO) では、総合報告はなく、一般発表論文8編中、音響に関するもの2編、残りは長ギャップ放電測定へのシュリーレン法の導入、NO₂の発生、岩石への衝撃による電磁波の発生、Stepped Leader, Ball Lightningにおけるイオン融合等であった。

(北川信一郎)

4. 電荷分離

このセッションでは16編の論文が発表され、それらは雷雲電荷発生の数値シミュレーションと、電荷分離の室内実験の2つの分野に分けることができる。まず前者の分野で Takahashi (ハワイ大学) は、雷雲中に蓄積される電荷の大部分は降水物体にあるという考えに基づいて、Rimingによる電荷発生を中心としたモデルを考え、雲頂の正電荷と雲底の負電荷について、放電を起こすに十分な電荷量の蓄積が行われることを示した。このモデルのチェック手段としてはレーダーエコー観測結果のみを用いている。これとは対称的に、Orville等 (南ダコダ鉱工大学) は、電荷分離については未解決ながら、雷雲の発達初期から最盛期までの力学と microphysics に重点をおいたモデルをつくり、航空機やグライダー、レーダー等による観測 (雲内の降水量、雪結晶の大きさや数密度、rimingの状況、雲の内外の垂直・水平方向の電界等) によってモデルの正確さを実証した。また、グローバル・サーキットの電源である雷雲の電気的特性を調べるために、牧野 (京大) は雷雲による convection current と ion conduction current の垂直分布を詳細に計算した。雲内部では帯電した雲粒子による convection current が卓越しており、この電流が雷雲内の電荷を生成することがわかった。conduction current は雲内部ではほとんど流れないが、地表から雲底へと雲頂から上方へ向かって約 1 nA/m² 流れるという結果を得た。

次に後者の分野では、Takahashi は Mendenhall 氷河で採集した単結晶氷を、上下両端に 2°C/cm の温度傾斜をもつ、-10°C の装置の中に入れて圧力を加えると、上端の温度の低い方が正に、下端の温度の高い方が

負に帯電し、帯電量は圧力の増加とともに指数関数的に増加することを認め、この状態で結晶が破壊されると電荷分離が起こることを確認した。Saunders (UMIST) 等は riming による電荷発生の実験から、rimer の帯電極性は rimer の回転速度に著しく依存し、特に水が少ない場合には rimer の回転速度がはやくなると帯電極性が逆転することを見出し、riming による電荷発生にもかなりの問題が残されていることを指摘した。Illingworth 等 (UMIST) は、雷雲中の電場の発達に正の帰還効果をもたらす inductive mechanism に関する新たな実験を行い、氷の表面にある程度の電気伝導度が必要であることを認めた。それには 10^{-4}M 以上の NaCl の濃度が必要だが、雲の中で採集した雪片の NaCl の濃度は通常 $5 \times 10^{-6}\text{M}$ 程度で 10^{-4}M のものは稀れであるから、水同志の相互作用に inductive mechanism は適用できないと結論している。Kamra 等 (インド熱帯気象研究所) は簡単な実験から、 10 m/s の上昇気流中であられが融解して生ずる水滴は、 $1 \sim 1.6\text{ kV/cm}$ の電場の中で、正電荷をもつ 1 nm 程度の微水滴群に分裂して円錐状の煙を発生し、あられは負に帯電するとした。あられ 1 個当たり $10^{-9} \sim 10^{-8}\text{ C}$ 程度の電荷分離をするので、 1 m^3 に 1 個のあられがあれば 1 km^3 当たり $1 \sim 10\text{ C}$ の電荷分離を生ずることになる。これは十分に発達した雷雲の氷結高度付近またはその下部のポケット状正電荷の説明に役立つことを指適している。

以上、興味あると思われる論文について紹介したが、シミュレーションの技術はかなり進歩しているが、肝心の電荷分離についてはまだ暗中模索の段階を脱していないように思われた。(織笠桂太郎)

5. Atmospheric Sciences Research Center 訪問

国際会議にはじめて参加して "A Model Calculation of Negative Ions in the Lower Stratosphere" を発表した。今回の国際会議全体が大変面白い友好的雰囲気であり、多くの研究の最先端に触れ、また多くの新しい友人を得ることができた。

この会議期間中に、ニューヨーク州立大学の Mohnen 教授の好意により、Atmospheric Sciences Research Center の2つの研究室を見学することができた。この研究所は、国際会議が行われたキャンパスから車で少しのところであり、人間環境に関係する多くの研究が行われている。このうちには、いくつかの野外観測施設や飛行機を使用する研究も含まれている。またニューヨーク

州立大の Department of Atmospheric Sciences の大学院教育にも関与している。

Mohnen 教授は、1970年代に行った大気イオンの実験的研究で有名であり、最近ではイオンからのエアロゾル生成理論や酸性雨の研究等も行っている。Mohnen 教授の研究室のプラズマクロマトグラフィと呼ばれる機器は、微量気体試料を電離し、ドリフトチューブ内に電場をかけてイオンを駆動し、到着時間を計測することによりイオン移動度を求め、さらに四重極フィルターを通してイオンの質量スペクトルを得るといものである。試料を電離する前に、ガスクロマトグラフィやフレーム電離等の計測をすることもでき、大気中の微量気体成分を総合的に研究できる。Del Santo 氏が、実際にプラズマクロマトグラフィを動かしながら、説明してくれた。

また、Barreto 教授の研究室では、例えばタンカーなどで静電気による火花から災害が起こることがあるが、そのような数 cm 程度以下の空間で起こる放電現象について、実験室内での研究が行われていた。(川本洋人)

6. Langmuir Laboratory 訪問

会議の終了後、ニューメキシコ州ソコロ市の西にある Langmuir Laboratory を訪ねた。この研究所はニューメキシコ鉱工大学に附属し、プラズマ物理学の創始者であり、また人工降雨の研究でも有名な故 Langmuir 博士の名前に因んでいる。砂漠の広がる荒野にそびえる標高 $3,200\text{ m}$ の山頂に研究所があり、そこから見えるパノラマ風景は壮大で何か神秘的な印象を与える。山稜には人工誘雷実験用の地下壕やロケット打上げ台、気球放球場、係留気球、雷観測棟、天文台などが建ち並んでいる。ここでは山頂の真上に襲来した雷雲についての観測実験が行われ、観測施設は様々の研究グループによって共同利用されている。冬は雪のために閉鎖されるが、宿泊施設が完備しているので夏の雷雨期には下界へ降りることなしに山頂で観測を継続できるそうである。

私たちが訪ねたのは雷シーズンの直前であったため、スタッフの人々は観測装置の準備に追われていた。Holmes 教授は稲妻の経路を雷鳴によって観測する装置を熱心に調整し、Moore 教授はつなぎの作業衣を着て忙しそうに飛び回っていた。中古のレーダーを使って雷観測システムを自作中の大学院生の Dan と誘雷実験の女性スタッフである Deb の2人が親切に研究所内を案内してくれた。

一番印象的だったのは、ワイヤーのついたロケットを

打上げて、そこに雷を落とす誘雷実験施設だった。この実験では安全のために人間は地下壕の中へ避難し、雷雲が消え去るまでは一步も外へは出られないとのことで、まるで雷の空襲をうけているみたいであろうと想像された。その他、気球を用いて雷雲内の電場や大気導電率、降水粒子の電荷の観測等も行っているそうである。アメリカにおける大気電気学研究的活動的な雄大さの一端に触れた思いである。(牧野雅彦)

7. おわりに

この会議中に行われた ICAE の委員会では次の3つのことが決まった。1. 委員の補充, 2. 次回第8回国際大気電気学会議を1988年にスウェーデンの Uppsala で開催すること, 3. 委員会のサブコミッションを改組して次の6つとすること。

I. Standard, Method and Applications (委員長

H. Dolezalek)

II. Global Circuit and Solar Terrestrial Relations
(R. Reiter)

III. Atmospheric Electricity on Other Planets (L. Lanzerotti)

IV. Ions, Aerosols and Radioactivity (M. Takagi)

V. Clouds, Precipitation and Thunderstorm Electricity (J. Latham)

VI. Lightning and Sferics (S. Lundquist)

サブコミッションの活動について御意見のある方は、それぞれの委員長と積極的に連絡をとられるようおすすめします。

最後に、1988年の第8回国際会議に向けて、今から論文発表の準備を進められるよう、特に若い研究者に希望します。(ICAЕ 委員長 小川俊雄)

日本気象学会および関連学会行事予定

行 事 名	開 催 年 月 日	主 催 団 体 等	場 所
第10回レーザ・レーダ(ライダー)シンポジウム	昭和60年5月16日・17日	レーザ・レーダ研究会	福井県芦原町
日本気象学会春季大会	昭和60年5月22日～24日	日本気象学会	気象庁
月例会「第29回山の気象シンポジウム」	昭和60年6月15日		気象庁
第22回理工学における同位元素研究発表会	昭和60年7月1日～2日	関係諸学協会共同主催	国立教育会館
International Cloud Modelling Workshop /Conference	1985年7月15日～19日	WMO	Irsee (ドイツ)
First WMO Workshop on the Diagnosis and Prediction of Monthly and Seasonal Atmospheric Variations over the Globe	1985年7月29日～8月2日	WMO	メリーランド大学(米国)
IAMAP/IAPSO 1985年ハワイ合同研究集会	1985年8月5日～16日		ハワイ州ホノルル
第23回国際地震学・地球内部物理学協会(IASPEI)総会	昭和60年8月19日～30日	地震学会ほか	京王プラザホテル
第3回エアロゾル科学・技術研究討論会講演	昭和60年8月22日・23日	エアロゾル研究協議会	東京理科大学
第3回アジア流体力学学会議	昭和61年9月1日～5日	アジア流体力学学会議委員会	日本都市センター