

## 第9回国際大気電気会議報告\*

(サンクト・ペテルブルグ, 1992年6月)

日本大気電気学会\*\*

高橋 劭\*<sup>1</sup>・北川信一郎\*<sup>2</sup>・三浦 和彦\*<sup>3</sup>・成田 憲一\*<sup>4</sup>・  
後藤 幸弘\*<sup>5</sup>・河崎善一郎\*<sup>6</sup>・早川 正士\*<sup>7</sup>・道本光一郎\*<sup>8</sup>

## 1. はじめに

高橋 劭

第9回国際大気電気会議は1992年6月15日～19日、ロシアのサンクト・ペテルブルグで行われた。運河の多い風向明媚な街で建築物もそれぞれどっしりしていて美術館には名画が多く、フランス画を見たければここに来た方が良いとフランス人に言わせるほど豪華であった。しかし、社会改革で人々の生活は苦しいらしく道路脇に物を売る人々が列をなし、中には愛犬を売る女性もいた。それでも晩餐会などでは4～5人からなるグループがそれぞれバイオリンやチェロを持ち寄りモーツァルトなどクラシックを弾き、高い精神を保持しているようであった。こんな大変な時にロシアが国際会議を開催したことには敬意を表したい。参加者は200人程で日本からは約10名の参加があった。この会議では2つの大きな成果があった。1つは4年後の1996年には国際大気電気会議が日本で開催されることに決定したこと、もう1つは研究が今までややもすると落雷時の波形などの工学的研究にあったものが地球規模のストームと雷発生の研究へと興味が移り

はじめ、電荷発生機構がそれ故に大きな関心事となってきたことである。電荷発生機構については着氷電荷分離が大きな話題となり、各研究者間の実験結果の違いの理由を知るための非公式の会議も開かれた。本会議ではB. Vonnegut (ニューヨーク州立大学) 達も第一線から退き、国際大気電気会議も若い世代に移ってきた。

会議のセッションは次の通りである。

## Oral Session

- Session 1. Global Electric Circuit- I
- Session 2. Global Electric Circuit- II
- Session 3. Electricity in the Boundary Layer
- Session 4. Ionic Processes
- Session 5. Laboratory Charging Experiments
- Session 6. Thunderstorm Electrification Modeling
- Session 7. Electrical Processes in Clouds
- Session 8. Thunderstorm Field Experiment- I
- Session 9. Thunderstorm Field Experiment- II
- Session 10. Leader Processes
- Session 11. Return Stroke
- Session 12. Triggered Lightning
- Session 13. Lightning Location Systems
- Session 14. Satellite Lightning Observations
- Session 15. Lightning and Clouds
- Session 16. Lightning : General Aspects

## Poster Session

- Session 1. Laboratory Charging Experiments
- Session 2. Thunderstorm Electrification Modeling
- Session 3. Electrical Processes in Clouds

\* A report of Nineth International Conference on Atmospheric Electricity, St. Petersburg, June 1992.

\*\* The Society of Atmospheric Electricity of Japan.

\*<sup>1</sup> Tsutomu Takahashi, 九州大学理学部.

\*<sup>2</sup> Nobuichiro Kitagawa, 中央防雷株式会社.

\*<sup>3</sup> Kazuhiko Miura, 東京理科大学理学部.

\*<sup>4</sup> Ken'ichi Narita, 宮城職業訓練短期大学校.

\*<sup>5</sup> Yukihiko Goto, 東北学院大学工学部.

\*<sup>6</sup> Zen-Ichiro Kawasaki, 大阪大学工学部.

\*<sup>7</sup> Masashi Hayakawa, 電気通信大学.

\*<sup>8</sup> Koichiro Michimoto, 防衛大学地球科学.



バンケットで次期開催国の挨拶をする北川大気電気国際委員会委員

- Session 4. Global Electric Circuit- I
- Session 5. Global Electric Circuit-II
- Session 6. Ionic Processes
- Session 7. Electricity in the Surface Layer
- Session 8. Leader Processes
- Session 9. Return Stroke
- Session 10. Thunderstorm Field Experiment- I
- Session 11. Thundersotrm Field Experiment-II
- Session 12. Lightning and Clouds
- Session 13. Lightning : General Aspects
- Session 14. Ball Lightning. Biological Effects
- Session 15. Lightning : Satellite Observations, Triggering, Protection
- Session 16. Lightning Location Systems

各セッションの内容については、次節以下の各参加者から報告する。

## 2. セッション1, 2, 3, 7

北川 信一郎

第1日のセッション1, 2は、Global Electric Circuit (地球電荷保持の問題) またはこれに関連する論文に当てられ、11件の論文の発表・討論が行われた。国別には米国8, ロシア3であった。理論的な論文5, 観測結果を含む論文6に分類される。

従来この問題は、理論的な扱いに限定される傾向があった。今回は、実測データと照合してこの問題を扱

うという進展が見られた。K. T. Driscoll and R. J. Blakeslee (オーバーン大学他, 米) は、フロリダのケネディー宇宙センターに設置されたフィールドミル網による測定結果を用い、また R. H. Horzworth and K. W. Norville (ワシントン大学, 米) は、成層圏の気球観測データを用いて、実測値と関連してこの問題を論じた。また P. B. Geis, R. J. Blakeslee, A. A. Few, E. K. Stansbery and H. J. Christian (ライス大学他, 米) の発表した A Global Model of Thunderstorm Electricity では、磁気圏の磁力線の効果を考慮したモデルを考え、航空機による実測結果に基づいて、地表から電離層に至る雷雲の地球電荷保持電流分布を示している。完成された論文ではないが、今後、地球電荷保持の問題に、新しい発展をもたらすことが期待される。

理論的論文では、雷放電の AC 成分(時間変化成分)の効果を扱った L. C. Hale (ペンシルバニア州立大学) の Aspects of an "AC" Global Circuit と、地球全体の気温変動との関連を取り上げ、統計データも扱った E. Williams and S. Heckman (マサチューセッツ工科大学) の The Global Electrical Circuit as Global Thermometer の二編は、新規問題を導入した点が注目される。

今回は論文数が大変多いことが、一つの特徴点であった。雷放電研究に経験の深い A. A. Few (ライス大学), H. J. Christian (NASA) 等が加わった協同研究が行われたこと、雷研究に非常に広範な知識を持つ E. Williams が研究を発表していること等は、注目に

備する。これまで雷研究の中心課題からはやや外れていた地球電荷保持の問題の研究が、今後活発化する兆候と見てよいであろうか？

第1日セッション3 Electricity in the Boundary Layer (大気境界層内の電気現象)では、エストニアの H. Tammet が、Modernization of the World Data Center for Atmospheric Electricity と題して、ロシアに設けられた大気電気データセンターの整備状況とその機能を強調した。他に6つの発表があったが、特に報告すべきものは見られなかった。

第2日の午後のセッション7 Electrical Processes in Clouds (雲中の電氣的諸過程)では、フランス1、インド1、ロシア4の合計6件の論文が発表された。

雷雲下の地表では、コロナ放電によって、正イオンが放出される。「この正イオンが雲底下の空間に、どのように分布するか？」ということは重要な研究課題であるが、量的な解明が遅れていた。S. Soula, M. Saisac and S. Chauzy (ポール・サバティエ大学, フランス)の Slow Transfer of Corona Electric Charge Between Ground and Thundercloud: Measurements and Modelling は、地表 80, 436, 603 及び 803 m の高度で大気電界を測定し、その結果を合理的なモデルに基づいて解析している。今後継続を要する研究であるが、この重要課題にアプローチする実りある結果が期待出来る。

P. E. Raj, P. C. S. Devara, A. M. Selvam and A. S. R. Murty (インド熱帯気象研究所)の Aircraft Observation of Electrical Conductivity in Warm Clouds は、雲水量、垂直気流速度と関連して、雲中の電気伝導率を測定しているが、観測の雲物理的な意義がいまひとつ判然としない。

ロシア科学者の発表は、雲中のコロナ放電に関するもの1、雲の乱流状況の音響探査に関するもの1、航空機による電界測定に関するもの2であった。特筆すべき新発展は見受けられなかった。

### 3. セッション4及びポスターセッション6, 7

三浦 和彦

イオン・エアロゾル・放射能に関するセッションは、Ionic Processes(電離過程)として、オーラルセッション4とポスターセッション6があった。

オーラルセッション4は、R. Reiter (ドイツ)の座

長のもとに、2日目の朝に10分遅れで開始された。聴衆は約50名であった。申し込み件数は5件あったが、2件の取り消しとポスターからの変更が1件あり、全部で4件の発表があった。最初の報告は、A. W. Castleman (ペンシルバニア州立大学)によるもので、質量分析器を用いて水蒸気イオンの生成・成長・核化について実験したものだ。次の2つはエストニアのタルツ大学グループによるものである。U. Horrak らは移動度  $0.00032 \sim 3.2 \text{ cm}^2/(\text{Vsec})$  までの広範囲のイオンの分布を長期間連続測定した結果を報告し、A. Luts and J. Salm は地上付近の小イオンの化学成分について報告した。

ポスターセッション6はタルツ大学の J. Salm のお世話で行われた。17件の申し込みがあったにもかかわらず、実際には6件の展示しか行われなかった。ポスターでもタルツ大学グループの報告が2件あった。A. Luts は大気小イオンの化学的運動のシミュレーションについて、また T. Parts は小イオンの移動度分布に対する窒素を含む有機微量気体の影響について報告した。S. A. Shchekatolina and V. V. Smolinsky (ウクライナ)の報告は酸化イオンの水合に関するもので、A. Chirkin ら (ロシア)の報告は微分型移動度分析計により粒径分布と同時に、粒子の密度と内部構造を測定しようというものであった。他に日本のグループから2つの報告があった。東京理科大学理工学部の児島は、大気中のラドンと娘核種の連続測定を行い、ラドンと娘核種との平衡は成り立っておらずその比は  $0.5 \sim 0.7$  であること、RaA, RaB のフリー成分の割合がそれぞれ  $5 \sim 15$ ,  $1 \sim 2\%$  であること、また平衡比とフリー成分の割合はエアロゾル濃度に依存することを報告した。もう1つは、筆者らの報告で、海洋性エアロゾル粒子の水平分布に関するものであった。

他に、ポスターセッション7 Electricity in the Surface Layer (地表付近の電気現象)においてもイオン・エアロゾル・放射能に関する報告が幾つかあった。筆者は、前回のウブサラについて2回目の参加であったが、前回に比べてこの分野の発表件数が若干増えたように思える。

### 4. セッション5, 15

成田 憲一

セッション5は Laboratory Charging Experi-

ments (荷電実験(室内実験))に関するもので、1件の発表を除き5件とも高橋モデルの発表以降主流になった Riming (凍結化)に関わる発表であった。C. P. R. Saunders (マンチェスタ大学)はこれまでの電荷生成機構は未だ不十分であり、新たに衝突時の霰の表面状態に依存するとして、より詳細な実験を提案した。同じグループの I. M. Brooks and C. P. R. Saunders (マンチェスタ大学)は実験室で霰を金属球に見立てて誘導電荷を測定しようとするものであったが、その結果がでるに至っていない様だ。E. R. Jayaratne (ボツワナ)は霰の表面状態による電荷分離の効果を考察している。A. M. Blyth (マサチューセッツ工科大学ニューメキシコ校)は、雷発生のトリガーとなるコロナ発生は 400 kV/m 以下でも生じる可能性を追求した。セッション最後は地元サント・ペテルブルグの N. N. Klimin であった。氏の報告は、雷雲の電荷分布が成長初期には雲の上部で負、下部で正という反転した状態にあるとする Stepanenko and Mikhailovsky (1992)の観測結果に対する考察であった。

セッション15は Lightning and Clouds (電光と雲)に関するもので、6件の発表の内、ロシア人による2件に替わって、ニューヨーク州立大学の R. Cheng と防衛大学の道本の発表が追加になった。負電荷を運ぶ氷粒子の生成に関する R. Cheng の発表はカラースライドを駆使したもので、立板に水のごときの発表技術にただただ感心。道本の発表は、小松空港での航空機被雷記録を基にした冬季雷雲の構造についてであった。E. P. Krider (アリゾナ大学)は雷撃に伴う電界変化を各所で長年観測しており、それにより得られる知見を様々発表した。高橋(九州大学理学部)は、ミクロネシアでは降雨量の割には雷が少ないことの原因を、ゾンデの観測をもとに発表した。A. J. Illingworth (マンチェスタ大学)は、偏波レーダーのデータと雷方探より得られる位置を重ねて検討した結果、雷は霰の領域に発生すると結論付けた。

## 5. セッション6. 10. 16

後藤 幸弘

セッション6は、雷嵐の電荷帯電モデル化に関するセッションで、J. Latham (マンチェスタ大学)座長のもとで行われた。はじめに、M. Baker (ワシントン大学)らによる「雷嵐モデル」のテーマで、雷嵐電界発

生に関するモデルについてレビュー的報告があり、引き続き、同氏によりポスターセッションからの雷雲中電荷分離についての報告がなされた。広範囲のシミュレーション実験から、Rを水蒸気からの氷の成長率とすると、氷晶と電との衝突の際の電界移動の符号は、R(電)-R(氷晶)の符号と一致するという内容である。次に、筆者らによる冬季雷雲のモデルに関する報告を行った。4番目にブルガリアの S. I. Kolev による「衝突機構を用いた雷嵐中の電荷と電界発生の数値シミュレーション」、最後に、ロシアの N. A. Dubrovich らの「帯電過冷却粒の結晶化について」の報告があった。プログラムでは、6つの論文発表が予定されていたが、3つが発表取消となり、その代わりにポスターセッションからフランスの M. B. Baker の「雷雲中の表面溶融と電荷移動」と、ロシアの N. A. Dubrovich らの「帯電した過冷却雨滴の結晶化の確率について」の2つが口頭発表された。

セッション10は、リーダ過程に関するもので、M. V. Kostenko (サント・ペテルブルグ工科大学)の座長のもとに、6件の報告が行われた。ロシアの B. N. Gorin は「雷リターンストロークのクロージングスイッチモデル」と題してレビュー的報告をした。氏は、閉路スイッチモデルとしてステップドリーダの最終ステップを考え、それより上のリーダチャンネルは電位  $U_0$  に充電された波動インピーダンス  $z$  の伝送線として、電流、電位の方程式をたて解を求めている。また、チャンネルに沿った放電過程と放射モデルについても検討している。2番目は、ドイツの E. C. A. Morris と英国の J. A. Bicknell が「ストリーマ成長の範囲の評価とトリガード雷と自然雷へのその可能な適切性」と題して、平行平板電極の接地電極中央に針電極を置き、針電極から作られるストリーマの電流を測定し、電極間空間への電荷  $Q(t)$  を求めている。3番目は、ロシアの E. M. Bazelyan が「空気と地面中の雷リーダ伝播」と題して雷雲の電位と高さを仮定して、リーダチャンネルのエネルギー計算よりリーダ仮定を検討している。その他、ポーランドの N. M. Duc らによる「雲中雷放電の初期過程について」、ロシアの A. I. Golubev らによる「雷ステップドリーダの可能な機構について」及び、ロシアの A. I. Grigor'ev らによる「ステップドリーダの可能な物理的機構」の報告があった。

セッション16は、雷全般に関するもので、ロシアの N. N. Klimin 座長のもとで、6件の報告があった。1番目に、ロシアの K. V. Antsupov らによる「帯電エー

ロゾル雲からの上向きリーダと放電」の題で、凝縮型帯電エーロゾル発生装置により、帯電したエーロゾル雲を接地された平板上、1~2 m の高さに水平に作り、接地された物体からとエーロゾル雲からとの放電現象の観測された結果が報告された。これは面白いシミュレーション実験である。2番目は、ラトビアの Y. A. Krasnitsky により「スフェリクス波形からの雷電流パルスパラメータの評価」についての報告、その他、ロシアの N. I. Petrov による「雷放電とその放射」について、M. C. X. Lui ら (中国科学アカデミー) による、「リターンストローク電流の伝送線モデルと伝播速度」、ロシアの E. I. Dubovoy らによる「雷チャンネルからの電波探知反射の測定と数値モデル化」、D. Mackerras ら (クイーンズランド大学、オーストラリア) による「CGR3 を用いた雲放電と大地落雷の比の世界規模のサーベイに関する報告」があった。

## 6. セッション 8, 9, 11, 12

河崎 善一郎

セッション 8 及び 9 は、Thunderstorm Field Experiment (雷の野外実験) に関するセッションで、まず W. D. Rust (米国海洋大気庁/NSSL) が、ゾンデ観測結果を中心に中規模対流型雷雲の電気構造についてレビュートークを行った。雷雲内の電荷分布は、現在では古典的な双極子構造説ではなく、三重極子構造説が最も確からしいと云うのが通説になりつつあるが、今回の雲内電荷の直接測定結果では、四重極子構造すら存在すると云う事であった。また P. Kriebel (ニューメキシコ鉱工科大学) は、二重偏波レーダの実時間相関法とでも呼ぶべき新しい雷雲観測法を提案し、落雷を予知し得るとの報告を行った。そのほか正極性落雷等についての統計的な報告もあったが、北川 (中央防衛)・道本 (防衛大学地球科学) による北陸冬季に正極性落雷が相対的に多発する理由についての報告が興味深かった。現在のところ、この報告は残念ながら推測という意味あいもあり、観測的に確かめていく必要があるというのが、筆者の印象である。

セッション 11, Return Stroke (帰還雷撃) は、M. A. Uman (フロリダ大学) のリターンストロークモデルについてのレビューペーパーと、同氏のもとに現在留学しているロシア人 V. A. Rakov (フロリダ大学) の多地点への落雷 (同氏は Multi Termination Light-

ning と呼んでいたが) の発表に集約される。Uman 教授は長年リターンストロークの数学的モデルに取り組んでおり、筆者など 1980 年に、ブレイクダウンパルス電流、コロナ電流及びユニフォーム電流の三成分からなる、Lin-Uman-Standler モデルが発表されたときには、「これがリターンストロークモデルの決定版」と感激したほどである。しかしながらその後も Uman 教授のグループは勢力的にモデルの改良を行い、ロケット誘雷実験における電流の直接測定結果を用いてモデルの検証を行ってきている。そして今回のレビューペーパーを聞いた限りにおいては、まだまだ小生ごときでも寄与して行けそうな余地があるとの感じがした。また V. A. Rakov の発表は、日本国内の冬季雷でしばしば問題となっている多地点への同時落雷と類似の現象を扱ってはいるが、同氏のは雷撃の開始 (イニシエーション) が全て雲内にあり、鉄塔などからの上向き雷も含まれる日本の多地点雷とは、物理的に異なる対象であった。

セッション 12, Triggered Lightning (誘雷実験) には 7 件の発表が予定されていたが、幸いにも 1 件の取消も無かった。また他のセッションと趣が異なり、レビューペーパーが無く、全て一般講演であった。発表者を国別にみると、フランス 2 件、アメリカ 2 件、日本 2 件、及びロシア 1 件となっており、ロケット誘雷実験を熱心に行っている国が主たる発表国となっていた。これらの講演の中で特筆すべきは、ロシアも標高 1.5 km の山岳地で「消電ロケット」を用いて誘雷実験を開始した事、及び今回の発表のみでははっきりと断定できないまでも、誘雷に「成功したらしい」事である。これでアメリカ、フランス、日本、中国、インドネシアの 5 カ国に加え、第 6 番目の「ロケット誘雷成功国」が生まれた事になる。ロケット誘雷に従事している筆者にとってまた新しい仲間が出来た事になり、うれしい限りである。フランスの講演は、ロケット誘雷実験結果に基づいての正リーダの数値シミュレーションについてであったが、今後は負リーダの物理モデルを提案するつもりであるとの意欲的試みが披露された。現在進行形とはいえ今後の成果が大いに期待される。

## 7. セッション13, 14

早川 正士

セッション13は雷放電の位置決め、即ち方位測定に関するセッションであり、セッション14は衛星による雷活動の観測に関するものであった。セッション13は、筆者がポスターからオーラルに回してもらったため、旧ソ連4件、米国、フィンランド、日本各1件という構成であった。先ず、旧ソ連の発表者による方探に関する研究は見るべきもの無しと言わざるを得ない。すべての発表が語学的問題により発表にならない状態であった。そこで、旧ソ連以外の発表を要約しよう。W. T. Neumann (米)らの論文は、従来のLLP (落雷位置評定及び防護)システムは落雷の検出は出来るが、雲間放電、雲内帯電や高静電界が検出できない点を改良しようとしたものである。即ち、静電界が帯電や雷の開始をしばしば検知出来る事を利用し、静電界測定用のフィールドミルとLLPを組み合わせたことにより雷の予報システムを構築しようとするものである。T. J. Tuomi (フィンランド気象研究所)による発表はLLP多点観測における誤差評価を行ったもので、LLP方探等におけるシステムティック誤差とランダム誤差の分離を試みたものである。続いて、筆者の発表は遠方雷をトウィーク空電の分散を用いて評価しようとするものである。VLF/ELF空電には1次モードのヒゲ(即ち分散)が現れるが、極めて短かったため、この分散を用いた距離評価は極めて悪い精度であった。この非定常信号を疑似空電とのミキシングにより、遠方雷の伝搬距離が1%以下の高精度にて評価できることを発表した。これらはすべて興味深いものであった。

セッション14では先ずH. J. Christianら(NASA)の衛星による雷活動観測のレビューが行われた。雷活動の世界分布の評価における衛星観測の重要性が指摘され、各種の検出法(光学観測、電波観測)から紹介された。最後にNASAによる光学観測に関する報告があり、雷活動の世界分布のみならず、雷のマイクロ物理、力学等の関連の研究にも重要であることが示さ

れた。R. E. Orville (テキサス A and M 大学)は米国全域でのLLPネットワーク観測に基づく雷特性を発表した。本システムは落雷のみを検出するが、両極性フラッシュのフラッシュ密度における有意な差や、正極性の率が緯度とともに有意に変化する等、雷特性の解明に極めて有用であることが指摘された。同様のLLPに基づく6年間のデータを用いた落雷の年変化、月変化、日変化のデータベースを作成する試みも報告されていた。続いて、C. Priceら(NASA)は対流雲の雲頂高度の観測値から世界雷頻度をシミュレートする方法を提案し、実測の雷活動世界分布と比較し、良く一致することを報告した。雷活動の世界分布は今後とも強力に調査すべきテーマであると思われる。

## 8. ポスターセッション1~5, 8~16

道本 光一郎

ポスターは16のセッションに分けられて、会議期間中毎日行われた。ここではイオン・エーロゾル関係の2つを除く14のセッションについて簡単に報告する。

ポスターセッションは、口頭発表会場に隣接するフロアで口頭発表と並行して行われ、毎日3セッションほどずつ分割して掲示された。14セッションで延べ148件のエントリーがあったが、実際に掲示発表されたのは全体の約6割の80件程度であった。

内容は大気電気関係のタイトルがほぼ網羅されており、雷雲電気の室内実験・モデリング、電荷のグローバルな循環、雷雲観測・落雷位置評定システム等が含まれていた。しかしこのセッションでの発表は極めて少なかった。

口頭発表にかなりのキャンセルがあったために、ポスターから口頭発表に切り替えて発表した人(筆者もそのひとりであった)が多数いた。特にロシアの科学者のキャンセルが多く目についた。

ポスター会場の片隅で、高橋教授がロシアの科学者や若い学生に雷のレクチャーをしていた光景が非常に印象に残った。