

利根川河口の氣象と潮位偏差

建設省土木研究所
海岸研究室 技官
同 上
建設省関東地建利根川
下流工事事務所 技官

岸 富 永 正 照
大 枝 市 郎

1. 緒 言

氣象潮は通常天体潮に比して非常に小さいものであるが、台風のような異常な氣圧降下及び強風を伴う氣象作用により、天体潮よりはるかに大きくなることがある。一般に氣象潮を引起す要因となるものは、氣圧降下と風であるが、普通得られる実測潮位は、両者の影響が重合したものである。従つてこの記録を解析して氣圧降下と風とが、夫々氣象潮にいかなる影響をもっているかを知ることは極めて困難である。

こゝでは利根川河口における氣象潮と風の作用及び氣圧降下との關係を実測資料に基づいて調べ、更に統計的考察を加えて氣象潮發生の確率を求めた。また洪水波が河口に到達する時刻と氣象潮の發生する時刻との關係についても検討した。

2. 河口附近における潮汐

銚子測候所における銚子夫婦鼻地先の1937年から1952年までの15年間観測による潮位の相互關係は図-1の通りである。

この図を見ると平均潮位は Y. P. 0.832m、朔望平均満潮位は Y. P. 1.435m となつている。これらはいずれも天体潮である。更に高極潮位は Y. P. 2.032m となつていて、朔望平均満潮位より約0.6m 高い。この差はいわゆる氣象潮によるものである。尚平均潮位は東京湾中等潮位 Y. P. 0.840m、布良永年平均潮位 Y. P. 0.832m などと同じ程度の値である。

3. 氣象潮と風との關係

利根川は北東に向つて放流し、外海岸は同じく北東に面している。従つて氣象潮を生ぜしめる風向も北東風と考えられるが、実測資料によつてもほゞその傾向を窺ふことができる。例えば、図-2は昭和22年9月キアスリン台風時の潮位偏差〔実測潮位-（推算潮位+（実測平均-推算平均））〕と風速の北東方向の成分及び南西方向の成分との關係を示したものである。たゞし潮位偏差はその成因を氣圧降下と風速と考え、氣圧降下の分は氣圧降下と海面の上昇が靜的に釣合つていると仮定して除去してある。これによると潮位が南西風によつて上昇することは極めて少く、北東風で上昇する傾向が見られる。

次に銚子の年間風向頻度は北東風が最も多く、次いで南西風が最も少い。また氣圧傾度と理論風速については一定の關係があり、地衡風は

$$V = \frac{1}{2\omega \rho \sin \varphi} \cdot \frac{\partial P}{\partial r}$$

ω : 地球の回転の角速度

ρ : 空氣の密度

φ : 緯 度

$\frac{\partial P}{\partial r}$: 氣圧傾度

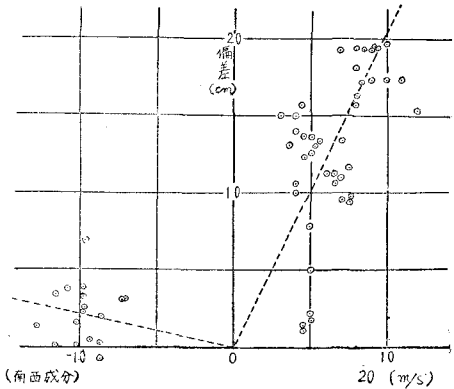
V : 風 速

で求められるが、実測風速 5m/sec 以上の場合を選び地衡風と實際の風とを比較すると、銚子において次のような關係がある。

図-1 潮位の相互關係（銚子夫婦鼻）

月			（單位は YP 上米）	
月平均潮位				
月	累 年	推 算	高極潮位 (1939 X1717h55m) 2.032	
1	0.793	0.789		
2	0.780	0.735		
3	0.725	0.730	朔望平均満潮位 1.435	
4	0.721	0.725		
5	0.736	0.820	上下弦平均高潮位 0.986	
6	0.773	0.803	上下弦平均干潮位 0.868	
7	0.779	0.820	平 均 潮 位 0.832	
8	0.903	0.860		
9	0.949	0.917	朔望平均干潮位 0.026	
10	0.991	0.958	YP 0.000	
11	0.904	0.946		
12	0.932	0.977	低極潮位 (1947.IV2514h00m) - 0.418	
年	0.832	0.832		

図-2 風向と潮位偏差との關係



北東風 0.69, 南東風 0.7, 南西風 0.64, 北西風 0.40, 北東風と南東風とが特に大きくなっている。
次に遠心力を考慮した場合の傾度風は,

$$V = \sqrt{\frac{R}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial r} + (\omega R \sin \varphi)^2 - \omega R \sin \varphi}$$

R : 風の流線の曲率半径

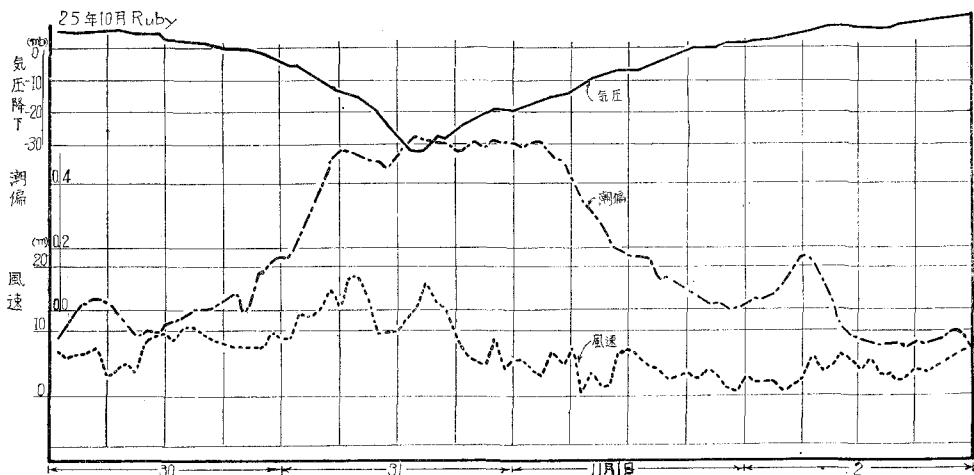
であり傾度風を求め実際の風と比較してみると, その係数は地衝風のようにいずれかの風が卓越しているということは認められず, 大体 6 割程度の風が吹くことがわかる。(図-3) また低気圧による風について, 天気図から等圧線の法線に対する風の傾角を調べてみると, 銚子では $60^\circ \sim 90^\circ$ であり台風域内ではほとんど等圧線に沿って吹送しているようである。

4. 気象潮と気圧降下と風速との相關關係

最近の主な台風について, 月平均気圧からの気圧降下量と風速及び潮位偏差の時間的変化の例を示すと, 図-4 のように気圧降下に伴い風速も大きくなり同時に潮位偏差も大きくなっている。

このような台風による気象潮を支配する気象要素は, 気圧と風速とが支配的であると思われる。急激な急圧降下による海面の吸上げ, 長時間にわたる風の吹送による吹寄せなどについては, 幾つかの理論が提出されているが, ここではそれらの理論に触れず, 気圧の降下と風速及び気象潮との間にいかなる関係があるかを実際の資料に基づいて調べて見る。

図-4 気圧降下量, 風速及び潮位偏差の時間的変化



さて気象潮と気圧降下量と風速との関係を調べると, 図-5 のようになる。この図を見ると, 点が多少ばらついているが, これより平均的に図-6 のような相関関係を得ることができるであろう。点のばらつきは気圧及び風の非定常性に基づくものであろう。この図中の潮位偏差の大きい部分は, それらに対する資料がないので潮位偏差の小さい部分から推定したものである。

5. 気象潮の統計的考察

a. 低気圧の生起確率

前節において銚子の台風接近に伴う気象潮を気圧降下量と風速であらわした。それに従い台風通過の頻度から低気圧発生を統計的に取扱ひ, 気象潮の頻度を調べて見る。

通例台風の中心示度は 960mb 位までであるが, それ以下に下るものも決して稀ではなく, 中心は陸地に入る

図-3 傾度風と実測風速との關係

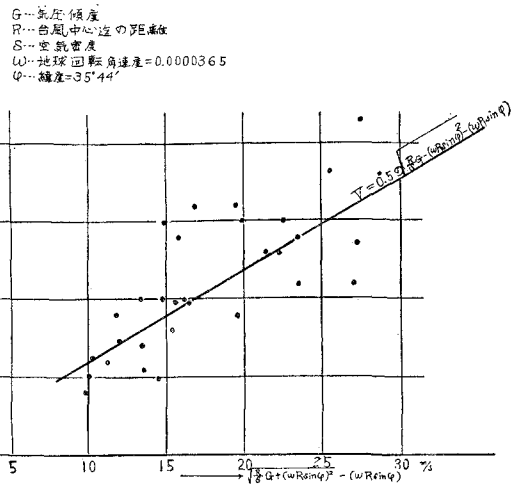


図-5 気圧降下量-風速-潮位偏差の関係

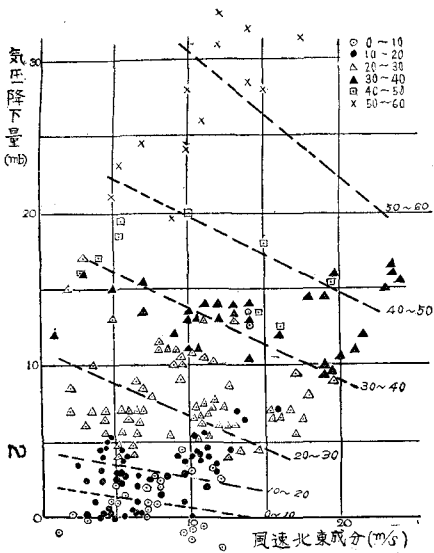


図-6 気圧降下量-風速-潮位偏差の相関係数

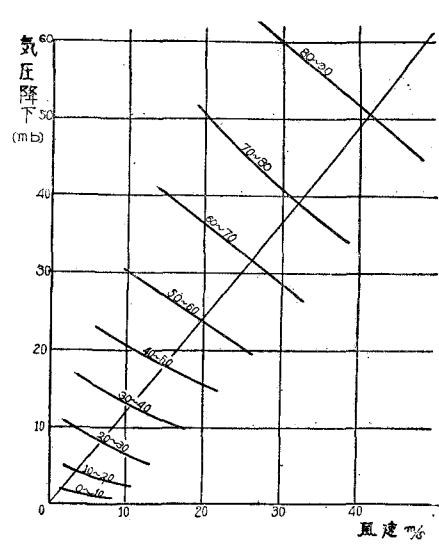


表-1

年	月	日	最低中心示度
昭和9	3	19~23	939
"	9	13~22	907 室戸
10	8	21~9月2日	957
"	9	1~12	957
"	9	16~27	953
11	9	24~10月6日	933
12	9	2~12	947
14	8	4~9	957
"	8	20~9月3日	933
15	7	3~16	931
"	8	26~27	947
"	11	1~12	953
17	8	21~29	933
"	9	19~23	947
18	9	26~10月5日	947
19	7	28~8月6日	947
"	10	4~10	907 枕崎
20	9	11~18	907
21	8	10~21	950
23	9	16	945
24	8	31	957

図-7 北緯35°通過台風の中心示度の頻度分布

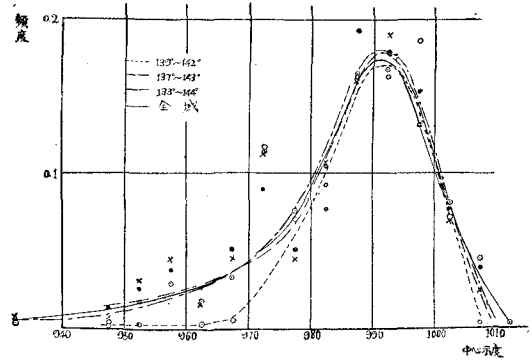


図-8

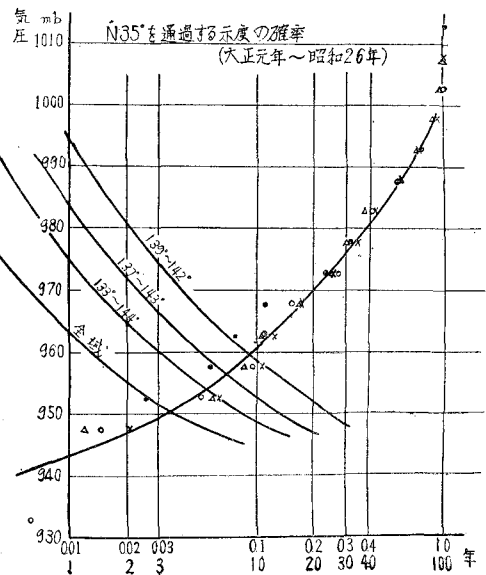
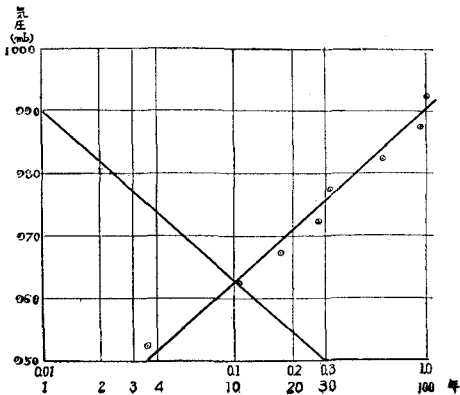


図-9 年最低気圧の確率(銚子)



と漸次浅くなるから最深度の記録は大抵洋上で起きている。最近の示度の大きい台風を列記すると表-1の通りであり、室戸、枕崎台風の907mbが最大である。しかし既往の本邦に接近した台風は大抵北緯30°以南で最盛となり、30°附近で進路を北西から北東に変え、その後発達することはほとんどなかった。銚子附近を通過する台風は、この衰弱期のものであり、最盛期におけるように極端な低気圧を伴うことはない。今銚子の緯度(35°N)について、明治元年から昭和26年までに通過した335回の台風について、中心示度別の頻度を調べて見ると図-7の通りである。全緯度において銚子附近の経度について区分して見たが、中心示度の頻度分布は各区域とも同じ傾向にあり、その分布はピアソンⅢ型分布に近く最多示度は990mbである。この密度分布から低気圧発生の特過確率を求め図-8に示した。図-8を見ると、台風通過区間を大きくとるに従い低気圧の生起する確率は大きくなる。尚台風の通過が年に一度であれば確率と確率年数との間の関係は明らかであるが、この場合には台風は年に何回も来ているから、確率を確率年数に直す場合にその点を考慮せねばならない。ここでは台風の年平均通過回数を求めて、その数を確率に乗じた後に年に一度の場合の関係を使用して確率を確率年数に直した。例えば確率が0.1で年平均通過回数が1.5回/年であれば、確率年数は6.7年となる。ここに使用した年平均通過回数は、図-8を参照して、139°~142°の場合は1.15、137°~143°では2.02、133°~144°では3.34、全域では7.65である。

銚子に生起した低気圧の実績から年最低気圧の確率を求めると、図-9のように図-8とはよく一致した関係が得られる。

b. 気圧降下と風速との関係

前節で気圧降下量の確率的取扱を行つたが、潮位偏差は図-5の如く気圧降下量のみでなく風速にも関係する。ある地点で潮位偏差の統計的取扱いをするためには、長年にわたる潮位の実測がある例はむしろ稀であるから、図-5の如き関係を用いて気象資料から過去の潮位偏差を推定しなければならない。その場合、風速まで調べて資料を作る事ははなはだ煩雑であり時間もかかるので、気圧降下量と風速との間に一定の関係があれば極めて好都合である。

風速は気圧傾度と比例し緯度の正弦に逆比例する性質のものであり、更に気圧傾度は気圧降下に比例する傾向があるから、一定の地点で風速を調べると一般に風速は気圧降下量に比例すると考えられる。もしも気圧と風速との相関を用いるならば、両者に起因する気象潮はそのいずれかによつて規定されるであろう。図-10には台風時の気圧降下と風速との相関についても図示した。図-10によれば、気圧降下量と風速との関係は一つのループを形成し、台風の通過前と通過後では同一の気圧降下量でも風速は異なり、また進路によつてループは時計廻りのものと反時計廻りへと分れる。しかし、潮位偏差で問題になるのはループの先端にあたる部分であり、また図-5の作製に当つて多少の点のばらつきを平均して与えたのであるから、ここでは多少大胆であるが図-7の実線を以つて気圧降下量と風速との関係を想定する。図-10の相関関係を直線とみなし、これを図-6に重ね合わせて気圧降下と気象潮との関係を求めると図-11の実線のようになる。この関係を実測値につき調べて見ると、最高偏差附近でやゝはずれるがこれは気圧が急激な変化をするのに対して、気象潮はゆるやかに変化するためであり、最高偏差時の気圧では気象潮を少し大きく評価することになるが、その差は小さく他は予期以上によく一致している。

図-10 気圧降下量と風速との相関々係

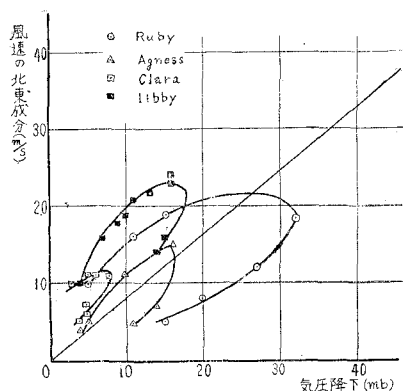
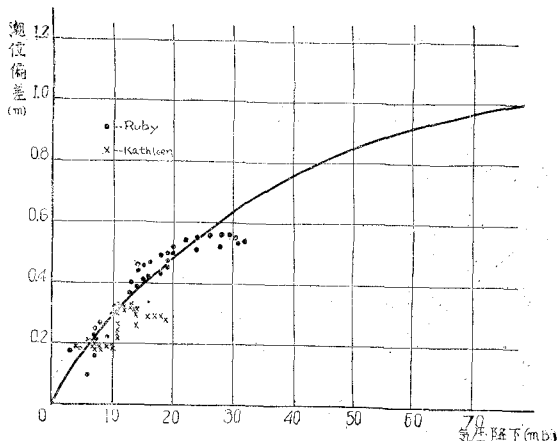


図-11 気圧降下と潮位偏差との相関々係



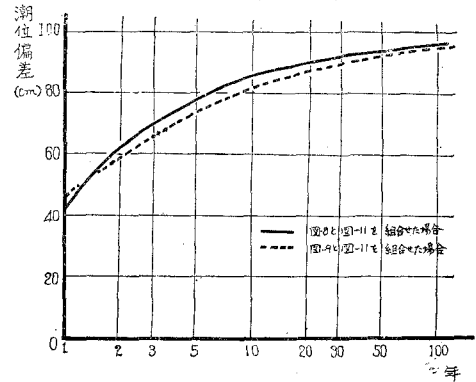
c. 潮位偏差の確率

図-8あるいは図-9を図-11と組合せると、潮位偏差の確率は図-12の如くなる。この図中、実線は図

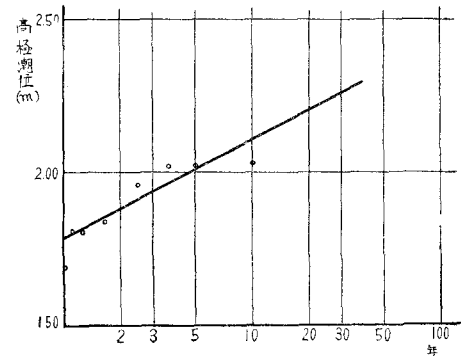
一 8 の台風通過区間を $139^{\circ} \sim 142^{\circ}$ と限った場合であり、点線は図一 9 と図一 11 を組合せた場合である。図一 12 を見れば、両曲線の差は非常に小さく実用上は一致していると見て差支えないと思われる。尚 図一 11 を用いて関東地方に水害を起した既往の台風による推定気象潮は表一 2 の通りであり、また 銚子夫婦鼻における高極潮位の確率は図一 13 の通りである。この際潮位偏差の確率は図一 12 の点線で示した曲線を利用した。

表一 2 関東地方に災害を起した台風による潮位偏差 (銚子)

年	月	日	最大流量 (佐原)	最低気圧	月平均気 圧からの 気圧降下	推定 気象潮
			m ³ /s	mb	mb	cm
昭和 3	7	18~5/8		100.3	6.8	21
4	5	29~7/6		988.6	20.6	40
"	9	7~11		979.9	31.5	65
5	7	30~2/8	4.000	999.4	8.8	26
8	9	26~5/10		1003.7	8.2	25
9	9	13~23		990.4	20.9	50
10	8	21~2/9		991.5	17.3	44
"	9	20~27	6.100	993.0	15.8	41
11	9	24~6/10		968.8	45.4	81
13	9	1	4.440	999.0	14.0	37
14	8	4~9	1.670	967.8	42.4	78
15	8	19~29		989.1	24.0	55
16	7	25~30	7.010	1001.7	6.7	21
19	10	4~10	2.653	995.0	23.6	44
20	9	16~26		992.0	21.2	50
22	9	13~16	7.224	991.0	19.6	48
23	11	13~21		997.5	22.8	53
24	8	29~1/9	4.780	992.9	20.1	49
25	8	4	6.071	997.7	10.3	29
28	9	23	2.450	990.9	22.2	52



図一 12 潮位偏差の確率



図一 13 高極潮位の確率

6. 高潮と洪水との関係

一般に台風が通ると大雨があり河川は増水し、また台風による気圧降下と風は高潮の原因となる。従って高潮のみを切離して考えることも重要であるが、また一方では洪水を安全に海に放流するためには、洪水波の河口到着時刻と高潮が河口に押寄せる時刻との関係を検討することは極めて重要である。このために先ずそれらの誘因となる台風の性質について調べて見る。

利根川に洪水を起すような降雨を伴った台風の径路を大別すると

- (1) 関東地方に直接上陸した場合
- (2) 関東地方の東方海上を通過した場合
- (3) 中部地方を通過した場合
- (4) 本邦西部に上陸してから関東地方を通過した場合

以上の各場合について検討して見ると、洪水波と高潮とが河口で一致する恐れのあるのは、北東風が長時間続く (2) の場合である。この径路の台風は実績からすると 100mm 以上の降雨面積は、関東全域の 20% 位のことが多く、その地域は関東の東南方面であり上流山岳地方に特に雨が降ることは少いようであるが、時に豪雨をもたらす洪水を起すこともある。(22 年 9 月キヤスリーン台風による出水) 図一 14 は明治 24 年から昭和 29 年までの北緯 35° (銚子の緯度) を通過した台風の経度別回数分布を示したものであるが、銚子沖を通過する台風が最も多く、また関東地方に水害を起した台風の平均径路では河口に高潮を起す径路となつてゐる。次に台風による降雨の分布は、台風によって著しく異なり、降雨域の中心の相対位置についても当時の気象状態に左右され一概に明らかにすることはできない。通例台風による直接の降雨域は楕円状をなしその中心は台風中心の前方に存在することが多い。従つてこの中心間隔が大きくなると台風接近時の河川増水のピークの位置が次第に下流に移るのであるが、利根川下流の増水は上流水源地帯に降雨があつてから数日を要するので、河口において台風による高潮とその台風による出水が同時に生起することはほとんどない。しかし台風接近に伴う気団の移動や副低気圧の発生などにより台風接近数日前に豪雨があり、その出水と台風による高潮が河口で時間的に一致することが考えられる。

表一 3 は主な台風について河口最大流量起時と最大潮位起時との関係を示したものであるが、25 年ルビー、

図-14 北緯 35°44' の経度別台風通過回数 (明治24年～昭和29年 63年間)

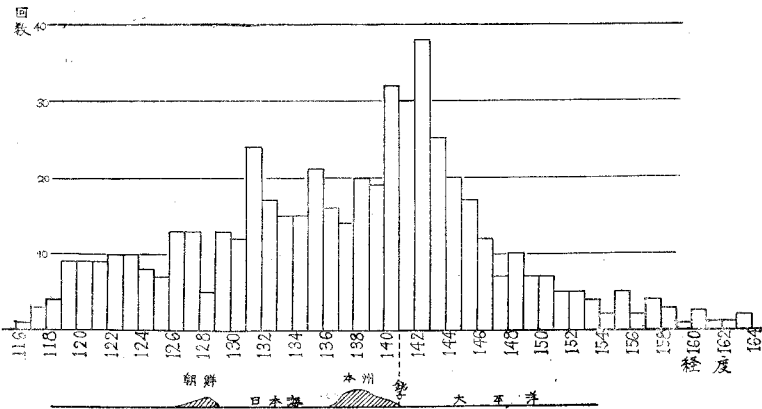


表-3 利根川出水と銚子気潮との関係

昭和年	月	台風	最大流量	銚子最大流量 H	銚子気象 起日時	銚子潮位 起日時	時差
5	8		4,000	3日10時	30日16時	3日18時推	
10	9		6,100	27" 7"	26" 6"	1" 1" 推	
13	9		4,440	3" 3"	1" 2"	2" 1" 推	
14	8		1,670	14" 1"			
16	7		7,006	24" 10"			
19	10		2,653	10" 10"	8" 3"	2" 7" 推	
22	9	Kathleen	7,224	17" 5"	16" 4"	1" 1"	
23	8	Annabell	670	5" 17"	7" 3"	-1" 10"	
23	9	Ione	6,831	19" 11"	16" 22"	2" 13"	
23	10	Libby	680	8" 6"	7" 3"	1" 3"	
24	8		4,780	2" 15"	31" 18"	1" 21" 推	
24	11	Allyn	78	25" 5"	24" 10"	19"	
25	8	Doris					
25	8		6,071	6" 21"	4" 1"	2" 20" 推	
25	10	Ruby		31" 18"	31" 18"	0"	
25	11	Clara		13" 5"	13" 2"	3"	
26	10	Ruth	200	15" 17"	15" 12"	5"	
27	10	Poly	284	4" 17"	2" 10"	2" 7"	
27	11	Agness	275	6" 5"	6" 15"	14"	
28	9		2,450	28" 7"	26" 1"	2" 6" 推	

風である。

- (3) 気象潮と気圧降下との相関々係を求めたが、実測値とよく一致した。
- (4) 気象潮発生の確率を求めたところ、100年に一度起る最大潮位偏差は 0.95m である。
- (5) 気象潮と洪水波とが河口において一致する可能性がある。

クララ、26年ルースなどの台風は、いずれも関東地方ではいわゆる風台風であつたが、河口出水時刻が台風接近時に近く、23年アナベラ台風時には出水が先に生起している。

また表-3では Kathleen 台風は高潮と出水に約一口の時差があるが、台風の性質で気圧最低時以後でも潮位偏差の減少は極めてかんまんで、最大流量生起時直前の満潮時(16日18時)でも潮位は最高潮位とあまり差がない。従つて台風の性質によつては、出水と高潮が河口で同時に生起する可能性がある。

7. 結 論

以上利根川河口の気象と潮位偏差につき種々述べてきたが、資料の不充分な点もあり不満足な部分も多いが、これらを要約すれば次の通りである。

- (1) 銚子における1937年から1952年までの15年間の最大潮位は、Y.P.2.032m である。
- (2) 銚子附近の風速は傾度風の6割程度であつて、気象潮に影響する風向は主として北東