

# 大津における夏の雷雲のレーダー観測結果 (I)

## 不規則な多重セル型雷雲\*

竹内利雄\*\*・仲野 蕒\*\*・河崎善一郎\*\*・長谷正博\*\*  
 中田 滉\*\*・舟木数樹\*\*\*・斎川康二\*\*\*\*・鈴木 誠\*\*\*\*

### 要 旨

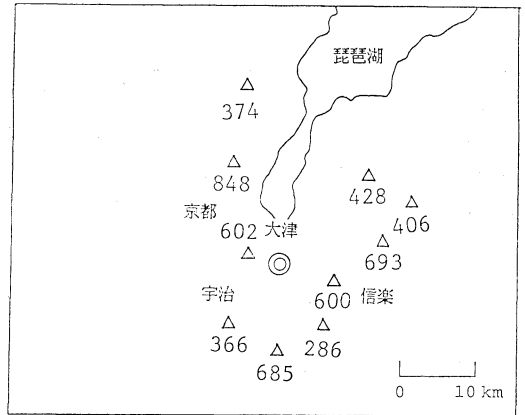
アンテナを上下に駆動しつつ、同時にゆっくりと水平方向にも駆動し、長時間連続的に雷雲の立体観測が可能な、波長 5 cm の移動用レーダーを用いて、大津市郊外で、夏の雷雲観測を行ったが、この論文では、不規則な多重セル型雷雲について、セルのエコー頂高度が 8 km を越している期間について、相続くセルの発生位置、セルの発生間隔、持続時間の測定結果を報告する。セルは上層の風の影響ですぐ前のセルの東または北に現れることが多く、相続くセルの間隔の平均値は 10 km であった。またセルの発生間隔は平均 8 分で、持続時間は 65% が 5 分以内で、他のセルは 5~50 分の間に広く分布していた。

### 1. まえがき

雷雲のレーダー観測結果については、すでに多くの報告があるが、雷雲を立体的に長時間連続観測した例はあまり多くない。われわれのレーダーは、アンテナを上下に駆動しつつ、同時にゆっくりと水平方向にも駆動するので、雷雲を立体的に観測することが可能である。さらに、レーダーエコーはフロッピーディスクに連続記録し、長時間連続して観測が出来るようになっている。このレーダーを使用した、1987年と1988年の夏の雷雲の観測結果のうち、不規則な多重セル型雷雲についての観測結果を報告する。

### 2. 観測地点と観測機器

観測は大津市の中心部から約 5 km 南にある、大津市



第1図 観測地点周辺の地形。◎は観測地点を、△は山頂の位置を表し、数字はmで表した山頂の高度である。

南郷、関西電力京滋グラウンドで行った。ここは第1図に示す様に、北は大津市街から琵琶湖へと開けているが、東、南、西は高さ 500m 前後の山に囲まれている。この雷雲観測に使用したレーダーの諸元を、第1表に示す。アンテナ、アンテナ駆動部、送受信器、指示部等に分解して移動し、観測地点で容易に組立て出来る。アンテナは雷雲を立体的に観測出来るような駆動方式を採用している。1987年の駆動方式を第2図に示す。すなわ

\* Some radar observations of summer thunderclouds at Ohtsu (I), Unorganized multicell type thunderclouds.

\*\* Tosio Takeuti・Minoru Nakano・Zen-Ichiro Kawasaki・Masahiro Nagatani・Hiroshi Nakada, 名古屋大学空電研究所.

\*\*\* Kazuki Funaki, 埼玉大学工学部.

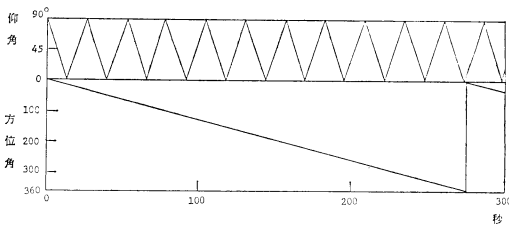
\*\*\*\* Koji Saikawa・Makoto Suzuki, 関西電力株式会社.

—1989年3月20日受領—

—1989年10月20日受理—

第1表 使用したレーダーの諸元

送受信部	
中心送信周波数	5,540 MHz
ピーク送信出力	60 kW
アンテナ	
形状	パラボラアンテナ
直径	2 m
ビーム幅	約2度
偏波面	垂直(この報告の観測) 水平および右旋回に変更可能

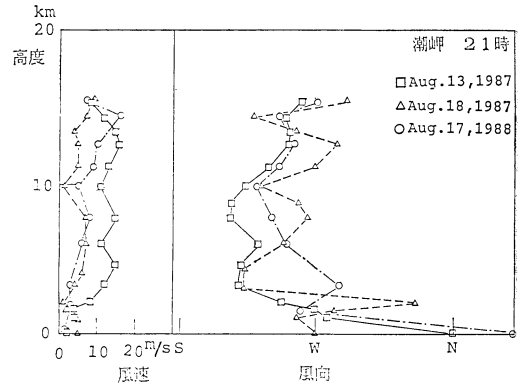


第2図 1987年度のアンテナ駆動方式.

ち、13秒で天頂から水平まで等速度で駆動し、この間に、水平方向にも時計回りに、方位角 $17^\circ$ 等速度で駆動する。つぎに、水平から天頂まで13秒で等速度駆動し、同時に水平方向にも前記の駆動を続ける。この様にして、4.6分で全天を1回掃引する。アンテナを水平から天頂まで駆動する13秒間に、先に天頂から水平までにとったデータを、任意に決めた3段階のエコー強度に色分けして、フロッピー・ディスクに記録する。したがってこの間は欠測となる。1988年にはこの点を改良した。アンテナは片道12秒で天頂水平間を等速で駆動し、その一往復間に、水平方向にも方位角で $30^\circ$ 駆動する。アンテナが上下に3往復して得たデータを、つぎの片道の間フロッピー・ディスクに書き込む。したがって、上下3往復に続く、片道12秒は欠測となる。得られたエコーの処理は前年同様である。この様に、このレーダー観測では、エコー強度が定量的でなく、強度の距離補正もなく、また、観測された雷雲の断面は完全には垂直でないが、対流現象の観測としては、時間分解能と空間分解能は高い。すなわち、

1) 1987年の観測では、4.6分で全空間を21の断面に分割して観測(その半分が欠測)。

2) 1988年の観測では、4.8分で全空間を24の断面に分割して観測(その8分の1が欠測)。



第3図 潮岬で21時に測定した高層の風向と風速.

欠測部分が出る点に関しては、議論が複雑になるのをさけるために考慮しない。

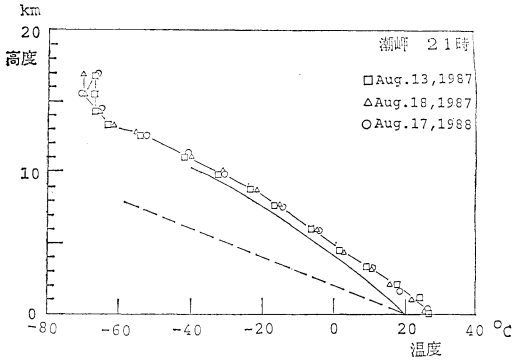
この論文では、雷放電を伴う様な雷雲のみを対象としているが、名古屋地方気象台の観測報告によれば(大塚他, 1967), 夏の雷雲では、エコー頂高度が $7\sim 8$  kmで発雷率33%,  $8\sim 9$  kmで40%,  $9\sim 10$  kmで60%となっている。そこでこの論文では、エコー頂高度が8 kmを越したエコーのみについて検討を行った。

レーダー観測と同時に、雷放電による地上電界変化を、通常 Slow アンテナと呼ばれている電界変化測定器で検出し(例えば、竹内, 1987), その検出出力をペン書きレコーダーに記録し、電放電の発生を確認した。またビデオカメラも電光の撮影に使用した。これらについては第II報で議論する。

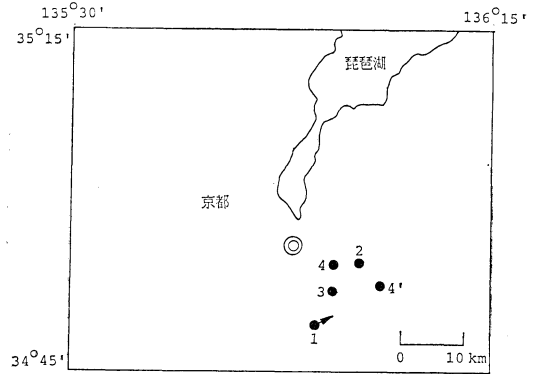
### 3. 観測結果

ここでは、次々とセルのエコー頂高度が8 km以上に成長した、不規則な多重セル型式の雷雲について報告する。この様な性質の雷雲は、1987年8月13日、1987年8月18日と、1988年8月17日の雷活動の前半に観測した。

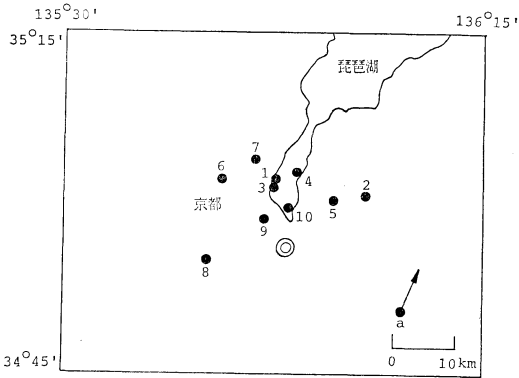
第3図は、1987年8月13日、1987年8月18日と、1988年8月17日に、観測地点から約160 kmの潮岬の21時の風向風速の高度分布を、また第4図は、同じく気温の高度分布を表す。観測地点から約230 km離れた米子と、約290 km離れた輪島の値も、高層天気図で見ると、潮岬の測定値と大差ないと見られるので、ここでは、潮岬のデータのみを示す。風向は地表付近を除けば、西寄りの風で、風速の高度変化もあまり顕著ではない。また気温の高度変化はいずれの日も殆ど同じで、15 km付近に圏界面がある。



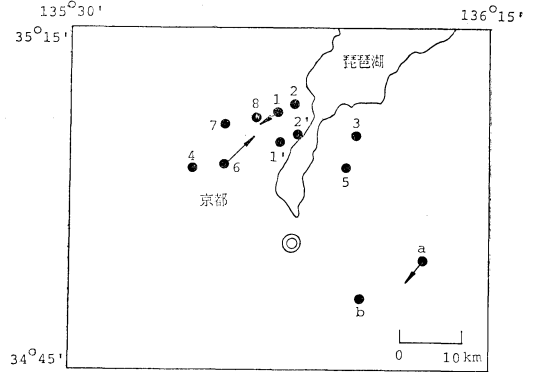
第4図 潮岬で21時に測定した高層の気温。実線は湿潤断熱線、点線は乾燥断熱線。



第6図 1987年8月18日の、16時40分から17時20分まで。セル4と4'はそれぞれのエコー頂高度が同時に8kmを越した。その他は第5図と同じ。



第5図 1987年8月13日の、15時から18時までの、雷雲のエコー頂高度が8kmを越していた間のセルの中心の位置を示す。数字はそれぞれのセルのエコー頂高度が、8kmを越した順序に従ってつけてある。セルaは他のセルとは別の、小さな単一セル型雷雲で、矢印の方向に移動し、矢印の先端でエコー頂高度が8kmより低くなった。◎はレーダーの位置を示す。

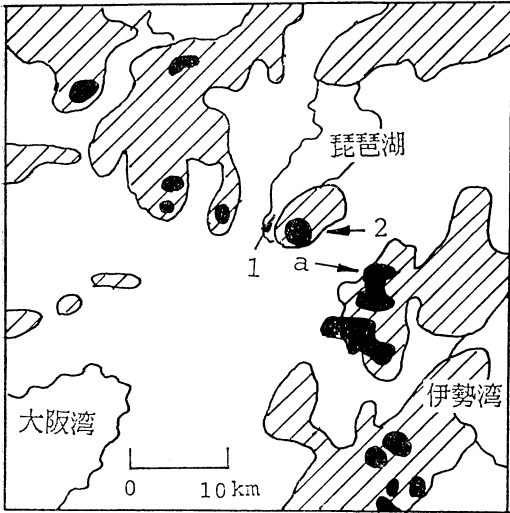


第7図 1988年8月17日の、13時20分から14時10分まで。その他は第5図と同じ。

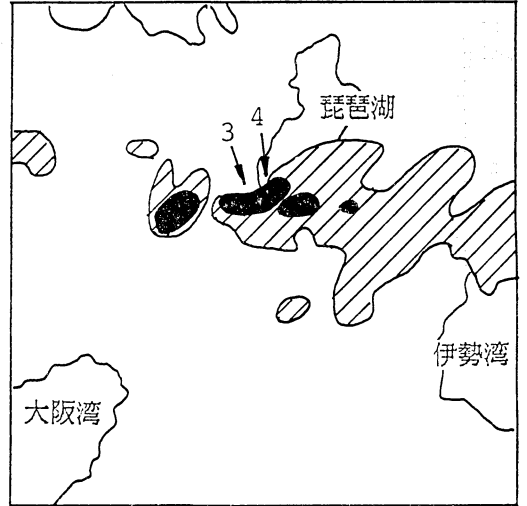
第5図は、1987年8月13日の発雷の全期間、すなわち15時から18時までの、雷雲のセルのエコー頂高度が8kmを越している間の、セルの中心の位置を発生順に示したものである。第6図は1987年8月18日のもので、この日は16時30分頃放電が開始したが、レーダー観測は16時40分から17時20分まで行った。第7図は1988年8月17日。この日は、11時50分頃から放電が活発になり、15時30分頃まで続いた。レーダー観測は、13時20分から開始したが、14時少し過ぎからは、非常に大きな単一の雷雲となったので、この雷雲については、このシリー

ズの別の論文で発表することにし、第7図では13時20分から14時10分までの間を示す。

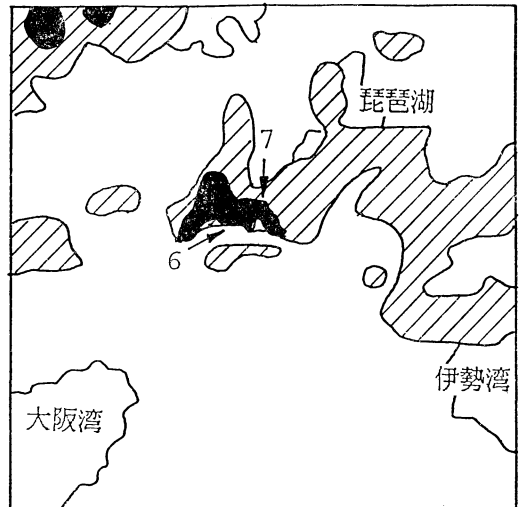
これらの図に示されているエコーの中心の位置と、大阪管区気象台で記録した、PPI表示のレーダーエコーの位置との関係調べて見る。第8図、9図、10図は、それぞれ、1987年8月13日の15時45分、16時30分、17時00分に、大阪管区気象台で記録したPPIレーダーエコーのコピーを、彦根地方気象台の好意により、トレースしたものである。ハッチの領域が弱いエコー域で、黒く塗りつぶした領域は、エコー強度が16mm/hかそれ以上の部分である。第8図の1の矢印を除いて、それぞれの矢印で示された方向の黒い領域内に、第5図で示されたレーダーエコーの中心の位置がある。数字とアルファベットaは、それぞれ第5図のそれに対応する。第8図の



第8図 ハッチ部と黒く塗り潰した部分は、1987年8月13日、15時45分に大阪管区気象台で記録した PPI レーダーエコー。黒い部分は 16 mm/h かそれ以上のエコー強度の領域を表す。1, 2, a はそれぞれ第5図の 1, 2, a の位置に対応する。



第9図 16時30分。その他は第8図と同じ。



第10図 17時00分。その他は第8図と同じ。

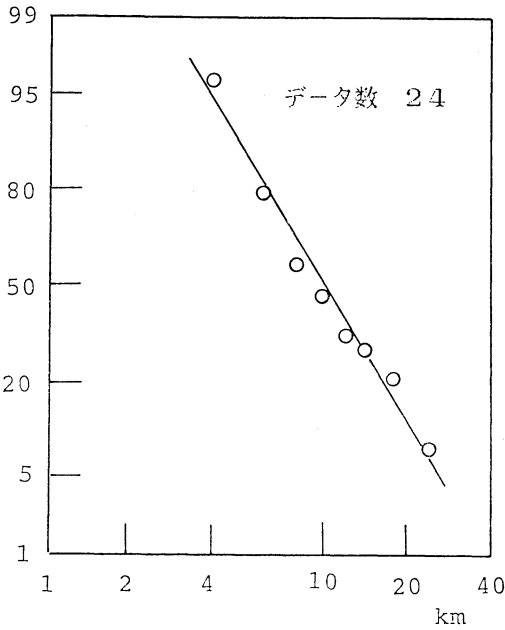
時間に、セル1のエコー頂高度が8 km より低くなり、セル2のエコー頂高度が8 km より高くなるころであった。そしてセル1の中心は矢印の先端付近のエコーの境界領域にあった。1987年8月18日、17時00分についても大阪管区気象台のレーダーエコーと、第6図との関係を調査したが、同様な結果が得られた。以上の結果から、エコー頂高度が8 km を越す、発達したセルは、PPI 表示で 16 mm/h かそれ以上の強度のエコー領域に存在することが分かった。また本報告の事例では、個々のセルは一見不規則に現れ、少なくとも、エコー頂高度が8 km を越している間はあまり移動しない。

第2表は、次に現れたセルの中心が、すぐ前のセルの中心から見て、東側にあるか西側にあるか、また北側にあるか南側にあるかを、第5図、6図、7図から調査した表である。ただし、1988年8月17日の雷では、東でも西でもない中間の位置や、北でも南でもない中間の位置に現れたセルがある。これらは中間位置として表の中に入れてきた。第2表から、前のセルの東側と北側に新しいセルが現れる傾向が認められる。これは第3図に示す様な、上層の南西風が、北ないし東にもたらす、雲の上部からの雲の種まき効果や、また、下降流が北東方向に広がる効果などが考えられるが、それ等の検証までは本

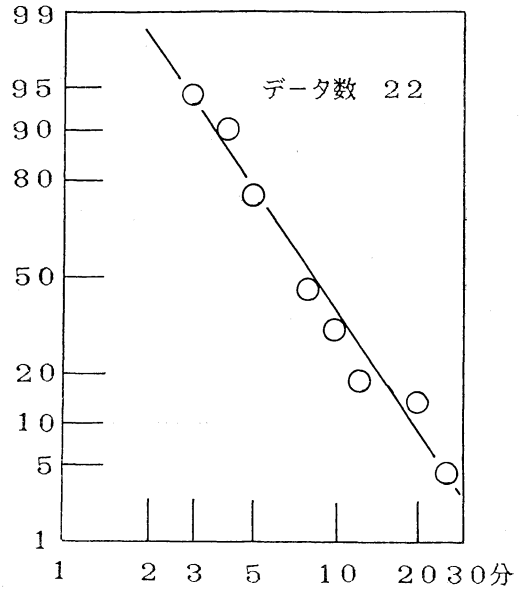
報告では行わない。

第11図は相続くセルの中心の間隔を、第5図、6図、7図の上で測定した結果であるが、エコー頂高度が8 km 以上に発達している期間の、相続くセルの中心間の距離は、対数正規分布で、2 km から 28 km の間にあり、平均値は 10 km であった。

あるセルのエコー頂高度が8 km を越してから、次に現れたセルのエコー頂高度が8 km を越すまでの、時間間隔の分布を調べてみると、第12図の様に対数正規分布になる。すでに述べた様に、このレーダーが全空間を観



第11図 相続いてエコー頂高度が 8 km を越したセルの、相互の中心間の距離間隔の分布。横軸は間隔の対数目盛り、縦軸は頻度の正規分布目盛り。



第12図 相続くセルのエコー頂高度が、8 km を越した時の時間間隔の分布。表示法は第11図に同じ。

第2表 相続き発生したセルの中心の位置 (エコー頂高度が 8 km を越していた期間について)

年月日	次のセルの出現位置	データ数	次のセルの出現位置	データ数
1987.8.13	東	6	北	6
	西	3	南	3
1987.8.18	東	3	北	3
	西	1	南	1
1988.8.17 (東の雷)	東	0	北	0
	西	1	南	1
1988.8.17 (北の雷)	東	5	北	4
	西	3	南	2
	中間位置	1	中間位置	3
合計	東	14	北	13
	西	8	南	7
	中間位置	1	中間位置	3

第3表 個々のセルのエコー頂高度が 8 km を越していた時間

持続時間 (分)	セル数
0~5	17
5~10	1
10~15	3
15~20	1
20~25	2
25~50	1
50以上	0

性もある。これを無視すれば、時間間隔の平均値は約8分で、最大値は約30分となる。

さらに、それぞれのセルのエコー頂高度が 8 km 以上を保っている間の時間を調べた結果を第3表に示す。この表から、エコー頂高度が 8 km を越している時間は、5分以内というセルが最も多いが、広い範囲にわたり分布していることが分かる。

4. まとめ

ここに報告した雷雲は、気団性雷として現れる、不規

測するのに、4.6分ないし4.8分かかる。もちろん、相続いて現れたセルは、一般的に観測地点から見て、おおよそ同じ方向にあるために、観測値に誤差を生ずる可能

則な多重セル型の雷雲である。観測した雷雲では、次々に現れたセルのエコー頂高度が 8 km を越している間の中心は、前のセルの東側、または北側に現れることが多かった。これには上層の西ないし南西の風の影響の可能性が考えられる。相続くセルのエコー頂高度が 8 km を越している期間の、エコーの中心間の距離間隔は対数正規分布で、平均値は 10 km であった。またそれらのセルの発生時間間隔は対数正規分布となり、平均値は 8 分であった。セルのエコー頂高度が 8 km を越していた時間も測定した。5 分以内というセルが 65% で残りのセル

は 5~50 分の間に広く分布した。この観測場所は、関西電力滋賀支店のご好意により使用を許可されたもので、ここに深く感謝いたします。

### 文 献

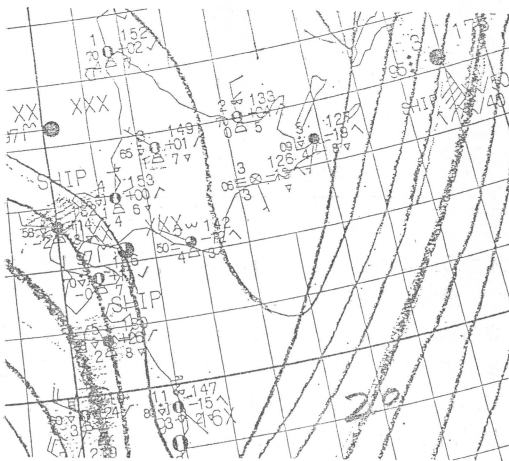
- 大塚省三, 山村勝利, 1967: レーダーからみた東海地方の熱雷に関する二三の統計, 天気, 14, 311-314.  
 竹内利雄, 1987: 雷放電現象, 名古屋大学出版会, 52-54.

## 会員の広場

写真仲間の竹内悟氏から提供された大気中の珍しい雲について述べてみたい。平成元年 3 月 1 日昼の 12 時半ごろ、羽田から釧路行の航空機の窓から撮影したものである。釧路のやや南の海上、高度千米足らずの場所である。12 時の地上天気図を示すと、寒冷前線通過直後である。撮影者の話から、この写真を撮る直前になって雲が

切れ初めたとのこと。また北海道の陸上は雲と霧とで覆われ、釧路着陸不能のため、帯広へ到着したと言う。

本来このような Atmospheric bore は逆転層を境界層内に持つような安定成層中で、内部重力波が伝播しているものと考えられている。このような波列によって作られる雲の生成は北濠州で以前から研究され、Morning Glory と呼ばれている。日本で発見された例を聞いていないが、寒冷前線が海上を通過した直後の安定層であるから、寿命も短かかったであろう。(藤原 滋水)



第 1 図 1989 年 3 月 1 日 12 時 (03Z) の地上天気図。



写真 1