HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 1985年9月10日北海道広島町に発生した竜巻について |
| Author(s) | 小林, 文明; 岩波, 越; 菊地, 勝弘 |
| Citation | 北海道大学地球物理学研究報告, 48, 17-33 |
| Issue Date | 1987-02-12 |
| DOI | 10.14943/gbhu.48.17 |
| Doc URL | http://hdl.handle.net/2115/14150 |
| Type | bulletin (article) |
| File Information | 48_p17-33.pdf |

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道大学地球物理学研究報告
Geophysical Bulletin of Hokkaido University, Sapporo, Japan
No. 48, February, 1987, p. 17−33

# 1985年9月10日北海道広島町に発生した竜巻について

小林　文明・岩波　越・菊地　勝弘

北海道大学理学部地球物理学教室

（昭和61年7月9日受理）

# On the Land Spout Occurred in Hiroshima-cho, Hokkaido, on Sept. 10, 1985

Fumiaki KOBAYASHI
Koyuru IWANAMI
and Katsuhiro KIKUCHI
Department of Geophysics, Faculty of Science,
Hokkaido University

(Received July 9, 1986)

A land spout occurred on September 10, 1985 along Route 36 around Ohmagari, Hiroshima - cho, near Sapporo, Hokkaido. Some damages were reported in the vicinity. On the following day, our survey team investigated the damage on the ground. Based on the survey, it was estimated that the damaged area was 1,500 m in length and 50 to 100 m in width. Further, it was estimated that the duration of the land spout was approximately 10 minutes. This was determined by the sighting reports of the inhabitants. In addition, an estimation of the wind velocity was made from four different types of damage of blown away objects using both the wind pressure method and the flight trajectory method. As a result, the calculated wind velocity was approximately 50 m/s. The obtained wind velocity corresponded to the F 1 to 2 range in Fujita's tornado scale in the United States and also it was regarded as appropriate from the situation of damages. Weather conditions when the land spout occurred showed the following characteristic features from radar echo data taken at the Sapporo District Meteorological Observatory and AMeDAS data : there were two quite different wind systems in the Ishikari plain including the spout site, one of these was the relatively cold westerly wind by sea breeze from the Ishikari Bay, another was the

relatively warm southerly wind. Therefore, it was suggested that these wind systems formed a strong wind shear line, and steep temperature gradient between both air masses. Then convective clouds were formed on the shear line. These clouds showed strong radar echoes corresponding to the precipitation intensity of more than 64 mm／hr with an echo top of 6.5 km. Therefore, it was considered that the land spout may have been caused by these strong convective clouds.

## I. はじめに

トルネード (Tornado) やダウンバースト (Downburst) などの Severe storms については，その発生原因と共に各々の現象のスケールを確認する必要がある．また近年，自然災害科学の立場から，特に気象学においては集中豪雨や竜巻など特徴的な現象の解析およびデータの保存が強く望まれている．従ってこのような現象が発生した場合には，一刻も早く現地へ赴き，被害状況は勿論現場の状況を詳細に把握しなければならない．

1985 年 9 月 10 日，札幌近郊の広島町大曲で発生した竜巻は約 22 戸の家屋に損害を与えた．また被害総額は約 215 万円と決して多くはなかったが，国道 36 号線に沿った住宅地を通過したことから目撃者なども多く，現場の状況を把握するためには好都合であった．そこで我々のグループは，翌日現地で詳しい被害調査を行い多数の興味ある資料を得ることができた．本論文では，この現地調査を基にした解析から竜巻のスケールを推定し，Fujita (1973) により提唱された米国のトルネードの分類と対比することを目的としている．また，札幌管区気象台のレーダーエコーと AMeDAS のデータなどを使い，竜巻発生時の気象状況の考察も行った．

## II. トルネードのスケールの分類

竜巻は，米国では一般にトルネードと呼ばれており，その強さの分類は何人かによって試みられている．最近では，シカゴ大学の Fujita (1973) による分類（Fスケール）が広く用いられている（Table 1）．この分類では，F0 から F5 までを示しているが，F1 がビューフォート風力階級の 12 に対応するように作られている．具体的には，$V_H=6.30(F+2)^{1.5}$ という式で風速は与えられ，式の上からでは F6 以上の分類も可能なことになるが，現実のトルネードとしては存在し得ないとされている．

Fujita (1981 a) の解析によれば，米国では 1979 年に 779 個のトルネードが報告され，その内訳はそれぞれ 270 個 (F0)，358 個 (F1)，119 個 (F2)，25 個 (F3)，7 個 (F4) であり，その80%以上が F0 ないしは F1 のストームであったことがわかる．同様に，Fujita (1972) は，我が国における台風に伴う竜巻の分類を試みている．22 年間の計 68 個の竜巻の内訳は，25 個 (F0)，25 個 (F1)，12 個 (F2)，6 個 (F3) で，F0 と F1 は全体の 74%に達している．両国の比較から，竜巻の発生数は全く異なるが，Fスケールについての発生頻度の割合が類似している点では興味深く，我が国でも米国のトルネードスケールを適用できることを示唆している．

**Table 1.** Fujita's tornado scale (1981, b). Each F scale value corresponds to the range of maximum wind speed and the damage specifications.

| F-scale | Maximum windspeed | Damage specifications |
|---|---|---|
| F 0 | 18 − 32 m/s | Light damage : some damage to chimneys, branches broken off trees |
| F 1 | 33 − 49 | Moderate damage : peel surface off roofs, moving autos pushed off the roads |
| F 2 | 50 − 69 | Considerable damage : roofs torn off frame houses, large trees snapped or uprooted |
| F 3 | 70 − 92 | Severe damage : trains overturned, heavy cars lifted off ground and thrown |
| F 4 | 93 − 116 | Devastating damage : structure with weak foundation blown off some distance |
| F 5 | 117 − 142 | Incredible damage : strong frame houses lifted off foundations and carried considerable distance |

## III. 現地調査による解析結果

### III－1．竜巻の水平スケール

今回竜巻が発生した北海道石狩管内広島町大曲は，札幌から南東約20 kmの国道36号線沿いに位置し，地形的には南に恵庭岳などの山地を控えた石狩平野南東部に当る．

翌日の現地調査は，被害の把握を主目的に，住民に対する聞き取り調査も加え，主な建築物の破壊状況から植生，アンテナの傾き具合などの軽微な被害に至るまで詳しく行われた．特に，飛ばされたり移動した物体には注意し，その移動距離などの測定を行った．

Figure 1から4には主な被害物を示してある．Figure 1は屋根が剝がされた商店で，この屋根は約30 m北にある電柱を倒してそのまま林の中に吹き飛ばされた．この商店の前の電柱も傾いていた（写真は補修後のもの）ことから強い横風が存在していたと考えられる．「屋根は浮き上って，風上側の端がもち上がりそのまま飛んだ．」という証言からも，ある程度飛び方は想像がつく．Figure 2はシャッターが引きちぎられた農家の倉庫である．この倉庫の4枚のシャッターのうち，2ヶ所が開いていたためそこから風が吹き込み，締っていた2枚のシャッターに風圧がかかってこのような結果になったと思われる．シャッターは幅3.4 m，高さ4.0 mあり総重量は140 kgであった．それが写真でも見られるように上端部で引きちぎられ，約150 m南方で発見された．地表面に痕跡がなかったことと，ちぎれて飛ばされる一部始終を見ていた目撃者が居たことで，これだけの距離を吹き飛ばされたことが確められた．Figure 3は吹き飛ばされた物置（矢印）を示している．（この写真は後日撮ったものであるが，飛ばされた物置は写真と同型である．）物置は2 m×1 m×2 mの大きさで重量177 kg，中には100 kg相当の物が収められていたことが知

**Fig. 1.** A covenience store along the Route 36 in Ohmagari which the roof was taken off.

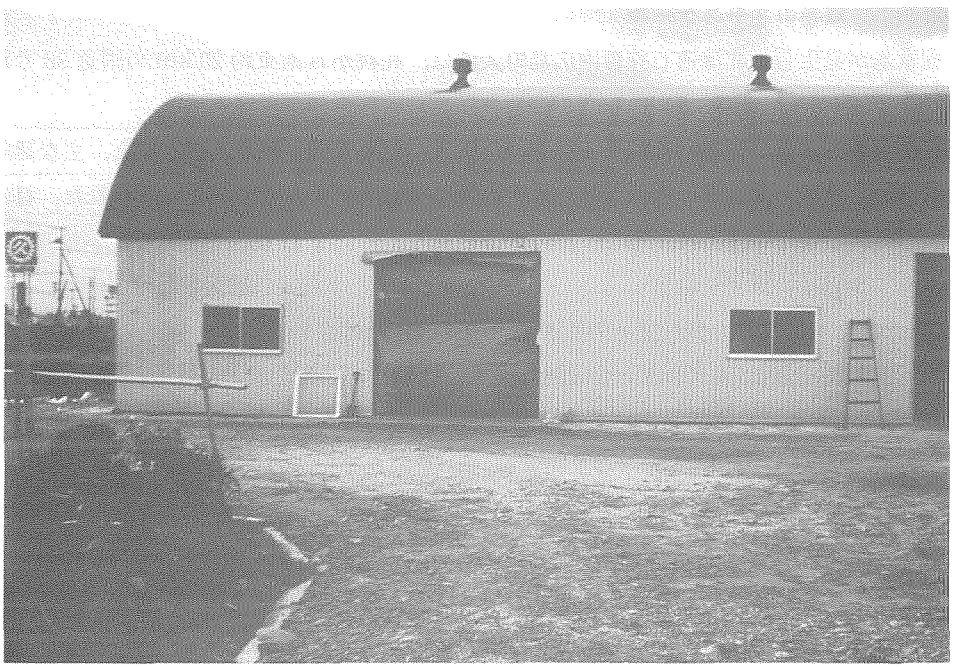

**Fig. 2.** A warehouse which two shutters were taken off and blown away.

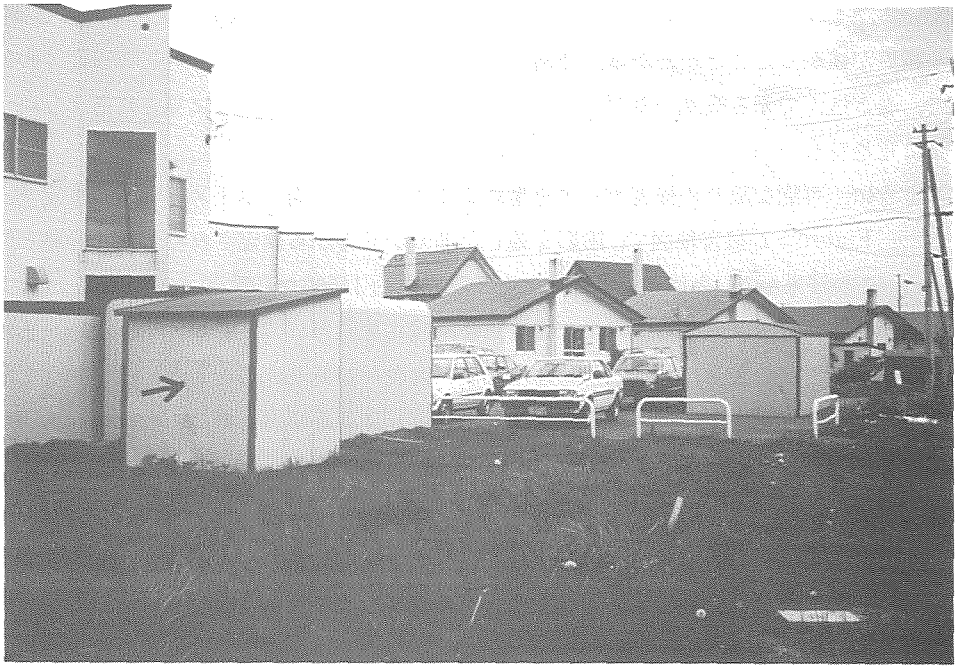

**Fig. 3.** A storage hut which was blown away and struck to another garage.
( This picture was taken after a half year of the spout event. )

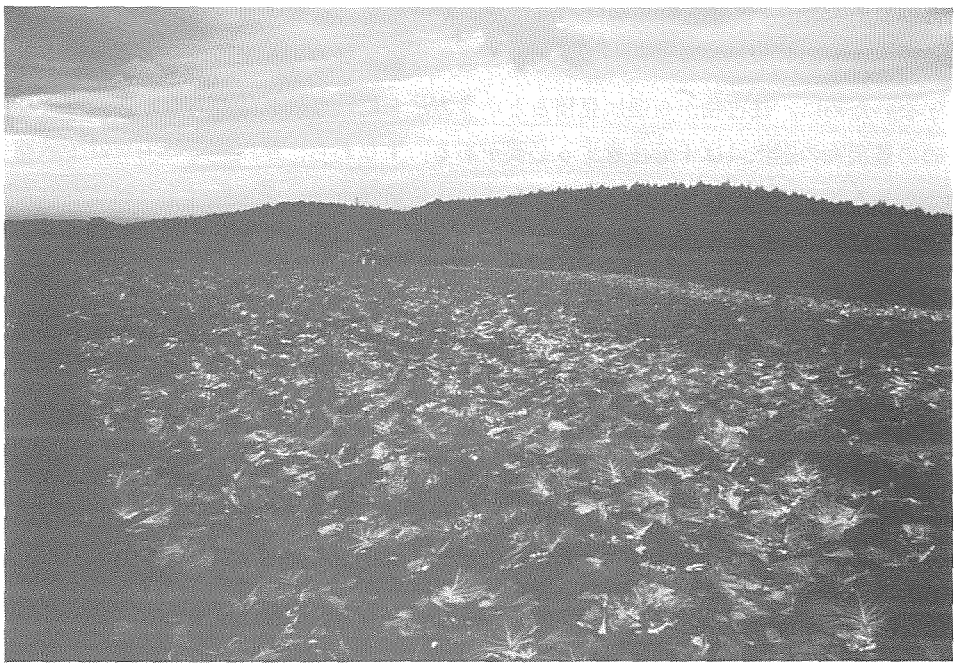

**Fig. 4.** A trace of the land spout in a cabbage field.

られている．それが北東方向に飛ばされ，約 15 m 先のガレージに激突して大破したことからも，やはり横風が強かったことがわかる．今回の調査では，竜巻の進行方向に対して後面での被害が顕著で，巻き込んで来る横風の重要性を意味している．また，Figure 4 に見られるように，キャベツ畑に竜巻特有の円形のトレースも確認された．

このように．可能な限りの被害データを集めることにより竜巻の水平スケールを推定することができた．Figure 5 が被害地図で，陰影を施した部分が被害から推定された竜巻の経路と幅を示している．この結果から，今回の竜巻のスケールは長さ約 1,500 m，幅 50 m から 100 m であったことがわかる．但し，この経路の両端が発生点と消滅点を表わしているわけではない．また幅に関しては，進行方向の右側は竜巻の移動速度と渦の速度が加算されることと，障害物がなかったことにより明確なエッジが確認されたが，反対側のエッジは確認が困難だったため，場所によって被害の幅の値が異なる結果となった．

発生時間は，竜巻の衝撃で針の止った時計，あるいは証言から，10 日 13 時 40 分前後の約 10 分間と推定された．また Figure 5 から，竜巻は多少蛇行しながら進行したことがわかる．これは，竜巻の移動した場所が，10 m 前後の起伏のある複雑な地形であったことに起因したものと思われる．

### III－2．特定の被害物から推定された風速

竜巻などの Severe storm の現象については，どの程度の風速であったのかが最も興味を持たれる問題であるが，そのスケールの大きさから通常は風速計などのある観測点を通過することが殆んどないために，被害物から逆に見積るという方法を取らなければならない．従って，推定するための被害物の選択には十分注意する必要がある．すなわち，風による外力だけで破壊されたと考えられる物を選択し，構造物内外の圧力差による破壊とか，飛来物により破壊された物体は避けなければならない．また竜巻に関しては，横風と共に吸引力も働くため，原因がはっきりしている被害物を選ぶことが必要である．

以上のようなことを考慮して，今回の解析では 4 つの異なったタイプの対象物を選び風速の計算を行った．すなわち，軽トラック，物置（Fig. 3），屋根（Fig. 1），シャッター（Fig 2）について解析したが，軽トラックについては，浮き上がると同時に横転したとの証言があり，他の物は既に述べたとおりである．軽トラックと物置には，その物体が浮き上がるために必要な風速を推定する方法 (Wolde - Tinsae et al., 1985) を適用した．また屋根とシャッターには，その飛行距離がわかっていることから，飛行の軌跡から風速を推定する Fujita（1981 b）の方法を用いた．以下に，これら 2 通りの推定方法を簡単に説明する．

前者の方法に関して，風圧 $P$ は

$$P=\frac{1}{2}\rho C_p V^2 \quad \cdots\cdots(1)$$

と表わされる．ここで $\rho$ は空気の密度，$V$ は風速である．$C_p$は持ち上げ圧力係数で，ここでは $C_p=$

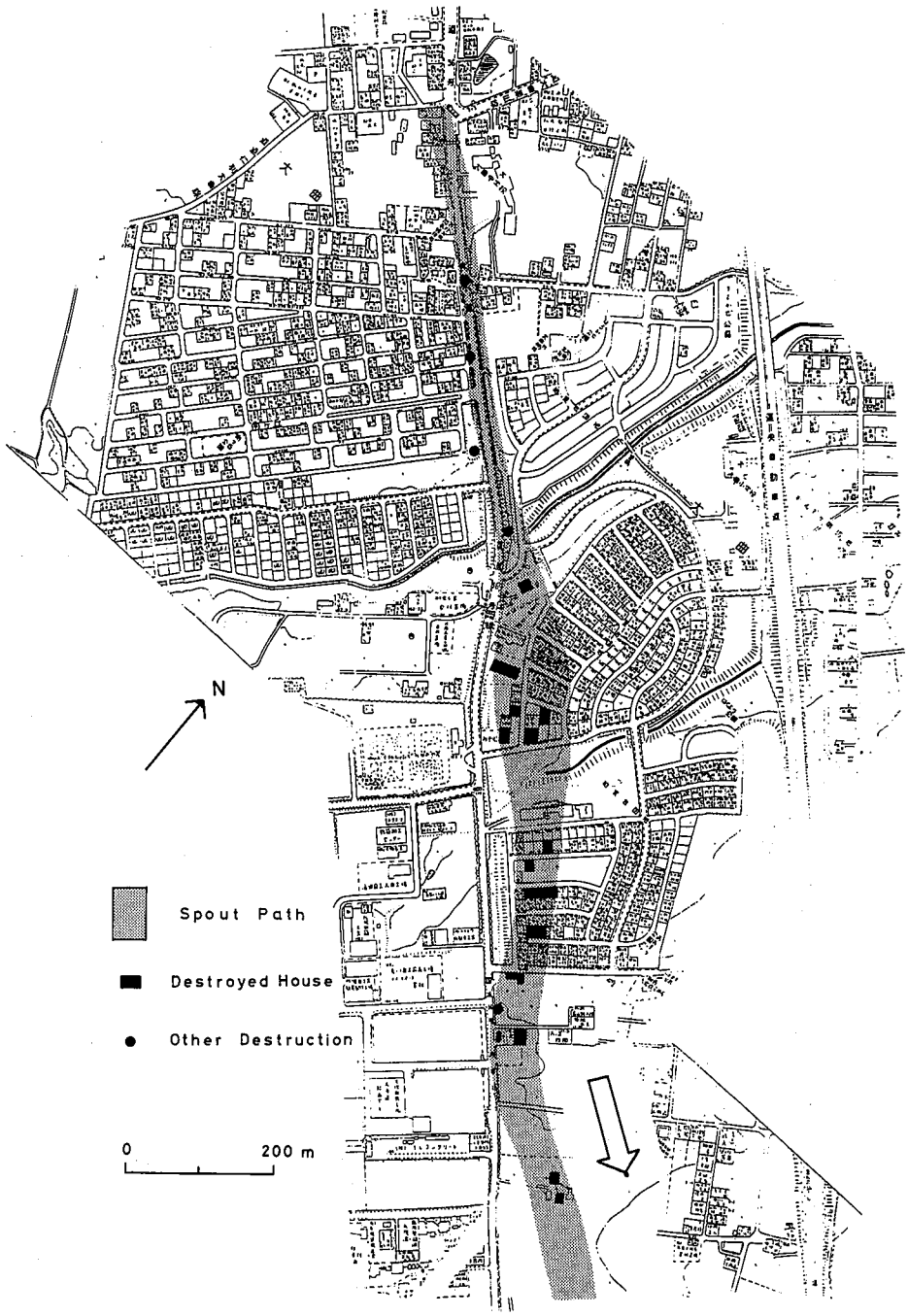


**Fig. 5.** A land spout path estimated from the destroyed objects shown by solid circles and squares. Double arrow shows the movement direction of land spout.

0.7 とした (Wolde - Tinsae et al., 1985). (1)式は結局, 物体の鉛直方向の圧力に等しいだけの風圧を作る風速を計算することを意味している.

次に飛行距離から推定する Fujita の方法について示す. これは, 最終的には風速を水平到達距離 ($X_o$) と飛び出す仰角 ($\theta$) から求める方法である. 一般に, 仰角 ($\theta$) で発射された物体は, 抵抗力が働かない場合には放物運動を描き, $t$ 秒後の水平距離 ($X$) と鉛直高度 ($H$) は,

$$X = V_0 t, \quad H = V_0 t \tan\theta - \frac{1}{2} g t^2 \quad \cdots\cdots(2)$$

となる。( $V_o$ は初速度の水平成分.) これより, 到達時間 ($t_o$) と ($V_0$) はそれぞれ

$$t_0 = \left(\frac{2 X_0 \tan\theta}{g}\right)^{1/2},$$

$$V_0 = \left(\frac{g X_0}{2 \tan\theta}\right)^{1/2} \quad \cdots\cdots(3)$$

から求められる. 抵抗力が働く現実の場合では式は複雑になり, 物体の水平速度 ($V_H$) は風速 ($W$) と抵抗力により,

$$V_H = W\left[1-\left(1+\frac{W t}{B_0}\right)^{-1}\right] \quad \cdots\cdots(4)$$

と表わされる. $B_o$ は Ballistic length と呼ばれるパラメータで物体が飛ぶ時の形状によって変化する値であり, $B_o = \frac{2}{C_D}\frac{\rho_o}{\rho} L_o$ ($C_D$ は抵抗係数, $\rho_o$ は物体の密度, $L_o$ は物体の体積を飛行中の鉛直断面積で割った値) で与えられる. 物理的には, (2)式と(4)式は異なった現象を記述しているが, ここでは両者を組合せることを考える. すなわち, 軌跡はどちらもほぼ同じであると仮定し, また飛行中の数秒間は風速は一定であると仮定すると, (4)式における到達時間も $t_o$ で代表させることができ, その結果(4)式を積分して $t_o$ で割ると物体の平均速度 ($\overline{V_H}$) を求めることが可能になる.

$$\overline{V_H} = W - \frac{B_0}{t_0} l_n\left(1+\frac{W t_0}{B_0}\right). \quad \cdots\cdots(5)$$

$\overline{V_H}$ は $V_o$ と大体一致すると考えると, 風速 ($W$) は, $t_o$ と $V_0$, すなわち $X_o$ と $\theta$ の関数になっている. $X_o$ は実測値で与えられるから, $\theta$ さえ見積れば良いことになる. 以上のことをグラフ化したのが Figure 6 で, speed-angle diagram と呼ばれる. このグラフから各 $\theta$ に対する $V_o$ すなわち $\overline{V_H}$ の値を作り出す $W$ はひと目でわかり, また $\theta$ による誤差がはっきりと出てくるのも利点である. 今回の場合, 周囲の状況から判断して, 屋根については $\theta$ は 10°から 20°, シャッターは 30°から 40°と見積られ, このことから風速は, 屋根の場合 51± 9 m／s, シャッターについては 49± 4 m／s という結果が得られた.

以上, 各パラメータと計算された風速を, Table 2 に示す. 異なった 4 種類の被害物から 2 通りの方法で推定された値が, 何れも 50 m／s 前後の近い値におさまったということは, 厳密解を求めるのではない, このような推定方法によってでも十分竜巻の風速の評価をすることが可能であることを意味している.

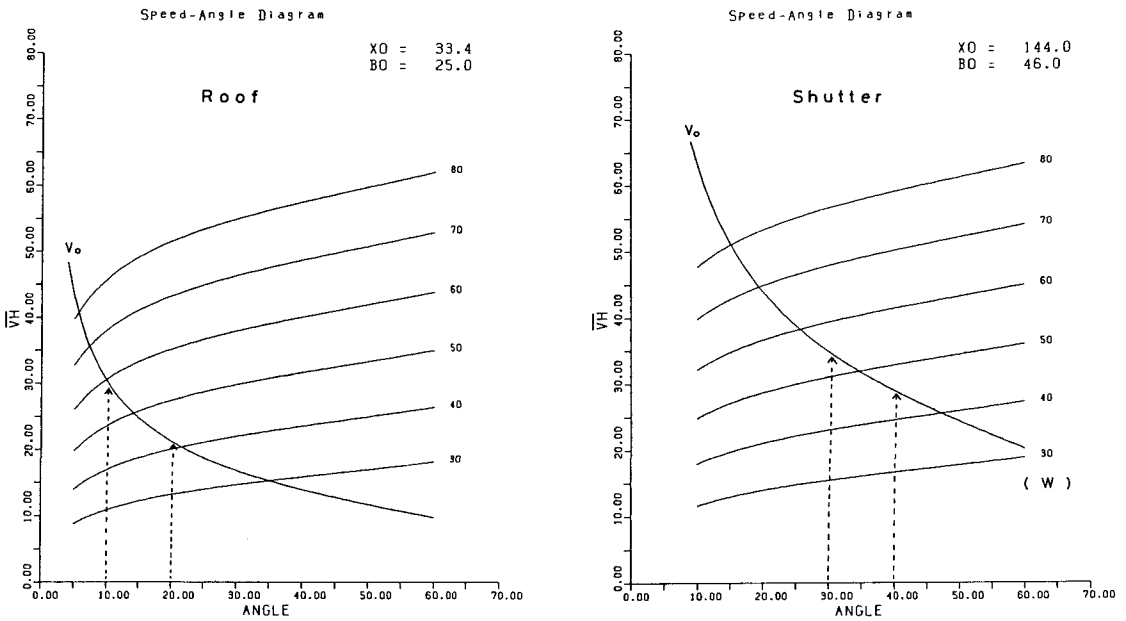


**Fig. 6.** Horizontal speed versus elevation angle diagram ( Speed-Angle Diagram ) for the estimation of the wind speed to blow the roof ( left ) and shutter ( right ).
Semi-horizontal isotachs show the mean horizontal speeds of the object induced by the laveled wind speeds ( 30 ~ 80 m/s ), and an isotach laveled ( *Vo* ) shows the initial wind speed.

**Table 2.** Factors used and calculated wind speeds obtained by the four different types of destroyed objects.

| | Truck | Storage Hut | Roof | Shutter |
|---|---|---|---|---|
| Width (m) | .1.4 | 1.9 | 12.7 | 3.4 |
| Thickness (m) | 3.2 | 1.5 | 6.0 | 0.008 |
| Height (m) | 1.7 | 2.1 | 0.05 | 4.0 |
| Weight (kg) | 600 | 177+100 | – | 140 |
| P ($N/m^2$) | 134 | 97 | – | – |
| $\rho_o$ ($kg/m^3$) | – | – | 600 | 7000 |
| $\rho$ (Air) | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| $C_P$[x] | 0.7 | 0.7 | – | – |
| $X_o$ (m) | – | – | 33.4 | 144.0 |
| $B_o$ (m) | – | – | 25 | 46 |
| $C_D$[x] | – | – | 2.0 | 2.0 |
| $\theta$ (°) | – | – | 10 - 20 | 30 - 40 |
| Calculated Windspeed | 56 | 48 | 51 ± 9 | 49 ± 4 |

[x] Assumed

## IV. 気象状態の特徴

竜巻の発生原因に関しては，積乱雲に伴う場合とか，あるいはガストフロント (Gust front) 上で発生する例 (Wilson, 1986)，その他さまざまな成因による渦現象が報告されている (Forbes and Wakimoto, 1983)．この章では，AMeDAS のデータや札幌管区気象台のレーダーエコーなどを用いて竜巻発生時の気象状況を解析し，その原因を考察する．

Figure 7 に見られるように，総観的には北海道付近は低気圧通過後の弱い気圧の谷に覆われており，GMS 画像でも北海道北部に，まとまった雲塊が認められた．また大陸には，850 mb で 0 ℃という 9 月にしては非常に強い寒気の中心が存在し，いわゆる冬型の気圧配置で上層における寒気移流が強まった状態であったと思われる．Figure 8 は札幌における相当温位の時間断面図であるが，対流圏下部での成層状態の変化が顕著に現れている．すなわち，850 mb 以下で対流不安定層が発達し，特に 10 日を境にして 900 mb から 700 mb に強い寒気の侵入が確認される．10 日 09 時と 21 時とでは，水平の温位勾配が 10 K 以上にも達しており，この日の日中における対流活動の強化を示唆している．

Figure 9 は，10 日 12 時から 1 時間毎の AMeDAS の風向風速にレーダーエコーを重ね合せたものである．この時刻以前のデータも加えて見てみると，北海道西岸の海岸線付近では明瞭な海陸風循環を示しており，図からも 12 時には海風が卓越していたことがわかる．また，北海道中部にはまとまった積乱雲群が存在していたが，石狩平野では北西から南東へエコー高度 2 km 程度の積雲がライン状に点在していたに過ぎない．ここで注目すべきことは，石狩平野で非常に強い

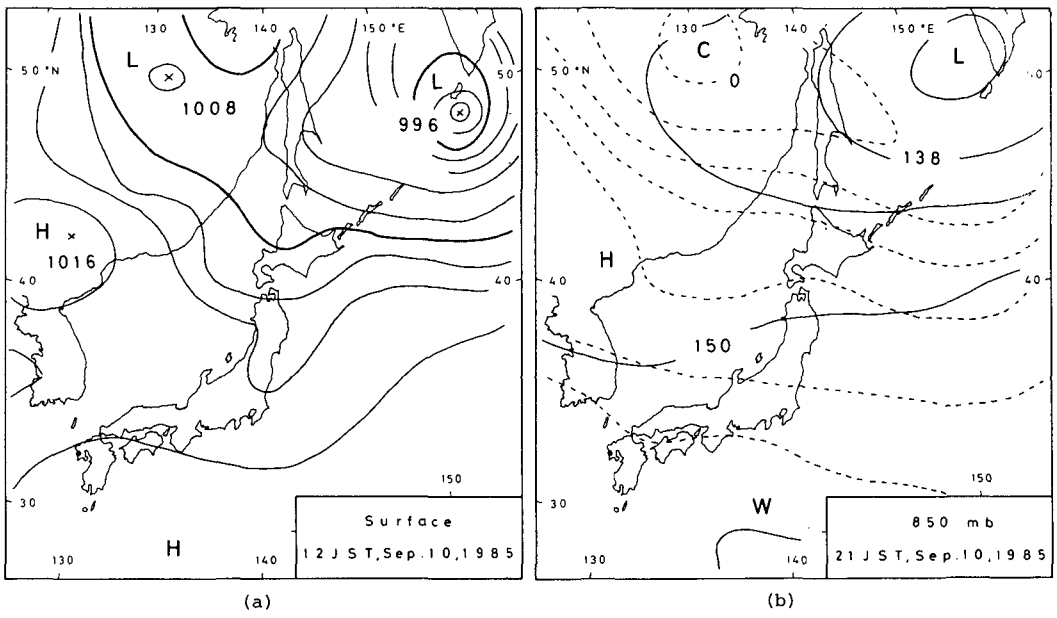


**Fig. 7.** Synoptic weather charts. (a) Surface at 12 JST. (b) 850 mb at 21 JST.

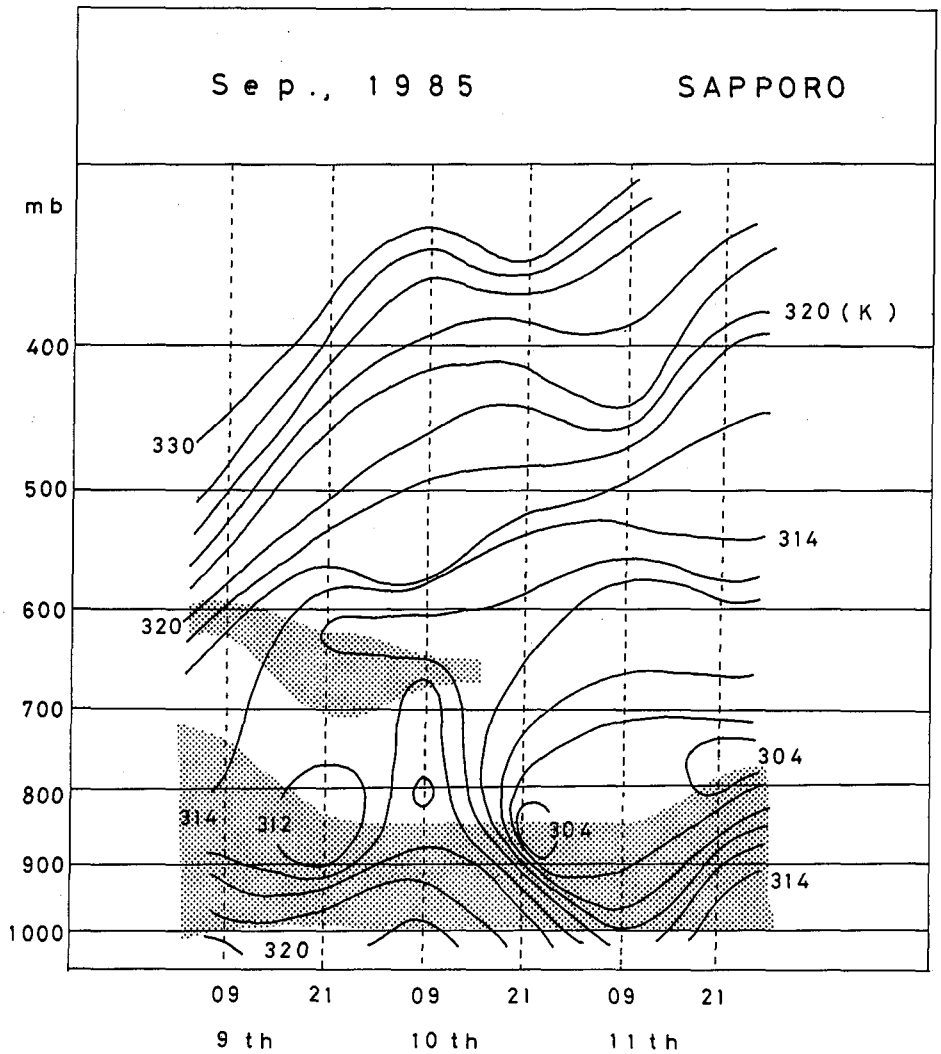


**Fig. 8.** Time-height cross section at Sapporo. Solid lines show the equivalent potential temperature ($\theta e$) and the shaded areas show convective instability zones.

南風が存在していたことである．その後13時には石狩平野上の降水エコーはその強度を増し，ちょうど海風（北西風）と南寄りの風とがぶつかった所で発達した様子がわかる．この状態は，アメリカ・フロリダ半島で過去に行われたFACE（Florida Area Cumulus Experiments）でのOkeechobee湖からの湖風である北風と観測域に卓越する東風とのシアーライン上の積雲群や積乱雲群の発生，発達の過程（Cunning and DeMaria, 1986; Cunning, Poor and DeMaria, 1986）と良く類似していることがわかる．さらに竜巻発生後の14時には，ライン状エコーの様相を呈し，発生地点の西には，エコー高度6.5 km，降水強度64 mm／h以上の最も発達した降水エコーが存在していた．この石狩平野における風系とエコーとの関係をさらに明確にするために温度場との対応を考えてみる．Figure 10に示したように，周囲に対して相対的に気温の高い所と低い所をそ

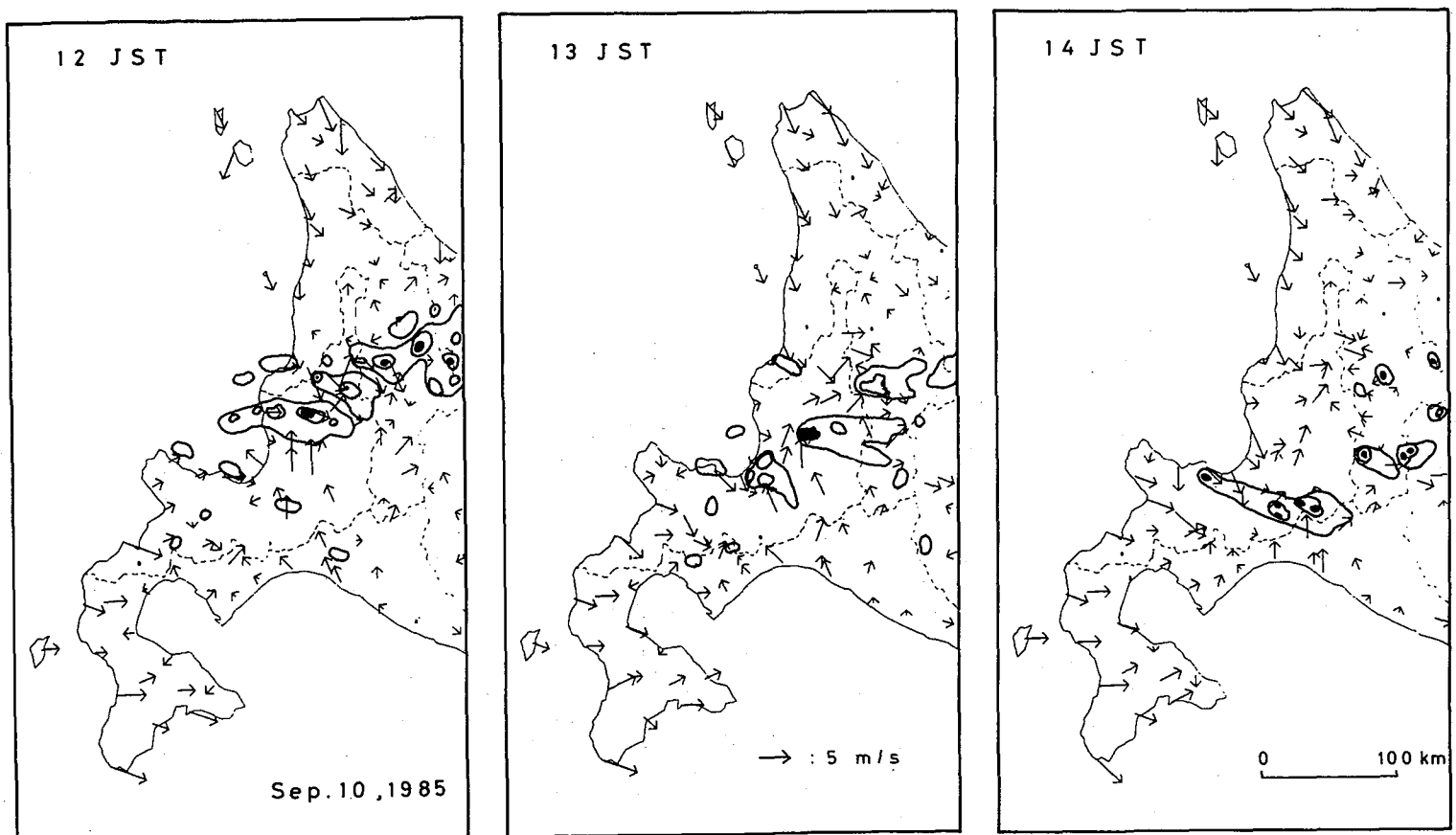


**Fig. 9.** Local weather charts of wind speed and direction (arrows) and radar echoes. Precipitation intesities by radar are shown by weak ( $<$ 4 mm/h ), moderate (4 $\sim$ 16 mm/h ) and strong ( $>$ 16mm/h ), respectively.

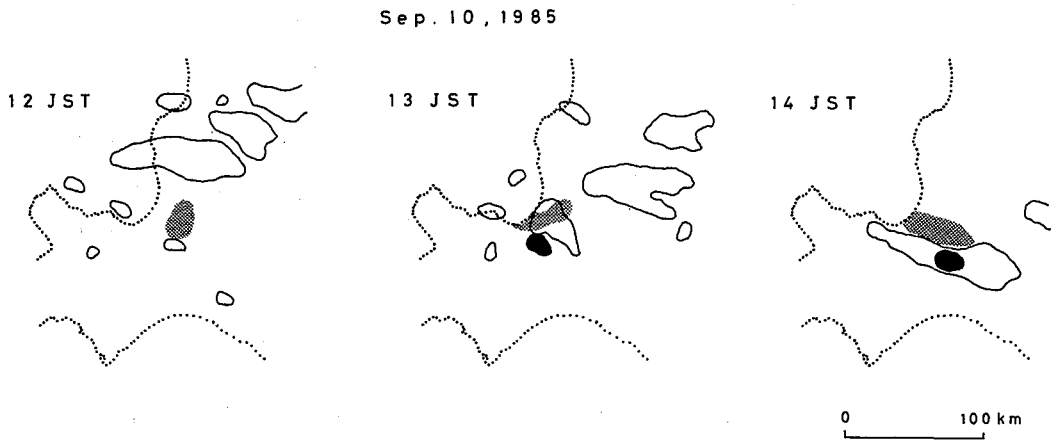


**Fig. 10.** Surface air temperature fields overlapped radar echoes. Shaded and solid areas show relatively cold ( < 21 ℃ ) and warm ( > 24 ℃ ) regions.

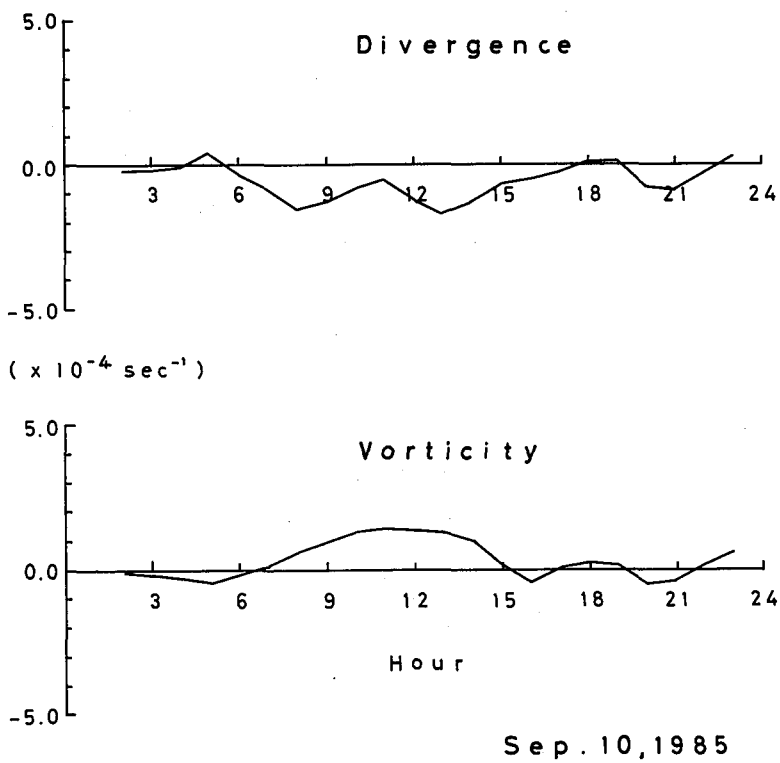


**Fig. 11.** Time variations of divergence (top) and vorticity (bottom) calculated from three AMeDAS stations of Sapporo (14161), Nishi-Nopporo (14171), and Eniwa-Shimamatsu (14206).

れぞれ24℃以上，21℃以下とすると，北西からの相対的に低温の海風と，高温の南風の衝突した石狩平野中央部では顕著な温度勾配が存在していたことがわかる．そして降水エコーは，この二つの異った風系の作るシアーライン上で形成され発達したと考えられる．

最後に，竜巻発生地点を含む札幌，西野幌，恵庭の3角形領域での発散と渦度を計算し，3時間の移動平均をとった結果を示す (Figure 11)．図から明かなように，竜巻発生時 (13時40分) の6時間以上前から，下層での収束，正の渦度場が続き，竜巻を形成したと思われる積乱雲の発生には条件の良い場が続いていたことがわかる．

## V．考　　察

今回の竜巻の解析においては，その風速を見積る試みがひとつの目的であり，III章で述べたようにある程度満足できる値を得たことは意義深い．竜巻の連続写真や観測データがない場合は，被害物から推定することを余儀なくされるが，今回異なった4種類の特定の被害物から計算された値が50 m／s前後の近い数値であったことは，竜巻自体は複雑な風の場を有しているものの強い横風を受け移動，あるいは飛ばされたという特定の物体を選べば，上記の比較的簡便な方法を用いて風速を推定できることを意味している．

この推定に当たっては，各パラメータ，特に重量と $L_o$ には見積られる最小値を用いて，over-estimateしないように心掛けた．実際，物置については，飛行距離が確かでないことから風圧法を適用したが，実測値の2倍の約30 m飛ばされたと仮定すると55± 8 m／sという風速が得られた．またシャッターに関しては，倉庫内外の圧力差による力が加わったこと，あるいは一般に平板状の物体の飛び方は複雑であるように，具体的な飛び方が不明であるなどの問題点があり、推定に用いる対象物としてはあまり好しいとは言えない．しかしながら，シャッター自体の耐風強度から，たわみに必要な風速を試算してみると，30 m／sという値が得られ，これはTable 2の値を否定するものではない．

このように，推定された風速は妥当であると考えられ，今回の竜巻では少くとも50 m／sの風速を伴っていたと言うことができる．この値はFujitaスケールでF1からF2に相当し，被害状況の特徴も一致したことから，ある範囲の風速に対しては特定の被害物が顕在化することを裏づけている．これらのことから，今回の竜巻については，風速が50 m／s程度で，そこから引き起こされる特徴的被害は軽トラックの横転や屋根の剝ぎとり，200～300 kg程度の物体を吹き飛ばす規模だったと結論することができる．

次に竜巻の発生原因について考えてみる．前章での解析結果から，海風と南風のシアーライン上で発生した積乱雲に伴って形成された竜巻であることが議論されたが，何故大曲付近で発生したのか考える必要がある．この日は，海風が石狩平野に侵入して来たことに加えて，09時頃から石狩平野の内陸部に卓越した南風が重要な役割を果していた．この強い南風の成因については，北海道中央部に存在したと考えられる低圧部への吹き込みと解釈することができる．解析における水平スケールの分解能の悪さから発生場所に関する詳しい議論は無理であるものの，シアーラ

イン上で温度勾配の大きかった領域と大曲付近の地形特性が重なった結果だと言うことができる．この付近の住民の話しによると，昔から「大曲のつむじ風」と形容されるように以前にも竜巻が発生した場所であり，竜巻発生のトリガーとなる地形が存在することが推測されるからである．そこで，地形図を見ると大曲の南西には300 m前後の小高い2つの山が控えており，Idso (1975) やBergen (1976) が指摘しているように，南風にとって障害物となるこの山により渦の立ち上がり効果が強化され，竜巻発生のトリガーとして働いたという仮説が考えられる．このよ

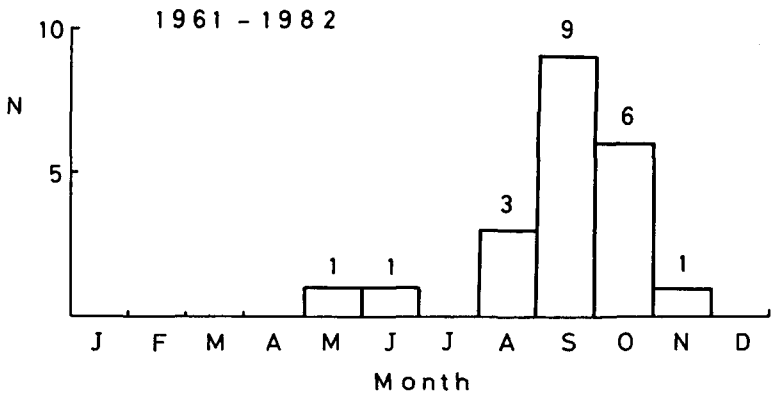


**Fig. 12.** Monthly frequency of spouts reported in Hokkaido from 1961 to 1982.

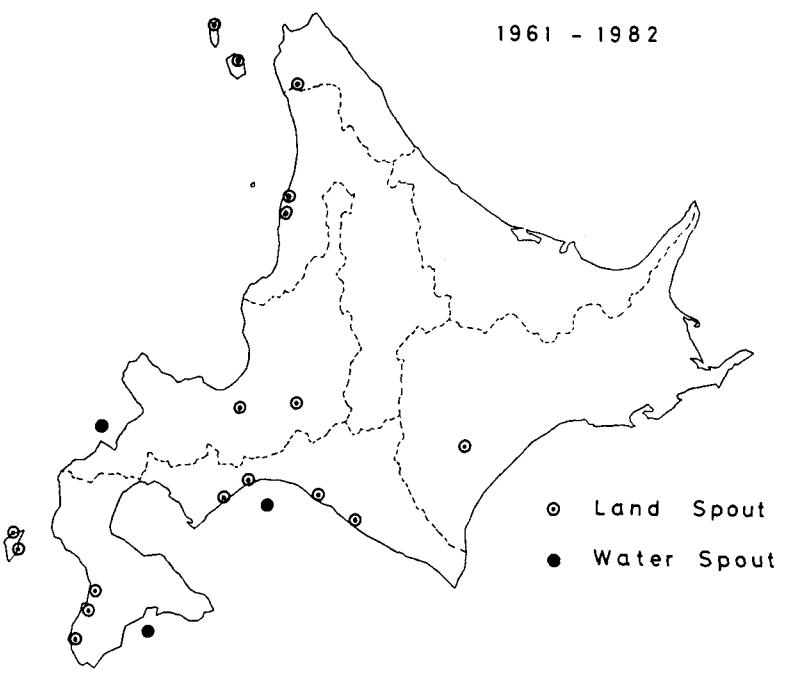


**Fig. 13.** Geographical distributions of spout reported in Hokkaido from 1961 to 1982.

うな場所による発生特性を考えるために，最後に北海道における竜巻発生の統計的特徴を調べてみる．

Figure 12 は，22 年間に報告のあった 20 個の竜巻に関する月別発生頻度であり（自然災害科学総合研究班，1983），9 月前後に集中していることがわかる．本州でもこの時期に発生する割合が多いが，その成因は，本州では台風などに伴う場合が多いのに対して，北海道ではそのほとんどが，低気圧あるいは前線通過時である．これらの竜巻の発生場所の分布を示したのが Figure 13 であり，その大部分が西部の海岸線沿いで発生しており，今回のように内陸部で発生したのはどちらかと言えば数少ない例に当ることがわかる．海岸線では，陸と海の粗度や熱容量の違いがトリガーとなり竜巻が発生し易いと考えられるが (Gentry, 1983)，一方内陸でも今回の例のように，シアーラインの存在とか地形の影響などといった条件が整えば竜巻が形成されることを意味している．

## VI. 結　　論

1985 年 9 月 10 日，北海道石狩管内広島町大曲で発生した竜巻は，翌日の現地調査を基にして解析した結果次のようなスケールを有していたことが明かにされた．すなわち，被害を与えた水平スケールは，長さ 1,500 m，幅 50 m から 100 m，ライフタイムは約 10 分であり，異なるタイプの被害物から風圧法と軌跡法の 2 通りの解析法を用いて推定された風速は約50m／sであることがわかった．この計算された風速値は，Fujita スケールで F1 から F2 に相当し，また被害の特徴もこの分類と良い一致を見たことから，Fスケールの適用の妥当性，解析された風速値の信頼性が確められた．

竜巻の成因については，温度場や風のデータ，あるいは降水エコーを組合せることにより，相対的に冷たい北西方向からの海風と，暖い南風とのシアーライン上で，しかも温度勾配が最も大きな領域で形成された積乱雲に伴って発生した竜巻であると考えることができる．

謝辞　今回の解析に際し，レーダーのデータを提供して頂きました札幌管区気象台ならびに，現地調査時に協力して下さった広島町役場大曲出張所の阿知良信夫所長に深く謝意を表します．

なお，この研究の一部は昭和 61 年度日本証券奨学財団研究調査助成金「マイクロスケールの気象擾乱の動態に関する研究」によって行われたものである。

## 文　献

BERGEN, W. R., 1976 : Mountainadoes: A Significant Contribution to Mountain Windstorm Damage ?. *Weatherwise,* **29,** 64−69

CUNNING, J. B., and M. DEMARIA, 1986 : An Investigation of the Development of Cumulonimbus Systems over South Florida. Part I : Boundary Layer Interactions. *Mon. Wea. Rev.,* **114,** 5−24.

CUNNING, J. B., H. W. POOR and M. DEMARIA, 1986 : An Investigation of the Development of Cumulonimbus Systems over South Florida. Part II : In - Cloud Structure. *Mon. Wea. Rev.,* **114,** 25−39.

FORBES, G. S., and R. M. WAKIMOTO, 1983 : A Concentrated Outbreak of Tornadoes, Downbursts and Microbursts, and Implications Regarding Vortex Classification. *Mon. Wea. Rev.,* **111,** 220−235.

FUJITA, T. T., 1973 : Tornadoes Around the World. *Weatherwise,* **26,** 56−83.

FUJITA, T. T., 1981a : Tornadoes and Downbursts in the Context Generalized Planetary Scales. *J. Atmos. Sci.,* **109,** 1511−1534.

FUJITA, T. T., and R. M. WAKIMOTO, 1981b : Five Scales of Airflow Associated with a Series of Downbursts on 16 July 1980. *Mon. Wea. Rev.,* **109**, 1438−1456.

FUJITA, T. T., K. WATANABE, K. TSUCHIYA and M. SHIMADA, 1972 : Typhoon - Associated Tornadoes in Japan and New Evidence of Suction Vortices in a Tornado near Takyo. *J. Meteor. Soc. Japan,* **50,** 431−453.

GENTRY, R. C., 1983 : Genesis of Tornadoes Associated with Hurricanes. *Mon. Wea. Rev.,* **111,** 1793−1805.

IDSO, S. B., 1975 : Whirlwinds, Density Currents, and Topographic Disturbances : A Meteorological Melange of Intriguing Interactions. *Weatherwise,* **28,** 61−65.

自然災害科学総合研究班, 1983：竜巻など瞬発性気象災害の実態とその対策に関する研究. 自然災害特別研究成果, 資料編, 105 pp.

WILSON, J. W., 1986 : Tornadogenesis by Nonprecipitation Induced Wind Shear Lines. *Mon. Wea. Rev.,***114,** 270−284.

WOLDE - TINSAE, A. M., M. L. PORTER and D. I. MCKEOWN, 1985 : Windspeed Analyses of Tornadoes Based on Structural Damage. *J. Climate Appl. Meteor.,* **24,** 699−710.