

近年日本沿岸に來襲した高潮について

神戸海洋気象台技官 宮 崎 正 衛

1. は し が き

日本の沿岸はほとんど毎年のように高潮（風津波）の來襲をうける。特に近年臨海工業、及び施設の発達につれて、その被害も増大する傾向にある。例えば大阪には過去20年間に著しい高潮が2回起つている。すなわち、昭和9年の室戸台風、及び昭和25年のジェーン台風にもなつたものである。この二つの高潮を比較すると、室戸台風の際は最高潮位は平均潮位上4m、ジェーン台風の際は2.5mとなり、前の場合の方がはるかに高い。しかるに大阪市内の浸水面積は前者が4.0km²、後者が11.0km²ではるかに後者が広がつてゐる。これは主として臨海工業の発達によつて地下水の利用が増加し、これによつて地盤沈下が起つたためと解釈されている。臨海施設の増加はたとえ地盤沈下がなくとも高潮の被害を増加させることは当然で、このため、尼崎、大阪両市には巨費を投じて防潮堤工事が完成し、あるいは完成に近づきつゝある。しかし大多数の重要港湾はまだ直接高潮の危険にさらされている現状である。

このような次第で、高潮の実態を調査し、対策（特に高潮予報の手段）を研究することがきわめて重要な問題となつてきた。筆者は今回幸いにもこの課題につき研究の機会をあたえられたので、こゝにその今日までの結果を報告させていたゞく。研究の対象としたのは明治33年（1900）以後の主な高潮、特に最近の台風高潮であつて、これらを各地の検潮儀の記録その他によつて捕え、その頻度、変化の分布、及びそれらと気象要素との關聯を調べた。これらの高潮に関する總括的な報告が最近和達、広野兩博士（1955）によつて出されているが、これにはごく最近の観測、及び研究の結果は述べられていない。過去10年間にジェーン、ルース、13号（昭和28年）、15号（昭和29年）等の著しい台風が相次いで本邦を襲い、それぞれ著しい高潮をもたらしている。これに伴つて全国の検潮施設も急速に整備され、データが正確、かつ豊富になつたので、我々の高潮に関する知識もかなり向上しつゝある。本稿においてはこれらの新しい問題に重点をおいて述べてゆきたい。

2. 1900年以後の主な高潮

日本沿岸を襲つた最近の高潮については気象要覧、中央気象台彙報、その他に多くの記事がある。これらの記事をもとゞして和達、広野兩博士（前出）は明治33年～昭和28年の期間について60回の高潮を抽出、報告している。しかし、これらのうちでも偏差（観測値と推算値との差）が2mをこえるものは至つて少なく、今日までわずかに6回を数えるのみである。次にまずこれらの高潮の状況について簡単に述べよう。

(i) 大正3年8月25日（有明海）

台風が天草灘より北九州に上陸し、このため12時頃には有明海全域がその危険半円に入り、中心よりの距離が最短となつた。熊本県災異誌（1952）によれば、折悪しくこの海域はちょうど満潮時に當つていたため、海面は満潮位より2～2.5m上昇し、死者22名、流失家屋729戸の著しい災害をもたらしたとのことである。当時熊本における最低気圧は981.6mb（11時0分）、最大風速はSSW 15.3m/s（16時0分）であつた。

(ii) 大正6年10月1日（東京湾）

優勢な台風が駿河湾北部をかすめて本土に上陸し、北東ないし北々東に向つて進んだ。このため、東京は最低気圧950.4mb（3時30分）、最大風速SSE 40.0m/s（3時0分）を観測した。東京湾一帯は前夜半よりその危険半円に入つたため南よりの風が強く連吹し著しい風津波に見舞われた。5時05分浦安においては偏差2.3mが観測され、これが観測された最大値である（中村 1918）。やはり高潮の起つた時期がほぼ満潮時に當つたため、最高潮位は平均潮位上約3mに達し、大きな被害があつた（死者563名、流失家屋4256戸）。

(iii) 昭和2年9月13日（有明海）

台風が有明海を25ktの速力で西から東に横断し、熊本における最低気圧は980.7mb（11時0分）、最大風速はSW26.2m/s（10時50分）となつた。この台風にもなつて顕著な風津波がこの海域に來襲した。11時、有明海西岸において偏差は約3mに達したが、ほぼ満潮時（10時前後）と一致したため、被害は一層大きくなつた（藤原 1935）。熊本県下における被害は死者423名、流失家屋607戸に達した。

(iv) 昭和9年9月21日（大阪湾）

顕著な台風（中心示度8時945mb）が70ktの早い速力で南東から大阪湾北岸に上陸した。この台風は當時室戸測候所において歴史的な低気圧911.9mb（5時10分）を観測したことから室戸台風の名で知られている。大阪湾沿岸測候所における最低気圧は941.6mb（洲本、7時0分）、最大風速はS 48.4m/s（木津川尻、8時10分）であつた。

この台風の進行にともない、著しい風津波が紀伊水道から大阪湾に次第にその高さを増しつゝ侵入した。沿岸における偏差の最高値はあまりの高潮位のため検潮儀がスケール、アウトしたので、正確には求められない。たゞ神戸において日記紙に残るこん跡から 2.2m (8 時10分±10分) と推定されているので、これより 5 割前後は高いであろうと相像される。事実、大阪市内の種々のこん跡等から判断して最高潮位は 8 時12分より 20 分の間に起り、港外では平均潮位上 3.2m 位と推定されている。これに対応する偏差は 3.1m となる。当時の検潮記録によれば市内西ノ鼻における最大偏差は 2.4 m、明石においては同じく 1.7 m、また紀ノ川口(和歌山)においては同じく 1.8 m となっている。

この高潮によつて湾内で 9.8km² の土地が浸水し、著しい被害を出した。この高潮についての詳細は既に中央気象台 (1935) より報告されており、その他多くの報告 (地震研究所 1935) や理論的研究 (和達 1938b 野満 1940), 等がある。

(V) 昭和20年9月17日 (鹿児島湾近傍)

顕著な台風が14時頃薩摩半島に上陸し、このため枕崎では14時10分最低気圧 916.6mb を観測している。この台風を枕崎台風と呼ぶ。当時鹿児島における最低気圧は 922.9mb (15時43分), 最大風速は SE 35.0m/s (15時30分) であった。

この台風により鹿児島湾、及びその附近に著しい高潮がみられた。鹿児島においては、最高潮位は16時頃起り、その値は平均潮位上 3 m 前後に達したと思われる。これに対応する偏差は 2 m をやゝ超える程度となる。なお検潮記録によれば神戸でも18日に 1.5m の偏差が観測されている。鹿児島県下における被害は死者 104名、倒壊家屋 31803戸であった。

(vi) 昭和25年9月3日 (大阪湾)

台風ジェーンは室戸台風とは同じ経路をとつて12時頃大阪湾北岸を襲つた。湾沿岸における最低気圧は 963.4mb (洲本, 11時07分), 最大風速は NE 33.4m/s (神戸, 11時20分) であった。この台風により著しい高潮が大阪湾及び附近にみられた。検潮記録によれば最高潮位は13時0分大阪において観測され、平均潮位上 2.5m に達した。これに対応する偏差は 2.4m となる。この高潮の詳細については後に再び述べる。

これまで述べたのは高さ 2 m 以上の高潮である。高さ 1~2m の高潮はもちろんこれより数多く、しかもかなりの被害をもたらしている。昭和 23 年以来このような高潮は 9 回観測された。これをまとめて表-1 に示す。これらの詳細については次節の記事、または中央気象台よりの諸報告を参照されたい。

これまで述べたのは高さ 2 m 以上の高潮である。高さ 1~2m の高潮はもちろんこれより数多く、しかもかなりの被害をもたらしている。昭和 23 年以来このような高潮は 9 回観測された。これをまとめて表-1 に示す。これらの詳細については次節の記事、または中央気象台よりの諸報告を参照されたい。

3. 高潮時の潮高、及び偏差の分布

次に顕著な台風にとまう高潮位、及偏差の分布状況について調べてみよう。残念ながら古い時代のものについては十分な資料がない。そこで、こゝでは比較的資料のそろつた最近の 3 つの場合について考えることとする。

(i) 昭和25年9月3日 (ジェーン台風)

前節で述べた通り、ジェーン台風は大阪湾、及びその附近に著しい高潮をもたらした。その際の高潮の状

表-1 高さ 1~2m の高潮 (昭和23~30年)

年 月 日	高潮を起した地方	最 大 偏 差		気 象 観 測 値				備 考
		地 点	高 さ	地 点	最低気圧	最 大	風 速	
24 8 31	東 京 湾	東 京	1.5	東 京	985.9	SE	24.9	キタイ台風
25 9 14	周 防 灘	青 浜	1.3	下 関	81.0	ENE	29.5	キジア台風
26 10 15	内 海 全 域	尾 崎	1.5	大 阪	81.1	WSW	23.5	ルース台風
28 9 25	熊野灘、伊勢海	浦 神	1.4	潮 岬	47.9	WNW	29.1	13 号 台 風
29 8 18	志 布 志 湾	志布志	1.2	都 城	67.6	SSE	23.6	5 号 台 風
9 14	広 島 湾	呉	1.2	呉	72.1	SSW	20.0	12 号 台 風
9 26	内 海 全 域	大 阪	1.5	大 阪	86.5	S	24.9	15 号 台 風
30 9 30	安 芸 灘	呉	1.3	呉	87.3	SW	18.1	22 号 台 風
10 20	伊 勢 海	名古屋	1.3	名古屋	89.7	SSE	20.8	26 号 台 風

表-2 ジェーン台風による高潮

	最 高 潮 位		最 大 偏 差		最 低 気 圧		最 大 風 速		
	起 時	平 均 潮 立 上	起 時	偏 差 量	(海 面 値)				
名 古 屋	12.50	215	12.50	146	14.08	995.4	14.30	SE	m/s 26.7
鳥 羽	9.30	102	11.00	36	11.11	992.3	12.20	S	20.8
串 本	11.15	127	11.20	113	9.41	990.0	9.50	SSE	30.7
下 津	(12.00)	(158)	(12.00)	(103)					
和 歌 山	12.22	132	12.22	113	11.35	961.6	12.00	SSW	36.5
岸 和 田	(12.55)	(212)	(12.55)	(173)					
大 阪	(13.00)	(252)	(13.00)	(237)	12.03	970.3	12.32	S	28.1
神 戸	12.55	201	12.55	167	12.10 12.14	964.3	11.20	NE	33.4
飾 磨	14.05	145	14.05	95	12.00	979.0	11.20	NE	19.0
洲 本	10.58	147	10.58	119	11.07	963.4	10.20	NNE	31.3
豊 後	9.48		9.48	125	10.47	969.6	11.00	NNW	29.2
高 知	9.10	95	9.10	39	10.13	983.8	10.20	NNW	18.0
高 松	15.30	144	15.30	75	10.20	986.5	11.20	NW	22.3
宇 野	15.30	148	15.30	70	11.23	990.4	8.17	NE	11.8
宮 津	13.18	76	13.18	72	13.20	969.9	13.10	NNE	16.8

況をまとめて表-2に示した。この表には気象資料も同時に記入しておいた。

この表によれば偏差は大阪において最大(2.4m)であつて、大阪湾、及び紀伊水道においては何れも1mをこえている。この海域においては最高潮位は平均潮位上1.5m、ないしそれ以上に達する。また名古屋においては推算干潮時に當つていたため、潮位自身はそれほど高くならなかつたが、偏差は1mをこえた。

最大偏差の起時は洲本及び豊益においてはほぼ最低気圧の起時と一致したが、神戸、大阪、和歌山等においてはそれより1時間程度おくれる。これは前の場合には海水の堆積は台風の前面の風によつて起され、後の場合には後面の風によつて起されたためとみられている。

次に2,3の地点における偏差の時間的変化を調べてみよう(図-1)。これらの図には何れも副振動力が顕著に記録されている。

まず、週期310分の変化が神戸、大阪、岸和田において明白に認められる。これは変化がすべて同じ位相で起つているので大阪湾の基本副振動(縦式)と考えられる。310分という値は計算値240分(和達 1938a)よりもかなり長いが、これは紀伊水道の影響を考えに入ると説明出来る(宮崎 1951)。この変化はやゝ変形しているけれども洲本の曲線にも現われている。週期5時間内外の変動が四国東岸の豊益においても見られるが、これも同じ原因のものと考えられる。

また、週期70分の変化が神戸、大阪、岸和田においてみられる。これは大阪湾の横式静振(1次)と考えられる。神戸における変化の位相が大阪、及び岸和田における位相とちやうど逆になるからである。(日高 1937)。2次の縦式静振もほぼ同一の週期となるが、この場合には神戸における位相は岸和田とは同じく、大阪とは逆にならなければならない。過去の報告のうちにはこの点に関して誤つたものがある。ジェーン台風の経路は大阪湾の主軸とかなり傾いており、これが横式静振の主因と考えられる。

当時の洲本の記録には著しいピークが2つみられるが、これは最初の風津波の北岸に

図-1 ジェーン台風時の偏差の変化

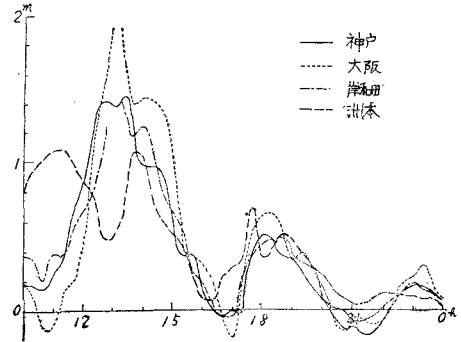


表-3 台風13号による高潮

	最高潮位		最大偏差		最低気圧		最大風速	
	起時	平均潮位上	起時	偏差量	h m	mb	h m	m/s
内 浦	18.30	131	20.00	58	21.36	9869	22.25	WNW
舞 阪	19.00	193	19.00	112	19.30	975.4	17.45	SE
名 古 屋	18.47	234	17.30 18.30	100	19.15	970.0	19.40	NNW
鳥 羽	18.30	209	18.10	101	18.00	964.6	17.00	E
尾 鷲	—	(197)	—	—	16.25	953.3	15.50	ENE
浦 神	18.15	142	15.00	135	—	—	—	—
串 本	18.22	136	15.00	90	14.44	947.9	17.20	WNW
和 歌 山	7.40	141	7.30	50	14.30	974.6	14.30	NNE
大 阪	7.32	131	7.10	30	17.10	977.4	17.24	NNW
神 戸	7.52	132	7.10 13.20	41 -41	15.36	979.5	15.00	N
小 松 島	7.15	139	6.30	45	14.15	983.4	12.30	NW
宇 野	12.35	157	8.00	30	14.20	987.0	13.30	NE
高 橋	12.52	153	9.00	37	15.40	989.1	19.30	NW
異 崎	11.05	212	18.50	29	14.25	991.7	7.15	NE
三 津 浜	10.25	212	17.00	26	13.17	991.0	7.10	E
宇 和 島	(24日) 20.00	157	15.50	33	—	—	—	—
清 水	7.15	161	14.10	36	11.23	982.9	8.10	NW
梶 浜	7.25	160	8.40	45	12.45	978.9	12.40	N

よる反射波がかなりの振幅に達したためとみられる。大阪湾の長さは約60km、湾内の長波の平均速度は55kt。また台風の前速度は50ktであつたから、津波の往復に要する時間は2時間20分内外となる。同様な現象は和歌山、名古屋等でも認められている。

(ii) 昭和28年9月25日(13号台風)

この台風は北東の経路をとつて熊野灘沖を通過し、25日志摩半島に上陸した。このため、熊野灘、伊勢海の沿岸にはかなりの高潮がもたらされた。この台風による高潮の状況をまとめて表-3に示す。

偏差の最も大きかつたのは浦神であつて1.4mに達し、次いで舞阪1.1m、鳥羽1.0m、名古屋1.0m、等が大きかつた。このためこの海域における最高潮位は平均潮位上2mまたはそれ以上にも達した。東京においても潮位自身は干潮時に當つたため低かつたが、偏差は同じく1.0mに達している。

こゝで注目されるのは熊野灘沿岸において最大偏差の起時がほぼ最低気圧の起時と一致していることである。台風の前速度は熊野灘沿岸からわずか10~20kmしか隔つておらず、沿岸における気圧降下量は50mb以上に達しており、これがその原因の主なるものであろう。台風前面における東寄りの風が海水の堆積を更に強

めたものと思われる。

一方、名古屋においては最大偏差は最低気圧の起時よりもかなり早く起っている。これは南寄りの風が最低気圧よりもかなり以前に東に変つたためである。伊勢海より東側では偏差は主として危険半円における南寄りの風によつて起されたものと考えられる。

次に各地の偏差の変化をみよう(図-2)。

週期 210 分の変化が名古屋及び鳥羽の記録に明白に認められる。これは伊勢海の縦式静振(1次)と考えられる。両地でもうど位相が逆になるからである。また、週期 7 ~ 8 時間の変化が名古屋で認められるが、これは伊勢海の副振動(1次)であろう。名古屋では更に短い週期の変化(60分)もみられるが、これは横式静振(1次)と思われる。詳細はデータが十分でないので不明である。

こゝで神戸における著しい負の偏差を報告しなければならない。これは卓越した北寄りの風によるものと考えられる。早朝には潮位は推算値よりも上昇し、7時10分には最大値 0.41 m に達した。この時期には風向は大坂湾内では北寄りであつたが、紀伊水道南部では明らかに南寄りであつた。その後、台風の近接によつて紀伊水道南部の風向も北に転ずると共に、偏差は急激に減少し、13時20分には最小値 -0.41m に達している。

(iii) 昭和29年 9月26日(15号台風)

この台風は移動速度の早かつたこと、及び函館港外において連絡船洞爺丸、その他の転覆を起したことで有名である。この台風は2時頃九州南岸に上陸し(中心示度 965mb. 速度 75kt), その後次第に深度及び速度を増しつゝ北々東に進行した。最高速度は山陰沖(9時)においてみられ 100 kt. 最大深度は北海道寿都沖(21時)においてみられ 965mb. に達した。各地における高潮の状況を表-4 に示す。

この表から高潮は内海及び伊勢海北部において著しいことがわかる。偏差の最大は大坂で観測され、1.5m に達した。また 1m 以上の偏差が松山(1.4m)、名古屋(1.3m) 呉(1.2m)、神戸(1.2m)、及び高松(1.1m)においてそれぞれみられる。これらのうち台風の左側に位した呉を除けば最大偏差の起時は最低気圧の起時よりもややおくれ、ほぼ後面の南寄りの風が最大となつた頃に當っている。

次に各地の偏差の時間的変化を比較、検討しよう(図-3)。

まず、週期70分の変化が神戸、大坂、洲本の各地でみられる。これに相当する変化は淡輪では観測されていない。この変化は大坂湾の横式静振(1次)と考えられる。神戸における変化の位相が大坂とは逆で、洲本とはほぼ一致するからである。その振巾は神戸において最大で 16cm に達し、大坂及び洲本では数 cm に

図-2 13号台風時の偏差の変化

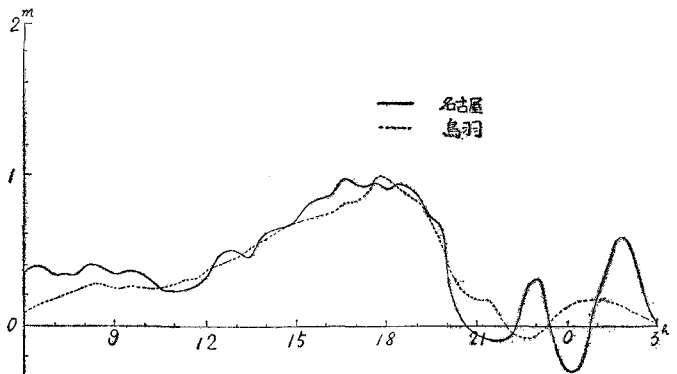
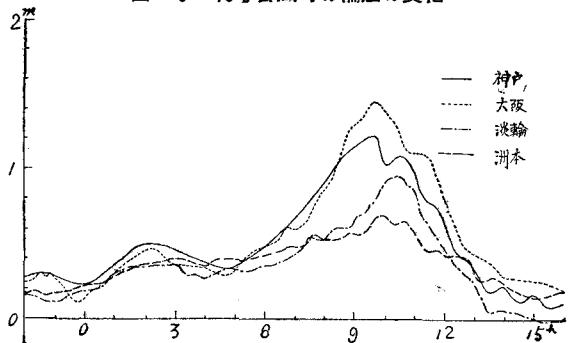


表-4 台風 15 号による高潮

	最高潮位		最大偏差		最低気圧		最大風速		
	起時	平均潮位上	起時	偏差量	h m	mb	h m	S	m/s
名古屋	5.38	159	11.30	125	10.55	993.0	10.20	S	18.5
鳥羽	5.30	132	12.00	45	10.12	990.6	8.00	SSE	19.4
串本	5.10	89	12.00	34	8.08	994.6	9.30	SW	24.1
和歌山	6.30	123	9.00	83	7.20	984.8	6.10	S	24.9
洲本	6.36	115	9.50	70	7.53	983.3	7.10	S	21.0
淡輪	7.30	116	10.20	96					
大坂	8.50	163	9.40	145	7.48	988.3	9.30	SSW	29.8
神戸	8.23	145	9.30	122	7.53	987.3	9.30	SSW	22.6
呉	8.26	248	8.00	122	6.15	968.7	7.15	WNW	25.3
高松	11.17	180	9.00	116	7.26	974.8	8.35	SW	24.4
松山	7.12	225	6.40	140	5.45	968.6	6.35	S	24.7
宇和島	5.50	183	5.20	92	4.30	971.6	4.30	SSE	27.7
清水	5.25	158	5.00	66	4.50	981.1	5.00	S	28.8

図-3 15号台風時の偏差の変化



表一 横濱港の高潮 (昭和8~17年)

年 月 日	最高潮位 (D.L.)	最大偏差	気 圧 降下量	最大風速
9 9 21	cm 306	cm 53	mb 19.3	SSW 26.1
10 5 2		58	10.7	NNW 7.7
8 29	320	64	16.9	S 19.1
11 4 25		51	18.7	S 21.1
13 4 15		55	24.8	SW 20.1
14 9 30		51	13.5	SSW 11.6
16 10 2		52	16.2	S 18.4

註 最高潮位は朔望平均満潮位 (266cm) 上 40cm に達しないものは除いた。

表一 名古屋港の高潮 (昭和27~30年)

年 月 日	最高潮位 (D.L.)	最大偏差	気 圧 降下量	最大風速
27 1 14	cm	cm 45	mb 20.4	NNW 8.4
28 5 29		61	19.8	NW 15.8
9 25	428	91	42.4	NNW 22.6
29 4 12		42	20.1	S 16.1
6 23		47	3.3	NNW 12.9
8 18		67	24.7	S 16.5
9 14	370	55	13.3	S 18.5
9 26	356	110	17.9	S 22.2
30 2 20		44	21.3	NW 16.1
10 20		124	21.3	SSE 20.8
11 21		75	17.3	NW 10.1

註 最高潮位は朔望満潮位 (313cm) 上 40cm に達しないものは除いた。

過ぎない。ジェーン台風の場合においてもほぼ傾向は同様であつた。一方、日高博士の理論によれば神戸と大阪とはほぼ振巾は等しく、淡輪ではその約半となり、洲本ではきわめて小さい。これはおそらく実際の節線の位置が理論よりも多少東に寄っているためである。

同様の週期的変化 (60分) は名古屋においてもみられる。これはやはり横式静振ではないかと考えられるが、確かなことは資料不足のためわからない。

4. 重要港湾の高潮

本節においては3つの重要港湾——神戸、横浜、名古屋——の潮位観測資料から高潮の記録を拾い出した結果を述べる。大阪、東京等についても調査する必要があるが、資料が十分でないのでこれは次の機会に譲りたい。観測の期間、及び抽出の基準は次の通りである。

地 点	観測期間	抽出の基準
神 戸	1926~54	最大偏差 50cm 以上
横 浜	1933~42	〃 〃
名古屋	1952~55	〃 40cm 以上

表一5~表一7にかゝげたのはこれらの高潮に関する最高潮位、最大偏差、及び最大気象値である。これらの資料によつて高潮の頻度、及び潮位偏差と気象要素との関聯を調べることが出来る。これらについて次に述べよう。

5. 高潮の頻度

神戸については既に同じ資料によつて一定限度以上の偏差の起る確率を計算し、その結果 50 cm 以上の偏差は1年に1回、1 m 以上は5年に1回、1.5m 以上は24年に1回、また 2m 以上は105年に1回それぞれ期待されることを示した (宮崎 1955)。全く同じ方法によつて表一6, 7 から横浜、及び名古屋港に対するものを計算すると表一8の通りになる。

表一 神戸港の高潮 (大正14~昭和29年)

年 月 日	最高潮位 (D.L.)	最大偏差	気 圧 降下量	最大風速
大正 15 12 18	cm	cm 67	mb 5.1	WNW 15.9
昭和 2 3 9		57	15.6	WNW 9.7
4 4 21		61	23.9	W 19.4
8 15		68	20.4	W 12.2
6 5 16		67	18.4	W 16.9
10 13		72	24.7	E 22.8
8 10 20		77	24.4	SW 14.2
9 3 21		63	21.3	SW 13.2
9 9		59	14.0	SW 14.5
9 21	—(347)	—(217)	38.3	ESE 22.8
10 8 29	232	64	20.9	E 16.1
9 24		64	22.5	E 18.5
12 9 11	239	96	28.5	SSW 17.8
13 9 5	228	75	28.7	SSE 14.7
16 8 15	231	79	7.6	S 13.2
10 1		71	26.0	S 13.2
17 8 28		61	16.1	SW 17.4
18 9 20		59	25.9	SSW 9.2
19 9 17	252	89	19.2	SW 19.7
20 9 18	274	148	30.7	SSW 27.6
24 4 3		53	10.9	WNW 12.0
9 23	241			
25 9 3	296(316)	147(167)	47.4	W 25.8
9 14	248			
26 7 2		52	15.5	SSW 10.8
10 15	275(286)	115	34.5	WSW 19.6
27 3 19		60	26.1	WSW 12.5
28 5 29		54	20.8	S 7.6
6 7		61	11.1	SW 17.4
9 25	246(254)			
29 4 12		52	19.0	W 9.6
8 18	234(251)	70	23.2	W 13.4
9 14	260(285)	92	19.2	S 15.7
9 26	260(293)	122(153)	22.5	SSW 22.6

註1 最高潮位は朔望平均満潮位 (178cm) 上 50cm に達しないものは除いた。

2 () 内の値はピークに対するものを示す。

表一 高潮量 (最大偏差)

① return period (年)

偏差(以上)	m 0.5	m 1.0	m 1.5	m 2.0
地 點				
横 浜	1.4	12	—	—
名 古 屋	0.6	5	24	200

次に少し見方を変えて、毎年の最大偏差についてその頻度を計算してみよう。この場合には洪水頻度に関する Gumbel (1941) の関係式、

$$P=\exp[-\exp\{a(X-X_f)\}] \cdots \cdots (1)$$

をそのまま用いることが出来る。ここで X は各年の最大偏差、 P は X よりも大きくない値の起る確率を示し、また

$$a=\frac{1}{0.7791\sigma}, \quad X_f=\bar{X}-0.450\sigma \cdots \cdots (2)$$

であつて、 $\bar{X}$ 、 σ はそれぞれ要素 X の平均値、及び標準偏差を表わす。この式により神戸港の昭和16年から30年までの資料(表-9)を用いて計算すると、

$$X=78.3(\text{cm}), \sigma=35.9(\text{cm}), a=0.0367(\text{cm}^{-1}), X_f=62.6(\text{cm})$$

となる。従つて、毎年の最大偏差が 0.5, 1.0, 2.0m をそれぞれ超える確率は 0.786, 0.224, 0.0055 となる。すなわち、それぞれ1.3年に1回、4年に1回、及び182年に1回期待されることになる。この結果は前述の一定限度以上の偏差に対する結果にほぼ適合しているものと考えられる。

これまでの議論は1年の期間における生起確率であつて、その変化は偶然的なものと考えられる。しかし、更に短い期間を単位にとると明らかに系統的な変化が現われる。最も著しいのは季節変化である。神戸港に

表-9 各年の最大偏差(神戸)

年	偏差	年	偏差	年	偏差
昭 16	79	21	49	26	115
17	61	22	41	27	60
18	59	23	42	28	61
19	89	24	53	29	122
20	148	25	147	30	48

表-10 高潮の頻度の季節変化

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
回数	0	0	3	3	2	1	2	5	10	4	0	1

関するものを代表として表-10に示す。これによると高潮の頻度は8~10月に最も多く、次いで3,4月であつて、冬季は少い。前者は主として熱帯性低気圧、後者は主として温帯性低気圧によつて起されたものである。

次に成因別に分けて頻度を調べてみると表-11の通りになる。明らかに熱帯性低気圧は顕著な高潮を起し、温帯性低気圧は比較的小さな高潮を起すことがわかる。

表-11 成因別の頻度

成 因	總 数	最 大 偏 差 (cm)			
		50~64	65~79	80~94	95~
熱帯性低気圧	22	7	7	2	6
温帯性低気圧	10	8	2	0	0

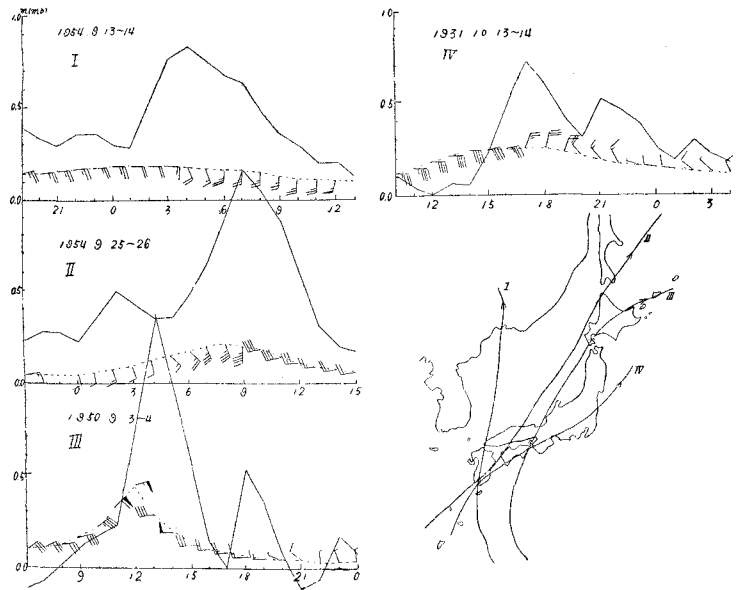
表-12 台風高潮と経路との関係

記号	説 明	回数	平 均		台風の 總 数	生 起 確 率
			高潮量	中心示度		
I	神戸より左 500km 以内	2	cm 72	mb 955	12	0.17
II	" " 300km "	7	93	968	27	0.30
III	神戸より左右 30km 以内	4	113	972	8	0.50
VI	神戸より右 300km 以内	0	(72)	(980)	22	0.00

図-4 熱帯性低気圧による高潮(神戸)

6. 熱帯性低気圧による高潮

熱帯性低気圧(特に台風)による高潮はその経路によつて特性を異にするので、これを一概に論ずることは出来ない。そこで、資料の最も多い神戸を例にとり、台風の経路を神戸との相対位置により4種類に分けて考えることとする。まず、各経路につき、高潮(50cm以上)の生起回数、平均の高さ、対応する台風の平均深度、及び通過台風の総数をとつてみると表-12の



とくなる（期間は昭和15年から29年まで）。

この表から高潮は台風が神戸の左側を通過するときには起りやすく、右側を通過するときにはほとんど起らないことがわかる。しかもその経路が神戸に近いほど起りやすい。これは当然ではあるが注目されることである。

次に各経路の台風による高潮の変化がそれぞれどのような特性をもっているかを調べよう（図-4）。

Iの経路の場合、神戸は始め東寄りの風であつて、台風近接ののちは引つゞき南寄りの風が連吹することが多い。これは台風が日本海西部を通過して大陸に達する場合が多いからである。またIIの経路の場合には中心近接につれ、一たん南寄りの風がつかぐが、のち西寄りに転ずることが多い。これは台風が日本海東部を本土に近接して通過し、または上陸することが多いからである。何れの場合にも気圧の変化はなだらかで急激な降下はみられないことが多い。

この2つの場合の高潮の傾向はあまり変らない。最大偏差は風が南に転じてからしばらく後に起るのが普通である。たゞ、IIの場合の方が著しい副振動を誘発することが多く、しかも台風が神戸に近接し、かつ強力であるほどこの傾向は強いようである。

IIIの経路をとり、しかも神戸の左側を通る場合には風向の変化はほぼIIの場合と同じであるが、気圧は台風の近接と共に急激に降下する。南寄りの風は中心近接の直後に最大となるが、偏差の最大はこれよりやゝおくれることが多いようである。最も顕著な高潮はもちろん台風がこの経路をとるときに起りやすい。台風が神戸の右側を通れば風の回転方向は東→北→西となることが多い。この場合、高潮はむしろ台風左側の南寄りの風による堆積が大阪湾の副振動、静振等にもない運ばれて起ると考えた方がよい。何れにせよIIIの場合の高潮は台風が北上する限りこれにともなつて紀伊水道より北上する孤立波と、その海岸による反射波とを考えれば説明出来ることが多い。

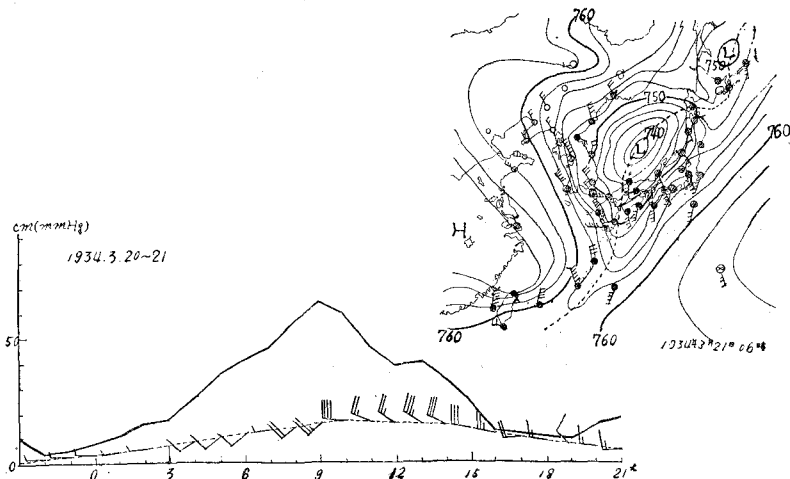
IVの場合には風向の変化はIIIの後の場合と同じく、しかも気圧の変化は小さい。したがつて、高潮を起す場合は至つて少ない。図-4にはその少ない例の1つをあげておく。

横浜、名古屋両港においてもほぼ傾向は同様である。たゞ名古屋港においては台風がその左側を接近して通ることがきわめて少いから、著しい高潮の起る危険は神戸よりも少いといえよう。両港とも資料が少ないので神戸と比較してその特性の差異を論ずることは今後の問題としたい。

7. 温帯性低気圧による高潮

これはほとんど低気圧が日本海に入つて急激に発達する場合に限られる。従つて時期は3～5月に多い。このとき warm sector に当る太平洋岸では強い南寄りの風が連吹し、全域にわたつて潮位が上昇するのが例である。神戸、名古屋、横浜の各地とも偏差の最大は60～70cmに達することがあるので、無視すること

図-15 温帯性低気圧による高潮



は出来ない。この場合の変化の一例を図-5に示す。これは昭和9年4月21日神戸におこつた高潮である。

8. 最大高潮量と気象要素との関係

本節においては高潮量（最大偏差）と最大風速、最大気圧降下量との関係を述べる。この関係は各港湾について実験的に求めることが出来る。

(i) 神戸 室戸台風來襲の頃には神戸港の潮位は主として南東の風によつて上昇すると考えられていた。これは大阪湾を湖水のように考え、水面の風による傾斜から推定した結果である。しかし、実際の高潮

資料について検討してみると、実際はむしろ逆であつて、西寄りの風によつて上昇することが多い。これは友ヶ島水道明石海峡を通じて出入する水が重要な役割を演ずることを示すものである。

このことを考えに入れて、筆者は実験式

$$h=a(P_0-P)+bV^2\cos\theta+CV^2\cos\varphi \quad (3)$$

を用いた。こゝに h は最大偏差 (cm), a, b, c は常数, P_0 は月平均, P は最低気圧 (mb), V は風速 (m/s), θ は風向と南々西, φ は同じく風向と西南西とのなす角である。(3) 式第1項は気圧による吸上げ, 第2項は友ヶ島水道を経由する南方よりの吹寄せ, 第3項は明石瀬戸を経由する西方よりの吹寄せ, をそれぞれあらわす。表-5の資料により最小自乗法で計算した結果は

$$a=2.3302, b=0.09539, c=0.02395 \quad (3')$$

となる。この式による推定値の公算誤差は 11.7cm である。この程度の差は我々の計算の精度ではまぬがれないと思われる。

(ii) 名古屋 この場合、問題は簡単で

$$h=a(P_0-P)+bV^2\cos\theta \quad (4)$$

ととればよい。 θ は風向と南々東とのなす角となる。計算の結果は

$$a=1.6743, b=0.16534 \quad (4')$$

となり、公算誤差は 16.0 cm である。

(iii) 横浜 この場合は資料が少く、式(4)の形のまゝでは適当な係数がきまらないので気圧係数を1とし、 θ を風向と南とのなす角として計算すると

$$b=0.08338 \quad (5')$$

となる。しかし計算に用いた資料は南から南東までの風向のものばかりで、また特に著しい高潮も含まれていないから、今後資料がそろつたならば再検討することが望ましい。

以上は筆者の集めた資料による結果であるが、同様の計算は既に各地で試みられている。そのうち、顕著な高潮に関し実験的、または動力学的に風圧係数 b を計算した結果の一部を示すと表-13のごとくなる。

その他、静力学的な計算-Colding の式-の方法もあるが、高潮の場合には条件が必ずしもよく合わないからこゝでは述べない。また平時の潮位偏差から風圧係数を計算した結果もあるが、これらを最大高潮量の計算にそのまゝ用いることは出来ない。

これまで述べてきた関係式は何れにせよ完全なものではない。より完全なものにするには台風の進行、海底摩擦、地球自転、及び海岸における反射等を考えに入れた動力学的な理論によらねばならない。これについては既に和達、野満、荒川、吉武、寺田(一)、広野、犬井、西村(源)、市栄、等の諸權威により多くの研究がなされている。筆者も最近新しい理論を出したが、すでに予定の紙数もつきたのでこれについては次の機会に述べる。

参 考 文 献

- 藤原咲平 1935; 中気集 9, 593.
 Gumbel, E.J. 1941; Ann. Math. Stat. 12, 163.
 日高孝次 1937; 海と空 17 (7), 271.
 宮崎正衛 1951; 海洋報告 2 (2), 9.
 Miyazaki, M. 1955; Oceanogr. Mag. 7(1),
 中村左衛門太郎 1919; 気象雑纂 1, 189.
 野満隆治, 竹上藤七郎, 松崎卓一 1940; 地球物理 4, 93.
 和達清夫 1938; 海と空 18 (3) 81.
 ◇ ◇ 1938; 海と空 18 (12) 421.
 Wadachi, K & T. Hirono 1955; Proc. Unesco. Symp. Typhoon. 31.

表-13
各地の風圧係数

地 点	係 数
東 京	0.16
大 阪	0.22
鹿 兒 島	0.051
浦 戸	0.55