

東京港の波浪観測 40 年

東京港は、南西に開口部を有し比較的水深の浅い、東京湾の最奥部に位置しています。このため、台風時の南西風による海水の吹き寄せ等により、古くから、高潮災害に見舞われてきました。

この高潮災害から都民を守るため、戦前から高潮防御施設の整備が進められてきましたが、昭和 34 年の伊勢湾台風による名古屋地方の甚大な被害を契機に、昭和 35 年から開始された「東京港特別高潮対策事業」において、波浪観測が急務とされ、港湾局では昭和 36 年から港内の波浪観測を開始しました。

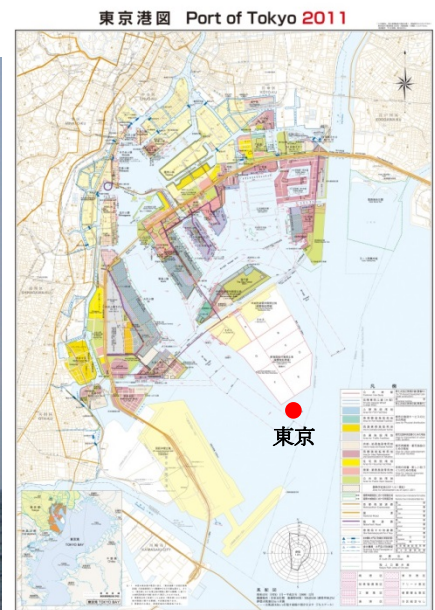
観測開始当初は、観測機器の損傷事故等が相次ぎ、十分な観測結果を得ることができませんでした。昭和 44 年からは第三管区海上保安本部が設置した東京灯標において観測が行えるようになり、測得率も飛躍的に向上しました。

その東京灯標も、平成 22 年に撤去されることとなり、東京灯標での 41 年間の観測を終了致しました。東京灯標撤去後は、新海面処分場に新たな観測拠点を設け、引き続き観測を行っていますが、東京灯標における観測記録を取りまとめ、「東京港波浪観測 40 年報」を刊行することと致しました。取りまとめにあたっては、平成 23 年の東日本大震災において東北地方を中心に津波による甚大な被災が発生したことから、東京港における津波に関する資料も追加しております。

東京港は開港 70 年を経過し、これからも首都圏の都市活動や市民生活を支える物流の拠点として一層の発展が期待されています。本書が海岸保全施設整備はもとより、港湾整備、船舶航行の安全対策その他のための基礎資料として多くの方々に広く活用していただければ幸いです。



東京灯標全景



東京灯標の位置

【東京灯標】

東京灯標は、北緯 35 度 33 分 58 秒、東経 139 度 49 分 41 秒の位置（水深 AP-14.8m）に、第三管区海上保安本部によって昭和 40 年に着工され、昭和 43 年に完成されました。

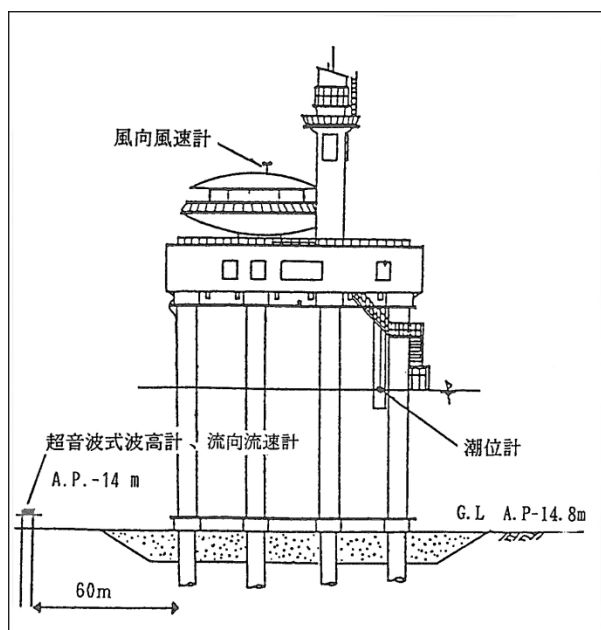
この施設は、光波標識・音波標識・電波標識・信号業務を行う総合的な航路標識として建設されたものです。

東京港の海の玄関にふさわしいような建築意匠となっており、下部構造は外形 1.8m、長さ 55.5m の基礎杭 16 本による鋼管製脚筒基礎構造となっていました。

施設の管理は、東京航路標識事務所において行われ、昭和 51 年までは灯標内に職員が常駐して船舶航行の管制業務等を行っていましたが、東京灯標のドーム上に大型のリモートコントロール TV カメラを設置し、船の科学館内に船舶航行の集中管制を行う管制室を設置することによって、東京灯標は無人数化されました。

その後、東京国際空港 D 滑走路の建設に伴い東京港の航路が変更されることとなり、東京灯標は、海上交通の信号施設としての役割を終え、平成 22 年 10 月 1 日に廃止されました。

1 観測計器類



計器名	形式	設置高・深度
風向・風速計	超音波式	AP+23.9m
潮位計	フース型	球分体高さ AP+9.47m
波高計	超音波式	AP-14.0m
流向・流速計	超音波式	AP-14.0m

撤去直前の観測計器類

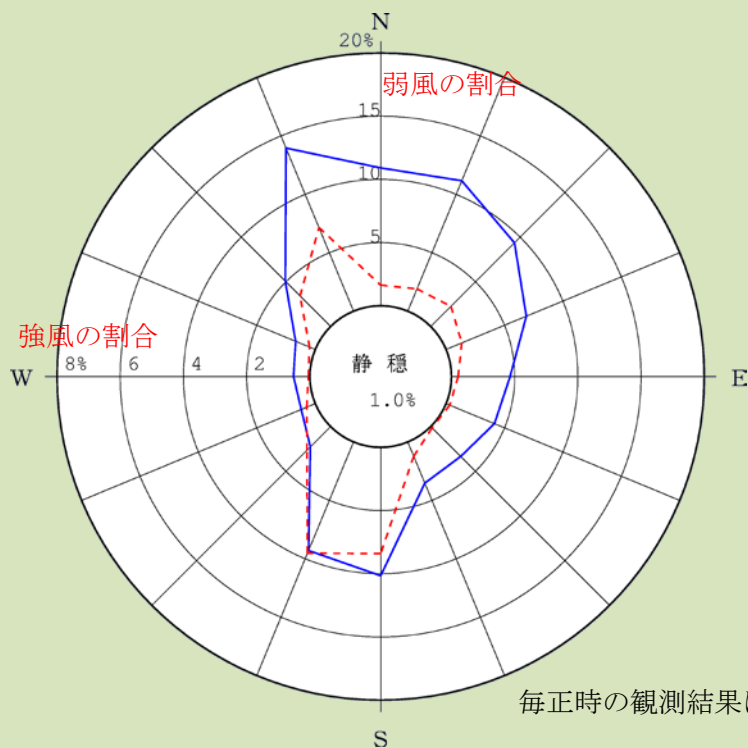
A.P. (Arakawa Peil) : 荒川工事基準面

東京湾隅田川口霊岸島検潮所量水標（明治 6 年 6 月：内務省地理局設置）の零位をいいます。東京都の港湾・河川工事の基準面として使われています。

現在は、TP 以下 1.134m と定義されています。

2 観測データの統計結果

(1) 風の統計結果



毎正時の観測結果による。

風配図（昭和45年～平成21年）

※ 総測得回数：336,054回（測得率96.2%）、静穏は風速0.3m/s未満
破線は、10m/sを越す風の出現割合を表します（8%スケール）。

過去40年間で最も多い風向は北北西でした。

北よりの風（北北西～北北東）が全体の36.2%を占めます。

また、南よりの風の出現率も高く、東京湾の長軸方向に沿った風が卓越しています。

季節の風速の出現率表

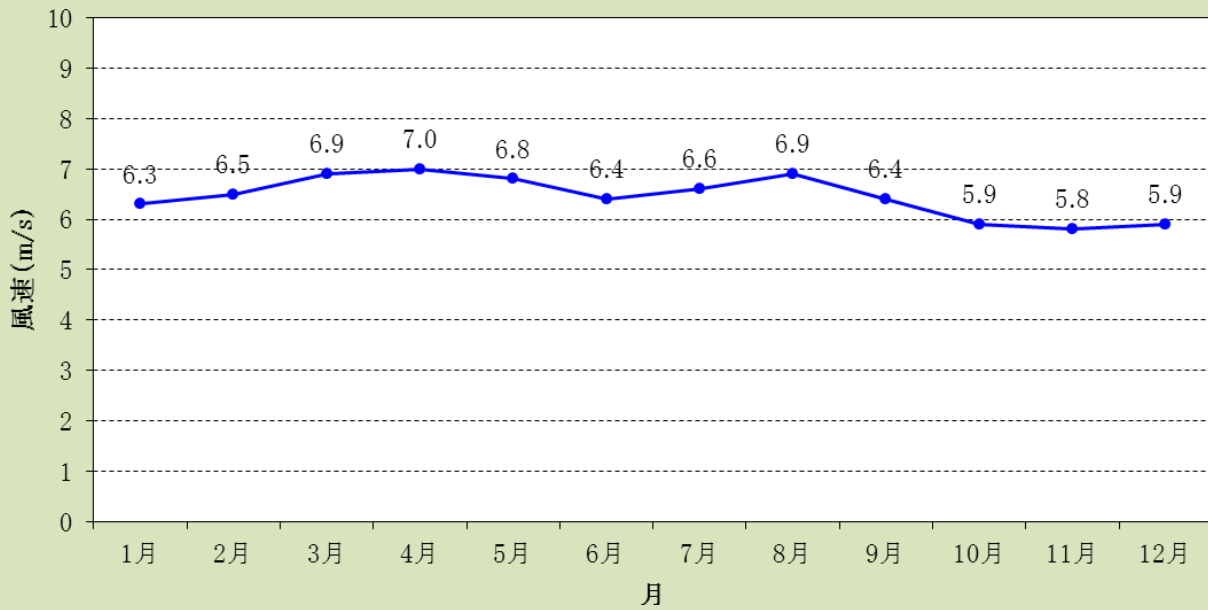
昭和45年～平成21年

単位：%

風速	春 (3～5月)	夏 (6～8月)	秋 (9～11月)	冬 (1,2,12月)	年間
静穏(0.3m/s未満)	1.3	1.3	1.1	1.0	1.1
0.3～5.0m/s	36.4	36.8	45.3	45.7	41.0
5.1～10.0m/s	42.2	44.5	41.1	37.4	41.3
10.1～15.0m/s	16.1	15.1	10.3	12.8	13.6
15.1～20.0m/s	3.6	2.0	2.0	2.8	2.6
20.1m/s～	0.5	0.2	0.3	0.3	0.3

毎正時の観測結果による。

※表中の数字は小数点以下第2位を四捨五入したものであるため、季節ごとの和をとっても100%にならない場合がある。



毎正時の観測結果による。

月平均風速の変化（昭和 45 年～平成 21 年）

強風順位表

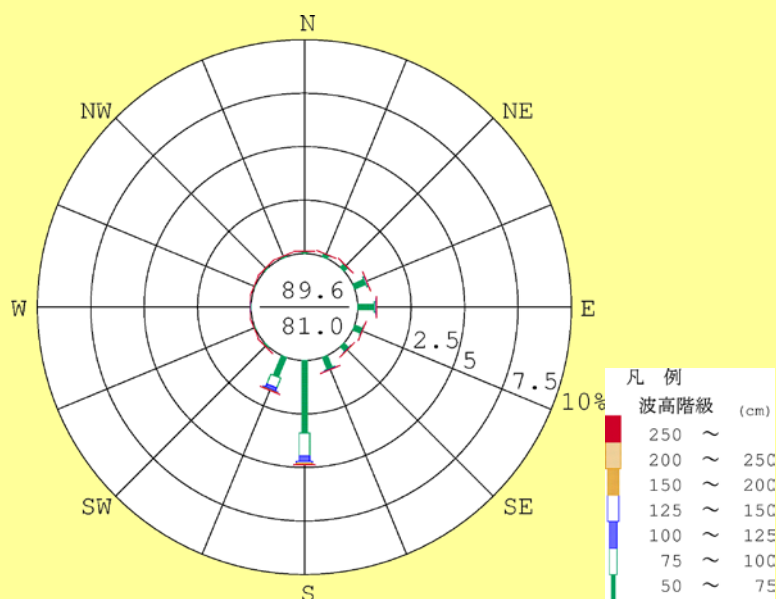
昭和 45 年～平成 22 年 9 月

順位	風速 (m/s)	風向	起時	有義波		波向	流向	流速 (cm/s)	潮位 (cm)	潮位偏差 (cm)	要 因
				波高(m)	周期(秒)						
1	35.0	SSE	昭54年10月19日14時	3.25	6.2				250	86	台風20号
2	32.2	S	昭57年 9月12日22時	2.29	5.4				241	71	台風18号
3	32.0	S	昭57年11月30日 9時	2.57	5.8				155	54	2つ玉低気圧通過
4	31.8	SW	昭60年 7月 1日 5時	1.65	5.2				256	97	台風6号
5	31.5	NW	平16年10月 9日18時	—	—	—	NE	28.0	165	12	台風22号
6	30.2	SSW	平 9年 6月20日16時	2.27	5.2	S	SSW	19.5	—	—	台風7号
6	30.2	SW	昭49年 3月22日13時	1.07	5.2				134	36	日本海低気圧
8	30.0	SSW	平 2年 9月20日 5時	2.00	5.9				261	53	台風19号
9	29.9	SSW	平21年10月 8日10時	1.54	5.0	S	SSW	31.4	242	87	台風18号
10	29.7	SSE	平19年 9月 7日 3時	2.43	5.2	—	SSW	36.1	216	85	台風9号
10	29.7	S	昭50年 8月23日13時	2.39	5.5				80	29	台風6号

毎正時の観測結果による。

※ —は欠測を示します。また、有義波の定義については、波浪の統計を参照してください。

(2) 波浪の統計結果



有義波：

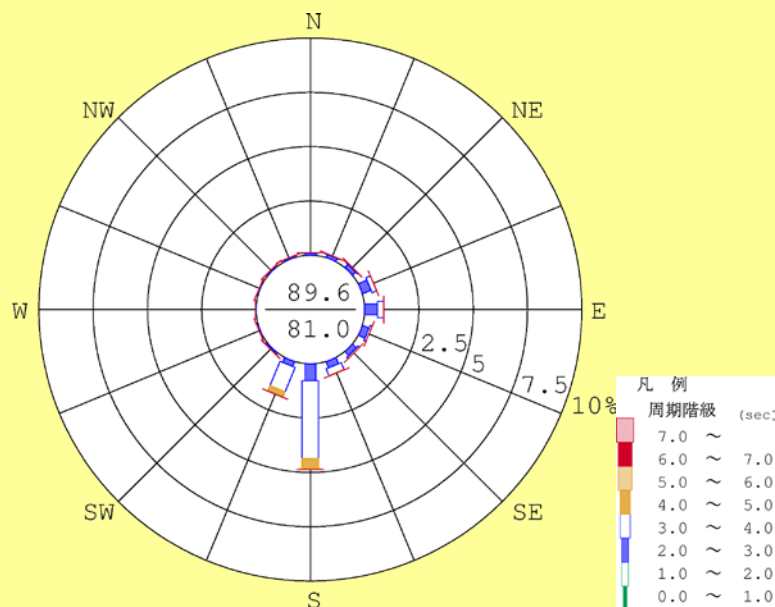
たくさんの波の集まり
(100~200 個) の中で、
波高の大きい方から数え
て 1/3 までの数の波につい
て、波高・周期を平均した
ものです。

1/3 最大波とも呼ばれ、
港湾構造物などの計画・設
計などに用いられます。

波向別有義波高の出現率図 (平成 3 年～平成 21 年)

※ 有義波高が 50cm 以上の波向の分布を示します。

円内上段は有義波高が 49cm 以下の出現率、下段は波向の測得率を示します。



波向別有義波周期の出現率図 (平成 3 年～平成 21 年)

※ 有義波高が 50cm 以上の波向の分布を示します。

円内上段は有義波高が 49cm 以下の出現率、下段は波向の測得率を示します。

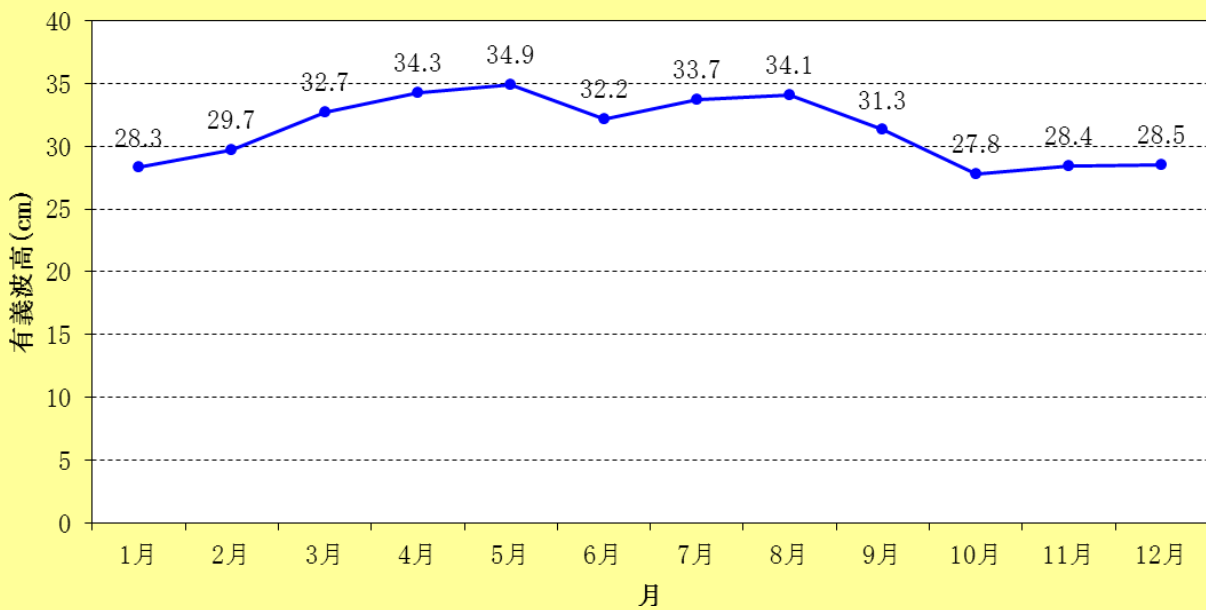
有義波高順位表

昭和 58 年～平成 22 年 9 月

順位	有義波		波向	風向	風速 (m/s)	起時	流向	流速 (cm/s)	潮位 (cm)	潮位偏差 (cm)	要 因
	波高(m)	周期(s)									
1	3.09	7.4	S	S	28.2	平13年 9月11日 11時	S	27.6	268	109	台風15号
1	3.09	4.2		S	31.5	昭60年 7月 1日 4時			251	68	台風6号
3	2.93	5.9	S	SW	26.1	平16年12月 5日 7時	WSW	12.8	195	99	低気圧
4	2.55	4.7	ESE	ESE	23.7	平19年 9月 6日 24時	SE	15.6	198	42	台風9号
5	2.31	5.7		SSW	25.5	平 2年 4月 8日 12時	NE		129	47	日本海低気圧
6	2.29	5.1	E	E	27.5	平14年10月 1日 20時	SSE	2.6	184	33	台風21号
7	2.27	5.2	S	SSW	30.2	平 9年 6月20日 16時	SSW	19.5	—	—	台風7号
8	2.21	5.8	S	SSW	25.0	平16年 8月31日 8時	SW	1.7	185	34	台風16号
9	2.18	5.5	S	SSW	25.2	平16年 4月27日 17時	NNW	0.3	102	39	日本海低気圧
10	2.15	5.2	S	S	23.3	平16年 6月21日 20時	NNE	0.4	223	38	台風6号

毎正時及び偶数時の観測結果による。

※ —は欠測、空欄は未観測を示しています。



偶数時の観測結果による。

月平均有義波高の季節変化 (昭和 58 年～平成 21 年)

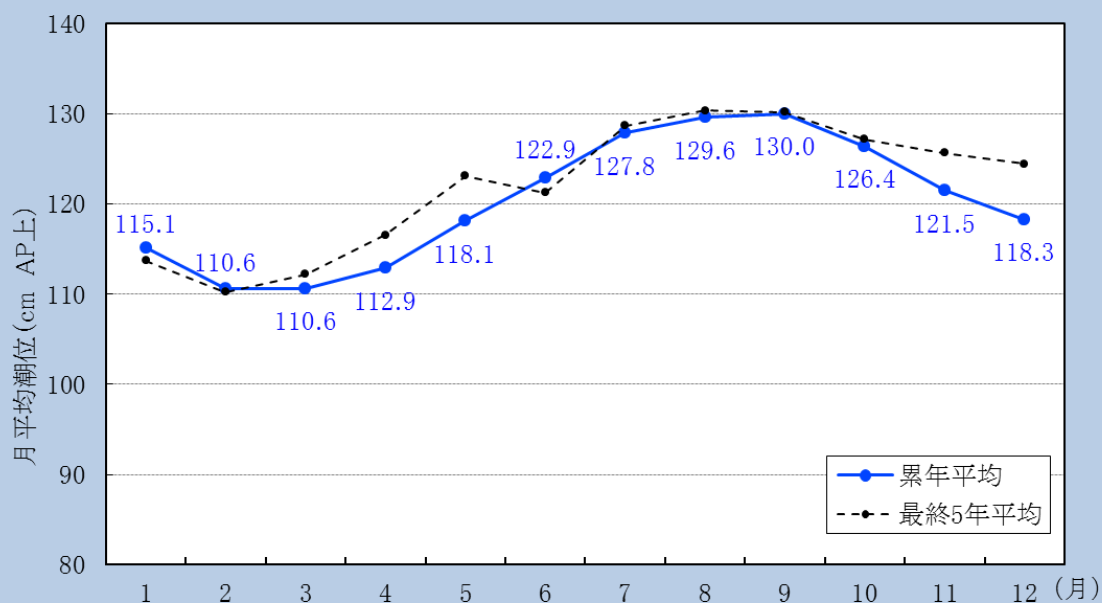
(3) 潮位の統計結果

高潮位上位 10 事例 (昭和 58 年～平成 22 年 9 月)

順位	年月日	起時	潮位 (AP上) (cm)	起時に最も近い正時の他の観測値(参考値)								備考
				潮位偏差 (cm)	風向	風速 (m/s)	有義波		波向	流向	流速 (cm/s)	
							波高(m)	周期(秒)				
1	平成13年 9月11日	11:21	271	102	S	28.2	3.09	7.4	S	S	27.6	台風15号
2	平成18年10月 8日	5:28	269	52	W	6.1	0.11	2.1	C	SSW	19.1	10月7日 望、低気圧
3	平成18年10月 7日	17:06	266	56	NW	7.0	0.21	3.0	C	WSW	8.3	10月7日 望、低気圧
4	平成 2年 9月20日	5:19	263	51	SSW	27.0	2.00	5.9				9月19日朔
5	平成11年 9月24日	17:04	258	48	S	17.3	0.85	3.5	S	SW	16.8	9月25日望、台風18号
6	平成11年 9月25日	4:47	257	48	SSW	14.0	0.87	3.8	S	SSW	18.5	9月25日望、台風18号
7	昭和60年 7月 1日	5:44	254	122	SW	23.0	1.65	5.2				7月2日望、台風6号
8	平成21年10月 8日	9:00	248	72	S	28.2	1.63	4.8	SSE	SSW	49.6	台風18号
8	平成16年 9月30日	5:39	248	37	SSW	15.1	0.88	3.7	S	SW	17.2	9月28日 望、台風21号
10	平成18年10月 8日	17:24	247	35	NNW	10.7	0.30	2.3	C	WNW	10.5	10月7日 望、低気圧

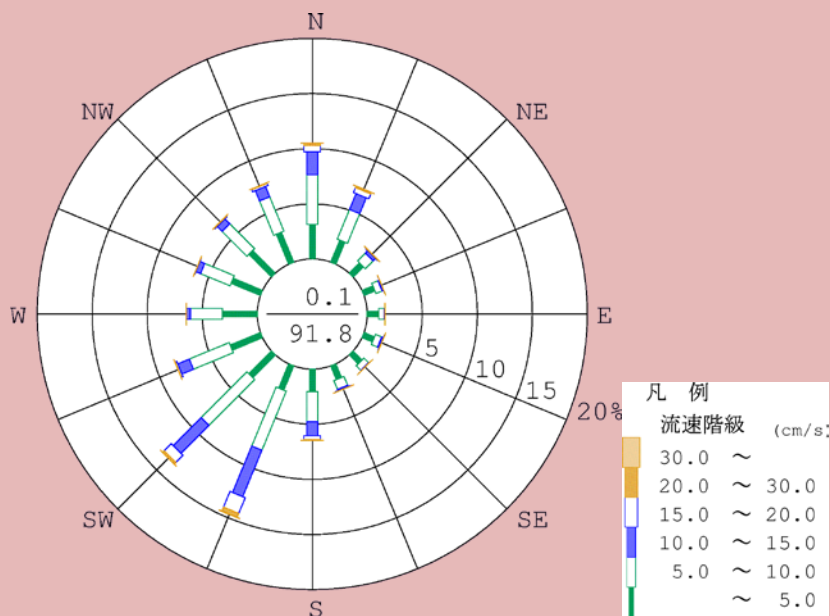
低潮位上位 10 事例 (昭和 58 年～平成 22 年 9 月)

順位	年月日	起時	潮位 (AP上) (cm)	起時に最も近い正時の他の観測値(参考値)								備考
				潮位偏差 (cm)	風向	風速 (m/s)	有義波		波向	流向	流速 (cm/s)	
							波高(m)	周期(秒)				
1	昭和63年 1月18日	22:49	-65	-23	NNW	14.6	0.51	2.4				1月19日朔
2	昭和63年 1月19日	23:38	-63	-18	ENE	5.0	0.17	2.6				1月19日朔
3	昭和63年 2月16日	22:33	-44	-1	NE	7.0	0.27	2.4				2月18日朔
3	昭和63年 2月17日	23:24	-44	-1	N	5.0	0.22	2.5				2月18日朔
5	昭和61年 1月10日	23:18	-43	-16	NNE	3.3	0.16	2.2				1月10日朔
6	昭和61年 1月11日	23:56	-42	-14	NNW	6.8	0.26	2.1				1月10日朔
7	昭和61年 1月 9日	22:10	-40	-14	WSW	7.8	0.26	3.5				1月10日朔
7	昭和62年12月21日	23:29	-40	-19	N	5.5	0.20	2.2				12月21日朔
7	平成 2年12月 3日	23:40	-40	-23	NNW	7.5	0.14	2.1	C	ENE	8.3	12月2日朔
10	昭和63年 1月22日	0:44	-38	29	ESE	4.5	0.13	3.5				
10	平成 3年12月22日	23:50	-38	-18	NE	7.0	0.28	2.4	C	NNE	6.2	12月21日望



月平均潮位の季節変化 (昭和 58 年～平成 21 年)

(4) 流れの統計結果

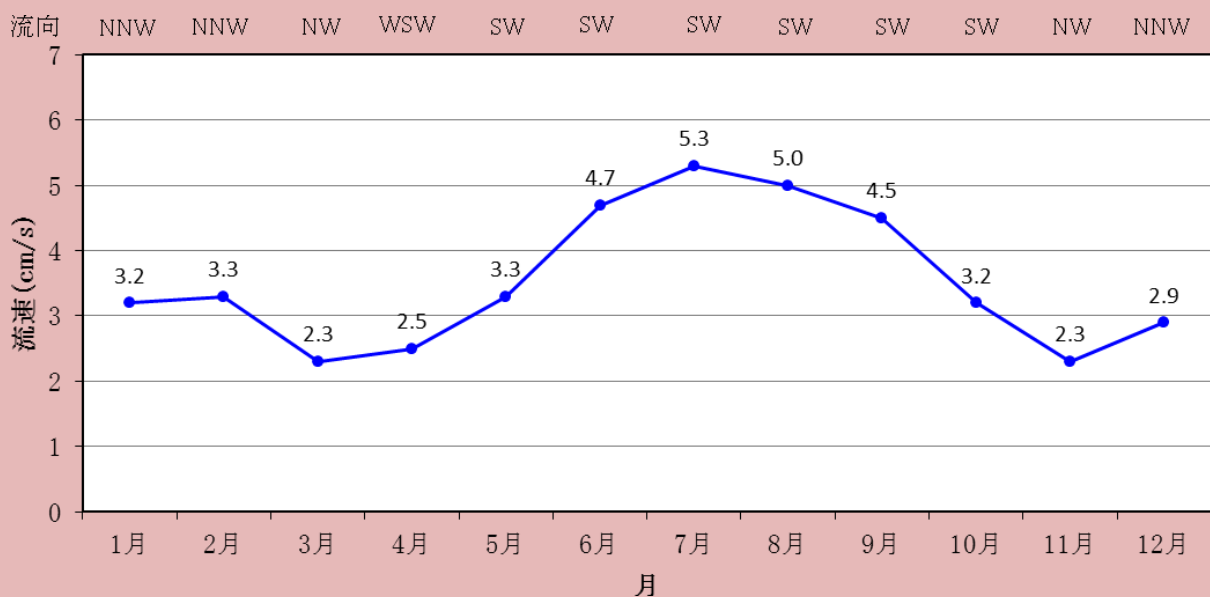


流向流速出現率図（平成3年～平成21年）

毎正時の観測結果による。

※ 流速が 0.3m/s 以上の流向の分布を示します。円内上段は流速が 0.2m/s 以下の出現率、下段は測得率を示します。

※ 風向及び波向と異なり、南から北へ向かう流れを「北」とします。



月平均流向流速の変化（平成3年～平成21年）

※ 毎正時のデータを月毎にベクトル平均したものです。

3 観測データの解析

(1) 風の解析

最大風速の再現期待値（推算値）

風向	北系 (北西～北東)	東系 (東北東～東南東)	南系 (南東～南西)	西系 (西南西～西北西)	全風向
再現期間	風速(m/s) ± ΔH	風速(m/s) ± ΔH	風速(m/s) ± ΔH	風速(m/s) ± ΔH	風速(m/s) ± ΔH
5年	24.44 0.61	20.37 1.21	29.22 1.14	21.95 1.60	29.60 1.33
10年	26.32 0.87	22.49 1.65	31.02 1.50	23.84 2.16	31.34 1.74
15年	27.40 1.04	23.63 1.92	31.95 1.71	24.92 2.53	32.24 1.98
20年	28.15 1.17	24.41 2.11	32.56 1.85	25.67 2.79	32.83 2.15
25年	28.73 1.27	24.99 2.26	33.02 1.96	26.24 3.01	33.28 2.28
30年	29.20 1.35	25.46 2.38	33.38 2.05	26.71 3.18	33.63 2.38
50年	30.51 1.58	26.73 2.71	34.35 2.29	28.02 3.68	34.56 2.66
100年	32.26 1.90	28.36 3.14	35.56 2.59	29.79 4.36	35.74 3.01
相関係数	0.996	0.991	0.991	0.980	0.988
分布関数	Weibull (1.10)	Weibull (1.50)	Weibull (2.00)	Gumbel	Weibull (2.00)
試料数 [下限値(m/s)]	40 [0.00]	40 [0.00]	40 [0.00]	40 [0.00]	40 [0.00]

± ΔH : 95%信頼区間を示す

※ 昭和45年～平成21年の観測値を用いて算出しました。

(2) 波浪の解析

最大有義波高の再現期待値（推算値）

波向	全波向
再現期間	波高(m) ± ΔH
5年	2.52 0.21
10年	2.83 0.28
15年	3.00 0.33
20年	3.11 0.36
25年	3.20 0.39
30年	3.27 0.41
50年	3.45 0.47
100年	3.69 0.54
相関係数	0.987
分布関数	Weibull (1.50)
試料数 [下限値(m)]	41 [0.00]

± ΔH : 95%信頼区間を示す

※ 昭和44年～平成21年の観測値を用いて算出しました。

(3) 潮位の解析

潮位偏差上位 10 事例（昭和 44 年～平成 21 年）

順位	起 時	潮位偏差 (cm)	潮位 (cm)	最大風速		最低気圧 (hPa)	風向	風速 (m/s)	有 義 波		波向	流向	流速 (cm/s)	気象擾乱
				風向	風速(m/s)				波高(m)	周期(秒)				
1	昭和60年 7月 1日 6時	122	247	S	16.7	971.5	SW	23.0	1.56	5.8				台風6号
2	平成13年 9月11日 11時	102	268	NE	17.7	972.8	S	28.2	3.09	7.4	S	S	27.6	台風15号
3	平成19年 9月 7日 4時	100	213	ESE	14.9	979.3	S	27.3	2.03	5.3	S	SW	47.8	台風9号
4	平成16年12月 5日 7時	99	195	SW	17.5	975.6	SW	26.1	2.93	5.9	S	WSW	12.8	低気圧
5	昭和54年10月19日 15時	98	287	S	17.5	976.1	S	32.5	3.00	6.8				台風20号
6	平成21年10月 8日 10時	87	242	S	13.1	985.8	SSW	29.9	1.54	5.0	S	SSW	31.4	台風18号
7	平成10年 9月16日 9時	83	144	W	11.7	970.0	WSW	18.0	1.76	5.7	S	SSW	51.5	台風5号
8	昭和54年10月 1日 4時	72	158	S	13.2	989.5	S	26.4	2.39	5.3				台風16号
9	昭和57年 9月12日 22時	71	241	S	18.4	984.2	S	32.2	2.29	5.4				台風18号
10	平成14年10月 1日 22時	68	223	W	13.9	965.2	SSW	20.9	0.97	4.2	SW	WSW	28.8	台風21号

※ 潮位は A.P.上である。

※ 最大風速及び最低気圧は気象庁（東京大手町）の記録で、それぞれの擾乱中の極値です。

※ 空欄は、未観測です。

東京灯標と晴海の潮位偏差の再現期待値（推算値）

再現期間	東京灯標		晴海	
	潮位偏差 (cm)	± ΔH (cm)	潮位偏差 (cm)	± ΔH (cm)
5年	82.66	9.91	82.11	10.37
10年	97.29	13.54	98.01	14.45
15年	105.16	15.78	106.85	17.10
20年	110.50	17.36	112.97	19.02
25年	114.53	18.58	117.63	20.52
30年	117.75	19.57	121.39	21.74
50年	126.49	22.29	131.72	25.16
100年	137.76	25.87	145.32	29.74
相関係数	0.987		0.985	
分布関数	Weibull (1.50)		Weibull (1.25)	
試料数	27		41	

± ΔH : 95%信頼区間を示す

<使用したデータ>

※ 東京灯標：昭和 53 年～平成 21 年（32 年間）のうち、昭和 55 年、昭和 63 年、平成元年、平成 8 年及び平成 9 年を除く 27 年間

※ 晴 海：昭和 41 年～平成 21 年の 41 年間

東京灯標と晴海の最高潮位の再現期待値（推算値）

再現期間	東京灯標		晴海	
	最高潮位 (cm)	± Δ H (cm)	最高潮位 (cm)	± Δ H (cm)
5年	251.72	5.19	254.54	6.92
10年	263.49	7.09	268.52	9.78
15年	269.82	8.26	276.51	11.73
20年	274.12	9.09	282.11	13.16
25年	277.36	9.72	286.42	14.30
30年	279.95	10.24	289.92	15.23
50年	286.98	11.66	299.65	17.86
100年	296.05	13.53	312.67	21.45
相関係数	0.995		0.990	
分布関数	Weibull (1.50)		Weibull (1.10)	
試料数	30		41	

± Δ H : 95%信頼区間を示す

<使用したデータ>

※ 東京灯標：昭和 53 年～平成 21 年（32 年間）のうち、平成 8 年、9 年を除く 30 年間

※ 晴 海：昭和 41 年～平成 21 年の 41 年間

各種潮位面

① 最低水面（旧称：基本水準面）

平均海面から主要な4分潮 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 の振幅の和だけ下がった面として定義される。すなわち、

$$y_0 = y - (H_m + H_s + H_1 + H_0)$$

ここに y_0 は最低水面（旧称：基本水準面）の高さ、 y は平均海面の高さ、 H_m 、 H_s 、 H_1 、 H_0 はそれぞれ主要な4分潮 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 の振幅である。

② 朔望平均満潮面、朔望平均干潮面

朔（新月）および望（満月）の日の前2日、当日、後ろ4日（計7日間）に観測された、各月の最高満潮面あるいは最低干潮面を1年以上にわたって平均した高さの海面である。

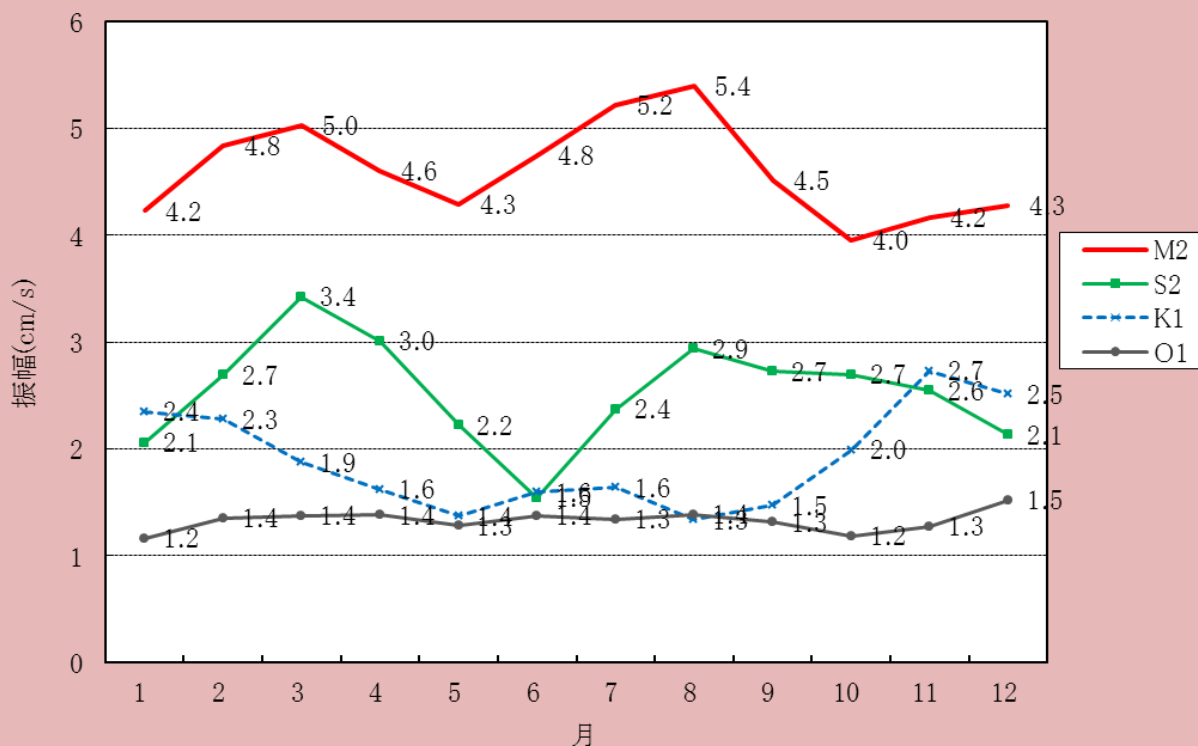
③ 大潮平均高潮面、大潮平均低潮面

大潮における高潮あるいは低潮の潮位を長時間にわたって平均した高さの海面である。分潮が求められている場合は、平均海面から M_2 潮および S_2 潮の振幅だけ上方及び下方にとった高さの海面を定数とする。また最低水面から測った大潮平均高潮面の高さを大潮昇（升）という。

④ 小潮平均高潮面、小潮平均低潮面

小潮における高潮あるいは低潮を長時間にわたって平均した高さの海面である。分潮が求められているときには、平均海面から M_2 潮と S_2 潮の振幅の差だけを上方、及び下方にとった高さの海面とする。また、最低水面から測った小潮平均高潮面の高さを小潮昇（升）という。

(4) 流れ（潮流）の解析



潮流の主要4分潮の振幅の季節変化（平成3年～平成21年）

※ 振幅は、各年1月～12月の流れを分潮ごとにスカラー平均したものです。

M₂：主太陰半日周潮、S₂：主太陽半日周潮

K₁：日月合成日周潮、O₁：主太陰日周潮

潮流は、潮の満ち引き（潮汐）によって起り、その向きや強さは日々変化して複雑な動きをします。

地球と太陽及び月の位置関係から、複雑な流れである潮流を単純な流れ（分潮）の集合に分解することができます。この時、潮流は以下の4つの分潮でほぼ決定されます。

- ① M₂：主太陰半日周潮（月の位置によって決まる半日周期の変動）
- ② S₂：主太陽半日周潮（太陽の位置によって決まる半日周期の変動）
- ③ K₁：日月合成日周潮（太陽と月の位置によって決まる1日周期の変動）
- ④ O₁：主太陰日周潮（月の位置によって決まる1日周期の変動）

これらをまとめて、潮流の主要四分潮とも呼ばれています。

主要四分潮を把握することで、その地点の潮流をある程度予測することができます。

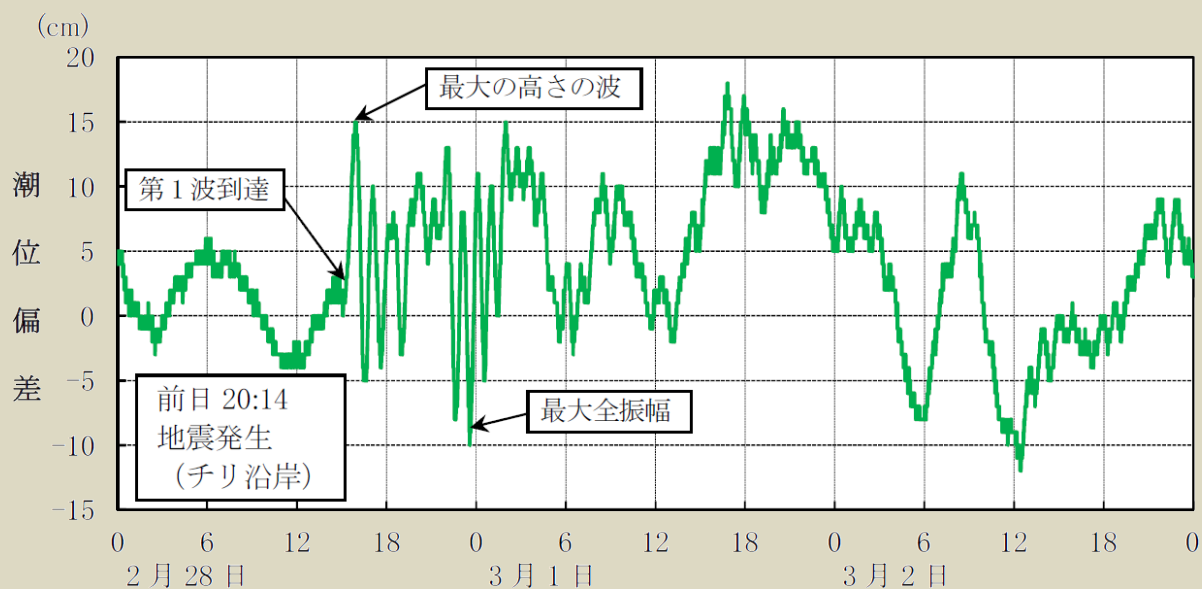
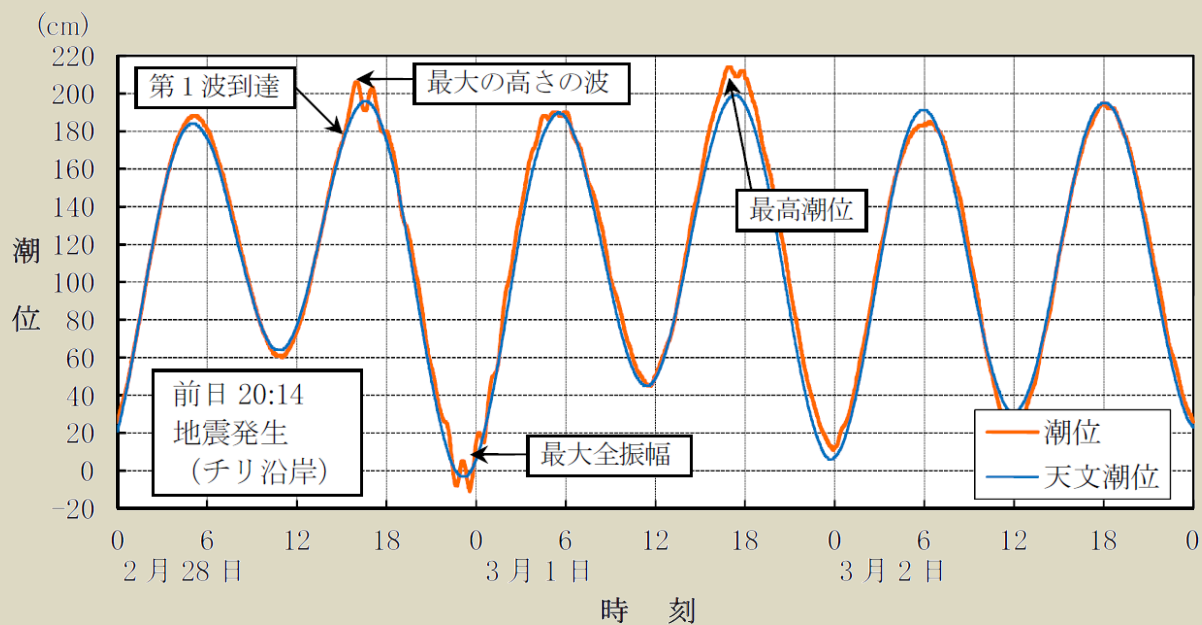
(5) 津波

平成22年2月 チリ中部沿岸の地震による津波

観測地点：東京灯標

地震の発震時刻：平成22年2月27日 15:34

観測地点	第1波		最大全振幅			最大の高さの波		
	到達時刻	高さ (cm)	ピークの時刻	周期 (分)	振幅 (cm)	ピークの時刻	周期 (分)	高さ (cm)
東京灯標	28日 15:19	+12	28日 23:34	60	19	28日 15:55	70	12
晴海	28日 14:51	-7	28日 17:25	66	68	28日 17:25	66	35
布良	28日 14:12	-8	28日 17:52	20	109	28日 17:52	20	69



平成23年東北地方太平洋沖地震による津波（東日本大震災）

観測地点：東京港建設事務所船溜内

地震の発震時刻：平成23年3月11日 14:46

観測地点	第1波		最大全振幅			最大の高さの波		
	到達時刻	高さ (cm)	ピークの時刻	周期 (分)	振幅 (cm)	ピークの時刻	周期 (分)	高さ (cm)
東京港建設事務所	11日 16:41	+67	11日 18:48	60	285	11日 19:16	60	113
晴海	11日 16:40	+80	11日 18:49	60	310	11日 19:16	61	150
布良	11日 15:24	+142	11日 17:06	19	275	11日 17:09	19	172

