

台風域内の風の分布の推算法

山元龍三郎・光田 寧

SYNTHESIS OF TYPHOON WIND PATTERNS

by Dr. Sci. Ryozauro YAMAMOTO and Yasushi MITSUTA

Synopsis

A method of synthesis of typhoon wind patterns is proposed. Friction free wind patterns are synthesized from pressure distributions of "Main and Secondary Typhoon Theory" of Dr. Namekawa's [eq. (1)]. The relations between friction free winds and surface winds over the flat surface are followings; surface wind speed / friction free wind speed is $1/2$ over land and $2/3$ over sea, and deflection angle of surface wind is about 45° . These relations are rules of thumb derived from the collection of published data.

1. 緒 言

台風域内の地表風の分布を知ることが種々の面から必要な事柄であることは云うまでもない。ところが、台風域内の風の信頼のおける実測値は、実際には雨量の観測などに較べると非常に数が少ない。それに、風は観測点付近の地形によつて大きな影響を受け、また測器の種類あるいはその取付け高度など、測定方法に起因する測定結果の差も大きいので、おのおのの観測値について、その補正を考えなければならない。しかし、この補正にはいまだに一般的な方法は確立されていない。そこで、補正を要しないような、同じ条件のもとでの観測のみを選び出していたのではますますその数は少なくなり、直接観測の結果のみから台風域内の風の分布を知ろうとすることは非常に困難である。一方、気圧についてはこのような困難は少なく、台風域内での気圧分布に関する研究も数多くなされている。したがつて、台風域内の風の分布を推算するに当つて、まず台風の気圧場の解析を行ない、得られた気圧場に対応する風場を算定し、それに地面摩擦の効果を考慮して地表風を推算するといった方法をとる方が好ましいと言える。このような線に沿つた方法についてはすでにいくつかの試みがなされているが、いまだに確定的な一般に用い得る方法は確立されていない。以下に述べる方法もこのような線に沿つたものであつて、気圧場には主副台風論による考えを導入し、より一般性を得ようとした一つの試案に過ぎない。しかも、まだ未解決な問題について大きな仮定が行なわれており、完成した形とは云い難いが、以下にその方法を概説し、伊勢湾台風通過時の地表風の分布の推算の実例を示して、現在のところこの程度まで可能であるということを示したい。

2. 気圧場の選定と上空風の推算

台風域内に於ける気圧分布については、さきに述べたとうり、すでに数多くの研究がなされているが、地表気圧分布の実状を現在のところ最も一般性を持つて良く表現し得るものとして、滑川忠夫博士の主副台風論がある¹⁾²⁾。この考えは、本邦を襲う強烈な台風は、直径は大きいあまり強くない旋廻系と、直径は比較的小さいが強烈であり台風の破壊的な本性を作り出すような旋廻系との2つの旋廻系の複合形で示されるとするものであり、前者を主台風、後者を副台風と呼んでいる。台風域内の気圧 P の分布は次の式で示される。

$$P = P_{\infty} - \frac{\pi}{1 + \left(\frac{r}{b}\right)^2} - \frac{\pi'}{1 + \left(\frac{r'}{b'}\right)^2} \quad (1)$$

(域外気圧) (副台風) (主台風)

ここに、 P_{∞} は台風域外の気圧、 π は副台風の中心気圧降下量、 π' は主台風の中心気圧降下量、 r と r' はそれぞれ副台風中心または主台風中心からの距離、 b および b' は副台風または主台風の内域半径（最大風速半径）である。これらの変数の内で、 b 及び b' はそれぞれ普通 50 km 内外及び 200 km 内外の値をとり、台風個有のものであつて時間的に変化せず、 π' は普通本邦に來襲するときには 30 mb ぐらい迄の値を示す場合が多く、その減衰は非常に小さくて、台風が本土を横断している間ぐらいは一定であるとみてよく、また π は強烈な台風では 90 mb ぐらいにもなるが上陸すると急速に減衰してしまう。また、台風の見かけ上の中心は、ほぼ副台風の中心と一致している場合が多いということが、過去の研究から知られている。たとえば、室戸台風（1934年）及び伊勢湾台風（1959年）の解析の結果を示すと Table 1 のようになる。

ところで、(1) 式の右辺の第2項及び第3項に示された副台風及び主台風の気圧分布をそれぞれ単独に見れば、次のような形の速度分布を持つ旋廻系 (Bjerknes' model of continuous vortex of the 3rd order) に対応する (cyclotropic balance を仮定)。

$$U = U_0 \frac{2 \frac{r}{b}}{1 + \left(\frac{r}{b}\right)^2}, \quad \left(U_0 = \sqrt{\frac{\pi}{2\rho}}\right) \quad (2)$$

ここに、 U_0 は最大風速で $r=b$ のところで発現し、その値は括弧の中に示す通りである（ただし ρ は空気密度）。このような風速分布に対応する stream function φ は

$$\varphi = U_0 b \log \left\{ 1 + \left(\frac{r}{b}\right)^2 \right\} \quad (3)$$

の形で示されるから、主副両台風の旋廻系の重ね合わせがベクトル的な合成によつて行なわれるとするならば、台風域内の風の stream function は主副両台風の stream function φ_s 及び φ_m の和で示すことができ、次のように書ける。

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_s + \varphi_m \\ &= U_0 b \log \left\{ 1 + \frac{x^2 + y^2}{b^2} \right\} + U' b' \log \left\{ 1 + \frac{(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2}{b'^2} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

Table 1

台 風 名	1934年 9月20日	1959年 9月26日
項 目	室 戸 台 風	伊 勢 湾 台 風
主台風の気圧降下量 π' (mb)	25	30
主台風の内域半径 b' (km)	200	220
副台風の気圧降下量 π (mb)	05時(室戸岬上陸直後)67	18時(潮岬上陸直後)58
	06時 51	21時 24
	09時 17	24時 8
π の 半 減 時 間 (hr)	約 2	約 3
副台風の内域半径 b (km)	50	55
主台風の中心に対する 副台風の中心の位置	右後方 100~170 km	右後方 85~130 km
移 動 速 度 (km/hr)	北 東 へ 80~90	北 東 へ 55~80

ここに、座標原点は台風の見かけ上の中心である副台風の中心に取り、主台風の中心は点 (x_m, y_m) にあるとしている。このようにして、台風の気圧場の解析結果が得られたならば、風の分布を計算することができる。

ここで計算された風は、地面の摩擦の影響を考慮に入れたものではないから、地面摩擦の影響の及ばない上空での風に相当するものである。このような風を以下では上空風 (friction free wind) と呼んで地表付近の風と区別することにする。

3. 地表風の推算

上述のようにして得られた上空風を地表付近のわれわれの必要とする風に換算しなければならないが、ここではまず基準として平らな地面または海面上の高さ 10m における平均風速を考えることとし、これを地表風と呼ぶことにする。地表風と上空風との関係についてはすでに数多くの研究があるが、いまだに理論的見地からの解決はなされておらず、研究の大部分は風速 10m/sec 程度またはそれ以下の状態での実測に関するものである。そして、台風域内のような強風時の状態に関する知識はいまのところ非常に乏しいものである。したがって、いま必要としている地表風への換算のやり方は、この乏しい資料と風の弱い一般の場合に関する知識からの類推によつて概括的な経験則を作る以外にない。

一般の場合の知識としては、たとえば Humphreys³⁾ によれば、陸上では地表風速は上空風速の 0.37 倍で、風向の偏角は 30°、海上では風速の比は 0.60 倍で偏角は 20°、また Baur and Phillips⁴⁾ によれば緯度 30°では、陸上における風速の比は 0.31 で、偏角は 45°、海上では比は 0.56 で、偏角は 19°であるという結果が出されている。また Brunt⁵⁾ は陸上において、6m/sec ぐらいの風のときには比が 0.65、偏角が 21.5°となり、10m/sec ぐらいの時は比が 0.61 で偏角が 20°になるという観測結果を示している。一方、Bijvoet⁶⁾ は北大西洋上での観測の統計から、大気が中立の安定度を持つときには海上では比が 0.66 で、偏角は約 18°となり、安定度が増せば比は減少し、偏角は大となり、逆に安定度が減じて不安定になれば比は増大して偏角は小となるという結果を示している。ここに例示した調査はいずれも数多くの観測資料に基づいたものではあるが、その値はおおのかなりの差がある。当然これらの値には大気の安定度や、地表の状態のわずかの差さらに風速による差のあることも当然考えられることである。ここに示したものを通じて見ると、陸上での風速の比は 0.31 から 0.65、偏角は 20°から 45°、また海上では風速の比は 0.56 から 0.66、偏角は 18°から 20°の間にあり、陸上での風速の比の差が特にいちじるしい。

強風時における観測資料としては、米国の Michigan 州の平地で行なつた Sherlock⁷⁾ のものがあるが、これは冬の強風の場合でただ一回の観測結果の解析である。それによると、地表風速と上空風速との比は 0.64 で偏角は 18°になるという結果が得られている。熱帯性低気圧の域内での強風に関する調査としては、同じく米国の Okeechobee 湖 (Florida) ではほぼ 16 年間にわたつて行なわれた hurricane による風の観測がほとんど唯一といつてもよいものであろう。この観測資料を用いて Schloemer⁸⁾ は水面上での地表風速 (Y) と上空風速 (X) との関係として $Y=9.5+0.77X$ (m.p.h) を得た。そして陸上での地表風は風が水面から陸に向つて吹くときには水面上でのその 0.79 倍、内陸から吹く場合にはその 0.60 倍となるとしている。また、偏角は陸上、水面上を通じて平均 35°であるという結果を得ている。一方、Hunt⁹⁾ は同じ資料に基づいて、水面上での地表風と上空風速との比は hurricane の中心付近で 0.65、内域の外辺で 0.85、その外側では再び減じて 0.65 ぐらいになるという結果を得ている。また、陸上では水面上の風速の 0.89 倍の風が水面から陸に向う風向のときに吹き、水面上に吹き出す風向の時には、この比は風速によつて異なり、20m/sec ぐらいのときには 0.55 倍、40m/sec ぐらいのときは 0.80 倍、60m/sec ぐらい以上になれば 0.89 倍となつて風向が陸に向う場合と同じになるとしている。なお、平均の偏角は 35°であるという結果を得ている。これらの強風時の資料をまとめると、地表風速と上空風速の比は海上では 0.80 ないし 0.65 であり、陸上では 0.68 ないし 0.47、偏角は 18°ないし 35°の値になる。陸上での風としては内陸での値を考えると、海岸で海から吹

く風の場合を除けば風速の比は陸上ではその上限はもう少し小さくなる。いずれにしても風速の比はさきに示した一般の場合よりは多少大きな値を示している。

強風時ということに限定すれば、大気の安定度も中立に近くなると考えられ、地表面の状態のわずかな差の影響も小さくなると見られるから、多少とも問題は簡単になるはずであるが、それでもここに示したように差が大きい。したがって、この関係を一意的に決定してしまうことは困難であることは明らかである。そこで、ここではこれらの値に基づいて、一つの概括則を作つて見て、それを実際の場合に応用し、実測と一致するかを調べ、その上で適当と思われたならばそれを一般に用いる関係として採用し、たまたもしも不適当であると判断されたならば再び新しいものを考えてみるという方法を採用することにする。このような線に沿つて、前述のような既往の観測結果に基づいて、まず選ばれた関係は次のようなものである。

地表風速/上空風速			風 向 偏 角
陸	上	1/2	2 方位 (16方位で) (45°)
海	上	2/3	同 上

ここに、海上での値というのは、Okeechobee 湖での観測結果を参考として、風が陸から海に向つて吹くときは海岸より 15km 以上、海から陸のときに 5km は以上に離れたところでの値であるとする。

この関係を用いて、伊勢湾台風(5915台風)通過時の気圧場の解析の結果に基づいて計算をした、名古屋、津及び伊良湖での毎時の風の変化と、同時刻の風の実測値とを比較して図示したものが Fig. 1 である。風向については、名古屋の22および23時を除いてはほぼ一致している。しかし、風速については、まず、実測風の最大となる時刻にはいずれも計算値が多少小さく出ている。これはさきにこの概括則を選ぶ際に、陸上での風速比は前述の強風時の実測による資料では0.68ないし0.7になつていところを1/2と取つた点、この比は過少評価になつていのではないかとの疑いも持てる。しかし、他の時刻では計算値の方が大きく出ており(特に、名古屋の19時以前、津の22時以降では差が大きくなつているが)直ちにそのように断定することもできない。結局、この比の値が明らかに不適当であるとこれだけの比較のみからでは結論できない。したがって、強引ではあるが、現在のところはこの関係を一般に用い得るものとして採用することにし、将来さらに研究を進めた上で不都合がはつきりすれば改善することにした。

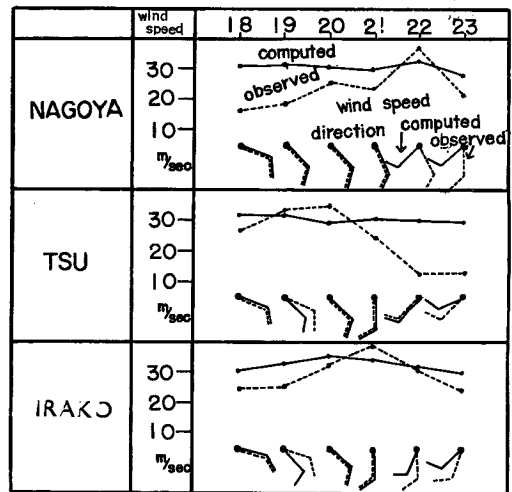


Fig. 1 Variations of computed (solid line) and observed (dashed line) winds for Nagoya, Tsu and Irako from 18 JST to 23 JST 26 Sept. 1959

4. 局地性に関する考慮

上述のようにして台風域内における地表風の分布を推算することができるわけであるが、このようにして得られたものはさきにも述べたとうり地面が平らであるとした場合の地上 10m の高度における平均風速なのであるから、台風域内の一般的な風の分布を知るような場合にはこれだけで十分である。しかし、さらに個々の場合、たとえば特殊な場所の特定の構造物に当る風圧を考えるというような場合にはまだ不十分である。個々の特殊な目的について考えるためには、その目的に応じて、ここで得られた地表風を換算して用いなければならない。実際の問題として生じてくる主な問題は次のようなものである。すなわち、

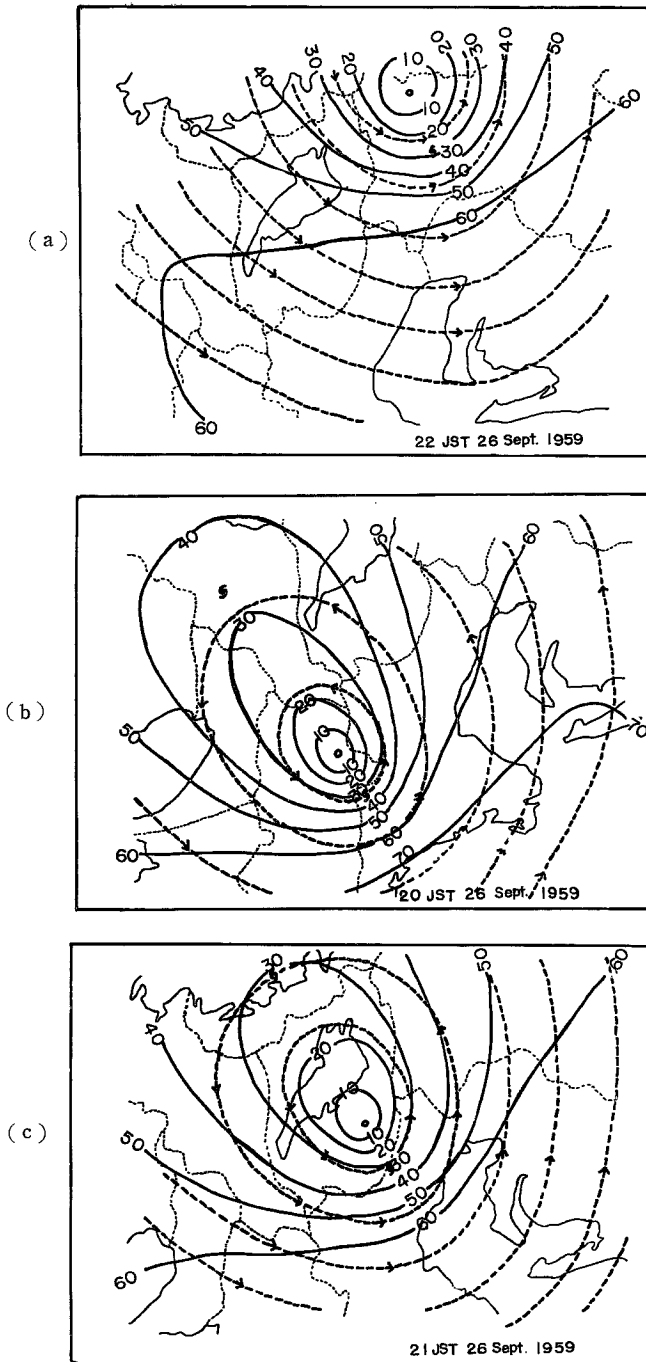


Fig. 2 Synthesized friction free wind patterns of Typhoon 5915 for 20 (a), 21 (b) 22 JST (c) 26 Sept. 1959. Solid lines are isotachs (unit : m/sec) and dashed lines are representative stream lines

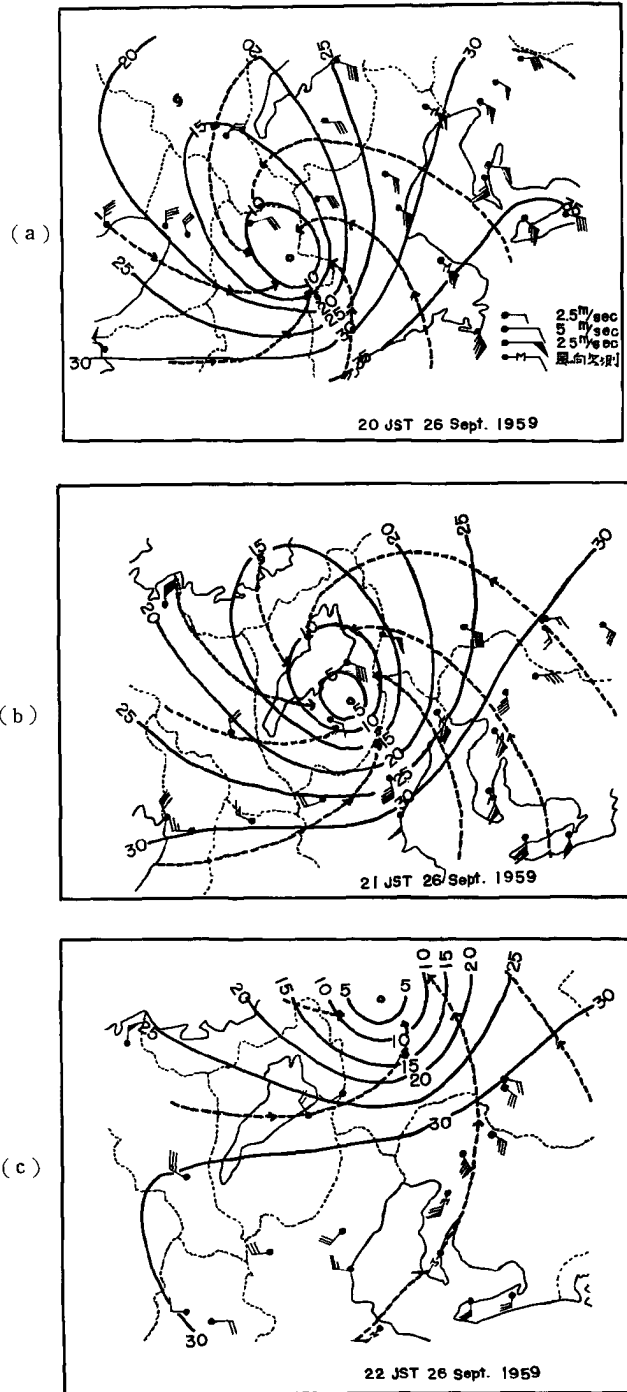


Fig. 3 Synthesized over land surface wind patterns corresponding to Fig. 2. Observed winds are shown in wind arrows

- 1) 高さによる風速の変化。
- 2) 瞬間最大風速あるいは、設計風速として必要な値への換算の問題。
- 3) 地形による風の局地性に関する問題。

これらの問題はいずれも重要であるが、未解決なものばかりである。したがってここでは、これらの問題を列挙するに止めて、詳しい議論は他の機会に譲ることにする。

5. 応用例

伊勢湾台風通過時の風の分布をこの方法にしたがって推算した結果を応用例として示す。**Fig. 2 (a)~(c)** は1959年9月26日の20~22時の中部地方での上空風の推算の結果である。この上空風の計算の基となつ

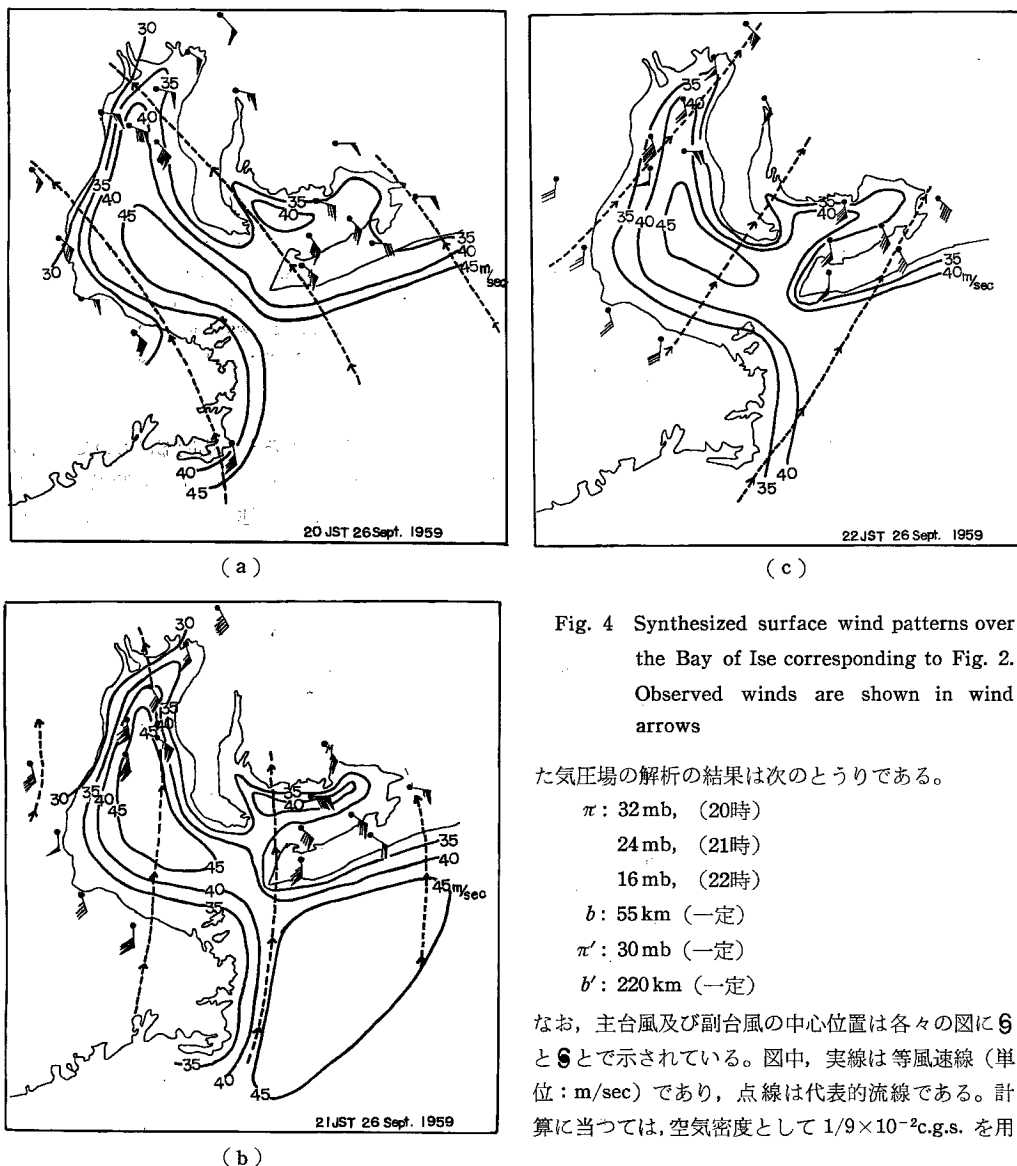


Fig. 4 Synthesized surface wind patterns over the Bay of Ise corresponding to Fig. 2. Observed winds are shown in wind arrows

た気圧場の解析の結果は次のとおりである。

 $\pi: 32\text{mb}, (20\text{時})$

24 mb, (21時)

16 mb, (22時)

 $b: 55 \text{ km}$ (一定) $\pi' : 30 \text{ mb}$ (一定)
$$b': 220 \text{ km (一定)}$$

なお、主台風及び副台風の中心位置は各々の図に⑥と⑦とで示されている。図中、実線は等風速線（単位：m/sec）であり、点線は代表的流線である。計算に当つては、空気密度として $1/9 \times 10^{-2}$ c.g.s. を用

い、主副両台風の旋廻の重ね合せには格子点を用いてベクトル三角形による加算を手によつて行なつた。

これらの上空風速を第3節に示した関係を用いて陸上での地表風に換算したものが Fig. 3(a)~(c) である。この図には各地での風の実測値が矢羽根によつて記入してある。さらに、伊勢湾上での地表風を拡大して示したものが Fig. 4(a)~(c) である。この計算に当つて海岸近くでの海上風速は、陸上の値と海上の値を指数函数的に内挿した。なお、海上に記入した矢羽根は神戸海洋気象台の調査による港外に避難した商船の観測値である。

また、各時刻の風速分布の重ね合わせを作り、最大値を選び出すという方法によつてこしらえた、伊勢湾台風通過時の最大風速の分布を Fig. 5 に示した。この図で実線は計算値を示し、矢羽根で実測の最大風速を示してある。また点線によつて石崎教授その他¹⁰⁾によつて調査された家屋の風による全壊率を示した。計算による最大風速と実測値あるいは全壊率との間の個々の対応は必ずしも

良くないが、平地においては、ほぼ大勢において一致していると見てよいだろう。山間部においては風の局地性まで考えなければ比較できない。愛知県東部では計算によれば強風域の軸が通つており強風と大きな被害が期待されるのにもかかわらず、実際はそうなつてない。このような差は上に述べたように地形による局地性を考えていないことによつて生じたのであろう。

参 考 文 献

- 1) Namekawa, T. & S. Aoki: A View of the Structure of the "Muroto Typhoon", The Memoirs of the College of Science, Kyoto Univ., Ser. A, Vol. 14, No. 2, 1936.
- 2) Namekawa, T. & S. Aoki: On the Structure of the Disastrous Typhoon Hitting the Japanese Islands, Proceeding of the UNESCO Symposium on Typhoons, 1954.
- 3) Humphreys, W. J.: Physics of Air, 3rd ed., 1940, p. 55.
- 4) Baur, F. & H. Phillips: Untersuchungen der Reibung bei Luftströmungen über dem Meer, Ann. Hydrogr. u. Mar. Meteor., Vol. 66, No. 6.
- 5) Brunt, D.: Physical and Dynamical Meteorology, 2nd ed., 1939, p. 260.
- 6) Bijvoet, H. C.: A New Overlay for the Determination of the Surface Wind over Sea from Surface Weather Charts, Mededelingen en Verhandelingen, 71, 1957.
- 7) Sherlock, R. H.: Variation of Wind Velocity and Gusts with Height, Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., Vol. 78, No. 126, 1952.
- 8) Schloemer, R. W.: Analysis and Synthesis of Hurricane Wind Patterns over Lake Okeechobee, Florida, Hydrometeorological Report, No. 31, 1954.
- 9) Hunt, M.: Effets du Vent sur les Nappes Liquide, La Houille Blanche, No. 4, 1956.
- 10) 石崎澄雄, 川村純夫, 許昌九: 伊勢湾台風による家屋の風害分布について, 日本建築学会論文報告集, 第69号, 1961, p. 657, および, 京大防災研究所年報, 第4号, 1961, p. 95.

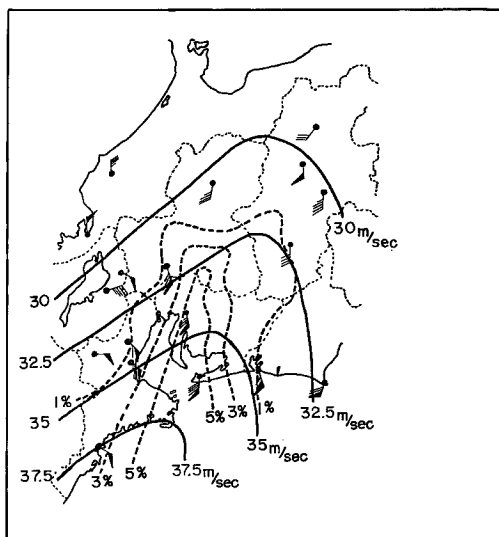


Fig. 5 Computed maximum wind speed (solid lines) and observed maximum wind speed (wind arrows) of Typhoon 5915. Dashed lines are the ratios of houses destroyed by wind