

## 神戸の高潮予想について\*

橋本正義・金谷光三\*\*

**要旨:** 神戸の高潮に対する従来の実験式(神戸以外でも同じような実験式が使われている。)は、神戸の気圧、風向、風速を使っていわゆる気圧効果と吹きよせ効果によるものを求めているが、ここでは大阪と和歌山の風を使ってさらに流入効果を考慮して実験式を作成した。つぎに高潮の予想図を作成して3つの台風の仮定コースによる高潮の偏差の予想値を求めた。

## 1. はしがき

高潮予想について今迄行なわれている方法について述べると(1)実験式より求めるものと、(2)理論計算により求めるものがあるが、それらはいづれもつぎのような改良しなければならない点とか疑問の点がある。まづ実験式についてであるが、実験式は観測地点(例えば神戸)における気圧と風速をもとにしてつぎのような式から求めている<sup>1)</sup>。

$$\Delta H = ap + bv^2 \cos \theta \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$\Delta H = a(p_0 - p) + bv^2 \cos \theta \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

$$\Delta H = a(p_0 - p) + b \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

ここで  $\Delta H$  は高潮の偏差、 $p$ ,  $v$  は観測点における気圧と風速、 $\theta$  は観測点におけるもっとも有効な風向(主風向)よりの偏角、 $a$ ,  $b$  は係数である。これらの式を使って高潮の予想をする場合にはつぎのような欠点がある。

- (1) 神戸における風向だけでは高潮は起らないようになる。とくに台風が大阪湾を通った時の高潮は神戸の風が南分をもたないに拘らず大きな高潮を起している。
- (2) 最低気圧と最大偏差の起時は一致していない。
- (3) 連続した高潮の偏差の値は勿論、最大偏差の起る時刻も求めることが出来ない。
- (4) 気圧のみによる方法では神戸の西側ならびに紀伊半島附近を通る台風にたいして誤差が大きすぎる。

- (5) これらの式は、いわゆる吸上げ(気圧効果)と吹きよせ効果だけを取りあげていて、もっとも大切な大阪湾への流入効果を考慮していない。

つぎに理論計算による方法<sup>2)</sup>であるが、これもまたつぎのような疑問点がある。

- (1) 海上風と陸上風の区別が明らかでない。
- (2) 一般流の導入の仕方に疑問<sup>3)</sup>がある。
- (3) 流入効果が無視されているように思われる。このことは理論計算では台風がかなり接近するまでは偏差は小さいが、第2室戸台風では台風が室戸岬に達した頃にはすでに50cm程度になっている地点が多いことと、州本の実測の最大偏差1.9mにたいして理論計算は0.9mになっている点からもうかがわれる。

以上のことからわれわれは吹きよせ効果と流入効果を同時に考慮して連続した偏差を求めることが出来るような実験式をつくることにした。

## 2. 実験式の作成

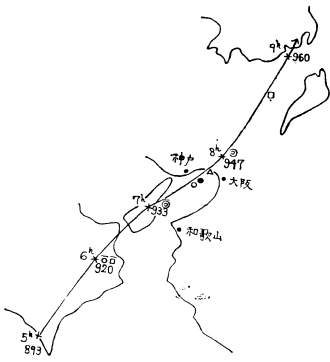
まづ神戸において高潮を起した台風を3つのグループに分けた。これらは大阪湾を通ったもの、神戸の西側を通ったもの、紀伊半島に上陸またはその東側を通ったものの3つである。

- (1) 大阪湾を通ったものには室戸台風、ジェーン台風、第2室戸台風の3つがある。第2.1.1.図、第2.1.2.図、第3.1.3.図は各台風の経路に神戸、大阪、和歌山の風が南分をもちはじめた時刻、最大風速の起った時刻、神戸の最低気圧と偏差(高潮)の出始めた時刻ならびに最大偏差の起った時刻を記入したものである。さらに各台風について横軸に時刻、縦軸に神戸、大阪、和歌山の風

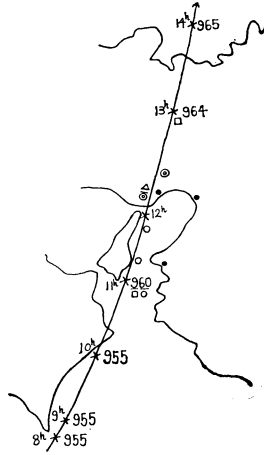
\* On Storm Surge Forecasting in Kobe

\*\* Masayoshi Hashimoto and Kozo Kanaya, 神戸海洋気象台

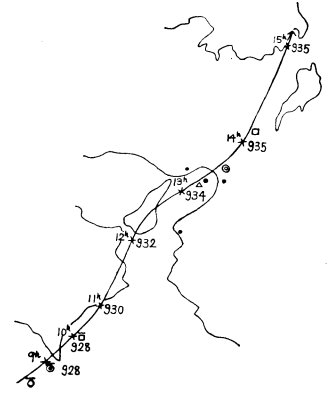
—1964年6月24日受理—



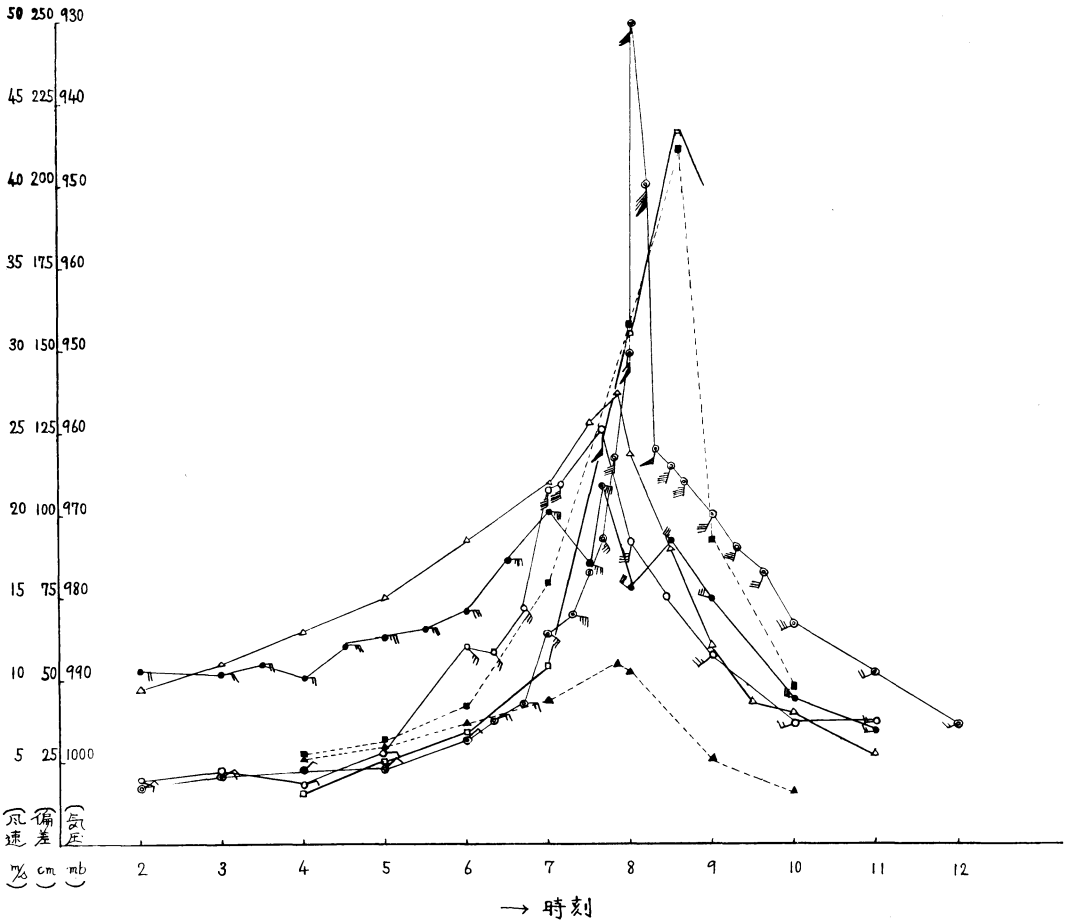
第 2.1.1. 図



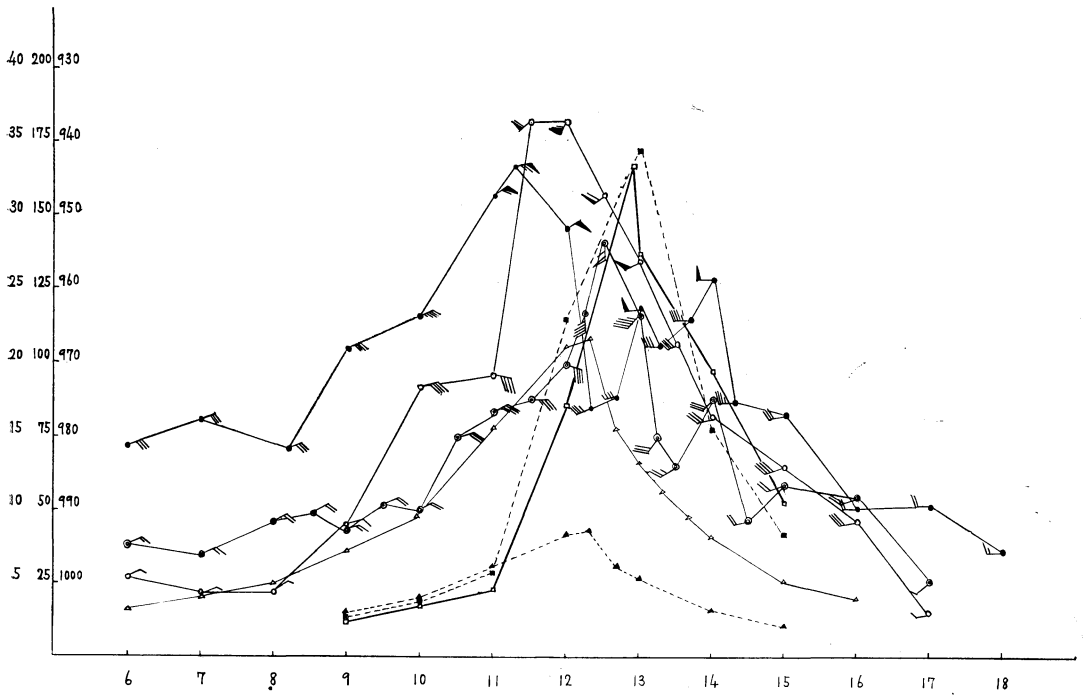
第 2.1.2. 図



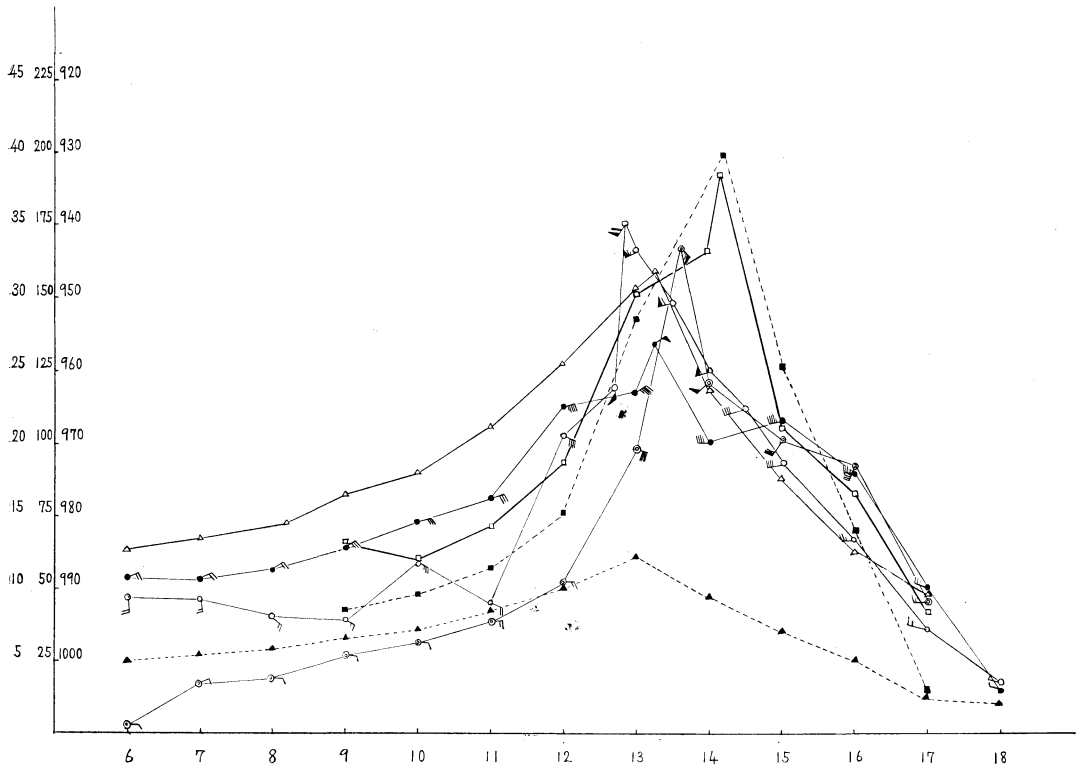
第 2.1.3. 図



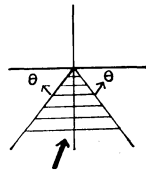
第 2.1.4. 図



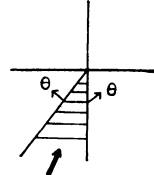
第 2.1.5. 図



第 2.1.6. 図



第 2.1.1.7. 図



第 2.1.1.8. 図

第 2.1.1.1. 図 室戸台風 (1934年 9 月) の経路と神戸, 大阪, 和歌山の各要素を示す図 各記号の意味はつぎの通りである.

- |         |        |         |           |             |
|---------|--------|---------|-----------|-------------|
| ○ : 和歌山 | } 最大風速 | ○ : 和歌山 | } 風が南分をもつ | □ : 神戸の最大偏差 |
| ◎ : 大阪  |        | ◎ : 大阪  |           | □ : 偏差が出始める |
| ● : 神戸  |        | ● : 神戸  |           | △ : 神戸の最低気圧 |

第 2.1.1.2. 図 ジェーン台風 (1950年 9 月) の経路と神戸, 大阪, 和歌山の各要素を示す図 記号は第 2.1.1.1. 図と同じ.

第 2.1.1.3. 図 第 2 室戸台風 (1961年 9 月) 経路と神戸, 大阪, 和歌山の各要素を示す図 記号は第 2.1.1.3. 図と同じ.

第 2.1.1.4. 図 室戸台風に対する神戸, 大阪, 和歌山の各要素の変化を示す, 各記号の意味はつぎの通りである.

- 神戸の風速    ◎ 大阪の風速    ○ 和歌山の風速    △ 神戸の気圧    ▲ 気圧効果による偏差
- 神戸の偏差    ■ 気圧効果, 吹きよせ効果, 流入効果を合計した偏差.

第 2.1.1.5. 図 ジェーン台風に対する神戸, 大阪, 和歌山の各要素の変化を示す. 記号は第 2.1.1.4. 図と同じ.

第 2.1.1.6. 図 第 2 室戸台風に対する, 神戸, 大阪, 和歌山の各要素の変化を示す. 記号は第 2.1.1.4. 図と同じ.

第 2.1.1.7. 図 大阪, 神戸の風による吹きよせる効果を計算する際の主方向 (太い矢線) を示す図.

第 2.1.1.8. 図 和歌山の風による流入効果を計算する際の主方向 (太い矢線) を示す図.

向, 風速, 神戸の気圧, 神戸の偏差を記入したものが第 2.1.1.4. 図, 第 2.1.1.5. 図, 第 2.1.1.6. 図である. これらを詳細に検討することによってわれわれはつぎのような実験式をたてた. すなわち吹きよせ効果にたいしては大阪の風を使ってつぎの式を使うことにした.

$$\Delta H_T^0 = b \left( \frac{V_T^0 \cdot \cos \theta + V_{T-\frac{1}{2}}^0 \cdot \cos \theta}{2} \right)^2 \dots\dots ④$$

ただし  $T$  は任意の観測時刻で時間単位は 1 時間である.

$b$  は係数で 0.1 であり,  $\theta$  は主方向からの偏角で主方向は第 2.1.1.7. 図のごとく取ってある. この式は  $V$  を  $m$  単位で表わすと  $\Delta H$  を  $cm$  で求められるとした. 流入効果にたいしては和歌山の風を使ってつぎの式をつかうことにした.

$$\Delta H_T^W = b \left( \frac{V_T^W \cdot \cos \theta + V_{T-1}^W \cdot \cos \theta}{2} \right)^2 \dots\dots ⑤$$

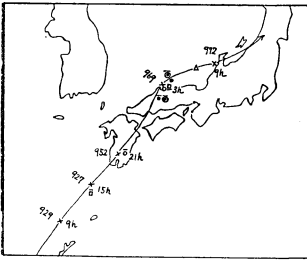
$b$  は係数で 0.1,  $\theta$  は主方向からの偏角で主方向は第 2.1.1.8. 図のごとくなっている. ④, ⑤式は主方向と風の有効時間が異なっているだけである. また吸上げ効果にたいしてはつぎの式を使うことにした.

$$\Delta H = a(P_0 - P) \dots\dots\dots ⑥$$

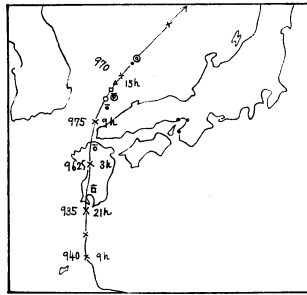
ただし  $P_0$  は標準気圧で 1010mb を採用した.  $a$  は係数で 1 あり気圧を  $mb$  単位で表わしたとき偏差を  $cm$  求められるものとした. 第 2.1.1.4. 図, 第 2.1.1.5. 図, 第 2.1.1.6. 図には気圧効果, 吹きよせ効果, 流入効果を合計した値を記入しているが実測値にきわめて近くなっている.

(2) 神戸の西側を通った台風のうち代表的なものは台風 5115 号 (ルース台風), 台風 5522 号, 台風 6016 号の 3 つであるが, それらにたいしても (1) に対応する図を作成したものが第 2.1.1.7. 図, 第 2.1.1.8. 図, 第 2.1.2.1. 図, 第 2.1.2.2. 図, 第 2.1.2.3. 図と第 2.1.2.4. 図, 第 2.1.2.5. 図, 第 2.1.2.6. 図である. この場合には主として神戸と和歌山の風を使うことにした. ただし神戸の場合には④式の係数は 0.15 となるが主方向は第 2.1.1.7. 図と同じである. また気圧効果にたいしては⑥式を用いる. (1) の場合と同様に第 2.1.2.4. 図, 第 2.1.2.5. 図, 第 2.1.2.6. 図に気圧効果, 吹きよせ効果, 流入効果を合計したものを記入しているが, 実測値にきわめて近くなっている.

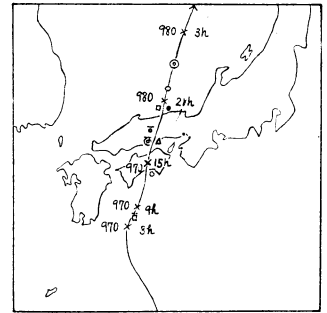
(3) 紀伊半島に上陸またはその東側を通った台風のうち代表的なものは昭和 28 年の 13 号台風と伊勢湾台風の 2 つ



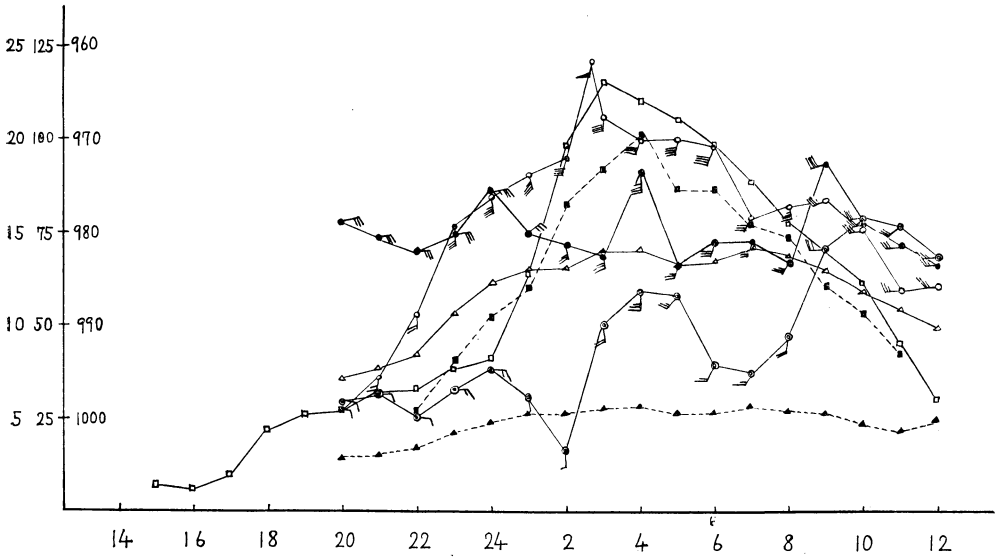
第 2.2.1. 図



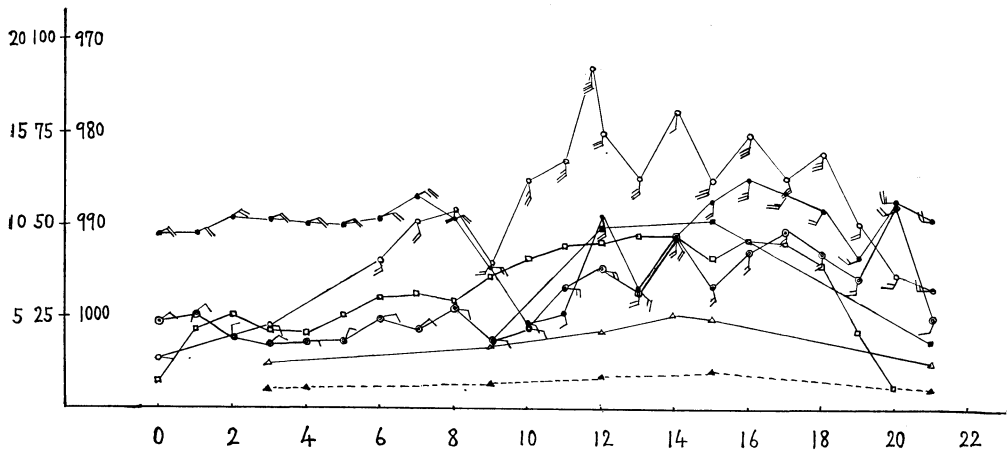
第 2.2.2. 図



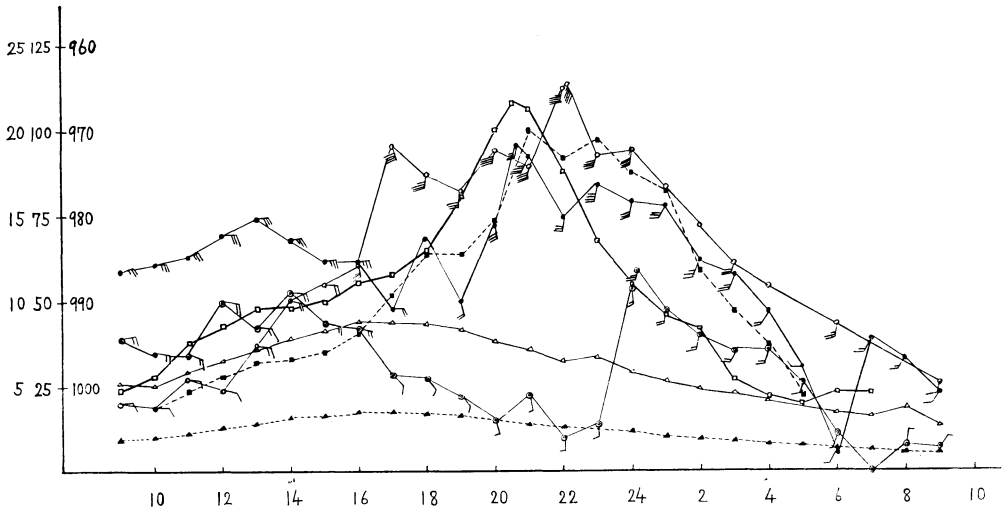
第 2.2.3. 図



第 2.2.4. 図

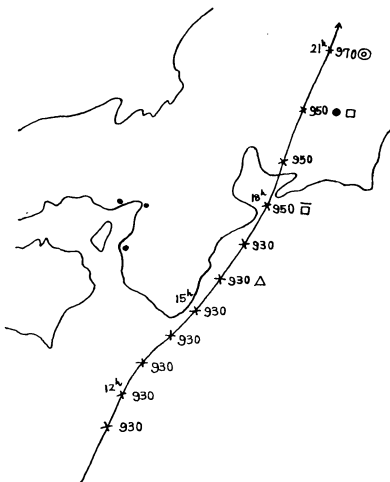


第 2.2.5. 図

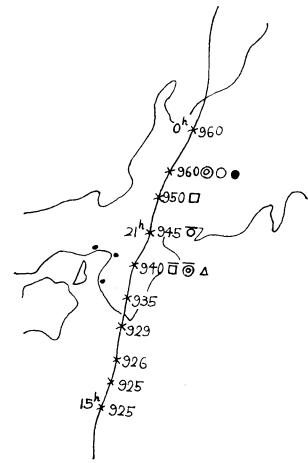


第 2.2.6. 図

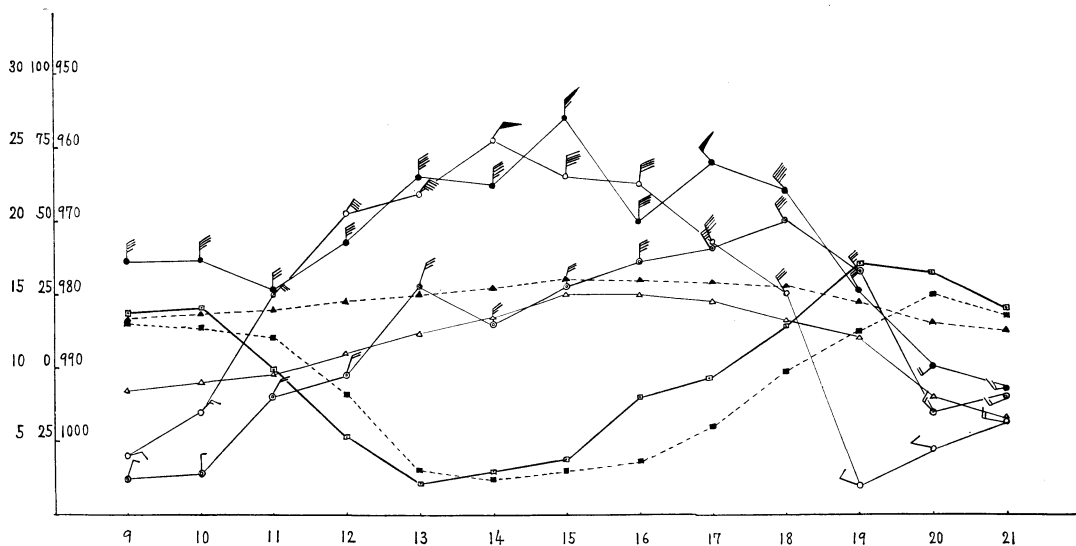
- 第 2.2.1. 図 台風5115号 (1951年10月ルース台風) の経路と神戸, 大阪, 和歌山の各要素を示す図, 記号は第2.1.1. 図と同じ.
- 第 2.2.2. 図 台風5522号 (1955年9月~10月) の経路と神戸, 大阪, 和歌山の各要素を示す図, 記号は第2.1.1. 図と同じ.
- 第 2.2.3. 図 台風6016号 (1960年8月) の経路と神戸, 大阪, 和歌山の各要素を示す図, 記号は第2.1.1. 図と同じ.
- 第 2.2.4. 図 台風5115号に対する神戸, 大阪, 和歌山の各要素の変化を示す, 各記号は第2.1.4. 図と同じ.
- 第 2.2.5. 図 台風5522号に対する神戸, 大阪, 和歌山の各要素の変化を示す, 各記号は第2.1.4. 図と同じ.
- 第 2.2.6. 図 台風6016号に対する神戸, 大阪, 和歌山の各要素の変化を示す, 各記号は第2.1.4. 図と同じ.



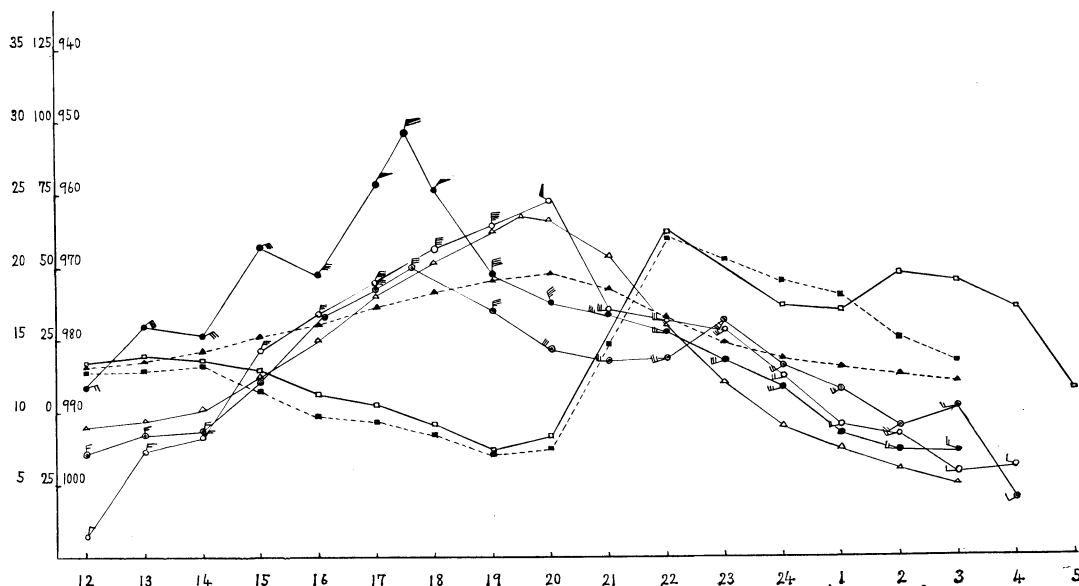
第 2.3.1. 図



第 2.3.2. 図

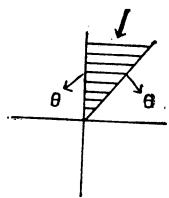


第 2.3.3. 図



第 2.3.4. 図

- 第 2.3.1. 図 13号台風 (1953年 9 月) の経路と神戸, 大阪, 和歌山の各要素を示す図, 記号は第2.1.1. 図と同じ。
- 第 2.3.2. 図 伊勢湾台風 (1959年 9 月) の経路と神戸, 大阪, 和歌山の各要素を示す図 記号は第2.1.1. 図と同じ。
- 第 2.3.3. 図 5313号に対する神戸, 大阪, 和歌山の各要素の変化を示す, 記号は第2.1.4. 図と同じ。
- 第 2.3.4. 図 伊勢湾台風に対する神戸, 大阪, 和歌山の各要素の変化を示す, 記号は第2.1.4. 図と同じ。
- 第 2.3.5. 図 和歌山の風による流出効果を計算する際の主方向 (太い矢線) を示す図。



第 2.3.5. 図

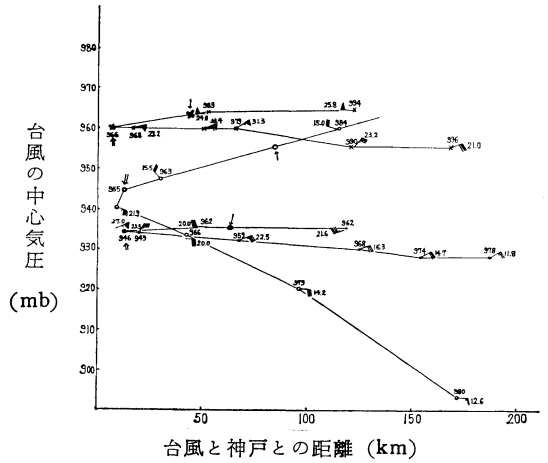
があるが、これらに対しても (1) と (2) に対応するものが第2.3.1.図, 第2.3.2.図と第2.3.3.図, 第2.3.4.図である。この場合には、はじめのうちは気圧効果よりも流出効果の方が大きく作用していることが分る。流出効果に対しては和歌山の風を使つてつぎの式を使うことにした。

$$\Delta H_T^W = -b \left( \frac{V_T^W \cdot \cos \theta + V_{T-1}^W \cdot \cos \theta}{2} \right)^2 \dots\dots (7)$$

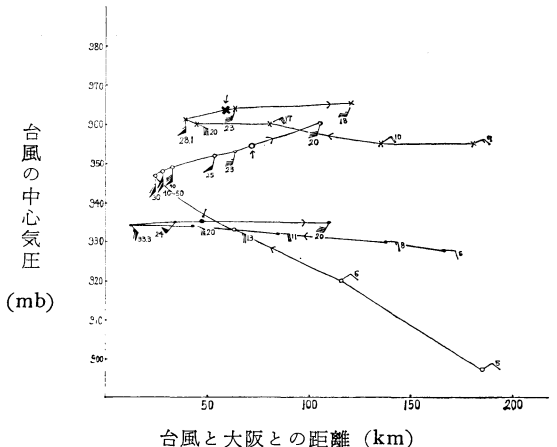
ただし  $b$  は 0.12 であり、主方向は第2.3.5.図のごとくなっている。(1),(2)の場合と同様に第2.3.3.図, 第2.3.4.図に気圧効果, 流出効果, 流入効果, 吹きよせ効果を合計したものを記入してあるが、大体実測値に近くなっている。

3. 高潮予想図の作成

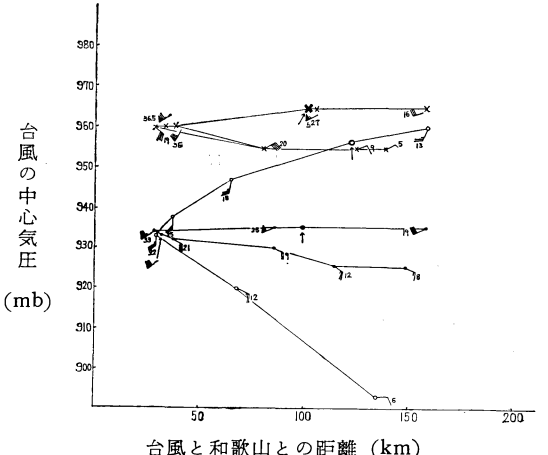
2でのべた実験式を使って高潮予想をするには神戸, 大阪, 和歌山の気圧, 風速を予想しなければならない。これは台風のモデル的な気圧, 風速の分布図を作<sup>3)</sup>ってこれをもとにしてやるものと、いままでの台風による統計的な結果と実況をもとにしてやる2つの方法がある。(1) 大阪湾を通った台風については第3.1.1.図, 第3.1.2.図, 第3.1.3.図, 第3.1.4.図, 第3.1.5.図を参考にしておこなう。第3.1.1.図は縦軸に台風の中心気圧, 横軸に台風と神戸との距離をとり各時刻毎に神戸の気圧と風向, 風速を記入したものである。第3.1.2.図, 第3.1.3.図は大阪, 和歌山に対するものである。この図からジェーン台風と第2室戸台風はほとんど衰弱しなかったが室戸台風は急速に衰弱しており, また神戸の西側を通ったジェーン台風は中心気圧が高にかかわらず風速が一番大きくなっている。(台風の南東象限の強い風速帯<sup>3)</sup>によると考えられる。) われわれはこの図から風速, 気圧の初期値を比較して, 台風の進路と衰弱の度合を予想することによって神戸の気圧と風速の大体の予想をつけることが出来る。また地上天気図より等圧線と風速を台風の進行方向に移動させることによっても予想をつけることが出来る。つぎに 930mb の第2室戸台風級のものが神戸のごく西側(第3.1.4.図のI)を通過して神戸の風が南よりの風となった場合には  $b$  の係数が 0.15 となり, また和歌山の風も強くなることから(地形と台風の移動速度の影響)高潮は一番大きくなることが考えられる。高潮の偏差の予想値はつぎのようにして求めることが出来る。最大偏差時の神戸の気圧を 960mb, 最大風速時の気圧を 950mb, 半時間の平均風速を 35m/s, 最大風速を 40m/s とする。このことは第1表<sup>3)</sup>の 950mb に対する



第 3.1.1. 図

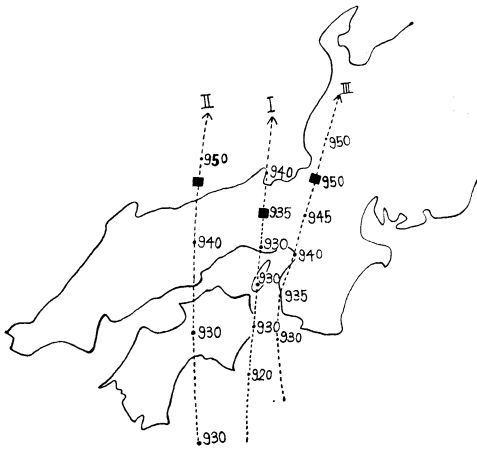


第 3.1.2. 図

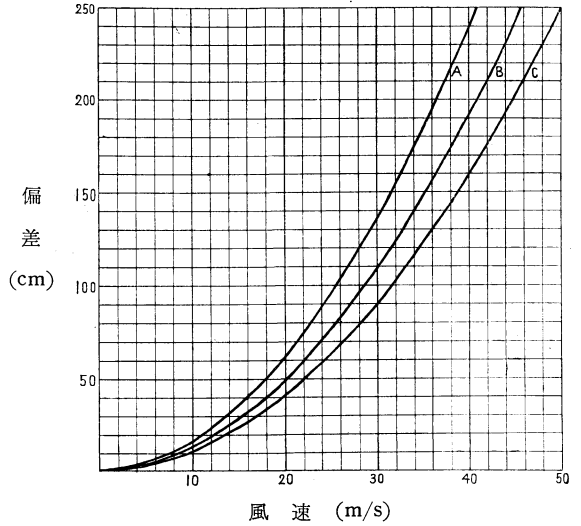


第 3.1.3. 図





第 3.1.4. 図



第 3.1.5. 図

- 第 3.1.1. 図 大阪湾を通った台風による神戸の気圧と風速を台風の中心気圧と台風と神戸との距離が求めた図 ○：室戸台風 ●：第2室戸台風 ↑：最低気圧（神戸）  
×：ジーン台風 ↗：最大偏差（神戸）
- 第 3.1.2. 図 大阪湾を通った台風による大阪の風速を台風の中心気圧を台風と大阪との距離から求めた図 記号は第3.1.1.図と同じ。
- 第 3.1.3. 図 大阪湾を通った台風による和歌山の風速を台風の中心気圧と台風と和歌山との距離から求めた図 記号は第3.1.1.図と同じ。
- 第 3.1.4. 図 高潮を起す台風の仮定コース中心示度 ■：最大偏差が起ると思われる地点。
- 第 3.1.5. 図 神戸，大阪，和歌山の風速から高潮の偏差を求める図  
A： $b=0.15$ は神戸の風による吹きよせ効果  
B： $b=0.12$ は和歌山の風による流出効果  
C： $b=0.1$ は大阪の風による吹きよせ効果と和歌山の風による流入効果

第 1 表 気圧（台風による）に対する最大風速

気 圧	mb	1000	990	980	970	960	950	940	930	920	910	900
最大風速	knot	40	50	80	90	100	115	125	140	150	160	175

最大風速の約7割（陸上の摩擦の影響）となっており妥当な値とみなされる。また和歌山の風速に対しては地形の影響のほかに移動速度の約4割<sup>3)</sup>（台風の移動速度を毎時60kmとすれば約6m/s）が風速に加わるとみなされるので平均風速は30m/s前後と考えられる。したがって第3.1.5.図より偏差はつぎようになる。

$$\Delta H = 50\text{cm}(\text{気圧効果}) + 185\text{cm}(\text{神戸の風の吹きよせ効果}) + 90\text{cm}(\text{和歌山の流入効果}) = 325\text{cm}$$

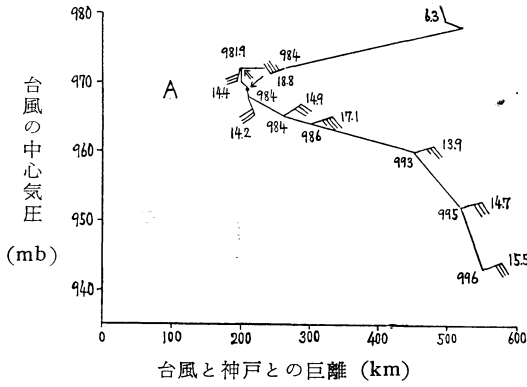
即ち3mをこえる高潮が考えられることになる。

(2) 神戸よりはるかに西側を通ったものについては第3.2.1.図，第3.2.2.図を利用して高潮の予想をする。この

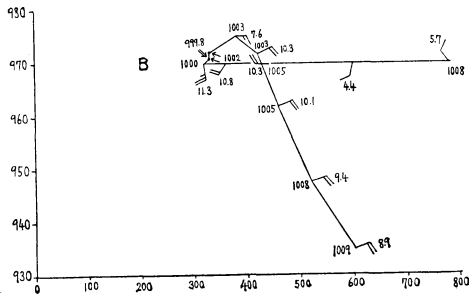
場合和歌山の風が神戸より2，3割強くなっていることに注意しなければならない。つぎに経路は6016号と同じであるが中心示度930mb，時速50kmの台風（第3.1.4.図のII）による高潮を考えてみることにする。最大偏差時の気圧を980mb，最大風速時の気圧を970mb，神戸の半時間の平均風速を25m/s（最大風速は30m/s），和歌山の1時間の平均風速を30m/sとすれば，第3.1.5.図より偏差はつぎようになる。

$$\Delta H = 30\text{cm}(\text{気圧効果}) + 95\text{cm}(\text{神戸の風の吹きよせ効果}) + 90\text{cm}(\text{和歌山の風の流入効果}) = 215\text{cm}$$

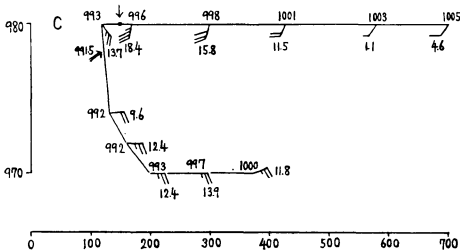
即ち2mをこえる高潮が考えられることになる。



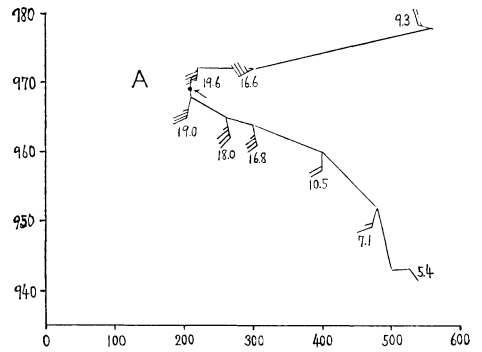
第 3.2.1. 図の A



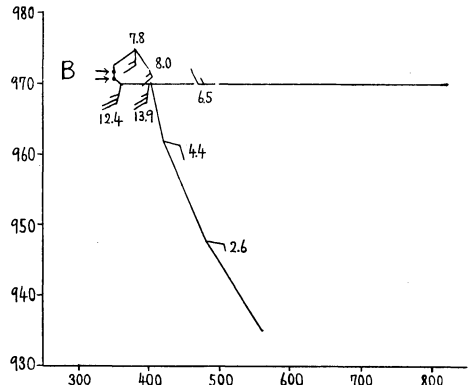
第 3.2.1. 図の B



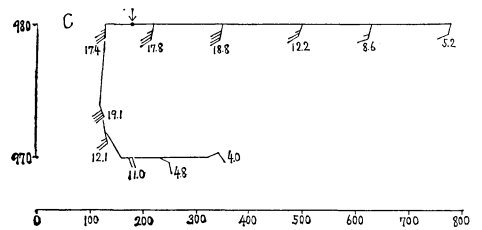
第 3.2.1. 図の C



第 3.2.2. 図の A



第 3.2.2. 図の B



第 3.2.2. 図の C

第 3.2.1. 図 神戸の西側を通った台風による神戸の気圧と風速を台風の中心気圧と台風と神戸との距離から求めた図

A : 台風 5115    B : 台風 5522    C : 台風 6016

↙ : 最大偏差 (神戸)    ↓ : 最低気圧 (神戸)

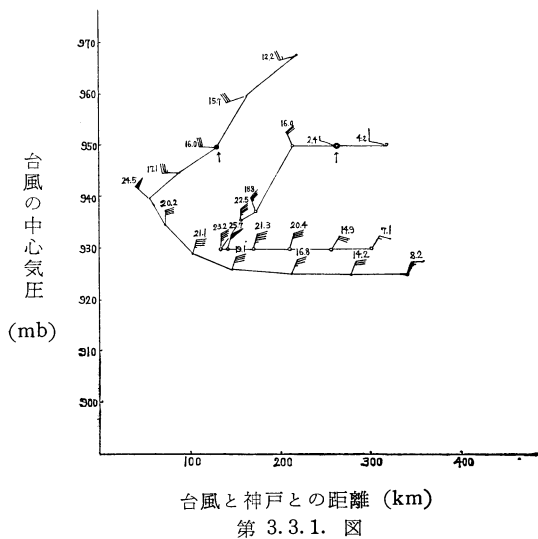
第 3.2.2. 図

(3) 紀伊半島に上陸またはそれより東側を通ったものについては第3.3.1.図と第3.3.2.図に利用して高潮の予想をする。そのうちとくにいままで全然資料のない和歌山、大阪附近を伊勢湾台風級の台風が時速60kmで通った(第3.1.4.図のⅢ)とすれば、最大偏差時の神戸の気圧を970mb、神戸の半時間の平均風速を20m/s、和歌

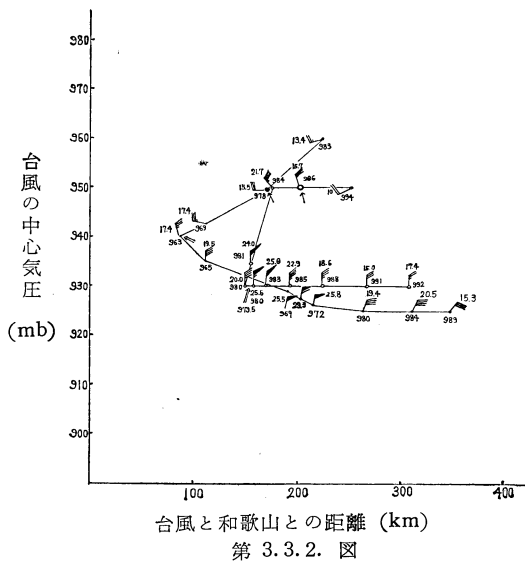
山の1時間の平均風速を20m/sとすれば、  
 $\Delta H = 40\text{cm}(\text{気圧効果}) + 60\text{cm}(\text{神戸の風の吹き寄せ効果}) + 40\text{cm}(\text{和歌山の風の流入効果}) = 140\text{cm}$   
 1mをこえる高潮が考えられることになる。

4. むすび

高潮の実験式に対して新に流入効果の1つの項目を入



台風と神戸との距離 (km)  
第 3.3.1. 図



台風と和歌山との距離 (km)  
第 3.3.2. 図

第 3.3.1. 図 紀伊半島付近を通った台風による神戸の風速と気圧を台風の中心気圧と台風と神戸との距離から求めた図

○ : 13号台風 (5313) ● : 伊勢湾台風 (5915) / : 最大偏差 ↑ : 最低気圧

第 3.3.2. 図 紀伊半島付近を通った台風による和歌山の風速を台風の中心気圧と台風と和歌山との距離から求めた図 記号は第3.3.1.図と同じ。

れたが、その理論的な説明は行なわれていない、このことについては今後研究を進めたいと考えている。最後にこの報告を作成するにあたっていろいろと御指導をいただいた中野台長、平沢予報課長に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 黒沼新一, 1961: 実用的な高潮予報の問題について

て、日本気象学会関西支部月例会ノート、第2巻第4巻、3~10。

- 2) 上野武夫, 1961: 大阪湾高潮の総合調査報告, 気象庁技術報告第11号, 8~17。
- 3) 橋本正義, 1964: 台風の風速分布と波浪について (第2報), 昭和39年度 大阪管区気象研究会, 5月28日~29日。

〔新書紹介〕

「災害論」

佐藤武夫・奥田 穰・高橋 裕共著

総合災害として台風災害がまず取扱われ、次に水害・震災・冷害・大気汚染害・水質汚濁害・地盤沈下害の各災害現象の実体が詳細に分析されている。これらの分析を基にして「災害構造の総括」が述べられている。いわゆる「公害」を「社会制度がつくり出した災害」と規定しているが、台風・異常低温・地震等の自然災害が、この「社会制度がつくり出した災害」によって2重、3重に災害の規模や度合が強まる点が明らかにされている。事実年代が進むにつれ台風による被害は激増しているが、「これは台風の被害は風速あるいは中心示度の深さ、

さらに人口だけが規定するものでないことを示唆しているといえよう」と結んでいる。

このように本書では「気象災害」が災害一般の「素因」として取扱われ、この素因に重なり、また災害が増大する方向にお互に加速し合いながら働く点を示した事は注目すべきであらう。このためある時点でよいと思った災害対策さえも、経済等の急速な発展に伴い、次の時点では逆に災害を増大させる要因として働くことがあるという。

ただ欲を言えば、この素因と社会制度が作り出した災害の相互作用の間に存在すると思われる数理的法則を取り出すような方向の協力がなされてしかるべきであったように思う。かくして災害論が「災害の科学」に成長するのかもしれない。(岡本雅典)