

Reprinted from "*Papers in Meteorology and Geophysics*" Vol. XXIII No. 3 1972

亜熱帯メソサイクロンのメソ気象学的研究

荒川秀俊, 渡辺和夫, 土屋 清, 藤田哲也

A Mesometeorological Study of a Subtropical Mesocyclone

by

**Hidetoshi Arakawa, Kazuo Watanabe, Kiyoshi Tsuchiya
and T. Theodore Fujita**

Published by the Meteorological Research Institute

Koenjikita, Suginami, Tokyo, Japan

September 1972

551.515.2

亜熱帯メソサイクロンのメソ気象学的研究

荒川秀俊, 渡辺和夫, 土屋清, 藤田哲也

A Mesometeorological Study of a Subtropical Mesocyclone

by

Hidetoshi Arakawa

Tokai University, Hiratsuka, Kanagawa Pref.

Kazuo Watanabe

Meteorological Research Institute, Tokyo

Kiyoshi Tsuchiya

Japan Meteorological Agency, Tokyo

and

T. Theodore Fujita

The University of Chicago, Chicago

(Received February 22, 1972)

Abstract

Atmospheric vortices have been classified either according to their horizontal dimensions or to their maximum windspeed. For the purpose of reclassifying them, taking both horizontal dimensions and maximum windspeed simultaneously into consideration, these vortices were located on a maximum windspeed versus diameter diagram (Fig. 1).

When the subtropical mesocyclone of 1 September 1960, which formed over tropical waters and hit Japan the next day (Fig. 2), was placed on this diagram, it was found that the storm in question was located on the border line between the tropical depressions and the mesocyclones.

The mesocyclone was accompanied by arc-shaped echoes around the center and by a curved echo band in the eastern sector far from the center (Fig. 3). The area of composite mesohighs was accompanied by an echo band (Fig. 9). The pressure field of the storm was characterized by a funnel-shaped profile superimposed by an excess-pressure field of the marked mesohigh with a pressure-jump

line along its progressive side (Figs. 6 and 7). Due to the fact that most of the squall-line activities took place in eastern sectors of the storm and that the cloud mass encircling the storm center did not grow to the cirrus level, it was characterized by a strictly asymmetric structure (Figs. 8 and 11).

A three-dimensional analysis of the wind field was made by making use of the existing techniques of time-to-space conversions and interpolation for the construction of vertical space cross-section and constant level charts. Results showed that the subtropical mesocyclone was characterized by an overall mass inflow which was about five times larger than that of a large thunderstorm, while it was only about one fifth that of a mature hurricane such as Hurricane Daisy of 1958 (Fig. 14).

1. ま え が き

大気中のじょう乱には、接地境界層内に見られる数センチメートルの渦から惑星波としての数千キロメートルの長波まで数多くある。これらじょう乱の分類は主にその水平的広がり的大小によって行なわれて来たが、熱帯低気圧だけはその域内に持続して吹いていると思われる最大風速によって分類してきた。

そこで、著者たちは第1図のように、縦軸に地上最大風速をとり、横軸には渦の直径を採ることによって渦の性質を総合的に見た。

アリゾナの砂漠に発生するじん旋風の大きさは、SINCLAIR (1965)によると、その影響範囲が渦の中心から50m以上に及ぶことはほとんどなく、最大風速は50ノット程度、寿命は数秒ということである。

水上のたつ巻 (waterspout) とトルネードの小さなものを区別する、はっきりした定義はないが、前者の多くは暖かい海上で風の水平シャーの大きな線に沿って現われるようだし、後者は雷を伴う激しい対流活動の中で発生する程度の違いになろう。水上に発生するたつ巻に伴う最大風速は100ノット位までであろうし、影響範囲も100m以上に及ぶことはほとんどない。

トルネードは自然界に見られる最も激しい渦であり、その最大風速は250ノットあるいはそれ以上とも考えられている。その影響が2 km以上に及ぶことはまずないであろう。

BROOKS (1949) はトルネードが、それよりひとけたも大きい風はいたって弱いトルネード・サイクロンの中で生じていることを指摘した。このサイクロンの大きさは数キロメートルから数十キロメートルに及ぶこともあり、最大風速は50ノット以下である。

また一般の前線波動として発達する温帯低気圧よりも小さくて数百キロメートル以上の大きさに発達することはなく性質も異なる小低気圧が存在することがアメリカ国内で10年ほど前から知られるようになり、藤田 (1963) は低気圧性循環がまだ現われていないものを meso-depression, 低気圧性循環のはっきりしているものを mesocyclone と呼び、この両者を含めて一般的に mesolow と称した。

熱帯低気圧 (Tropical cyclone) はその最大風速によって分類されることになっており、風

注. この論文は1968年にシカゴ大学の Satellite & Mesometeorology Research Project Report No. 68 として報告されたものを一部改めた補って和文にしたものである。

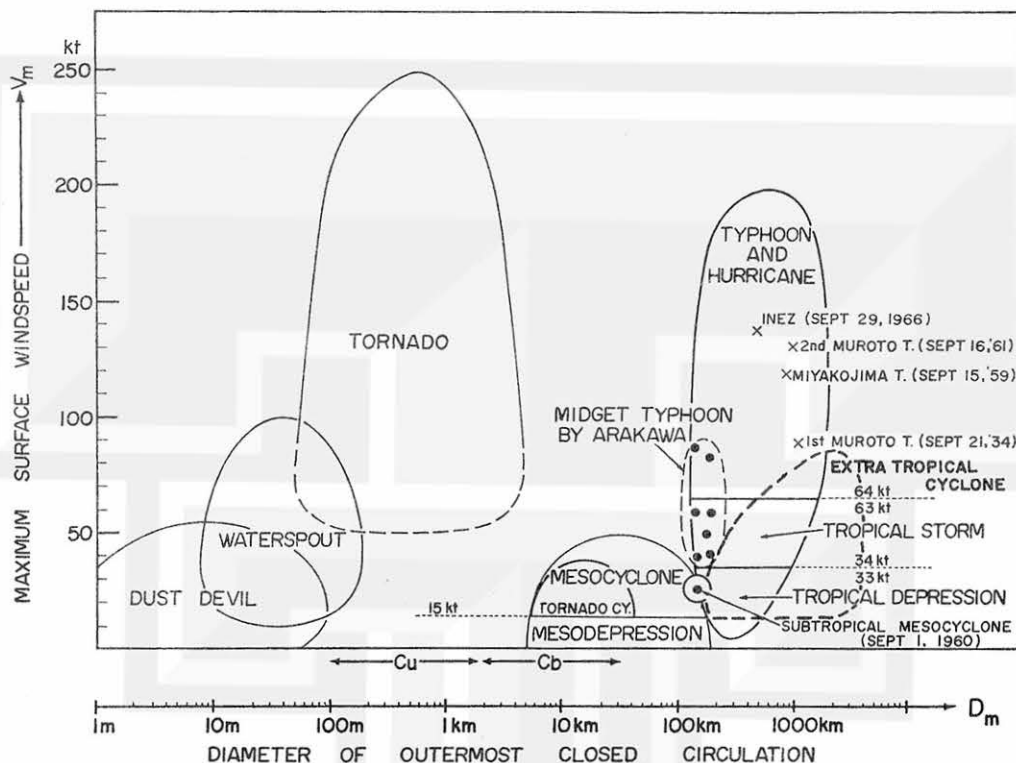


Fig. 1. Characteristic dimensions of meteorological disturbances. The possible range of their maximum windspeed and circulation diameter is outlined for each disturbance. The mesocyclone on 1-2 September 1960 is located on the border line between mesocyclones and tropical depressions.

速33KT以下のものは tropical depression, 34—63KT のものは tropical storm, 64KT 以上なら typhoon となっている。ところで荒川 (1952) の調査によると, typhoon や tropical storm の暴風を持ちながら渦の規模がきわめて小さな熱帯低気圧があり, 豆台風と呼ばれている。日本に近づく豆台風はその一生を通じて直径300kmを越すことはあまりなく, しかも強風域は中心附近に限られているので警戒しにくい。7月から8月にかけての盛夏期に沖縄の南海上や本州の南方洋上が低圧部となる際には, その低圧部の中や東縁に豆台風や弱い熱帯低気圧が発生しては北上し, 日本に影響を与えることもある。この種の豆台風の特徴は, 比較的高緯度 (主に20度以北) に発生し, その一生を通じて大きく発達しないことである。

熱帯低気圧の発達期に低緯度地方で非常に小型を示す台風があることも知られており, この種のものは最盛期に入ってから普通の大きさに発達する。HAWKINS (1967) によると, 1966年9月28日にアメリカ気象局の観測機はプエルトリコ沖で175 KTの最大風速を持った小型ハリケーン Inez を8,000 ftの高さから観測した。中心気圧は927mbと強いハリケーンなのに, 中心から90kmも離れると南側では風速が30KTに, 北東側では46KTに弱まっていた。地上天気図に描かれた閉等圧線の大きさも300kmと小さい。そこで HAWKINS は micro-hurricane と名づけた。Inez は10月2日まで小型を保ち, 以後は普通のハリケーンのように大型となっている。

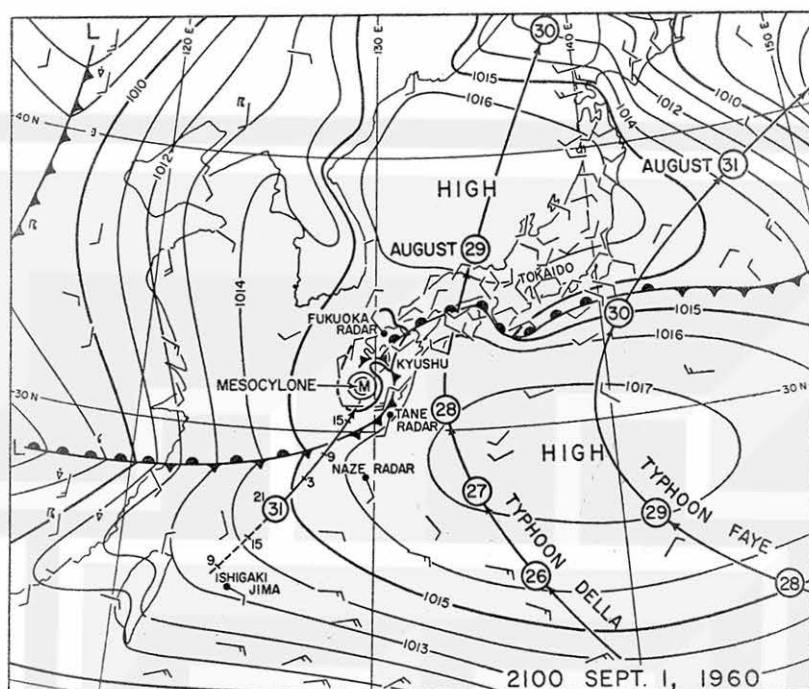


Fig. 2. Surface map for 2100 JST (135E meridian civil time, 1200 GCT) 1 September 1960. Included in the figure are the 2100 JST position of Typhoon Fay, 28-31 August, Typhoon Della, 26-30 August, and mesocyclone, 31 August-1 September 1960.

1960年9月1日から2日にかけて九州西岸を襲った小じょう乱は、解析を行なった時点では既に寒気でおおわれており、熱帯低気圧とメソサイクロンの中間的性格を持っているところから、第1図中では亜熱帯メソサイクロンとして分類することとした。SIMPSON (1952) は上層で発生した切離低気圧が亜熱帯や熱帯で作っているじょう乱を亜熱帯サイクロンと称し、RAMAGE (1971) がそれを更にふへんして論じているが、ここで論じようとしている亜熱帯メソサイクロンとはスケールのにもまた生因的にも別のものである。

次節以下において、この小じょう乱の特徴を解析的に示す。

2. 一般概況

1960年8月31日朝の天気図では台湾の東沖に小さな渦が存在するらしい程度にしか分らなかったが、この渦は北に移動し、翌9月1日の朝には名瀬のレーダーがこの渦状エコーを捕えた。この渦状エコーの動きは更に種子島と福岡(脊振山)のレーダーによっても追跡されて20時間近くも記録された。

この小じょう乱が九州に近づいた9月1日夜(1200 GMT)の地上天気図を第2図に示すとともに、小じょう乱が発生する数日前に相前後して日本附近を北上していった台風6016号(Della)と6018号(Faye)の経路と毎日1200 GMTの位置を併記した。2台風が本州の南海上へ近づくとつれて亜熱帯高気圧は東へ退き、台風が去ったあとを再び西へ張りだして来る過程

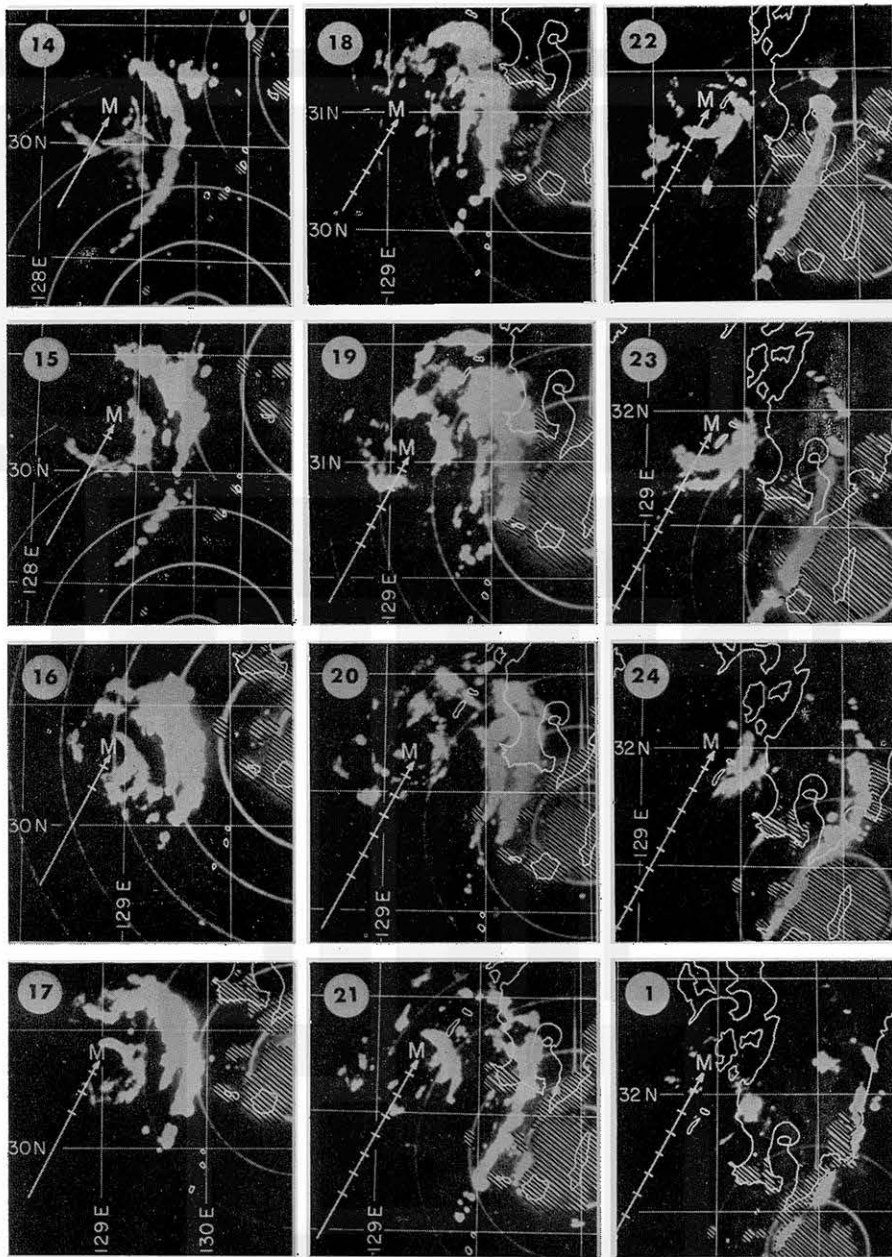


Fig. 3. Hourly composite radar pictures for the period 1400 JST 1 September through 0100 JST 2 September. The areas of apparent ground clutter are hatched in order to show the precipitation area more distinctly.

で、この小じょう乱は発生し北東に移動しはじめている。その発生地域は黒潮上で、海面温度は 28°C 以上であった。また亜熱帯気団の中で発生したとみなされる。

発生の翌日に小じょう乱は弱い停滞前線に接近し、次の24時間には寒気を引き入れて衰弱し

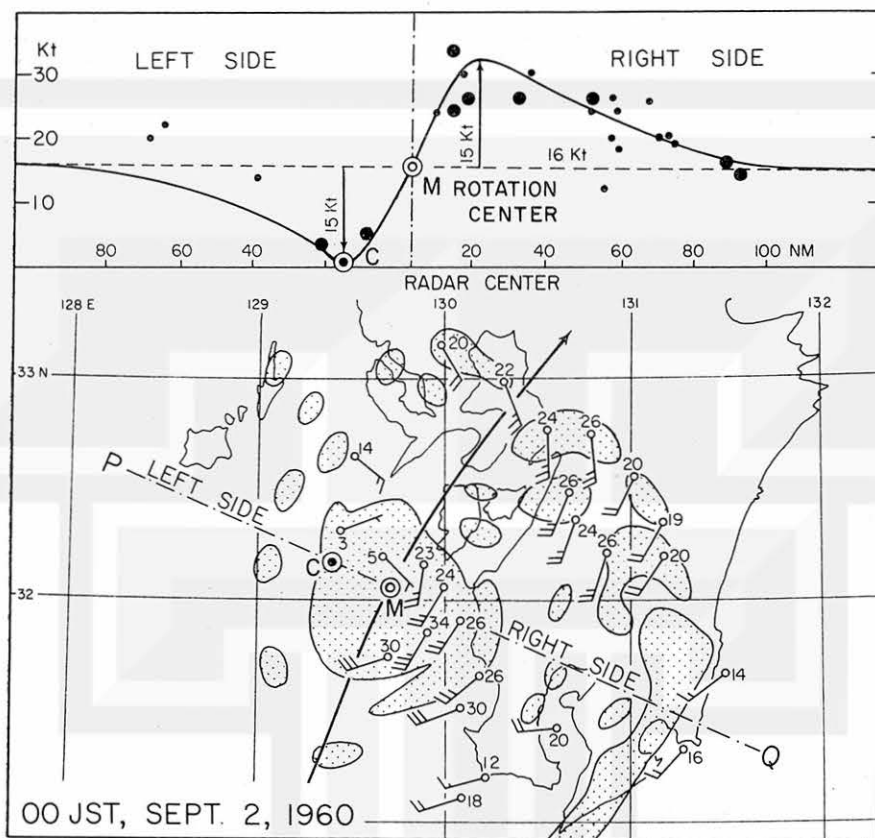


Fig. 4. Echo velocities in knots superimposed upon an echo chart for 0000 JST 2 September 1960. The upper diagram gives the velocity profile along the line PQ through the mesocyclone center,

ていった。ここで取扱った解析はこの最後の24時間についてのものであり、小じょう乱の特徴とするところのものはメソサイクロンの気圧場に重なる形で顕著なメソ高気圧が存在したことである。

3. レーダーエコーとその動き

地方時で9月1日14時から2日1時にかけての毎時につき作成したレーダー複合写真を第3図に示す。各図の中における小じょう乱の位置は“M”の字で示し、それ以前の毎時の位置は経路を横切る短い横線で示している。14時から17時迄、メソサイクロンの中心部は鮮明な弧状エコーが半円以上を囲んでいたが、18時以後になると弧状は不鮮明になり、大小バラバラなエコー群として中心部を取り囲むようになった。

中心部の弧状エコーよりずっと外側に別の螺旋状エコーが存在している。この線状エコーはメソサイクロンに侵入して来た寒気の前面に発生したものらしく、寒気の侵入が進むにつれて線状エコーは中心部の移動よりも早い速度で外側へと広がっていった。

14時の複合写真を見ると、外側の線状エコーより北東に更に20kmほど隔れて幾つかのエコ

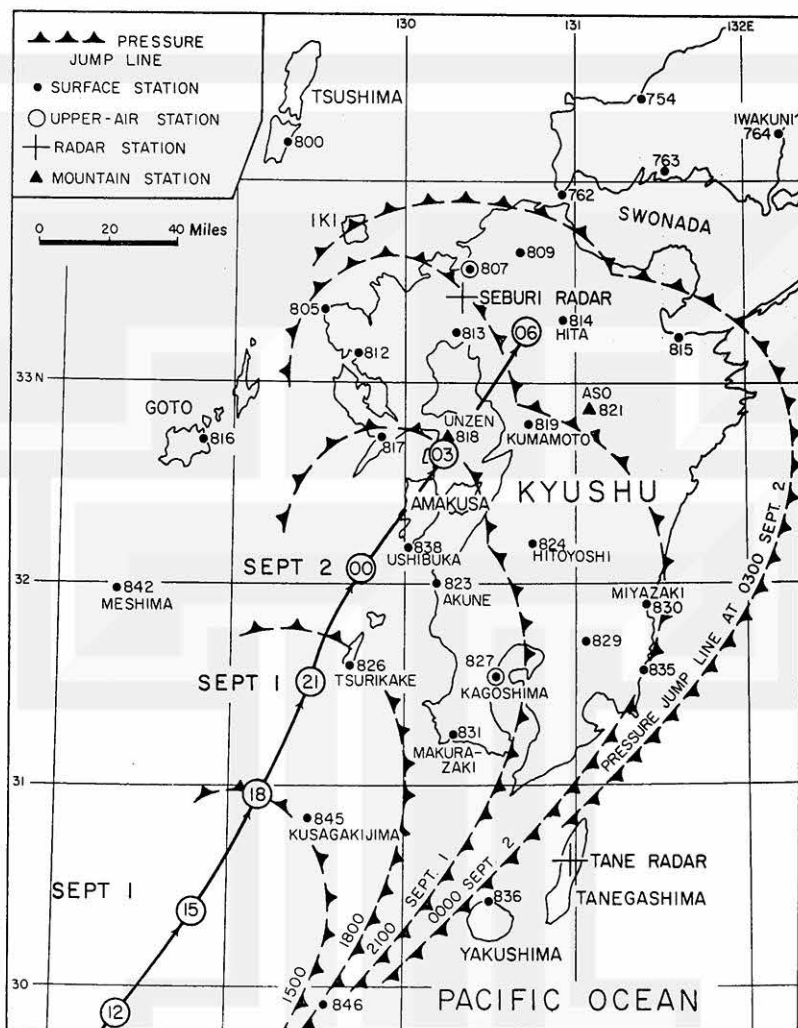


Fig. 5. Positions of the mesocyclone center and the pressure-jump line at three-hour intervals between 1200 JST 1 September and 0600 JST 2 September 1960.

ーが存在している。15時にはこれ等の孤立エコーと近づいて来た線状エコーが合併した。16時から17時にかけては線状エコーが幅広くなると共に、その南端では2本の線状エコーに分れつつあることが示されている。18時から20時にかけての写真では明らかに2本の線状エコーになっている。しかし、線状エコーが九州に入り込むと共に前面の線状エコーは消えてゆき(21時)、後側の線状エコーだけが残って22時から1時にかけて九州の東岸に存続した。

メソサイクロンが九州の西岸に近づいた9月1日夜半(24時)におけるエコーの速度を第4図に矢羽根と数値で示した。またメソサイクロンの進行左側と右側でどのようにエコー速度が変っているか調べたのが第4図の上図である。サイクロンの中心を通り、進路に直角に採った線PQ近くで読取ったエコー速度は太丸で記入して大きなウェートを与え、他の象弦で読取

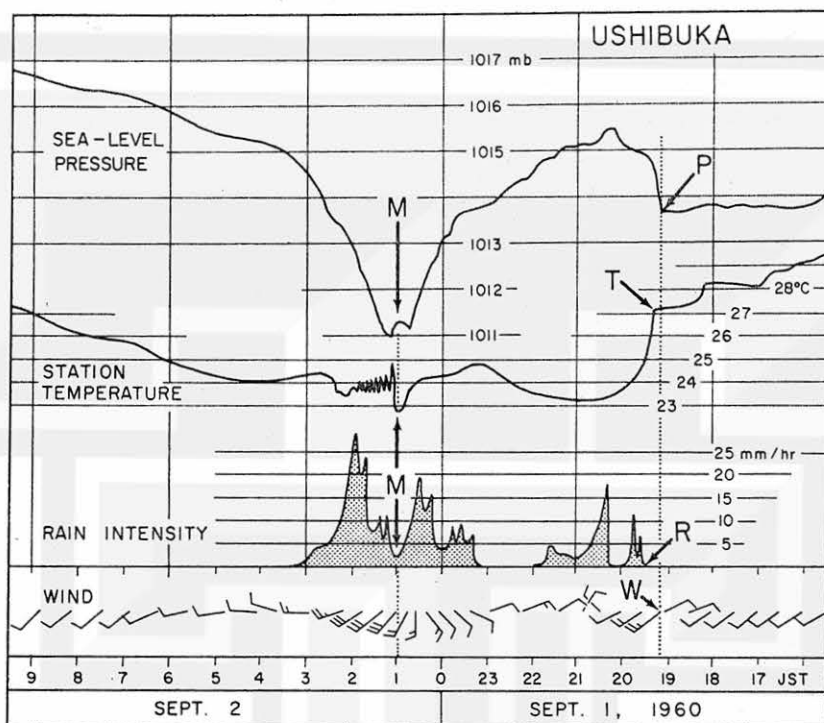


Fig. 6. Change in meteorological elements reduced from the recorded traces at Ushibuka (838), 31m MSL.

った値は小丸で記入して小さなウェットを与えて考えることにした。その左右方向についてのエコー速度の分布曲線は、SHAW (1919) が考えた剛体回転をしている正規低気圧が一般気圧傾度場の中を進む際に表われる回転中心と、トルネード中心との関係がこのメソサイクロンの場合にも現われていることを示している。エコー速度の分布曲線は、じょう乱の進行速度 16 KT に渦の最大速度 15 KT が組みあわさった形で示されている。

4. メソサイクロンに伴うメソ高気圧

非常に中心気圧が低い台風の場合とは異り、このメソサイクロンの中心気圧は一般場より 6~7 mb しか下っておらず、域内の気圧傾度が緩やかなので、域内におけるメソ気象解析には非常に度合がよい。

メソサイクロンと気圧急昇線の 3 時間毎における位置を第 5 図に示す。気圧急昇線が時と共に広がっているのはメソ高気圧が発達していることを示すものであり、その発達をもたらす雷雨や、にわか雨の状況は第 8 図に示されている。

メソサイクロン独自の気圧場と、あとから派生したメソ高気圧の気圧場との関係を示すのが第 6 図と 7 図に示す牛深と温泉岳の気象図である。両所は共に経路に当たっており、しかも 65 km しか離れていないので、高度 31 m の牛深はメソ高気圧の影響を充分に受けた状態を示し、高度 852 m の温泉岳はメソ高気圧の影響を軽く受けた状態を示すと考えられる。

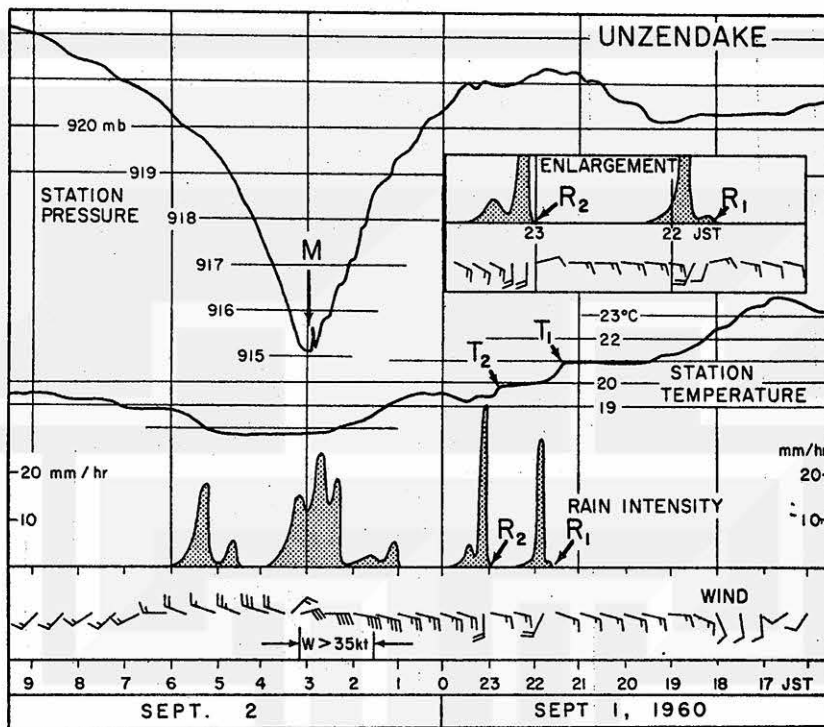


Fig. 7. Change in meteorological elements reduced from the recorded traces at Unzendake (818), 852m MSL.

牛深では1日の19時10分に風がENEからSWに変ると共に1.2mbの気圧急昇が現われており、それより10分から15分遅れて気温の低下と降水が現われているが、この時間の遅れは、一般のメソ的しゅう雨前線について見られるものと同じである。気圧はメソ高気圧の中心部がやって来た時に最高値を示し、その後は下降線をたどって、メソサイクロンの中心が通った2日1時0分に1011mbの最低値を記録した。降水はメソサイクロンの中心が近づくにつれて強まり、中心が来た際には一時的に小降りとなり、その後再び強まっている。

温泉岳の気圧と気温の曲線はメソ高気圧の影響をあまり示していない。ところが、前節で述べた第3図20時に見られる2本の線状降雨帯が温泉岳を通過した1日21時50分と23時10分頃に1時間雨量30mm内外の強い降水 R_1 ・ R_2 があり、それに伴って気温の降下 T_1 と T_2 があり、風向にも顕著な変化が示されている。メソサイクロンに吹き込む東北東の風が吹き続いていたのに、強い降水期間だけ南風がとって代っている。この南風はレーダーエコーの動きとも一致するものであり、降雨群の中では下降気流が渦の風に置き換っているとみなされる。気圧が最低に達した2日3時頃に気温も最も下り、強い雨が降り続いていたことは、メソサイクロンの中心部が既に寒気で満されていたことを示すものであろう。

第8図は気圧急昇線と降雨群の間の複雑な関係を示す。図中の太線は2日0時における1時間に降水のあった地域を示し、細線で5mm毎の等雨量線を、また数値で1時間最多降水量を示している。雷雨活動はメソサイクロンとは無関係にメソ高気圧域で見られ、一般の中緯度地

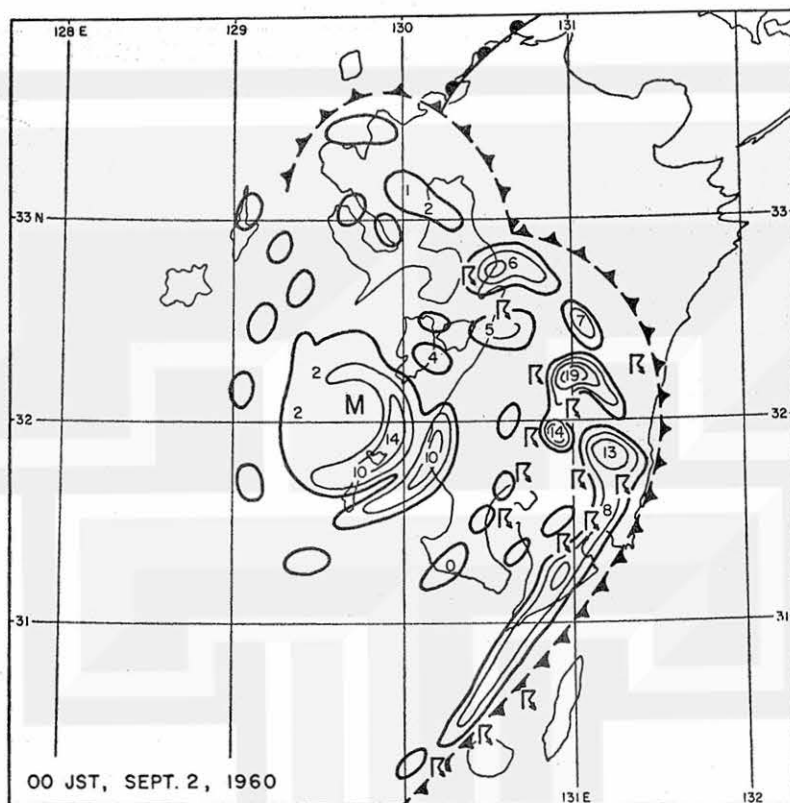


Fig. 8. Hourly precipitation ending at 0000 JST 2 September 1960, contoured by the isohyets at 5-mm intervals. The extreme values in millimeters are given by numbers.

方に見られるメソ高気圧と雷の関係に同じである。

第9図ではメソサイクロンの図と対比させて、1965年4月11日の Palm Sunday に Indiana 州と Michigan 州を荒した幾つかのトルネードを発生させたトルネード・サイクロンの大きさを併記した。トルネード・サイクロンはメソサイクロンよりも一桁小さいようである。メソサイクロンの北側と東側にある2つのメソ高気圧からの吹き出しが明らかに見られる。これがもし台風域内にメソ高気圧が発生していても、台風の気圧傾度より一桁小さなメソ高気圧の存在やそれからの吹き出し現象はほとんど認め難いであろう。

5. 風の場の垂直構造

台風の構造を調べようとする時には、いつも高層気象観測が乏しいことを痛感する。ことにメソサイクロンの場合になると、その影響範囲が台風よりひとけた近く小さいので、高層気象観測点が少ないことは決定的意味を持ってくる。この場合には福岡、鹿児島、名瀬、米子で行なった6時間毎の上層気流観測資料の他に温泉岳の風の毎時資料を使い、準定常状態の仮定のもとに藤田(1963)の手法で時間変化を空間変化に直し、また空間内挿をするなどのメソ解析技術でデータ点をふやしていった。

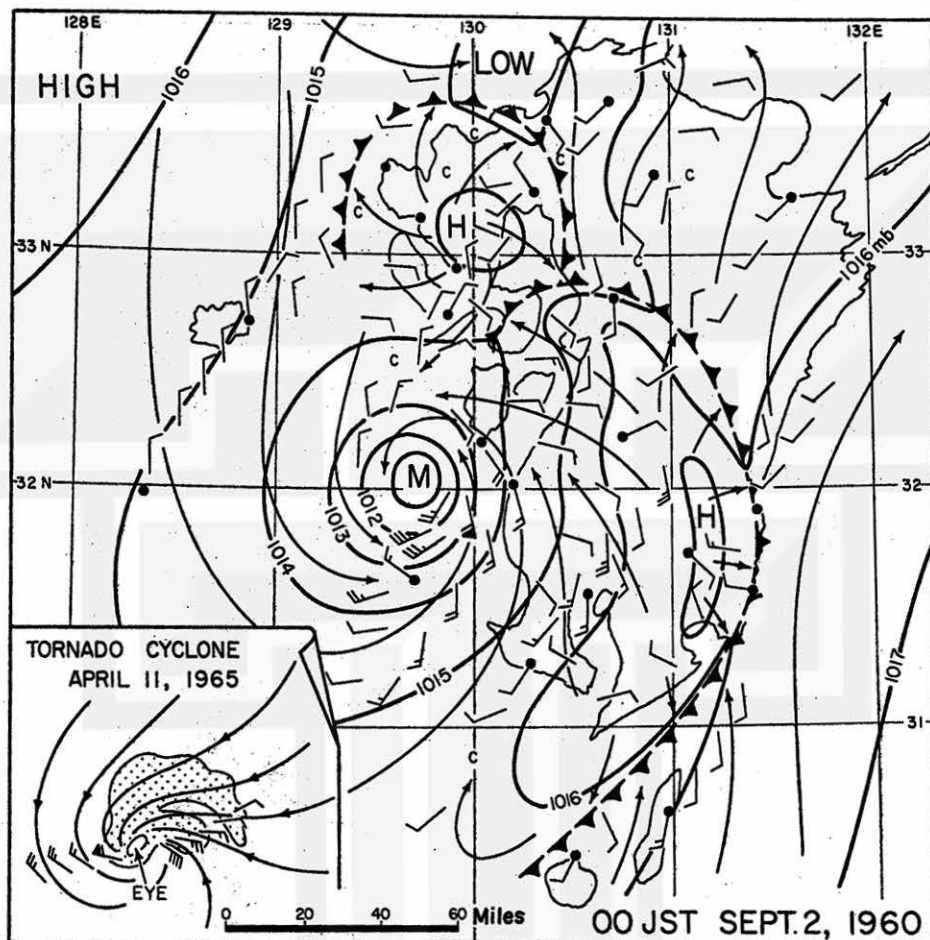


Fig. 9. Stream line field in the subcloud layer at 0000 JST 2 September 1960. The horizontal dimensions of the mesocyclone are compared with those of the tornado cyclone of 11 April 1965 over Michigan.

第10図左上の1 km 高度での流線は最大34KTの流入気流を示し、40度近くの角度でメソサイクロンに吹き込んでいる。3 kmでは渦の非対称性がはっきりしており、7 kmになるともう渦は認められない。12 kmになると吹き出しが顕著になる。12 kmにはレーダーエコーの存在部分を黒く塗り、また等風速線を加えた。この図では流線の間隔は九州から四国・中国に向けて変っていないので、風速の増加分は主にエコー群からの吹きだしによって補われているとみなせる。メソサイクロンの構造は非対称であり、上層での吹き出しは主に北東方向に行なわれているので、メソサイクロンの断面図を作るには、その中心を通り南西から北東に向かう面で切れば、もっともメソサイクロンの特徴を出すことができる。

第11図はそのような面について作った断面図であり、メソサイクロンの進行方向が横軸方向になっているので、図中に記された矢羽根の方向を60度反時計廻りに回転させたものが真の風向になる。雲の占める部分は陰影がほどこされており、発散量は破線で示してある。この流れ

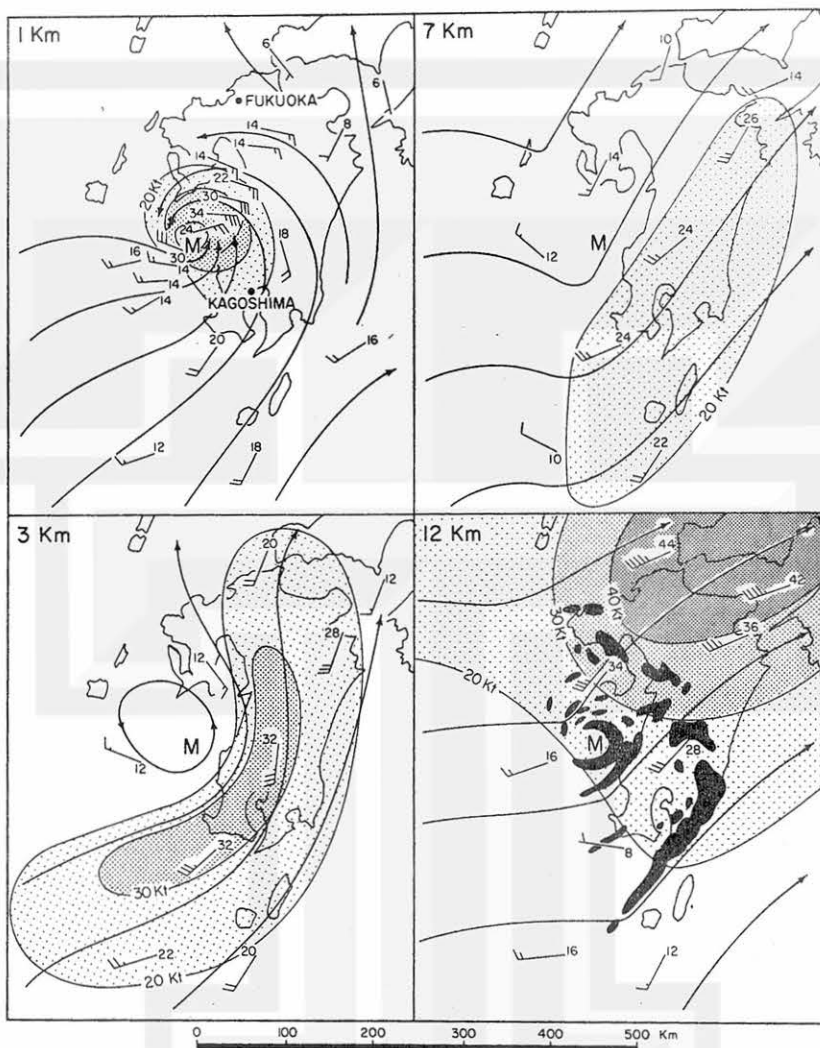


Fig. 10. Upper-air wind patterns at 1, 3, 7, and 12-km levels at 0000 JST 2 September 1960. The area of windspeeds above 20, 30, and 40 kt are stippled with graduated denser stippling.

の場や発散量の分布にもメソサイクロンの非対称性が表わされている。

6. 3次元的质量輸送の状態

台風の3次元的质量輸送を調べるには円筒座標を使い、静力学的釣合と定常状態を仮定してつぎの条件式を使う。

$$\int_0^H \int_0^{2\pi} \rho V_r r d\theta dZ = \frac{1}{g} \int_{P_H}^{P_0} \int_0^{2\pi} V_r r d\theta dp = 0 \quad (1)$$

ここで ρ は空気密度, V_r は風の求心成分, θ は積分すべき角度, H はメソサイクロン系の頂

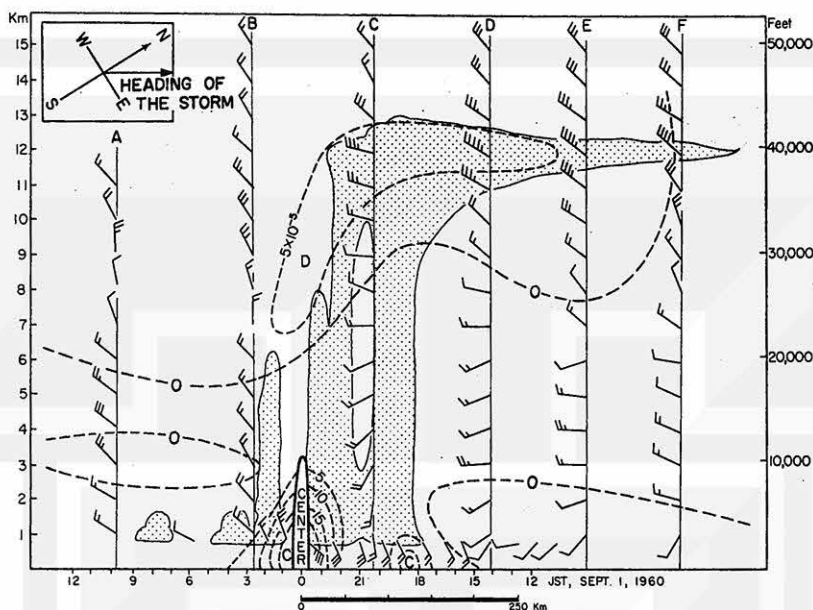


Fig. 11. Vertical cross section of interpolated winds aloft along the track of the mesocyclone. The direction of the wind arrows in the figure were plotted relative to the heading of the mesocyclone, the north-northeast which is shown in the 90 degrees direction (horizontal direction) in the figure. Letters D and C in the figure denote the areas of divergence and convergence, respectively.

点部の高さ, P は気圧とする。

RIEHL と MALKUS (1961) 等は中心からの距離の関数として質量輸送の状況を気圧高度 100mb 毎に求めている。しかし第11図のような断面を持ったきわめて非対称な構造のメソサイクロンを扱うのに上記のような方法を採用することは得策でなく、第12図のように円筒を前部と後部に分けて質量輸送を見ることにした。

メソサイクロンの中心から半径 200 km の円を設定し、進行方向について前部と後部に 2 分すると、後部への流入 $\bar{A}$ 、後部から前部への流入 $\bar{B}$ 、前部からの流出 $\bar{C}$ とすれば、

$$\bar{A} = \frac{\pi}{6} \rho r (A_a + A_b + \dots A_f)$$

$$\bar{B} = \frac{1}{3} \rho r (B_a + B_b + \dots B_f)$$

$$\bar{C} = \frac{\pi}{6} \rho r (C_a + C_b + \dots C_f)$$

ここで ρ は高さの関数としての密度とする。

今、高さ $h - \Delta h$ と h の間にある単位気層 Δh についてストームの後部への正味質量流入量は

$$\Delta R_h = \frac{\Delta h}{2} \{ (\bar{A}_h - \bar{B}_h) + (\bar{A}_{h-\Delta h} - \bar{B}_{h-\Delta h}) \} \quad (2)$$

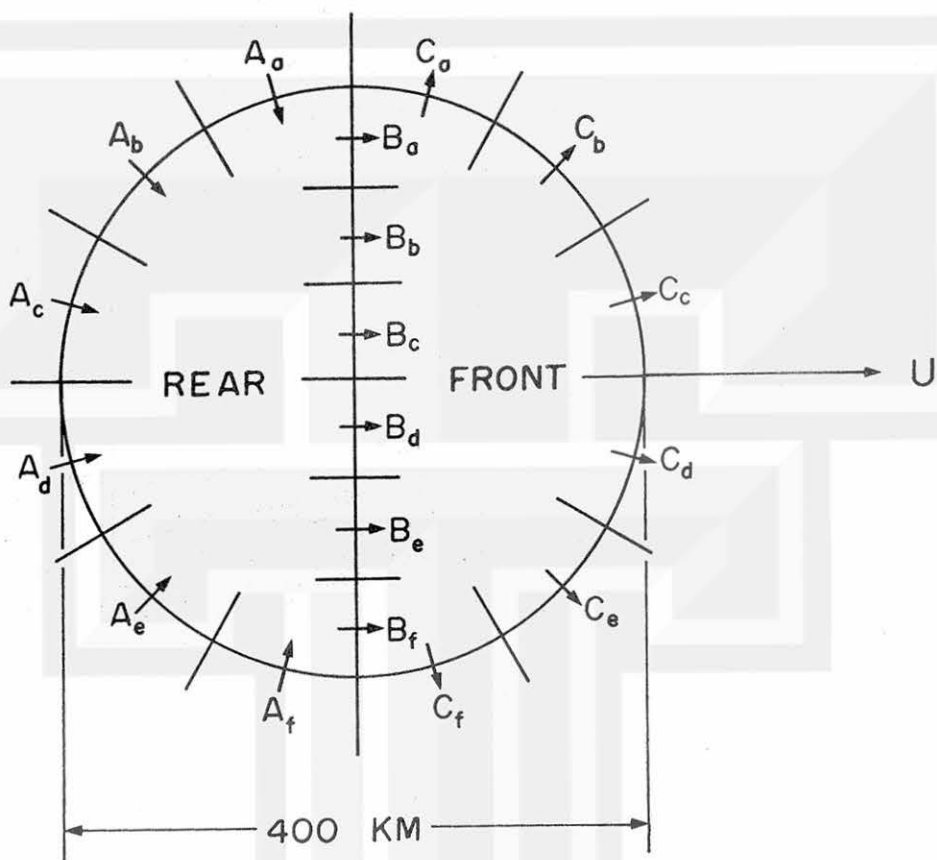


Fig. 12. Components of wind velocities normal to the boundaries of two semi-cylinders of unit thickness to compute the mass fluxes of the asymmetric mesocyclone. Positive directions of wind velocities A, B, and C follow the direction of the arrows. The arrow with the letter "U" denotes the direction of the mesocyclone movement.

同様にしてストームの前部への正味質量流入量は

$$\Delta F_h = \frac{\Delta h}{2} \{ (\bar{B}_h - \bar{C}_h) + (\bar{B}_{h-\Delta h} - \bar{C}_{h-\Delta h}) \} \quad (3)$$

単位気層 Δh を 1 km に選べば, (2)式と(3)式は

$$\Delta R_h = \frac{1}{2} (\bar{A}_h + \bar{A}_{h-1}) - \frac{1}{2} (\bar{B}_h - \bar{B}_{h-1}) \quad (4)$$

$$\Delta F_h = (\bar{B}_h + \bar{B}_{h-1}) - \frac{1}{2} (\bar{C}_h + \bar{C}_{h-1}) \quad (5)$$

この右辺の各項の値は地上から14kmの高度まで1 km毎に作った15枚の流線図から求めた。第13図はこの計算結果をまとめたものであり, 流入は下層後面で大きく, 流出は上層前面で大きく現われている。

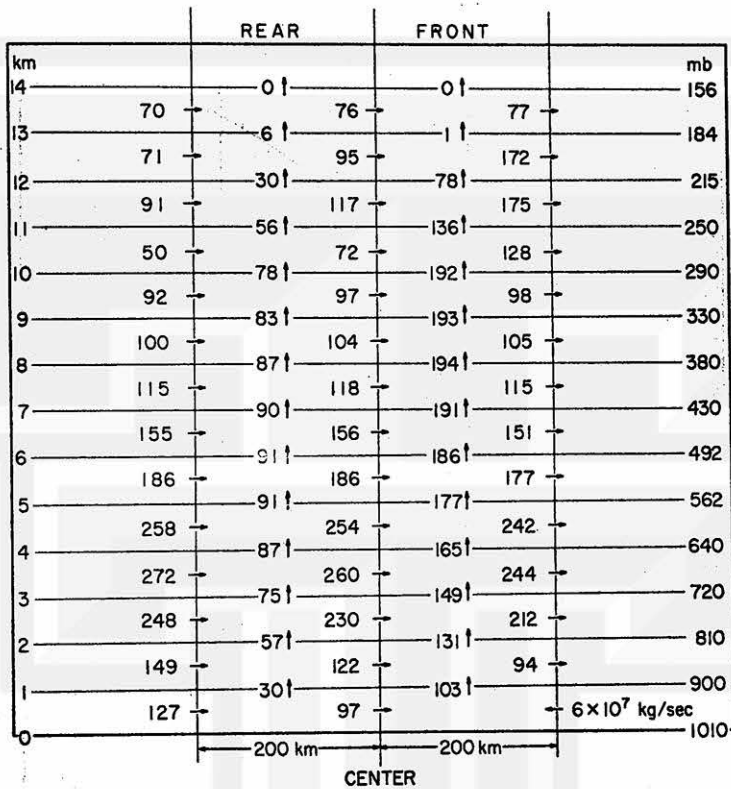


Fig. 13. Horizontal and vertical mass fluxes through the boundaries of the mesocyclone divided into front and rear semi-cylinders. The fluxes are shown for each semi-disc with 1-km thickness. The unit of fluxes is 10^7 kg sec⁻¹.

高さ h の半円筒上面での垂直 flux は、 h より下にある半円筒についての総流入量に等しいから、前部と後部半円筒についての flux をそれぞれ F_h , R_h とすれば、

$$R_h = \sum_{i=1}^h \Delta R_h = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^h \{(\bar{A}_h + \bar{A}_{h-1}) - (\bar{B}_h + \bar{B}_{h-1})\} \quad (6)$$

$$F_h = \sum_{i=1}^h \Delta F_h = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^h \{(\bar{B}_h + \bar{B}_{h-1}) - (\bar{C}_h + \bar{C}_{h-1})\} \quad (7)$$

この計算で求めた垂直 flux の収支も第13図中に記した。矢印の総て上向いているのはたまたま下向きの flux が出てこなかったからである。後面より前面の方が上向きの flux が2倍以上も大きな値を示していることも、このメソサイクロンの構造が大きく非対称なことを裏書きしている。

つぎには、このメソサイクロンへの総質量 flux と、RIEHL と MALKUS (1961) が1958年のハリケーン Daisy について求めた質量 flux を比べよう。同じ条件で比べるために、メソサイクロンの中心からの距離20海里から20海里毎に100海里までの圏についての質量 flux を

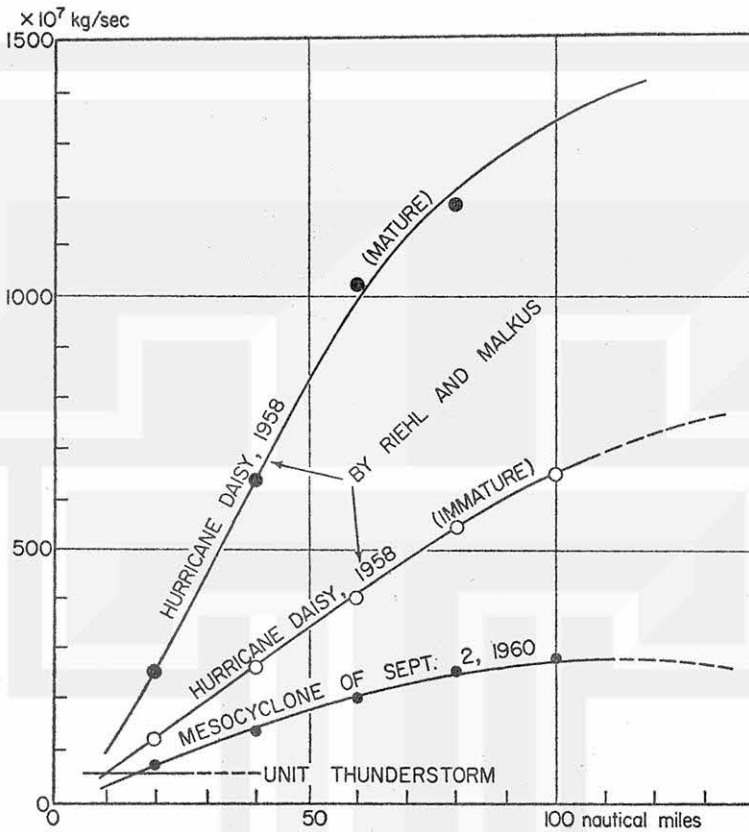


Fig. 14. The total inflow into the mesocyclone and Hurricane Daisy of 1958, computed as a function of the radii from their centers. For purposes of comparison, the inflow of a unit thunderstorm defined in the text is also included in the figure.

求め、ハリケーン Daisy の発達期と最盛期について求められている値とを第 14 図で比較した。この図から、メソサイクロンへの質量 flux は発達期のハリケーン Daisy の半分であり、最盛期にあった時の Daisy の $\frac{1}{4}$ に相当していることがわかる。

さらにメソサイクロンへの質量 flux と一つの積乱雲への質量 flux を比較するために、直径が 10km の積乱雲であり、その 500mb 高度では毎秒 10m の上昇気流があるような単位積乱雲を想定する。この単位積乱雲へは 50×10^7 kg per sec の質量 flux があることになり、この規模の積乱雲はかなり強い雷雲に対応するものであろう。メソサイクロンの質量 flux はこの単位積乱雲の 5 個分、発達期 Daisy は 10 個分、最盛期 Daisy は 20 個分の単位の積乱雲で代表されることになる。

7. 気象衛星から見たメソサイクロン

メソサイクロンはその小さな規模のために気象観測網にかからないことが多い。そこで気象

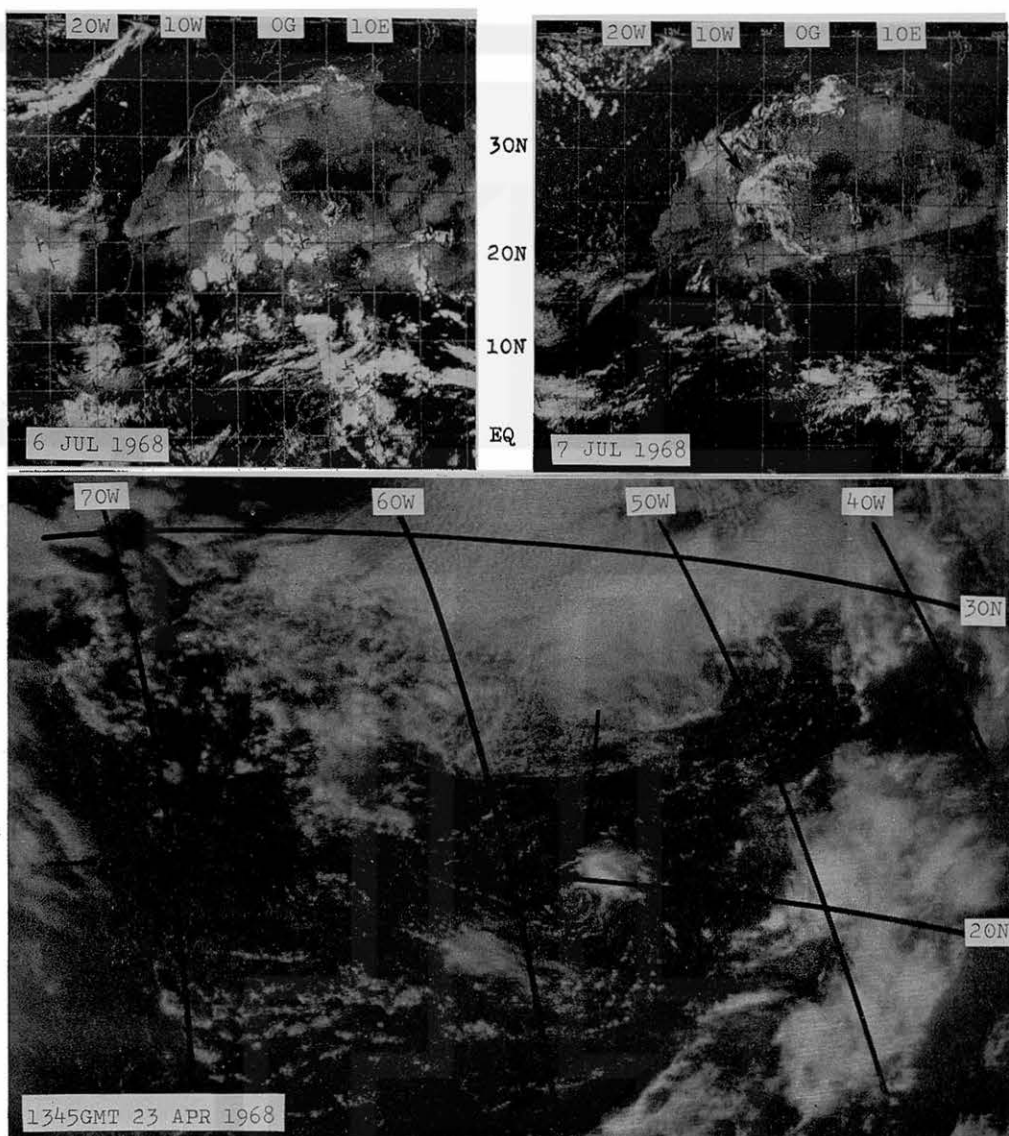


Fig. 15. The subtropical mesocyclones developed over the Sahara Desert on 7 July 1968 (above), and the one in the Atlantic Ocean on 23 April 1968 (below).

衛星が観測した雲の写真の詳細に調べていると、メソサイクロンと思われる小さな雲の渦が数多く見られる。しかし、そのほとんどは観測網にかからない洋上に発生しており、しかも寿命が短いので解析のしようがない。ここで扱った1960年9月1日から2日にかけて九州に上った亜熱帯メソサイクロンのように詳しく観測記録された例は珍らしいと言えよう。

第15図の上図は1968年7月6日から7日にかけてアフリカのサハラ砂漠に発生したメソサイクロンを示す。6日には不規則な積乱雲の群だったのが翌日には渦を形成し、8日にはモロッコの近くに達し渦の形を失っている。

第15図の下図は1968年4月23日に大西洋中部で見られたメソサイクロンである。下層の雲は奇麗な渦を巻いているが、積乱雲活動と吹き出しは渦の北東側に限られており、全体として非対称構造を示している。

8. 結 論

大気中には色々なスケールのじょう乱があり、そのあるものは水平的な広がりでもって分類され、またあるものは最大風速で分類されて来た。これ等じょう乱を統一的に見るために、まず水平的広がりと最大風速の両者を使ってじょう乱を分類しなおしてみた。その中には豆台風というもある。それは一見したところ Tropical depression のようであるが、中心部では台風の強さを持っている。そのために予報現場に立つ予報官は線状降雨帯を持った小じょう乱に対しては豆台風の可能性について神経質になる。1960年9月1日午後に九州へ接近したこの小じょう乱も線状エコーを持っていることがレーダーで確認されていたので、豆台風として取扱い災害を警戒した。しかし、ここで解析した時点では既に小じょう乱はすっかり寒気内にあり、メソ高気圧に取囲まれていたので、下層の風系やレーダー・エコーは渦を示していたが亜熱帯メソサイクロンとして分類することにした。

メソサイクロンの気圧場は気圧傾度が緩いので、気圧急昇線を伴ったメソ高気圧が発達し、メソサイクロンの気圧場を大きく変形してしまった。また積乱雲活動のほとんどは東象弦に限られており、全体としての構造の非対称性が強かった。

メソサイクロンへの質量 flux は1958年のハリケーン Daisy のような最盛期台風の約 $\frac{1}{5}$ であり、また大きな雷雲5個分に相当するものであった。

最近では気象衛星でこのような小じょう乱を雲の形から検出することができるとは、その構造までも衛星写真から判断することは困難なので、今後とも1960年9月1～2日のメソサイクロンのように、既設観測網によって良く観測記録されたような場合には、その好機を逃さずに詳しい調査研究を積み上げてゆくことが望まれる。

9. 謝 辞

この研究は「日米科学協力事業」の一つ(GEO-29, Typhoon-5, NSF GF-255)として行われたものであって、その遂行にあたっては、文部省、財団法人日本学術振興会、および米国国立科学財団の協力、援助を得た。また米国環境科学庁からも援助を得た(CWB-E-86-67-G)。厚く感謝する。

References

- ARAKAWA, H., 1939: Mame-taifu on August 5, 1939 (In Japanese). *Tenki-to-Kiko*, **6**, 546-550.
———, 1952: Mame-taifu or midget typhoon (Small storm of typhoon intensity). *Geophys. Mag.*, **23**, 462-474.
ARAKAWA, H., K. WATANABE, K. Tsuchiya and T. T. FUJITA, 1968: A mesometeorological study of a subtropical mesocyclone. SMRP Research Paper, **68**, 1-28.
BROOKS, E. M., 1949: The tornado cyclone. *Weatherwise*, **2**, 23-33.
FORTNER, L. E. Jr., C. L. JORDAN, 1960: A non-tornadic spiral-shaped radar echo. *Mon. Wea. Review*, **88**, 343-348.
FUJITA, T., 1963: Analytical Mesometeorology: a review. *Met. Mon.*, **5**, 27, 77-125.
HAWKINS, H. F. and D. T. RUDSAM, 1967: Hurricane Inez — a classic "micro-hurricane". *Mariners Weather Log.*, **11**, 157-160.

- PAIMEN, E. and H. RIERL, 1957: Budget of angular momentum and energy in tropical cyclones. *J. Met.*, **14**, 150-159.
- RAMAGE, C. S., 1971: *Monsoon Meteorology*. Academic Press, NY & London, 296.
- RIEHL, H. and J. MALKUS, 1961: Some aspect of hurricane Daisy, 1958. *Tellus*, **13**, 181-213.
- SHAW, W. N., 1919: *Manual of Meteorology*. **4**, Cambridge Univ. Press, England.
- SIMPSON, R. H., 1952: Evolution of the Kona Storm, a subtropical cyclone. *J. Met.*, **9**, 24-35.
- Sinclair, P. C., 1965: On the rotation of dust devils. *Bull. Amer. Met. Soc.*, **46**, 388-391.
- TAKAHASHI, K., 1950: Distribution of various meteorological elements in a typhoon. *J. Met. Soc. Japan*, **18**, 125-130.
- WEXLER, H., 1947: Structure of hurricanes as determined by radar. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **48**, 821-844.

亜熱帯メソサイクロンのメソ気象学的研究

荒川秀俊, 渡辺和夫, 土屋 清, 藤田哲也

亜熱帯性メソサイクロンが各種大気じょう乱の間で占める位置づけを、その大きさと強さによって求めたところ、温帯性メソサイクロンと弱い熱帯低気圧の中間に在ることがわかった。洋上に発生して、100 kmからせいぜい200kmほどの大きさを持った亜熱帯メソサイクロンを既存の地上観測網で捕捉する機会はきわめて少く、したがって、その構造や性質を調べる手掛りはほとんどない。たまたま、1960年9月1日のこと、メソサイクロンが東支那海に発生して北東に進んでいることが名瀬レーダーで発見された。それから一昼夜して、それが九州中部に上陸して消滅するまでの状況をかなり刻明に記録することができたので、このじょう乱が亜熱帯メソサイクロンの良い例では決していないが、このケースを調べることによって、メソサイクロンの一般的構造や性質をうかがうことにした。メソサイクロンは亜熱帯じょう乱としての螺旋状降雨帯を持っているが、中緯度に進んで来ると共に、収束の大きな東半円内にある降雨帯で数多くの積乱雲が発生して顕著なメソ高気圧を作ってゆく。ところで、じょう乱の主体であるメソサイクロンのスケールと副産物的なメソ高気圧の大きさと強さが同じオーダーであるために、後者は前者の構造を著しく変えてしまうことが特徴である。また循環が弱いために対称的構造をとることができず、著しい非対称になっていることも特徴といえる。

限られた高層観測点と山岳測候所で得られた資料の時系列を使って内挿をほどこし、1 km から14 km までは1 km毎に14層の等高度面天気図を作ることによって3次元解析を試みた。その結果として、亜熱帯メソサイクロンへの空気流入量は、巨大積雲のそれと、発達期にある台風への流入量の丁度中間であることがわかった。