

落雷位置標定システムにより観測された 関東北部を襲った雷雨事例

植村 八郎*・寺島 司**・杉田 明子**

要旨

1992年9月4日に関東北部で発達した雷雨は、突風と降ひょうにより主に農作物に多大の被害を発生させた。この雷雨を落雷位置データ、レーダーエコーおよび他の気象観測データを用いて解析した。解析には、主に10分間落雷位置データを取り扱った。落雷活動が活発なときには落雷位置が密集し団塊状に分布することが多い。これを本論文では落雷セルと仮称した。落雷セルの移動と、レーダーによる降水域の移動はよく一致し、さらに突風等被害の発生と落雷セルの通過との間に明確な関連が見られた。

1. はじめに

1992年9月4日午後、とくに夕方頃から宵の内にかけて、関東北部では激しい雷雨に見舞われた。雷雨は栃木県宇都宮地方から茨城県水戸地方にかけて突風と降ひょうを伴って大きな災害を発生させた。この雷雨については、すでいくつかの研究(楠ほか 1993 a, b; 大野ほか 1993, 1995)がなされている。それらは主に水戸周辺での被害とダウンバースト発生に関するものである。

本論文では、落雷位置データを用いて、落雷位置という側面から雷雨の姿を調べることに重点を置き、とくに10分間落雷位置データに着目して解析を行った。雷雨のメソ構造を調べるのに10分間データが最適であるかどうかという問題はあるが、あまり時間間隔を長くすると雷雲が移動することで水平構造が不明瞭になり、短いと落雷数が少なくて解析し難いことになる。研究に用いた落雷位置データは、株式会社フランクリン・ジャパンが関東地方に設置した米国LLP社(Lightning Location and Protection, Inc.)製の落雷位置標定システム(LLS: Lightning Location Sys-

tem)によって得られたものである。その他の気象資料(地上, 上層)は、気象庁の観測網により得られたものであり、また気象庁による関東地方の気象レーダーエコー合成図(東京, 名古屋, 新潟)を利用した。

2. 落雷観測に用いたLLS

観測ネットワークは、茨城県常陸大宮、千葉県海上、同館山、東京都八王子、群馬県前橋および長野県松本の6ヶ所の落雷方位測定装置(DF: Direction Finder)と中央(神奈川県新横浜)に設置された落雷位置解析装置(PA: Position Analyzer)等から構成されていた。観測の対象とする地域は、第1図に示すように関東地方を中心とする東西・南北方向にそれぞれ500 kmの範囲である。図中に、DF局の位置および落雷の標定位置誤差マップを示す。

標定位置誤差は設計上、関東地方全域で1.5 km以下であった。今回使用した落雷位置データは多重雷を一つの落雷として扱うflashデータである。なお、本文中の自治体名は当時の名称を用いている。

3. 雷雨襲来により発生した災害

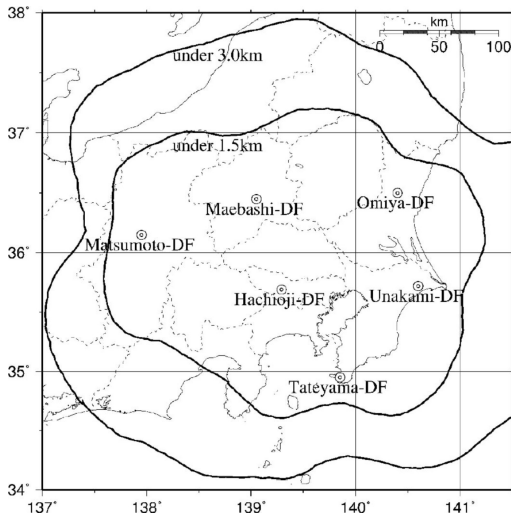
宇都宮地方气象台(1992)および水戸地方气象台(1992)によると、この9月4日の雷雨は、降ひょうと突風により農作物、住家、および非住家等に多大な

* 株式会社フランクリン・ジャパン, 故人。

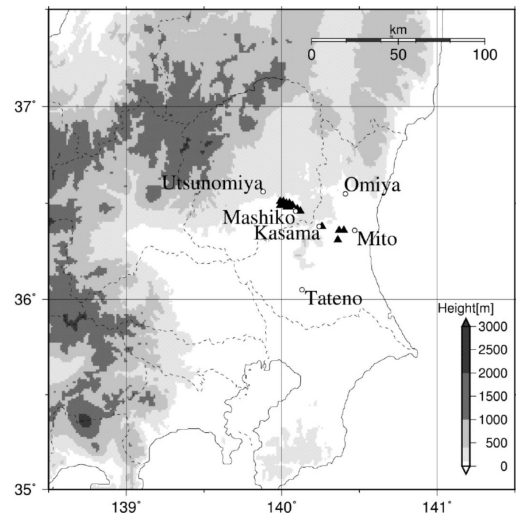
** 株式会社フランクリン・ジャパン。

—2007年3月28日受領—

—2009年1月19日受理—



第1図 (株) フランクリン・ジャパンのLLSの観測対象とする地域、DF局の位置および落雷位置誤差マップを示す。



第2図 本研究の解析領域全体を示す。雷雨による大きな被害が報告されている市と町および顕著な降ひょうが報告された場所(▲印)を示している。

第1表 1992年9月4日の雷雨による被害状況。a) 栃木県（〔宇都宮地方気象台1992年09月11日，栃木県農業気象災害速報〕より作成）。b) 茨城県（〔水戸地方気象台平成4年9月11日，茨城県農業気象災害速報〕より作成）。

a)

	作物名	被害面積 (ha)	損害金額 (千円)	主な被害市町村名
農業被害	水稲	960.0	108,934	市貝町, 芳賀町
	なし	58.0	95,264	宇都宮市
	ごぼう	50.0	61,390	宇都宮市
	なす	9.4	38,567	益子町, 宇都宮市
	さといも	32.0	21,864	市貝町, 宇都宮市
	大豆	37.0	7,703	芳賀町, 市貝町
	その他 (いちご苗, こんにゃく, ブロッコリー, にらなど)	69.5	36,514	市貝町, 益子町, 芳賀町, 真岡市, 宇都宮市
	合計	1215.9	370,236	
降雹状況	宇都宮市	18:10—18:25	1円玉大 (突風まじり)	
	芳賀町, 市貝町, 益子町, 真岡市	18:00—18:55	小豆大～ピンポン玉大 (5～6分間)	

b)

	作物名	被害面積 (ha)	損害金額 (千円)	主な被害市町村名
農作物の被害	菊	30.0	319,440	友部町
	水稲	160.0	97,099	笠間市, 水戸市
	ネギ	9.0	33,789	内原町
	甘藷	20.0	22,820	水戸市
	カボチャ	7.0	20,424	内原町, 笠間市
	梨	4.4	17,907	水戸市, 内原町
	その他	22.1	20,179	(ナス, サトイモ, ソバ等)
合計	252.5	531,667		
降雹状況	笠間市, 友部町, 内原町, 水戸市	19時ごろ, 5～10分間	直径2～3センチ大	

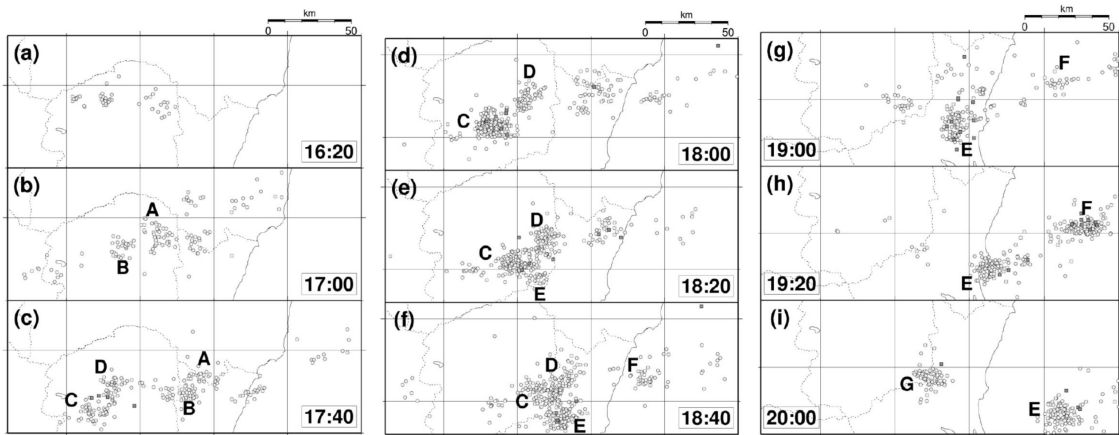
被害をもたらした。

第1表 a と b は、栃木県と茨城県のそれぞれの被害状況である。農作物の被害は主に水稲・野菜・果物などで、被害額は栃木県(宇都宮市, 真岡市, 芳賀町, 市貝町および益子町)で約3億7千万円, また茨城県(笠間市, 友部町, 内原町および水戸市)では約5億3千万円で、両県合わせて約9億円に上っている。

第2図は本研究で取り扱う落雷位置データの解析領域全体を示す。雷雨によって大きな被害が報告された市や町などを示してある。また、▲印は降ひょうが報告された場所である。

4. 落雷位置の時間的経過

第3図は1992年9月4日



第3図 解析領域内で観測された前10分間の落雷位置。○印は負極性、■印は正極性の落雷を示す。a) 16:20, b) 17:00, c) 17:40, d) 18:00, e) 18:20, f) 18:40, g) 19:00, h) 19:20, i) 20:00。

に解析領域内で16時20分から20時00分までの間に観測された落雷の位置を時間経過順に示している。第3図のaからiはそれぞれ16:20, 17:00, 17:40, 18:00, 18:20, 18:40, 19:00, 19:20および20:00 JSTにおける落雷位置を示す。ただし、各図はそれぞれの時刻の直前10分間の落雷位置である（たとえば17:00では、16時50分より17時00分までに観測した落雷位置を示す）。

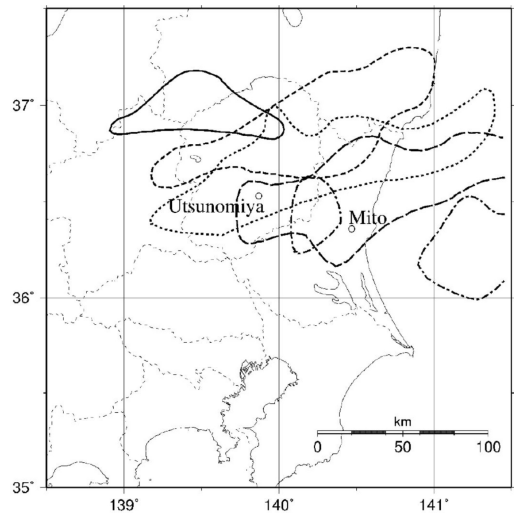
図中、落雷位置を○印で表したものは負極性の落雷、■印で表したものは正極性の落雷である。また図中のA, B, C, …Gの記号は後述する落雷位置の移動を見るために付したものである。

第4図に落雷発生地域の概形の時間変化を示す。ここでいう概形とは、各時刻の直前10分間に観測された落雷地点を全体的に包括した線で表したものである。

これによると、16時ごろ関東北部の山岳地帯にあった落雷域は17時には東側に広がり、またその西側はやや南に移動している。落雷域は広がりながら南東進して18時には宇都宮付近から茨城県の北部に至る平野部に達した。18時以降は東南東方向に移動し、関東平野を通過して、20時ごろには縮小して関東の東方海上に出ている。

5. 落雷数の進展

落雷数の時間変化を第5図に示す。図には16時から20時まで解析領域内で発生した落雷数を10分毎に表している。落雷数は16時から18時までに急速に増大している。また、同時帯に落雷域が拡大傾向を示してい

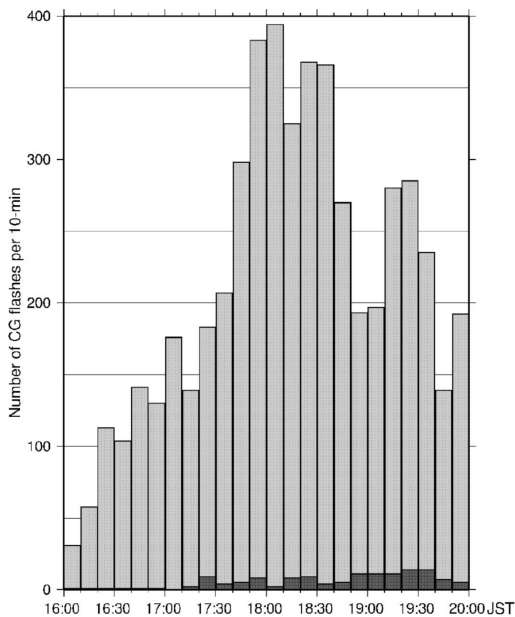


—16:00 ----17:0018:00 --19:00 ---20:00
第4図 落雷発生域の概形の時間変化。

る（第4図）。これらのことから、雷雨は16時から18時の時間帯で発達したことが分かる。18時以後については、落雷地点の一部は東海上の解析領域外に出ているので、落雷域全体としての落雷数の推移は不明である。

また、第3図から、落雷の極性は大部分が負極性であり、正極性の落雷（第3図の■印）はごく僅かである。全体の約2.3%しかないとわかる。

ここで落雷の状況をまとめてみると、二つの特徴があげられる。一つは落雷域が関東北部山岳域に位置す



第5図 解析領域全体における落雷発生数の時間変化(10分毎)。濃灰色部分は正極性の落雷数を示す。

る16時ごろから平野部に移動してきた18時ごろにかけて、10分間当たりの落雷数が増大していることである。これは、雷雨が山岳斜面上を移動するとき、あるいは平地に移動してきた直後に落雷活動が活発化していることを意味している。二つには落雷域が陸上および海上ともに、負極性落雷が圧倒的に多くなっていることである。Rutledge and MacGorman (1988) は、メソスケール対流システムにおける降水構造と落雷位置および極性間の関係を調べ、大部分の負極性落雷活動は対流性降水域に位置しており、かつ対流性降水が最も強い期間で最高としている。また正極性の落雷は主に層状性の降水域に多いことを示した。さらに、Lopez *et al.* (1990) や Holle *et al.* (1994) によると、①メソスケール対流システムの生涯の各進展段階において、その成長期から成熟期までは対流性降水域で負極性落雷の割合が支配的である。②成熟期のピークを過ぎてから減衰期に入ると負極性落雷が減りはじめ、替わりに正極性落雷が増えてくる。③層状性降水域では正極性落雷が相対的に多い、ということ述べている。本研究の事例では、海洋上の落雷観測データが不足していることから、どのような進展段階にあるのかよく分からない。しかしながら、上記のこ

とから判断すれば、今回の9月4日の事例の観測期間においては、メソスケール対流システムにおける成長期の段階にあるか、あるいは成熟期に入った直後の段階にあるようにみられる。

本事例でみた上記二つの特性(落雷数の増大と落雷極性の問題)は、今後さらに事例解析を重ねて研究する必要がある。

6. 落雷位置分布の特徴

6.1 落雷位置分布とレーダーエコー

4節で述べた落雷位置分布(第3図)を詳細にみると、落雷位置が密集して団塊状にまとまって分布している場所と落雷位置が散在している場所がある。これは雷雲内の電荷分布構造に関係していると推測される。

ドップラーレーダーまたはレーダーによって雷雲内を立体的に観測してその内部構造と落雷位置との対応関係については、例えば Keighton *et al.* (1991) や竹内ほか(1990)が行っている。本論文では、雷雲の立体観測は行っていないので、レーダーエコー図と落雷位置の対応関係について注目する。

落雷位置分布とレーダーエコー図を重ねて例示したもの(18時、19時および20時)を第6図に示す。落雷位置の分布とレーダーエコーは総じてよく対応している。とくに落雷位置が団塊状に密集している場所はエコー強度の強(strong)域によく対応しており、そして散在しているところはエコー強度が並み(moderate)域か、弱(weak)域に対応している傾向が認められる。これらは、落雷位置が団塊状に密集している所ほど対流活動が活発であり、散在している所は対流活動が弱いことを意味している。

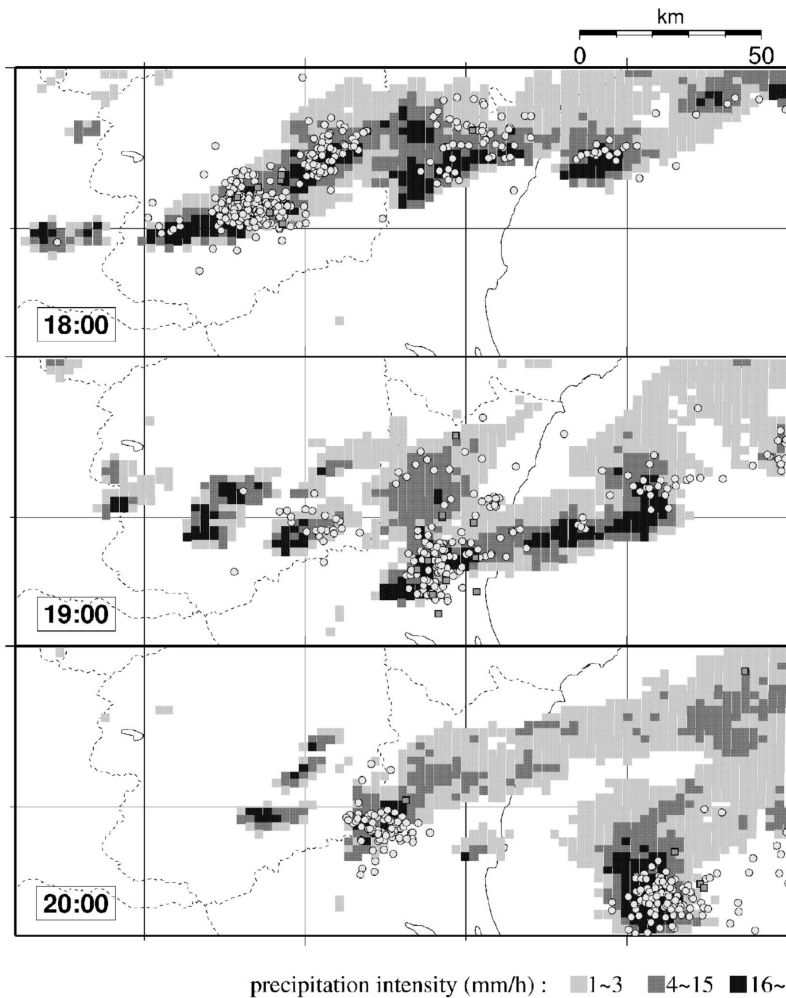
6.2 落雷団塊分布域の水平スケールと落雷数

落雷位置が密集して団塊状をなしている部分の水平スケール、またその範囲内に含まれる落雷数に注目する。

団塊状に密集した落雷域(第3図A, B, ..., G)について、各々から任意の時刻を選び、まとめたものを第2表に示す。

平均的には、水平スケールは 20×18 km(東西方向に20 km, 南北方向に18 kmを意味する)で、落雷密度(10分間当たり、 100 km^2 当たりの落雷数と定義する)は22.7である。

そこで本論文では以後、「落雷位置が密集して団塊状に分布し、その水平スケールが 10×10 km以上、落



第6図 直前10分間の落雷位置 (○印は負極性落雷, ■印は正極性落雷) とレーダーエコー合成図 (mm/h)。

第2表 密集した落雷域の水平スケール, 落雷数および落雷密度。落雷密度は10分間当たり100 km²当たりの落雷数とする。

対象	時刻	場所付近	発達段階	水平スケール (km)		落雷数	落雷密度
				東西方向	南北方向		
A	16:30	栃木塩原	形成期	17	15	33	14.5
B	17:00	栃木藤原	形成期	15	14	23	13.0
C	17:20	中禅寺湖	形成初期	13	12	20	15.1
C	18:00	宇都宮	最盛期	26	21	223	42.0
D	18:00	栃木大田原	成熟期	21	19	61	17.6
E	19:00	水戸	成熟期	24	22	87	19.2
E	20:00	東方海上	成熟期	22	21	91	23.9
G	20:00	笠間	最盛期	22	20	59	15.5
平均				20	18	74.6	22.7

雷密度が10以上で、かつ持続期間が20分以上のものを落雷セルと定義する。

7. 落雷セルから見た雷雨の経過と特徴

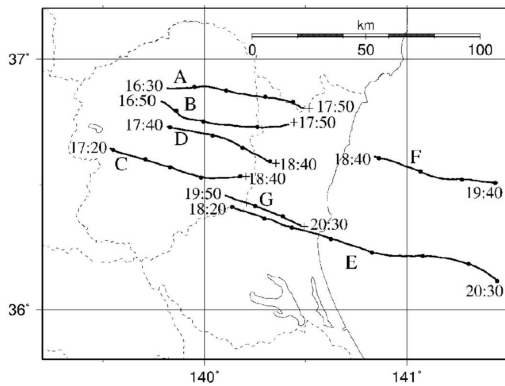
7.1 落雷セルの出現と移動

第7図に、七つの落雷セル (第3図A, B, …, G) をそれぞれ追跡してできた航跡を示す。それぞれの航跡には発現時刻、つまり落雷セルが形成された時刻と崩壊して落雷セルとしての特徴を失った時刻 (+印) を付記している。また20分おきに落雷セルの中心位置 (黒丸●) をマークしてある。第7図から、落雷セルが出現していた期間、移動した経路および距離などが分かる。

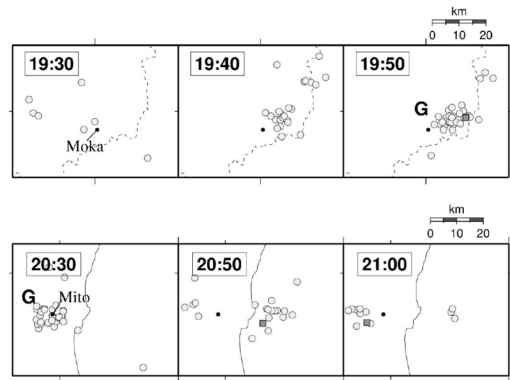
7.2 落雷セルの形成と崩壊

落雷セルが発現する過程および崩壊後衰滅する過程は次のようである。落雷が始まった当初は落雷密度が少なく、かつ落雷域の広がりも小さい。雷雲が発達するにつれて、落雷密度も落雷位置の広がりも大きくなり、落雷セルの定義に当てはまる状態に達する。このときが落雷セルの発現ということになる。

落雷セルがある期間持続した後、やがて落雷密度が減少して (落雷活動が弱まって) くと、落雷セルの崩壊 (衰滅) 段階に移る。例として二つの場合を次に示す。



第7図 落雷セル (A, B, C, D, E, F, および G) の移動経路。20分毎に各落雷セルのおおよその中心位置を●印で示す。



第8図 落雷セルGの時間変化 (形成期～崩壊・衰滅まで)。○印は負極性、■印は正極性の落雷を示す。

例1) 落雷セルGの場合

まず単一の落雷セルの生涯における過程を見る例として、落雷セルGを取り上げる (第8図)。はじめ、栃木県南部を東進していた降水域 (レーダーエコー強度の強域を含む) が真岡市付近に達した19時30分頃に、この降水域内で落雷が始まった。この落雷域は東進を続けながら発達して19時50分頃に落雷セルGとなった。

セルGは20時00分頃に落雷活動が最盛期に達したとみられ (第3図i)、その後セルはゆっくり衰えながら東南東進して20時30分頃水戸付近に至った。このときまでは落雷セルとしての状態を保っていたが、20時30分を過ぎた後は落雷数を減じ落雷セルの状態を失いながら海上に出て、21時00分頃にはごく少数の落雷が観測される程度となった。

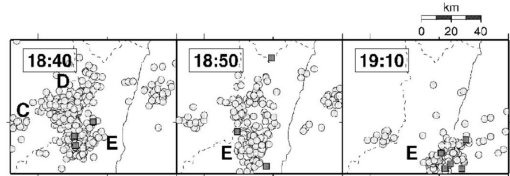
レーダーエコーの強域は、狭まりながらも21時までは残っていたが間もなく消滅した。

ここでは、落雷セルが形成されるまでの期間を形成 (成長) 期、それ以後崩壊の始まる前までの期間を成熟期、それ以降のセルが衰滅に至る過程を衰弱 (衰滅) 期とした。

例2) 落雷セルCとDの場合

この例は、二つのセル (CおよびD) がそれぞれ独立に形成された後に合体し、その後急速に崩壊 (衰弱) の過程をとった例である。

まず落雷セルCの場合は、17時00分頃に中禅寺湖の南西側に発生していた落雷域がゆっくり東進しつつ発達して17時20分頃、中禅寺湖の南東側に至って落雷セルCとなった。



第9図 落雷セルC, DおよびEの時間変化 (形成期～崩壊・衰滅まで)。○印は負極性、■印は正極性の落雷を示す。

他方落雷セルDの場合は、遅れて17時30分頃に落雷セルCの北東側で始まった落雷域が急速に発達して17時40分に落雷セルDになった (第3図c)。このように、両セルはそれぞれ独立した形成過程をたどっている。

その後両セルCとDは、それぞれ独立して発達しながら東に進み、八溝山地に近づく頃から接近して (第3図e)、18時40分頃には合体状態の落雷位置分布となった (第3図f)。

第9図は、18時40分を過ぎてから落雷活動が急速に弱まり、合体化した状態の落雷位置分布が散在した状態に変化して、衰弱期に入った過程を示している。

7.3 落雷セルの追跡

第10図は、落雷密度の特に大きい落雷セルCおよびEの航跡を追ったもので、落雷セルの概形を20分おきに位置を10分おきに示している。落雷セルCは4節 (第3図d) で触れたように18時00分頃に宇都宮付近に達した。このときの水平スケールは26×21 km (第2表) で、落雷位置も非常に密集しているので、

落雷活動は最盛期の状態に達しているとみられる。その後も引き続き東南東に進むが、落雷セルCが宇都宮を通過する18時10分頃から、落雷セルの一部が南東に張り出し始め、18時20分頃に落雷セルCの本体から分離した状態となった(第3図e)。このときを新しい落雷セル(E)の誕生とした。

落雷セルEは、その後発達しながら東南東に進み、19時00分頃に最盛期の状態で水戸に至った(第3図g)。19時20分以降は海上へ出るが、引き続き落雷活動の活発な状態を維持しながら東進して、20時20分過ぎには解析領域外へと出た。

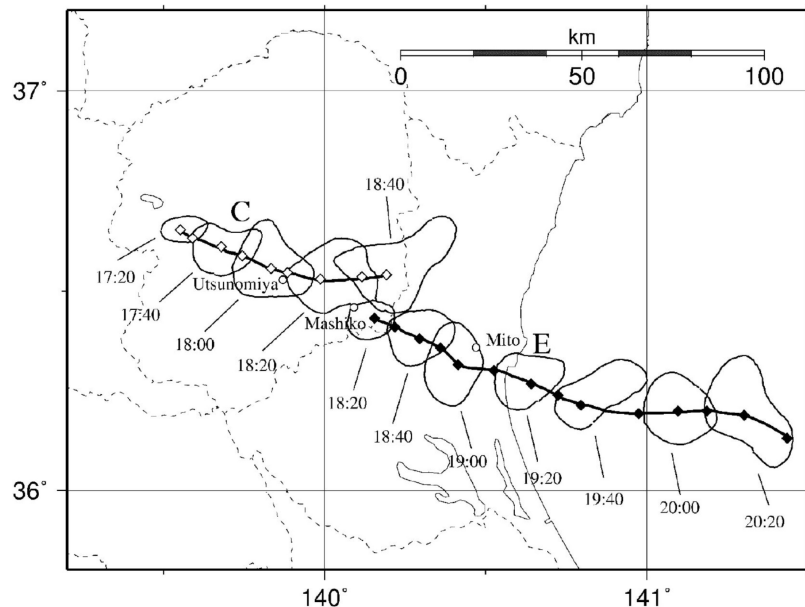
7.4 落雷セルの持続期間と水平スケール

落雷セルA, B, …, Gの航跡について、それぞれの持続期間と最盛期の水平スケールを示したのが第3表である。持続時間は長短あるが、約40~80分間である。ただし海上に出たセルEの航跡の場合は解析領域外に出ていることから130分以上とみられる。陸上だけで寿命を終えた落雷セルは平均して約64分間であった。最盛期の水平スケールは大部分23×16 km前後であった。

なお、落雷セルの発現時から落雷活動が最盛に達したとみられるまでの期間は10~40分、平均して約25分であった。

8. 落雷セルの移動速度と上層風

第7図の航跡から、各落雷セルが移動した方向・距離と持続した期間から平均の移動速度を見積もり、秒速(m/s)に換算して、館野の15時の高層風観測のホドグラフに対応させたのが第11図である。図には各セルの移動の方向と速度に相当した点を記入してある。全体的に、セルの移動は東ないし東南東の方向(方位100度~113度)で、速度は平均51.6 km/h (14.3 m/s)であった。ホドグラフからセルの移動は700 hPa~



第10図 落雷セル(C, E)の航跡図, 20分毎に落雷セルの概形(実線)を, 10分毎に通過点(セルC:◇印, セルE:◆印)を示す。

第3表 落雷セルの持続期間(発現時刻から崩壊が始まる時刻まで)と、最盛時の水平スケール。

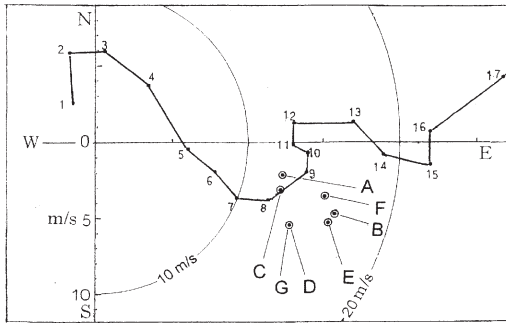
落雷セル	発現時刻~崩壊時刻	持続期間(分)	水平スケール(最盛時)(km)
A	16:30~17:50	80	22 × 12
B	16:50~17:50	60	21 × 13
C	17:20~18:40	80	26 × 21
D	17:40~18:40	60	24 × 13
E	18:20~20:30後	130以上	23 × 21
F	18:40~19:40後	60以上	22 × 13
G	19:50~20:30	40	22 × 20

750 hPaの風に対応していることが分かる。

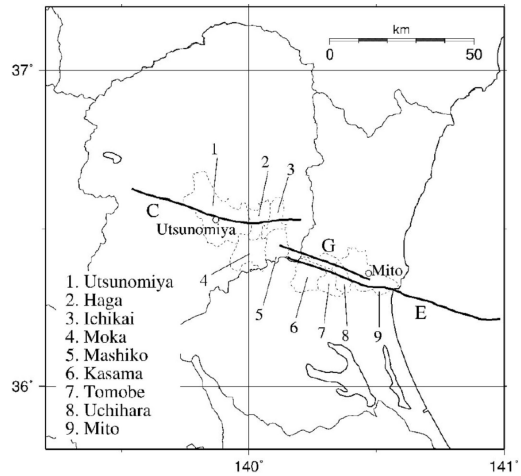
宇梶・中三川(1988)は、レーダーエコー資料を用いて栃木県における雷雲の発生と移動について調べ、雷雲の移動は上層風との関係では(1)700~600 hPaの風とよく対応し、(2)移動方向は東北東~南東で、(3)速度は700 hPaの風速の70%程度が多いと報告している。この報告は、本論文の結果と概ね一致している。ただし本論文の事例では、移動速度が700~750 hPaの風速より多少大きめになっている。

9. 災害の発生と落雷セルの通過

第12図は突風被害の発生が報告された栃木県と茨城



第11図 館野における1992年9月4日15時の上層風 hodograph と落雷セルの平均移動速度および方向。図中番号は以下の気圧 (hPa) に対応する。(1) 966.6, (2) 925, (3) 900, (4) 850, (5) 818.9, (6) 800, (7) 784.5, (8) 752.3, (9) 721.4, (10) 700, (11) 691.4, (12) 600, (13) 556.3, (14) 544.5, (15) 521.2, (16) 500, (17) 400.



第12図 災害の発生した地域 (市・町) と落雷セル (C, E および G) の航跡。

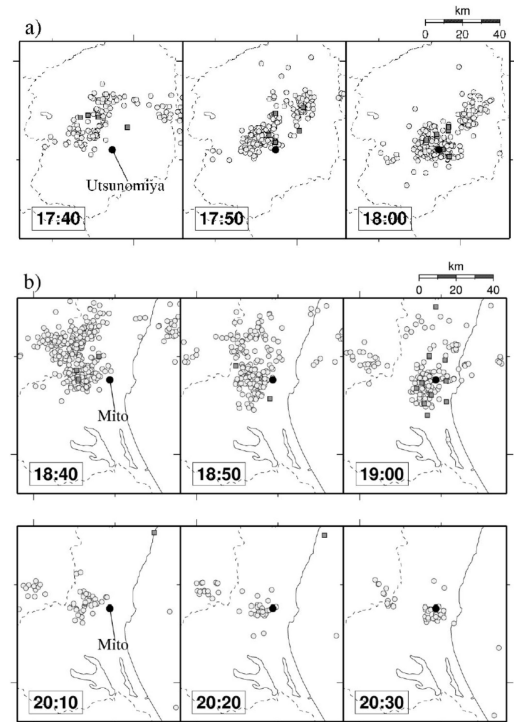
県の市と町の地域を表示し、これに落雷セルの航跡を重ねて、両者を対比したものである。落雷セルCが栃木県内の被害地域を貫いて通過しており、また茨城県内の被害地域を落雷セルEとGが横断するように通過していることが分かる。

これら落雷セル通過時における地上風の変化に注目する。まず、落雷セルCが宇都宮付近に到達した18時00分には、落雷数がピーク値を示すとともに、宇都宮地方気象台で最大瞬間風速24.6 m/sの突風を観測した (第13図 a および第14図 a)。

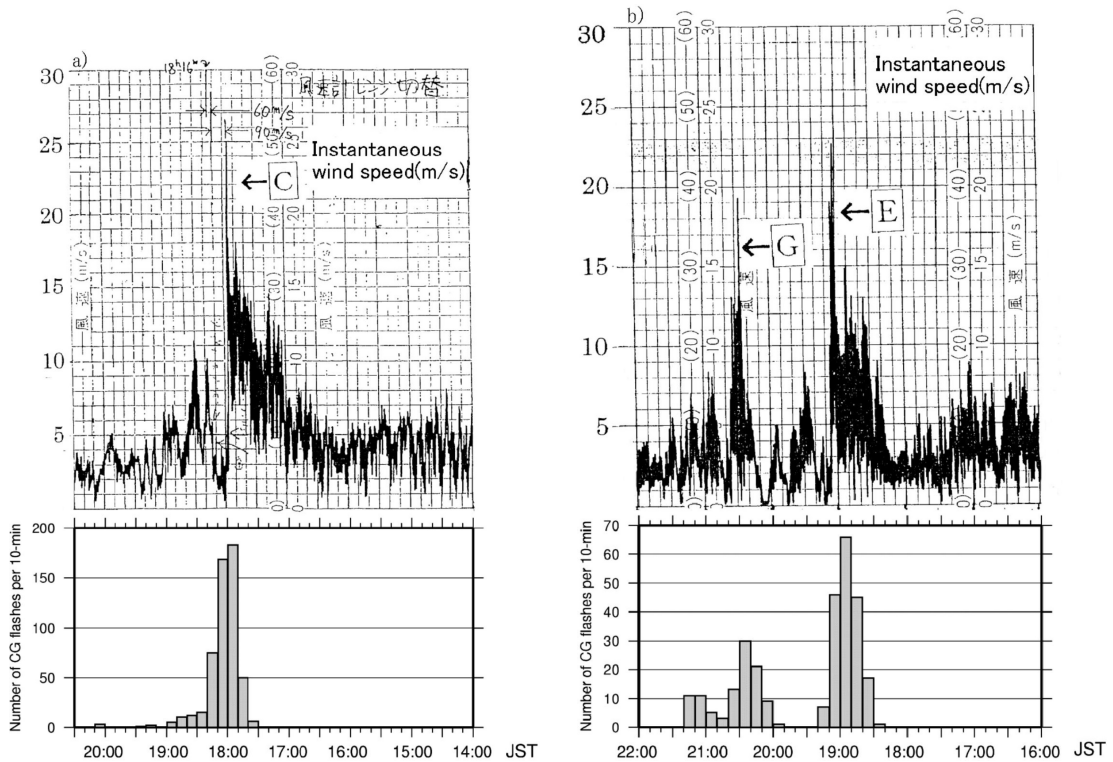
他方、19時頃に水戸に到達した落雷セルEの場合について、ほぼ同時刻の18時59分に水戸地方気象台で最大瞬間風速22.4 m/sの突風を観測するとともに、落雷数も突出して多くなっている (第13図 b および第14図 b)。さらに同図を見ると、それほど顕著ではないが、20時25分頃にも19.1 m/sの突風を記録し、落雷数は第2のピークを示している。これは落雷セルGの到達時刻にほぼ一致している。

これらは、落雷セルの到来とほぼ同時に突風が起こっていることを示しており、したがって落雷セルC, E および G が通過した地域においても、同様に突風が発生したであろうと推測することができる。

実際、宇都宮地方気象台 (1992) が実施した現地調査によると、真岡市清水地区では18時30分頃北東の強風により、杉・桐・柿の倒木、納屋の屋根・瓦の飛散、プレハブハウスの破損が報告されている。この被



第13図 a) 宇都宮地方気象台周辺における落雷セルCの時間変化。○印は負極性、■印は正極性の落雷を示す。b) 水戸地方気象台周辺における落雷セルE (上) およびG (下) の時間変化。○印は負極性、■印は正極性の落雷を示す。



第14図 a) 宇都宮地方気象台における気象観測（風速）の自記記録（上）および同地点を中心とした20 km 四方範囲内における落雷発生数の時間変化（10分毎）（下）. b) 水戸地方気象台の気象観測（風速）の自記記録（上）および同地点を中心とした20 km 四方範囲内における落雷発生数の時間変化（10分毎）（下）.

害が発生した頃は落雷セルCおよびEが分裂しながら通過した時刻にほぼ対応している（第10図）。

真岡市のすぐ東隣の益子町でも同様の被害があり、とくに直径1 m以上のけやきが根こそぎ倒れていたとの報告がなされている。これに関して、被害の発生した時刻の記録はないが、第10図によると落雷セルCは18時20分から18時40分にかけて益子町の北辺を通過していることがわかる。

また、水戸市では落雷セルEが到達した19時頃の突風により、気象台から1～10 km離れた2地域において、イネなどの農作物や樹木の集中的な転倒があった（楠ほか 1993 a）。

10. まとめ

1992年9月4日関東北部を発達した雷雨が通過して、宇都宮地方から水戸地方にかけて大きな農業災害をもたらした。この雷雨の経過を主にLLSにより観

測した落雷位置データで調べた。これにはとくに10分間の落雷位置データを用いた。その結果は次の通りである。

- (1) 雷雨は関東北部の山岳地帯から南ないし東の斜面を経て平野部に達する過程で発達した。
- (2) 落雷域は平野部に達した後は全体としてほぼ東南東に移動した。
- (3) 落雷位置データは大部分が負極性の落雷で占められていた。この関東北部で雷雨が山岳地帯から平野部に達する過程での発達と落雷極性との関係は、今後の研究課題と考えられる。
- (4) 10分間落雷位置データで見ると、落雷位置が密集して団塊状に分布して現れるときがある。本論文では、10分間当たり100 km²当たりの落雷数を落雷密度と定義し、上記特徴に加えて水平スケール10×10 km以上で、10以上の落雷密度を持ち、持続時間が20分以上のものを落雷セルと称した。落雷密度が最

も大きい落雷セルは、水平スケールが 26×21 kmで、落雷密度が42であった。

- (5) 落雷セルはレーダーエコーの降水セルとよく対応しており、落雷セルの観測によっても降水セルの移動を追跡することができた。
- (6) 落雷密度の時間変化傾向によって、落雷セルの形成(成長)期、成熟期、および衰弱(衰滅)期と分けて見ることができた。
- (7) 落雷セルの寿命(持続期間)は40~80分間であり、中には海上に出て130分以上保ったものもあった。最盛時の水平スケールは平均 23×16 km前後であった。
- (8) 落雷セルの移動速度は、東~東南東に平均 51.6 km/h (14.3 m/s) で、およそ700 hPa~750 hPaの上層風に対応していた。
- (9) 宇都宮から水戸に至る地域の被害の大きかった市や町と落雷セルの通過した航跡はよく対応していた。
- (10) 宇都宮および水戸で観測された突風は、ともに落雷セルの到達時刻と一致していた。また落雷セルの通過した航跡上の地点においても、突風被害発生の時刻は落雷セルの到達した時刻と対応していた。

11. あとがき

LLSによる落雷位置データを用いた事例解析を紹介させていただいた。LLSは一世代前のシステムであり、現在では、この更新型であるIMPACTやLPATSが使用されており、世界的に展開しつつある。(株)フランクリン・ジャパンでも、IMPACTとLPATSを最適に配置した最新のシステムを構築し、ネットワークを全国規模に広げ、2000年から運用しており、そのデータもすでに10年近く蓄積されている。データの精度も上がっているが、それはLLSの延長線上にあるもので、ここで用いたデータが有意であることに変わりはない。

落雷位置データを使った調査研究は、他学会誌で多く見られ、雷の電気的な特性などが論じられているが、他方、気象学的な観点から取り扱った調査研究は少ないと思われる。雷は竜巻、短時間強雨、降ひょうなど激しい気象現象とともに発生することがほとんどであることから、気象学的な面からの研究が必要であると思われる。今後、これら両面からみた総合的な研究に期待したい。

謝 辞

気象データおよび農業気象災害速報は宇都宮ならびに水戸両地方気象台から提供していただきました。気象レーダー資料は気象庁気象研究所(当時)の大野久雄氏に提供していただきました。厚くお礼申し上げます。また本研究の機会を与えて下さった(株)フランクリン・ジャパン、および同社職員の方々のご協力に対して、心より感謝いたします。

本論文をまとめるにあたって、種々のご指導と有益なご助言を賜りました筑波大学地球科学系木村富士男教授に対し深く感謝の意を表します。また論文作成に際してお世話になりました筑波大学環境科学研究課(当時)の筒井謙一氏に対し、さらにコメントをいただきました査読者の方々に対して御礼申し上げます。

最後に、本論文は当初第一著者の植村氏によって執筆されましたが、改稿作業半ばで他界されたため、第二著者の寺島が引き継いで取り纏めを行いました。植村氏には謹んで哀悼の意を表すとともに、初投稿時の共著者であった元(株)フランクリン・ジャパンの三宅幸博氏に心より感謝いたします。

参 考 文 献

- Holle, R. L., A. I. Watson, R. E. Lopez, D. R. MacGorman, R. Ortiz and W. D. Otto, 1994: The life cycle of lightning and severe weather in 3-4 June 1985 PRE-STORM mesoscale convective system. *Mon. Wea. Rev.*, **122**, 1798-1808.
- Keighton, S. J., H. B. Bluestein and D. R. MacGorman, 1991: The evolution of a severe mesoscale convective system: Cloud-to-ground lightning location and storm structure. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1533-1556.
- 楠 研一, 大野久雄, 鈴木 修, 1993 a: 水戸ダウンバースト 1992年9月4日 I—現地調査と水戸の自記記録一. 日本気象学会春季大会予稿集, (63), A312.
- 楠 研一, 大野久雄, 鈴木 修, 小倉義光, 1993 b: 水戸ダウンバースト 1992年9月4日 III—発生当時の環境のパラメータ値と前後の日との比較一. 日本気象学会秋季大会予稿集, (64), C353.
- Lopez, R. E., R. Ortiz, J. A. Augustine, W. D. Otto and R. L. Holle, 1990: The progressive development of cloud-to-ground lightning in the early formative stages of a mesoscale convective complex. Preprints, 16th Conference on Severe Local Storms, Kananaskis Park, Alberta, Canada, *Amer. Meteor. Soc.*, 658-662.
- 水戸地方気象台, 1992: 平成4年9月4日の降ひょう害. 茨城県農業気象災害速報, 第2号, 17 pp.

- 大野久雄, 鈴木 修, 楠 研一, 小倉義光, 1993: 水戸ダウンバースト 1992年9月4日 II—大気の成層状態とドップラーレーダー観測結果—, 日本気象学会春季大会予稿集, (63), A313.
- 大野久雄, 楠 研一, 鈴木 修, 小倉義光, 1995: つぎつぎと発生した小サイズで激しいマイクロバースト—水戸ダウンバースト1992年9月4日の微細構造—. 日本気象学会春季大会予稿集, (67), C211.
- Rutledge, S. A. and D. R. MacGorman, 1988: Cloud-to-ground lightning activity in the 10–11 June 1985 mesoscale convective system observed during the Oklahoma-Kansas PRE-STORM Project. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 1393–1408.
- 竹内利雄, 仲野 貴, 河崎善一郎, 長谷正博, 中田 滉, 舟木数樹, 斎川康二, 鈴木 誠, 1990: 大津における夏の雷雲のレーダー観測結果 (II) レーダーによる落雷点の予測. *天気*, **37**, 51–53.
- 宇梶三男, 中三川 浩, 1988: 栃木県における雷雲の発生と移動について. *東京管区地方研究会誌*, (21), 119–120.
- 宇都宮地方気象台, 1992: 9月4日の突風とひょう害. *栃木県農業気象災害速報*, 第2号, 12 pp.

A Case Study of a Thunderstorm which Hit
North-Kanto Area Observed by LLS
(Lightning Location System)

Hachiro UEMURA*, Tsukasa TERASHIMA** and Akiko SUGITA*

* *Franklin Japan Co., 1-1-12, Miyashimo, Sagami-hara, Kanagawa, 229-1112, Japan.*

** (*Corresponding author*) *Franklin Japan Co.*

(Received 28 March 2007 ; Accepted 19 January 2009)
