

## 竜 卷

関 谷 溥\*

### § 1. は し が き

竜巻というのは写真の様に普通雲の底から細長く伸びた黒雲すなわちロート雲のことで、この中では空気が軸のまわりを非常に速く廻転している。又この様な名前は雲からたれ下ってうねり乍ら動いている格好が独特で、しかも、時々想像もつかない様な被害を与え、池や湖の水を吸上げたりするので、昔から池や湖に住んでいた竜が昇天して行くかの様に考えられていたからである。

例えば読本朝通鑑を見ると久安3年7月21日(1147年8月16日)京都に起った竜巻の記事に次の様なことが書かれている。

「大雨雷電有雲覆天其形似獸尾升降、或曰、勸修寺池竜昇天也」と、これは雷雨を伴う大雨の最中に竜巻が発生したことを物語っている。竜巻の弱いものは実際には相当に発生している様であるが寿命が短いことと、現象が局部的である為経験することも少く一般的には珍しい現象として扱われている。しかし次節以下で述べる様に竜巻の内部では風速が極めて大きい場合が多いので其の構造は充分承知して置く必要がある。

### § 2. 竜巻と類似の現象

竜巻は前述の様に雲の底から降りて来るロート雲であるが、天気図に現われる低気圧は高さに比べて半径が著しく大きいのに対して、竜巻では半径より高さの方が大きい渦巻である。この様に細長い渦巻には旋風、塵旋風等の他、外国にはトルネード(tornado)とか、ダストデビル(dust devil)等と呼ばれる現象がある。旋風は竜巻に比べて大体半径もやや細く風速も弱い。従って一般にロート雲を伴わない。旋風と竜巻の区別はロート雲のあるか否かで分類すればよいと思われる。塵旋風は街角や運動場等で天気が良く風が強い日に見かける極く小さい渦巻で、風速は弱く砂塵を捲き上げる程度のものである。トルネードの語原はスペイン語でアフリカ海岸に起る嵐につけられた名であったが、近頃は専らアメリカ合衆国中央部及び南東部等の諸州に発生する極めて猛烈な渦巻の名前となってしまったもので、他の国の竜巻に比べると半径、風速寿命等が一段と大きく被害等も遥か

に大きい。従って竜巻と同じ様なものではあるが独特の性質をもったものである。

その他外国では海に出来る竜巻をウォーターズバウト(waterspout)といい、砂漠や大陸の大草原等で発生する大規模な旋風をダストデビル又はダストフェール(dust whirl)という。

### § 3. 竜巻の本質

竜巻のロート雲は、時には水、塵埃等を含んでいることもあるが、一般には空気中の水蒸気が凝結して出来た雲である。すなわち中心付近では回転がはやい為気圧が下るので、断熱膨脹的に気温が下るためである。したがって湿度が小さいか、回転が遅い場合はロート雲は発生しない。旋風が竜巻に比べて一般に風が弱いのは其の為である。

それでは強い回転運動によって中心の気圧がどの位下るかを求めて見よう。

竜巻は一般に半径が小さいので、その中の風は旋衡風であると仮定すると

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{v^2}{r} \dots\dots\dots(1)$$

となる。但し  $r$  は竜巻の中心軸からの距離、 $p$  と  $\rho$  はその気圧と密度、 $v$  は切線速度である。今ウェーゲナー(A. Wegener) やレッツマン(J. Letzmann)<sup>1)</sup> の様に空気を非圧縮とし、気圧を mm-Hg、 $r$  を m、 $v$  を m/sec で示すと (1)の式は

$$\frac{\partial b}{\partial r} = a \frac{v^2}{r} \dots\dots\dots(2)$$

となる。但し  $a=0.0097$  である。又  $v$  と  $r$  の関係を  $vr^n = C \dots\dots\dots(3)$

と置き、(2)を積分し、竜巻の心核部では  $n$  を  $n_i$ 、但し、 $n_i < 0$ 、又  $r=0$  の所の  $b$  の値を  $\beta$  とすると、

$$b - \beta = -\frac{a}{2n_i} \frac{C_i^2}{r^{2n_i}}$$

$vr^{n_i} = C_i$  とおくと

$$b - \beta = -\frac{a}{2n_i} v^2 \dots\dots\dots(4)$$

又外套部では  $n$  を  $n_a$ 、但し  $n_a > 0$ 、且つ  $r = \infty$  で  $b = 760\text{mm}$  とすると

\* 軽井沢測候所

$$760 - b = \frac{a}{2n_a} \frac{C_a^2}{r^{2n_a}}$$

$v r^{n_a} = C_a$  を代入すると

$$760 - b = \frac{a v^2}{2n_a} \dots\dots\dots(5)$$

全体の気圧の降下は心核部と外套部における降下の和であるから

$$760 - \beta = \frac{a v^2}{2} \left( \frac{1}{n_a} - \frac{1}{n_i} \right) \dots\dots\dots(6)$$

今  $n_i = -1, n_a = 3, v = 80 \text{ m/sec}$

とすると

$$760 - \beta = \frac{0.0097 \times 80^2}{2} \times \left( \frac{1}{3} + \frac{1}{1} \right) = 41.3 \text{ mm}$$

$$\therefore \beta = 718.7 \text{ mm}$$

となる。

しかし実際には竜巻は余りにも局地的な現象である為に、日本では中心附近の気圧の観測が殆んど見当らない。従って風速と中心気圧の関係を実証することは仲まむずかしい。

しかしアメリカではこの様な観測が不確実年々2, 3あるので参考迄に述べて見よう。

1896年5月27日に St. Louis を襲ったトルネードは大被害を齎したが、その時 Richard Klemin という人の息子はストームが頭上を通過してゆく最中に家の中でアネロイド気圧計の針が真直に下降するのを見ていた。この針の位置はいつもと非常に違っていたので、その読みを地方気象局の局長であった H. C. Frankenfield に報告した。局長はすぐに気圧計を検定し、色々な補正をして更に海面更正行った所 26.94 吋を得た。この値は mm-Hg に直すと 684.3mm-Hg となるので、丁度室戸台風の時に観測された日本に於ける最低気圧と一致する。周囲の気圧がどの位であったかは不明であるが、760mm-Hg とすると 75.7mm-Hg 下降したことになる。

又 1904年8月20日<sup>2)</sup>に Mineapolis を襲ったトルネードがあるが、その時は経路の中心附近にいた人の観測によると、アネロイド気圧計が23時迄下ってすぐにもとの読みに戻ったことを報告している。この気圧計は気象局で検定され補正值が求められた。

そして mm-Hg に直すと 584.2mm-Hg となる。この低い読みはその実際の気圧か、海面に更正した気圧がどちらかわからないが、Mineapolis の高度が 850 フィートしかないので読みに誤差がなければ 600mm-Hg 前後の値となる。この値は大体トルネードの為に150mm-Hg 前後の圧が下降した勘定になる。

気象観測所の気圧計に記録されたものとしては、1951年7月20日に Mineapolis の Wold-chamberlain 飛行場にある気象局事務所の自記気圧計の記録がある。この場合は中心がその上を通ったわけではないが、非常に近くを通った場合のもので、気圧の下降は 0.3 インチ (7.6 mm-Hg)、その時の最大風速は 92mile/h で 6分後に風

速計が吹飛んでしまった。

以上の3例は多少の誤差は伴うにしても、竜巻等の通過の時に得られた数少ない観測資料である。しかし問題なのは日本の場合等では通過する時間が一般には数秒程度と考えられるので、気圧計の構造上特殊なものでない限り、現在のものでは正しい観測が不可能であると思われる。

しかし風の場合は被害の跡からも大体見積ることが出来るし、気圧よりはある程度それに近い推定を与えることが出来る。日本附近の竜巻に伴う最大風速はこの様な調査からすると普通 50m/s 乃至 100m/s 内外のことが多い。

昭和30年10月18日23時17分に銚子に起った竜巻について筆者は次の様に求めて見た。すなわち

竜巻の進行速度を  $U$  とすると、円形の normal cyclone では合成速度は平行運動の速度  $U$  と廻転速度を加えたものである筈なので、N. Shan の研究の様に<sup>3)</sup>、一点の廻りを角速度  $\zeta$  で廻転する円板が其の面内で平行運動の速度  $U$  で移動する時は瞬間的な静止点が存在する。

その点は  $O$  点の真左にあって  $\overline{OO'} = \frac{U}{\zeta}$  である。(第1図) 今毎時間の天気図を特別に作って  $U$  を求めて見ると、

$$U = 100 \text{ km/h} = 28 \text{ m/sec}$$

被害から  $\overline{OO'}$  を求めて見ると

$$\overline{OO'} = 10 \sim 15 \text{ m}$$

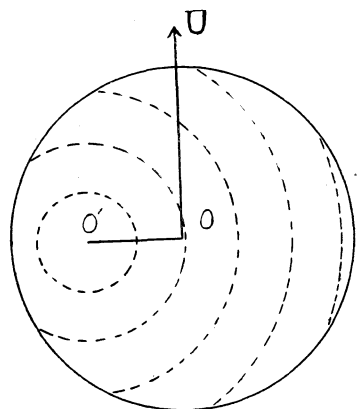
従って  $\zeta = 2.8 \text{ sec}^{-1} \sim 1.9 \text{ sec}^{-1}$

又  $r\zeta = v$  であるから

最大被害域  $r = 30 \text{ m}$  から

$$v = 30 \text{ m} \times (2.8 \text{ sec}^{-1} \sim 1.9 \text{ sec}^{-1}) = 84 \text{ m/sec} \sim 57 \text{ m/sec}$$

勿論これは多少の誤差を伴うけれども大体近い値であろうと思われる。



第1図

銚子の竜巻の被害については第2図に詳しく調べられているが、筆者の調査でも建物の倒伏方向が大部分SSWの風で倒れていて、廻転運動の進行左半円の被害が非常

にわずかにしか現われていないのは、この場合竜巻の移動速度が 28m/sec という様に非常に早かった為、右半円では南寄の風が 100m/sec 以上に達したであろうことからも推定出来ることである。

そのほかトルネード等に伴う風速は日本の竜巻等よりも強い場合が多いといわれている。

例えば 1947 年 4 月 6 日 Texas 州の Panhandle に於けるトルネードの研究によると廻転風は前進右側で 454 mile/h に達したという見積りが報告されているし、1951 年 5 月 30 日に Nebraska の Scottsbluff のトルネードでは、通過後に一つの豆が殻が破れずに卵の中に 1 インチの深さにささっているのが見つけられたという様な記録もある。この時の風速がどの位かはわからないが、相当強いものであることは想像しがたくないのである。兎

又この様な気圧の降下が起るとそこにある空気は断熱膨脹し雲が発生する。今気温と湿度の色々の値に対してロート雲が出来る為に必要な気圧と風の関係を求めて見ると第 1 表の様になる。

第 1 表 ロート雲が生ずる為の気圧降下及び最大風速

温度	90	80	70	60	50
気圧降下 30°C	25.2	53.2	80.2	120.0	161.0mb
20	22.7	49.3	78.7	112.0	149.3
10	22.4	46.3	72.8	103.6	138.3
最大風速 30°C	64	91	113	137	157m/sec
20	60	87	111	133	153
10	59	85	107	129	146

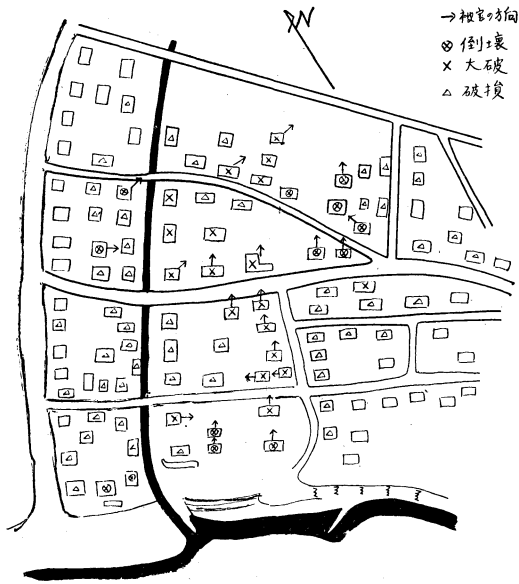
この表からもわかる様に湿度が小さい時は著しく風が強くなければロート雲は出来にくい。一般に雲からロート雲が垂れ下って途中で切れている様に見えるのは大気中では雲層から下方に向かって温度が小さくなっていることと、摩擦が上層から下層に向かって増加する為、上層では下層に比べてロート雲が発生し易い為であろうと考えられる。

海上の竜巻等では往々にして雲から垂れ下ったロート雲が途中で見えなくなって海面の水しぶきで存在を確認することもある。従って雲から地面や海面にロート雲が連なっている様な場合は竜巻が強い証拠である。

しかし乍ら地面や海面附近のロート雲は雲の外に海水を吸上げたり、時には家を捲き上げたりして可成り太くなって見える場合が多い。例えば銚子の竜巻の場合も夜中の為に見た人はなかったけれども、海岸にあった数トンもある船が 100 米も飛ばされ、又屋根がバラバラになって数百米も速くに運ばれたりしている。この様な現象が起るのは地面摩擦の為に廻転運動が弱まり、従って遠心力がそれと共に小さくなり、強い気圧傾度と釣合が保てなくなって、中心に向って吹込む強い収斂気流を生じ、これが上昇気流になったものである。

竜巻の通過の際大雨が瞬間的に降ったり稲妻が起ったり建物が瞬間的に倒れたりするのも強い廻転運動による摩擦や風圧等の他にこの様な上昇気流が大きく影響している為と考えられる。

尙ロート雲の直径は昭和 23 年 8 月 2 日 11 時 10 分に川崎で発生した竜巻が 10m 内外であり、日本に於て観測された竜巻では大きいものでも 20m 内外である。外国の例ではニュージーランドの竜巻は平均 20 ヤードとなっているから大体日本のそれに近い値である。しかしアメリカのトルネードは 30~50m が普通で特に大きいものは 500m に達するものがあるといわれている。被害の中は川崎の場合が広い所で 200m で、平均すると 100m 位、銚子の場合が 150m 位、ドイツでは平均 192m、アメリカでは 400m から大きいものは 3000m に及ぶものがある。



第 2 図 銚子の竜巻の時の名洗町の被害状況 (銚子測候所調査) (昭和 30 年 10 月 18 日 23 時 17 分)

に角アメリカでは、風速が 200mile/h から 300mile/h に達するものも可成りある模様である。しかし平均値としては 100~200mile/h 程度で、日本のものに近い様である。日本の竜巻で 200m/sec 程度のものがあつたという報告は聞いたことがないが、将来は起るかも知れないし、アメリカのトルネードは構造が多少違うのかも知れない。

この様に大きな廻転風が起れば当然中心気圧も低くなり、例えば最大風速が 60m/s~80m/s とすると、前の式から中心示度は 979mb~955mb となる。これは丁度日本に来る可成り強い台風と同じ位で、これが直径 50m~100m 位の範囲で起るのだから気圧傾度は大したものである。

るといわれている。ニュージーランドは南北半球の差こそあれ、地形的に日本によく似た位置にあるが、この竜巻の被害巾は100m位が普通で大きいものでも200~300mで、日本と非常によく似ているのは面白い。其の他廻転方向では渦巻が小さい為に、北半球でも時計廻りのものも、半時計廻りのものもある。しかし何れになるかは発生機構と関係があるらしく、日本では前線に発生するものでは今迄時計廻りのものは報告されていない。しかし、南洋の様な気圧傾度の弱い所で発生するものや、高気圧圏内で発生する竜巻のうちには時計廻りのものもある。このことはアメリカでも同じ様であり、トルネードは殆んど前線に伴って発生するので廻転方向は一般に反時計廻りである。

移動速度は銚子の竜巻は可成り早かった模様であるが一般には10m/s~15m/s位のものが多く、川崎の竜巻は始め5m/s位で後次第に早くなり最も早い所で15m/s程度であった。

アメリカのトルネードは遅いものは2~3m/sから普通は20~25m/sであるといわれている<sup>6)</sup>。移動の方向は前線に発生するものは、多少は蛇行するが比較的直ぐ動く傾向があり、高気圧圏内で起るものや、南洋地方等の低緯度で発生するものは不規則な経路をとる傾向がある。此の点台風等の移動と非常によく似ている。昭和19年3月23日の11時40分頃に高層気象台の構内で発生した旋風はサイクロイド曲線を描いたことが北岡氏によって報告されている。

移動距離は竜巻の寿命と関係することではあるが2~3kmが普通で、時には4~5kmに達するものもある。此の点アメリカのトルネードは規模が大きく、Martinが各地のトルネード約1000例について統計した結果によると13.4哩であった。又1950年に起ったトルネード209例についての平均は12哩で、地域的には平野部よりもロッキー山の山寄りの方が短いことが知られている。それは摩擦の影響や、エネルギー源である水蒸気の問題等も関係している為と思われる。記録上のものとしては、1917年5月26日にIllinois州のMattoonで起ったもので其の被害は293哩に達した。日本の竜巻の寿命を比較的確かな観測に基く34例について調査して見ると第2表となる<sup>7)</sup>。

第2表 竜巻の寿命 (1926-1948)

寿命	10分以内	10-20	20-30	30-40	40-50	50<
回数	21	9	2	1	1	0

§ 4. 竜巻の発生

竜巻は前述の様に同じ廻転運動でも結果的にはある早き以上に達して、しかもロート雲が現われないと人の目につかないし、地域的にも時間的にも極めて局所的な現象である為に、発生に対する統計的取扱は可成り面倒な

ものである。しかし大体の傾向は或る程度掴むことが出来るであろう。筆者<sup>8)</sup>はこの様な意味で日本の竜巻についてあらゆる資料を収集して調べた所、月別には第3表時間別には第4表、地域別には第5表、発生原因別には第6表の様になっていることがわかった。

第3表 竜巻の発生回数の年変化 (1926~1948)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
回数	3	3	8	0	2	3	5	9	14	5	4	7

第4表 竜巻発生の日変化 (1926~1948)

時刻	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
発生率 (%)	-	-	3	8	10	11	25	18	16	1	7	1

第5表 地域別竜巻発生回数 (1926~1948)

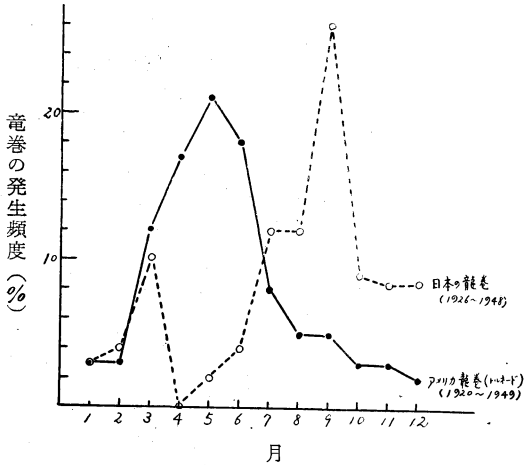
地域	本州沿岸	本州太平洋岸	九州	四国	瀬戸内海	本州内陸	伊豆諸島	琉球	北海道	支那沿岸	内南洋
回数	21	13	8	4	3	7	5	19	3	4	2

第6表 竜巻発生の原因 (1926~1948)

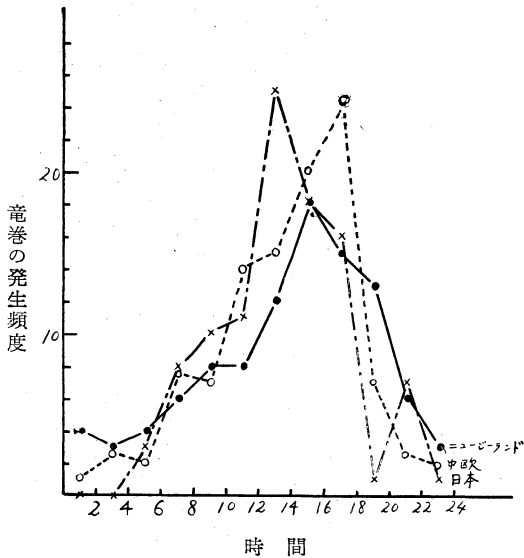
原因	寒冷前線	温暖前線	気圧の谷	高気圧内	その他
回数	51	16	6	11	5

この様なことを総合すると竜巻は大気的不安定度と可成り密接な関係があり、従って原因としては寒冷前線に、日変化では午後に、年変化としては8、9月の頃に地域的には南方に発生し易い。しかし日本海の冬の様に極部的な不安定度も竜巻の発生に関係している様である。しかし外国に於ける発生の状態を同様な方法で調べて見ると必ずしも日本の場合と一致しない。例えばアメリカのトルネードは月別変化では第3図の様になり、日本と非常に異った分布を示している。しかし日変化はどこの国の場合でも殆んど同じであり午後から夕刻にかけて発生し易いことがわかる。(第4図) 発生の地域は国によって異なること勿論であるが、日本に於ても雷の発生地が竜巻の発生地と一致しない様に、アメリカに於ても竜巻が中部地方のロッキー山脈の東斜面に多いのに比べて、雷はフロリダ半島附近に多くて同じ不安定現象といっても雷と必ずしも一致していない。しかし気象的原因としては寒冷前線に伴うものが多く、これは日本、アメリカ、ヨーロッパ、ニュージーランド等共通の現象である。

以上は統計的な取扱であるが、個々の発生状態をもう少し詳しく調べて見ると竜巻は同じ寒冷前線でも前線は構成する気塊が非常に多湿で、不安定であり、上空には



第3図 竜巻発生月の別変化



第4図 竜巻の発生時刻

風速の異なる転移層があっても、下層の風は比較的弱い場合に起り易い。この様なことから竜巻の発生説に対しては古来非常に多くの研究があり、その中でも古典的には熱力学説と力学説が有名である。熱力学説はドイツのライエ (T. Reye) やアメリカのフェレル (Ferrel) によって支持されている。すなわち竜巻は日射によって過熱された地面附近の空気が激しく昇る為に出て来たもので、回転するのは水を満した容器の底に孔をあけて、水が流出する時に孔の周りに出来る渦巻と同じであるというのである。つまり上昇気流を一次的原因と考え、廻転を二次的に考えているのである。

所が力学説は主としてウエゲナー (A. Wegener) の説として知られている様に、まず竜巻のもとになる母渦

が上層に出来、それが落ちてくるというのである。しかしこれらは何れも定量的な説明が加えられていない。

そこで正野博士<sup>9)</sup>は竜巻の発生説として上層に強い風速傾度を持った転移層が生じ、この層が下層の局所不安定の部分を通して落下してくる時に渦管となり、渦管が落下の途中で伸びる為には風速が強くなるという説を立てた。すなわち流体力学によると渦管が伸長を起すときには

$$\frac{\omega_1}{\rho_1 ds_1} = \frac{\omega_2}{\rho_2 ds_2}$$

の様な関係に従って渦度が強くなる

ことが証明されるから、

(勿論この場合は3つの条件

- (イ) 流体は理想流体であること
- (ロ) 外力が一価ポテンシャルより導かれること
- (ハ) 密度が圧力のみ関数であること

が必要である)

上層の風の不連続層で比較的弱い水平母渦が生じその一端が下層大気が不安定な為には落下すれば伸長を起すから直径は細くなり、風速は強くなるというわけである。

$$\frac{\rho_2 ds_2}{\rho_1 ds_1} = N$$

とした時不連続層の厚さと半径との関係、及び不連続層の両端における風速差と旋風の最大風速との関係を表にすると第7、8表となる。

第7表 竜巻の半径 (m)

転移層の厚さ (m)	N			
	49	100	225	400
50m	3.6m	2.5	1.7	1.3
100	7.1	5.0	3.3	2.5
200	14.2	10.0	6.7	5.0
400	28.1	20.0	13.4	10.0

第8表 竜巻の最大風速

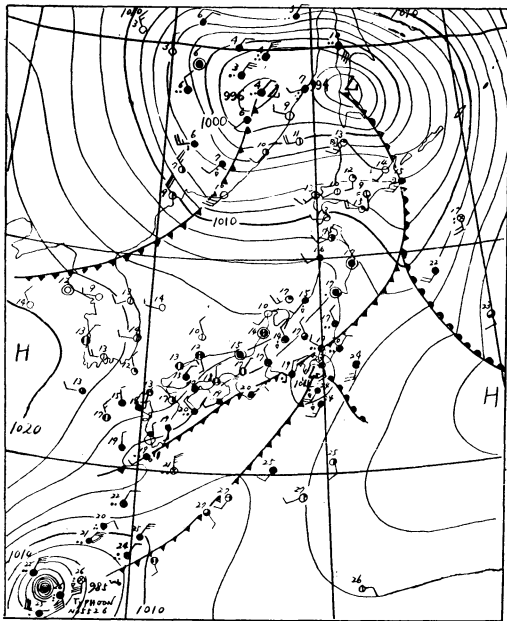
転移の風速差 (m/s)	N			
	49	100	225	400
4m/s	7m/s	10	15	20
8	14	15	23	30
10	18	25	38	50
16	28	40	60	80

その後アメリカでは竜巻の発生が多いことや資料の豊富であること等の為には、シノプティックな面から竜巻の発生について研究が進められ、W. H. Wenatrom は竜巻の発生は上層の寒冷前線と関係があり、ロッキー山脈の東斜面では、寒冷前線が 500~800m 位の高さで地表の前線より水平距離 80~150km 先行する時に発生し易いことを提唱している。

又 M. Tepper<sup>10)</sup>は thunderstorm project の結果を整理して pressure jump line の存在を認め、この2つの違った pressure jump line が交錯する所に竜巻が発生し易いというのである。Pressure jump line では急激な wind shear があり、この2つの線が交錯する所では不安定な状態が渦動を生ずるものとしている。

しかしこの様ないくつかの発生説に対して非常によく合う場合も勿論あるが、又中には特異なケースである場合もある。特に竜巻の母渦の問題では、見掛上竜巻は上から下って来る様であるが、母渦が果して上にあるか下にあるかは仲まむづかしい問題である。例えば先に述べた銚子の竜巻は第5図の様に極地天気図の上では当日朝から本州南岸沿いに北東進する小さい低気圧があり、その低気圧と後面から来た寒冷前線が丁度一致する位置で竜巻が発生し、その進行方向や速度が小さい低気圧と一致するのである。

すなわちこの場合竜巻の母渦は低気圧であり、その低気圧が前線の接近と共に急激に発達して竜巻に生長したものと考えられる。

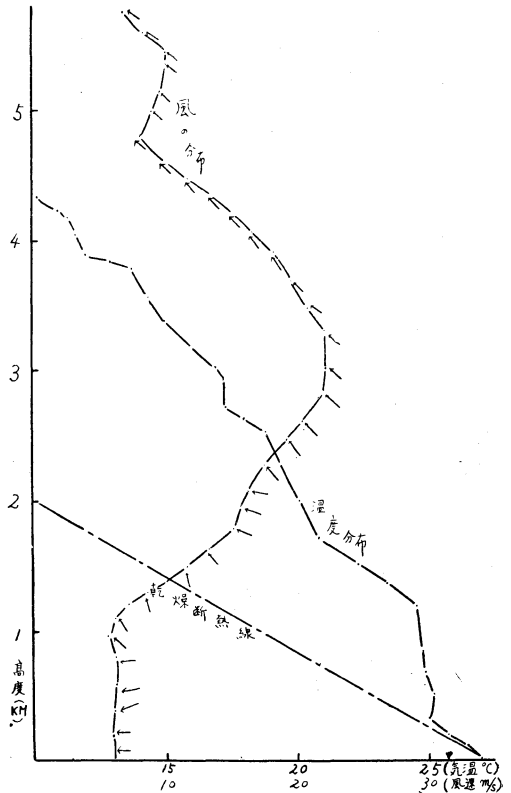


第5図 銚子の竜巻の時の天気図 (1955年10月18日21時)

其の他火山の爆発等に伴う竜巻は、下から上昇した気流が原因で発生し、見掛上は上から下によってくる様に見えるものもあり、火災等に伴う竜巻も同じである。その他上昇気流に伴う一般の竜巻でも、雲のある附近は多湿である為にロート雲が早く出来るが、下層は摩擦や空気が乾燥している為にロート雲とならずにいることも考えられる。

川崎の竜巻の場合は第6図の様に上層の転移層が非常

にはっきりしており、現地の調査からもロート雲は上から下に下って来たことは認められるが、下層の大気は非常に安定である。



第6図 川崎の竜巻発生時の気温並に風高度分布

竜巻の発生 昭23.8.2.11h 10m (川崎)  
 気温の観測 昭23.8.2.12h 40m (東京)  
 風の観測 昭23.8.2.13h 45m (羽田)

その他竜巻の発生で注意すべきことは第3節でも述べた通り、前線で発生する竜巻が低気圧性廻転に限られるのに反して、高気圧圏内や熱帯地方等発で生ずるものの中に、低気圧性廻転の他に高気圧性廻転が現われることである。前線に於ける風の飛躍は低気圧性であり、母渦が垂直軸のものであれば竜巻は必ず低気圧性廻転となる筈である。しかし母渦が水平軸のものであるとすると前線の性質から低気圧性の場合も高気圧性の場合も起り得る訳でこの辺のことはもう少し調査を進める必要がある。この他高気圧圏内や熱帯地方で起る竜巻が両方の廻転をとるのは、これらの場合には急激な局所の上昇気流の為に二次的に廻転が起ると考えられるので、水槽の底に穴をあけた時に発生する渦巻が時計廻りであったり、反時計廻りであったりするのと同じ様な現象と考えられる。

## § 5. 竜巻の被害

竜巻の被害は今迄述べたことで大体想像のつくことであるが、何といっても瞬間的には台風等の風速にもまさる風を伴っていることである。その他ロート雲が近づくと気圧が急激に何十 mb も下降する為、負の爆発ともいわれる様な現象を起すことと、外套部で強い上昇気流を伴う為の被害等である。従って竜巻が通過した後の被害状況を調べて見ると、ロート雲が通過したと思われる附近では建物等の屋根に穴があいたり家全体が持ち上げられたりして倒壊する場合が多い。そして中心を離れるに従って水平風と思われる被害が現われ次第に減少する。

銚子の竜巻でも 5 ton の船が海から陸に持ち上げられたり、家を通ずる時間が 1~2 秒と思われる短時間に 2 階家が倒壊したりしている。この場合の風圧を計算すると 1 階家で 15ton, 2 階家で 22ton 位となる。

川崎の場合等は稍々顕著な方であるが、長さ 1 km, 巾 70m の範囲に全潰家屋 65 戸, 半潰 56 戸, 死者 3 名, 重傷者 13 名, 軽傷者 84 名を出した。

日本の年平均発生回数は 4 つ位で多い時でも 9 つ位しかないが竜巻に遭遇した場合は、内部では今迄述べた様な性質をもっていることを充分承知しておく必要がある。

又アメリカでは 1950 年迄の 35 年間に報告のあったトルネードが 5204 例あり、その為に 7961 人の死者を出している。特に 1948 年 3 月 26 日に Indiana 州の Coatesville の町を襲ったトルネードは 1 つで町を完全に破壊し、1925 年 3 月 18 日に Illinois 州 Tri-State で起ったものはその為に 606 人が死に、1563 人が傷ついた。アメリカで、単位面積当り最も発生数の多いのは、Iowa, Kansas, Arkansas, Oklahoma, Mississippi ……等の順で、Iowa 等では 1 万平方哩当り年発生数は 2.8 となっている。従ってこの様な地方はストームケープと称する地下の待避所を造って、竜巻が来るとその穴の中に避難する様になっている。

丁度日本に 210 日というのがあって台風の厄日になっている様に、アメリカでは 5 月から 6 月にトルネードが多いので、この季節になると上記の各地方では特定の日を厄日としている様である。例えば西部 Kansas 州の Codell という小さい町では 1916, 1917, 1918 年の 3 年間に同じ 5 月 20 日の殆んど同じ時刻にトルネードが襲来し、その為この市民は 5 月 20 日が巡ってくる地下室やストームケープの中に入る習慣になってしまったというのである。しかし其の後同じ日には起っていない模様である。

そのほか Mississippi 州の Balamyn では 1942 年 3 月 16 日に 25 分置いて 2 つのひどいトルネードに襲われ 65 人が死亡し、其の当時 100 万弗の損害を生じた。その様な例は Texas 州の Austim でも 1922 年の 5 月 4 日に短期間の間に 2 つのトルネードが来て 20 人が死亡し 50 万弗の損害があった。

その他竜巻には時々変わった現象を伴うことがある。例えば海水をロート雲が吸上げる時に魚と一緒に吸上げた為、想像もしない速くの方に魚が天から降って来たという様な話もある。

1947 年の 4 月 9 日に Oklahoma の Wood Ward の惨害の原因となった竜巻の時は Texas の Higgins の近くに住んでいる Al と Bill という 2 人は竜巻の音がしたので窓をあけた所急に窓から引張り出されて樹の頭の上を越えて 200 feet 離れた所に落された。幸い大した怪我もしなかったが、気がついてから自分の家にもどって見ると床が残っているだけで建物は全部持去られていた。

又 1912 年 4 月 25 日の Oklahoma の Ponca 市でのトルネードの時は夕食をたべていた奥さんは家もろ共上空に運ばれてしまったが床にいた 2 人は床と建物が切れて飛んだ為、怪我をしただけで残された。川崎の竜巻の時も土間に伏してしまつた人は助かったが床上に居た人は家もろ共吹上げられてしまったこともあるので、この様な体験談も何かの参考になるかも知れない。

そのほか 1936 年 4 月 5 日の Mississippi の Tupelo のトルネードの後、Alabama の Cherokee 附近に住む人は、婦人の名前を書いた写真が落ちていたのを見つけた。それをよく見ると明らかに 60 哩も離れている Tupelo から吹飛んで来たものであった。そこでその人は手紙で送ってやった所、その婦人はトルネードで怪我をして病院に入院中であつた。その婦人の語るところによると写真は家のホールの中のトランクにしまつて置いたもので、トルネードの時にトランクが吹開けられて渦巻に巻きこまれたものであるらしいことがわかつた。その人の家は全壊し 50 才になる娘さんがその為に死亡し、御主人は大怪我をしたということであつた。

この様な話ははまだ色々あるが竜巻の被害を避ける為には先づ第 1 に竜巻の本質を極めることが必要であらう

## 参考文献

- 1) A. Wegener & J. Letzmann; Met. Zeit. 1930.
- 2) T. S. Outram; Storm of August 20, 1904. Mon. Weath. Rev. Aug, 1904.
- 3) N. Shaw; The Travel of Circular Depressions and Tornadoes, Geophys. Mem., No. 12, 1918
- 4) 正野重方; 竜巻の話, 天文と気象, 第 15 巻 7 号 1949.
- 5) H. T. Horison; Certain Tornado and Squall line Features, United Air Lines Met. Circular No. 36, Denver, Apr. 15, 1952.
- 6) J. R. Martin; Tornadoes in the United States 1916~1939, Washing U. S. W. B., 1940.
- 7) 関谷溥; 竜巻, 気象解説叢書 (5) 1949.
- 8) 関谷溥; 日本に於ける竜巻発生の研究, 気象集誌, 第 2 輯, 第 27 巻 第 3 号, 1949.
- 9) 正野重方; 旋風竜巻の発生, 科学, 第 16 巻, 第 5 号
- 10) M. Tepper; On the Origin of Tornado, Bull. of Ame. Met. Soc., Nov. 1950.