

## 有明海の高潮について (IV)

篠原 謹 爾\*

## 1. まえがき

昭和34年9月の伊勢湾台風にともなって発生した高潮の災害を契機として、筆者らは文部省科学研究費の補助をうけて高潮の協同研究をはじめ、筆者は有明海の高潮の調査研究を担当した。その結果についてはすでに数回にわたって発表したが<sup>1)</sup>、本文は筆者の調査の結果を総括し、あわせて高潮の研究の今後の問題点についての私見をのべたものである。

## 2. 研究の経過

有明海は潮差の大きいこと、遠浅であること、湾口が南西をむいていることなどの理由で、台風による高潮の災害をしばしばうけている。明治以後のものでは、大正3年8月25日と昭和2年9月13日の台風による高潮災害が特に著名である。このときの潮位偏差については気象台関係の発表ではそれぞれ2 m および2.5~3 mとなっている。有明海沿岸は干拓に適した土地柄である一面高潮の害をうけやすいにもかかわらず、検潮所の数は比較的少なく、そのため、たびたびの災害についても潮位の記録が明確でない。最も古くから、今日まで継続しているのは大牟田市にある三井鉱山所属の三池検潮所で、これは明治時代からはじめられている。その他は古いものでも昭和のはじめからである。筆者の研究目的の1つが高潮時の湾内各地の潮位偏差の違いを知ることであったので、できるだけ多くの検潮所をふくむような記録を集めようとした。その結果、系統的な記録としては昭和26年(1951年)から昭和35年(1960年)に至る10か年間に限ることになってしまった。この期間内で有明海に高潮をおこすと思われる台風または低気圧を気象図、気象要覧から16個えらびだした。このほかに大きな高潮をおこしたといわれる大正3年8月25日、昭和2年9月13日、昭和17年8月27日の台風の資料も集めた。

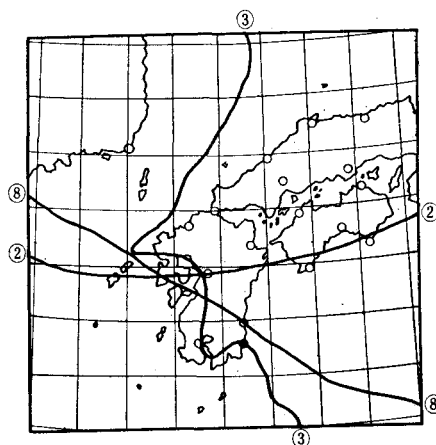
つぎに、台風時の推算潮位の求め方について各種の方法を比較検討し、結局、潮位を推定しようとする時刻より25時間前および後の潮位の平均値を用いることにした。ただこれでは観測潮位と推算潮位の潮時にくいちがいをおこす場合もあるので、気圧の最も低下した時刻付近の満(または干)潮時が、両潮位において一致するように調整した。潮位偏差は観測潮位と推算潮位の差であるから、推算潮位の高さおよび時間の誤差がただちに

影響し、えられた偏差曲線がはたして妥当なものであるかどうか問題となる。そのため同一の台風についてはほかの検潮所の偏差曲線と比較したり、観測、推算両潮位曲線を比較して偏差の信頼性を判断した。

このような方法によって前記19個の台風および低気圧来襲時の潮位偏差曲線を求め、同時に、その検潮所または近くの気象台で観測した気圧、風向、風速の記録を集め有明海に発生した台風(普通低気圧をふくむ)による高潮の性質を調べた。表—1は調査した台風の説明、図—1~3はそれら台風の進路を示したものである。

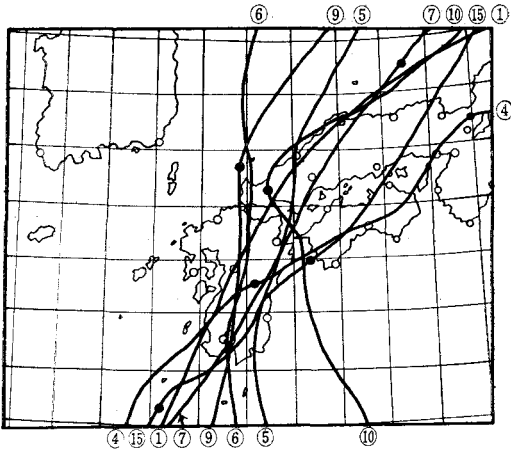
表—1 調査した台風および低気圧

番号	発生年月日	月令	名 称
No. 1	昭26・10・14	14	台風ルース
No. 2	昭26・11・15	15.5	低気圧
No. 3	昭27・7・14	21.7	熱帯性低気圧フレダ
No. 4	昭29・8・18	19	台風グレース
No. 5	昭29・9・7	10	台風13号キャシー
No. 6	昭29・9・13	15.7	台風12号ジューン
No. 7	昭29・9・26	28	台風15号マリー
No. 8	昭30・7・16	27	台風8号ダット
No. 9	昭30・9・30	13.9	台風22号ルイズ
No. 10	昭30・10・4	17.9	台風23号マージ
No. 11	昭31・8・17	10.7	台風9号バブス
No. 12	昭31・9・10	5.3	台風12号エマ
No. 13	昭31・10・8	4	低気圧
No. 14	昭32・8・21	24.9	台風7号アグネス
No. 15	昭32・9・7	12.6	台風10号ベス
No. 16	昭34・9・17	14.0	台風14号
No. 17	大3・8・25	3.6	台風
No. 18	昭2・9・13	16.8	台風
No. 19	昭17・8・27	15.0	台風

図—1 台風の進路図  
(有明海の付近を通ったもの)

\* 正員 工博 九州大学教授 応用力学研究所

図-2 台風 の 進路 図  
(有明海の東側を北上するもの)

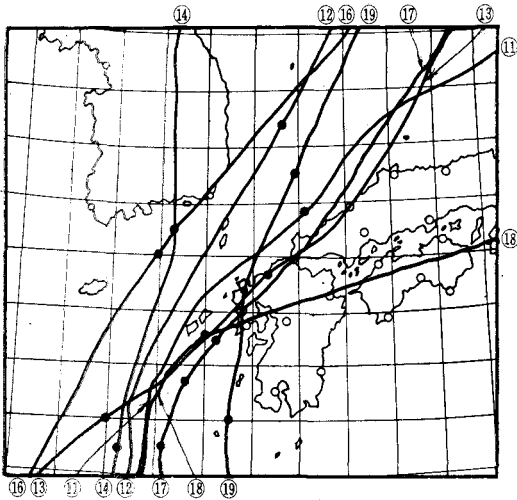


		潮位	月令	
(1)	1949年 11月21日	3.23m	0.8日	
(2)	1950年 9月13日	3.04m	1.0日	キジヤ台風
(3)	1945年 9月23日	3.02m	16.6日	
(4)	1942年 8月27日	3.01m	15.0日	台風
(5)	1952年 9月4日	2.84m	14.5日	
(6)	1951年 10月14日	2.82m	14.0日	ルース台風
(7)	1954年 6月1日	2.82m	29.3日	
(8)	1959年 9月17日	2.80m	14.0日	台風

また三池検潮所における1934年から1960年までの26年間の記録から潮位 3.20 m 以上の高潮位および過去の記録的高潮位といわれる大正3年8月25日および昭和2年9月13日の高潮位を示すとつぎのようである。

		潮位	月令	
(特)	1914年 8月25日	3.656m	3.6日	台風
(ノ)	1927年 9月13日	3.52 m	16.8日	台風
(1)	1942年 8月27日	3.52 m	15.0日	台風
(2)	1956年 8月17日	3.49 m	10.7日	台風
(3)	1954年 9月13日	3.33 m	15.7日	台風
(4)	1959年 9月17日	3.31 m	14.0日	台風
(5)	1937年 7月25日	3.21 m	16.9日	台風
(6)	1953年 8月27日	3.21 m	17.5日	
(7)	1953年 9月24日	3.21 m	15.8日	
(8)	1948年 10月4日	3.20 m	1.2日	

図-3 台風 の 進路 図  
(有明海の西側を北上するもの)



以上の結果をみると高潮位は大体において8~10月の潮位の高い季節で、朔または望またはその近くの日におこっていることがわかる。しかし三角の(1), (7)のように例外もある。また一般に台風時に高潮が生じやすいと考えられているが、上の例でわかるように台風に起因しない高潮位もかなり生じている。三池の場合、大きな高潮位は主として台風によるものであるが、三角の場合は必ずしもそうではない。有明海沿岸のほかの検潮所についてこのような高潮位の記録をしらべることができなかったのははっきりしたことはいえないが、有明海のように潮差の大きい海岸では、台風に起因しない高潮位もおこりうるということが知られる。また一般に高潮位は8~10月のように潮位の高い季節の朔、望またはその近くの日の高潮時に起こりやすいといえる。

### 3. 有明海の高潮位

一般に高潮の研究においては、高潮といえば潮位偏差の異常に大きい場合であって、それは台風時に生ずることが多い。しかし、大きな偏差と高潮位の生ずる時刻とは必ずしも一致しない。三池における記録に残っている最高の潮位は大正3年8月25日の台風時のものであるが、このときの偏差は後述するように、最近10カ年の記録からみても大きいものでなく、高潮位は必ずしも大きな偏差によってもたらされるものとはいえない。

熊本地方気象台木下正時技官の調査による三角検潮所における1931年より1960年に至る30年間の各年の最高潮位のうち 2.8 m 以上となったものを同氏の報告から引用すればつぎのようである。

つぎに台風時だけに限定して筆者の調査した範囲内の高潮位とその時刻の潮位偏差、台風による最大偏差との関係をしらべるとつぎのようである。

(1) 三角や三池のように有明海の湾口または中央部の海面にある検潮所で台風時に高潮位を生じるのは大体において台風が朔、望またはその近くの日に来襲したときの満潮時である。高潮位生起の時刻(満潮時)と最大偏差の生起時刻とは一致していない。ただ、大正3年8月25日、昭和2年9月13日の両台風時の三池の高潮位では、この両者がほぼ一致している。

(2) 紅粉屋、住之江のように有明海の湾奥部でしかも河川に設けられた検潮所では高潮位は必ずしも朔、望またはその近くの日に台風が来襲した場合に発生するとは限らず、大きな潮位偏差をおこした台風の場合にもあ

らわれている。紅粉屋の例では高潮位と最大偏差生起時刻とが一致した場合もあるが、一般にはこの両者は一致していない。つまり高潮位時に最大偏差をおこさせるような台風の例はきわめて少ないことがわかる。

(3) 台風の気圧低下の大小によって高潮位発生がどのように影響されるかは明らかでないが、気圧低下がいちじるしいほど高潮位になるというような関係は見出されていない。

(4) 大きな潮位を生ぜしめた台風について最高潮位と最低気圧の生ずる時刻の時差をしらべてみると、最低気圧の生ずる時刻の近くの満潮位に最高潮位の生ずることは知られたが、台風の通過前とか後とかの一定した傾向はあらわれていない。三池では、大きな潮位は、最低気圧と満潮時が一致するか、台風通過直後の満潮時におこることが多い。

(5) 台風の有明海にたいする進路による高潮位発生がちがいはみられない。

(6) ある地点で高潮位をおこすような台風でこれら有明海全域に高潮位をおこすこともあるし、場所によってそれほど大きい潮位をおこさないこともある。例えば台風 No. 6 や No. 16 では有明海のほとんど全域で高潮位を示しているが、台風 No. 11 や No. 12 の場合には紅粉屋、住之江では高潮位を示しているも、三池や三角ではそれぞれの地点の潮位としてそれほど大きな値となっていない。一般に湾奥部の方が高潮位をおこしやすいようである。

4. 潮位偏差曲線の性質

台風による高潮時の潮位偏差曲線について宮崎正衛博士はつぎのように述べている<sup>2)</sup>。典型的な潮位偏差曲線を模式的に示すと図-4のように forerunner, typhoon surge, resurgence の3部分に分けられ、台風の主体が湾内に侵入する前の水面上昇が forerunner であり、typhoon surge は高潮の主体をなすもので気圧や風による水面上昇である。resurgence は湾内の固有振動による水面の上下動である。筆者の調査した19個の台風の偏差曲線を見ると、宮崎博士の指摘する典型的なものは、台風 No. 6, 11, 12, 16, 17 であり、No. 8 も偏差

は小さいがほぼ典型的とみなされる(図-5)。これ以外の曲線は典型的曲線とかなりちがっており、その1つの形式としていくつかのピークをもつ波動曲線を示すものがある。そのピークは大体において周期的にあらわれることが多いので波動型と称することにした。この形式の代表的なものは台風 No. 5 のときである。この場合の偏差曲線は図-6に示すように干潮時に正、満潮時に負の偏差があらわれている。これはちょうど潮時が6時間ずれた潮位曲線のような形を示しているが波動の減衰が比較的速やかであること、正の偏差の方が負のものより大きく、またどの検潮所の記録も同じような傾向がみられることなどから、このような曲線は推算潮位の不適正による誤差ではなく、台風により発生した水面の変動と考えられる。そのほか台風 No. 1, 4, 9, 18, 19 の場合にも No. 5 ほど明確ではないが波動型の偏差曲線をあらわしている。波動型は typhoon surge のピークが典型的なものにくらべて小さく、resurgence の波形のピークと大差ないため、全体として波状曲線を示すのではないかと考えられる。

このような偏差曲線形が何に関係するかを知る目的

図-5 台風 No. 11 の時の偏差曲線

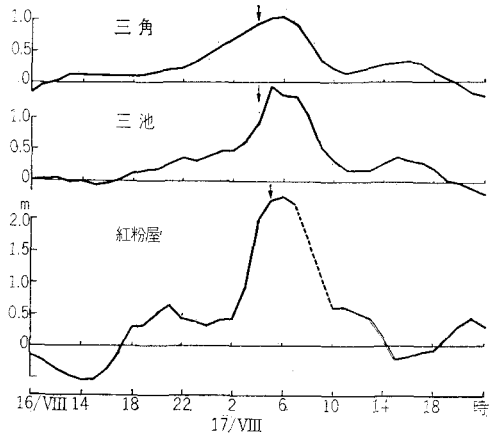


図-6 台風 No. 5 の時の偏差曲線

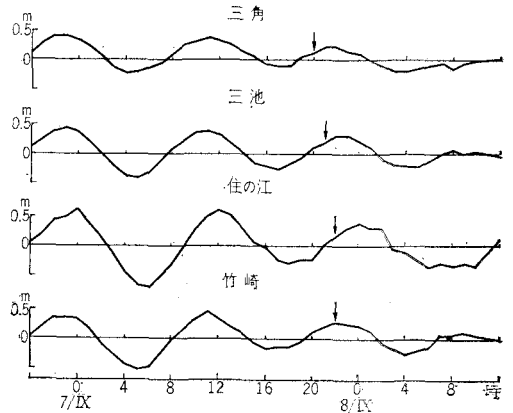
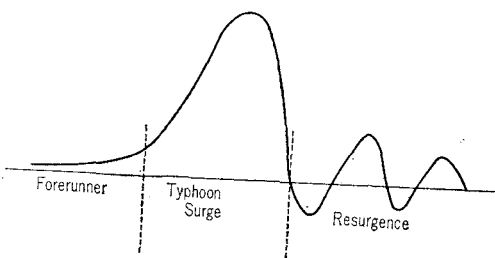


図-4 典型的な潮位偏差曲線



で、まず台風の気圧低下および上昇速度との関連を調べてみた。最低気圧を中心としてその前および後の1時間あたりの気圧変化量を各台風ごとに求めた結果、偏差曲線の形式と気圧の最低値、気圧変化速度、台風中心の進行速度など低気圧の性質とは、はっきりした関係をみいだすことができなかった。つまり台風の気圧や進行速度によって偏差曲線の形式がきまるものではないようにみえる。

つぎに台風の進路との関係について調べてみると、台風が有明海の西側を通る場合には典型的となることが多く(台風 No. 11, 12, 16, 17)、台風の規模が小さいか、有明海の東側を通る場合には波動型かそのほかの不規則な曲線を示している(ただし No. 6 は例外)。これからみると台風の通過によって生ずる風の性質が最も大きな影響を与えているように思われる。ただ、台風 No. 6 と No. 9 のように、ほぼ同じ進路をもち、気圧、風向、風速など大体同じ程度の気象要素をもつ場合でもかなり違った偏差曲線形を示すことがあるのは注目すべきことであろう。これらのことから、偏差曲線のあらわれ方については、現段階では、説明困難であるが、典型的な曲線があらわれるのは有明海では特に S~W の大きな風速をもつ風をとまなうときで、一般に台風が有明海の西側を北上するときである。

有明海内の場所による偏差曲線のちがいを調べてみると、典型的なものについては、偏差の生じている時間、ピークの出現した時刻などは大体において一致している。これから判断すると、典型的な偏差曲線を生ずるような台風では、有明海内の水位は(程度は湾内の場所

によって異なるが)湾内ほぼ一様に上昇しており、同じ時刻に場所によって振動の節となるようなところがあらわれたり、推算潮位より低くなるようなところはあらわれていない。つまり寺田博士の計算の仮定<sup>3)</sup>のように水位の上昇を閉潮の振動と考え、副振動を重ね合わせる方式はこの場合適当でなく、台風により外海の水が湾内に押しこまれたり押出されたりすることによる水面の変化と考えた方が適切であると思われる。

## 5. 最大偏差の性質

調査した19個の台風による最大潮位偏差をまとめると表-2 のようである。表には参考のため有明海沿岸の平均の最低気圧(熊本, 三池, 佐賀, 森山の最低気圧の平均)にたいする水位上昇量および最大偏差付近の風向を併記してある。最大偏差と最低気圧の生じた時刻が一致した場合はほとんどないから、最大偏差を生じた時刻における気圧低下による水面上昇量は表に示してある値よりかなり小さい。

筆者の調査した範囲内で有明海の最大偏差は紅粉屋における台風 No. 11 のときの 237 cm である。三池での最大も No. 11 のときの 151 cm である。台風 No. 17, 18 による高潮は特に有名で気象庁関係の発表ではそれぞれ 2 m および 2.5~3 m となっている。これは有明海のどの検潮所における記録であるか不明であるが、筆者が三池の資料をもとにして計算した結果では表にあるように、87 cm および 67 cm であり、かなりのくい違いがある。

### (1) 最大偏差の生ずる潮時

比較的大きな偏差の生じた台風について、各検潮所の最大偏差生起時刻とそれに最も近い満潮の時刻との時差を調べてみると、満潮時に最大偏差の生ずることは比較的少ない。筆者の調査の範囲では台風 No. 11, 18, 19 の場合に起こっている。No. 17 の場合も満潮時にかなり大きな偏差を生じているが最大偏差は満潮時より2時間おくれて生じている。また大きな偏差を生じた台風は概して大潮の付近に来襲したものであり、これは高潮位を生じやすいことに関連する。偏差曲線と潮位曲線とをくらべて気がつくことは、高潮時よりも低潮時に大きな偏差のあらわれることが多く、特に紅粉屋, 住之江のように河川部に設けられた検潮所では

表-2 推定された最大潮位偏差

台風番号	気圧低下による水面上昇 cm	検 潮 所						
		三 角	三 池	紅 粉 屋	住 之 江	竹 崎	森 山	
No. 2	—	14 (SW)	39 (N)	32 (N)	34 (E)	—	—	
No. 3	10	19 (ENE)	なし	—	なし	—	—	
No. 8	8	17 (SSW)	28 (SE)	—	75 (SSE)	—	—	
No. 18	28	—	68 (SW)	—	—	—	—	
No. 1	45	49 (NNE)	63 (NW)	—	63 (ENE)	—	—	
No. 4	39	4) (N)	60 (W)	—	37 (W)	61 (N)	—	
No. 5	12	42 (EN)	41 (N)	45 (W)	61 (ENE)	43	—	
No. 6	46	59 (ENE)	61 (SW)	120 (SW)	66 (SW)	64 (NNW)	—	
No. 7	28	39 (NE)	43 (W)	5) (N)	48 (NE)	34 (W)	—	
No. 9	39	4) (WSW)	41 (W)	—	46 (W)	—	—	
No. 10	5	—	—	20	41	—	—	
No. 15	24	17 (NW)	36	65	22	—	—	
No. 11	37	103 (SSW)	151 (SW)	237 (SW)	—	—	138 (SSE)	
No. 12	27	89 (SSW)	124 (S)	188 (S)	208 (SW)	—	75 (SE)	
No. 13	2	19 (S)	25 (NW)	—	—	—	—	
No. 14	20	5) (SSE)	56 (SE)	67 (SE)	79 (SE)	—	55 (SE)	
No. 16	20	58 (SSW)	102 (S)	135 (S)	—	69 (W)	—	
No. 17	27	—	87 (S)	—	—	—	—	
No. 19	44	—	77 (SW)	—	—	—	—	

注 偏差の単位は cm, ( ) は風向

この傾向がいちじるしい。

(2) 最大偏差と気圧との関係

最大偏差の生じた時刻と最低気圧の時刻との時差を各台風について調べてみると、一般に最大偏差が最低気圧のおこる時刻の前か後のいずれに生ずるかの傾向は明らかでない。典型的な偏差曲線を示す台風 No. 6, 11, 12, 16, 17では最低気圧のあと、すなわち、台風通過後に最大偏差を生ずる傾向がある。その時差は場所によって必ずしも一定でないが、三池では最低気圧後1~4時間内におこるようである。

(3) 最大偏差と風向風速との関係

有明海はその湾口が西向きであり、湾奥部の形状はほぼ南北方向となっているから、湾内の水面上昇を起こす風向は W ないし S と考えられる。気象学の知識によると、一般に、ある地点の西側を台風が北上するときには、風向は E→SE→S→SW→W の順に変化し、東側を北上するときには E→NE→N→NW→W の順となるといわれている。したがって有明海の場合には西側を北上する台風の場合の方が大きな偏差を起こしやすいといえる。

潮位と風の観測を同じ地点で行なっている三池検潮所において、比較的偏差の大きかった台風 No. 1, 4, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 19 について風向の変化と気圧最低時、風速最大時、偏差最大時との関係を調べてみると、台風が有明海の東側を通過するときは、最大偏差は NW または W の風向のとき生じているが、最大風速は 風向 N のとき起こっており、最大偏差の時刻からかなりずれている。ただ台風 No. 6 は例外で西側通過の場合と同様 SW の風のとき最大偏差を起こした風速の大きいときに偏差を生じている。台風が有明海の西側を通るときには台風 No. 14 のように台風が長時間停滞した場合をのぞいて、いずれもまず最低気圧を生じた後に S または SW の風向のとき最大偏差をおこし、またほぼ同時刻に最大風速も生じている。とくに No. 11, 12, 16 の場合には風速の変化と潮位偏差の変化がよく似ており両者の間に密接な関係のあることが予想される。

以上から台風が有明海の東、西いずれを通過するかによって風向の変化が異なり、風と潮位偏差との関連も違うことが知られる。台風が湾の西側を通過する場合には台風の中心が通過後風向は湾内の水面上昇を起こさせるのに役立つ S または SW となり、最大風速もその間に生じて最大偏差がそれともなうようである。

最大偏差と最大風速の生起時刻の関係を調べてみると、台風が湾の西側を通過

する場合には両者はほぼ一致している(台風 No. 14 を除く)。東側通過の場合には両者の時差はかなり大きく、また、まちまちで風速と偏差との関連性が少ないことを示している。最低気圧と最大風速の生起時刻との関係については、一般に、最低気圧の生じた後に最大風速があらわれるようであり、この時差は1~5時間くらいである。

気圧の変化量 ( $\Delta p = 1.010 - p$ ) と風向風速を知って高潮の偏差を推定しようとする実験式が各地で求められている。これらは一般に潮位偏差  $\Delta H$  と  $\Delta p$ 、風速  $W$  との間に

$$\Delta H = a \Delta p + b W^2$$

なる関係を想定するものである。三池における前記 10 個の台風について上述の関係を調べてみると上式がほぼ成立するようにみえるが、資料が少ないためこれを実験式として表わすことは実用的にみて価値があるとは思われない。

(4) 検潮所の位置と最大偏差との関係

表-2 からわかるように有明海の場合1つの検潮所で大きな偏差をおこさせたような台風は他の検潮所においても大きな偏差を起こしていることが多い。しかし湾内の位置によって最大偏差値の違いが一定しているのではなく、台風によってこの関係が違っている。一般的にいえば、同一の台風による潮位偏差は湾口より湾奥に向うにつれて大きくなる。比較的大きな偏差を起こさせた台風 No. 6, 11, 12, 14, 16 について湾口からの距離と偏差との関係をしらべてみると表-3 のようである。表から偏差が湾奥に向うにつれて大きくなることは知られるが、台風の性質により偏差の違いが異なっているから、偏差量と湾口からの距離を関係づけることはできない。最大偏差の生じた時刻は各検潮所ともほぼ等しい。

6. 高潮の研究の今後の問題

高潮の研究の目標は問題とする地点において将来予想される最高の潮位を推定することにある。一般に高潮といえば台風にもなる異常高潮位をさすことが多いが、有明海の場合には台風によらないで高潮位の生ずることがあるのは注意すべきことであろう。台風にもなる高潮については、わが国では室戸台風以来理論的な研究が

表-3 湾口からの距離と最大偏差との関係

検 潮 所	湾口よりの距離 (km)	三 角	多 比 良	森 山	三 池	竹 崎	紅 粉 屋	住 之 江
		25	58	63	67	70	89	94
台 風	No. 6	59 (19時)	—	—	61 (0時)	64 (20時)	120 (7時)	66(7~8時)
	No. 11	103 (6時)	—	138 (6時)	151 (5時)	—	237 (5時)	—
	No. 12	89 (5時)	—	75 (20時)	124 (6時)	—	188 (5時)	208 (5時)
	No. 14	50 (0時)	—	55 (23時)	56 (0時)	—	67 (23時)	79 (13時)
	No. 16	58 (8時)	63 (11時)	—	102 (12時)	69 (10時)	135 (12時)	—

注 ( ) は最大偏差の生起時刻

行なわれ、みるべき成果もあげられているが、数値的な予知という点からみれば、従来の近似計算法、あるいは実験式にたよる方法では信頼性が低い。近年電子計算機の発達と普及によって高潮の問題についても Navier-Stokes の式を直接解く手法が進歩してきている。少なくとも、ある特定の湾において、過去に発生した台風による潮位偏差の計算は、台風時の湾内各地の気圧、風等の気象要素の数値、湾口における潮位の記録が知られるならば、まだ若干の不明な数値の仮定を必要とするが、ある程度まで求めうるような段階となっている。この場合精度は実測値との比較によって確かめなければならないから、偏差について精度の高い情報が必要となる。このような観点から高潮の研究の今後の問題点をあげれば、電子計算機による計算の際に生ずる問題は別として、基本式をとくに必要な情報の収集、結果の検照と将来の改良（係数値などの改正をふくむ）のための資料の収集が重要となる。このような情報を得るために

- (1) 気象および潮位観測地点の新設整備、特に海上における観測地点の新設
- (2) 湾口における潮位観測施設の設置
- (3) 観測資料の確実な保管および整理

などが必要であり、従来行なわれている潮位観測には改良すべき点もあるように思われるが、これらの資料を速かに整理して高潮研究の資料として利用できるような体勢にすべきであると考えらる。

この研究は文部省科学研究費の援助のもとに行なわれたもので、資料の収集にあたっては有明海沿岸の気象台、建設省出先機関、県庁、三池港務所の方々に大変お世話になった。また資料の整理計算などについては九州大学応用力学研究所 池田 茂、遠藤治郎、村山豊子、天本 肇の諸君の熱心な協力をえた。ここに記して厚くお礼を申上げる。

#### 参 考 文 献

- 1) 篠原謹爾：有明海の高潮について，第8回海岸工学講演会講演集（昭36. 9月）  
有明海の高潮について(II)，第9回海岸工学講演会講演集（昭37. 10月）  
有明海の高潮について(III)，土木学会第18回年次学術講演会（昭38. 5月）
- 2) 宮崎正術：高潮について，農業土木研究 第28巻第2号（昭35）
- 3) 寺田一彦：有明海の高潮について，農工研究資料第14号（昭25）