終りに臨み本實驗に御援助を賜りし桑野眞弓氏、圖表作製に御助力を與へられし若林氏、其の他諸氏に對して厚く感謝の意を表する。

颱風域内に於ける諸種氣象要素の分布*

高 橋 浩 一 郎

半年程前に筆者は颱風域内の氣壓分布、風速分布などに関し調査した結果⁽¹⁾を報告したが、今回はその後調査した結果、即ち降水量、気温、濕度などの分布、それ等の要素と颱風の力學的諸性質との間の關係などを此處に述べたい。猶、今回も勿論颱風は圓對稱と假定し、從つて各氣象要素は中心からの距離だけの函數とした。

1. 降水量の分布 颱風域内に於て降水量は中心に近い程多い事は良く知られた事實であり、その分布を表す實驗式として既に堀口博士の双曲線式がある。⁽²⁾ 元來降水量はいろいろの影響、例へば地形の影響などをひどく受けるから颱風だけの影響を精確に抽出する事は甚だ困難である。此處では極く一般的傾向を調べる爲、中心示度が 725 耗から 735 耗の颱風を撰び出し、各地の一日降水量と中心迄の距離との關係を圖示して見た。その結果が第 1 圖である。點はひどくばらつくが兎角中心より 250 耗以内では降水量が多く、その外では非常に少い。そして此の關係は略次の實驗式で表される。

$$m = \frac{m_0}{1 + (r/r_m)^2}, \quad (1.1)$$

但し、 m は一日の降水量、 r は颱風の中心から計つた距離、 m_0, r_m は或る常數である。なほ m_0 は颱風の中心に於ける降水量で、上例では 150 耗であり、 r_m は 220 耗である。此の (1.1) なる實驗式は中心示度が變化しても成立し、ただ常數 m_0 が違ふだけのようである。例へば中心示度が 720 耗前後の場合に就いても調べて見たが類似の結果を得た。

次に中心に於ける降水量 m_0 は中心示度に依つて異り、示度が深ければ深い程降水量は多いらしい。中心示度別に中心近くの地點の降水量の平均を作つた結果は次の表の如くである。

* K. Takahasi: Distribution of Various Meteorological Elements in a Typhoon. 中央氣象臺彙報.

(1) 本誌, 17, 417-421, 1939.

(2) Y. Horiguti: Life-history of the Typhoon on the End of March 1923. Mem. Imp. Mar. Obs. 2, No. 1, 1925.

第 1 表

中心示度 (耗)	710~720	720~730	730~740
平均降水量(耗/日)	125	88	43
統 計 數	12	8	9

これから中心附近の降水量と颱風の深度との間に

$$m_0 = 2.5 \Delta P_0 \text{ 耗/日}$$

と云ふ關係を得る。然し、上式の係數 2.5 と云ふのは降水量として一日總計をとつて居る關係上 m_0 を與へるにはすこしく小さすぎる虞れがある。まづ此の 1.5 倍が確らしい値の様である。即ち

$$m_0 = 3.8 \Delta P_0 \text{ 耗/日} \quad (1.2)$$

で m_0 が與へられる。例へば深度 ΔP_0 を 30 耗とすると中心に於ける降水量 m_0 は 114 耗となり、前の第 1 圖の結果と桁は一致する。

なほ此の様な調査では降水量を計る時間が長いから、その間に颱風の中心位置が變化し、爲に誤差が大きくなる虞れがある。これを避る意味から次の様な方法を考へて見た。即ち今颱風の中心示度に變化なく、速度が一定、降水量は中心に對し圓對稱とする。此の時、我々は此の颱風に依るいろいろな點の全降水量を知る事が出来るから、此れから逆に降水量の分布が出せさうである。今中心から距離 r なる點に於ける單位時間の降水量を $f(r)$ とし、颱風の速度を v 、颱風が最も接近した距離を ξ 、その點の此の颱風に依る全降水量を $\varphi(\xi)$ としやう。然らば $\varphi(\xi)$ と $f(r)$ とは全然獨立ではなく次の様な積分方程式で結びついて居る事が容易に判かる。

$$2 \int_{\xi}^{\infty} \frac{f(r) r dr}{v \sqrt{r^2 - \xi^2}} = \varphi(\xi). \quad (1.3)$$

此の式は少しく變形するとアーベルの積分方程式となり、容易に解く事が出来る。そしてその解は

$$f(r) = \frac{1}{\pi} \frac{d}{dr} \int_{\infty}^r \frac{v \varphi(\xi) \xi d\xi}{\sqrt{\xi^2 - r^2}} \quad (1.4)$$

で與へられる。従つて $\varphi(\xi)$ がわかれば $f(r)$ がもとめられ⁽¹⁾、初めの推定が數式的に證明されたわけである。

次には此の關係を利用して降水の分布を求めて見やう。まづ此の目的の爲、最低氣壓と全降水量との關係を實測から調べて見ると第 2 圖の如くなる。これを實驗式で示すならば、

(1) 此の解法に關しては今井功學兄に教示を得た。厚く感謝する。

$$M = 10.4(752 - P_{\min}) \text{ 耗} \quad (1.5)$$

で略表される事を知る。これがもとまると颱風域内の氣壓配置が此の前の調査で判つてゐる故、 $\varphi(\xi)$ を計算する事が出来る筈である。かくして得た $\varphi(\xi)$ を (1.3) に入れ、 $f(r)$ を数値計算から求めると颱風の平均の速度を 24 軒毎時と見て (1.1) に得たと略、同じ結果を得る。唯係数 m_0 は 100 耗となり、5 割程小さく出るが、(1.1) 式は甚だ粗雑な材料から得たものであり、第 1 表の値を参照すると此の方が確らしい様に思はれる。猶此の方法に依る精しい計算は今後に譲る。

2. 湿度の分布 次に相対湿度の分布を調べて見やう。颱風の中心からの距離と一日平均の相対湿度との関係を圖に示すと第 3 圖の如くなり、中心に近づく程相対湿度は増加する事が判る。そして遠くなると約 80% 位に漸近する。この関係は次の如き實驗式で表はされる。

$$H = 100 - \frac{20 r/r_h}{1 + r/r_h}, \quad (2.1)$$

但し r_h はある常數である。

然らば混合比は如何と云ふに、これと颱風域内の氣壓との関係を調べて見ても殆んど関係は認められず、かなり一定した値をとる。即ち混合比は第一近似として略、一定と見てよい様である。

次に颱風の中心の近くの觀測をとり、中心示度別に混合比の平均を作つて見ると第 2 表の如くなる。これに依ると中心示度が深い程水蒸氣の量は多いと云ふ事になるが、個々の觀測はかなりばらつく故、あまり確定的の事は云へない。

第 2 表

中心示度(耗)	710~720	720~730	730~740	740~750
混 合 比	20.8	20.3	19.7	19.5
統 計 数	6	15	22	20

3. 温度の分布 颱風域内の温度の分布に関しては多くの研究があるが、あまり顯著な變化は認められない。中心近くは気温は一般に低く、温位にすると少しく高い⁽¹⁾と云ふのが今迄の各颱風に對しての結果である。此所ではいろいろの颱風についての平均的狀態を出す意味から、颱風域内の氣壓と気温の関係を調べて見た。第 4 圖はその結果である。これを見ると明かに氣壓が低いと気温も低い傾向が認められる。而してこの二つの平均の關係を見るに、これは丁度乾燥斷熱變化をした

(1) 例へば室戸颱風調査報告参照。

第 3 圖

時の關係に等しい。此の結果はかなり重要な點と思はれる。即ち颱風域内では略斷熱變化をしてゐると見てよいらしい。

4. 中心示度と颱風の力學的諸性質との關係 颱風の強さは中心示度でかなり代表する事が出来る。それでこれと颱風のいろいろの性質の間の關係を調べて見た。

まづ颱風の域内の最大風速（實際記錄されたもの）と中心示度との關係を調べて見ると第 5 圖の如くなる。點はばらついて居るが平均として

$$V = 5.1\sqrt{\Delta P_0} \text{ (米/秒)} \quad (4.1)$$

なる關係がはつきりと見える。そしてさらに上式の係數に 5 割増した式

$$V = 8\sqrt{\Delta P_0} \text{ (米/秒)} \quad (4.2)$$

をとると殆んど總ての點が、此の線の下に入つてしまふ。ところで氣壓の配置から傾度風として計算した値を見ると (4.1) とよく一致する事がわかる。しかるに實際は此れより大きい事も小さい事

もある。これは實際の風は決して一定でなく息があり、又地形の影響などがある故傾度風で計算したものより大きくなる事もあれば小さくなる事もある。(4.2) 式は此の様な原因に依るものと考へると説明出来る。そして瞬間最大風速が 20 分平均風速に比し約 5 割大きいと云ふ結果が出て居るが、⁽¹⁾ これは (4.2) 式の係數が (4.1) の係數に比し 5 割大きいと云ふ事とよく一致する。

一般に颱風の中心示度が深いとその影響する範圍も大きい事が考へられる。例へば圓形に閉じて居る等壓線の直徑をとり、颱風の深度との關係を調べて見ると第 6 圖の如く略比例する。即ち平均して次の實驗式が成立する。

$$D = 0.33\Delta P_0 \text{ (111 km 單位)} \quad (4.3)$$

(1) 大谷東平, 梅戸義男: 最大風速と瞬間最大風速の關係。本誌, 17, 250, 昭和 14 年。

第 4 圖

第 5 圖

第 6 圖

唯注意すべきはこの事は必ずしも前に定義した颱風の半径 r_0 が深度に比例すると云ふ事ではない。颱風の半径 r_0 と深度 ΔP_0 とは殆んど無関係であり、否寧ろ深度 ΔP_0 が深い程半径 r_0 は小になる傾向さへ認められるのである。

5. 雲の分布、中心示度と曇区域、雨区域との関係 颱風の区域に於ける雲の分布に関しては堀口博士の研究などある。今回得られた結果もそれと大差なく、中心から 250 軒以内は殆んど雨雲で、その他の雲は見られない。250 軒から 500 軒位迄は雲底が段々高くなり中層雲が出現し、巻雲の如き上層雲も見え出す。又下層雲も雨雲から層積雲になる。さらに中心から遠くなり 500 軒以上になると下層雲は層積雲から積雲になり、中層雲の現れる頻度は減少し、上層雲が現れる頻度が多くなる。

上に述べた事はしかしながら平均的事で雨の区域や曇の区域は颱風の強さで異なる。今我々は便宜上雨の区域の半径を雨半径、曇の区域の半径を曇半径と名付けよう。この雨半径、曇半径は容易に想像される如く深度が深いと大きくなる。實測を圖示したのが第 7 圖である。これより雨半径 r_p は

$$r_p = 8 \times \Delta P_0 \text{ km}, \quad (5.1)$$

$$\text{曇半径 } r_c \text{ は } r_c = 18 \times \Delta P_0 \text{ km} \quad (5.2)$$

なる實驗式で略表はし得る事が判る。

6. 颱風域内の斷熱變化 さて既に前にも一寸述べた如く颱風域内では近似的に斷熱變化と云ふ假定が許るされるらしい。此の假定をすると前に得た實驗式のあるものはうまく説明する事が出来る。例へば湿度の分布、温度の分布の如きこれである。今此の假定をなし、中心から充分離れた所の気温を 26°C 、湿度を 80% とし、斷熱變化、水蒸氣の供給なしとして温度、湿度を計算すると次の表の如くなる。但し颱風の深度を 40 軒、半径を 200 軒と假定した。

第 3 表

中心迄の距離 (軒)		0	100	200	300	400	500
温	度 $^\circ\text{C}$	22.3	23.1	23.9	24.2	24.6	24.9
濕	度 %	100	92	89	88	87	84

これは前に得た結果と略一致する。従つて斷熱變化、海面で水蒸氣の蒸發なしと云ふ假定は第一近似としては許るされる様である。

7. 結 尾 以上が大體今回の調査で得た概要である。なほ又一寸考へると颱風域内、或ひは出来さうな場所では地上の温度とか湿度に相當の變化が起りさうに思はれる。しかし實際調査して見

ると常に否定的の結果を得るだけである。此の事はかなり重要な結果と思はれる。これから見ると夏季に於いては南洋方面はいつも颱風が起り得る状態にあると云ふ事が結論出来る様に思はれる。唯颱風まで發達するにはある刺激が必要であり、例へば、荒川博士⁽¹⁾の論ずる如き寒波に依つて始めて一人立になる事が出来るのであるまいか。此等の事、及び以上の調査の應用に就いては次の機會に譲りたい。

最後にいつも變らぬ藤原先生の御指導に對し衷心より謝意を表する。

要 報

極 東 に 於 ける 環 流 と 降 雨 機 構*

東 條 貞 義

1. 緒 言 古くから氣象學に指導的な位置を占めて來たビヤークネス一派の前線論⁽²⁾と、最近フキッケル⁽³⁾に依り始められバウルによつて發展せられたストイエルング説⁽⁴⁾とは大氣環流に對する見解の相異を來たした。然し乍ら兩説とも豫報上重要な役割を演じてゐるもので、多くの氣象學者もその相互作用を考へやうとしてゐる。⁽⁵⁾

大體極東では降雨機構に關して前線論の見解が多いやうで、デッパーマンの研究⁽⁶⁾も此の感が深い。これに對してシェルハーグが前線論的に説明のつかない降雨の存在することを指摘し、ストイエルングによる考察の成功を傳へてゐる。⁽⁷⁾アメリカではイセントロップ圖による環流機構の研究に於いて降雨との結びつきを注目して來た。⁽⁸⁾同じ様な考へ方は、我が國でも早く

から藤原博士によつてなされ、上層氣流方向の變化に伴ふ垂直不安定度が降雨に貢獻することを指摘されてゐる。⁽⁹⁾斯くの如く環流と降雨との間に何か關係がある様に思はれるので最近の降雨を用ひて兩説を検討をして見たものである。此の降雨は 11 月 8 日午後 1 回、夜間より 9 日に互つて 1 回と全く異つた機構——初めのは同一氣塊内の弱い不連續面で、他は突進して來た寒冷前線で發生したものであつた。降雨の詳細なる測定は省き、最後に二三此の機構の數理に觸れるが、先づ亞歐天氣圖により當日襲來せる不連續線の兩側をなす環流を概觀し、次に其の消長に關する兩學派の説が如何に扱はれるかを 3000 米等壓線圖を用ひて考察し、氣壓變化域と降雨域の結びつけから此の降雨が二つの環流機構と相對することを述べる。

(1) 本誌, 18, 1, 昭和 15 年.

* S. Tōdyō: General Circulation of the Atmosphere and Two Types of Mechanism of Falling Rain.

(2) 例へば岡田博士: 氣象學下卷 45 頁, 颱風の波動説參照. (3) Ficker: Met. Zeit. March, 1932.

(4) Franz Baur の發展した旬日豫報: 文獻抄 1936, 74 頁, 又は“ストイエルングに就いて”, 測候時報. 第 9 卷 5 號を參照. (5) C. E. P. Brooks が Some Problems of Modern Meteorology, 78 頁に“Probably the truth lies somewhere between,…”と述べてゐる.

(6) Charles E. Deppermann: Outlines of Philippine Frontology. 文獻抄 1936 年 78 頁.

(7) R. Scherhag: Die Koppelung von Druckwellen und Regengebieten. この反駁を G. Dudek が行ひ (文獻抄 1938, 57 頁), これを Scherhag が再び反駁してゐる (文獻抄).

(8) H. Wexler and J. Namias: 大氣大循環の問題に對する流體力學の應用, 文獻抄 1938 年, 132 頁.

(9) S. Fujiwhara: A Remarkable Example of the Use of 3000 m Isobars in Forecasting Weather, Geophys. Mag. Vol. 3, No 2.