

551.515.4:551.501.81(521.2)

雷雨の等エコー構造と移動方向の関係について*

八木鶴平**, 清野 豁**, 小元敬男**

国立防災科学技術センター

On a Relation of Structure and Movement of Thunderstorms as Revealed by Radar

By

Tsuruhei Yagi, Hiroshi Seino and Yukio Omoto

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

Thunderstorm echoes in June through August, 1973 in the northern Kanto district were analyzed in relation to their iso-echo structures and directions of migration.

Among many thunderstorm echoes during the period of observation, 45 analyzed ones had a diameter of more than 10 km, and could be measured several iso-levels of radar reflectivity (iso-echo measurement is restricted within 60 km from the radar used). Storm movements were determined from frequent sequential tracings of echoes. Computation over periods of less than 45 minutes were considered unacceptable, and most computations were for longer periods. The atmospheric mean flow used in the comparisons was the vector mean of 900 to 300 mb winds with 50 mb intervals at or near the time of each echo.

More than a half of the storm echoes moved right of the atmospheric mean flow, one third migrated toward the left and some traveled with almost no deviation. On the other hand more than two thirds of them showed a characteristic biased distribution of radar reflectivity at the right or left side on a direction of echo movement. The deviating motions from the mean wind could be related to these biased iso-echo patterns in such a manner that the migration of thunderstorm echoes tends to deviate toward the flank of higher radar reflectivity gradient from the atmospheric mean flow. Namely, right-moving storms had a relatively strong radar reflectivity in the right-hand portion of the echoes, left-moving storms had it at the left side of the echoes and nondeviating storms had no biased reflectivity distribution. The rule above mentioned was held at the rate of about 80% among 45 storm echoes.

It is considered that the thunderstorms propagated toward the region of

* この研究は特別研究「積雲対流がもたらす災害発生機構に関する研究」の一環として行ったものである。

** 第1研究部異常気候防災研究室

active convection which was revealed as a relatively strong reflectivity by radar, with the results of their total deviating motions from the atmospheric mean flow.

1. ま え が き

雷雨の移動経路は住民のあらゆる生活・生産活動に関連して、古くから大きな関心がはらわれてきた。とりわけひょうや突風をともなうような激しい局所的な雷雨は多大な被害を農作物や農業施設に及ぼして走り去る。あるいは航空管制上、航空路に近づく雷雨の挙動は重要な実況情報として把握されなければならない。

このような雷雨の移動は気象レーダーでは塊状の対流性エコーの動きとしてとらえられる。対流雲の移動はそれを取りまく気流系に支配されるが、対流性エコーの速度は、平均として、対流圏の風速のベクトル平均の値あるいは対流圏の代表高度としての 700 mb の風速との間に高い相関があると考えられている。また大きな雷雨は平均流から偏倚して移動することが、Newton and Fankhauser (1964)、浅田・山川・春日 (1966)、Fujita and Grandoso (1968) らにより報告されている。著者ら (八木・清野・小元, 1975) は北関東の雷雨の観測において、昭和 47 年 8 月 2 日の雷雨群の事例解析をした結果、平均風ベクトルから右に偏倚する雷雨系、および並進する雷雨、左偏倚する雷雨がそれぞれ 2 例、1 例、3 例あったことがわかった。またこれらの雷雨の等エコー解析による特徴的な構造として右偏倚型の場合その PPI エコーの右側、並進型は中央、そして左へ偏って移動する型の雷雨は左側において、それぞれレーダー反射率傾度が反対側に比べて高く、垂直断面では顕著な壁を形成していることがわかった。

ここでは昭和 48 年の観測で得られた比較的大きな雷雨の移動方向の大気平均流との関係を調べるとともに、雷雨が反射傾度の高い側へ平均流から偏って移動するという傾向を統計的に確かめた結果を報告する。

2. 観測および解析方法

観測に使用した車載式レーダーの設置点は、前述の著者らの報告に詳しく述べられているとおり、群馬県藤岡市の小高い丘の上で、群馬県と栃木県および埼玉県北部を主とした観測範囲としており、関東平野北西部の山岳地帯で発生し、東から南東にかけて進む雷雨を比較的近傍から観測できる場所である。レーダーの尖頭出力は 40 kW、波長 3.2 cm、ビーム幅は 2° である。距離 60 km まで等エコー演算回路を通してレーダー反射率を測定できる。パルスカメラによる撮影で 20 秒から 30 秒に 1 回通常エコーを記録し、原則として 10 分ごとに等エコー測定を行った。特定エコーの垂直断面も必要に応じて観測した。昭和 48 年度の観測期間は 6 月 9 日から 8 月 12 日までである。

この期間中に観測された対流性エコーのうち、(イ) 移動方向が明瞭で 45 分以上にわたり

追跡できるもの、(ロ) 直径 10 km 以上に発達したもの、および (ハ) 等エコー構造の得られたものについて解析し、全部で 45 例得られた。個々の対流性エコーについて発雷したかどうかの確認はできないが、当地の気象月報による発雷日にあたっている。また観測中、目視や雷鳴あるいは指示機上に発雷の証をみたものも多い。エコーの移動方向は追跡した軌跡をよく代表する 1 つのベクトルをとり、その移動ベクトルの方位を風向と同じ方法で表現した。比較に用いた大気平均流は館野の高層気象資料により 900mb から 300mb までの 50mb ごとの風速のベクトル平均とした。雷雨エコーの存在時刻により 09 時の値、15 時の値、21 時の値あるいは 2 者の平均を採用した。

3. エコー解析の例

昭和 48 年 6 月 23 日の例を図 1 と図 2 に示す。この日北関東では比較的大きな雷雨系が夕刻から夜にかけて 2 度群馬県北西部山岳地帯から東進して平野部に進出し栃木県に至った。観測は 14 時 15 分から開始した。すでに日光白根山付近に直径 4~5 km の対流性エコーがあったが 20 分後には消滅し、その後 16 時頃 図 1 のストーム I および引続きストーム II が北西象限に進入してくるまで 75 km レンジでほとんどエコーは無かった。図でそれぞれ時刻を付したエコーパターンの外郭は通常エコーで、等エコーレベル 1 と 3, 5 を斜線および黒塗で示してある。両雷雨は南北に融合したままほとんど平行に東進したが、北にあったストーム I は 17 時 35 分頃分離し、衰弱して拡散エコーとなり、18 時過にはレンジの外に

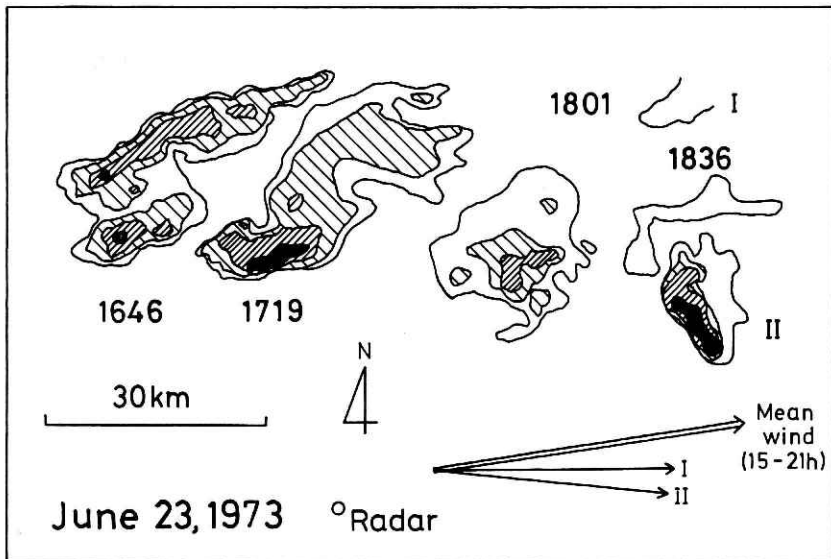


図 1 右偏倚型雷雨 (I, II) の等エコー構造

Fig. 1 Iso-echo patterns of right-moving storms I and II, on June 23, 1973, with their movement vectors and the mean wind vector. Relatively strong radar reflectivity was measured in right-hand portion of each echo.

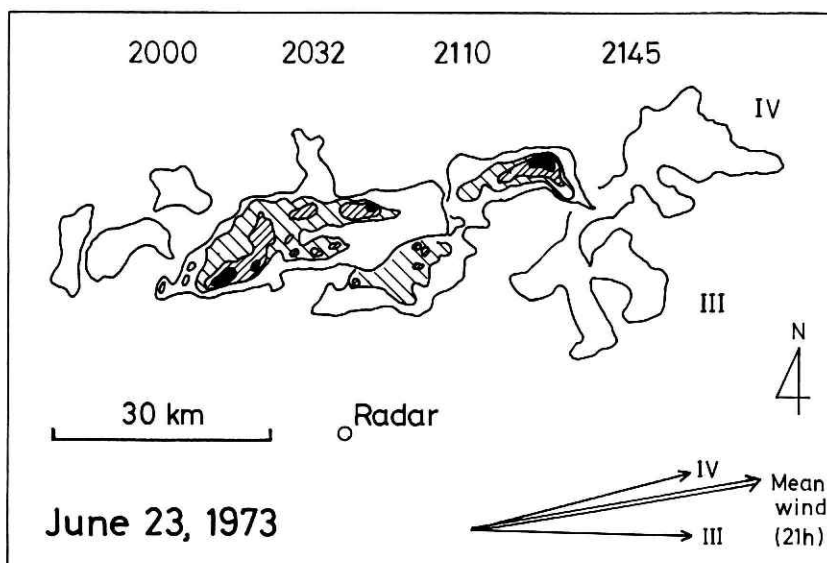


図 2 右偏倚型雷雨 (Ⅲ) と左偏倚型雷雨 (Ⅳ) の等エコー構造
 Fig. 2 Iso-echo patterns of a right-moving storm III and a left-moving storm IV on June 23, 1973, with their movement vectors and the mean wind vector. Storm III had relatively strong reflectivity in right-hand portion of the echo and storm IV had it at left side of the echo.

出た。18時01分のエコーパターンでは1部がレンジ外にかかり、また60kmより遠くにあって等エコーによる内部構造は分らない。ストームⅡはよく発達し寿命の長い雷雨エコーであったが、20時頃最大レンジ125km* いっぱいになったため追跡を打切った。18時01分の等エコーレベル5の測定は行われなかった。両雷雨共その等エコー構造でわかるように移動方向の右側において反射率傾度が反対側より大きくなっている。ストームⅠとⅡの成熟期の時刻は館野の15時と21時の高層観測の間にあると考えられるので移動方向と対照する大気平均流としては15時と21時の値を平均して求め、 261° 、57km/hであった。これに対し、ストームⅠの平均移動方向は 269° 、Ⅱは 275° であった。したがって大気平均流から右へそれぞれ 8° および 14° 偏倚して移動したことになる。この関係を図の右下にベクトルで示した。図2のストームⅢとⅣはそれぞれ19時45分浅間山付近および20時10分榛名山付近で発生して、途中融合しながらしかしそれぞれ独立して東進ないし東北東進した雷雨である。両者共22時頃拡散エコーとなり、その後衰弱して75kmレンジから去った。やがて消滅したと思われる。成熟期の強いレーダー反射率の領域は、ストームⅢでは右側、ストームⅣでは左側に片寄って存在していた。右下にベクトルで表わした大気平均流は21時の値、 260° 、53km/hでちょうど両雷雨の成熟期にあたる。これに対しストームⅢの平均の移動方

* 昭和48年度の観測より、これまでの150kmレンジは125kmに、100kmレンジは75kmに改造された。

向は 271°, IV は 255° であった。したがってストーム III は大気平均流から右へ 11°, IV は左へ 5° 偏倚して移動したと言える。

表 1 解析した全雷雨の等エコー構造, 移動速度および大気平均流からの偏倚角

Table 1. Iso-echo pattern, echo movement and its deviation from mean wind.

Date	Time	L/R	Echo Movement		Mean Wind		Deviation
			Direction	Speed	Velocity		
	JST		deg	km/h	deg km/h (h)		deg
1973							
June, 17	1530-1645	L	167	15	246 35 (15)		-79
	19						
	1300-1415	?	291	36	275 45 (15)		16
	1355-1455	L	281	25	"		6
	1435-1605	R	299	20	"		24
	1510-1625	R	290	17	"		15
	1535-1650	L	274	27	"		-1
	1820-1920	R	292	21	280 42 (15-21)		12
	1845-1945	R	295	10	"		15
	1900-1945	R	301	14	"		21
	1945-2045	R	308	15	285 40 (21)		23
	20						
	1230-1345	C	264	14	263 46 (15)		1
	1215-1300	R	283	17	"		20
	1642-1759	L	228	7	"		-35
	21						
	1350-1500	R	308	17	274 47 (09-21)		34
	23						
	1615-1745	R	269	44	261 57 (15-21)		8
	1615-1945	R	275	43	"		14
	1945-2200	R	271	40	260 53 (21)		11
	2030-2145	L	255	41	"		-5
	24						
	1736-1830	R	31	18	319 26 (15-21)		72
	1800-1900	R	47	13	"		88
July, 1	1345-1445	R	268	15	289 27 (15)		-21
	1600-1715	R	280	26	"		-9
	1727-1827	R	281	32	277 29 (15-21)		4
	1727-1827	R	268	26	"		-9
	1727-1827	L	257	25	"		-20
	3						
	1205-1335	C	55	10	71- 27 (09-15)		-16
	1430-1600	C	68	9	66 27 (15)		2
	11						
	1810-1925	L	267	24	268 28 (15-21)		-1
	1840-1945	L	268	32	"		0
	2000-2100	C	275	26	273 28 (21)		2
	2000-2115	L	253	31	"		-20
	2001-2115	C	270	24	"		-3
	2025-2110	C	276	32	"		3
	2025-2145	C	275	26	"		2
	2026-2145	C	279	21	"		6
	2030-2115	L	228	29	"		-45
	12						
	1845-1945	L	274	12	307 27 (21)		-33
	1912-2030	L	280	8	"		-27
	2137-2240	L	273	27	"		-34
Aug., 6	2015-2115	?	282	20	272 16 (21)		10
	2018-2100	C	280	26	"		8
	2100-2200	R	324	16	"		52
	7						
	1140-1225	L	345	18	331 17 (09-15)		14
	1140-1245	C	335	16	"		4
	1240-1325	R	354	18	"		23

このように6月23日の比較的大きな4つの雷雨のうち、3つは大気平均流から右偏倚し、他の1つは左偏倚して移動したことが観測された。またそれぞれ移動が偏倚した側に成熟期の反射率傾度が高いことが測定された。

4. 統計的結果

前章であげた6月23日の4つの雷雨を含む45例の解析の対象とした雷雨エコーは表1のとおりである。第1欄は観測口、第2欄はエコーの移動を追跡した時刻を表わし、第4欄の移動方向と速さはこの時間内の平均の移動ベクトルである。エコーの成熟期を含むが必ずしも発生および消滅の時刻ではない。第3欄は等エコー構造より判断して、レーダー反射率の相対的に強い領域が片寄る側を進行方向に関して表わし、Rは右側、Cは中央、Lは左側、そして疑問符は判然としないものの意である。第5欄に個々のエコーに対応すべき大気平均

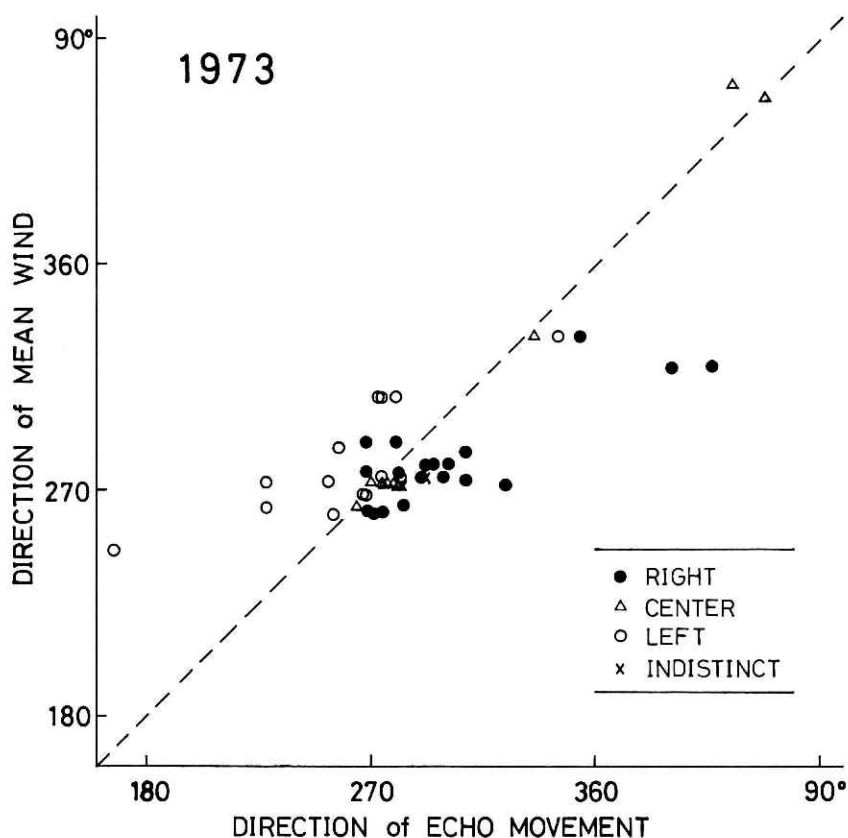


図3 雷雨エコーの移動方向と大気平均流の方向の関係および等エコー構造の差異による分類

Fig. 3 Direction of echo movement vs. direction of 900-300mb mean wind; blacked circles correspond to echoes which had a relatively strong radar reflectivity in right-hand portion of the echoes, triangles correspond to echoes which had no biased iso-echo structures, white circles correspond to echoes which had echo-cores at left side of the echoes.

流の方位と大きさを表わした。括弧内は使用した高層風資料の時刻で2者にわたるものはその平均値である。第6欄は移動ベクトルの平均風ベクトルからの偏倚角を表わす。正は右偏倚で負は左偏倚になる。図3はこれら3個のエコーの移動方向をその時の大気平均流に対しプロットしたものである。破線は移動方向と平均風の一致を表わす。

雷雨エコーの移動方向は全体として 270° 付近に集っていた。東南西北を中心に4象限に移動方向を分類すると、移動ベクトルが東象限に向うものが36例で全体の80%と圧倒的に多く、次いで南象限は5例で11%、西象限3例7%、北象限1例2%であった。表1で見られるように移動方向が南成分あるいは西成分を強く持つのは比較的風の弱いときであった。移動方向の大気平均流との関係においては、半数以上の雷雨エコーはその右へずれて移動したがなお約3分の1のエコーは左へ偏倚した。並進したものもいくつかあった。移動の早さはほとんどの雷雨において平均風より遅く、平均風の7~8割のものが多かった。

次に、それぞれの雷雨の等エコー構造においてレーダー反射率の相対的に強い領域の位置をその移動方向に関して分類すると、図3において黒丸印で表わした、この領域が右側に偏在したエコーは45例中19例あり、42%にあたる。中央にあって片寄りのなかった三角印のエコーは10例で22%、そして白丸印で表わした、左側に偏在していた雷雨エコーは14例、31%であった。このようなレーダーに現われた等エコー構造における差異と大気平均流からの偏倚の関係は、図3に明らかなように、右側にレーダー反射率が強く測定された雷雨エコーの大部分は破線の右下の部分、すなわちエコーの移動方向が大気平均流から右に偏倚する部分に属し、反対に左側において強かった雷雨エコーは図の左上、すなわち左に偏倚して移動した部分にその大部分が属しているという傾向で示された。更にいずれにも片寄らない等エコー構造を持つエコーは破線の近傍に分布し、ほとんど大気平均流と並進して移動したことが明らかである。相対的に強い反射率の測定された領域の偏在する側と大気平均流からの偏倚の向きの一致した雷雨エコーは、偏倚角に $\pm 5^\circ$ の幅を許して判定すると、35例で78%になった。またこの傾向に反して一致をみなかったエコーは8例で18%であった。

5. む す び

雷雨エコーの移動方向と等エコー構造の関係を調べた結果、約8割の雷雨がレーダー反射率の相対的に強い領域に偏在する側、すなわち反射率傾度の高い側に向って、大気平均流から偏倚して移動したことがわかった。雷雨はそれを取りまく周囲の風に単に流されることなく、対流系として周囲の環境に関わりながら独自の組織的な運動をする。一般に強い反射率が測定される領域はその雷雨エコーの内で対流活動の活発な部分である。ここで観測され議論された雷雨は、現象的には、その対流活動が活発に維持されたとと思われる方向に伝播し、全体として大気平均流から偏倚したと考えられる。

6. 謝 辞

観測にあたり施設と便宜の提供を受けた群馬県藤岡農業改良普及所ならびに藤岡市水道部に記して謝意を表わします。

参 考 文 献

- 1) 浅田暢彦・山川 弘・春日 信 (1966): 仙台気象レーダーによる基礎調査 (1,2) —1. 探知エコーの特性, 2. 雷雨—, 研究時報, **18**, 688-699.
- 2) Fujita, T. and H. Grandoso (1968): Split of a thunderstorm into anticyclonic and cyclonic storms and their motion as determined from numerical experiments. *J. Atmos. Sci.*, **25**, 416-439.
- 3) Newton, Chester W. and J.C. Fankhauser (1964): On the movements of convective storms, with emphasis on size discrimination in relation to water-budget requirements. *J. Appl. Meteor.*, **3**, 651-668.
- 4) 八木鶴平・清野 豁・小元敏男 (1975): 北関東に豪雨およびひょう害をもたらした昭和47年8月2日の雷雨群のレーダーエコー解析, 国立防災科学技術センター研究報告, **14**, 39-54.

(1975年11月6日原稿受理)