

レーダによる雷雲の研究 (I)*

(栃木県地方における雷雲の動き)

宮崎 忠臣** 滝沢 延行** 国分 里美**

要旨

夏季、局地的に発生する雷雲のレーダ観測を行っているが、一定時間ごとに撮影したエコーの写真进行分析の際には、膨大な資料を視覚的かつ経験的な手法に頼って処理するためいろいろ問題があった。観測資料の分析がなるべく客観的に行えるよう、データ処理の一部を電子計算機によって行わせることを試みた。このため観測写真をもとにエコー・パターンの一種の量子化を行い、観測時刻、エコーの存在位置およびエコー強度等をデータとして計算機に入力し、エコーの発生・移動・消滅・分離・統合の経過をそれぞれ分析目的に応じて作表あるいは作図させた。エコー強度に関するデータはレーダ装置付設の等エコー装置を利用して得、エコーレベル (EL) なる指数を設定して表わした。このような手法を実際の観測例に適用したところ、要点が数値化または端的に図形化されたため雷雲の動向等に関し二、三の特徴が容易に認められたので、若干の検討を加えてみた。

1. はじめに

栃木県は北部から西部にかけて那須岳および前日光連山等の山岳地帯が連なり、東部から南部にかけては平野が開けていて、わが国でも有数の雷多発地として知られている。

当地では古来、雷の発生場所によってそれぞれに名称が付されていて、例えば那須雷、日光雷、足尾雷、筑波雷などと呼ばれているが、これらはいずれも幾筋かの典型的な移動経路をたどることが経験的に知られている。

もちろん、このような昔からの「いい伝え」のみを頼りに雷の通過コースや活動規模を実際に予測するのはむずかしいが、現代の科学的な手法を駆使して一度確認してみる必要もある。

本県中央の平野部にある宇都宮市は雷雲の状態を観測するのにきわめて恵まれた地点に位置しており、本学(宇都宮市東部)に設置されている気象用レーダによれば、雷雲の発生場所、移動状況などについて随時つぶさに観測できる。

われわれは過去3ケ年間、延1,000時間にわたる観測と、その間に得られた8,000枚に及ぶレーダエコーの観

測写真を分析し、別に同時観測を行っている地上電界強度変化あるいは雷放電頻度等の記録と照合し、さらに襲雷地に直接電話で問い合わせた結果などを総合的に判断すると、本県における雷雲の発生、移動、消滅についていくつかの特徴がみとめられることがわかった。

2. 観測方法

観測用レーダは地上約20[m]の本学屋上に設置されていて、パラボラアンテナの直径1.8[m]、回転数12[rpm]、周波数9,375[MHz]、パルス尖頭出力40[kW]、最小距離分解能20[m]、方位分解能2°である。通常の観測では探知距離を半径50[km]としているが、これは栃木県のほぼ全域と茨城県の一部にわたっている。第1図はこのレーダ探知範囲を示す概略図である。

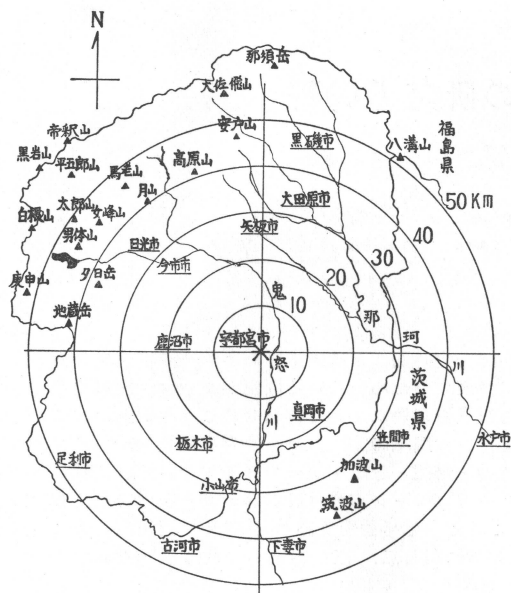
われわれのレーダ装置では、レーダエコーをそのままPPI表示させるNORMAL ECHO表示と、等エコー装置の併用によって得られるISO ECHO表示とがあって、それぞれ簡単な操作によりいずれかの方式に切換えて観測できる。等エコー装置によれば、予め設定したある一定のレベルのエコー強度を示す地域の輪郭のみ、すなわちcontour lineがやはりPPI表示される仕組になっている。したがって受信エコーの強度に関する情報は、NORMAL ECHO表示ではレーダスコープ上の輝度の若干の差異としてみとめられることがあるだけであるが、ISO ECHO表示によれば設定レベルを切換えるこ

* A Study on the Thunderclouds by the Meteorological Radar (Part I)

** T. Miyazaki, N. Takizawa, S. Kokubu

—宇都宮大学工学部—

1972年6月20日受理



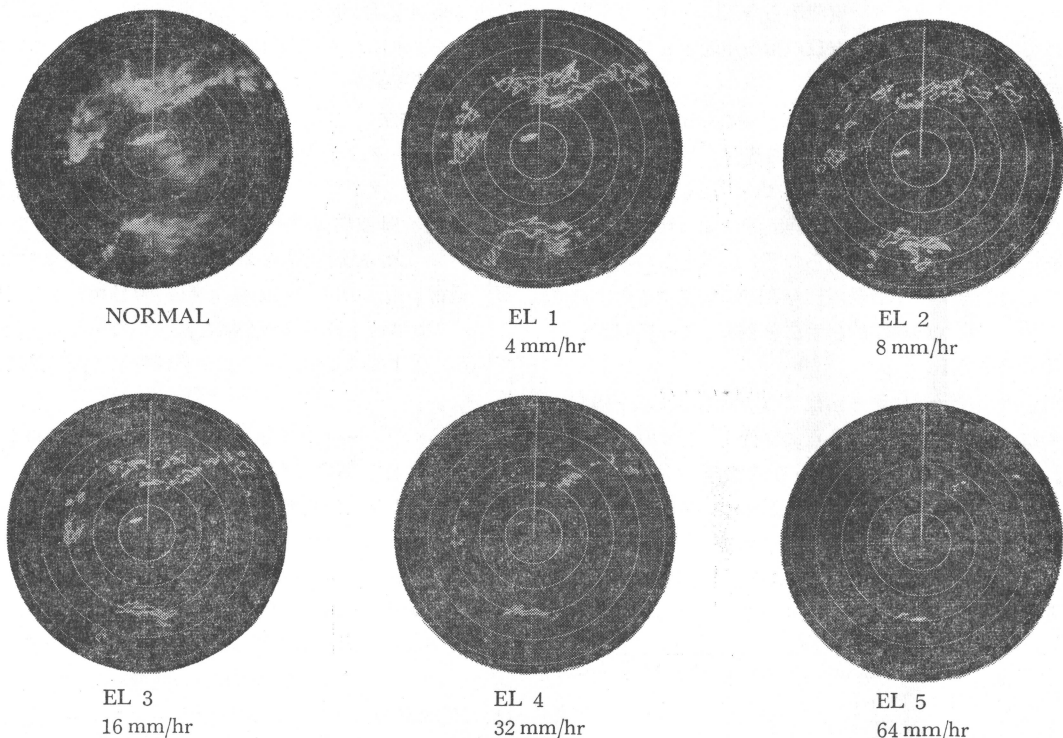
第1図 レーダ観測域概略図

*...レーダ設置点, 同心円は観測点から10km ごとの距離目標

とによってある程度定量的に把握することができる。

このエコー強度の設定値としては、レーダ方程式をもとに理論的に導かれた、降水量 0.5mm/hr, 1mm/hr, 2mm/hr, ……128mm/hr にそれぞれ対応した9段階のレベルが準備されている。このうち「2mm/hr」以下のレベルに設定した場合は一般にノイズの混入にわずらわされやすく、一方「128mm/hr」ほどの強いエコーは減多に出現せず、たまたま現われてもエコー面積は非常に小さいことなどが従来の観測の経験から判っている。そこで、雷を目的としたわれわれの観測では4mm/hr, 8mm/hr, 16mm/hr, 32mm/hr, 64mm/hr の5段階のみに注目することにし、それぞれに対応したエコー強度レベルを EL 1, EL 2, EL 3, EL 4, EL 5 と呼ぶことにした。

雷雲を対象としたレーダ観測では、とくにエコー強度が降水量のみに依存するものではなく、実際には雷雲中の電荷の分布状態その他の物理的諸条件に左右され得ることも十分考慮しなければならない。しかし、これらのことについても未だ実験的な確認がなされているわけではないので、われわれは観測およびその結果の分析にあ



第2図 PPI レーダに写し出された或る雷雲の NORMAL ECHO と5段階の各 ISO ECHO, レンジマーク 10 km ごと, 直線は NORTH MARK.

たつては「降水」という現象とは一応切り離して、EL 値をもって単に受信エコー強度を表わす仮りの尺度であるという立場をとった。エコーの撮影は自動撮影装置付きの 35m/m カメラによって行いが、まず等エコー装置のレベル設定スイッチを EL 1 (4mm/hr) にセットして 1 駒撮影し、以下続いて順次 EL 2……EL 5 に切換えて各 1 駒ずつ、あわせて 5 駒分をフィルムに収める。この一連の撮影操作は 5 分ごとに繰返される。撮影記録の間隔は短いほどきめ細かい情報が得られるが、実際に撮影操作をする上からも十分な時間的余裕があり、しかもエコーの発生・移動・消滅など、パターンの変化の状況が写真上で容易に識別し得ることなどを考え合わせて 5 分間隔が適当と判断した。第 2 図は ISO ECHO の観測写真の例で、EL 1 から EL 5 迄、設定レベルを順次かえて撮影したものである。

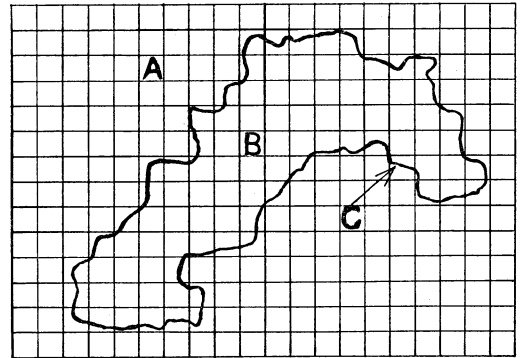
3. エコーパターンの量子化

レーダによる観測結果の処理にも計算機の利用が考えられるが、われわれの利用し得る学内の計算機システムの仕様・性能および利用規則等の制約から、現在のところレーダ装置と計算機を ON-LINE で結び、レーダビデオ信号をそのまま入力としてリアルタイムで処理させるような高度のシステムを構成するまでには至っていない。そこで、2 で述べた方式にしたがって一たん撮影されたエコーの写真をもとにして、エコーのパターンを量子化し、エコーの存在している場所(座標)およびその強度に関する情報をすべて数値化して計算機に入力させることを試みた。

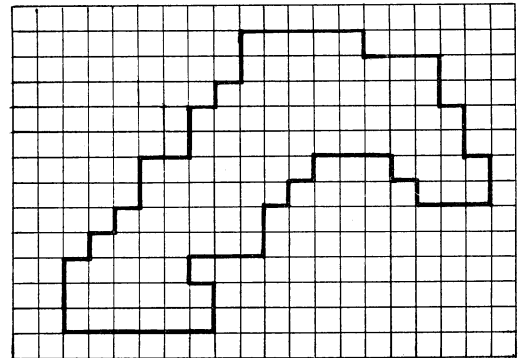
このため、まず写真面を一樣な直交メッシュでおい、それぞれのメッシュ内にエコーが存在しているか否かを直接目で読みとることとした。各メッシュの大きさは 1km 平方に相当するものとしたが、実際には写真引伸機によって 1km がちょうど 1mm になるような倍率でフィルムの映像を方眼紙上に投影して読みとった。

具体的には第 3-1 図のパターンにおいてはメッシュ A の地域内にはエコーはまったく存在せず、メッシュ B の地域はエコーでおおわれ、またメッシュ C の地域はその一部にエコーが存在している。C のようにメッシュの一部にエコーがかかっている場合も、そのメッシュ全域にエコーが拡がっているものとみなすことにすると第 3-1 図のエコーパターンは第 3-2 図のような正方形をいくつか組合せた多角形のパターンで置きかえられる。

このようにしてエコーパターンの一種の量子化が行われるわけである。同時刻に他のレベルで撮影されたパ



3-1



3-2

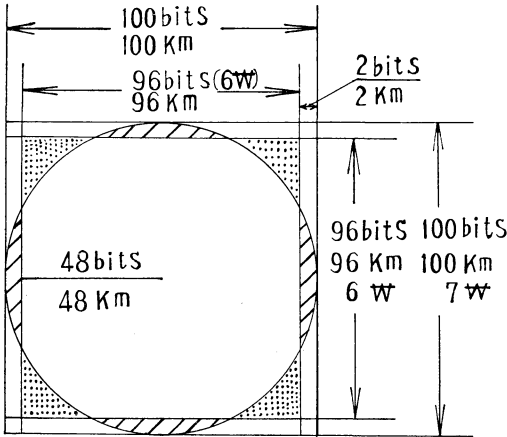
第 3 図 エコーパターンの量子化の過程図
メッシュ間隔 1 km

ーンについても同様な方法で量子化をはかる。

5 分毎の観測で毎回得られるレベルの異った 5 枚の ISO ECHO の写真から 5 枚(高レベルのエコーが観測されない場合は 4 枚以下のこともある)の量子化されたパターンが得られる。それぞれの EL のパターンについてメッシュの位置(座標)とそのメッシュのエコーの有無を読みとり、データとして計算機に入力する。エコーの面積を計算するには第 3-2 図に示される多角形内のメッシュ数を加算すればよいわけであるが、周縁部のメッシュだけは面積を 2 分の 1 (0.5km²) として計算し、量子化誤差の低減をはかっている。

ところで各メッシュは 1km 平方であるから、探知範囲の半径 50km の円に外接する正方形を考えると、この正方形は 100×100 のメッシュに分割されていることになる。

各メッシュについてエコーの有無の情報を計算機の 1 bit に対応させると正方形全体では 100×100bits の記



第4図 実際の観測領域(円内)と量子化領域(内側正方形), 観測領域内のハッチングの部分は除外し, 一方, プログラミングの都合上観測領域外のドットの部分を加えてある。

憶容量が必要となる。

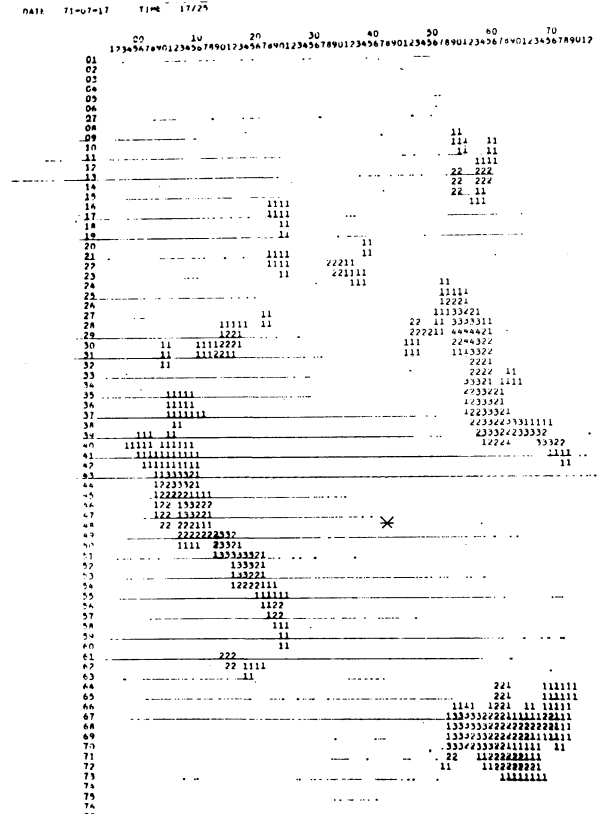
一方われわれの計算機は1語 16bits であるから, 1行に7語用いれば $16 \times 7 = 112$ bits, 6語ならば $16 \times 6 = 96$ bits である。正方形のうちの中央の 96×96 メッシュだけを採り, 周囲を切り捨てることにすれば1行6語ですみ, 一つのレーダエコーパターンを表わすのに $6 \times 96 = 576$ 語で済むことになる。第4図の斜線部分は地域的にみてわれわれの観測にはそれほど重要な部分ではないので, メモリー使用の経済性を考慮して 96×96 メッシュを採用することにした。

4. エコーデータの計算機による処理

レーダエコーの写真をもとにエコーパターンの量子化を行った上, 各観測時刻におけるエコーの位置, 拡がりおよび強度に関する数値をデータとして計算機に入力させるわけであるが, このような雷雲の動向に関するデータの処理を目的として開発したソフトウェアには, 次の2つの機能を持たせている。

(1) 同一時刻におけるレーダエコーは一般に幾つかのエコー群からできているが, これらを個々のエコーに分離し, 各エコーの占める面積, 重心位置を求める。これを各 EL 別に行い, 同一時刻の各 EL のパターンを合成して一つのパターンとして表示する。

(2) エコーの発生・消滅・分離・統合等を時刻・位置とともに表示し, 一方エコーの面積・移動速度等の計算を行う。



第5図 ラインプリンタに打出されたエコーパターン, 文字1個は1km 平方に相当する。

*...レーダ設置点

ソフトウェアの内容に関する詳細な説明は別の機会にゆずるが, 本処理方式によって具体的には次のようなことを行わせた。

(i) ある観測時刻におけるエコーパターンを, 量子化した形でラインプリンタによって作図させる。エコーパターンはメッシュのかわりに1から5までの数字の配列で描き出されるが, この数値はその区域(メッシュ)の EL の最高の値を示しており, 一方エコーの存在しない部分は空白としてある。

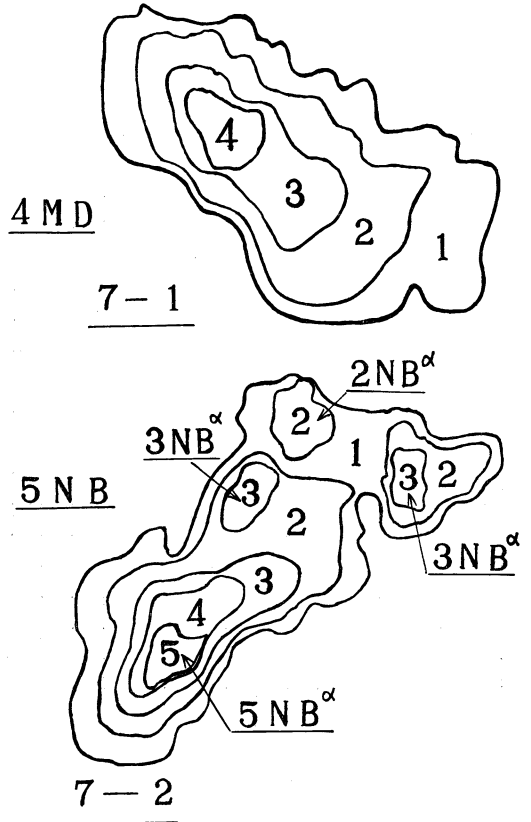
第5図はその一例である。

(ii) 各雷雲エコーがどのようなエコーレベルのものから構成されているかを示すため, 各 EL 別にその重心位置と面積を求め, 一覧表に作表する。第6図はその一例である。

(iii) 個々のエコーについて順に一つずつとりあげて

| TIME | LEVEL | HOR | VER | AREA |
|-------|-------|-----|-----|------|
| 17/25 | 01 | 21 | 61 | 0003 |
| | 01 | 25 | 62 | 0003 |
| | 01 | 58 | 68 | 0110 |
| | 01 | 60 | 10 | 0004 |
| | 01 | 64 | 13 | 0010 |
| | 01 | 59 | 14 | 0003 |
| | 01 | 30 | 17 | 0006 |
| | 01 | 44 | 20 | 0002 |
| | 01 | 30 | 22 | 0005 |
| | 01 | 41 | 23 | 0007 |
| | 01 | 63 | 32 | 0086 |
| | 01 | 27 | 27 | 0002 |
| | 01 | 20 | 30 | 0014 |
| | 01 | 10 | 31 | 0003 |
| | 01 | 15 | 46 | 0116 |
| | 01 | 76 | 41 | 0006 |
| | | | | |
| 02 | 29 | 56 | 56 | 0002 |
| 02 | 21 | 61 | 61 | 0003 |
| 02 | 66 | 69 | 69 | 0044 |
| 02 | 59 | 14 | 14 | 0003 |
| 02 | 64 | 13 | 13 | 0003 |
| 02 | 39 | 22 | 22 | 0003 |
| 02 | 64 | 35 | 35 | 0054 |
| 02 | 53 | 29 | 29 | 0003 |
| 02 | 21 | 30 | 30 | 0004 |
| 02 | 16 | 48 | 48 | 0037 |
| | | | | |
| 03 | 23 | 51 | 51 | 0008 |
| 03 | 61 | 68 | 68 | 0012 |
| 03 | 61 | 29 | 29 | 0009 |
| 03 | 64 | 36 | 36 | 0008 |
| 03 | 71 | 39 | 39 | 0005 |
| 03 | 13 | 43 | 43 | 0004 |
| 03 | 14 | 46 | 46 | 0002 |
| | | | | |
| 04 | 61 | 29 | 29 | 0004 |

第6図 個々のエコーの面積・重心位置及びエコーレベル一覧表（第5図に示したエコーについて）



第7図 雷雲セルの模式図。

注目し、あるエコーの発生した時刻から5分ごとの位置（重心の座標）、面積およびその増減をEL別に算出し作表させる。

エコーが消滅した場合はそのことを表示した上で追跡を中止して別のエコーの追跡に移る。また、分離・統合の場合も発生と同様に扱い、その時点から新たな追跡を始めるものとする。

(iv) EL 1 で観測撮影したエコーの各重心位置を代表点として、その移動径路をXYプロットにより描かせる。

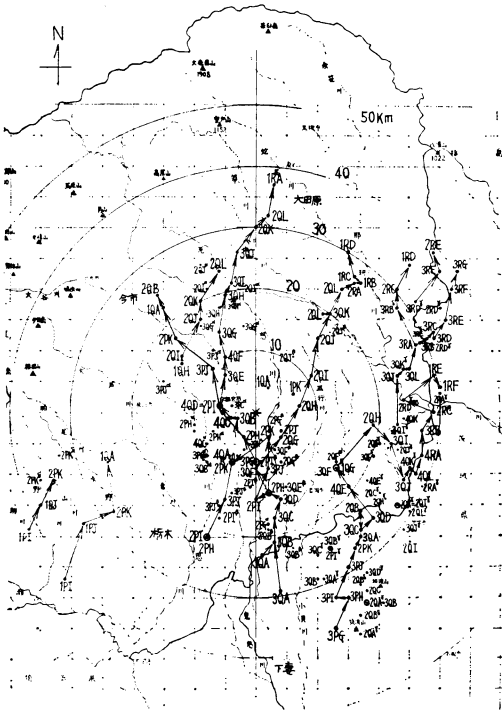
5. 雷雲セルの模式図

前掲の第2図のようにEL別のエコーが観測できたとき、これらのエコーパターンを(i)の方式によって合成すると第5図のようなパターンが得られるが、一方、これらは模式的に第7図のようにも表わすことができる。

このようにEL 1のセル内にEL 2以上の高レベルのエコーが存在する場合それを「核(nucleus)」と呼ぶことにする。核の現われ方には2通りあって、第7-1図のようにセル内に1個のみ存在する場合と第7-2図のように2個以上が分離して存在する場合とがある。以下、雷雲の移動径路の追跡にあたってはこの「核」の動向についても注目していくことにする。

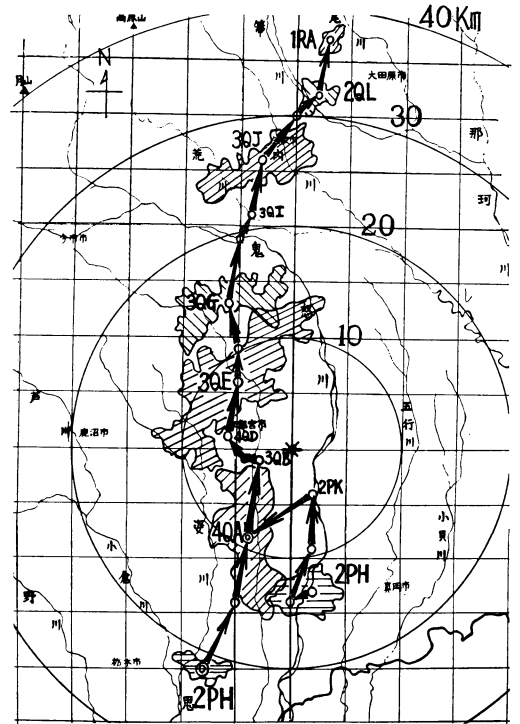
6. 雷雲の移動径路表示

雷雲の移動径路を表わすには、(ii)の結果をもとに栃木県を中心とした白地図上にEL 1の重心位置を代表点とみなしてその位置に個々のエコーの最高レベル数(EL値)と観測時刻を記入する。観測時刻は英文字2個で表わし、最初の文字は「時間」帯を、次の文字は「分」帯を表わすこととした。時間帯は午前0時台をA、以後順にB、Cとすると12時(正午)台は丁度Mとなる。14時台がOとなるが描記上の都合でこれを省き14時台はPとした。以降Q、Rと続き23時台はYとなる。分帯は毎時00分~05分をA、05分~10分をB...とすると55分~



第8図 雷雲移動径路図。

1970年8月21日
14:35—16:30



第8-1図 第8図における南南西22kmと南13kmのエコーの移動径路拡大図。ハッチングの部分はEL1でのエコーの拡がりを表す。以下同様

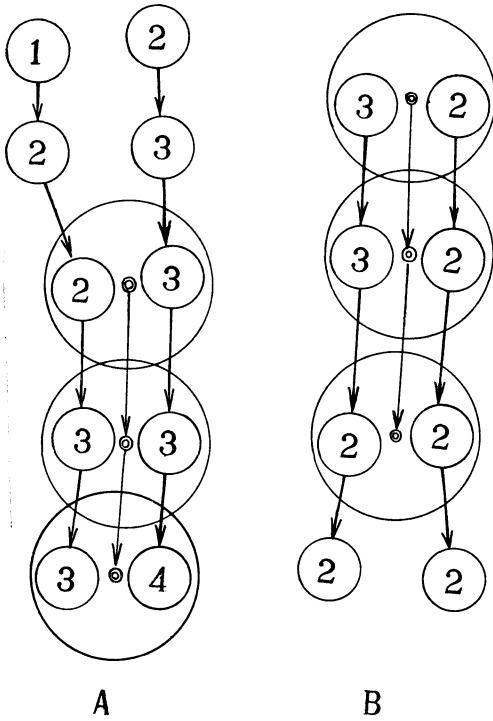
00分はLとなる。したがって、例えば4MDという表記は12:15から12:20の間に観測されたもので、エコーの最高レベルが4であることを表わし、また第7-2図では核が分離して存在しているがこれは各々2NB^α, 3NB^α, 5NB^αとギリシャ文字を符して同一セル内の核であることを表わしている。これらの記号を「移動図記号」と呼ぶこととする。

7. 雷雲移動径路及び雷現象

第8図は1970年8月21日の雷雲移動図である。この日の雷雲移動径路の特徴は発生した雷雲がすべて北上していることであり、これは台風10号の日本海東進により、上層風が南よりの風であつたためと思われる。この日の代表的な3つのエコーについて描いたものが第8-1図、第8-2図、第8-3図である。このように個々のエコーの動きを追う時には、エコーの重心位置は○印で、また、観測開始時及び発生時のエコーの拡がりは横線で、30分ごとのエコーの拡がりハッチングをしてその領域を示した。これらはすべてEL1について描いたものである。さらに図の複雑さをさけるために重心位置のみ

を示し、レベル指数及び時刻の経過を書き込んでないものもある。以下の説明でエコーレベル及び時刻の経過はすべて「移動図記号」で述べて行くことにする。またエコー等の方位及び距離はすべて観測地(宇都宮市東部)よりのものとする。

第8-1図は第8図における南南西22kmと南13kmの2PHのエコーの移動についてのものである。観測開始時でのそれぞれのEL1の面積は9km², 28km²であつた。この2つのエコーは南南西9kmで合流し、4QAとなり、この時の面積は59km²となっている。このエコーが北上し、3QBとエコーレベルが低下した頃、観測地でも弱い雷鳴が聞え出した。このエコーが北西7kmで3QEとなった時の面積は146km²であるが、15:20から15:40。すなわち移動図記号3QEから3QIにかけて雷鳴及び雷雨が連続して観測されている。3QGでは面積が44km²と減少している。その後も減衰しつつ北東進を続け、北北東38km付近で1RAとなり消滅している。このエコーの移動速度は毎時44km程



第 8-4 図 “核” の模式的移動例

◎…EL 1 の重心位置

A はエコー合流時に、B はエコーの分裂時に一般的に現われる。

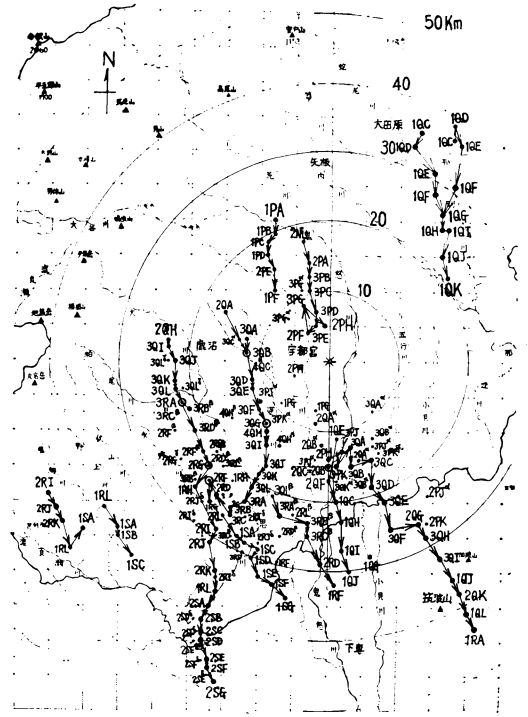
る。この頃すなわち16:30には雷活動も終わっており観測を中止した。3RG のエコー面積は 36km² である。

このエコーの移動速度は毎時 44km 程度である。この日はここに述べた午後 2 時頃からの雷活動よりも、午前10時頃から午後 1 時頃迄の雷活動の方が激しかったようである。

ここに述べた雷雲の移動について月刊誌『気象』の「天気図日記」に「午後、筑波で珍?雷雲の北上を観測」と載っており、このように北上する例は過去 3 年間のおわれわれの観測でも非常に珍らしい。

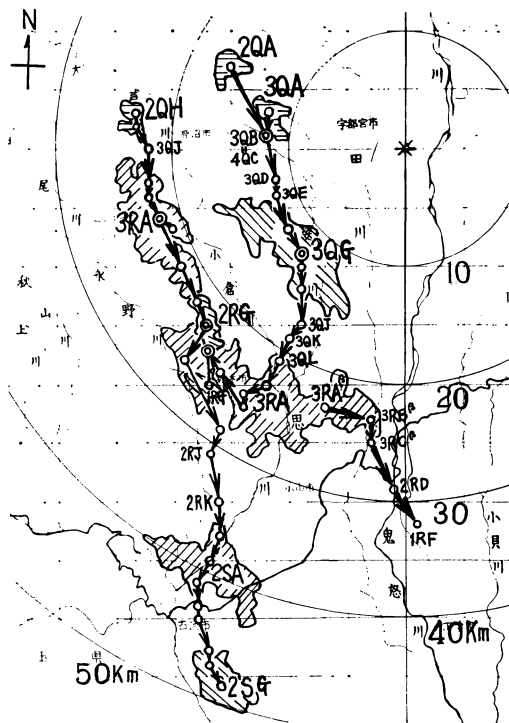
第 9 図は1971年 6 月29日の雷雲移動図である。この日のエコー群はすべて南下しているのが特徴である。北北西 18km で 2NL のエコーは南下して北北西 5km 付近で 3PE, 2PE, 3PG, 2PH とその重心位置はずす状(この例では右旋回)の進行を示し消滅している。この日の代表的な 2 つのエコーについて描いたものが第 9-1 図, 第 9-2 図である。

第 9-1 図は第 9 図における 西北西 16km と 13km の

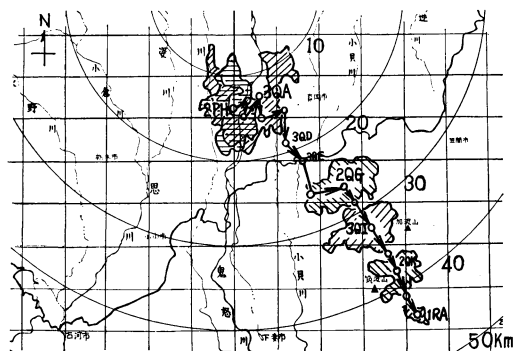


第 9 図 雷雲移動径路図, 1971年 6 月29日
13:55—17:30

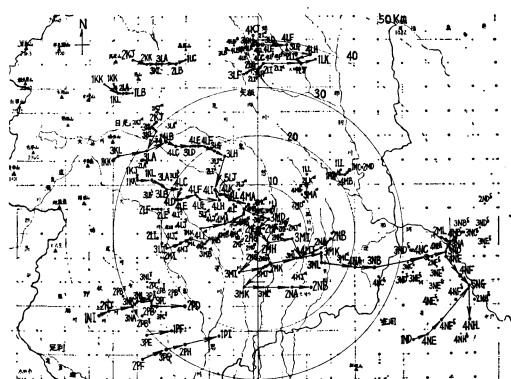
2QA 及び 3QA のエコーについての移動を示したもので、エコー面積は各々 5km², 6km² であり、3QA の雲頂高度は 4,800m 程度であった。5 分後には合流して 3QB となりエコー面積も 17km² と増大している。15:15には 4QC から 3QD とレベルが低下したので西 16km の北犬飼中学校に電話で問い合わせたところ、丁度しゅう雨が降り始めたばかりであるということであった。エコーはさらに南東に下っており 3QG の時の面積は 33km² である。5 分後にこのエコーは EL 4 とレベルが上昇し、雲頂高度も 9,900m 程度と高くなっている。この時新たに西 23km 付近に 2QH のエコーが発生、この面積は 5km² で、このエコーも南東に下る傾向にあった。南南西 23km の 3RA のエコーは面積は 71km² で、西南西 22km の 3RA のエコーは 27km² と増大している。これら 2 つのエコーは 5 分後の 16:05 に合流した。このエコーが到来したと思われた南南西 28km の小山中に 16:15 に電話で照会したところ 16:00 頃よりしゅう雨が降り出し、現在は電光、雷鳴、雷雨が観測されているとの報告を得た。この時にはすでに 2RD とレベルは低下している。



第9-1図 第9図における西北西16kmと13kmの2QA及び3QAのエコーの移動径路拡大図。



第9-2図 第9図における南14kmの2PHのエコーの移動径路拡大図。



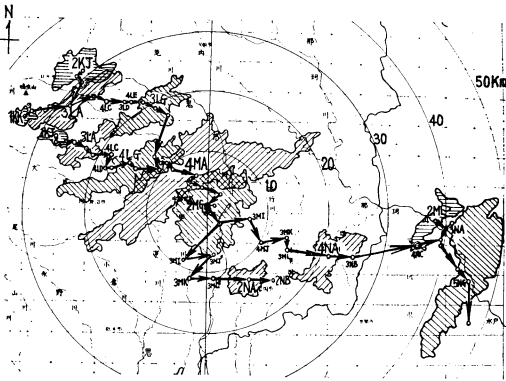
第10図 雷雲移動径路, 1971年7月19日.
10:45—14:15

一方、西南西22kmの地点にある西方中からの電話通報によれば16:05頃よりしゅう雨と同時に電光、雷鳴とも観測されたとの報告を得た。これらの事から、第9-1図のエコーは15:35にレーダスコープ上で最高レベルのEL5が観測されてからはほぼ30分後の16:05頃発雷したことが判明する。雷活動が始まって約30分後の16:30にはエコーも散乱し、1RGと2RGとにレベル、面積共に減少してそれぞれのエコー面積は4km²と13km²となっている。南南西23kmで3RAであったエコーのEL1の重心位置は西に移動しているが、3RA^β、3RB^β、3RC^βと南東に移動し、2RDで分離したエコーは核を基準とした移動を示している事がわかる。2RGのエコーはその後南下を続け、2SAでは南南西39km付近でエコー面積は31km²となって2RGよりエコー面積が増加している。一般的に雷活動が弱まるとこの例のように面積あるいはレベルが一時的に上昇することが観測されている。

雷活動の末期であるということは同時観測している空電信号の出現頻度の減少等からも推測される。17:30に

は南南西50kmとなり観測範囲外に出たのと雷活動が終ったと判断されたため観測を中止した。2SGのエコー面積は19km²であった。

第9-2図は第9図の南14kmにある2PHのエコーについての移動図である。南13kmにある上三川中に電話連絡したところ、14:35現在、激しいしゅう雨であるということであった。この時のエコー面積は21km²であった。15:00すなわち3QAのエコー面積は51km²と増大している。これは第9-1図における2RGから2SAにみられる増加と同様の現象で、この3QAでは激しかったしゅう雨もほぼ終わっているためと考えられる。その後このエコーは南東に下っており、2QGでは28km²と減少している。3QIでは30km²であるが、筑波山と加波山の山合を通過した後は2QKとなりエコー面積も20km²と減少し、10分後には1RAとなって消滅している。この時のエコー面積は3km²であった。本県では雷雲は一般的にこの日のように北西部で発生し南東に下る



第10-1図 第10図における北西32kmの2KJのエコーの移動径路拡大図。

という移動径路を示すものが多く、過去3ヶ年通算で約8割位は観測されている。

第10図は1971年7月19日の雷雲移動図である。北西45kmの1KK及び同じく2KJ等のように山岳部で発生し、平野部に下らずに移動する場合は、あまり発達せずに消滅してしまふ例が多い。また北41kmの4JKのエコーも同様に山岳部の谷間にあって移動速度も遅い。この付近でのエコーはこれと同じような傾向を示す事が多い。ところが北西32kmの2KJと西北西34kmの1KK等のように北西部で発生し、発達しながら南東に下り、活発な雷活動を行いながら本県中央部を通過、さらに南東に移動してやがて消滅するといった径路を示すものがある。これが熱的界雷と思われるものの典型的な移動径路であるといえる。この移動例について描いたものが第10-1図である。

第10-1図において北西32kmの2KJは、10:15には北西38kmでEL3で観測されており雲頂高度は5,400mほどであった。10分後の10:25にはほぼ同じ位置で雲頂高度は6,100mと高くなっているが平野部によって来る迄にレベルが下り、10:45には2KJでエコー面積は24km²である。同時刻に西北西27kmで1KJとエコーが発生しており、この面積は4km²である。5分後には同方面の34kmにエコーが発生し、この1KKの面積も4km²である。

同時刻の10:15に2KJのエコーは3KKとレベルを上昇、レーダスコープ上ではEL5と最高レベルが観測されている。EL5は11:05迄レーダスコープ上では観測されている。11:00には2KJのエコーと1KKのエコーが北西28km付近で合流し3LAとなり面積は25km²である。1KJのエコーは南東に移動し西北西

24km付近で3LAとなっていて面積は13km²である。11:10には北西28kmで3LAであったエコーが南東下し観測地の北西23km付近に迄接近して来ているが、4LCから3LDとレベルが下がっているの北西28kmにある今市中に電話で照会したところたまたま通話中に当日最初の雷鳴、電光を観測、しゅう雨は11:05頃よりかなり強く降り出したという報告を得た。この時雲頂高度は9,100m程である。この雷雲は11:30には北北西19km地点で3LG、一方西北西24kmで3LAであったエコーはさらに観測地に接近しており、西北西15km付近で4LGとなっていて面積は各々38km²と49km²となっている。11:40には二つの雷雲がついに合流し、その重心位置は北西14kmで4LIであり、面積は127km²と増大している。11:45には観測地においても西の方角での落雷及び雷雨が観測され始めた。12:00には4MAと北北西6kmに接近し、面積は147km²となって雷活動はますます活発になっている。12:10には観測地でそれまでの南寄りの風が北寄りの風に変り大粒の雨が降り始め、12:15には北西の吹き出しがますます強く、連続的な落雷及び激しい雷雨が観測されたが、一方エコーは3MDとレベルが低下し、面積も72km²と減少している。

12:25頃、東南東4kmの瑞穂野中から降雷があったという報告を受けた。12:30には2MGで面積は58km²であるが、激しかった雷雨も若干弱まり西の空が明るくなって来た。風も東の風に変っている。12:40には南東7kmと南南西9kmとに分裂した。

この南南西の3MIのエコーはその後東に移動し、南南東14kmに達し2NAでの面積は22km²であるが、5分後には2NAとなり南東16km付近で消滅している。南東7kmの3MIは未だ雷活動を続けており12:55頃東南東17kmにある益子中からの電話通報によれば雷雨並びに雷鳴が観測されているとのことで、この時のエコーは3MLである。このころ観測地では完全に雷雨が止んでいる。13:00には4NAとレベルが上昇し、エコー面積は38km²となり東南東22km付近に遠ざかっていて、このエコーの到来したと思われる同方位の27kmの深沢小に照会したところしゅう雨がただ今降り出したという報告を得た。その後エコーはさらに東に移動を続け、東38kmで12:55に2MLで発生したエコーと合流し4NCとなっている。これはさらに川沿の移動をして、13:30には5NGとなったが、エコーの一部が観測範囲外になっているため中止した。

8. 観測結果及び結論

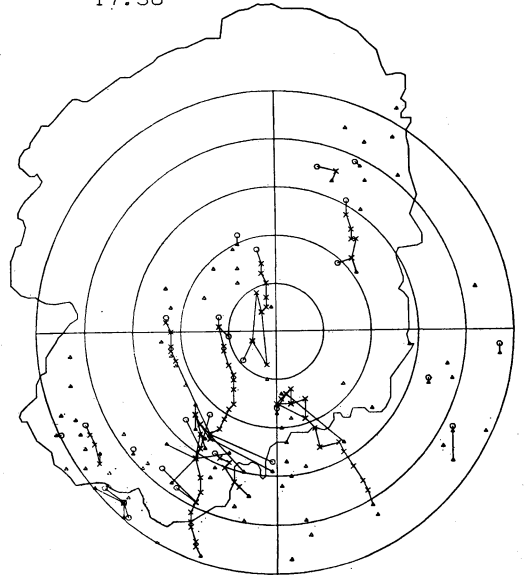
われわれがレーダにより栃木県地方の雷雲を観測できた日は過去3ヶ年間に延40日余りで、ここではこの中のわずか3日の例について述べただけである。

等エコー装置によるエコーレベルを用い、雷雲の勢力状態を量子化し電算機により処理させ数値的に算出できる本処理方式は、従来行われていた PPI 表示のノーマルエコーのみの観測では不十分とされていたいくつかの問題点を明確にできるものと考えられる。

その第1点としてレーダスコープ上に、ある1つのエコーが現われた際、そのエコーが雷雲になり得るか否かの判定にあたってノーマルエコーのみの場合は視覚的であつ経験的なものに頼ることになるが、本処理方式で用いた EL 指数を用いればかなりの程度迄客観的に判定し得ると思われる点である。例えば一般的に雷雲エコーあるいは少なくともしゅう雨性のエコーは EL 3 以上のレベルで観測でき、また発生したエコーが雷雲となる時には最初 EL 1 ないしは EL 2 程度で観測されていたものがやがて EL 3, 4 とレベルが上昇し、エコー面積も増加することなどが数値的に把握できることになる。なおこの現象はあたかも雷活動のためにエネルギーを蓄積しているかのように思われるが、雷雲セルの発達・消滅過程を幼年期・成年期・老年期とする説 (Byers, Braham 1949) の幼年期に相当するものと考えられる。次の成年期に入ると EL 4 及び EL 5 が観測できて、30 分ないし1時間程度後に発雷する例が多い。雷活動が活発に行われている時にはエコーレベルが一時的に低下し、EL 3 あるいは極端な場合最低レベルの EL 1 まで下がることもある。雷活動が一時休止するかあるいは衰えると再びレベルが上昇するが、発雷時のレベル以下か、少なくとも同程度迄しか回復しない。これは同時観測を行っている雷放電頻度の観測あるいはエコーの存在している地域への電話連絡による照会等により確認されている。この時期以降が老年期に相当するものと考えられる。

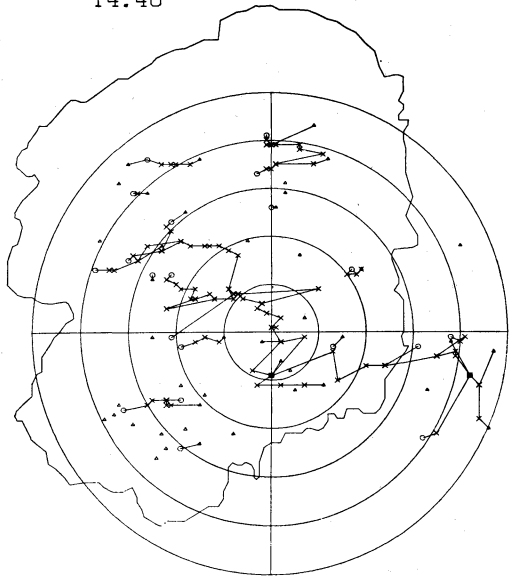
第2点はエコーセル内に「核」という考えを導入しセルの構造についてある程度詳細な分析が行えることである。いわゆる核が同一セル内に複数個出現すると以後エコーの状態が変化しやすいことがこれまでの分析の結果から云える。これは別の見方をすれば核の存在する場合は必ずずと云ってよいほどエコーが複雑なパターンを示すとも云える。またエコーが合流した時なども核が存在しやすく、その後の移動径路はその核を中心としているかのようである。さらに分離してゆく場合もそれぞれに

DATE 71-06-29
JST 13.55
17.30



第11図

DATE 71-07-19
JST 10.45
14.40



第12図

第11, 12 図 XY プロットにより描かせた雷雲移動径路図。レンジマーク 10 km ごと。○印…エコー発生点, ×印…5 分毎の経過点, △印…エコー消滅点。

核が発生し、しばらくは核としての移動径路が描ける。例えば第9-1図の3RA^β, 3RB^β, 3RC^βのように移動しその後分離している例などにみられる。

第3点は電算機処理したエコーの面積を一つの目安として移動中の雷雲勢力状態を表示することが容易になった事である。例えば雷雲セルの発達時及び合流時にはしばしば面積の増大が算出されている。具体例は第10-1図の2KJ-3LA-3LG-4MAなどに示されている。またエコーが出岳部を移動している間は面積の増加はほとんど見られないし、さらに山越をした場合にはエコーの面積の急激な減少が観測できる。

第4の点は、エコーの移動径路をプロットする時にEL1での重心位置をエコーの代表点としたが、これによれば例えばエコーが川沿に移動しやすいという傾向が容易に見出せる。第8-2図及び第9-1図の移動径路がこれに相当すると思われる。また山地に向かって進む時はできるだけこれを避けて進むか、止むを得ずこれを越す時などは雷はいちじるしく弱くなるか、或は消滅してしまうという説(北岡, 1950)がある。この説を裏付ける具体例として第8-3図がある。このように卓越した南寄りの風により雷雲が北上する例は、本県における今までの観測でも珍らしく、この場合もやはり3PG-3QA-3QFのように丘陵に沿って移動し、3RBの如く分裂した後、山の西側に沿って移動したものは間もなく消滅している。さらに第9-2図での3QI-2QK-1RAの移動のように筑波山と加波山の山間を進行した後消滅しているものもある。これらの例からも雷雲移動におよぼす地形の影響等について検討する際、各エコーの図形としての重心位置に注目することはある意味で移動径路が端的に表示し得ているものといえる。

第5の点としては、ノーマルエコーのみの観測を行っていた時には十分に検出できなかったが、第9-1図における3PE-2PF-3PG-2PHのように重心位置が旋回運動を見せているものが数例観測できたこともあげられる。第6の点としては、第11図、第12図のように雷雲移動径路を電算機出力にXYプロッタを接続して描かせることができる。今後データの蓄積を行い、適当な仮定や条件を付加することにより、移動径路や活動の規模を予測するためのいろいろなシミュレーションも可能になるものと考えられる。

むすび

エコーレベル別に撮影した写真から雷雲の勢力状態に関する情報の量子化をはかり、電子計算機により数値的

に処理することによって、各パターンの面積・重心位置等を算出した。本処理方式で表示した雷雲の移動径路図は、古来から言い伝えられている本県における発雷地および移動径路とほぼ一致するものである。今後さらにデータを蓄積するとともに、同時観測を行っている雲頂高度あるいは空電に関する諸現象等との関連性について検討を重ねることにより、雷雲の勢力状態に関する表示のいっそうの定量化ははかられ、さらに詳細な客観的分析が行えることになり、将来雷活動あるいは雷雲移動径路等の予測も可能になるのではないかと期待される。

最後に、日頃、気象観測資料の提供並びにご助言、ご指導をいただいている宇都宮地方気象台関係者各位、また気象現況の電話照会に関していろいろご協力をいただいた栃木県教育委員会、関係各市町村教育委員会、県下各小学校、中学校、高等学校の関係者各位に深く感謝の意を表したい。

追記

レフェリーから本文中の「セル」と称しているものの大部分が群(クラスタ)に相当し、「核」がセルに相当するのではないかとという趣旨のコメントをいただいた。

実際の観測やデータの整理をしていく上で諸文献にいう「セル」よりも、もう一段細かい構造に注目した方が都合がよいように思えたので、われわれは「核」という用語を導入してみたが、今後とも検討してみたい。

慣用語句との混同・混用で、読者諸兄にご迷惑をお掛けすることがあれば、これはまったく著者等の責任であり、おわびしたい。

文 献

- 1) 北岡龍海 1950: 雷の研究, 電気書院 16~30
- 2) 北川信一郎 1968: 雷雲と電光放電, 科学 Vol. 38, No. 11, 601~604.
- 3) 国分里美(他) 1971: レーダ観測による雷雲の規模と空電信号レベルの関係について, 1971年電気学会全国大学講演論文集 14, 1203~1204.
- 4) 国分里美(他) 1972: 雷雨域のパノラマ観測とレーダ観測結果との対比, 1972年電気学会全国大会講演論文集 13, 942~943.
- 5) 菅原正己 1969: 気象レーダエコーのデジタル処理, 計測と制御 937~943.
- 6) 杉山一之 1934: 風神雷神, 宇都宮 測候所編 160~162.
- 7) 滝沢延行(他) 1971: 雷雲レーダエコーの電子計算機によるパターン処理の一方法, 1971年電気学会全国大会講演論文集 14, 1199~1200.
- 8) 滝沢延行(他) 1972: 雷雲移動径路の電子計算機に

- よる処理, 1972年電気学会全国大会講演論文集 13, 940~941.
- 9) 竹内利雄 (他) 1967: 雷活動の予測について, 天気 14, 22~24.
- 10) 中谷字吉郎 1939: 雷, 岩波新書 159~195.
- 11) 中島暢太郎 1963: 気象レーダの雷雨予報への適用, 電気雑誌 OHM 9, 48~49.
- 12) 畠山久尚 1970: 雷の科学, 河出書房新社
- 13) 藤高周平 (他) 1969: 雷撃電流と雷しやへの基本問題, 電気学会雑誌 Vol. 89-11, No. 974, 2019~2028.
- 14) 孫野長治 1969: 雲と雷の科学, 日本放送出版協会.
- 15) 正野重方 1969: 気象学総論, 地人書館 269~279.
- 16) 宮崎忠臣 1969: レーダによる雷雲の発生・移動・消滅について, 1969年電気学会東海支部連合大会講演論文集 3p-C-2, 54.
- 17) 宮崎忠臣 (他) 1970: 等雨量線装置による雷雲の発生・移動・消滅について, 1970年電気4学会東海支部連合大会講演論文集 19p~B-1, 43.
- 18) 宮崎忠臣 (他) 1971: 栃木県地方における雷雲の移動径路と地形との関連性, 1971年電気4学会東海支部連合大会講演論文集 14P-E-1, 86.
- 19) 宮崎忠臣 (他) 1971: 空電信号頻度とレーダエコーレベルとの関係について, 同上 14P-E-2, 87.
- 20) 宮崎忠臣 (他) 1972: レーダによる雷雲雲頂の観測, 1972年電気学会全国大会講演論文集 13, 944~945.
- 21) 宮崎忠臣 (他) 1972: 襲雷地付近の気象状況とレーダエコーの同時照合, 同上 13, 946~947.
- 22) 宮崎忠臣 (他) 1972: レーダによる栃木県地方の雷雲観測とその電算機処理, 日本気象学会1972年度春季大会講演予稿集 21, 331.

第16期・第17期 新旧理事監事合同会議議事録

日時 昭和47年7月24日(月) 15.00~17.00

場所 気象庁観測部会議室

出席者 伊藤, 磯野, 大井, *大田, 神山, 川村, °河村, 岸保, 北川, *木村, °窪田, 小平, °小林, 駒林, °佐々木, *関口, *関原, *須田, *高橋, °二宮, 孫野, °丸山, 山本, 各理事
木村, 藤田, 各新監事
*印は第16期限り退任理事, °印は新任理事, その他は, 重任理事.

列席者 中村庶務委員

報告

[庶務]

- 6月28日, (財)山路ふみ子自然科学振興財団から昭和47年度研究助成金と奨学賞の候補者募集.
- 7月6日, 自然災害特別研究「自然災害科学の総合的研究」代表者矢野勝正氏から第9回自然災害科学総合シンポジウム開催についての後援依頼.
- 7月13日, 文部大臣からさきに申請した定款の一部変更認可書がきた.
- 7月13日, (社)日本アイソトープ協会会長から第10回理工学における同位元素研究発表会の共同主催者として参加の依頼.
- 7月20日, 沖縄気象台長から沖縄支部規約承認申請.
- 6月22日, 本年度学会奨励金受領者選考委員の書面審査を依頼. その結果全員可.
- 6月22日, 松永賞倒補者として京都大学防災研究

1972年9月

所, 光田寧会員(研究題目, 超音波風速温度計の開発とそれによる大気乱流の研究)を推薦.

8. 6月23日, 当学会が幹事学会として開催する「第19回風に関するシンポジウム」の共催と運営委員推薦を日本建築学会ほか7学会に依頼. いづれも承諾があり, 11月22日気象庁講堂で開催することになった.

[講演企画]

7月24日~29日夏期大学受講者は57名.

[学術会議]

6月27日, 地球物理研究連絡委員会が発足. GARP小委員会は, 特別委員会のGARP部会として発足. 7月20日~21日に広島大学で日本学術会議第4部会が開かれ混層流(多層流, 不等質流, 多成分の流れの総称)研究所の設立について討議が行なわれた.

国家公務員採用試験上級(甲種)試験区分「物理」の中に「地球物理」コースを設定するよう学術会議が人事院に働きかけることを決めた.

議題

- 旧理事会よりの引継事項(第16期第20回常任理事会議事録参照)
本件は新理事会で処理する.
- 1972年大気放射国際会議について
会議の状況報告と収支報告書が提出され承認された.

(収支各 6,066,510 円)
(うち寄付金 4,805,800 円)