

雷雨の等エコー構造と移動方向の関係について, II*

八木 鶴 平**

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, II

By

Tsuruhei Yagi

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

Thunderstorm echoes in summer, 1973 through 1975 in the northern Kanto district were analyzed in relation to their iso-echo structures and directions of migration.

Among many thunderstorm echoes in the period of observation, 128 analyzed ones had a diameter of more than 10 km, and several iso-echo levels of radar reflectivity in each of these could be measured. 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 in the cloud layer of 900 to 300 mb winds with 50 mb intervals at or near the time of each echo.

About two thirds 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 80 percent of the storm echoes showed a characteristic biased distribution of radar reflectivity at the right or left side on a direction of echo movement. The observed 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 non-deviating storms had no biased reflectivity distribution. The above-mentioned rule held at the rate of 77 percent.

It is considered that the thunderstorms propagated toward the region of 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.

* この研究は特別研究「積雲対流がもたらす災害の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

1. ま え が き

激しい局所的な災害をもたらす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。

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、雲層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。また大きな雷雨は大気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 (八木ら, 1975) は北関東の雷雨観測において、昭和 47 年 8 月 2 日の雷雨群の事例解析をした結果、大気平均流から右に偏倚する雷雨、およびそれと並進する雷雨、左偏倚する雷雨があり、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、鉛直構造では顕著な壁を形成していることを見いだした。また昭和 48 年度の観測で得られた比較的大きな雷雨の移動方向と大気平均流との関係を統計的に調べた結果 (八木ら, 1976), 45 例のうち 35 例、約 8 割の雷雨が、レーダー反射率傾度の高い側へ大気平均流から偏って移動することが確かめられた。

ここでは、引続き昭和 49 年度と昭和 50 年度の観測について同様の解析を行ない、昭和 48 年度と合せた 3 カ年の結果について報告をする。

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たる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て東から南東にかけて進む雷雨を比較的近傍から観測が可能な場所である。使用したレーダーの尖頭出力は 40 kw, 波長 3.2 cm, ビーム幅は 2 度である。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 回の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。特定エコーの垂直構造も必要に応じて観測した。昭和 49 年度の観測期間は 6 月 4 日から 8 月 13 日まで、昭和 50 年度は 5 月 15 日から 8 月 3 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、昭和 49 年度は 35 例、昭和 50 年度は 50 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口にあたっている。また観測中、目視や雷鳴あるいはレーダー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一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。ここで問題としているエコーは塊状の対流性エコーである。軌跡の追跡は、したがって、その塊状エコーを一枚のトレーシングペーパーに次々と写し取ることができる。またここで解析された雷雨エコーの大部分のエコー頂高度は 8 km から 10 km の間であった。したがって比較に用いた大気平均流は、館野の高層気象資料により、900 mb から 300 mb の 50 mb 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、03 時の値あるいは二者の平均値を採用した。

3. 統計的解析結果

3.1 昭和 49 年度観測

前章で述べたように昭和 49 年度の観測においては 35 例の雷雨について解析された。解析の対象となった雷雨エコーは表 1 のとおりである。第 1 欄は観測日、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。第 2 欄の時刻帯は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、レーダー反射率の強い領域が相対的に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流、すなわち平均風ベクトル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観測時刻で、二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大気平均流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 1 はこれら 3 種の雷雨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。黒点はレーダー反射率傾度が右側において高い雷雨エコー、白点は左側、そして三角の印が片寄りがなく中央にレーダー反射率の高い領域が存在したエコーを表わす。破線は移動方向と大気平均流の方向の一致を示す。

昭和 49 年度観測の雷雨エコーの移動方向は全体として、 270° 付近（東進）に集っている一群の他、 300° から 90° にかけて分布しているものが多いのが特徴であった。移動方向と大気平均流との関係においては、約 4 分の 3 の雷雨エコーは大気平均流の右へずれて移動し、また約 4 分の 1 は左へ偏倚した。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、この領域が右側に偏在した雷雨エコーは 35 例中 25 例あり、全体の 71% にあたる。中央にあって片寄りのなかったものは 6 例で 17%、左側に偏在していたエコーは 4 例、11% であった。また相対的

表 1 昭和 49 年度観測について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 patterns, echo movement and its deviation from atmospheric mean flow in 1974.

Date	Time	L/R	Echo Movement		Mean Wind Velocity	Deviation
			Direction	Speed		
	JST		deg	km/h	deg km/h (h)	deg
1974						
June, 12	1830-2000	C	193	16	254 45(21)	-61
25	1500-1629	L	245	30	242 55(15)	3
	1500-1629	R	283	18	"	41
	1600-1703	R	295	19	"	53
July, 21	1130-1300	R	76	22	25 29(09-15)	51
	1429-1607	R	76	24	31 28(15)	45
29	1600-1700	R	258	19	250 19(09-21)	8
30	1405-1530	R	271	21	242 19(15)	29
	1800-1930	R	294	21	244 16(15-21)	50
	1910-2012	R	295	16	247 12(21)	48
31	1400-1500	R	311	14	283 18(15)	28
Aug., 1	1235-1350	R	327	12	333 18(09-15)	-6
	1700-1805	L	324	27	342 21(15-21)	-18
2	1315-1430	L	340	12	12 23(15)	-32
	1415-1525	R	59	11	"	47
	1500-1615	R	82	13	"	70
	1515-1635	C	12	16	"	0
	1930-2050	R	8	11	23 21(21)	-15
	2045-2130	C	357	13	"	-26
3	1600-1715	R	19	10	2 12(15)	17
	1622-1800	R	42	10	11 14(15-21)	31
4	1538-1647	R	303	6	327 12(15)	-24
	1930-2030	C	313	14	320 11(21)	-7
5	1320-1500	R	342	12	316 13(09-21)	26
	1415-1515	C	340	12	"	24
6	1930-2130	R	264	12	258 12(21)	6
	2030-2246	R	264	19	"	6
	2215-2342	R	262	23	"	4
7	1434-1537	R	307	13	238 32(15)	69
	1542-1722	R	303	30	"	65
	1645-1745	R	313	30	244 34(15-21)	69
	1700-1815	R	309	42	"	65
	1717-1817	C	305	29	"	61
	1730-1831	R	302	42	"	58
	1838-1936	L	257	28	"	13

に強い反射率の測定された領域の偏在する側と移動方向の大気平均流からの偏倚の向き的一致した雷雨エコーは, 判定にあたって左側に偏在するものについては -5° 以下の負の偏倚角, 中央のものは $\pm 5^\circ$ 内の偏倚角, そして右側に偏在するエコーについては $+5^\circ$ 以上の正の偏倚角を有するものについて一致したと見なす基準を採用すると, 35 例のうち 24 例であり, 69% において一致したことになる. 反対に一致しなかった雷雨エコーは 11 例で, 31% であった.

3.2 昭和 50 年度観測

昭和 50 年度の観測資料から前章で述べた (イ)~(ハ) の解析上の条件に適したものは 50 例であった. 表 2 に結果を示す. 図 2 はこれら雷雨エコーの移動方向をその時の大気平均流に対してプロットしたものである. 表 2 と図 2 は表 1 と図 1 にそれぞれ様式・凡例において

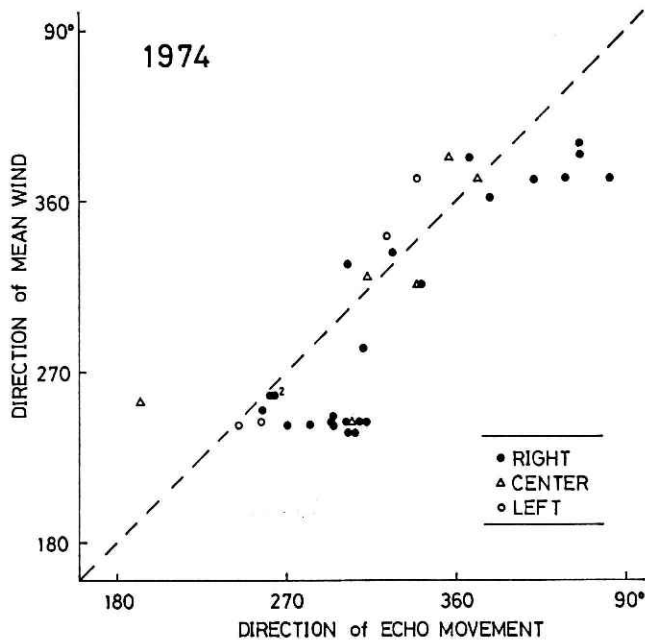


図 1 昭和 49 年度観測の雷雨エコーの移動方向と大気平均流の方向の関係および等エコー構造の差異による分類。

Fig. 1 Direction of echo movement vs. direction of 900-300 mb atmospheric mean flow in 1974; 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, and white circles correspond to echoes which had echo-core at left side of the echoes.

同一である。

昭和 50 年度観測の雷雨のエコーの移動方向は全体的に、270° を中心に 225° から 315° にかけて、すなわち北東進、東進、そして南東進にかけて集中しているのが特徴であった。また約 7 割、34 例の雷雨エコーが大気平均流から右へそれて移動し、反対に約 3 割、16 例が左へ偏倚した。またレーダー反射率傾度の高い側を、雷雨エコーの移動方向について分類すると、高い側が移動方向の右側に在ったものは 26 例で、全体の 52%、左側は 20 例で 40%、中央ないし片寄りの認められなかった雷雨エコーは 4 例、8% であった。そして、本報告で問題としているレーダー反射率傾度の高い側と大気平均流からの偏倚の向きが一致するという傾向を示した雷雨エコーは前節で述べた基準で判定すると、44 例にのぼり、全体の 88%、他方この傾向を示さなかったものは 6 例 12% であった。

3.3 昭和 48 年度から昭和 50 年度の 3 力年の統計結果

昭和 48 年度観測資料の解析結果は八木ら (1976) が報告したが、比較対照のため図 1 および 2 に対応する昭和 48 年度の結果を図 3 に掲げる。この年度に解析された雷雨エコーで

表 2 昭和 50 年度観測について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 2 Iso-echo patterns, echo movement and its deviation from atmospheric mean flow in 1975.

Date	Time	L/R	Echo Movement		Mean Wind Velocity		Deviation
			Direction	Speed	deg	km/h (h)	
	JST		deg	km/h	deg	km/h (h)	deg
1975							
May, 25	1345-1545	R	358	10	254	32(15)	104
	1515-1615	R	356	19	"	"	102
	1715-1815	L	299	17	266	33(15-21)	33
26	1405-1520	R	321	23	265	36(09-21)	56
	1445-1545	L	299	17	"	"	34
	1600-1730	L	301	22	"	"	36
	1730-1845	R	11	14	"	"	106
	1700-1845	R	338	15	"	"	73
27	1245-1415	R	310	19	271	48(09-15)	39
	1245-1430	L	264	19	"	"	-7
	1422-1500	R	293	27	282	51(15)	11
	1721-1825	L	291	28	280	46(15-21)	11
June, 2	2030-2145	L	266	17	274	29(21)	-8
	2030-2130	L	269	19	"	"	-5
	2045-2200	L	232	23	"	"	-42
	2245-2357	R	271	26	261	30(21-03)	10.
	2301-0030	R	280	21	"	"	19
3	1200-1300	R	297	18	268	29(09-15)	29
	1315-1515	R	300	15	267	33(15)	33
9	1445-1645	R	246	17	234	58(09-21)	12
	1815-1915	R	242	27	"	"	8
	1830-2000	R	252	28	237	53(21)	15
	2045-2200	R	246	27	"	"	9
	2100-2215	C	242	27	"	"	5
12	1730-1945	R	258	18	234	57(15-21)	24
	1645-1815	R	276	18	"	"	42
	1715-1831	C	236	11	"	"	2
	1800-1900	R	272	13	"	"	38
27	1215-1315	R	306	19	255	59(09-15)	51
	1300-1400	L	270	24	"	"	15
	1530-1657	L	236	21	263	52(15-21)	-27
	1600-1657	L	231	22	"	"	-32
	1615-1715	R	274	22	"	"	11
	1615-1715	R	271	22	"	"	8
	1630-1739	L	248	15	"	"	-15
	1656-1800	L	241	16	"	"	-22
	1755-1925	C	268	23	"	"	5
	1705-1805	L	220	19	"	"	-43
	1730-1845	C	266	22	"	"	3
	1715-1830	L	233	25	"	"	-30
	1845-2015	R	276	26	"	"	13
	1945-2045	R	283	24	"	"	20
	2000-2115	L	223	23	261	54(21)	-38
July, 21	1257-1400	R	344	25	3	33(09-21)	-19
	1316-1419	L	317	25	"	"	-46
Aug., 5	1825-1925	L	256	27	269	27(15-21)	-13
	1815-1930	L	253	28	"	"	-16
	2000-2047	R	288	25	"	"	19
	2055-2155	L	256	32	275	24(21)	-19
	2120-2220	R	318	19	"	"	43

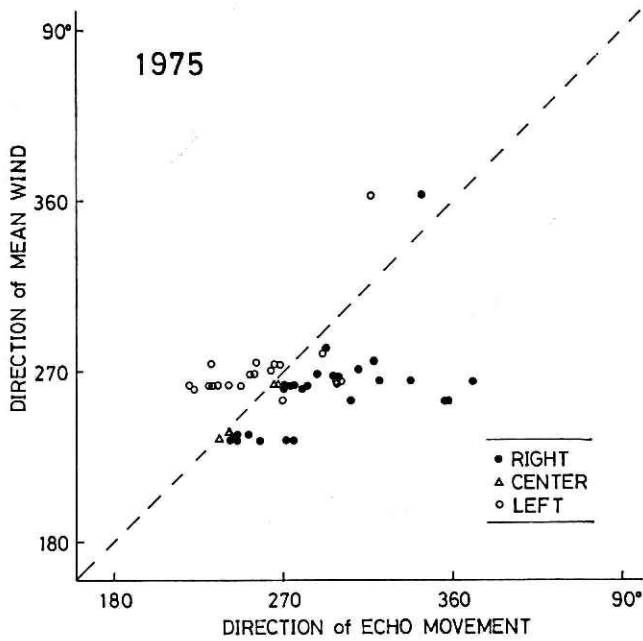


図 2 昭和 50 年度観測の雷雨エコーの移動方向と大気平均流の方向の関係および等エコー構造の差異による分類.
 Fig. 2 Direction of echo movement vs. direction of 900-300 mb atmospheric mean flow in 1975.

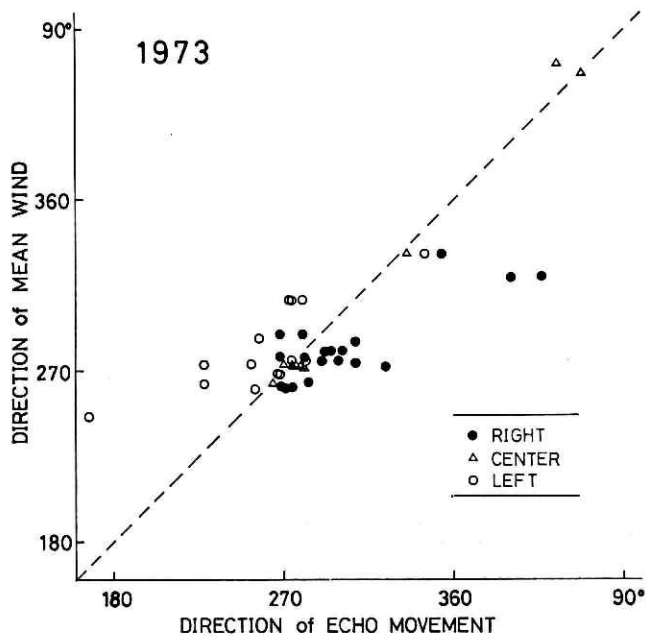


図 3 昭和 48 年度観測の解析結果.
 Fig. 3 Analyzed results in 1973.

は東進したものが多くことが昭和 50 年度の解析結果と似通っている。

昭和 48 年度から昭和 50 年度の 3 カ年の解析対象となった雷雨エコーの総数は 128 例である。このうち、等エコー構造においてレーダー反射率の高い領域が右側に偏在した雷雨エコーは 70 例で 55%，左側に偏在したものは 38 例で 30%，中央にあって片寄りのなかったエコーは 20 例，15% であった。これらの雷雨エコーを、その移動する方向の大気平均流から偏倚する向きが等エコー構造においてレーダー反射率の高い領域が偏在する側と一致するかどうかを、前述の基準に照して判定すると、一致した事例は 99 例で 77%，一方一致しなかったのは 29 例で 23% という結果になった。

4. 考 察

3 カ年にわたって観測した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が偏在する側、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。図 4 はこの傾向を模式的に示したものである。上の図は雷雨のレーダー反射率の強い領域が移動方向に向って左側に在る場合で、この時の雷雨の移動方向は大気平均流から左に偏倚することを表わす。中の図はレーダー反射率に片寄りがない場合で、この時は雷雨は大気平均流に並進する。下の図はレーダー反射率の強い領域が右側に偏在する、あるいは反射率傾度が右側において高い場合で、この時雷雨は大気平均流から右へずれて移動するという傾向を表わす。点線で表わした -5° と $+5^\circ$ は約 8 割においてこの“法則”が成立するという判定に用いた偏倚角の境界である。またここでいう大気平均流とは雲層の風速のベクトル平均である。

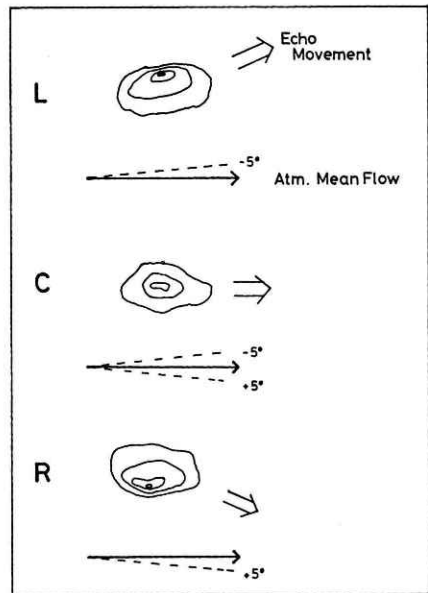


図 4 雷雨の等エコー構造の特徴と移動方向との関係を表わした模式図。

Fig. 4 A model on a relation of iso-echo structure and movement of thunderstorms.

雷雨は、大気平均流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。一般に強いレーダー反射率の観測される領域はその雷雨エコーの中で対流活動の活発な部分である。ここで解析された雷雨は、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。

5. 結 論

すでに報告した八木ら (1976) の昭和 48 年度の観測の解析結果に加えて, 昭和 49 年度および昭和 50 年度の観測の解析の結果, 次のようなことが明らかにされた。

雷雨はその driving force である雲層の大気平均流に対して, 等エコー構造においてレーダー反射率の相対的に高い領域が右に偏在するものは右に偏倚して移動し, 左に偏在するものは左に偏倚して移動した。またレーダー反射率の片寄りのないものは大気平均流に対して並進した。この法則性は 3 カ年の観測の 128 個の雷雨の解析例の 77% において成立した。

ここで得られた結果はレーダーによる雷雨の短時間予測手法の開発に重要な示唆を与えるものと思われる。

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。レーダー観測は主として著者および清野豁研究員 (現在農林水産省九州農業試験場) により行われた。

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・小元敬男 (1975): 北関東に豪雨およびひょう害をもたらした昭和 48 年 8 月 2 日の雷雨群のレーダーエコー解析, 国立防災学技術センター研究報告, **14**, 39-54.
- 5) 八木鶴平・清野 豁・小元敬男 (1976): 雷雨の等エコー構造と移動方向の関係について, 国立防災科学技術センター研究報告, **15**, 1-8.

(1979 年 5 月 24 日 原稿受理)