

第4回国際大気電気会議報告

日本気象学会共催のもとに、今年5月、第4回国際大気電気会議が、東京で開かれ、内外多数の参加者を得て、非常な盛会裡に5日間にわたる会期を終了した。ここに、田村雄一（組織委員長、京都産業大学）、石川晴治（名古屋大学空電研究所）、高橋劭（名古屋大学）、北川信一郎（気象研究所）、小川俊雄（京都大学）、大林辰蔵（東京大学宇宙航空研究所）、池辺幸正（名古屋大学）、三崎方郎（気象研究所）の諸氏をわざわざ載いたセッション毎の報告を集録する。（三崎記）

第4回国際大気電気会議を終えて

開催までの経過

第1回の会議はConference on Atmospheric Electricity の名称の下に合衆国マサチューセッツ州ボーツマスで1954年5月に開かれ、ついで1958年5月に前回と同じ場所で、The Second Conference on Atmospheric Electricity が開かれた、第3回は The Third International Conference on Atmospheric and Space Electricity の名称で瑞西のモントルーで開かれ、今回は The Fourth International Conference on the Universal Aspects of Atmospheric Electricity という長い名称である、わが国では第4回国際大気電気会議とよぶことにした。

1965年5月東京で開かれた国際雲物理会議に出席のため来日した S.C. Coroniti, J. Hughes 両氏より1968年に第4回の大気電気会議を日本で開きたいとの希望がつかえられ、雷研究会のメンバーでそれについて検討した結果、当初はわが国での会議受け入れ体勢が十分でないとの見地から第4回会議は辞退し、そのかわり、第5回は日本が自主的の立場で開催を引きうける可能性があるという返事をした。しかし Coroniti 氏等の希望はかたく、その後重ねて日本での開催への協力の申入れがあったので、雷研究会でもこの問題を再検討した結果、運営の面では Joint Committee of IAMAP-IAGA on Atmospheric Electricity の主催、日本学術会議、日本気象学会、日本地球電気磁気学会の共催とし、学問的の面では Space Electricity とともに広く大気電気の問題を対象とすることを条件として会議開催を受け入れることとなつた。そして上記 Committee の chairman である L.

Koenigsfeld 教授の指名により Coroniti 氏が会議の convener および chairman として会議を主宰するこになり、わが国でも会議準備会ができ、事務局は名古屋大学空電研究所におかれ convener の要請により会議の場所、会場、会場費等について調査した。会議の場所としては最初は東京以外の地が適当ということであったので、日光、箱根、鳥羽、京都等が候補地になっていた。準備会は、やがて実行委員会になり、ついで組織委員会が発足し、1967年2月には Coroniti, Hughes 両氏来日し、名古屋において日本側実行委員と、会議の形式、セッションの数、課題について意見の交換をした。また、会場は東京のホテル・オークラと決り、会期は、たまたま COSPAR のシンポジウムが東京で開かれる予定であったので、会期中の一日を合同セッションにあてる希望もあり、1968年5月中旬ということになった。この合同セッションの計画は、都合によりその後沙汰止みになった。

実行委員会には経理、募金、接待、庶務、会場施設の諸班ができ、また日本学術会議、日本気象学会、日本地球電気磁気学会の主催または後援が本ままりになった。実行委員会の活発な活動により受け入れ体勢は着々整ってきたが、開催にいたる数月前よりアメリカのドル流出制限が問題になったため、海外より参加者は当初の予想よりかなり減るものとあやぶまれたが、これは杞憂であった。当初の予想を上まわる80名近い海外よりの参加者があった。一方、国内よりの、参加者、傍聴者はそれぞれ約50名であった。

会議の形式と経過

会議の形式については次のように計画された。すなわち、予め参加者より前回の会議後5年間に行なった研究についての短いフル・ペーパーを集め、Convener はこれを復写して広く参加予定者に配布する。これによって参加者は前もって集る論文の内容を知ることができるとともに、論文に対する意見を Convener に書きおくる。この意見は論文の著者と該当するセッションの座長に予め伝えられ、各座長にこれにもとづいて最も効果的にセッションをすすめるということであった。しかし、実際には集まった論文の発表と討論という形式になったが、座長の自由裁量の余地もあり特色のあるセッションのすすめかたもあった。

会議は1968年5月12日(日曜)の午後1時より受付を始めた。同日午後5時より Joint Committee の Business Meeting があった。13日午前8時半より開会式があり、Chairman の Coroniti 氏、日本学術会議会長の代理として副会長江上不二夫教授、IAGA 委員長永田武教授、IAMAP 代表磯野謙治教授、Joint Committee 委員長 Koenigsfeld 教授の開会の挨拶があり、ひきつづきセッションに入った。15日の Free day をのぞき4日間にわたつて8つのセッションが行なわれ、17日の最後のセッションのあと閉会式があり、Coroniti 氏の挨拶につづいて、Koenigsfeld 教授により今回の会議開催についての Coroniti 氏の尽力に対する感謝の辞と記念品贈呈があつて会議は滞りなく終了した。

なお、会議の期間中、13日夜にはホテル・オークラで AVCO Space Systems Division の招待カクテル・パーティー、14日夜には日本クラブで東京都主催のリセプションがあり、また、15日には都内観光をし、その夜は迎賓館で組織委員会と日本学術会議の招宴があり、その席上で R.E. Holzer 教授の“The Future of Atmospheric and Space Electivity”と題する話を聞いた。これらに加えて14日には Ladies Program もあるなど、しばしば参加者の交歓が行われた。

閉会式のあと、今回の会議の成功をよるこぶ声が盛んに聞えたのはお世辞とは思えなかった。会議を盛会裡に終えることがのきたのは、わが国の学問水準の高いことや、この会議の日本での開催に対する民間諸団体の理解も大きな原因になっていると思われる。

(田村雄一、京都産業大学)

cal Phenomena

座長: J. Latham, University of Manchester, England

会議前に予かじめ配布されたプログラムによると、このセッションには12の論文が読まれる事になっているが、前夜座長会合の結果プログラムは座長の判断により大幅に変更されるかも知れないとの事で、一体どの様に会議が運ばれるのか若干不明確な点があつた。会議第1日の事であり、殊に開会式に引き続いて行なわれたセッションであるので約150名分用意された座席も8割方は出席者によって占められている様であつた。セッションの開始に当たつて、座長の Latham からソ連および米国の研究者から提出されている計5篇の論文が省略される旨アナウンスされ、ここで初めて、この会議が各研究者による論文発表によって進められるものである事を確認した。Colgate (米国, NMIMT) は帯電した非層状雲の内部では熱および重力の作用によって対流が引き起される以外に、雲の内部の電場によって電流が誘起され、これによって小さな大気の運動が起りうると云う考えを述べた。雷放電の直後に引き続いて観測される静電的な回復時間が短い事から、雲内の電荷の易動度は比較的大きい事が予想される。これを説明する根拠を得ようとして、彼は理論的裏付け並びにこれを支持する霧箱内の針端放電による霧の渦流の発生に関するモデル実験を行なつた。彼の考えによると雷放電直後に雲の内部で行なわれる電荷の再分布は、適当な条件を満たす荷電雲粒子の対流作用だけでもこれを説明する事が出来るが、又他方雲内に二つの点電源を考え、これから電流が流出入する様な電流系を考えることによつても、適当な条件を与える事により、放電後の電荷の再分布を説明することが出来ると彼は主張する。しかし非常に激しい雷の場合には矢張り熱と重力による対流の方が強い働きをするのではないか。この点更に検討が必要だろう。

擾乱日の大気中に現われる程度の強さの電場が作用すると、雲内にある水滴はこの電場のため、その相互間の衝突並びに合体能率を増大し、これによって降水粒子の成長が著しく促進される事を示す理論や実験が世界の多くの学者によって試みられている。この事から考えると、氷晶の場合も雲内の電場の作用で合体能率が増大する筈である。しかし氷晶の形状は複雑であるので、これを理論的に取り扱う事は大変困難である。そこで Saunders (英国、マンチェスター大学) は六角板状その他の形状の氷晶のモデルを作り、その一対を平行平板電極間

Session 1, Simulation of Atmospheric Electri-

に作られた電場の中に入れ、氷晶モデル間に作用する静電気力を測定した。これを理論的な取り扱いが可能な球形モデルの場合と比較した実験の結果によると、氷晶モデルの場合は球形モデルの場合よりも静電気力の相互作用が非帯に強く、従って電場中の氷晶は水滴の場合に比べ衝突並びに合体能率が更に一層よく、グ라우ペル化し易い事が期待される。

大地の電極効果に関する最近の Crozier の研究によると、夜間の無風状態時には地表 3m 以下の高さの大気の一部は、その最下層に正の空間電荷、その上層に負の空間電荷を発生する事が発見された。これは地表附近の大気に渦動が起らない夜間には、一般に大地から放射される気体の状態のラドンが地面に沿って層状に閉じ込められるためであると考えられている。Hoppel (米国, 海軍技研) は、この様な事が起る可能性を Crozier の実証に先き立って理論的に確かめたが、今回更にこの点を明確にする計算を行なった。Hoppel は地表のラドン層の影響を考慮に入れた電離度の高度変化の式と与へ $10^3/\text{cc}$ のエーロゾルを含んだ空気と清浄な空気の場合について、理論的に、期待される電場の高度変化を計算し、Crozier の実験と一致する結果を得た。さらに Hoppel はラドン層が形成されない地表附近の昼間の電場の場合を理論的に計算し、Mühleisen が湖の上で測定した電場プロフィールとよく一致する結果を得ている。

われわれの持っている通念によると上層大気中に存在すると考えられている地球を取り囲む大気の導電層と大地によって区切られた球殻の内側には、帯に地球大気の電流回路が存在している。Anderson (米国, 海軍技研) 等はこの電流回路の特性をシミュレートするため、適当な値の固定抵抗素子より成る格子状の電氣的等価回路網を考え、実験的に空地電流の垂直成分が消える高度の有無やその大きさ、電流源の役割りを持つ雷が大気の電流回路に与える局所的な作用の及ぶ範囲等を確かめようとした。彼等は大気の電気伝導度の変化を高さの指数関数として与え、大気空間を高さ 5 km 水平方向の厚さの垂直に置かれた円筒殻の部分に区切り、電子計算機を用いて各円筒殻をシミュレートする抵抗値を求め等価回路網を設計した。この実験の結果によると、一つの雷を回路網の適当な格子点へ接続された一つの電源で置き換えて考える時、個々の雷雲から流出入する電流の影響の拡がる大きさは地表に沿う半径約 100 km の範囲であり、空地電流の垂直成分が減少してなくなる上層導電層の高度は地上およそ 100 km という事になるが、この値はその

前提をなす上層の電気伝導度の与え方などに問題がある。

球雷が雷放電に直接関連して実在する事は今日多くの疑を挟む余地はないが、その性質や発生の機構に就いては現在なお依然として謎に包まれる所が多く、今回の国際会議でも三つ論文が提出されていたが、著者の都合で実際読まれたのは二篇だけである。その一つに球雷が誘電体媒質を貫いて移動したり、Faraday のケージの性質を持つ、外部を金属の格子様のもので囲まれた構造物の内部に球雷が現われたりする点を重視した Dawson (米国, アリゾナ大学) の考え方があり、他の一つに雷放電路の残光性を重視した Uman (米国, ウェスチングハウス) の考え方がある。Dawson は球雷を、球形の空間に閉じ込められたマイクロ波帯の電磁波現象であると考え、この球は非帯に電気伝導度の高い濃いプラズマ状の表皮によって保護され、大気圧に等しいマイクロ波のふく射圧で球形を保っている。閉じ込められた電磁波の周波数が非帯に高いので、球内部のプラズマを良好な誘電体媒質と見做してよいものとすれば、閉じ込められているマイクロ波帯の電磁波は殆んど内部で減衰することもなく、又外部へエネルギーをふく射することもない。この点、比較的長い球雷の寿命の説明に好都合である。

これに対し Uman は雷閃光の直径が充分太く、電流の流入が終了した後のチャンネルの冷却作用に充分長い時間を要すれば、残光の時間が長くなるから球雷やビーズ状電光の比較的長い寿命を説明出来ると主張する。彼の見積りによると直径 10 cm のプラズマ球が中心温度で $10,000^\circ\text{K}$ から $2,500^\circ\text{K}$ まで冷却するのに 2 秒かかる事になり、その中心が $5,000^\circ\text{K}$ のプラズマ球は 1KW の電球に等しい明るさを持つという。ビーズ状電光については閃光電流の不安定ピンチ効果により発生する可能性などを指摘しているが、球雷の発生機構については何も述べていなかった。

(石川晴治, 名古屋大学空電研究所)

Session2, Thunderstorm Charging Mechanisms

座長: M. Brook, New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro, New Mexico, U.S.A.

電荷発生機構の実験を中心として、M. Brook の司会のもとに、活発な討論が行われた。各論文の要約を述べる。

1. Hutchinson: The Electrification of Ice and Water.

電荷発生に大きくわけて3つあり、1つは過冷却雲粒の存在のもとでの霰と雪の衝突、2つは氷と氷の摩擦、3つは水滴が凍結するときのスプリンターによるものとあり、2の場合は飛雪のときに対応し、1m高さの所は負、3m高さに正の空間電荷が観測で知られた。今までの結果を、あるものは自分で再実験をし、まとめたものであった。これに対しLathamは雪が霰に衝突するときの速度が大事ではないかといった。

2. Pruppacher, Steinberger, Wang: On the Electrical Effects which Accompany the Spontaneous Growth of Ice in Supercooled Aqueous Solutions.

水が凍結する際、水と氷との間の電位が、水に含まれるイオンにより大きく左右され、特にFとIが重要である。CsCl氷では凍結開始と終了時に電位が大きく変化した。これに対し高橋は、これは氷と金属との間の接触電位ではないかと質問した。

3. Shio, Magono: Frictional Electrification of Ice above and below -10°C and the Effect of Grain Boundaries in Ice.

2本の氷棒の摩擦で同じ氷なら寒い氷が負に帯電し、また氷に気泡の多く入った方が負になりやすく、basalとprism面ではbasalが負になる。また、温度が -5°C を境に符号が変わる。これに対し多くの質問があり、多くの実験者を感心させたが、もっとプロになることが望まれる。

4. Scott: Single Charging Events due to Collisions in Natural Snowfall.

氷の球を天然の降雪時に回転し、氷の球の電荷の測定を行なった。 0°C 近くでは氷の球は正に帯電することが多かった。これに対しては、雪そのもののあらかじめ持っている電荷が大事なこと、既に孫野、高橋がやっていることを述べたが、気象集誌がいかに読まれていないを知り愕然とした。

5. Kikuchi: On the Role of Air Bubbles in the Electrification of Melting Ice.

実験室で作った氷、天然の雪の融解のときに発生する気泡による微小水滴が、正に帯電することを多くの実験から示した。これに対し、氷の融解の際、目でみえない程度の気泡群があり、これが重要でないかという質問があった。

6. Davis, Sartor: Fast Growth for Cloud Droplets due to Electrical Forces in Thunderstorms.

強い電場下での微小水滴の衝突係数を微小水滴の大きさを

変えながら実験を行い、小さい微小水滴の所で電場のきき方が多いことを示した。この種の実験はアメリカではやっていない研究室が稀なようで、多くの討論があった。

7. Dawson, Montgomery: Charge-Changing Collisions between Uncharged Water Drops in an Electric Field.

垂直風洞を使って2つの水滴を浮遊し、垂直に電場をかける。2つの水滴が近づくと雨水滴間で放電が起り、各々が電荷をもつようになる。電場 $50\sim 60\text{V/cm}$ で急激に増加し、移動電荷は 3×10^{-13} クーロンにも達した。雪のときはこれ位の電場は普通であり、起こることもあると思われるが、雨水滴がかなり接近しなければならぬことなどから、雲全体としてみた時はmainかどうかかわからない。

8. Latham: Theoretical and Experimental Studies of the Instability of Drops and Pairs of Drops Subjected to Electrical Forces.

水滴を糸でつるし電場をかけると水滴が分裂する。これは温度の関数で、温度が下がると分裂するときの電場も大きくなる。

9. Takeuchi, Mühleisen, Fischer: Some Observations on Charge Generation in Thunderclouds.

地上での電場とレーダーエコーとの対応を行ない、レーダーエコーが -10°C 層を越えることが雷発生に必要なようだと言ったのに対し、BrookはNew Mexicoではもっと高いし、Englandでは低い。関係はないのではないか。今頃こんなやり方をしてといわんばかりに質問していた。

10. Reiter: An Atmospheric-Electric Feed-Back Process as a Possible Contribution to Thunderstorm Electricity.

霜の破壊での電荷の測定で、霜中に含まれる NO_3^- イオンの濃度が重要で、 NO_3^- が γ/l 以上だと霜は負に、 1γ 以下だと正に帯電する。天然では電場と NO_3^- 濃度との関係が非帯電によいことから考えられた。

11. Muchnik: Inductive Mechanisms of Hydrometero-Electrification.

この論文は放電関係の論文で、1つまぎれこんだと思われるが、放電の回復時間を落雷からの距離を考えながら表にし、 $0\sim 20\text{km}$ では11秒、 100km 以上・れていると1.9秒と述べた。これに対し、田村は雲間放電の区別について質問があった。

電荷発生機構については、ほとんど足踏み状態であるが、これは雨や雪の電荷、イオンとの関係について、天

然ではどうなっているか、まず知るべきと考え、実験者が観測に移行したためである。今後、観測を通し、どの種の雲ではどのような機構が対応しているかということが知れば、また、もっと高次の実験が開始されるであろう。

(高橋勲, 名古屋大学理学部)

Session 3, Physics of Lightning

長座: **M. Uman, Westinghouse Research Laboratories Pittsduhrg, Pennsylvania, U.S.A.**

10編の論文中、3編は総合報告的なもので、7編が独自の研究発表であった。研究方法としては光学的なもの3編、電磁波放射の記録によるもの3編(1編は磁鋼片による誘導電流測定を含む)、音響的な研究が1編であった。Salanave, Orvilleの電光のスペクトラムの測定から、放電路の物理学的な状態の解明を行なったものが、特に新分野をきりひらいたものとして注目される。

1. Uman, M.: Lightning Research: Some Recommendations.

非常に広般な、最近の研究結果の総括を行ない、従来の研究結果に鋭いメスを加え、電光放電の研究が単なる説明の段階から、放電物理学に進展すべきことを主張している。

2. Salanave, L.E.: Recent Advances in the Observation of Lightning Spectra.

第3回の国際大気電気会議以来、最も注目された新しい技術を逐使しての電光スペクトラムの研究で、赤外領域の分光スペクトラム測定から、放電路の温度を推定した。

3. Orville, R.E.: The Time-Resolved Characteristics of the Lightning Return Stroke.

分光スペクトラムの技術から、主放電路の温度、電子密度の変化を時間的に分解した値を出している。

4. Tsurumi, S. Ikeda, G. and Kinoshita, K.: Some Results on the Lightning Stroke Current Measurements in Japan.

日本における、放電電流の測定結果を報告している。

5. Mackerras, D.: Photoelectric Techniques for Investigating Discharge Processes in Lightning Flashes.

光電管による電光の光度測定と電光放電の電場変化の同時記録から、放電機構を論じ、落雷の放電電流を推定した。

6. Hill, R.D.: Electromagnetic Radiation from Irre-

gular Lightning Paths

放電による電波放射を理論的に考察した従来の論文が垂直の直線電流を仮定していたのに対し、水平成分をふくんだ屈曲した放電路からの電波放射を理論的にあつかっている。

7. Takagi, M.: VHF Radiation from Ground Discharges

420Mc/sに至る高周波電波放射について、主放電前後の、継続的な放射の有無を論じ、その型を分類した。

8. Kimpara, A.: Electromagnetic Radiation from Lightning Discharges

ELF空電、ホイスラー空電を含めた放電からの電波放射の研究について、空電研究所における研究を中心に、本邦における最近の研究結果を概括して紹介した。

9. Oetzel, G.N. and Pierce, E.T.: The Radio Emissions from Close Lightning

電光放電から生ずる電波放射を主として理論的にあつかった論文を極最近のものまで含め、著者の独自の見解にもとづいて総括している。

10. Few, A.A. and Dessler, A.J.: A Theoretical Discussion of the Acoustic Energy of Thunder

雷鳴の音響エネルギーを理論的に論じた点で非常に特異な論文。実在の電光放電とのむすびつきには大分距離があり、このキャップをうめるのがこの研究の今後の課題と思われる。

(北川信一郎, 気象研究所)

Session 4, Monitoring of Global Thunderstorm Activity

座長: **E.T. Pierce, Stanford Research Institute U.S.A**

このセッションは会議全体を通じて発表論文数が最も多かったにもかかわらず、ユーモアを交えた司会によってうまくまとめられ、議論も白熱した。セッションは以下のように4つのグループに分けて行われた。

1. Lightning Flash Counters: Pierceの簡単な序論に続いて、河村(東大)の日本におけるPierce-Golde type counterを用いた観測結果、Kreielsheimer(オークランド大学)の雷放電から放射される10MH₂以上の周波数を受信し、帰還雷撃の直後に“gap”があることを利用した対地放電と雲間放電を見分けるLightning counter、更に、Horner(Radio and Space Research Station)のLightning flash counterによる観測の現況によつての3

つの論文が発表された。電力気象の分野では落雷密度分布を示す地図を作る必要があり、現在実用化されている Pierce-Golde タイプと CC1R タイプの外に、落雷を雲間放電から見分けるよい方法はないかについて議論が行なわれた。

2. Fair Weather Indicators: Mühleisen (チュービンゲン大学) は1965年に太西洋で測定した電位傾度の測定結果を Weissenau における気球観測から求めた電離層電位と較べ、海上における電位傾度の変動は明らかに電離層電位の変動を示すことを実証した。Anderson (NRL) は航空機による一定高度 (2.75km) の海上における測定結果について発表した。空地電流の1時間以内の短周期変動を除いて整理し、Tasman 海での測定 (1966年10月) は1000 GMT に、Mediterranean 海での測定 (1967年2月) は1900GMT の方が大きい極大を示す結果を得た。このことから、電流の全地球上への伝播が一般に考えられているよりは不完全ではないかと指摘したが、測定時の季節に関して雷活動の中心位置がずれることにもっと考慮が払われるべきだったと思う。ついで Anderson はアメリカ北東部の充分離れた5地点での測定結果を整理し、それらの間に共通点が出てくればそれは global なものであるという思想でデータを整理した結果 1) 数点で観測することは局地変化を知るのに大へん役立つ。2) 空地電流の測定は観測点が“clean”であるか“polluted”であるかの index になる。clean などところでは 3.2×10^{-12} amp/m² で、polluted などところでは 1.5×10^{-12} amp/m² であった。3) fair weather であるかないかを区別する必要はない。4) 地上での観測結果から global な現象を議論しようと思えば、航空機を併用したり、また、乱流、電極効果や日出効果などの local time に依存する効果を十分解析しなくてはならないことを論じたが、いつも polluted などところで観測を行うことを余儀なくされている日本の研究者にとっては、特に目新しい発表ではなかったようにも思われる。Ruhnke (ESSA) (Kasemir: ESSA が代説) は local effect をうまく除くことができれば global な空地電流を得ることができると考え、測定値の散らばりを示す標準偏差を受信アンテナのサイズに関して調べたところ、その平方根に比例して減少することが実験的にたしかめられたので、局地的に発生する電流は大きいアンテナを使って面積平均をとることによって減少させることができると結論した。なお、Ruhnke が実験を行なったところは Mauna Loa 山 (ハワイ島) の北斜面の高度 3,400m の

ところにある地球物理観測所で、ここで観測された空地電流の変化には明らかに Solar flare の影響があることがたしかめられており (Cobb, 1967)、著者は去る2月にここを訪れて、わが国にもこのような観測所が欲しいとつくづく思った。

3. Schumann resonances: Polk (ロードアイランド大学) はシューマン・レゾナンスの一般的な theory を紹介した後、レゾナンスの電場成分、磁場成分のスペクトルについてそれぞれ各モード間の比を源からの距離の関数として計算した結果を示し、これを用いて世界雷活動中心を求める方法を述べた。ついで小川 (京大) は京都と阿蘇で観測した ELF 電場の3成分のスペクトル解析からシューマン・レゾナンスの第1, 2, 3の各モードについてパワーのピーク値の日変化を求め、一方、ノイズ源を全世界雷放電からの電磁波として計算した結果と比較し、実験と理論が可成りよく一致することを示した。シューマン・レゾナンスとは地球電離層間の空洞内で約 8 Hz を基本周波数とする電磁波の共振現象で、これを含めた ELF の問題は大気電気の新しい将来の発展の一方を示すものと思われる。

4. Ground spherics observations: Hughes (NEL) は 1KHz以下 (“Slow tail”帯) の ELF ノイズを観測しこれらの周波数スペクトルから雷放電源における電流モーメントのスペクトルを求め、また、この周波数の波の伝播にもなる減衰係数を求めた。著者はたまたま去る2月にハワイ島に来ていた Hughes 氏の移動観測設備を見学する機会を得たが、カリホルニアと刻々無線連絡をしながら観測を行っていた。この2点同時観測の結果も近いうちに発表される予定である。このセッションにはたくさんの論文が提出されていたが欠席のためその他の論文が発表されなかったのは残念である。特に Volland (Goddard Space Flight Center) の VLF シグナル受信による雷の方位測定装置について議論が集中した。また、Mühleisen が来年1月—5月にこの装置を積んだ Meteor 号で海上観測を行う計画など興味ある話題が提出された。

5. Satellite observations: Horner は人工衛星を用いて雷放電からの高周波空電を受信して世界雷活動度をモニターするために、電離層における電波の吸収、屈折などの影響について概説し、続いて Bent (Radio and Space Research Station) が1967年5月5日に打ち上げられた人工衛星 Ariel III に積み込んだ 5, 10, 15 MHz の受信機による観測結果について予備的な報告を行なっ

た。Massa (AVCO) は雷活動度測定用の人工衛星システムの特殊性を他の衛星システムと比較して論じた。人工衛星を使う世界雷活動度の観測計画は数年前から人々の話題となっていたが、いよいよ実現され、大気電気も Space 時代に入ったと云えよう。

最後に海上での雷活動度は陸上の約 $1/50$ である (Dolezalek: ONR) とか、上記 Volland のデータ (1966—1967) はやがて出版されて利用できるようになるだろう (Muhleisen) など、いろいろな話題が出てセッションを終わった。世界雷活動度の問題は人工衛星の利用で新たな段階に入ったが、統計的に処理する時代は過ぎ他の大気電気現象と1対1、或いは、real time で対応させたいと多くの学者が欲していることが全セッションを通じて痛感された。

(小川俊雄, 京都大学理学部)

Session 5, 6, Planetary Atmospheric Electricity

座長: 大林辰蔵, 東大宇宙研

〃 C. Fälthammar, Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden

このセッションは宇宙大気電気 (Space Electricity) と呼ばれている部門で、主として高層大気の大気電気現象、電離層、惑星大気などの問題が含まれ、最近のロケット、科学衛星による観測結果にもついて、活潑な研究が行なわれている。シンポジウムの討論は理論的研究と、実験的研究の2つのセッションに分かれ、多数のコスパーからの研究者も参加して盛会であった。

第1部 (座長: 大林辰蔵, 東大宇宙研)

1) 超高エネルギー 空気シャワーによる電離と電波輻射。

10^{13} eV 以上の超高エネルギーの宇宙線によって、地上 1~20km に異常電離域が短時間のあいだ作られる。この電離域は中心部で 10^8 イオン・ペア/cm³ にも達し、短波帯の電波雑音発生の可能性などが、西村、Colgate などによって報告された。

2) 電離層下部 70~80km の電離極小域の原因。

宇宙線による大気電離と、太陽輻射線による電離が移りかわる 70~80km の高度の電離密度は、理論的に予想される値よりも小さいことが従来から指摘されている。Whipple はこれが流星塵などの原因でイオンの再結合が促進される結果であろうと述べている。

3) 電離層ダイナモ電流

地球磁場日変化の原因は、電離層内の風が磁場を横切

1968年8月

って流れるために生じる発電作用であろうというダイナモ説が昔から云われている。最近、ロケットから放出する電離層の観測ができるようになって、実際に風や電場が測れるようになって、従来の説が証明された。ドイツの Lüst のグループは、スウェーデン、インドなどで多数のロケット実験を行ない、見事な結果を得ている。

4) 磁気圏の電場

電離層上部から数万 km にわたる磁気圏内には、プラズマの対流と、それに対応する電場系がある。電場の強さは 1mV/meter 程度と推定されているが、まだ実測されてはいない。最近、磁力線に沿う方向の電場の存在、それによるプラズマ不安定、粒子加速などの問題が注目されているが、興味ある結果が Fälthammar, Coroniti, Liu, Sen によって紹介された。

5) 月、惑星の大気電気

ルーナ・オービターの結果から、月の Wake の存在が明らかにされたが、Linlor, Sonett は月面の電場が Unipolar Generator と同じ機構でつくられることを述べている。高温の金星大気、火星の Dust-Storm などは大気電気として興味ある問題を与えることになると考えられるが、とくに新しい討論はなかった。

第2部 (座長: Fälthammar, スウェーデン王立研究所)

6) 電離層内の電場測定

プラズマ内の微小電場の測定は極めて困難とされている。ことにロケットに搭載されたプローブで測ることは、ロケットの運動による $V \times B$ 電場、イオン・シースの影響等があるので、実測された電場をいかにして補正するかが大問題である。これに関して、Mozer, 大家寛 Fahleson, Dolezalek などの間ではげいし論争が行われた。バリウム雲をロケットから放出して、電場を間接的に測る方法は現在のところもっとも信頼性があるものとみられる。

7) Mesosphere の観測

Mesosphere の大気電気現象は、小型ロケット (Whipple, Marcissi, 小川俊男)。大気球 (内川規一, Weed, 小川俊雄, Hopper, 石川晴治) によって観測がはじめられている。未だデータの蓄積が不十分ではあるが、今後の研究が期待される。

(大林辰蔵, 東大宇宙航空研究所)

Session 7, Tropospheric Ionization

座長: J. Bricard, University of Paris, France

このセッションは特に日本側の強い要請によって設け

られたもので、主として地表附近のイオンとエアロゾルに関して比較的活潑な討論が行なわれた。

Vohra, K.G. et al.: "Role of natural ionization in the formation of condensation nuclei in the atmospheric air"

強い放射線の作用の下で、空気中の不純気体が反応を起して Aitken 核を作ることは、Megaw and Wiffenによって報告されている。Vohra 等は自然の弱い放射線の作用によってどれ位の Aitken 核が出来るか実験的に調べ、放射線の単位強さ当りの核生成率を求めた。

Kawano, M. et al.: "Measurements of the attachment coefficients of small ions and radioactive ions to condensation nuclei"

大気中で一見複雑に変化している小イオン数が $q = \beta nZ$ (q : 小イオン生成率, n : 小イオン数, Z : エアロゾル数, β : 小イオンのエアロゾルへの付着係数) の関係式によって極めて良く表わされることを示した。但し β はエアロゾルの平均粒径による関数である。更に放射性 (RaA) イオンについても同様の式が成立していることを示した。

Nakatani, S. "Continuous measurements of mobility spectrums of naturally occurring radioactive aerosols"

放射性エアロゾルの易動度分布を速かに測定出来る測定器を作成し、分布の時間変動を調べた。その結果、分布の型も濃度も、時間的に大きい変動を示すこと、放射性エアロゾルの大部分は 10^{-4} cm²/sec·volt の附近にあることを明らかにした。

Mohnen, V. "On the nature of tropospheric ions"

Mohenn は多くの型の化学反応を考慮に入れて対流圏下部のイオンの性質を決定すること試みている。即ち先ず標準大気について一次的に生成されるイオンを列挙し、この "original ion" から出発してあり得る種々の化学反応について反応速度や反応の道筋の議論を進め、"final ion" の形成について述べている。

Siksna, R. "The role of the water substance in the structure and by production of ions in the ambient atmospheric air"

大気電気分野においては、water substance が極めて重要な因子である事は周知の事であるが、Siksna は現在までに得られている water substance についての理論及び実験の総合報告をしている。この中では corona 放電で出来た H_3O^+ 、 $H_3O^+(H_2O)_n$ 等の + ion 相対量を mass spectrometer を使つて測定し、その構造を示

した Shahin の報告が特に興味深い。

Bricard, J. et al.: "Formation and properties of radiolytic and photolytic condensation nuclei in atmospheric dust free air" 及び "A study of the mobility of small ions in air by the flight time method" 前者は放射線及び紫外線の作用によって出来る radiolytic 及び photolytic nuclei の諸種の条件の下での生成について得られた結果の報告である。後者は、コロナ放電によって電離した空気イオンの易動度を、Flight time method を用いて測定した報告で、ageing time や圧力を変えて測定を行なっている。

Misaki, M. et al.: "Some features of the dynamic spectra of atmospheric ions throughout the mobility range 4.22~0.00042 cm²/sec·volt"

三崎が開発して来た3つのイオンスペクトロメーターを用いることにより、小イオン、中イオン、大イオンの範囲に亘って易動度分布の測定が出来るようになった。この報告では東京及び軽井沢における測定について述べているが、すでにいくつかの貴重な成果が得られており非常に秀れた発表であった。このように広範囲で而も精密な測定が出来るようになったのは、著者らの長年の研究の積重ねが実を結んだものと思われる。

この他、以下に掲げる発表又は short paper の提出があった。

Barreto, E "On the formation of Langevin ions in water supersaturated air jets".

Dalu, G. 題名不詳, イオンの附着に関するもの

Liu, C.S. 同上

Rich, T.A. "Ion nuclei relations"

Fontan, J. et al. "Mesure de la Mobilité et du Coefficient de Diffusion de Particules Radioactives"

(池辺幸正, 名古屋大学工学部)

Session 8, Fair Weather Electricity

座長: R. Reiter, Physikalisch-Bioklimatische Forschungsstelle, West Germany

発表された論文数14編のうち、前半7編はこれまでのどのセッションにも属さぬもの。乃至は入り切れなかったものの集りで、内容はかなり雑多で集約し難い。後半7編は雲物理の中での大気電気の問題であり、雲粒、霧粒、水滴の荷電機構、粒子の成長に及ぼす電場の影響等に関する議論が集中的に行なわれた。

1. Hutchinson: Electric Space Charge within 20

Meters of the Ground.

空間電荷の垂直分布を直接測定して、electrode effectを論じたもの。

2. Sekikawa, Hujiwara: Electrical Behavior and Charge Equilibrium in the Atmospheric Aerosol Particles.

強制平衡をとつた場合と、自然のままの状態での、エアロゾル粒子の荷電率を比較して、地域差、時刻差による非平衡度の変化を示した。

3. Hujita: Effect of Radioactive Fallout upon the Electrical Conductivity of the Lower Atmosphere.

遠隔地における核爆発(ソ連, 6,000km)でも、個々の爆発の影響が大気電気に現われることもあり得るという例を示し、これが dry fallout によつたものであることを説いた。

4. Kondo: The Disturbance of Atmospheric Electricity by the Nuclear Explosions in the Atmosphere.

藤田の場合と同様、個々の核爆発の影響が日本にも現われた例、又長期間にわたる統計処理の結果見られる影響について述べ、更にラジオゾンデ観測にあらわれた高空における影響にも言及した。

5. Ogawa, Tanaka: Measurement of Atmospheric Electric Field for Altitudes Between 5 and 25 kilometers.

大気球による高層大気中の大気電場の測定法と、その結果について論じた。

6. Harris: Atmospheric Electric Field Measurements During Harmattan Dust Haze in Northern Nigeria.

ナイジェリア北部の乾期に、サハラ砂漠より吹き出す dust haze の影響を述べ、これが全地球的な大気中の電流収支にも重要な要素たるべきことを示唆している。

7. Reiter: A Contribution to the Atmospheric Electric Phenomenology of Non-Thundrestorm Clouds and Precipitations.

各種雲形について、大気電気要素の垂直分布を、700~3000m にわたり精測した結果より、積雲が発達中であるかどうか、大気成層の安定度の変化等が、大気電気的に明瞭に識別し得ることを示した。

気象学への直接的応用を示唆したものとして、注目に

値した。

8. Magono: On the Mechanism for the Charge Generation in Relatively Warm Temperature Region of O to -10°C .

霰の帯電機構(雷の電荷発生機構)として、一応通説となつた熱機構説は、温度が -10°C 以下の場合にだけ正しく、 $0^{\circ}\sim-10\text{C}$ では帯電極性が反転することを力説した。

9. Latham: The influence of Electrical Forces on Cloud Physical Phenomena.

雲粒子の衝突効率、併合効率等に及ぼす電場、電荷の影響について、広範な総合報告を行なつた。

10. Jordan, Luan: Experimental Investigation of Electrostatic Precipitation of Fogs and Clouds.

Latham の総合報告の範疇に属する研究で、実験により、 20μ の安定な霧粒を降水粒子とするには $300\text{V}/\text{cm}$ 以上の電場を要することを示した。

11. Shishkin: On the Charging of droplets in Clouds nad Fogs.

雲、霧粒の帯電機構に及ぼす水滴表面の二重層の効果を実験的に述べ、まわりの空気の正偏電気伝導率が負のそれの倍以上になれば水滴は正帯電、それ以下ならば負帯電という結論を導き、実験と照合した。

12. Stow, Latham: Airborne Studies of the Electrical properties of Convective Cluds.

アリゾナで航空機による気象要素、大気電気要素の総合観測を行ない、雲の中における電荷分離機構に関する各理論と照合し、この場合には、Müller-Hillebrand の inductive process がもっとも可能であったことを示した。

13. Takahashi: Measurement of Electric Charge on Precipitation Elements in Cloud by Means of Radio-sonde.

ハワイの暖い雨型の雲、日本での積雲、雷雲中に、電荷ゾンデを飛場させた結果を示し、非雷雲型では負極性、雷雲型では正極性の電荷分布をしていることを示した。

(三崎方郎, 気象研究所)