

## 第6回国際大気電気会議報告\*

(1980年7月28日～8月1日, マンチエスター)

### 大気電気研究会\*\*

#### 1. 経過報告

第6回国際大気電気会議は、マンチエスター大学科学工学研究所の会議場で、1980年7月28日から8月1日までの5日間開催され、アメリカ、西ドイツ、フランス、日本など25ヶ国から合計220名が出席した。プログラムに載った講演数は174で、12のセッションに分けて発表された。わが国からは13名出席し、論文16篇を発表した。

アメリカのポーツマスで第1回国際大気電気会議が開かれたのが1954年であり、この会議にはわが国から田村雄一教授(京大)が出席した。その後1958年同じくポーツマスで、1963年スイスのモントルーで、1968年東京で、1974年ガルミッシュ・バルテンキルヘンで開かれて今日に至っている。前回より6年経っており、またこの間TRIP(Thunderstorm Research International Program)などの国際共同研究も行なわれたため、講演数だけでなく内容も豊富であった。今回の会議の特徴はテーマを絞らなかつたことで、このため大気電気のあらゆる分野から論文が集まった。一部分は2会場に分かれたが、連日200席の主会場は満員で、議論が白熱した。これらの議論も含めたProceedingsは約1年後に出版される予定である。会議出席者は全員キャンパス内の学生寄宿舎に泊まった。会議中には、市長主催のレセプションと、晩餐会(guest speakerはSir B.J. Mason), mu-

sical eveningのほか、Jodrell Bank 天文台訪問を含む5つのエクスカージョンがあった。

今回の会議は、最初ソビエト連邦共和国エストニアで開くよう計画されたが結局不可能となり、急遽、国際大気電気委員会委員長 J. Latham 教授のところで開かれることになった。このため準備期間が短かかったが、会議は成功を収めたと思われる。以下に出席者が分担してセッションの概要をまとめた。(小川俊雄)

#### 2. セッション報告

##### (1) セッション I. イオンと電気伝導度

座長: A.W. Castleman, Jr. (Univ. Colorado) V.A. Mohren (State Univ. New York, Albany)

イオン化学に関する論文が多い中で、まず、Arnold and Ferguson (Max-Planck-Inst. Heidelberg) のものを紹介する必要がある。成層圏から中間圏へかけて極端に重い正イオン  $H_3O^+(H_2O)_n$ , ( $n=20$  かそれ以上) および負イオン  $NO_3^-(HNO_3)_b$ ,  $HSO_4^-(H_2SO_4)_c$ ,  $(HN-O_3)_d$ , が卓越することを見出した。このような“multi-ion complexes”の成因はまだ明確ではないが、ある程度のクラスターを形成した後は、電荷を失うことなくガス分子との合体によって形成されるであろうとした。Castleman は実験室系でこのような安定した multiion complexes の形成を確認したことを報告し、Smith (Univ. Birmingham) は、この成因について反応式を組立て説明を試みた。対流圏でのイオンに関しては、Mohrenが、大気圧で使用できるドリフトチューブを使用して、 $^{63}Ni$  ベータ線源により  $O_2^-(H_2O)_{1,2,3}$ ,  $CO_4^-(H_2O)_{0,1}$  が卓越することを報告し、 $SO_2$  が加わると、 $SO_4^- \cdot X$ ,  $SO_5^- \cdot X$ , オゾンが加わると  $CO_3^- \cdot X$  が形成され、 $NO_x$  を含む空気では、 $NO_2^- \cdot X$ , オゾンが加わると  $NO_3^- \cdot X$  が卓越するとした。Huertas-Fontan (Univ. Paul Sabatier) は、放電によるイオンと、アルファ線 ( $^{241}Am$ ) によるイオンとを別々に調べ、正イオンではいずれも  $H_3O^+$

\* Review of Sixth International Conference on Atmospheric Electricity, July 28~August 1 1980, Manchester.

\*\* The Society of Atmospheric Electricity of Japan, 小川俊雄(京都大学理学部), 中谷茂(電子技術総合研究所), 関川公成(東京理科大学理学部), 望月定(室蘭工業大学), 北川信一郎(埼玉大学工学部), 北条準一(東京大学生産技術研究所), 竹内利雄(名古屋大学空電研究所), 遠藤辰雄(北海道大学理学部), 織笠桂太郎(室蘭工業大学), 志尾弥(北海道教育大学).

(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>であるが、負イオンでは放電により NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> およびそのハイドレイト NO<sub>2</sub><sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O) が形成され、アルファ線により、O<sub>2</sub><sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>(n=1, 2, 3, 4) が主として形成されると報告した。下層大気でも次第にその組成が明らかになりつつあるのである。このような研究に質量分析計が必要であるが、これに関して、McDaniel(Georgia Inst. Tech.) は、10<sup>-3</sup>~5 Torr の範囲をカバーするものと、5~10<sup>3</sup> Torr をカバーするものと二種類のドリフトチューブを報告した。このような測器の研究も必要で、測器のないために研究が消極的になる例は多い。

Vohra (Bhabha Atom. Res. Cent. Bombay) は、その機構が明確でないにしろ、放射線に誘導されて生ずるエアロゾルに注意を喚起し、核燃料の使用による放射能汚染が進行して、種々の形態で大気電気現象へ影響を及ぼすとした。Metayer・Madelaine (C.E.N. Fontenay-aux-Roses) は <sup>85</sup>Kr ベータ線を使用して、放射線による核化現象を実験した。1 rad 以上の線量では新粒子の生成が確認されているが、彼らの実験では、SO<sub>2</sub> と水分を含んだ反応チェンバー中で、少なくとも 100 mrad/h 程度までは、新粒子の生成はそれほど重要ではないとした。このような研究も以後次第に重要になっていくものと考えている。そのほかに、Electrical Parameter の垂直分布に関する報告があった。Gringel ら (Univ. Wyoming) は、電気伝導度、小イオン密度、電離強度、凝結核数の計測から小イオンの再結合係数および凝結核への付着係数を評価し、高木ら(名大空電研)は、同様の測定を行なったが、そのパラメーター間には常に良い関連性は得られずエアロゾルの粒径分布を考慮しなければいけないのであろうとした。このセッションには種々の研究分野が含まれていて、変化に富んではいたが、他のセッションに類似する内容もあり、プログラムに一工夫してほしいところであった。(中谷 茂)

## (2) セッション I-A. イオンと電気伝導度(続き) 座長: F. Arnold (Max-Planck-Inst. Heidelberg)

このセッションでは、Gas-to-Particle Conversion に関連した話が大部分であった。

まず、Banic ら (Univ. Toronto) は、粒子の発生の際に小イオンがどのような作用をするか実験的に調べた。微量ガスとして NH<sub>3</sub> および HCl を使用した場合、小イオンが存在しなければ、粒子の発生量は、よく知られた式、

$$\ln I = A - B/(\ln S)^2$$

に従っている。この系に小イオンを加えると、微量ガス濃度を下げても、上式で計算されるよりも相当多量の粒子の発生が観測された。彼らはまた、正のイオンを加えた場合は無帯電粒子が発生し、負イオンの場合は、正イオンの時より大量で、しかも電荷を持った粒子が発生することを見つけた。さらに彼らは、質量分析器による解析結果から、負イオンを作用させた場合に生成される粒子は Cl<sup>-</sup>·(HCl)<sub>2</sub>·NH<sub>4</sub>Cl, Cl<sup>-</sup>·(NH<sub>4</sub>Cl)<sub>2</sub> であろうとし、小イオンはこれら粒子の発生に対して、触媒として働いているのだらうと推論している。詳しいメカニズムは明確ではないが、微量気体の粒子化現象の機構を考える際には、このような電気的な作用も考慮していく必要があるように思われる。

Hill (Univ. Calif.) は、「Trace Species of Gases Produced by Lightning」の中で、粒子化しやすい、または粒子化を促進させると見られているガス物質が雷によってどれほど作られるか概算している。計算に必要な諸数値は、個々の雷で非常に広範囲の値を取るもので、その平均的な値を決定するのは大変困難なことだらうと思われるが、彼は多くの観測結果と理論的解析から次のようなモデルを採用した。(1) 雷撃によって放出されるエネルギー 10<sup>4</sup> Joule/meter, (2) 1回の雷放電あたりの雷撃数 3, (3) 1回の放電によって加熱される空気柱の長さ 5 km, (4) 加熱された空気が周囲の空気と混合して、温度が 3000°K まで低下した時の空気柱の半径 16 cm, (5) 周囲の空気と混合していく早さ 10 cm<sup>3</sup>/sec, (6) 全世界の雷放電の頻度 100回/sec. なお、今対象としているのは、加熱された空気柱内での反応のみで、コロナ放電などは除外している。これらの値から、彼は数種の微量ガスの生成量を概算しているが、例えば NO の量は 6×10<sup>27</sup>(molecules/sec) であるとし、人為的発生量 (NO<sub>2</sub> も含めて概ね 10<sup>28</sup> molecules/sec) とほぼ等しいことを指摘している。

この他の講演では、ロケットなどを使った成層圏のイオンやガス物質の解析結果の報告が、アメリカ、ドイツなどから出され、スケールの大きな観測がさかんに行なわれていることをうかがわせた。また、Podzimek・Yue (Univ. Missouri) は、凝結核数測定器の指示値が粒子の化学組織によって異なることを示し、さらに、市販品を含む数種の測定器について、膨張比を変化させて指示値を比較し、測定器の互換性の点からは、膨張比1.21よりも1.35の方が有利であることを指摘している。この種の測定器は、手軽に使えるものであるが、その測定値に

関しては、十分注意する必要のあることを改めて感じさせた。  
(関川公成)

### (3) セッション I-B. イオンと電気伝導率(続き)

座長: 同上

このセッションは9編の論文で構成され、7月30日(水)午前にセッションVIIと並行して開催された。Rn-222, Kr-85 など放射性物質の挙動、大気電気要素に関する影響を論じたもの4題をはじめ、イオン・スペクトロメータ、エアロゾル・スペクトラム、エアロゾルの帯電速度などに関する基礎的研究、小イオン、大気電気伝導率の長期観測結果の研究報告等々バラエティに富んだセッションであった。前回の第5回会議では自然放射性物質、放射線に関するものは極めて少なかった(2,3題)が、今回の会議では上記に加え他のセッションでも放射線による粒子の生成に関する基礎的研究報告が2,3散見されたので、やはりこの6年間に、大気電気学の分野で放射性物質が関与する研究が着実に進展していることを示すものとして注目すべきことと思う。

以下、順にこのセッションの内容を略記する。

Salm (Tartu State Univ.) は、イオン・スペクトロメータの製作・使用に際しての乱流・分子拡散の影響を喚起しており、Chang (McMaster Univ.) は、エアロゾルの静電帯電過程をコンピュータを用いて追求し、シミュレーションの結果を報告している。イオン・スペクトロメータから得られる記録と実際のエアロゾル・スペクトラムの形は異なることを指摘し、イオン・スペクトラム測定データからエアロゾル・スペクトラムへの変換方法について Tammet (Estonia) が報告している。自然放射性物質、Rn-222 とその娘核の観測結果報告として、Renoux (U.B.O. France) は海岸近くでの大気電気伝導率、エアロゾル濃度、Rn-222 の同時観測から、日変化、粒径分布、風向による特性、特に上記3要素の相関と気象要素との関係について論じている。望月(室蘭工大)は冬期北西季節風の卓越する頃の日本列島南方洋上大気中における Rn-222 の濃度変動、娘核の放射平衡比とそれを運搬しているエアロゾルの粒径分布変動について報告している。室内における基礎的実験であるが、Rn-222 娘核の放射性イオンと大気電場との関係について、Jonassen (Technical Univ. Denmark) が興味ある結果を報告しており、高濃度レベル環境においては放射性負イオンの重要性を指摘している。1977年のシアトルにおける IAGA/IAMAP、1978年のヒューストンにおける NRE III (第3回国際自然放射線環境会議)で

もその重要性が指摘されていた大気中の Kr-85 について、Boeck (Niagara Univ.) により報告された。衆知のように、Kr-85 は半減期10.76年と長く、その発生源は原子力施設であり、大気中への蓄積が憂慮されている放射性希ガスである。彼は1976年、日本の大気電気研究会で Kr-85 に関するシンポジウムが開かれていることを高く評価しており、今後さらに大気電気分野で電離効果をはじめ各種の影響について研究が推進されるべきであると提言している。これは大気電気学と人工起源の放射性物質の掛り合いとして特記すべきであろう。

さらにこのセッションでは、Reinet (Tartu State Univ.) による大気小イオン、中間イオン濃度の季節による変化、Srivestara 他 (India) によるベンガル湾での大気電気伝導率の長期にわたる観測結果が報告された。  
(望月 定)

### (4) セッション II. グローバル・サーキットと晴天日大気電気

座長: R. Reiter (Fraunhofer Inst. Atmos. Env. Res., Garmisch) 小川俊雄(京大理)

Ruhnke (NRL) と Tammet (Estonia) はアメリカとソ連の両地点で、それぞれ長さ100mと150mのアンテナを地上1mのところ張って空地電流を測定し、両地点でよい相関のある場合があることを見出し、また40秒までの位相差があることもある、と発表して人々を驚かせた。Markson (MIT) が、自分の飛行機観測や、小川の気球観測などにそのような fluctuation が見られないと反論した。電場のマッピングの理論からは、電離層から下りてくる短周期成分はほとんど減衰してしまうが、彼らの測定は全マックスウェル電流  $(J + \frac{dD}{dt})$  であるため、もしかしたらという気もしたが、いずれにせよもっと観測を続ける必要がある。Monahan (Univ. College, Galway) は海の波頭の泡による電荷分離のグローバルな効果を論じ Blanchard (1963) の結果と比較して2~5倍大きいと結論した。小川(京大理)は中緯度成層圏の電気について三陸での気球観測結果をレビューし、この中で述べた雷雲の強電場で大気が電離される可能性があるかどうかについて、Dolezalek (ONR) や Perret (Univ. Calif.) から疑問の質問が相ついだ。中谷(電総研)角田(環境アセスメント)は電気伝導率に及ぼす渦拡散過程の効果を論じ、イオン寿命が強く関係することを示した。また、関川(東理大理)はエアロゾルの粒径分布の日変化型が、気団によって変ることを示した。これら大気電気要素に及ぼす気象条件の効果は

古くて新しい重要な問題で、質問も相ついだ。Anderson (NRL) は空間電荷とエートケン核の関係を簡単な観測から論じたが、NRL のようなところではもっと大きいことをやってほしい気がした。(小川俊雄)

### (5) セッション III. 大気電気に及ぼす太陽活動の影響

座長：L.H. Ruhnke (NRL) A.A. Few (Rice Univ.)

Few は大気電気を通しての太陽活動と気候との関係についてレビューした。この中で一番よく話題になる太陽活動と雷活動の相関も、その物理機構がはっきりしないので、いつまでも不透明なままであることを新たに感じさせられた。Markson (MIT) は Nature (1978) や Science (1980) に論文を出して今やこの分野の花形であるが、垂直電場の飛行機観測から求めた電離層電位の重要性を論じ、宇宙線強度が10%増えると電位が10%増えるという結果を示して、太陽→宇宙線→電場→雷→雲物理過程のつながりがあるとしたが、ここでも最後の2つの過程の物理機構がはっきりしない。Gringel (Univ. Tübingen) は気球で観測した電気伝導度の高度分布が太陽活動で50%も違うことを示した。Hale (Pennsylvania State Univ.) は高緯度のロケット観測による60 km 高度の電場が1 V/m のオーダーで変化することを示した。同じような結果はすでにソ連でも発表されているが、これらの観測方法には問題がある。セッションの合間に質問してみたが、高緯度ではこうだといひ張った。Reagan ら (Lockeed Palo Alto Lab.) は SPE (Solar Proton Event) が極冠帯域の高度20 km 以上の電位に及ぼす影響を計算し、1972年8月の過去最大のeventについて、電位が22 km で極大、60 km で極小となったであろうことを示した。Chang (McMaster Univ.) はトロントで測った雷活動に、太陽セクター境界通過の影響がはっきり出ていることを示した。これは Park (1976) や Reiter (1977) らの報告を裏付けるものだが、まだデータのばらつきが大きいような気がする。(小川俊雄)

### (6) セッション IV. 応用と計測法

座長：H. Dolezalek (ONR)

大気電気学の全分野にわたって、この題目で発表論文をまとめ、1つのセッションとしたのは今回がはじめてで、今までの第5回までの国際大気電気学会では見られなかった新しい試みであった。今回の会議では、全体として発表論文数が著しく増加し、そのなかには、人間活動、気象現象、成層圏現象などに関連する分野の拡大し

た論文、新しい計測法の開発、あるいは従来の計測法に新たな光をあてる論文などが数多く含まれていたことが、この新しいセッション設定の動機と思われる。

発表論文は、雷に関するもの4編、エーロゾルおよび晴天時現象に関するもの9編、計測法に関するもの4編、大気電気一般にかかわるもの2編、合計19編で、会議の第2日、7月29日(火)午前・午後にわたって発表討論が行われた。その他に6編の論文が予定されていて、興味ある題目のものが少なくなかったが、ソ連科学者の不参加などのために、発表が行なわれなかったのは残念であった。

イオン、大気伝導率、晴天時現象について他のセッションで多数の斬新な研究発表が行なわれたことは、今回の国際会議のハイライトの1つをなすものであったが、このセッションでも、この分野に属するものに、注目すべき論文が多かった。

今日、エーロゾルの研究は、単なる濃度測定から、粒径スペクトラム測定へと進んできている。大気電気学の立場から、特にサブミクロン以下の粒径の小さい領域のスペクトラムに興味があるが、測定の困難さのために今までデータの蓄積が僅少であった。蛭田(リオンKK) 関川(東理大) 角田(環境アセスメント) 中谷(電総研) は、この問題の解決にメスを入れ、イオンの移動度スペクトラムを求める電氣的測定法と、微小粒子にオイル・ガスを蒸着させて光学的に測定する方法とを併用して、0.004~0.04  $\mu\text{m}$  の範囲にわたって、信頼できる精度で、粒径スペクトラムを測定しうることを示した。

エーロゾルの測定では、ナイジェリアの Ette (Univ. Ibadan)・Udoimuk (Univ. Calabar) が、サワラ砂漠をこえて吹きよせる冬の東北東の季節風下での Mie 粒子測定結果を発表し、北川・高橋(埼玉大)、三崎(気象研)、中谷(電総研) は、2年間にわたる測定結果から、東京周辺における小イオン、Aitken および Mie 粒子の変動特性を示した。

スエーデンの Israelsson・Knudsen (Univ. Uppsala) は大気のターブレント・モーションと大気電界、空間電荷との関係について、オーストラリアの Hopper (Univ. Melbourne) は風の垂直分布と大気電界との関係についてそれぞれ発表を行ない、いずれも新しい手法、測定法を用いるものであったが、風と大気電気要素との関係の包括的知見を得るには、今後さらにこの線にそった研究がひろく展開される必要があると思われる。

アメリカの Wahlin・Kasemir (Coultron Res. Corp.)

は硫酸電池、乾電池で利用されている電気化学的な起電力が、自然大気中でも働いているとして、その効果を実測した結果を示し、この作用が交換層電位をつくる原因であると論じている。アメリカ・カナダの共同研究で Boerner (Univ. Manitoba) らは超高圧送電線の効果を論じ、大気圏だけでなく中間圏にも影響を及ぼすとしている。高圧送電線と中間圏との相互作用については、最近、議論が行なわれるようになってきたが、この二つの論文の評価については、時間をかける必要がある。

雷関係では、医学者を含めた北川らの人形と動物を用いた模擬雷撃実験と人体への落雷事故実地調査の結果から人体への落雷の特性を明らかにし、安全対策の基本を明確にした発表が、ユニークな研究として大きな反響を呼んだ。

計測法の分野では、大気イオン測定にひろく用いられる Gerdien condenser の特性を、基本的な物性要素を考慮に入れて、再検討した小寺・小川(京大)・Chung (McMaster Univ.) の研究結果が、注目を集めた。

(北川信一郎)

#### (7) セッション V. 電光位置決定法

座長：P. Krider (Univ. Arizona)

雷放電から放射される VHF 帯の電磁波の放射源の位置標定は以前から行なわれていたが、近年はデータの処理が高速化したことにより放電路の細部や時間変化を知ることが可能になりつつあり、種々のレーダによるデータも併用して解析が行なわれている。この分野で先駆的な研究を行なった Proctor (National Inst. Telecomm. Res. South Africa) は、当初の数十 km 離れた 5 地点への電磁波の到来時刻の時間差を測定する方式で、高性能化した記録、解析システムにより、さらに精密な放電路の構造を得ている。Taylor (Severe Storm Lab.) のシステムは数十 km 離れた 2 地点で 3 次元的な電磁波の到来方向を出すことにより位置標定を行なうもので、到来方向の測定には、各地点で狭い間隔で配置したアンテナ群への電磁波の到来の時間差を用いている。両者の南アフリカと米国における実測結果によれば、雲内の放電路は水平方向に 20 km 程度の広がりを持つことを示しており、Few, Brook らが他の手法で得た結果とほぼ一致している。これらの VHF 放射源の中心部の高さは、4~6 km ( $-10^{\circ}\text{C}$  附近) であるが、対地放電に先行する雲内放電では、いく分低い値を示すと報告している。Hayenga (NMIMT) らのシステムは電磁波の到来方向の測定に電波干渉計を用いており、今回は方位のみを高

い時間分解能で測定した結果が報告された。

(北条準一)

#### (8) セッション VI. 電光放射電磁界

座長：M. Brook (NMIMT) D.E. Proctor (National Inst. Telecomm. Res. South Africa)

ここでは雷放電路のモデルおよび雷の放射電磁界の測定に関する報告があった。Uman (Univ. Florida) は電磁界の観測結果から、大地に垂直な放電路を仮定し、多重雷の第 2 雷撃以降の放電路の新しいモデルを提案している。Little (Culham Lab.) は梯子回路で表現した放電路のモデルにもとづいて各部の電流波形を計算し、正負のリーダが結合する点において電流波高値、しゅん度とも最大となることを結論しており、正極性雷撃における電流しゅん度が負極性よりも低いのは、リーダの結合点の高さが一般に高いためではないかと述べている。LeVine (GSFC) は 3 次元的に複雑な屈曲と分岐をもつ放電路のモデルを仮定し、放射される電界変化を計算して実測と一致することを示し、電界変化の微小な振動は放電路の屈曲によるものとしている。

放射電磁界の微細構造については 4 件の報告があり、対地放電では主放電の立上り部分が正極性雷撃の方が負極性雷撃に比較してゆるやかであること、その部分に  $0.1 \mu\text{s}$  程度で立上る速い成分が含まれることが明らかにされた。同様のデータは 4 km の高度における航空機での測定からも得られている。雲内放電および階段状リーダについても同様な測定が行なわれているが、後者については同時に雲内からの VHF 帯の電磁波の放射が観測された例が報告された。この他、米国ニューメキシコでのロケット誘雷実験について報告があった。

(北条準一)

#### (9) セッション VI-A. 電光放電

座長：M. Brook (NMIMT) D.E. Proctor (National Inst. Telecomm. Res. South Africa)

ホイスラの発生源についての研究はこれまで余り見られなかったが、Krider (Univ. Arizona) らは遠方雷からの電磁波とホイスラの同時観測を行ない、方位測定が可能な強度の電磁波はすべて対地放電に起因するもので、その 7 割がホイスラを発生したことを報告している。Rai (Univ. Roorkee) は放電路のモデルを用いて VLF 帯の電磁波の放射強度を計算し、ホイスラの発生源は雲内の水平方向の雷放電ではないかと述べている。

このほか VLF 帯の電磁波による遠方雷の位置標定を完全に自動化した装置が紹介された。

雷災防止のための襲雷警報装置の評価を目的として、現在入手可能な6種類の方式の装置を同一地点に設置して、相互比較を行なった結果も報告された。それによれば、電磁波を用いる位置標定システムが最も高い評価を得ている。日本からは CIGRE 500 Hz カウンタの性能向上と感度校正手法に関する報告を行なった。

雷放電に伴って 10 Hz 以下の超低周波音が生じることが古くから知られており、この発生機構について Wilson のモデルがある。Bohannon・Dessler (Rice Univ.) はそれを複雑化したモデルを提案しており、Balachandran (Columbia Univ.) は超低周波音場の精密な測定の結果とこれらのモデルを比較している。(北条準一)

#### (10) セッション VII. 電光ストリーマー、エコーと電界変化

座長：M. Uman (Univ. Florida) 竹内利雄 (名大空電研)

11センチメートルの波長を使用したレーダーで雷放電のエコーを観測した結果が報告された。この報告のように雷放電を直接観測するという事は、放電から放射される電波の観測や、放電に伴う電界変化の観測などにより得られたデータから種々推論するよりも、結果についての不確定さが少ないので非常に望ましい方法である。しかし現在の一般的な機械的にコントロールするアンテナ駆動方式では、アンテナを急速に動かすことができない。また降水エコーの強いところでは放電のエコーとの区別が困難である。この2点が原因と思われるが、このような研究報告は数が少ない。

Triggered 正極性落雷に関しては、長期にわたるスイスでの Berger の研究がある。一方 natural 正極性落雷については、前回の会議で竹内・仲野が発表した。その後この natural 正極性落雷に関し、北陸地方での日米共同研究、スウェーデンでの日本との共同研究、ノルウェーでの冬期大西洋岸での研究、アメリカロッキー山地での研究その他が行なわれ、今回の会議でもこれらの研究のうちの一部が発表された。垂直に発達する夏雷では、雷活動の末期に上層に残った正電荷が落雷し、他方雲高の低い高緯度地方の雷や、冬の雷では、風のシアが強い時には、雷雲中の正負の電荷の位置がずれて、正電荷の下に負電荷がないため正極性落雷が発生することが明らかになった。さらに正極性落雷は、負極性落雷が直流であるのに対し、交流であることも発表された。

雷放電に対する、特に正極性ストリーマーに対する、室内でのシミュレーション実験が成果を上げてきた。こ

れからは、電荷生成の研究と同じように、野外室内の両方向から研究を進めてゆく時代になってきた。

(竹内利雄)

#### (11) セッション VIII. 電光の人工衛星観測

このセッションは仕方のないことであるが、アメリカと日本との間に大きな落差のあることを示したセッションである。発表は2つのグループに大別することができる。1つは木星や金星での雷の話であり、1987年に木星の雷を調査する計画が具体的に発表された。

もう1つは、衛星により地上の雷をモニターする話で、日本でも電波研が行なっている。非常に強い発光を伴う Superbolt とよばれる雷放電についての報告があった。冬の日本付近で、この Superbolt の発生する割合が非常に高いと発表されたが、われわれにとって非常に興味のある問題である。(竹内利雄)

#### (12) セッション IX. 雲の電化過程の実験的研究

座長：J. Latham (UMIST) E. J. Workman (U.S.A.)

このセッションでは、今回の学会の主人役であった Latham 教授のところ (UMIST) の研究発表が集中的に連続し、しかも座長の1人は Latham 自身であった。それなりの示威を意識して、はりきったことがうかがわれる。これは Mason 以来の伝統を受け継ぎ、この分野の仕事が雷雲の研究に重要であるという意識のあらわれと思われる。

この数年をふり返ってみると、電荷発生機構に関してはさまざまな説があるが、一時期はやった温度傾度説は、いつのまにか淘汰されたといえる。かわって、Mason や Aufdermaur により誘導説が強調されてきた。それは降水粒子が衝突して離れるとき、周囲の垂直電場により、上下に電荷が誘導されて分離が起こりこれがフィードバックして周囲の電場をさらに強めるという説である。この他に、化学成分が凍結過程を通して敏感に電荷の符号を決めるというさまざまな説がある。

Latham・Warwicker (UMIST) は、電に過冷却雨滴が衝突し splash ができるときに生ずる電荷分離に電場が及ぼす効果を調べる実験を行なった。しかし、先述の誘導説の理論により期待される値には達しないこと、また化学成分を変えてみたが、その違いは問題にならないことを報告した。

一方 Caranti ら (UMIST) は、riming するときの電荷発生について、氷の表面電位が効くと報告した。氷の表面電位は、それが過冷却の水滴でぬれると正に高くなることを測定し、その差が riming のとき rimer と

ice particle の間で電荷分離が起こる原因であるという考えである。この表面電位の測定は以前に高橋によってなされているが、彼らはその結果を否定し、しかも電極に霜がつくせいではないかといっていた。また riming に関する電荷分離については、孫野・高橋および高橋によってなされているが、そこでは表面電位の差を説明につかっていないだけに、今回の発表に対し高橋と Latham 一派との間でエキサイトした議論が交された。

Hallett・Mossop (1974) が riming による2次氷晶の発生の事実を発見し、これを ice multiplication の一要素として実証したことは、雲物理学の分野では、よく知られている。その際に生ずる電荷発生については、最近の J. Atmos. Sci. に発表されたばかりである。それに雲粒や氷晶の濃度および雲水量などの詳しい同時測定を加えたものが、Jayaratne ら (UMIST) によって報告された。内容は  $-6^{\circ}\text{C}$  近くで過冷却水滴の浮遊する cold box 内で rimer が高速で動くとき、氷晶が発生し、それが負電荷をもちだし、rimer 自身が正に帯電するというものである。ところが、そこで steam の供給を止めると rimer は逆に負に帯電することがみつかった。この現象は、筆者が発表した、成長中の氷晶が正になり、成長が弱まるか、または蒸発しだすと負になるという結論と、水分の条件と電荷の符号の両方の点で一致するので、彼らと会の後で、互いの実験内容について討論した。彼らは ice crystal がとび出すとき、または、rebound するとき電荷をもつと主張するのに対し、著者は、氷晶が選択的に帯電するというのが論点である。この成長中に正、蒸発時に負という電荷の符号と状況の関係は、着目している過程の image が、それぞれ異なるが、過去の多くの報告に断片的にみられ、常に一致した関係であることが気になる。何か共通した原理があるようである。

電荷発生の機構に関する説は、降水の種類と、その挙動の組合せの数だけあるといわれるほど多く、その研究の渦中の人々にとっては、その一つ一つが真剣な問題であるが、周囲からみれば、いささかうんざりである。一方、現実に雷雲が、短時間に、あれだけの電気をかなりのスケールで一様に発生すること、およびその符号が統計的にそろっているという事実は、これら数多い機構の中のどれか少数だけが主役であると期待される。したがってある条件のときに、どの機構が、基本的で常に成立つかを選び出す時代になったといえるのではないであろうか。

1981年1月

その見方をすれば、今回の学会では、このところ主流を占める電場誘導説ではなく、また種々の条件で変りやすい化学成分の効果でもなく、単純でかつ、本質的なことは、氷と水の界面過程であるといわんばかりの発表であった。筆者は、自身の発表もそうであるが、かねがねこのような見方に統一されると思っていただけに、今回の Latham らの研究のいわんとするところをこのようにみたのは、いささか短絡的な先取りの感じがしないでもない。(遠藤辰雄)

### (13) セッション XI. 雷, 雲, 降水

座長: J.L. Boulay (ONERE) B. Vonnegut (State Univ. New York, Albany)

Garmish Conference において当時までに 出された降水に伴う電荷分離現象のモデルに対する相当の批判があったことから、今回は、まず Illingworth (UMIST) は今日までに提案された主なモデルを考察しその適否を検討し、Ion capture mechanism は宇宙線による雷雲周辺のイオン生成率では観測される電荷電流の説明できず不充分。同様に Inductive precipitation mechanism (Mason ら) も理論解析の結果不充分で、最終的には Non-inductive precipitation mechanism が有望である。その中でも water droplet interaction は凝集が起こるため適当でないが Ice-ice interaction が最も有望であると結論した。Reiter (Fraunhofer Inst. Garmisch) は地表における降水電流、 $I_{PR}$ 、空間電荷(微水滴または ice fragment による、 $\rho_{PR}$ )、空間電荷(帯電した aerosol による、 $\rho_{AE}$ )、電場  $E$  の同時測定を行ない、 $I_{PR}$  と  $E$  とは mirror image relation を示し、空間電荷は両者とも  $E$  と正相関を示し、特に  $\rho_{PR}$  が著しい正相関を示しこれが電場の源になっているために mirror image relation が見られることを提案し ion capture mechanism を否定している。Takahashi (Univ. Hawaii) は Hawaii において warm rain と雷雲中の電場、降水粒子の電荷などを測定し、warm rain では空間電荷が負で雨滴はほとんど正に帯電し main charge carrier は雨滴でなく微水滴または小イオンであろうと推論し、一方雷雲中では main charge carrier は降水粒子であると結論した。Latham ら (UMIST) は積乱雲の中を何層かに分けて飛行し電場の測定を行ない、上昇気流と降水物体が相互作用を持つ境界に正電荷の中心があることを確認しかつ  $0^{\circ}\text{C}$  層から上層の低温層に向って電場が増加し電荷密度が増加することから電荷分離に対する氷の役割が非常に大きいことを実感をもって訴えている。Yu-ren (中国)

は、雷雲は、5分間に起こる lightning stroke の数  $N$  によって thunder clouds ( $N_{max} < 100$ ), hail clouds ( $N_{max} > 100$ ), heavy hail clouds ( $N_{max}$ : 数百, 最大700に及ぶ) に分類しそれぞれ電荷分離の中心の温度が異なるのでそれらに対応する電荷分離機構を考えねばならないという three stage theory を提案し、同じく中国の Changming らは、Pinglang hail suppression base における観測で、 $N \geq 100/5 \text{ min.}$  を識別の標識として90.6%の確率で hail cloud と普通の thunder cloud を識別し、さらに強い radar echo の高さの時間変化と lightning frequency ( $N/5 \text{ min.}$ ) の時間変化が非常に良い正相関を示すことを見出しており、これもまた ice particle の電荷分離への寄与が大きいことを示している。以上のごとく今回の conference では、はじめに述べた Illingworth の review から得られた結論を裏付けるような観測が多く Inductive theory が姿を消したことが特徴といえる。一つだけ変わった面白い論文がある。Chauzy ら (France) は雷雲下の地表から雲底までの電場の垂直分布を測定し、地表から 50 m ~ 200 m の間に著しい電場の増加が現われることを見出し、これは corona discharge による ion が aerosol に捕捉されて電荷が蓄積されるというモデルを考え測定結果を理論的に裏付け、これによって地表電場が弱められる遮蔽効果もたらされることを示した。

(織笠桂太郎)

#### (14) セッション XI. 雷, 雲, 降水 (続き)

座長: 同上

Lightning discharge について、Christian 達 (NMIMT) は1975年1976年8月の観測から、i) lightning 回数が少ない storm の方が大気電場は大きい、ii) 地上電場の変動は C-G (Cloud-Ground) Stroke より I-C (Intra-cloud) Stroke と相関している、と報告した。

Laroche 達 (France) は triggered flash による地上電場変動は natural flash の場合と定性的に同一の結果を得た (triggered flash の前は電場は  $-13 \sim -2 \text{ kv/m}$ , 以後は  $+4 \text{ kv/m}$ ; natural flash の前、 $-0.4 \sim -4 \text{ kv/m}$ , 以後  $+1 \text{ kv/m}$ )。上記電荷機構として one-charge または dipole model (地上を零電位の導体と考える) であると提案した。

Rust (NOAA) は春と夏の storm について、i) I-G/C-G=1.6, flash 300 回中 C-G は38%, ii) I-C の時、 $\Delta E$  が減少し echo は強くなる、と報告した。

MacGorman 達 (NOAA) は、i) lightning は  $0^\circ \text{C}$  領域より高いところに集中している、ii) lightning は弱

い updraft のところで発生する、と報告した。

竹内達 (名大空電研) と孫野達 (北大理) は P-G-F (正電荷が lightning によって地球に運ばれる) が冬期間に起きる (夏期間は N-G-F) 現象に注目した。前者は、i) P-G-F の回数は storm の  $-10^\circ \text{C}$  領域が高くなるほど少なくなる (tropics: 0.8%; 6 km, 日本の冬: 57.9%; 2.5 km), ii) wind shear [9 km (雲頂: 正電荷領域) と 5 km level の間の風速差] が  $4 \text{ m/s}$  以上になると P-G-F は指数関数的に増大する、iii) 寒冷前線に関連した storm では P-G-F は存在しないので P-G-F は weak storm で発生する、と報告した。後者は、P-G-F の原因として、強い vertical wind shear によって positive charge center と negative charge center が水平になり、positive charge center が夏の storm より極端に低くなるためだと報告した。

Charge generation mechanism について: 織笠達 (室蘭工大) は天然で blowing snow (+), snowfall (-), space charge (+) の現象を屋外実験で snowflake を吹飛ばすことにより実験的に説明した。

志尾 (北海道教育大) は氷の摩擦電気の符号は試料の硬さの差で説明できると報告した。 (志尾 弥)

#### (15) セッション XII. TRIP 報告

座長: C.B. Moor (NMIMT) J. Hughes (ONR)

TRIR とは Thunderstorm Research International Program の略で、ここ数年間アメリカで行なわれている雷の国際共同研究のことで、当然参加者の大部分はアメリカの研究者であるが、英国のマンチェスター大学の研究者などが積極的に参加している。観測は最初ケネディ・スペース・センターで行なわれていたが、後にニュー・メキシコに移った。会議の最後の日を全部使ってこのセッションが開かれた。

ケネディ・スペース・センターでは、広大な平坦な土地と、設置されているケーブル網を利用して多点観測が行なわれた。25ヶ所の観測点で雷放電による静電界変化の観測が行なわれ、このデータからかなりの精度で放電に関与した電荷の位置の計算が行なわれた。また一つ一つの雷放電から放射される非常に多くの電波パルス数を数ヶ所で同時に受信し、それぞれの受信点までの電波の到達時間差から、個々のパルスの発生位置を順次求め、その結果一つ一つの雷放電がどのように時間とともに進展してゆくかを明らかにした。さらにこれらの多点観測による結果が、レーダーその他の観測による結果とつき合され、そして、雷の機構の解明に大いに役立った。

ニュー・メキシコでは、地上での観測と同時に、気球や航空機による観測がひんぱんに行なわれた。またニュー・メキシコ鉱工大学の Brook 教授が、北陸の冬雷の共同研究に来日中「アメリカの研究者は、日本の研究者よりも、お互いの連絡がよい」といていたが、TRIPの報告を聞いているとやはりそんな気がする。雷をいろいろな装置を使用して、総合的に観測した話が多かったが、今のところケース・スタディーの段階であるようだ。(竹内利雄)

### 3. 国際大気電気委員会事務会議報告

この会議は1974年第5回国際大気電気会議後に改選され、今回の国際会議開催の主体となった ICAE (国際大気電気委員会) の公式事務会議で、とりあげられた議題は、

1. 委員の改選
2. 次回国際会議の場所と時期の設定
3. President と Secretary の改選
4. Dr. B. Vonnegut を Honorary President に選出する件
5. Substructure (下部組織) の検討
6. H. Drezalek による fair weather の新定義についての提案

の6件で、13名の委員中8名が出席し、7月30日の午後、約5時間にわたり会議が行なわれた。日本の委員は三崎方郎(気象研)であるが、国際会議に不参加のため、北川信一郎(埼玉大・工)が代理として出席した。

1. の委員の改選は、最も時間をかけた議題で、第1に研究活動が活発であること、第2にその国または地域における研究組織能力をそなえていることを新委員に必要な条件として選出することとし、出席委員間で十分時

間をかけて、情報と意見を交換した上で投票を行ない、16名を決定した。今までの13名に対し3名の増員で、国別の委員数は、

カナダ1, 中国1, フランス1, 西独1, 印度2, 日本3, ポーランド1, スウェーデン1, 英国1, 米国3, ソ連1

となった。日本は三崎方郎が再選され、小川俊雄(京大・理)、北川信一郎が新たに加えられた。

2. の次回国際会議開催地は、日本、印度、アメリカが候補にあげられ、討論の結果これも投票によって、アメリカの State University of New York at Albany が第1候補となった。国際会議開催の間隔を短縮し、4年後の開催が可能であること、アメリカ・カナダからの参加に、地理的に好条件であることなどが、この決定の要因であった。

3. の President, Secretary の改選は、今回の国際会議の開催に大きく寄与した Prof. Latham と Dr. Ruhnke の再選が全員の賛同で決定した。

4. の Honorary President の提案は、雷電気の研究における Dr. B. Vonnegut の指導的な役割が評価された結果で、これも全員の支持で決定した。

5. の Substructure (下部組織) については、6年前に設定されたものを、現在の研究進展の実情に合致するよう改変する課題である。十分時間をかけて討議することはできなかったが、人工衛星による雷観測、太陽活動の大気電気現象への影響、国際協同雷研究などにそれぞれ対応する新しい Subcommission を設けることとし、その処理は、6. の Dorezalek の提案の処理とともに President, Secretary に一任することとした。

(北川信一郎)