

小松周辺の冬季雷雲下の電界分布について*

鈴川 三男** 遠峰 菊郎** 阿部 成雄** 道本光一郎***

要 旨

雷雲下の地表における電界の水平分布を調べるために、発雷を伴った4例の比較的単一なエコーを選び解析した。その結果を以下に示す。

1) 地表負電界最強の中心は、エコーの進行方向に対してエコー強度の最も強い部分の左前方から左側に分布している。

2) 地表負電界強度は、エコーの発達に伴い強まり、衰弱に伴い弱まる。

3) 上空のストロングエコーが地上に下りてきて広く広がるようになる段階から、エコー全体が減衰し、ストロングエコーが存在しなくなる段階にかけて、エコー強度の最も強い領域の進行方向右後面に地表正電界が現れ、次第に正電界を強めながら、最終的には上の地表領域では全部正電界となる。

4) 地表電界の時間変化については、発達中のエコーでは進行方向左側で負電界が強まり、右側で弱まる。十分に発達して衰弱期に向かっているエコーでは負電界最強点と正電界最強点は互いに反時計様に回転している。

1. はじめに

雷雲下の地表電界は、雷雲内の電荷分布を推定する1つの方法として、過去多くの研究者により観測されている。

Simpson・Scrase (1937) は、小さな雷雲下の地表電界パターンは雷雲の前と後の両方で正、真下では負であることを示した。これは、雷雲内部の電荷分布が部分的には複雑な構造をもつにしろ、1つの雷雲全体として見れば、上に正電荷、下に負電荷がある1個の双極子と考えられることを示している。

藤田と小川 (1976) は、1965年から1967年の3年間の夏期に、京都市北東部において観測したデータから、雷雲による電界変化99例を選んで、それらを12の変化型に分類した。彼等は、この中で負の地表電界が最初に現れる電界変化が最も多いことを示し、平均的な雷雲内の電

荷分布モデルを示した。又、彼等は、1個の電界計の時間変化について考察しているので、この12の変化型は、複雑な電荷分布を持つ雷雲の進行方向に対する一断面を捕えているものと考えられ、Simpson・Scrase (1937) の小さな雷雲下の電界パターンも、その中の1つと一致する。

これに対し、畠山は、1940年から1944年の間、前橋を中心とした約400 km²の範囲で10個の観測点による同時観測を行い、電界変化は、正常値-負-正-負-正常値の型が多く、電界の等値線解析から、周囲は正常値、雷雨の起こっているところでは負の大きな値で、その中に局部的に正の値のところがあり、この正の値は、強雨域に伴っていることを示した。これは、同時多点観測により、雷雲の進行方向のみならず、横方向への広がりをはかることができた結果であろう。

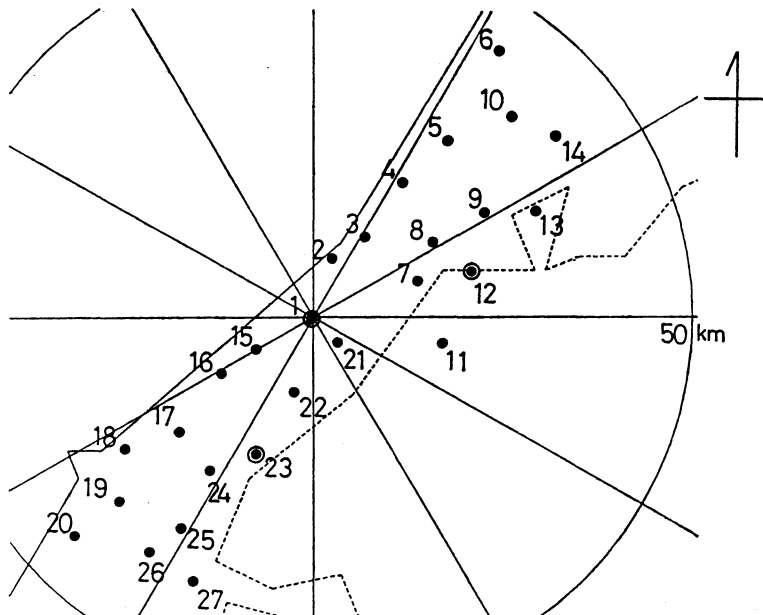
雷雲の時間変化に伴う地表電界の変化としては、Reynolds・Brook (1956) が、レーダーエコーの成長に伴い電界が強まることを示した。

我々は、キャピ-機能を有する気象レーダー装置と、約10 km 間隔で配置されている27個の電界計による地表電界の同時多点観測システムにより、電界変化がシングルであると思われる比較的単一なエコーを選び、雷雲

* Case studies on the distribution of electric field under thunderstorms in winter in the area surrounding Komatsu.

** Mitsuo Suzukawa, Kikuro Tomine, Shigeo Abe, 防衛大学校地学教室.

*** Kouichi Michimoto, 航空自衛隊千歳気象隊
—1986年11月20日受領—
—1987年5月15日受理—



第1図 電界計の配置。1：小松，2：根上，3：美川，4：倉部，5：湊，6：宇ノ氣，7：辰ノ口，8：館畑，9：三小牛，10：二日市，11：釜清水，12：獅子吼，13：気後山，14：竹又，15：塩浜，16：片野，17：北潟，18：陣ヶ岡，19：三国，20：和布，21：木場，22：勅使，23：刈安，24：笹岡，25：江留，26：四十谷，27：開発。破線は高度1,000 m の等値線を示す。

下の地表における電界の水平分布が、雷雲の時間変化に伴って、どのように変化してゆくかを解析する。その結果、1個の電界計から見た雷雲下の電界パターンを、多種多様に変化させる要素として、大気的一般流とその垂直プロファイル（ウインドシア）、雷雲の水平・垂直の3次元的広がりとその移動、雷雲セルの複合等が考えられることが示されている。しかし、これらの多種多様に見える結果も、電界の水平分布を解析すれば、そこにはいくつかの特徴があることを示すことができる。この解析結果は、第4章に示されている。ここで用いられた電界計システムの説明は第2章で行うが、気象レーダー装置の説明は、遠峰・道本・阿部（1986）に述べられているので、ここでは省略する。

2. 電界計システムの説明

小松基地を中心とした電界計システムの配置を第1図に示す。回転型の電界計27個が、海岸線に沿って100 km、海岸線から内陸部に20 kmの長方形の範囲に配置されており、この上空を通過する雷雲による地表電界の

第1表 電界計の性能諸元

測定方式	回転セクター方式
最大測定範囲	$-4 \times 10^4 \sim +4 \times 10^4$ V/m
測定可能最小電界	約 200 V/m
測定データの収集周期	約90秒

情報を入手することができる。この電界計の性能諸元を第1表に示す。電界計の観測範囲は、 ± 200 V/m $\sim\pm 4 \times 10^4$ V/mの範囲であり、測定可能最小電界は200 V/mである。

電界計は1分間に2,000回転し、この間4,000個のデータを測定するが、90秒に1個のデータを表示するシステムになっており、6,000個のデータの中から1個だけを出力していることになる。

3. エコーの移動と電界値の時間変化

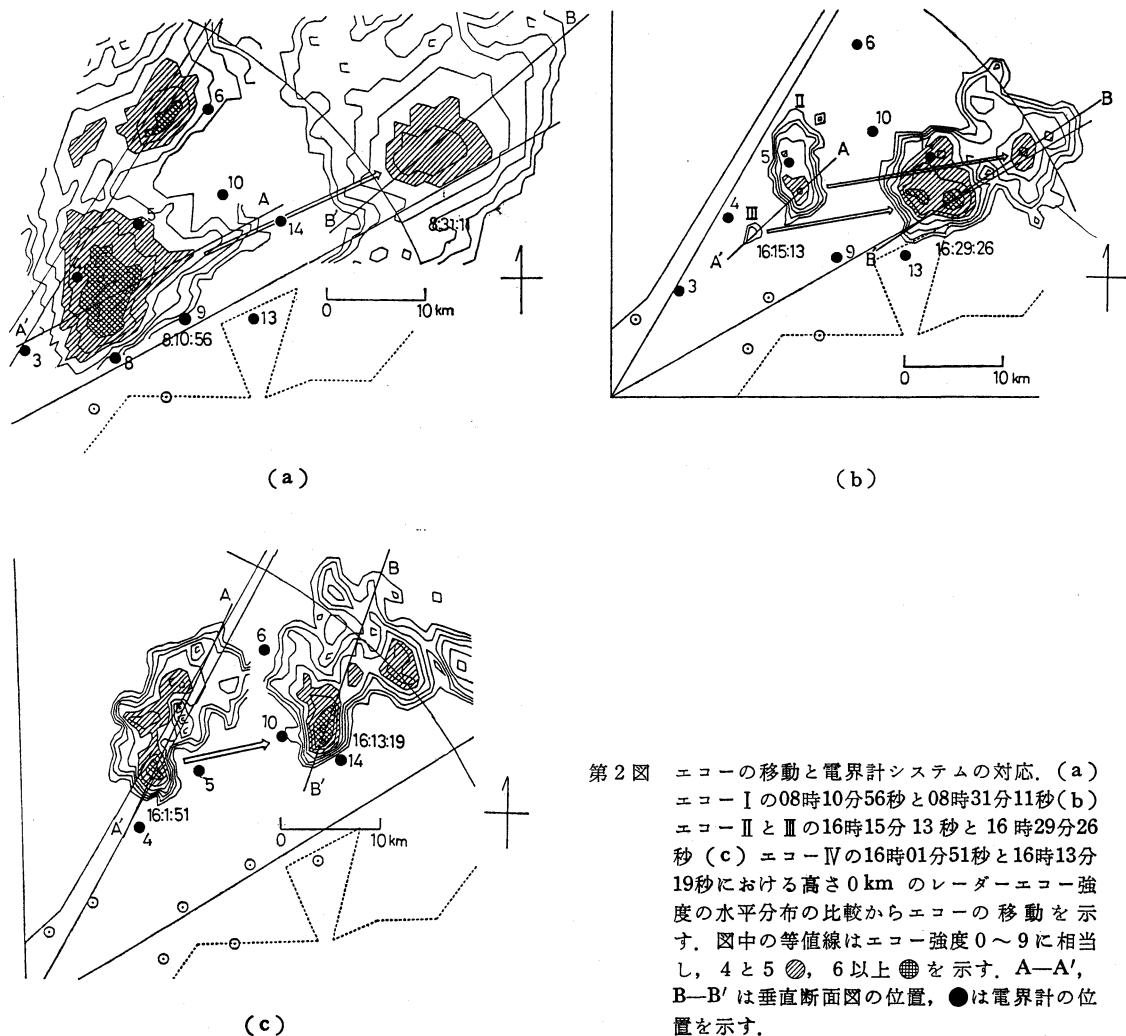
降水強度情報は、小松基地を中心にして半径128 km

以内の範囲で磁気テープに記録されている。これらの中から、電界計の値を解析するために必要なレーダーエコーを選ぶ。しかし、1つのエコーに対して、そのエコーの一生を電界計システム上空で追跡することは、エコーの移動速度、寿命、或は、電界計システム領域の広さから考えても不可能である。せいぜい、エコーの一生の内的一部分を観測することができる程度であろう。又、電界の時間変化の型が多様であることを考慮し、1つのエコーに対して、約15~20分間隔の2~3連続のとれる、比較的単一で上陸後電界計システム上空において発雷した強い電界を伴うエコーのみを選んだ。

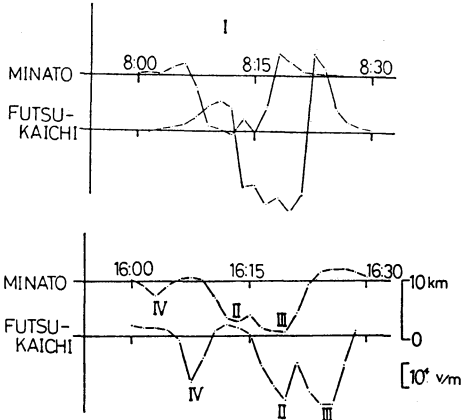
1983年12月11日、4例のエコーが、電界計システムの

小松より北側部分を東北東に通過した。これらのエコー（以後、I~IVの記号により示す。）の移動と電界計システムとの関係を第2図に示す。(a)は、エコーIの08時10分56秒と08時31分11秒、(b)は、エコーIIとIIIの16時15分13秒と16時29分26秒、(c)は、エコーIVの16時1分51秒と16時13分19秒の仰角0.7°におけるレーダーエコー強度の水平分布の比較から、その移動を示している。図中の等値線は、外側から内側に向かって、エコー強度0~9に相当する。

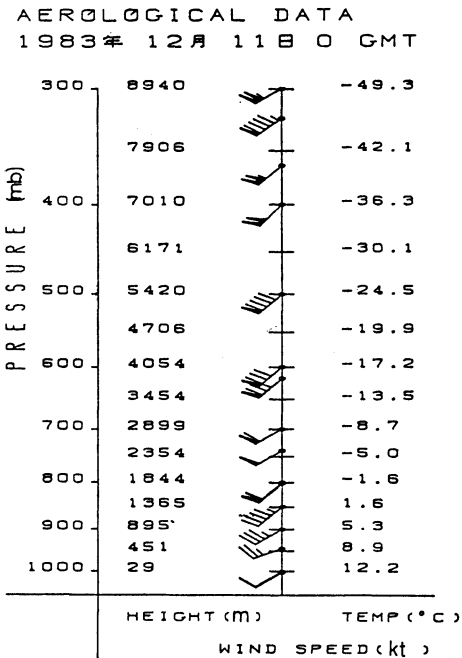
エコーIは、美川、倉部、湊、館畑、宇ノ気、二日市、竹又、気後山の計8個の電界計上空を、約30m/sで通過している。この内、エコーに伴って大きい負の電



第2図 エコーの移動と電界計システムの対応。(a) エコーIの08時10分56秒と08時31分11秒(b) エコーIIとIIIの16時15分13秒と16時29分26秒(c) エコーIVの16時01分51秒と16時13分19秒における高さ0 km のレーダーエコー強度の水平分布の比較からエコーの移動を示す。図中の等値線はエコー強度0~9に相当し、4と5 ●, 6以上 ●●を示す。A-A', B-B'は垂直断面図の位置、●は電界計の位置を示す。



第3図 電界値の時間変化とパターンの移動.



第4図 12月11日09時の輪島の風と温度のプロファイル.

界値を示した湊と二日市の電界値の時間変化を、第3図の上段に示す。エコーIIとIIIは、美川、倉部、湊、宇ノ気、二日市、三小午、竹又、気後山の計8個の電界計上空を、約29 m/sで、エコーIVは、倉部、湊、宇ノ気、二日市、竹又の計5個の電界計上空を、約25 m/sで通過している。この内、エコーII~IVに伴って大きい負の電界値を示している湊と二日市の電界値の時間変化を、

第3図の下段に示す。図中、縦軸にそった測定点間の間隔は、エコーの進行方向に対する距離に相当し、横軸には時間をとり、電界値の時間変化を示すとともに、各エコー下の電界値の時間変化とその移動がわかるようにI~IVの記号で示している。

エコーI~IVに対応する電界は、全体的な型を保ちながら、約9.2 kmの距離を、エコーI, III, IVの負のピークが約30 m/s、エコーIIが約25 m/sで移動したことになる。

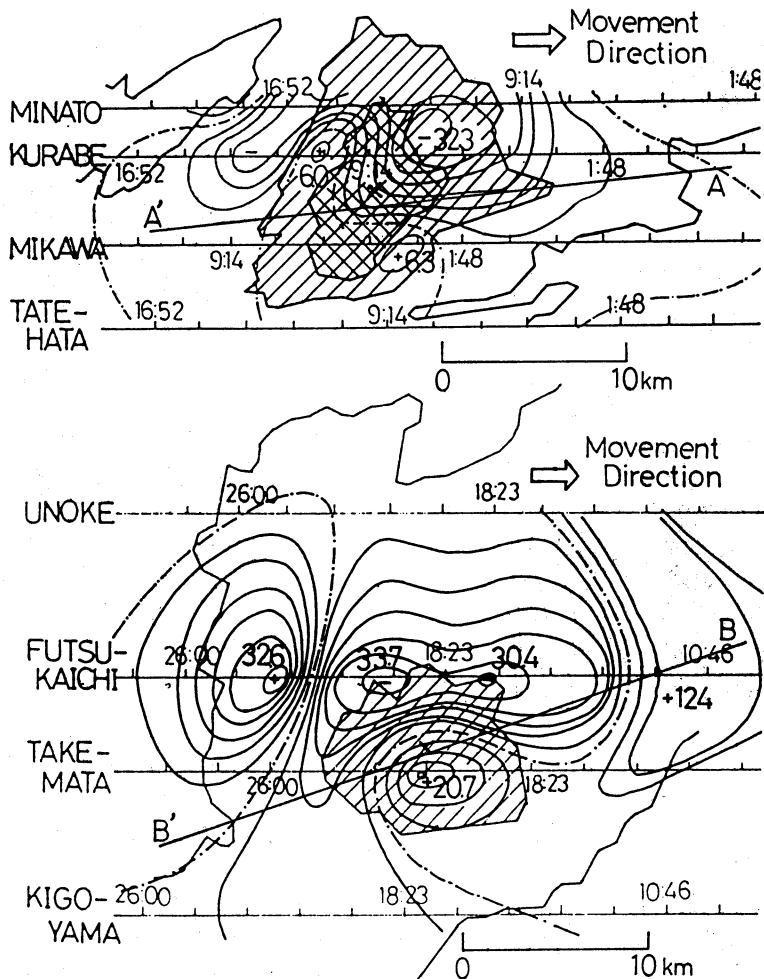
エコーの動きとエコーに対応する電界パターンの動きの間には、大きいところで5 m/sの差が見られるが、電界計の値が90秒に1回の表示であることを考えれば、この5 m/sの差は誤差の範囲であり、エコーと地表電界が対応して移動しているとは、妥当であろう。

第4図に12月11日09時の輪島の風と温度のプロファイルを示す。下層から上層まで南西風場で、エコーの動きは概ねこの風向に沿い、移動速度は700 mb(高度3 km付近)の風速に一致している。

4. 電界の水平分布とエコーの時間変化

第1章で述べられているように、この電界計は約10 km間隔で配置されている。又、エコーの水平スケールが約10 kmであるところから、それに伴う地表電界の水平分布パターンも約10 kmのスケールであることが予想される。10 km間隔で配置されている電界計のデータから10 kmのスケールで変化する電界の水平パターンをそのまま解析することはできない。そこで、前章の結果をもとに、エコーが通過した全ての電界計を、エコーの進行方向に対する電界計の位置関係から、前後2組に分ける。エコーの進行方向にx軸を考え、エコーが速度Uで等速度運動をしていると仮定することにより各電界計間のx座標の相異ΔLをΔT=ΔL/Uにより時間ΔTの相異に置き換える。この時間軸上の相異ΔTを補正し、電界値の時間変化を速度Uを用いてx軸上の変化に逆交換することにより各組毎の電界の水平分布を解析する。この場合、時間的に急速に変化する電界値に対しては、このような解析は妥当性を欠くものと思われる。ここで、エコーは、第2図に示す瞬間のものであり、以後に示すエコーと電界の水平分布との対応は、必ずしも時間的に一致するものではない。

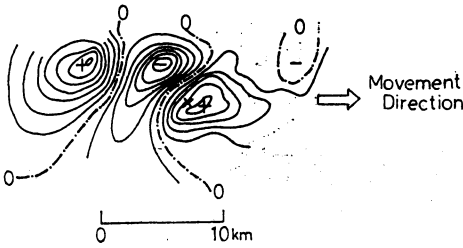
第5図は、エコーIに対する電界の水平分布を示す。図中、地点毎の横軸間隔は、エコーの進行方向に対



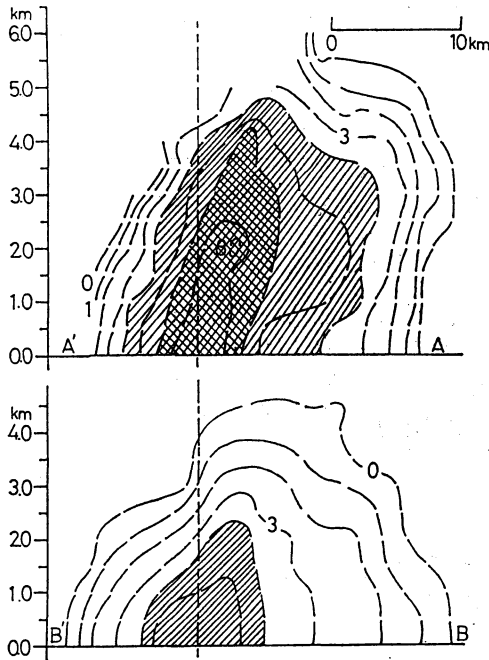
第5図 エコーIに対する電界の水平分布. 図中、横軸間の間隔は、エコーの進行方向に対して直角方向の測定点間の距離に相当し、数字は各々の電界値の観測時刻(分:秒)を示す. エコーは第2図と同様であるが、等値線は、エコー強度0, 4, 6のみを示す. 電界分布は、5kV/m毎の等値線、0V/mを一点鎖線、中心付近に観測された最大値を示す. 矢印はエコーの移動方向を示す.

して直角方向の距離に相当し、各地点の横軸には、表示した電界値の観測時刻を示す. エコーは、第2図と同様であるが、等値線は、エコー強度0, 4, 6のみを示す. この図から、エコー域は概ね負電界領域に対応しているが、その中に、エコー強度の最も強い部分に対応して正電界が見られ、この正電界を取り囲むような形で、負電界の強い部分が、エコーの進行方向に対して左前方から左側に分布していることがわかる. 又、前後兩段階の比較から、初め、エコー強度の最も強い部分の右後方

に現れた正電界は、次第にその強度を強めながら、上の領域全体を占めるようになるが、その左前方に、初めから見られる強い負電界は、やや弱まり(32.3kV/m→30.4kV/m)を見せ、その後方に、新たにもう1つの強い負電界(33.7kV/m)と、さらにその後方に、強い正電界(32.6kV/m)が現れているのがわかる. ここで、エコーに対する電界の水平分布の時間変化を見るために、エコー強度の最も強い部分の中心(×印により示す.)を重ね合せ、後の段階の電界値から前の段階のも

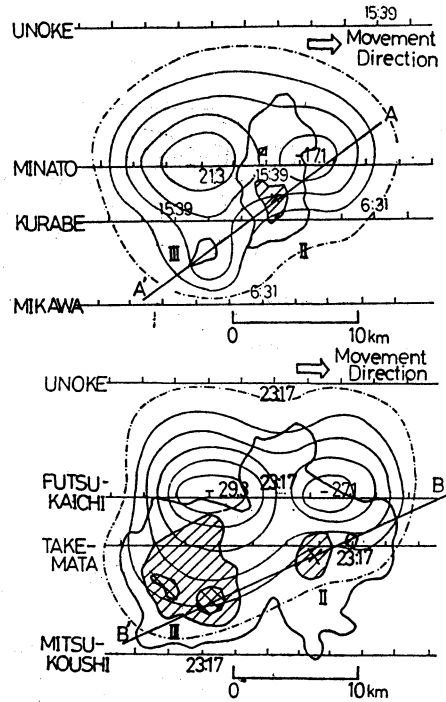


第6図 エコーIに対する電界の水平分布の時間変化.



第7図 第5図のA-A', B-B'における垂直断面図.

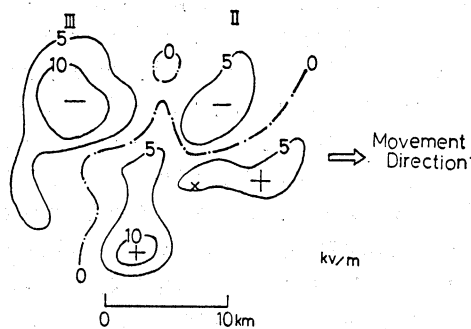
のを差し引き、第6図に示す。この図からも、エコー強度の最も強いところ（×印付近）での正電界の強まりと、その左後方での負電界と正電界の強まりがわかるが、この図からわかる最も特徴的なことは、エコーの進行方向左側の強負電界領域と、右側の強正電界領域は、エコー強度の最も強い部分を中心に、反時計様に回転していることである。電界値の水平分布の時間変化を、この論文に示されているような時間空間変換したデータで議論することは、本章の冒頭で述べているように幾分か妥当性を欠くと思われるが、水平分布の時間変化は雷雲中の電荷分布を調べる上で重要なので、これを行って



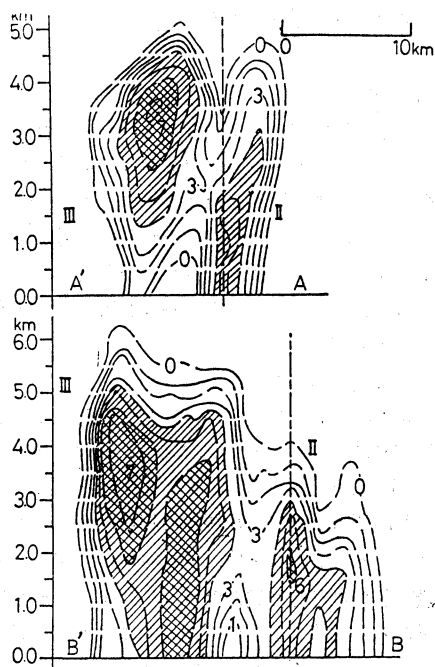
第8図 エコーIIとIIIに対する電界の水平分布。その他は第5図と同様.

る。第7図は、第5図のA-A', B-B'における垂直断面図により、エコーIの時間変化を示す。前の段階では、エコートップは6 km以上に達し、ストロングエコーが4.5 km付近から地上まで広く占めているが、後の段階では、エコートップは4.5 kmに下がり、ストロングエコーが全て消滅していることから、この期間における急激な衰弱が見られる。

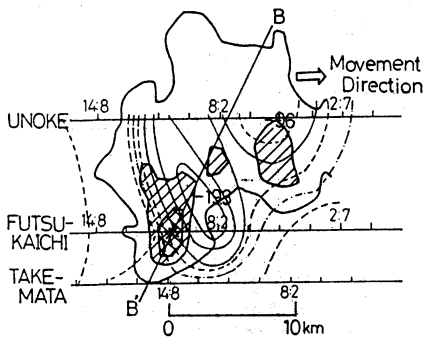
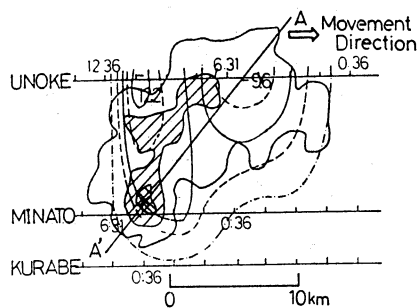
第8図は、エコーIIとIIIに対する地表電界の水平分布を示す。エコーIの場合と同様、エコー域は、概ね負電界領域に対応しているが、エコーIに見られるエコー強度の最も強い部分、或いは、周辺での大きな正電界域は存在していない。負電界域は、エコーの進行方向に対して、エコー強度の最も強い部分の左前方から左側の、エコー強度がウィーク、或いは、エコーの無い場所に対応して分布している。又、エコーIIIに見られるように、ほとんど地表においてエコーの存在を確認することができない段階から、既に強い負電界域が現れていることがわかる。前後両段階の比較から、負電界は、エコーII (-17.1 kV/m → -27.1 kV/m)、及び、エコーIII (-21.3 kV/m → -29.3 kV/m)の両方の領域で強まりが見られ



第9図 エコーIIに対する電界の水平分布の時間変化。



第10図 第8図のA-A', B-B'における垂直断面図。

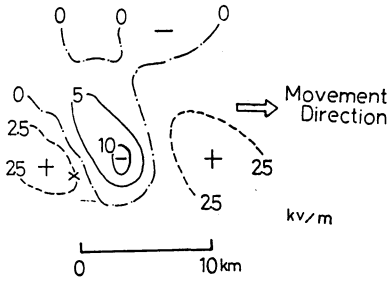


第11図 エコーIVに対する電界の水平分布。その他は第5, 8図と同様。

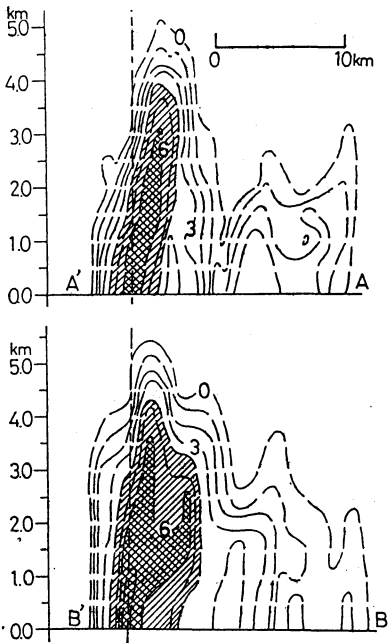
ーは存在していないが、後の段階では、1.5~2.0 km 付近にストロングエコーのコアが見られる。又、エコートップは4.7から4.2 km と低くなっているが、エコー強度の強まりと第8図の平面図に見られるエコーの水平方向への広がりから、この期間での発達傾向がわかる。エコーIIIの特徴は、前の段階において、地上では、エコーIIの後方に、エコーレベルIのウィークエコーが、少し下りてきているだけで、その主体は空中に存在し、ストロングエコーのコアが、3.5 km 付近を中心に2.5~4 km に見られるが、後の段階では、ストロングエコーが地上に下り、ストロングエコー領域の拡大と、エコートップの上方への伸び(5.2 km→6.2 km)を示し、この期間における急激な発達がわかる。

第11図は、エコーIVに対する電界の水平分布を示す。エコーI~IIIと同様、エコー域は、概ね負電界領域に対応し、負電界域は、エコーの進行方向に対して、エコー強度の最も強い部分の左前方から左側のエコー強度が、ウィーク、或いは、エコーの無いところに対応して分布している。又、エコーII, IIIと同様、エコーの周辺には大きな正電界は見られない。電界は、最もエコーの発達が見られる領域の左前方において強まり(-9.6 kV/m

る。エコーIIに対する電界の水平分布の時間変化を第9図に示す。この図から、エコー強度の最も強い部分(x印)の左側においては負電界は強まり、右側においては弱まることわかる。尚、エコーIIIについても同様の結果が見られる。第10図は、第8図のA-A', B-B'における垂直断面図により、エコーIIとIIIの時間変化を示す。エコーIIの特徴は、前の段階において、地上にモデルイトエコーが下り、まだエコーの中にストロングエ



第12図 エコーⅣに対する電界の水平分布の時間変化.



第13図 第11図の A-A', B-B'における垂直断面図.

→19.3 kV/m)が見られる。エコーⅣに対する電界の水平分布の時間変化を第12図に示す。この図から、負電界は、エコー強度の最も強い領域(x印付近)ではエコーの進行方向に移動し、エコーの前方部分では反時計様に回転しているのがわかるが、エコーⅣ自体の動きに注目(第2図(c))すると、エコーの南側が北側に比べ早く上陸しており、摩擦の影響であろうと思われるが、エコーの北側部分の移動が速いようである。電界の水平分布を、エコー強度の最も強い領域の移動から求めた速度に合わせて解析しているので、エコー強度の最も強い部分

では、エコーの減速に伴い電界が前方へ移動し、エコー前方付近では、反時計様に回転しているように見えているのかもしれない。したがって、このような動きをするエコーにおいては、時間空間変換して解析することは不合理であり、前後両段階の各々の水平分布から、負電界はエコー強度の強い領域の左側に位置していることはわかるが、誤差が大きくなり、さらにこれを使って時間変化を見ることは困難であるように思われる。第13図は、第11図の A-A', B-B' における断面図によりエコーⅣの時間変化を示す。既に前の段階から、ストロングエコーが地上に下りてきている。この期間中、エコー全体としての大きな変化は見られないが、ストロングエコー領域の若干の拡大と、エコー強度の強まり(6→7)から、若干の発達傾向が見られる。

5. 考察

エコー下の地表電界の時間変化とエコーの移動が一致することから、エコー下の地表における電界の水平分布を解析した。解析に使用した電界値は、エコー観測時間のエコー直下の値ではないが、比較的近い場所の電界計の値を合成することにより、エコーの発達・消滅に伴う電界の水平分布パターンとその時間変化の特徴は捕えられるものとする。

エコーの発達が見られる段階(エコーⅡ~Ⅳ)のエコー下領域では、概ね負電界が対応し、周辺にはあまり大きな正電界は存在していない。これは、Simpson・Scrase (1937) の小さな雷雲下の電界の時間変化と類似しており、藤田と小川 (1976) の12の変化型の1つにも示されている。このことは、Simpsonらの言う小さな雷雲の段階及び本研究で選んだエコーの発達が見られる段階の雷雲内の電荷分布等は、部分的には複雑な構造を持っているかもしれないが、上に正電荷、下に負電荷のある1個の双極子と考えられる。そこで、エコーⅡとⅢに対する正負電荷の高度を推定するために、電界の水平分布からリバーサルディスタンス (Smith, 1957) を求めると、6~7 km であり、これとエコーの高さから正と負の電荷はそれぞれ6 km と3 km 付近に存在すると推定される。この高度の気温は、輪島における温度プロファイル (第4図) に示すように、正電荷域が-30°C、負電荷域が-10°Cに相当し、このことは竹内・仲野 (1983) や Brook ら (1982) の結果とも一致する。又、この例から、実際には正負の電荷によるいくつかのダイポールが進行方向に並んでいることが多いように思う。

藤田と小川 (1976) は、12の変化型の内、最も頻繁に現れる負一正 (負一正一負) の変化のものから、負の電荷が雷雲の移動方向に正の電荷より 0.2~0.6 km 先方に突き出ている電荷分布モデルを作った。このモデルの地表電界の時間変化は、本研究でのエコー I に対するものと類似している。彼等の研究では、雷雲のある瞬間の一断面しか見ることができなかったが、我々は、同時多点観測の利点を活かし、水平的な広がりとその時間変化を見ることができたので、負電界の領域が正電界 (エコー強度の最も強い部分) の左前方から左側に位置していることを見出した。又、過去の多くの研究の中に見られる雷雲下の地表電界の時間変化において、初めに正電界がくるとか、負電界がくるとかの議論は、複雑な電界分布の一断面のみを観測することにより引き起こされていることがわかる。

エコー III の例で見られるように、上空にストロングエコーが形成されるエコー発達の初期と思われる段階において、地表では既に強い負電界が存在することは、上昇流の中の霰の形成段階で、上に正、下に負の電荷分離が起こっていることを示している。ここで、エコー強度の最も強い部分は、このエコーの中で最も上昇流の強いところと思われるが、この負電界の領域が、エコーの進行方向に対してエコー強度の最も強い部分の左前方から左側のエコーの存在していない部分、或いはエコー強度がウィークの部分に対応しているのは、少なくとも強い上昇流のところでは、このような電荷分離は起こらないことを示している。1つのセルを考えた場合、上昇流域があればそれに対し下降流域が存在するはずであり、このことを考えれば、負電界の存在する場所は緩やかな下降流域、或いは少なくともカーム域に相当しているところと考えられ、そこでは、主にレーダーに映らない雲粒や氷晶が負に帯電していることを示している。このことは、Kuettner (1950) の雷雲モデルによる上昇流域では電荷分布はバリエブルで、下降流域の幅広い範囲の雪の部分では、下に負、上に正の電荷分離が起こっているという結果からも示すことができる。又、エコーの衰弱が見られる段階 (エコー I) に現れるエコー強度の最も強い部分の正電界は、大きな霰が正に帯電していることを示していると思われるが、これは、霰の成長落下に伴い霰が -10°C 層を通過すると、ここでは霰と氷晶の衝突により、霰が正、氷晶が負の電荷分離が起こり、エコーの発達段階に見られる電荷分離とは異なる上に負、下に正の新たな電荷分布が、生ずるものと考えられる。今回観

測された正電界は、Kuettner (1950) の雷雲モデルに示されている強い霰の域に伴う狭い下降流コアの中で生じる局所的な正電荷の集中に対応するものと考えられる。又、強い降雨域によって地表に正電界が分布することは、畠山によっても観測されている。そこで、エコーの衰弱が見られる段階の地表正負電界の出現は、エコー強度の最も強い部分 (強い下降流) で生じた上に負、下に正の電荷分布が、風のシャーで傾くことによりこのように現れたのではなく、極性反対の2個の双極子による地表電界と考えられる。地表負電界は、エコーの発達段階に見られる上に正、下に負の電荷分布を捕え、地表正電界は、衰弱段階にエコー強度の最も強い部分で見られる下に正、上に負の異なる電荷分離過程により生じた上に負、下に正の電荷分布を捕えているものと考えられる。Kuettner (1950) は、成熟期の雷雲では、まず第一に強い降水域で、下正、上負の電荷分離が起こり (graupel dipole)、その次に降雪域で下負、上正の電荷分離が起こる (snow dipole) もと考えている。この考え方によると、今回のレーダーエコーの発達・消滅に伴う電界の水平分布パターンの時間変化は、降雪に伴う電荷分離 (snow dipole) が、発達段階の初期において見られ、エコー強度の最も強い部分に現れる電荷分離 (graupel dipole) が後から起こっていることを示唆している。エコーの発達が見られる段階に地表負電界が卓越し、エコーの衰弱が見られる段階に地表に正電界が現れるという今回の結果は高橋 (1974) がハワイで行った暖かい雲内の電荷分布の観測結果とも符合する。高橋は発達段階では、雲中で負帯電雨滴と負帯電雲粒が卓越し、成熟段階では、雲頂付近に強い正帯電雨滴があらわれ、消滅段階では、正帯電雨滴と正帯電雲粒が雲中で卓越するというライフ・サイクルを見出している。

電界の時間変化については、第9図に見られるように、発達中のエコー II、III については、エコー強度が強い領域の進行方向左側で負の電界は強まり、右側で弱まることがわかる。又、十分に発達して衰弱期に向かってエコー I については、第5図と6図を比較すればわかるように、エコーの左側の負電界域と右側の正電界域は、相対的に反時計様に回転しているように見える。この地表電界域の反時計様回転という事実は、雷雲内で起こっているどのような電荷の運動を捕えているのであろうか。1つとしては、雷雲内の正負電荷域が反時計様に回転しているのを捕えていることが考えられる。ただ地表電界というのは、低層に分布する電荷の影響をより大

きく受けるため、例えば最下層に存在している正、或いは負の電荷が地表へ降下して消失し、雷雲内の電荷の影響が急に現れることがある。地表電界の変化を直接雷雲内の電荷の運動と結びつけるのは問題が残るかもしれないが、十分に発達したエコーについては Browning(1976)による上昇流の低気圧性の流れとフックエコー中の hail 域のエッジ部分に見られる低気圧性回転と同様な現象が起こっている可能性がある。又、Richard Rotunno(1980)の数値実験による雷雲の時間変化に伴う正・負過度の低気圧性回転の存在が示されている。エコー I の前方と後方に新たに形成されている強い正電界の領域については、現在のところよくわからない。

6. おわりに

冬季北陸沿岸における比較的単一な4例のエコーを選んで、エコーの発達・消滅に伴う地表における電界の水平分布と、その時間変化のいくつかの特徴を捕えることができた。その中でも、1) 負電界が、エコーの進行方向に対して、エコー強度の最も強い部分の左前方から左側に分布する。2) この負電界は、発達中のエコーについては左側で強まり、右側で弱まる。又、十分に発達して消滅期にあるエコーでは、左側の負電界域と右側の正電界域は互いに反時計様に回転している。これらの特徴は、エコー下の地表における電界の水平分布を解析することにより、エコーの進行方向のみならず、横方向への広がりも捕えることができた結果である。

本稿関連の資料収集に当たり、小松気象隊、及び電子実験隊における多くの方々に御協力いただいたことを感謝いたします。

文献

- Brook, M., Minoru Nakano, P Krehbel and T. Takeuti, 1982: The electrical structure of the Hokuriku winter thunderstorm, *J.G.R.*, 87, No. C2, 1207-1215.
- Browning, K.A., 1964: Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds, *J. Atmos. Sci.*, 21, 634-639.
- 島山久尚, 川野 實, 1955: 気象電気学, 岩波全書, 96-98.
- Fujita, A. and T. Ogawa, 1976: Charge distribution in the average thunderstorms cloud, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 54, 285-288.
- Kuettner, J., 1950: The electrical and meteorological conditions inside thunderclouds, *J. Meteorol.*, 7, 322-332.
- Nakano, M., 1979: The cloud discharge in winter thunderstorms of the Hokuriku Coast, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 57, 444-451.
- Reynolds, S.E. and M. Brook, 1956: Correlation of the initial electric field and the radar echo in thunderstorms, *J. Meteorol.*, 13, 376-380.
- Rotunno, R., 1980: On the evolution of thunderstorm rotation, *Monthly Weather Review*, 109, 578-586.
- Simpson, G.C. and F.J. Scrase, 1937: The distribution of electricity in thunder clouds, *Proc. R. Soc. London, Ser. A.*, 161, 309-352.
- Smith, L.G., 1957: Intracloud lightning discharges, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 83, 103-111.
- Takahashi, T., 1974: Electric charge life cycle in warm clouds, *J. Atmos. Sci.*, 32: 123-142.
- 竹内利雄・仲野 實, 1983: 北陸における冬の雷の研究, *天気*, 30, No. 1, 13-18.
- 遠峰菊郎, 道本光一郎, 阿部成雄, 1986: レーダーによる小松周辺の冬季雷の研究, *天気*, 33, No. 9, 445-452.

月例会「レーダー気象」の講演募集のお知らせ

標記月例会を下記のとおり開催いたしますので奮ってご応募ください。

記

日時 1987年12月1日(火) 13:30~17:00
場所 気象庁
申込方法 題目、講演者氏名、所属と要旨を横書き 400

字詰原稿用紙1枚にまとめて提出。

申込先 〒305 茨城県筑波郡谷田部町長峰1-1

気象研究所予報研究部 榊原 均

TEL 0298-51-7111 内線 409

講演申込締切日 1987年8月25日