

# レーダーエコーの立体的な時間変化と LLP で測定した落雷頻度の関係\*

見 立 陽 一\*\*

## 1. はじめに

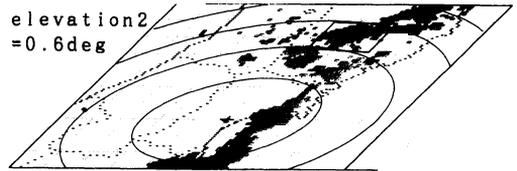
落雷位置標定システム, LLP (Lightning Location and Protection System) の実用化により, 落雷位置とタイミングが高精度で得られるようになった。一方, 雷雲の活動は現業用レーダーの7.5分間隔の5仰角データとしてえられる。そこで, 特定の雷雲の部分のエコーセルの3次元構造と落雷頻度を対比して, 落雷の短時間予報の手法の可能性を探った。

その結果, エコーセルに含まれる最も強いエコーの強度の高度範囲(温度スケールで示した)に着目することにより, 落雷発現のタイミングの推定が可能なが示唆された。

## 2. 調査方法

本調査で使用した仙台レーダーはアンテナを5段階の仰角にステップさせて観測を行っている(迫田, 1990)。オリジナルのレーダーエコーでは第1図のイメージが7.5分毎に, 2.8度, 1.8度, 1.1度, 0.6度, 0.1度の仰角別に5枚得られる。上記のイメージは2.5 km四方のメッシュのデータである。

次に, エコーセルの立体的な構造のおおよそを知るために特定の領域(ほぼ20 km四方)を切り出し, 各仰角ごとに観測された画素から, 高度と強度毎にヒストグラムを作った。この領域は, 対象とする孤立エコーの移動と伴に移動させた。この場合, レーダー5仰角の観測からおおよそ10 kmまでの高度分布を得るためには, レーダーサイトからの距離や方角が制限される。第1図の矩形で囲まれた部分をサンプル領域として切



第1図 1992年5月22日13時30分における仙台レーダーの仰角0.6度のエコーパターン。図中の楕円は内側から順に1 km 毎の等高度線を示す。なお, 実際の観測では, さらに仰角0.1度, 1.1度, 1.8度, 2.8度で, 円錐状にエコー分布が得られる。

り出し, 強度毎のエコーを高度別に分類したのが第2図aである。

また, 第2図bは仙台レーダーサイトの処理範囲(サイトを中心とした東西南北に250 kmの領域)上に表示した, 毎正時から7.5分間毎の落雷位置及びその頻度であり, 短い棒1本が1回の落雷を示す。前述のサンプル領域に対応する落雷は, 同図中の矩形内に示される。

LLPの測定原理は, 複数の落雷方位測定装置で捕捉した放電による電磁波の到来方位から, 対地放電または雲間放電の位置を求め, さらにこれらを基準波形と照合することにより対地放電(落雷)のみを抽出するものである。なお, LLPの標定誤差は2 kmと言われており(本間ほか, 1991), この様な表示法で良いであろう。

調査は1992年の6例について実施した。第3図~第5図にケース1(以下C1と略す。以下同じ), C6, C9(いずれも岩手県中南部)の3例について, 強度別にエコーの存在する高度範囲の時系列を選び示す。また, 図中には朝9時の秋田のエマグラムより推定した各0°C, -10°C, -20°C, -40°Cのそれぞれの高度を矢印で示した。

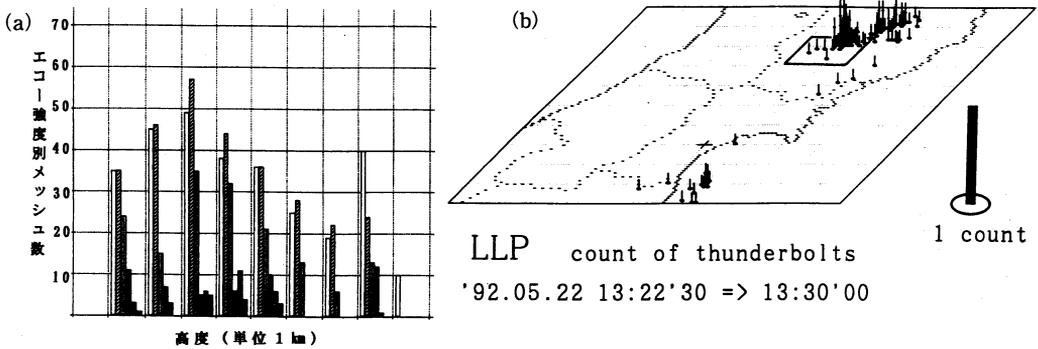
レーダーエコーの鉛直構造の特徴を示す簡単な指標

\* Lightning activities by LLP and corresponding vertical changes of radar echoes in summer.

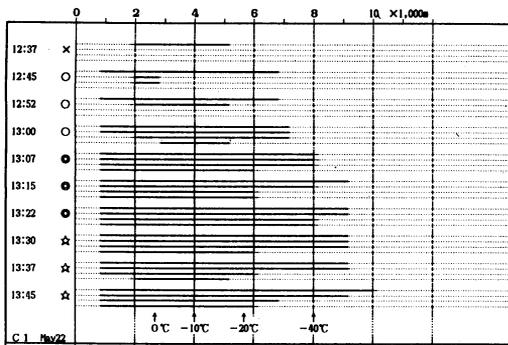
\*\* Youichi Mitate, 仙台管区気象台予報課。

—1994年3月31日受領—

—1995年11月2日受理—



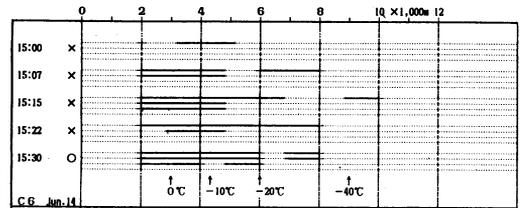
第2図 (a); 第1図矩形で囲んだ領域の高度1 km 毎の範囲に含まれる画素数の強度別のヒストグラム (6本の棒グラフは左から順に、1~2 km, 2~3 km 等の高度範囲に含まれるそれぞれ L1 から L6 までのエコーの画素数, 縦軸1目盛10画素). なお, Rは降水強度 (mm/h) で, L1 (R<1), L2 (1≤R<4), L3 (4≤R<16), L4 (16≤R<32), L5 (32≤R<64), L6 (R≥64) を示す. (b); 落雷位置と頻度 (矩形内は上記領域に対応する7.5分間の落雷数).



第3図 ケース1のエコーの存在する高度範囲を km で表した時系列で、太線は上から順に、L3, L4, L5, L6 の当該時刻における高度範囲. 図のシンボルは観測時刻前7.5分間の落雷数を次の定義により示したもので、×; 落雷なし, ○; 弱い落雷 (10回以下), ◎; 強い落雷 (11回以上, 30回未満), ☆; 激しい落雷 (30回以上) また、左欄の数字は時刻.

として、当該時刻で最も強いエコー (卓越エコー; Supreme Echoes, 以下 SE と略記) に着目し、その存在する位置と厚さを調べ、落雷数との関係を調べた. ただし、調査に際しては以下のことを仮定した.

- ①エコーの変化が落雷現象に先行し、タイミングによっては7.5分前のエコーと対応する場合もあろう.
- ②大気の状態曲線が朝9時と発雷時とで大きく変わらない.



第4図 第3図と同じ、ただし、ケース6について.

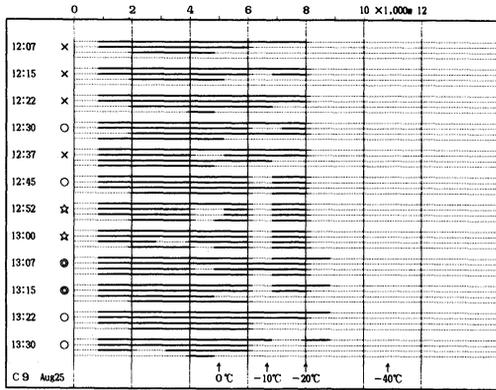
### 3. エコーの高度範囲と7.5分間の落雷数の時間変化

3例について、鉛直構造の時間経過と落雷数を次に説明する.

#### 3.1 C1 の場合 (第3図)

はじめに、エコーの鉛直構造の時間変化を調べてみよう. 12時37分には SE は高度 2~5 km にレベル3の強度 (以下 L3 と略記) があるだけである. この後エコーは急速に発達し、L3が厚くなるとともに、12時45分には、L5のエコーが、13時以降には、L6のエコーも出現する. 特に13時22分には SE (L6) が高度 8 km まで達する.

7.5分毎の落雷数は、SE (L3) しか観測されなかった12時37分までは0回、L4以上が出現した13時までは10回以下であったが、SE (L6) が厚くなり、その上端が-15°C 層付近に達した13時7分以降は、25~30回と急増し、SE (L6) が高度 8 km までに達した直後 (13時30分) には46回と約1.6倍に増えている.



第5図 第3図と同じ。ただし、ケース9について。

### 3.2 C6 の場合 (第4図)

この事例では、15時00分に高度3~5 km (0~-15°C層) に SE (L3) が観測された。エコーは発達し、15時7分には新たに SE (L4) が2~5 km に出現し、15時15分には SE (L5) が2~5 km に達し、しかも SE (L3) は、高度10 km (-40°C層) を超えたが、落雷は発生しなかった。エコーは15時22分にはやや弱まるが、15時30分に再び発達し、SE (L5) が高度6 km の-15°C層を超えて初めて落雷が発生している。

すなわち、この事例では SE (L5) が-15°C層を超えるかどうかで、落雷の有無が分かれたと考えられる。

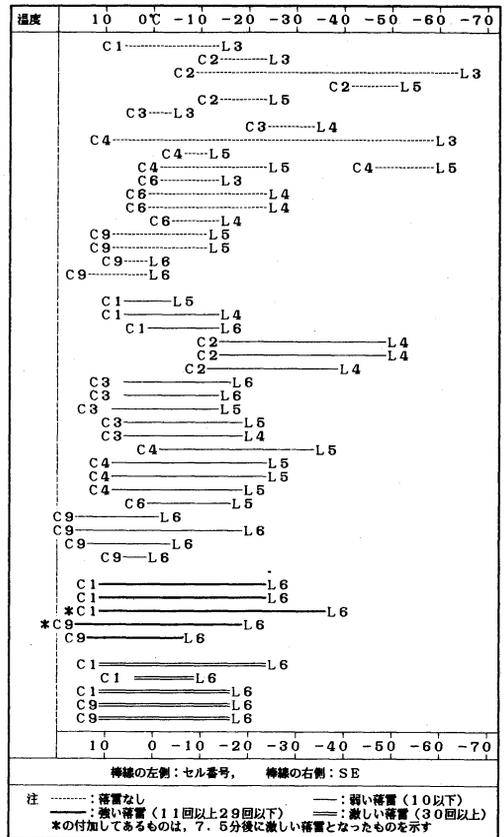
### 3.3 C9 の場合 (第5図)

この事例では、全観測期間で L3 のエコーが高度8 km 以下で観測された。エコーは12時15分以降やや発達し、12時22分には L6 のエコーが高度4~5 km に観測された。12時45分から13時7分までは、SE (L6) が高度8 km にまで達しており、この事はこの期間がこのセルの最盛期であることを示唆する。

上記のエコーの変化と落雷数の対応を調べると、SE (L5) である12時15分までは落雷がない。また、SE (L6) が4~5 km に初めて現れたときにもまだ落雷は観測されなかった。それが、SE (L6) が高度8 km (-20°Cの高度) に達した以後落雷数が増加し、12時52分、30回、13時00分、32回、13時07分、28回観測されている。SE (L6) が6 km まで低下すると落雷数は減少し、13時15分、11回、13時22分、5回、13時30分、1回となっている。

## 4. 落雷とエコーの鉛直構造との関係

分かり易くするため、SE の高度範囲を温度スケ-

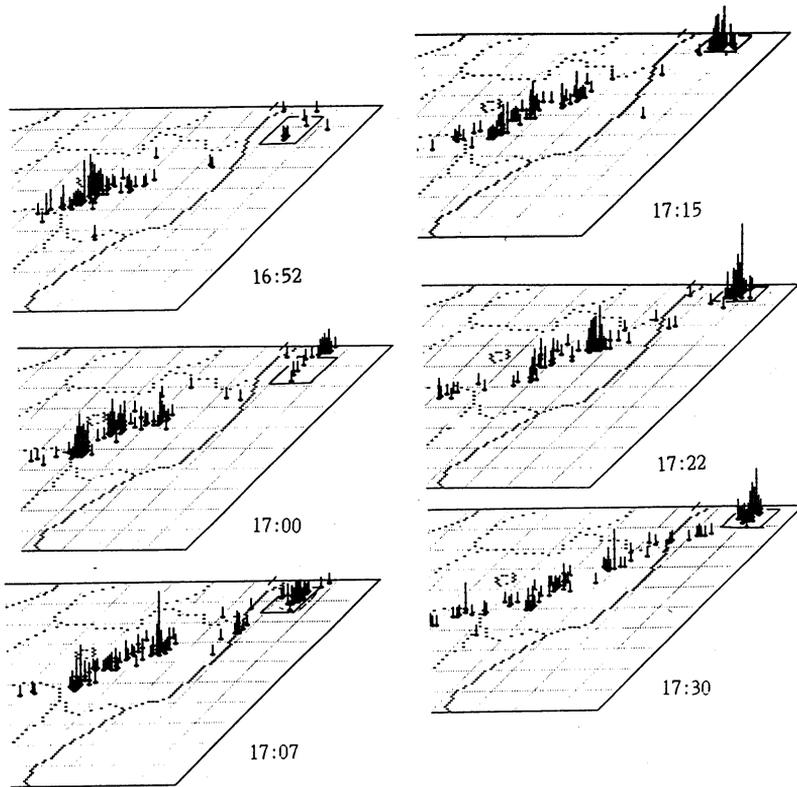


第6図 温度スケールで示した卓越エコーの厚さと7.5分の落雷数との関係。ただし、本図では右側ほど高度が高いことを示す。

ルに変換し、6つのケース全てについて (C2, C4 は茨城県北部を東進したもので、高度から温度への変換は館野の9時の状態曲線から求めた)、7.5分間の落雷数により弁別し、さらにケース番号の昇順に、同一ケースの場合は時刻順に並べたのが第6図である。

この図から卓越エコーと落雷との関係について次のことが分かる。

- ① SE が L3 の場合には、その位置、高度範囲のいかにかわらず落雷がなかった。
- ② SE の L6 がであると90% (19例中17例) 落雷があった。
- ③ 7.5分後に激しい落雷に移行した例も含めると、30回以上の落雷があったのは、SE の L6 が-15°C層以下の全層に拡大しているケースの67% (9例中6例) に見られた。
- ④ SE の L5 が-15°Cを挟んで、上方か下方もしくは両方に厚くなると86% (7例中6例)、10回以下



第7図 1992年5月24日における落雷位置の7.5分毎の時間変化.

の落雷があった.

- ⑤SE の L4 の上端が $-15^{\circ}\text{C}$ 層を超えると57% (7例中4例) で落雷があった.

また、エコーおよび落雷数の時間的变化には次の特徴があった.

- ①落雷が観測されるときは、エコー強度と厚さの時間変動が大きい。エコーが発達して L4 のエコーが出現すると落雷が発生し始め、L6 のエコーの層が厚くなると落雷数が多くなった.
- ②エコーが発達するときの鉛直構造の変化特徴としては、ある強度のエコーが一定の厚さ(概ね2~8 km の高度範囲)に達すると、その上のレベルのエコーが発生することが多かった.
- ③第7図は、落雷数が時間とともに急激に増加したときの観測結果である。矩形内に注目して、落雷の時間変化を調べると、落雷の発生がまず面的に広がり、次に同一メッシュでの落雷数が増加するという特徴があることが分かる。同様な特徴は今回調べた6例中2例の落雷数が急激に増加した例について見られた.

以上の観測結果から、以下のことが考えられる.

- ①L4 (降水強度 16~32 mm/h) 以上のエコーがないと落雷が発生しない。この条件に加えて、L4 のエコーが $-15^{\circ}\text{C}$ 層を超えると落雷が発生し始め、L6 のエコーが $-20^{\circ}\text{C}$ 層に達すると落雷の頻度が増加することから、L4 以上の強いエコーが存在する層の温度の鉛直分布を考慮することにより、落雷の発現を推定できる可能性があると考えられる.
- ②あるレベルのエコーが、概ね2~8 km の高度範囲を超え厚くなると、その上のレベルのエコーが発生するという、エコーの鉛直変化の特徴がある。従って、エコーの鉛直構造の時間変化に着目すると、強エコー出現が予測でき、ほんの目先の時間ではあるが、落雷の予測の可能性も考えられる。今後はより多くの事例での検証および物理的な意味付けが課題である.

#### 謝辞

解析には小出寛氏(気象研究所)の作成したプログラムを使用させて頂いた。また本調査の作成にあたり

貴重なデータを提供していただいた東北電力株式会社の本間規泰氏に感謝します。

天気, 37, 659-670.

本間規泰, 小室弘, 石井勝, 北條準一, 1994: 東北地域における磁界による落雷位置標定システムの高性能化, 電気学会論文誌, B114, No4, 419-424.

### 参考文献

迫田優一, 1990: 気象レーダーのデジタル化について,

## 1996年度山本・正野論文賞候補者の推薦募集

日本気象学会の山本・正野論文賞は、(旧)山本賞(新人賞)の発展として平成2年度発足し、平成8年度はその7回目になります。この賞は前2年間(1994年及び1995年)に発表された気象学に関連する論文の中から、基礎研究・応用技術研究を問わず、新進(原則として35歳未満)の研究者・技術者による優秀な論文を選び顕彰するものです。論文公表の雑誌は国内・国外を問いません。

これまでの受賞者は、平成2年度: 向川均(気象大学校), 3年度: 佐藤薫(京都大学), 4年度: 田中博(筑波大学), 5年度: 沼口敦(国立環境研), 牛丸真司(沼津高専), 6年度: 中村尚(東京大学), 7年度: 小池真(名古屋大学), 森本真司(国立極地研)の8氏です。

つきましては、この趣旨に沿う候補者(論文)を選考するために、下記により広く会員からの推薦を募りますので御協力をお願い申し上げます。

### 記

#### 1. 推薦期限

平成8年4月5日(金)

#### 2. 宛先

〒100 東京都千代田区大手町1-3-4

気象庁内, 日本気象学会

山本・正野論文賞候補者推薦委員会

#### 3. 推薦書記入事項(A4判横書)

(a) 候補者所属氏名

(b) 当該論文題目・雑誌名・号数・頁数

(c) 推薦理由

(d) 推薦者所属氏名印

日本気象学会 山本・正野論文賞候補者推薦委員会

高橋劭(担当理事), 廣田勇, 播磨屋敏生, 近藤純正,

時岡達志, 駒林誠, 中島映至, 近藤豊