

脈動と波浪(才1報)

吉村壽一*・大枝良介*・新垣隆夫*・堤 良造*

§ 1. はしがき

昭和 26 年 4 月から脈動と波浪の研究が全国的な規模で開始されたが、その目的は脈動の真の原因が何であるかを究明するにある。従来脈動の原因については次の二つの異つた見解が行われた。一つは Wiechert によつて唱えられたもので、嶮岸に打寄せる波浪がその原因であるとし、他の一つは台風、低気圧などの大気の擾乱がその原因であるというのである。アメリカでは才二次大戦中後者の見解に基き、地震計による脈動観測の結果台風を追跡するに役立つ方法を実現した。もし脈動の原因が究明され、その結果として大気の擾乱源からその擾乱が地殻に伝達され、それが弾性波動として四方へ伝播するものであることがたしかめられれば、地震計による脈動観測の結果からそのような大気の擾乱源の位置、勢力、進路などを推測することが可能となる。九州は日々の天気予報上わが国の表玄関に相当し、しかも周辺の海域からは十分な観測資料が得られないため、予報には多大の困難を感じるのである。故に脈動法が活用できれば予報上大きな寄与となることはいうまでもない。

§ 2. 調査の方法

まず上の目的のためには脈動観察と波浪観測の結果を比較対照しなければならない。脈動観測の資料は地震観測を行つている次の 6 官署—福岡、大分、宮崎、鹿兒島、熊本、長崎—のものであり波浪観測の資料は検潮記録および目視観測によることとし、検潮は女神、三角、水俣、鹿兒島、油津、大野川、辨天島、博多の 8 箇所、目視は枕崎、油津の 2 箇所の分を使用した。各所の器械の種類は才 1 表のとおりである。脈動観測や波浪観測は 1 箇所だけでもいろいろ面白い結果が得られる

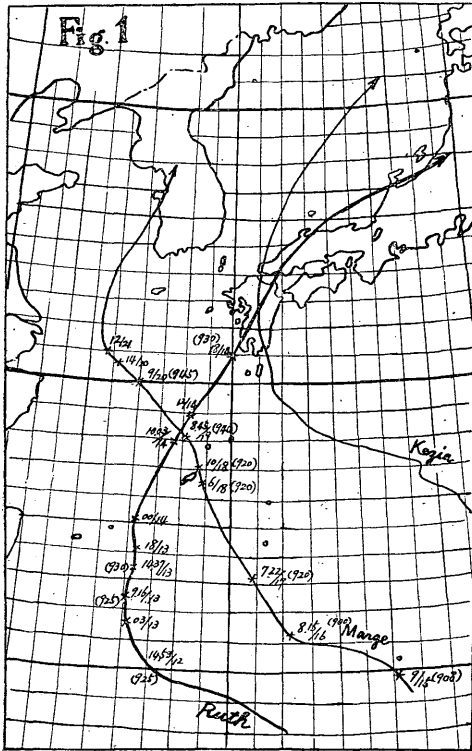


第 1 表

地名	地震計	地名	検潮儀
福岡	メインカ	博多港	ロール
	ウィーヘルト		フース
長崎	ウィーヘルト	女神	フース
	ウィーヘルト		フース
熊本	ウィーヘルト	三角	フース
	ウィーヘルト		フース
鹿兒島	ウィーヘルト	水俣	フース
	ウィーヘルト		フース
宮崎	ウィーヘルト	鹿兒島	フース
	ウィーヘルト		フース
大分	ウィーヘルト	油津	舊ケルビン
	ウィーヘルト		大野川
		弁天島	リシヤール

* 福岡管区気象台地震係

が、それがその土地固有のものかまたは他にも適用できる一般性のあるものかどうかは、相互に観測結果を比較検討しなければわからない。脈動の原因が何れであるにせよ、地殻中を弾性波動として伝播してくるものである以上、面的構成を考究せねばならないのは当然で、九州全域を対象にして調査を行つたわれわれの目的のためにはなるべく変量を少くし、簡単な条件のもとで標本を処理しなければならぬ。この希望にそうものとして、昭和26年8月11日グワム島附近に発生し、東支那海をゆつくり北上して朝鮮を縦断し、25日頃ウラチオ方面に去つた台風マージをとつた。そ



の進路は才1図のとおりである。

脈動の験測方法はだいたい中央气象台から指示された方法によつたが、正時の前後10分間の毎分の最大値10箇の全部の平均をとらないで、10箇中の最大値4箇の平均をもつてその時の値とした。また験測はだいたい2時間ごとに行つたが、台風までの距離が大で脈動にあまり急激な変化のない時には3時間ごとにとつた。験測の結果を時間の函数としてグラフにしたものを才4図、才6図および才12図に示す。

検潮記録には一般の副振動以外に短週期の微動が混入している。この微動は台風による海面の擾乱にもとづくものと考えられている。読取の方法は正時の前後各10分間中の最大半振巾の週期と振巾をとつた。というのは検潮記録に現れる微動は片ゆれが著しく、

脈動の場合と違つて基準線が直線でないために読取りに困難を感じるからである。すなわち高低潮時には読取りやすいが、漲潮落潮時のように潮候曲線の急傾斜しているところでは非常に読取りにくい。

長崎の検潮は深堀、女神、大波止の3箇所で行われているが、今回の調査は波浪の消長をみるのが主で、副振動の消長をみるのではないという見地から、ちょうど長崎港湾の副振動の節になつてゐる女神(才2図参照)の検潮記録を調査の対象とした。

潮候曲線中には15日頃から40~90秒の短週期の微動が現れ(発現は漸進的であつて明瞭な始点はみられない)。25日の午前中まで続いている。この期間はちょうど台風マージがラサ島の南方

海上にあるときから、北々西に進行して東支那海に入り元山沖に出るまでの間に相当し、かつ台風の接近に伴つて振巾が増大していることから判断して台風の影響によつて発生したものであり、一般の意味における副振動とは異なるものであると考えられる。

この微動の読取結果は才 3 図 b に示すとおりである。そのほかの検潮所では長崎の場合のような短週期の微動は記録されなかつた。しかし副振動の消長にもあるいは台風による海面の擾乱の影響があるのではないかと考えられたので、長崎以外は副振動の振巾を読取つてみた。ただし鹿児島は副振動すら記録してなかつたので資料として用いられなかつた。

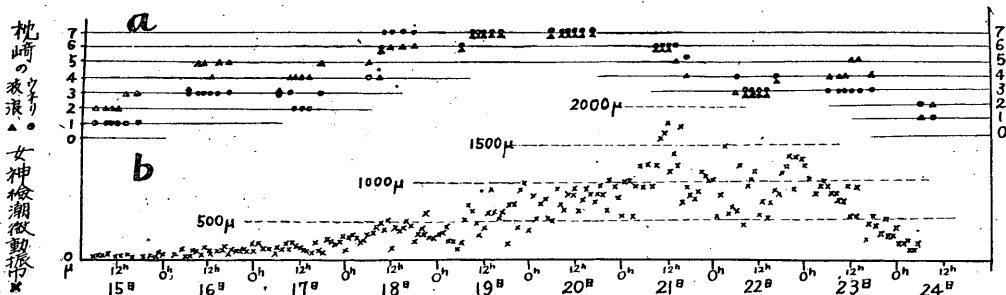
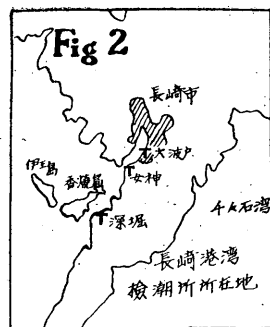


Fig. 3

各検潮所の読取結果は才 4, 5, 6, 7 の各図に示されている。微動の読取りは潮候曲線の傾斜部分において最も誤りやすいので、もし誤差が入るとすれば観測値の間に週期的に入つてくるであろうと考えられる。故にまず女神の資料について潮候曲線と比較すると、ごく僅かではあるが漲潮落潮

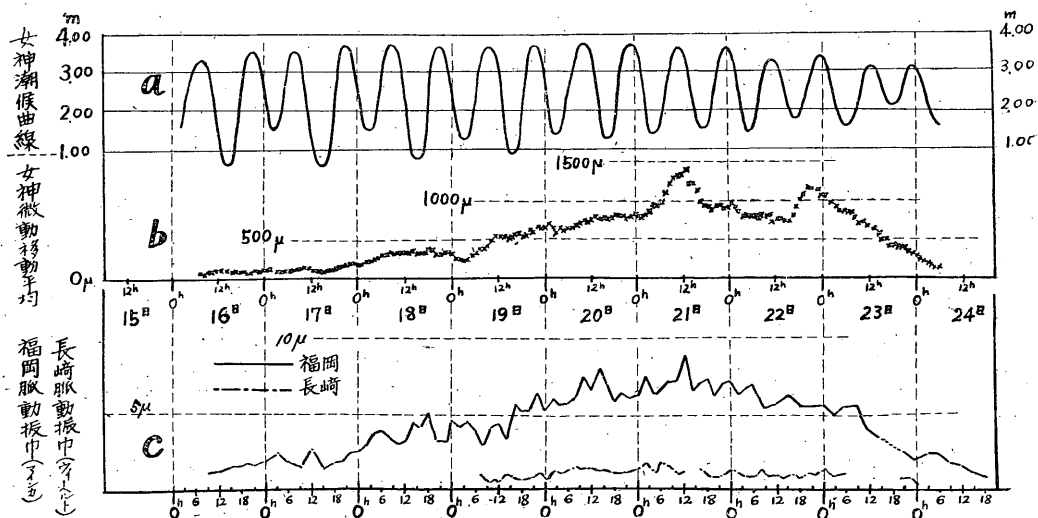


Fig. 4

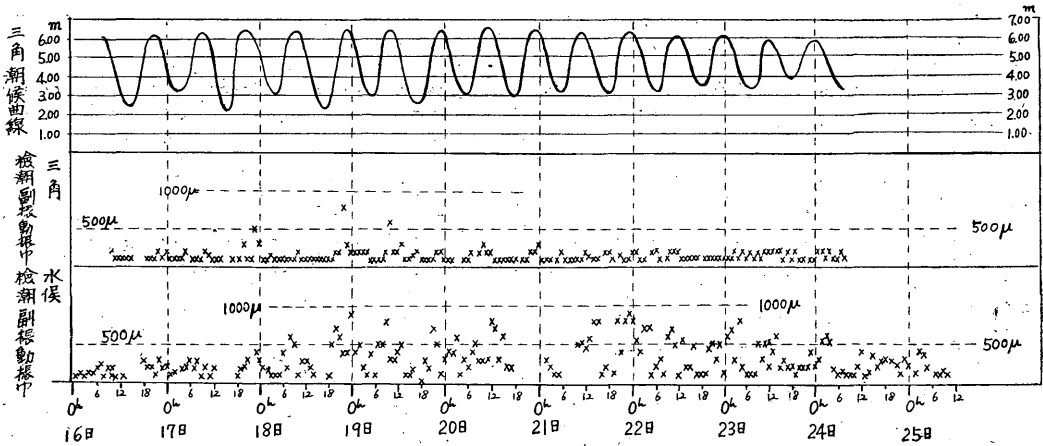


Fig. 5

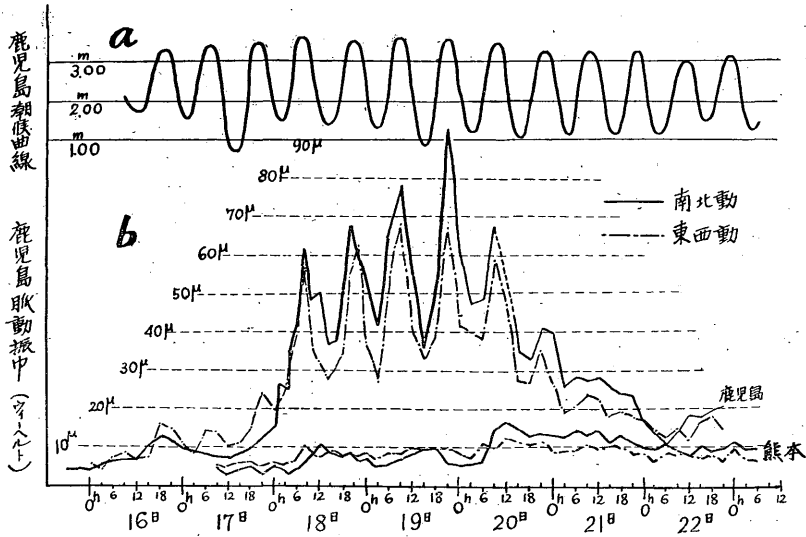


Fig. 6

時において大きくなるように見える。したがってこのような小刻みの変動を除去し、かつばらついた点をなるべくまとめるために7時間毎の移動平均をとった。その結果を才4図bに示す。また油津について同様に処理した結果は才7図bに示してあるが、それでもまだ14時間ぐらいの週期的変化が残っているように見える。

§ 3. 脈動と波浪検潮観測結果の比較

一般に脈動波は表面波に近い速度で伝播するので、もし脈動の原因が嶮岸に打寄せる波浪だけによるものであるならば、脈動の消長と波浪の消長は緊密に並行して変化しなければならないはずである。

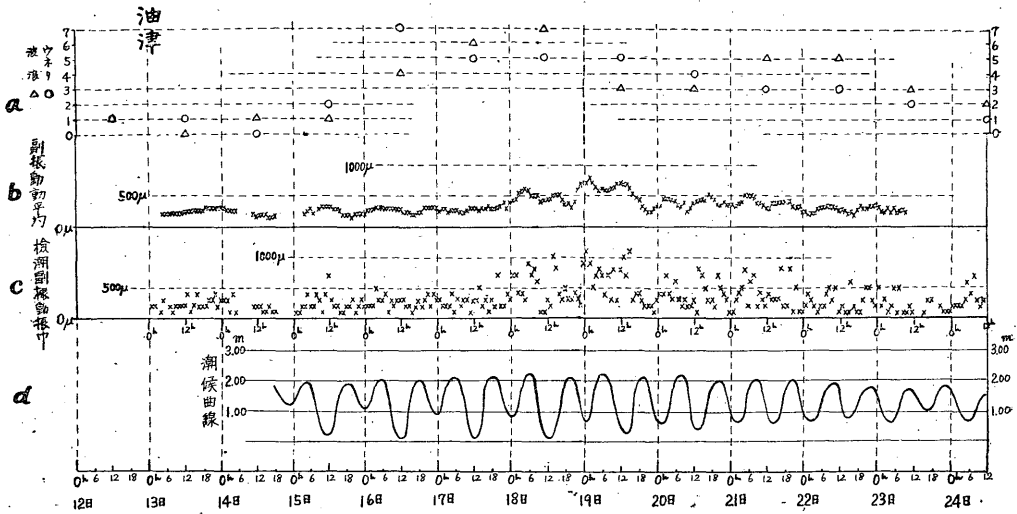


Fig. 7

欧州においてはスカンジナビアの嶮岸に打寄せる波浪によつて起こされた脈動が遠く内陸地方まで伝播し、それが地震計に記録されることが知られている。それと同様な事が九州でも成立しているとすれば、九州の南端枕崎で観測された波浪またはウネリの消長と北端にある福岡の脈動とは相伴つて変化していなければならぬはずである。才3図aにおいて枕崎のウネリおよび波浪の消長をみると18日から急に増大し、19、20の両日にわたつて最大値を示しているが、福岡の脈動曲線は(才4図c)19日にはいまだ上昇の過程にあり、20、21の両日にわたつて最大値を示している。ゆえに福岡において観測された脈動は波浪またはウネリによつて起されたものとは考えにくい。従つて欧州でみられたように波浪またはウネリによつて起こされた脈動が長い距離にわたつて伝播してゆくようなことは九州ではまずないと考えなければならない。

それでは波浪などの影響は海岸からどの程度まで内陸に及んでくるのであろうか。まず枕崎に最も近い鹿島をみよう。脈動曲線を大観すると(才6図b)。18日0時ごろから振巾が急増し、22日0時ごろには大体増加する前の値にもどつている。枕崎における波浪(ウネリ)の観測結果も実にそのとおりであつて、相互の変化は緊密に一致しているように見える。その上さらに著しい現象は脈動曲線が約14時間の週期をもつて増加減少をくりかえしていることであつて、これは枕崎における波浪(ウネリ)が最も大きくなつた期間において特に明瞭である。14時間の週期からただちに潮汐の週期が連想されるので、ころみに鹿島の潮候曲線を並べて描いてみると(才6図a)脈動曲線の極大極小はそれぞれ潮候曲線の高潮、低潮の時間と精密に一致している。ゆえに鹿島において記録される脈動はそれが南方から接近する台風などによるものである限り、波浪(ウネリ)の影響を受けているように見え、しかも鹿島湾に流入する潮汐によつてその消長を左右されるこ

と著しく大であると結論できるであろう。その上海水量の増加した高潮時に脈動が大きく減少した低潮時に脈動が小であるということは、脈動発生の一つの模型として海水による地盤の励起ということを考えねばならなくなる。

次に熊本附近では三角水俣の2箇所の検潮記録があるので副振動の状態はわかるが、波浪(ウネリ)の目視観測がないので残念ながら熊本の脈動の消長(才6図b)と附近の波浪(ウネリ)の消長とを比較することができない。もつとも熊本附近の海岸は一般に遠浅であつて鹿児島湾附近のように切立つた断崖のところはない。しかしながら波浪の状態が大体枕崎と似かよつたものがあると考へて脈動曲線と比較すると、たしかに枕崎で波浪が極大に達し始めた18日の6時ごろから増大しているような傾向はみえるが、その後の変化は必ずしも順応しているようには考えられない。ゆゑに九州の南海岸に打寄せる波浪(ウネリ)によつて起される脈動は、すでに熊本に達する前に減衰してしまつて、その影響はほとんど消失したものとみなしても差支えないのではないだろうか、20日6時以降の脈動曲線の増大が何に起因するものであるかの解釈はしばらく保留するとしよう。

長崎、福岡も波浪(ウネリ)の目視観測がないので脈動の消長と対比することができないが、長崎の検潮記録は最も精度が高くかつその潮候曲線中に港湾の副振動とは別個に現れている微振動は海面のあれ方に大きな関係があるのは確實とみられているので、この微動の消長をもつて波浪の消長とみなすことにしよう。この微動の週期は平均して55~70秒ぐらいで波浪やウネリなどの週期とは桁違いに大きい、これは検潮の井戸の構造なども関係しているのかも知れない。

この微動の振巾曲線を長崎、福岡の脈動曲線(才4図c)と比較すると、微動曲線のほうは21日の12時と22日の21時の2回大きな山が現われているのに対し、長崎の脈動は20日の9時頃と21日の6時頃に割合大きな山がみられるが23日の6時以降はほとんど脈動を記録していない。福岡の脈動も20日の14時ごろと21日の12時ごろに大きな山があるが、22日以後は次才に下り坂になつていて、変化の大勢を眺めた場合潮汐の微動の消長と脈動の消長とは一致していない。故にこの場合も波浪(ウネリ)の影響が全くないとは断定できないが、ほとんど考慮に値しないのではないかと思う。そして長崎、福岡の脈動曲線に現れた二つの極大は前の一つが台風の最も接近した時期であり、後の一つは台風が方向をかえて北東に進み再び九州にいくらか接近した時期であつた。結局鹿児島以外のところでは潮汐や波浪などと脈動との間には何等関係らしいものは認められなかつた。

以上要約すれば、海岸近くでしかも台風の襲来する前面に当り海岸が切立つているようなところでは波浪(ウネリ)によつて脈動がおこされ、また鹿児島湾のような特殊な地形のところでは潮汐によつてその消長が左右されるかも知れぬが、それらの影響の及ぶのは割合に小範囲であつて相当離れたところではその影響はほとんどいうにたりず、少くとも九州においては脈動の主原因は波浪

(ウネリ)以外に大気の擾乱源から直接海底を弾性波として伝播してくるものによると考えたほうが都合がよいように思う。

海底地盤が励起される方法についてはなお疑問が存在するが、擾乱源の中心域における気圧の微小変動がその原因であるのかまたは中心に吹込む強力な風によつて海水が激しく動揺し、その際の運動エネルギーが海底に伝えられるのがその原因であるのかよくわからないが、おそらく後者ではないかと考えられる。

§ 4. 脈動と海深

アメリカにおいて脈動を観測した経験からは大気の擾乱源が深海上にあるときは脈動は大きく観測されるが、浅海または陸地に上ると急に振巾を減ずることが知られている。マージ台風は 18 日の 9 時から 12 時頃までの間に沖縄の北端附近において同海嶺を通過している。(才 1 図参照)。東支那海の陸棚に相当する海域を除いては全コース中ここが最も浅い所であると考えられるので、もし上述のようなことがこの場合も言えるならば実際の観測結果にそれが現れていなければならないはずである。福岡の脈動曲線には 9 時から 12 時までの間にそれらしいへこみがみられはするが、外の箇所にも現れているへこみに対してそれほどだつてもいない。この脈動曲線は読取つたままの資料から作成したものであつて、脈動の振巾を時間の函数として表わしたものである。しかるに脈動の消長を左右する要因は外にも存在するので、それらの影響を一応除外し純粹の深海と比較対照した結果を検討しなければならない。

脈動が大気の擾乱源から放射されるものと考え、その消長を左右する因子としてはまず次の三つが考えられる。

1. 大気の擾乱源から観測所までの距離: Δ
2. 中心勢力 (中心示度で表わす): I
3. 海 深: D

すなわち脈動の振巾を A_m とすると

$$A_m = f(\Delta, I, D)$$

なる函数形で表わされる。故に海深の影響だけをみるためには I, Δ の何れかを除去して表わさねばならないが、簡単のため y 軸に A_m , x 軸に Δ をとり、台風の接近によつて脈動の振巾がいかに変化するかをしらべた。才 8 図はそれである。台風のコースについては飛行機観測のある地点を最も重視し、それらをつらねたものを以て台風のコースとし、所要の時間における台風の位置はそれらを接分比例した点を取り、それらの点と各観測所までの距離を測定して台風の中心距離とした。また別に海図 (日本近海) に等深線をえがき台風の位置を併記して各時刻における海深を読取つた。才 8 図から脈動曲線の変化の大勢をみると、その中にいくつかの段階はあるが一つの双曲線を

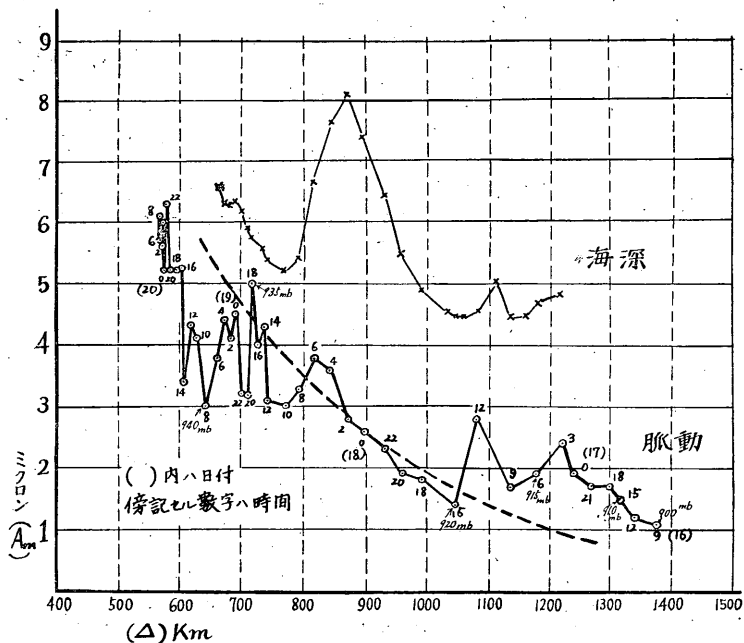


Fig. 8

表わしているようであつて、そのすう勢は太い点線のような形になる。すなわち中心示度も進行方向も海深も一定不変でただ距離のみが減少するような理想的な場合には、この双曲線類似の形をもつて表現されるであらうというのである。それでもしこの双曲線(?)からのずれがあれば、それは中心示度なり海深なりが変化したことによつて引き起されたものとみなしてよいわけである。才 8 図の脈動曲線の上に前に読取つた海深の変化を併記して両者を比較してみよう。海深が大になると脈動振巾も大になり海深が小になれば脈動も小になるので、 y 軸の上方に深度を大きくとつた。福岡の天気図によれば 17 日 12 時から 18 日 15 時までには中心示度 920mb で一定不変であるので、もしこの期間中に基準双曲線(?)からのずれがあるとすればそれは海深のみの影響によるとみなしてさしつかえない。二つの曲線を較べればいかにその形がよく似ているかがわかるであらう。海深が小さくなれば脈動もまたそれに伴つて小となる。故に脈動振巾が海深の大小によつて左右されるという経験則はたしかに正しいであらうと考えられる。

18 日 14 時頃までの脈動曲線には谷が三つありその中の二つが大きい、17 日 16 時頃現れている谷は台風勢力の弱まりが加わつていたので、純粹な海深のみによる谷は 18 日の 10 時から 12 時までのものが最大であらうと考えられる。従つてこの谷は台風が沖縄を通過した時に生じたものと断定できるであらう。また一方長崎の潮汐の微動曲線を見ると 19 日の 3 時頃大きなへこみが見られている。才 9 図のように横軸に距離をとつて表わすとさらに明瞭になる。この最大のへこみは長

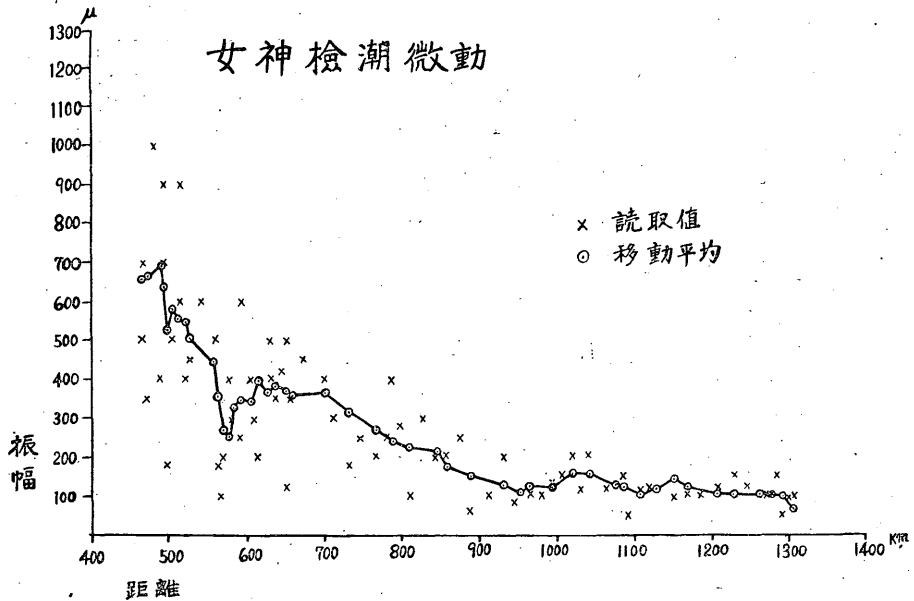


Fig. 9

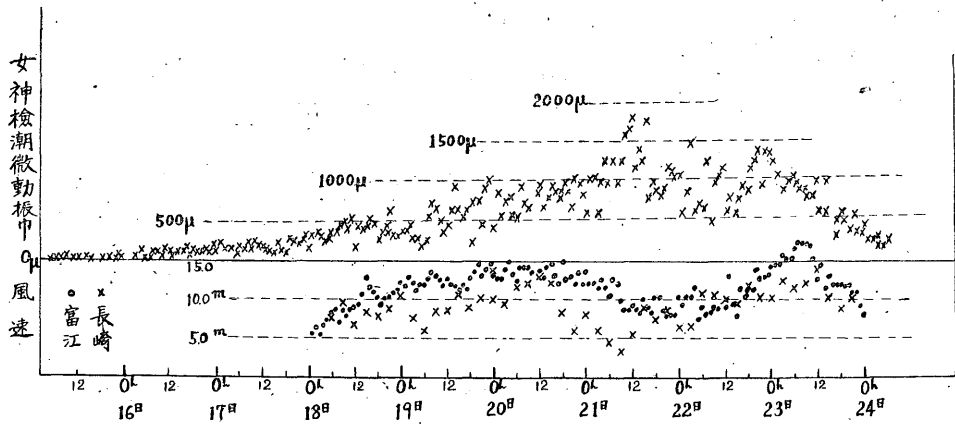


Fig. 10

崎附近の場の波浪の影響によるものでないことは、長崎または富江の風と比較すれば明らかである(才 10 図参照)。すなわち台風の中心域から波浪またはウネリとして伝播してきたものの変化の現れであつて、台風が沖縄を通過したときの影響であろうということは発現の時間と台風の位置との関係から推測できる。そしてそれらの関係から平均速度を求めると約 11 m/s となつて、大体あり得べき値になる。油津においても同様に 18 日の 23 時頃急激なへこみが現れており、台風までの距離と所要時間とから波浪またはウネリの速度を求めると 13 m/s ぐらになり、通常期待される

値になるのである。

故にこの点からも脈動がその近くの海岸に打寄せる激浪だけによるものではなく、ある一つの力源からそのエネルギーが一つは脈動の形でもう一つはウネリや波浪の形で放射されるものであることは明らかである。そしてそれらの速度の差ゆえに時間的なズレとなつて観測されるのである。

すなわち台風の通過しつつある海域の海水量が多ければ海底地盤を励起する力も大となり、少なければ小となる。これは台風の中心の存在する海域のみに限らず、観測所附近の海水量の増減によつてもまた脈動振巾が大きく左右されることは、鹿児島県の観測結果からわれわれが知り得たとおりである。そしてなお詳細に眺めると、海深の変化に対し脈動の変化はいくらか遅れており、海水の動搖が海底の地盤を励起するまでにかかなりの時間を要することを示しているように思われる。

今まで脈動曲線が一種の双曲線の形をとつていと述べたが、果してそうであるか否かは xy 軸

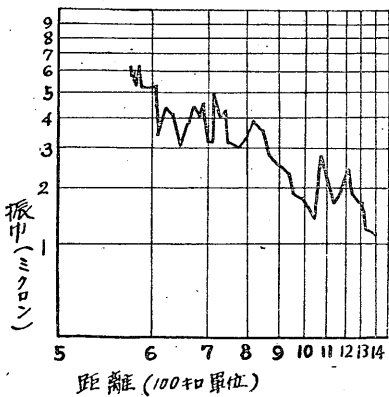


Fig. 11

に Δ , A_m の対数値を以て目盛つた場合それが直線になつて表わされればよい。才 11 図によれば台風の中心示度や海深などの著しく変化していないところでは大体直線であつて、実際の脈動の変化が双曲線状に進行することを示している。ただしこの場合の双曲線は Δ , A_m をとつた x , y 軸をその漸近線とするものではないようである。

以上の結果はマージ台風だけについて述べたが、ほかの台風の場合もそのとおりになつていのかどうか多数の資料を集めて検討しなければならない。昭和 26 年 10 月 12 日から 15 日頃までの間に九州を襲つたルース台風につき

福岡と宮崎で観測された脈動の消長は才 12 図のとおりである。マージの場合は九州のはるか西方を通過ししかも進行速度はきわめてゆるやかであつたのに対し、ルースは九州を斜めに横切りしかも進行速度はきわめてすみやかであつた。マージの脈動曲線は大体双曲線形であろうという推定ができた程度であつたが、ルースの場合は多少の凹凸はあるが双曲線状の変化であることは一目でわかるであろう。13 日の 14 時から台風が枕崎と阿久根の中間附近において九州に上陸するまで中心示度はほとんど変わらず 930 mb であるので、この曲線のところどころに現れている凹凸はおそらく海深の影響によるものであらうと考えるが、コース上の海図が手元になくて比較できなかった。しかしマージの場合にくらべて割合になめらかな曲線をえがいて振巾が増大しているのは、おそらくルースが琉球列島の北側に沿うて海洋の急激な変化のないところを通過したためであらうと考える。

この二つの台風に関する他の大きな相違点は脈動の週期である。マージのときは接近するにした

る (才 12 図 b, c 参照)。これがいかなる原因によるものであるかは今のところ不明である。

§ 5. 脈動と断層

次に才 13 図にルースとマージの脈動曲線を併記したが脈動振巾が真に中心示度 I と距離 Δ , 海深 D のみの函数であるならば, 海深の大きなコースをとおりかつ中心示度の深かつたマージのほうが脈動は大きく観測されねばならないはずである (図の AB 間において)。しかし実際にはルースのほうが大きく出ているのは何としてもなつとくのいかない点である。 I, Δ, D 以外にまだ脈動の消長に重大な影響をもつなんらかの因子があるかどうか。アメリカでの観測結果によれば, 台風と観測所との間に深い根をもつ断層がある場合には, 脈動の振巾は通常期待されるものより小さくなるというのであるが, 九州において脈動の消長にそれほど大きな影響を及ぼす断層があるであろうか。九州における幾多の断層中まず最大と目されるものは大分県臼杵附近から南西に走り, 熊本県緑川の流域から八代附近にぬけて九州を南北に分断する一大構造線である。ここでまた未解決のまま残しておいた熊本のマージ台風の脈動曲線をふりかえつてみよう。20 日 6 時以降脈動の振巾は急激に増大し, それ以前のもののほとんど 2 倍近い値になつているが, これは単に台風の接近ということだけでは説明のできないものである (この頃台風は熊本に最も接近している)。何となれば脈動曲線は一般に最近点を中心にして対称的な山型を表わすべきであるからである。この時のマージ台風の熊本からの方位はちょうど臼杵, 八代の構造線を延長した限界線に相当しており, それ以前に脈動の振巾が小さかつたのは多分にこの構造線の影響があつたのではないかと考えられる。福岡でこの構造線の影響のなくなるのはちょうど 18 日の 14 時ないし 15 時頃となる見当で, 脈動曲線の上で海深に対して割合に大きな山になつているのはそのためではないかと推定される。

§ 6. む す び

以上述べたところ, ただ二つだけの台風によつたものであり, 決定的なことはなお後日にゆずらなければならないが, とにかく脈動観測によつて台風などのような大気の擾乱源の位置をつきとめその勢力の消長や進路などを追跡するということは十分実現の可能性のあることだと考える。そしてとくにこの方法による重要な副産物は大雑把ではあるが台風が現に通過しつつある海域の深度が時々刻々推定できるということである。

本調査において長崎を除くすべての検潮記録の読取りおよびそれらに関する図表の作成は大枝が行い, マージ台風の福岡のマインカによる脈動, 熊本, 鹿児島ウィーヘルトによる脈動の観測およびそれらに附随した図表の作成は堤が担当した。それ以外はすべて吉村が行つた。資料のなかで使用にたえないもの (たとえば欠測が多かつたりまたは精度がよくないと考えられるようなもの) はここにはのせてない。また大分, 宮崎の観測結果は今回間に合わなかつたので次回にゆずることにしたい。

最後に貴重な資料を長期にわたり借用させていただいた建設省大分工事事務所，才四港湾博多港工事事務所，長崎海洋気象台および大分，宮崎，鹿児島，熊本，油津の各測候所にあつくお礼を申上げる。

Microseisms and Sea Waves (1st Paper)

J. YOSHIMURA, Y. OEDA, T. ARAGAKI and Y. TSUTSUMI (*Fukuoka Dist. Cent. Met. Obs.*)

Microseisms and sea waves were observed and compared at several stations in Kyushu at the time of Marge Typhoon. Its results are shown in Fig. 4, 6, 12, etc. In summerizing the above results, the main cause of microseisms is considered to be due to the propagated waves through the sea bottom from the disturbance source.

In addition, at Kagoshima microseisms seem to be closely related to the tides of the Kagoshima Bay, and at Fukuoka rise and fall of the amplitude of microseisms is generally parallel to the depth of the sea where the disturbance source moves.