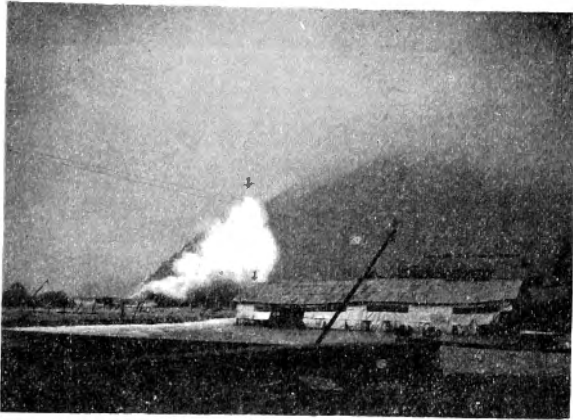


昭和十年九月廿四日の別府海岸浪害*

理學博士 野 滿 隆 治
理 學 士 山 下 馨
理 學 士 瀨 野 錦 藏

1. 緒 言

第 1 圖 別府海岸激浪の二例



(a) 別府市南埋立地 内務省出張所裏
(24日午前10時頃撮影 推定波高24米)



(b) 同上 當日午前10時撮影 推定波高26米)

昭和十年九月廿四日豊後水道を北上した低氣壓は、其の深度に於て將又風速に於て左程激甚なものではなかつたに拘らず、別府海岸では岸壁に打ちつくる激浪の昇騰未曾有の高さに達し10米、20米甚だしきは30米にも及び(口繪及び第1圖参照)、設岸工事は固より臨海の民家は其の直撃によつて甚だしく破壊を受け(第2圖)、又昇騰した波が陸上に落ちて次ぎ次ぎに夥だしい海水を堆積し、南埋立地の如きは距離300—400米の内陸までも一面の湖水と化し深さ數米の津波浸水(第3圖)を見た家も相當數に上るといふ全く珍らしい現象を呈して、別府市民を恐怖せしめた。

* 本文の要旨は昭和十一年四月東京で日本數學物理學會年會の席上に發表した。

此の様に低氣壓の強さの割合に異常な慘害を獨り別府海岸にだけ與へたといふことは、別府に研究所を持つ我々としては等閑に附する譯に行かない。是非共其の真相を究明し置くべき責務を感じ、諸種の調査を進める旁ら、自らも被害の跡を多數撮影すると同時に市内に當時の撮影寫眞を索めたところ、幸にも内務省出張所菊池明技師及び豊州新聞社並に船越寫眞館より頗る有益な實景寫眞數葉を提供せられ、我々の研究に資するところ甚だ大なるものがあつた。茲に深く感謝の意を表する。

2. 當時の氣象要素

此の颱風は 23 日大東島附近から北東に急進し來つて 24 日 0 時には土佐の南方遙か沖合についたが、その頃より針路を北に取り、6 時頃より更に北西西に轉じ日向沖に近より、8 時頃には東徑 132° 附近に達して茲に再び北進し、緩々と豊後水道を抜け、25 日朝漸く岡山附近から中國を横斷し日本海に出たものである。24 日に於ける颱風針路が斯の如く珍しい屈曲を示し且つ其の進行速度も甚だ緩慢にして滯留氣味であつたため、一部の人から迷走颱風と稱せられたのであるが、青木學士⁽¹⁾は滑川博士の副颱風觀をこの颱風にも適用して其の特異性を了解し得る所以を示して居る。

第 2 圖 激浪の直撃による破壊跡

(a) 別府市北埋立地鶴水園海岸



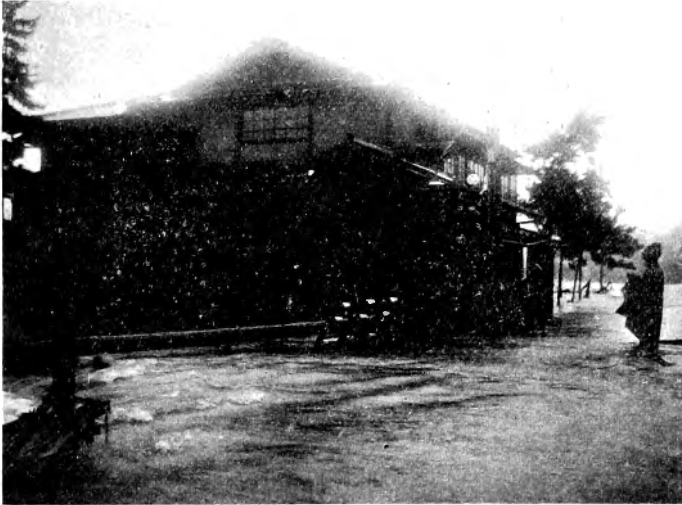
(b) 別府港防波堤(昭和10年9月25日撮影)

(1) 青木滋一：特異なる颱風二例；應用物理第 5 卷第 9 號 1 頁。

昭和十年九月廿四日の別府海岸浪害

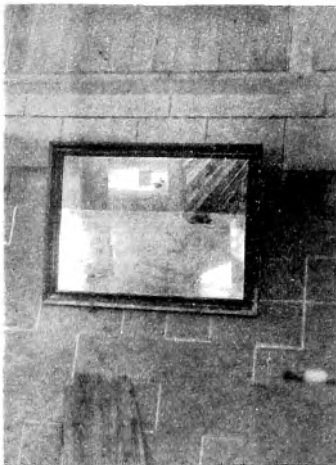
別府に浪害を與へた朝6時の天氣圖及び24日中の颱風中心進路は第4圖に示す通りである。尙別府研究所及び大分測候所に於ける氣象狀況は第5圖の如くで、颱風としては特別に著しいものではない。例へば風速にしても、浪害の酷かつた當日の最大風速は大分で午

第3圖 陸上の海水浸入
(a) 浸水當時の状況
(別府市南埋立地 午前10時撮影)



(b) 浸水跡

別府靈砂泉浴場



内務省出張所室内

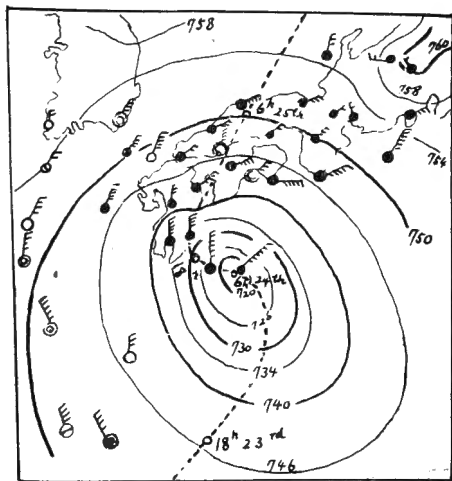


前九時頃 17m/s, 松山でも同時刻 17m/s の程度で、當の別府は秒速僅に8米を越えず寧ろ翌日の13m/s よりも遙かに弱かつた 風向は浪害當時 別府では NNE であつたが、大分ではNE, 松山はEであつた。何にせよ風力階級7の強風程度を出でないこの颱風で、恐るべき激浪が別府海岸に迫りあの慘害を與へたといふことは、一般市民は固より平素此の方面の研究に従事せる我々とても當初意外の感を懷かざるを得なかつた次第である。

尙被害の二次的效果を考慮する上の参考として雨量分布を圖にして置かう。當日前後に

(2), (3) 中央氣象臺天氣圖及び氣象要覽

第4圖 颱風進路及び24日6時の天気圖

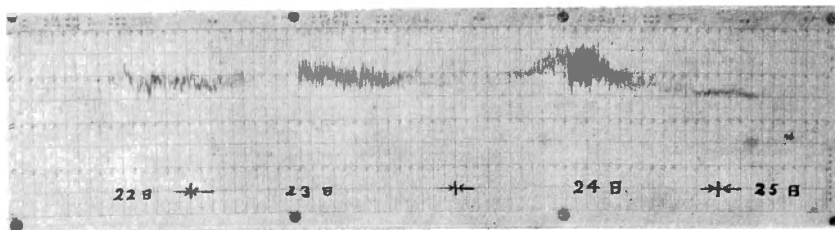
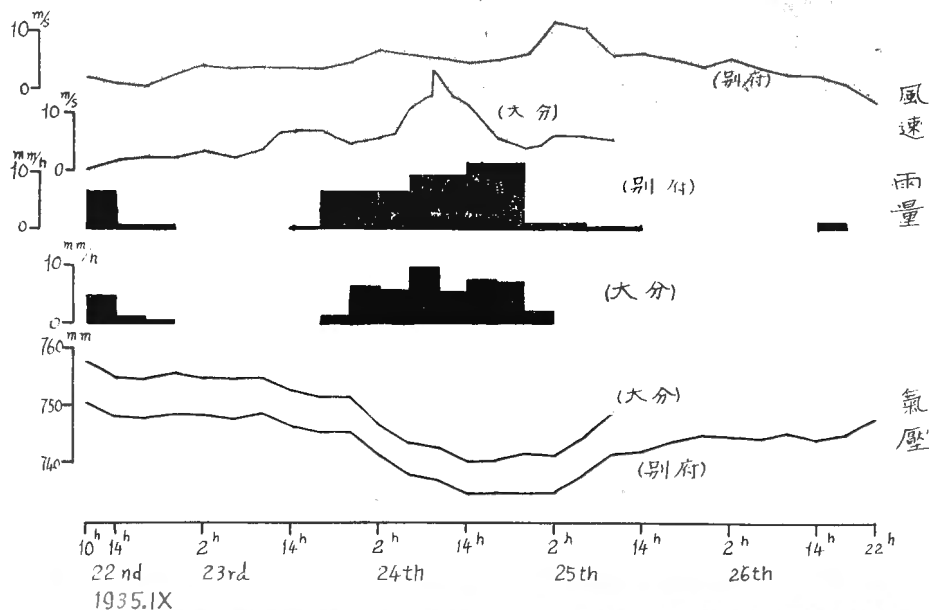


於ける附近各地の降雨状況は大分測候所より報告されて居るから夫れによつて九月十九日より同廿七日に至る總雨量の分布圖を作れば第6圖の如くで、別府附近も多い方ではあるが、北由布及びその西部に極大の地域があつた。

3. 別府海岸の浪の高さと被害状況

別府海岸に打騰けた波の壯觀は先きに掲げた寫眞で充分に窺はれるが、然らば、其の高

第5圖 別府及び大分に於ける氣象狀況



別府風向記録

第6圖 昭和10年9月19日より
同27日までの雨量分布圖



さは果してどれ位あつたであらうか。我々は次の様な方法で寫眞から之を推定した。

先づ寫眞の波のすぐ前面海岸に近く垂直な固定物標例へば電柱や家の屋根が映つて居れば、それ等の頂上までの高さを實地に測定する。そして寫眞上の波高と物標の高さとの比率から直ちに波の眞高を推算する。若し固定物標が波とは違つた方角にあつたり或は方角は同じでも海岸から離れて居る場合には、寫眞をとつた地點に經緯儀を据え、こゝから波のあたつた岸壁及び物標までの距離並びに固定物標が經緯儀に張る角を測る。さすれば矢張り寫眞上の波高と物標の相対比率から波

の眞高を算出し得るわけである。第1圖其他の波の寫眞に矢符をつけた波頭及び物標はかやうな推算に利用した點を表はす。垂直物標がなくても第8圖の様に波の打上けた岩壁に直角な水平方向に目印となる杭があれば、杭と岩壁間の距離を測るだけで寫眞から波の眞高が割出せること勿論である

兎も角斯様な方法で當日の浪の昇騰した高さを推定したところ次表の結果を得た。何と驚くべき高さでないか。

第1表 別府海岸の激浪の高さ

寫 眞	口 繪		第 1 圖		第7圖	第8圖	第9圖	省 略 寫 眞			
	a	b	a	b	a	a	a	北埋立	中埋立	防波堤	南埋立
波 高(米)	20	16	24	26	10	20	20	21	20	13	17

然し茲に注意を喚起して置かねばならぬことは、海上で進行中の波がそんなに高かつたのではないことである。夫は次に掲ぐる第7圖の寫眞を見てもすぐ分る通り、岸壁にさへ打付からねば2米か3米程度の波であつたのである。第7圖(a)ては埋立地の岸壁で10米もの高浪を騰けて居る浪の一部分が埋立ててない部分には波高2~3米程度の高さで進入しつゝある。又第8圖(b)でも岸壁の直前で岸から逆流の爲幾分増高した波すら其の高さ

4 米程に過ぎない。即ち別府海岸に押寄せて来た波は岸壁に打つかるまでは波高 2~3 米のもので、それが垂直岸壁に撃突すると十數米乃至三十米にも昇騰したのである。

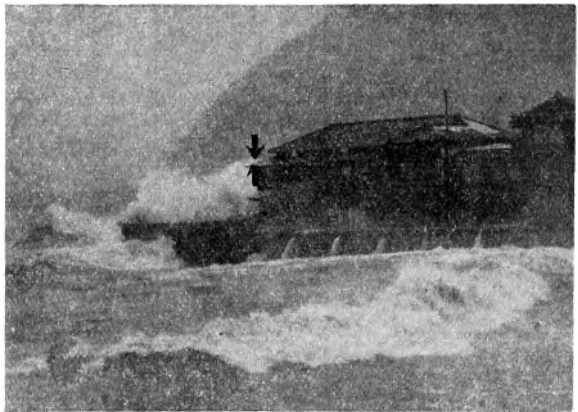
波高に關してはこれ位に止め、次に被害状況を少しく詳説しやう。今回の浪害は之を波の直撃作用と間接作用の二種に區分することが出来る。而して後者の間接被害は又細分して浪水の堆積浸水と溢流洗掘の二に分けて考ふるを便とする。

波の直撃が如何に強力なものであつたかは、岸壁に打つけて物凄く昇騰する有様を見ただけでも想像出来るが、その爲に比較的弱かつた北埋立地や築港防波堤の如き積石式護岸は甚だしく破壊され岸壁眞近に建つて居た人家は無慘にも打碎かれたこと既述の通りである(第 2 圖)。

然し一連の頑丈なクンクリート護岸を有する南埋立地の如きは破壊を免れた代りに、之に撃突して高く昇騰する波頭が陸地に落下し次ぎ次ぎに打上ぐる浪水次第に堆積して、一面の湖水と化し深さ數米に及ぶ浸水家屋を生じたことも既記の通りである(第 3 圖)。その浪水堆積の様子は口繪寫眞でも見られるが、更に適例を第 8 圖に掲げる。この蓄積した海水は周圍の低部を求めて溢出し再び海中に歸るのであつて、其状況は第 8 圖(b)によく現はれて居るが、偶々其の溢出個所が弱いと漸次洗掘決潰して、湖水の吐口の様に一種の急流をなし或は

第 7 圖 海上進行中の波の高さ 2~3 米

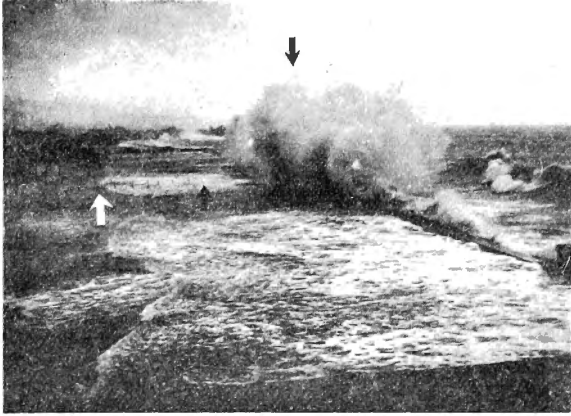
(a)御成町高砂旅館前(昭和十年九月廿四日午前10時頃撮影 激浪昇高は推定 10 米)



(b)別府棧橋南入江



第8圖 激浪により陸上に海水の堆積
(a) 別府市南埋立地(昭和10年9月24日
午前8時頃撮影・推定波高20米)



(b) 濱脇製氷會社裏(昭和10年9月24日
午前10時頃撮影)



果である。

附近家屋の基礎を壊し或は地面に深い谷を形成する。朝見川尻に架した藤助橋附近埋立地の決潰はこの様にして起つたもので、其状況を第9圖に示す。内務省出張所周囲や泉孫旅館などの被害は侵水の外主としてこの時のものである。

かくの如く垂直岸壁を以て海中深さ數米の處まで人工を加へた埋立地や防波堤は諸種の被害を受けたのであるが、**自然の砂濱**の儘に残された部分は北濱にせよ的ヶ濱にせよ殆んどこれといふ被害は無かつた。勿論十數米といふ様な高い波も來なかつた。

第10圖は別府海岸の侵水區域と被害區域とを調査した結

4. 九州東海岸の浪害地域と其の程度

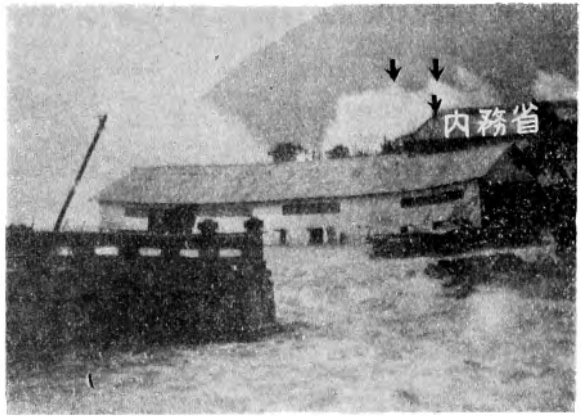
第2節で述べた程度の颱風で別府海岸に前節記載の様な甚大の浪害を與へた理由を了解するには、尙参考として是非共廣く豊後水道兩岸の浪害状況を知悉する要がある。先づ水道の東岸四國側では風害こそあつても浪害は皆無であつた。

水道の西側でも宮崎縣海岸は多少の被害はあつた模様であるが、然しそれは浪害よりも寧ろ降雨による水害が主であることは中央氣象臺の報告⁽³⁾によつて知られる。大分縣下に於

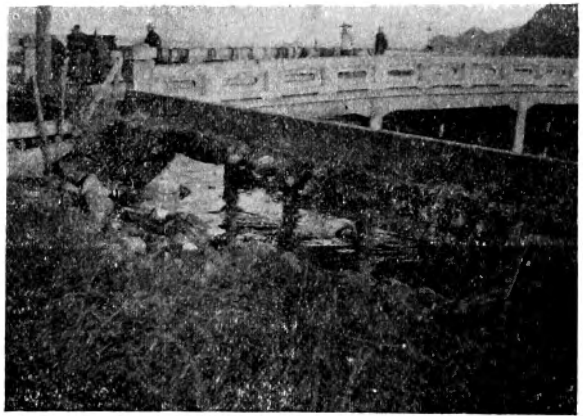
(3) 前出氣象要覽

ては筆者等自身踏査を行つたが、別府を初め大分・臼杵・津久見・佐伯の海岸に於て浪害の著しいのを見た。第11圖は夫れ等浪害地域の分布圖である。然し別府以外の被害は第12圖に例示する如く其程度に於て到底別府の慘害とは比べものにならぬ。加之、別府以外に於ける被害は八月下旬に夫れ等の地方を襲ふた低氣壓による浪害の上に今回の浪害が加つた二重被害で、而も其の程度から云へば寧ろ前月のものの方が酷かつたと地方の人々は語つて居た。即ち別府海岸の浪害のみ今回の颱風による單獨被害で、而も遙に他地方を凌駕する激甚なもの

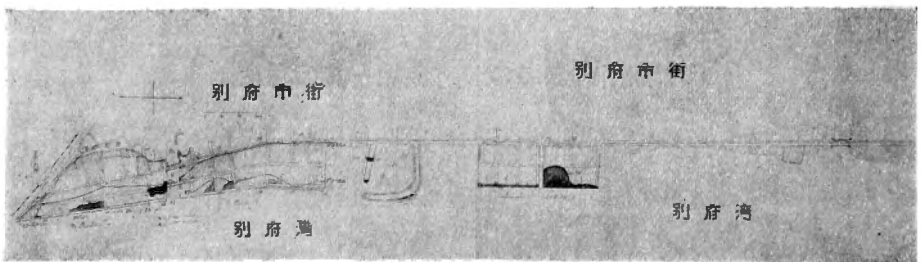
第9圖 藤助橋附近的溢水洗堀による被害
(a)右岸(南埋立地)



(b)左岸(中埋立地)



第10圖 別府海岸の浸水區域(影線を施す)と被害區域(黒く塗る)



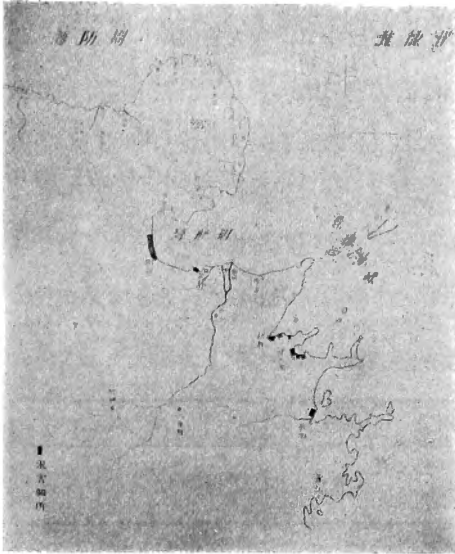
であつたのである。

別府に限らず總て浪害を受けた所は人工を加へた海岸が特に目立つのは自然であるが、又一方から考へると人工を加へた處は自然の最小抵抗の型に構成せられた平濱海岸を變形

したために其の被害が大きくなつたとも言へるであらう。

5. 別府激浪の原因

第11圖 大分縣下浪害地域



同じ颱風の洗禮を受けながら何故に獨り別府のみが飛び切り甚大な浪害を受けたか。又この颱風は其の深度に於て風速に於て特段のものでなかつたに拘らず、別府としては未曾有の激浪高騰した理由如何。之は以上の記述を讀んだ誰しも懷く疑問であらう。筆者は茲に其の疑問に答ふべき時機に達した。

讀者或は當日の別府風速が僅か 8m/s 程度であの高浪を頭に浮べ、この浪は風から起つたのではなくて低氣壓中心附近の氣壓變動により起された大浪が豊後水道を傳播したものではないかと考へる人があるかも知れない。

第12圖 大分縣下浪害二例

(a)津久見海岸



(b)佐伯海岸



然しそれは決して妥當な考へではない。何故ならば第4節に述べた浪害分布が之を否定する。若し豊後水道の遙か南方から傳播し來る浪ならば水道の兩岸孰れの地點にも同様の激浪を見るべきに、事實は豊後水道の東岸には殆んど浪害なく獨り九州海岸の而も大分縣下にのみ浪害を與へて居る。況んや長き佐田岬にて遮斷された狭い豊後海峡を超えて別府市に最大の激浪を見る理由がないではないか。

かくて別府海岸を襲つたあの激浪は矢張り風から起つたものに相違ない。又風浪であると見れば總て既述の調査事實を了解することが出来るのである。先づ當日朝の颱風中心位置だと、豊後水道の風は大體北東であつて、四國西岸は風上側に九州海岸は風下側に當るわけである。浪害が四國側にはなく九州海岸のみに限られるのは當然である。のみならず九州海岸でも宮崎海岸は略ほ風向に並行であるから浪害は少く、大分縣海岸の内別府・臼杵・津久見・佐伯等多少とも北東に開口した大きな灣の奥にのみ著しい浪害を受けたことも了解出来る。其内でも別府が最大の浪害となつたのは其の風上距岸距離 (Fetch) が他の浪害地のそれよりも最も大なるによるのである。

當日の別府に對する Fetch を決定するには先づ伊豫灘の風向を決定せねばならぬ。既に當日の氣象要素を掲げた際言つた通り松山・別府・大分の風向と最大風速とは第2表の

第2表 Fetch を定むるに必要な各地の風向 附最大風速

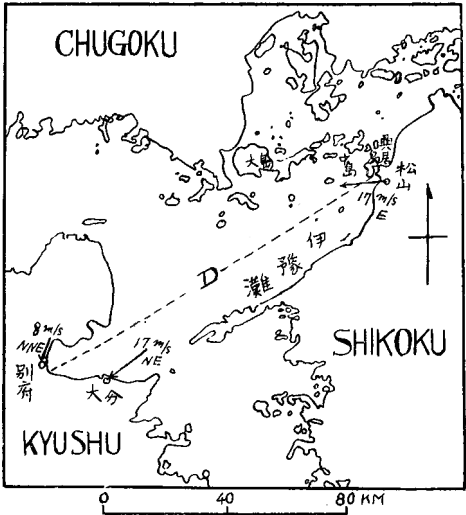
地名	松山	別府	大分
風向	E	NNE	NE
風速(最大)	17 m/s	8 m/s	17.8m/s

通りで、松山は E、大分は NE であるから其の間の伊豫灘海上は平均 NE であるべく、颱風中心に對する伊豫灘の位置から考へても然るべき關係にある。只當の別府風速が NNE であつたのは恐らく其の西側に高峻な山脈連亘して屏風を立てた様な地勢の爲めに北寄りに偏向されたのであらう。依つて吾々は別府灣より北東に Fetch D を求めると、第13圖の如く伊豫の興居島から中島・大島で限られる部分まで、其距離

$D = 129 \text{ 浬} = 69.6 \text{ 哩}$
を得る。臼杵・佐伯・津久見等に對する Fetch はこの半分以下である。

次に風速であるが、別府灣に對する Fetch の兩端に近い松山と大分とが共に 17 m/s であるから、全 Fetch に亘り最大風速 17m/s として差支あるまい。只當の別

第13圖 別府灣に對する當日の Fetch



府だけが風速僅に 8m/s に過ぎなかつたのは、其の北東に當り國東半島なる峻嶺があつて伊豫灘より來る北東風を遮斷し其蔭に當るからであらう。其の證據には別府灣の北部日出や杵築方面は一層風が弱く浪害は全然無かつた。之に反し大分は別府よりも數軒東に寄つて居る爲め北東風に對しては國東半島の掩蔽下にあらず、而も別府と違ひ西南方面も大野川流域平野で吹き抜けに何等の障害も感せず、爲めに風向も風速も颱風起源その儘が現はれたものと思はれる。斯くて吾々は別府灣西南岸に對する海上の Fetch 全域に亘り風速を松山及び大分の風速平均17m/sに取つても不當でないと考へる次第である。

扱 Fetch D 哩の風下海岸近く浪の高さは、Stevenson 氏の實驗式によると最大波高 $H_{\max}$ を呎單位で測つて

$$H_{\max} = 1.5 \sqrt[3]{D} + (2.5 - \sqrt[3]{D})$$

である。今の場合には $D = 129$ 軒 $= 69.6$ 哩であるから

$$H_{\max} = 12.1 \text{ 呎} = 3.3 \text{ 米}$$

程度となる。又廣い海洋中の波高に關しては Boergen の實驗式があり、速度 Q なる風が t 時間連吹した後の波高は

$$H = \frac{Q/3}{(1 + 1.86 \times 1.94 Q/D)(1 + 1.86/t)}$$

で與へられる。此の式の波高 H は米、 D は軒、風速 Q は米/秒單位である。吾々の今の場合に $t = 1$ 時間とし此の式を適用すると

$$H_{\max} = \frac{17/3}{(1 + 1.86 \times 1.94 \times 17/129)(1 + 1.86)} = 1.3 \text{ 米}$$

となる。

今回別府海岸に來た波が岸壁に撃突する前には 2~3 米の高さのものであつたことは、Stevenson 式の與ふる値と Boergen 式による値の中間にあつて、確かに此の波が上記の Fetch 内で風により激成せられたものといふ吾人の見解を裏占する。蓋し Stevenson 式は滅多にない程の暴風(速度三四十米もの)によつて起る場合の極限波高であるから、今回の颱風の様に 17m/s 位の強風程度では夫れ迄に達せぬのは至當であるし、又 Boergen 式は廣漠たる海上で風下に障害物がなく自由に波浪の逃げ道ある場合に使ふ式であるから、後面に陸があつたり又は岸近き淺瀬に來て波高の増大する場合には常に過小(半分以下)の

値を與ふることは既に著者の一人が室戸颱風に伴ふ琵琶湖の波に就いても明かにした處である。

臼杵・津久見・佐伯等は Fetch が別府に比し遙に小さいから従つて波浪も割合に小であつたのは當然である。又大分も別府より弱かつたのは同じ Fetch の中途であるのと、別府特に其南埋立地附近は奥細りの Fetch の尻に當るが爲である。

以上吾々は今回の波浪が獨り別府に於て激甚であつた理由及び其の波は矢張り風の激成したものに相違なき所以を明かにした。残る問題は只岸近くに來た進行中の波が高さ2~3米にすぎないのに何故に岸壁に當ると20米も30米も高く昇騰するかである。普通の波ならば垂直壁に當ると反射して前進及び後退の兩波が干涉し二倍までは増高し得るのであるが、十數倍も高くなる理由は別に説明を要する。之は海岸近くの比較的淺い海に來た波は、普通の力學で取扱ふ様に水分子軌道が閉鎖して完全に原位置に復するものとは其性質を異にするからである。Johnson⁽⁵⁾ は水分子が完全に復元する普通の波を振動性の波 (Wave of Oscillation) と呼び、之に對して水分子軌道が閉鎖せず一週期毎に若干づゝ前進する様な波を移動性の波 (Wave of Translation) と呼ぶことにした。そして海岸近い淺海の波はこの移動性の波であることを種々の方面から明かにして居る。つまり移動性の波は普通の振動性を具ふると共に流れの性質を併有して居るのである。そして移動性が強くなればなるほど流れは奔流の如く、之が岸壁に衝突すれば其のエネルギーは主に後にかへらずに上方に向けられ高く高く昇天するのである。⁽⁶⁾斯くして振動性の波高に比し昇天の高さは十數倍にもなる例は方々で見られ、Johnson の書にも見事な實例が幾つも掲げてある。

6. 結 論

前數節の要點を摘記すれば

1) 浪害は別府海岸が獨り飛び切り酷かつた。其の浪が岸壁に衝撃して打騰けた高さは當時の撮影寫眞から推定して實に10數米から30米にも及んだことを知つた。但し岸壁に當らない前は2~3米のものであることも寫眞を以て實證した。

(4) T. Nomitsu: Surface Fluctuation of Lake Biwa caused by Muroto Typhoon; Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ. Vol. 16 (1935), pp. 225-226.

(5) D. W. Johnson: Shore Processes and Shore-line Development (1919), p. 33.

(6) 野滿隆治; 海洋學, 昭和6年 日本評論社發行, 178頁

2) 斯様な激浪に拘らず別府當日の風速は最大 8m/s に過ぎず、一見甚だ意外で此の浪の原因は風で無いではないかと疑はしむるものがあつた。

3) 然し下記の諸事實から矢張りこの浪も松山から別府灣に至る伊豫灘を Fetch とする風浪に相違ないことを明瞭にした。即ち

(i) 豊後水道兩岸の内、浪害を受けた箇所は殆んど大分縣下だけで而も北東乃至東に向いた灣の奥なる別府・臼杵・津久見・佐伯だけで、結局風下の最奥に當る地點のみなること。

(ii) 松山は風向 E 大分は NE で、風速は共に 17m/s であつたから、別府風速の僅か 8m/s なるは其の風上に當る國東半島峻嶺の遮蔽作用によるものと判斷されること。

(iii) 松山から別府灣に至る伊豫灘を Fetch とした波高の上限を Stevenson 式で下限を Boergen 式で計算するに、別府海上の波が 2~3 米の高さになるのは妥當なること。

4) 海上進行中は 2~3 米の波が岸壁に衝突すると 10~30 米の高さまでも昇騰したのは、海岸近くの淺海に來た波が所謂移動性の波であつて半ば流れの性質を帶びて居るからだと解した。蓋し奔流を障壁にて突然遮斷すれば之に沿うて高く昇騰するのは當然だからである。

5) 浪害の種類は波の直撃による破壊と、昇騰した波が陸上に落ちて次ぎ次ぎに堆積した水による間接損害である。間接損害にも浪水で一面に湖沼と化した爲めの單純な浸水被害と、其の水が弱所を求めて溢流した爲めの洗掘決潰の被害とがあつた。

終りに、今回の浪害は別府としては眞に未曾有であつたが、然し將來とても颱風が緩やかに豊後水道を通り伊豫灘に北東の暴風が吹き渡る様な場合には、同様の激浪が襲來するものと覺悟すべきことを別府市民諸君に告げて擱筆する。