

黄海、东海潮汐余差谱的初步分析*

于克俊

(中国科学院海洋研究所)

目前世界各国出版的潮汐表和潮流表几乎全是采用调和方法推算的,对于用这种方法进行的潮汐预报的误差已有许多人做过研究;我国也曾有人从调和常数准确度和分潮选取方面进行了研究,并研究了浅水港口的潮汐预报方法。我所与国家海洋局情报研究所潮流组的同志在这方面做了一些工作,在一定程度上提高了潮汐预报的准确度,满足了实践的需要。然而,潮汐预报余差(即实测水位与预报潮高之差)减小的量值与余差本身相比仍是微小。例如在浅水港口吴淞,用 1963 年实测水位资料的分析结果预报 1970 年的潮位,采用 Doodson 的方法^[2]预报,低潮时间的误差在半小时以上者占 49%,而采用浅水准调和分潮方法^[1]预报,则仅占 9%。前者余差的标准差是 20.6 厘米,后者约为 19.7 厘米,两者只相差 0.9 厘米,对余差总体来说,所减少的量值还是很小的。

验潮站测得的每小时一次的水位值,实际上可以认为是周期性和非周期性水位之和。其中,周期部分是潮汐诸分潮振动的迭加结果;在实测水位中扣除预报的潮高后得到的余差基本上可看作是非周期性的。从谱结构来看,实测水位不仅是一系列以线谱为特征的分潮的迭加,而且还有本底噪声以及介于两者之间的非线性相互作用所导致的一些随机起伏。所以,用调和方法预报潮汐,其准确度必有某些限制。为了进一步研究潮汐预报误差,国外曾有人对特定地点的潮汐预报余差进行谱分析,从而得到了一些有意义的结果。本文即拟通过潮汐预报余差功率谱研究潮汐预报的准确度和误差的性质。

一、数据处理方法

本文所用资料,是渤海、黄海、东海我国大陆沿岸 19 个验潮站的全年水位记录;其中大部分是 1971 年的记录,只有绿华山、沈家门选用了 1970 年的,坎门是 1975 年的,厦门、温州是 1974 年的。这些资料均取自国家海洋局科技情报研究所编制的水位信息化纸带。

为了讨论潮汐预报的准确度和预报余差的地区性,我们选用同一的常用方法(即 Doodson 的方法),首先对上述各验潮站一年的逐时水位值进行调和,求出调和常数;再利用调和常数预报逐时潮高,然后以实测值减去预报值得到逐时预报余差值。与此同时,算出各季节及全年潮汐余差的标准差。最后,根据快速富里哀变换(FFT)方法^[4],按季节计算各站潮汐预报余差的功率谱,并由季节功率谱求得年平均功率谱。我们并按同一

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 664 号;本文承方国洪、甘子钧、刘凤树等同志帮助,谨此致谢。

收稿日期: 1980 年 9 月 4 日。

方法计算了实测水位功率谱以作比较。功率谱计算中所取频率间隔 $\Delta f = 0.0937$ 周/日 (cpd), 谱密度单位为厘米²/周/日。上述计算都是在 108-乙机上用手编程序一次计算完成。

二、潮汐预报余差的分析

(一) 潮汐预报标准差的地区性和季节变化

如图 1 所示,潮汐预报年标准差因地而异。在渤海区,位于湾顶的塘沽、营口两站的标准差最大,分别为 29.6 厘米和 28.7 厘米,而其它各站则约 18 厘米左右。在黄海、东海区,由于各站面临开阔海面,所以多数站的标准差较小,一般介于 15—19 厘米之间;仅位于江河下游浅水区域的个别测站的标准差较大。这种情况表明,潮汐预报余差与各站的地理位置及海区特性有密切关系。

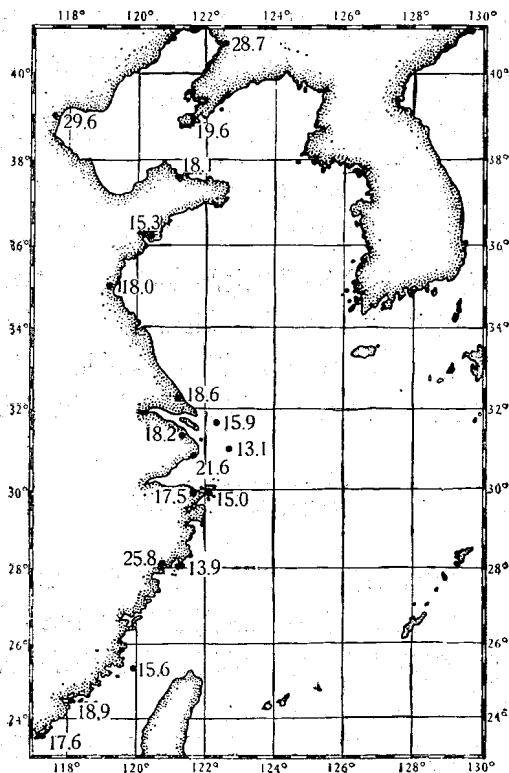


图 1 全年余差的标准差(厘米)地理分布

由表 1 可以看出,我国沿海潮汐预报标准差有显著的季节变化。大致以长江口为分界线,长江口以北各站余差冬季最大,其次为春季和秋季,夏季最小。看来,这主要是由于冬、春季寒潮和冷空气南下的影响。长江口以南各站余差的标准差总的来看以秋季较大,这可能是受台风影响。

表 1 余差标准差季节变化分布(厘米)

季节 \ 站名	营口	大连	塘沽	烟台	青岛	连云港	吕四	余山	吴淞	高桥	绿华山	乍浦	镇海	沈家门	坎门	温州	平潭	厦门	东山
春	28.7	22.2	33.3	20.9	16.9	19.3	19.7	15.5	17.6	18.8	13.2	21.8	16.2	15.9	14.1	28.1	14.0	18.8	16.6
夏	18.0	10.9	17.9	9.4	9.3	11.3	12.7	13.6	16.0	14.8	9.8	17.9	13.9	12.5	15.2	26.6	16.3	15.4	13.4
秋	24.2	15.1	24.0	14.7	12.9	16.3	18.5	16.0	18.9	20.0	14.8	23.4	19.2	15.7	13.4	27.9	16.1	20.6	20.4
冬	39.6	25.5	38.9	24.0	20.0	22.9	22.4	18.2	20.1	19.8	14.2	22.6	20.0	15.5	12.8	20.0	15.8	16.6	19.0
全年	28.7	19.6	29.6	18.1	15.3	18.0	18.6	15.9	18.2	18.5	13.1	21.6	17.5	15.0	13.9	25.8	15.6	18.9	17.6

(二) 潮汐预报相对误差的分析

为了分析潮汐预报误差的原因,我们在计算水位功率谱和余差功率谱的同时,还算出 0,1,……,12 周/日各个频段上的平均能量,并将 0—0.51 周/日,0.51—6.28 周/日,0—12 周/日上的余差平均能量列于表 2。潮汐预报给出的是天文潮,它只代表正常气象条件下的潮汐情况,其预报误差主要集中在 0.51—6.28 周/日频段上,从表 2 可以看到,余差的大部分能量集中在 0—0.51 周/日频段附近,这说明潮汐预报的余差主要来自气象扰动。

表 2 潮汐预报余差的能量分布(厘米²)

频段 \ 站名 (周/日)	营口	大连	塘沽	烟台	青岛	连云港	吕四	余山	吴淞	高桥	绿华山	乍浦	镇海	沈家门	坎门	温州	平潭	厦门	东山
0—0.51	498	320	643	286	168	210	229	158	198	205	126	184	235	167	127	429	174	243	247
0.51—6.28	319	58	231	41	64	110	117	72	112	108	34	234	68	41	49	205	66	113	61
0—12	825	385	880	329	235	324	349	254	333	340	172	464	306	224	194	668	343	359	309
$\frac{R_0}{R} \times 100(\%)$	60	83	73	87	72	65	66	62	59	60	73	40	77	74	66	64	51	68	80

注: R_0 表示 0—0.51 周/日上平均能量, R 表示 0—12 周/日上平均能量

我们可以根据振幅与能量的关系,计算天文潮频段上余差振幅与水位振幅的比值,从而确定潮汐预报的相对误差(相对误差 = $\sqrt{\frac{R_e}{R_T}} \times 10^2$, 其中 R_T , R_e 分别表示 0.51—6.28 周/日的水位和余差平均能量)。计算结果如表 3 所示。由表可以看出,除了湾顶和江河浅水区域的各站以外,其他各站的潮汐预报的相对误差均不超过 10%。这说明所用的潮汐预报方法,对大部分测站来说是满足实践需要的。从表 4 看出,余差在 0—0.51 周/日上的平均能量有显著的季节变化,这与前面对于余差标准差的分析结果相符,这也就进一步说明潮汐预报余差主要来自气象扰动。显然,对于这种原因导致的水位起伏,用调和方法是无法预报的。

表 3 潮汐预报的相对误差

项目 \ 站名	营 口	大 连	塘 沽	烟 台	青 岛	连 云 港	吕 四	余 山	吴 淞	高 桥
R_T (厘米 ²)	10335	6051	9003	3247	9308	14890	17371	8557	6553	7526
R_e (厘米 ²)	319	58	231	41	64	110	117	72	112	108
相对误差(%)	17.6	9.8	16.0	11.3	8.3	8.6	8.2	9.1	13.1	12.3

项目 \ 站名	绿 华 山	乍 浦	镇 海	沈 家 门	坎 门	温 州	平 潭	厦 门	东 山	
R_T (厘米 ²)	9147	26953	4280	8438	2178	17133	23849	20545	6918	
R_e (厘米 ²)	34	234	68	41	49	205	66	113	61	
相对误差(%)	6.1	9.3	12.6	7.0	4.8	10.9	5.3	7.4	9.4	

表 4 0—0.51 周/日频段上各季节余差的平均能量

R_0 (厘米 ²) \ 站名	营 口	大 连	塘 沽	烟 台	青 岛	连 云 港	吕 四	余 山	吴 淞	高 桥	绿 华 山	乍 浦	镇 海	沈 家 门	坎 门	温 州	平 潭	厦 门	东 山
季 节																			
春	503	393	855	378	213	254	252	160	174	194	127	169	190	170	148	533	135	250	233
夏	114	67	171	63	41	61	100	99	149	135	53	113	149	86	115	479	223	127	125
秋	351	214	369	174	94	134	184	114	191	215	165	207	293	212	128	507	162	321	360
冬	1023	591	1175	528	326	390	378	258	277	275	261	245	308	199	118	195	174	275	271

(三) 潮汐余差谱的分析

在这里, 试图对几个特定站的潮汐余差功率谱峰值的可能成因作一初步分析。这些站的余差功率谱曲线如图 2 所示, 图中纵座标以对数座标表示, 谱密度单位为厘米²/周/日, 横座标表示频率, 单位为周/日 (cpd) 或周/太阴日 (cpld)。

1. 渤海余差功率谱

营口和塘沽及大连和烟台分别位于渤海湾顶及渤海海峡两侧。在图 2 的余差谱中, 塘沽和营口的变化趋势很一致, 大连和烟台的变化趋势亦大体相同, 如图中所示, 除最低频段上有最明显的能量峰值外, 在 2 周/日上也存在较明显的能量峰值, 并呈现由湾顶向海峡显著下降的趋势(例如, 在 1.92 周/日上, 营口和塘沽的谱密度分别是 580 厘米²/周/日和 329 厘米²/周/日, 而大连和烟台则分别是 62 厘米²/周/日和 48 厘米²/周/日)。另外, 营口和塘沽在 4, 5 周/日以上的频段上还有较明显的能量峰值, 其原因, 可能是潮汐预

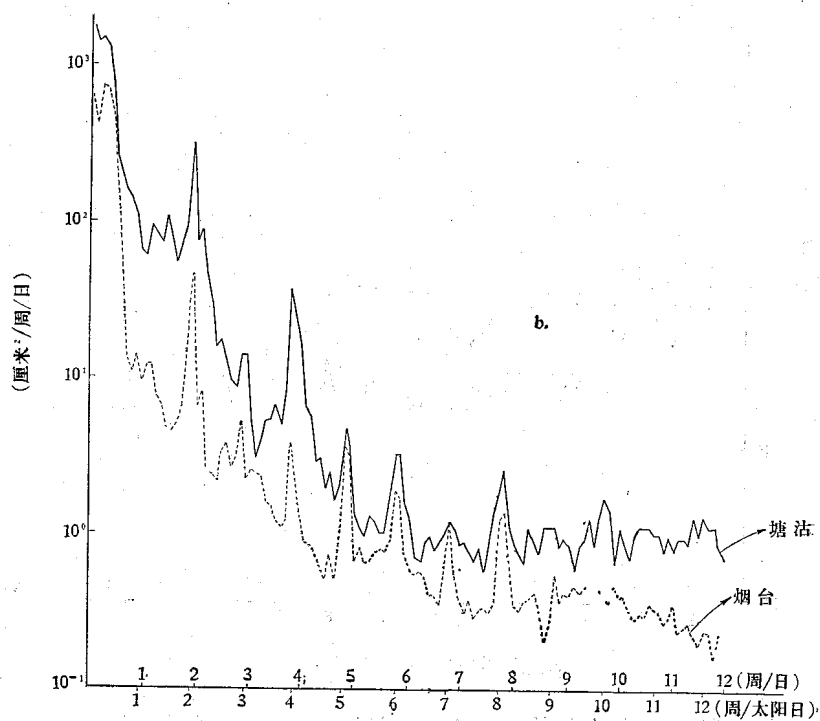
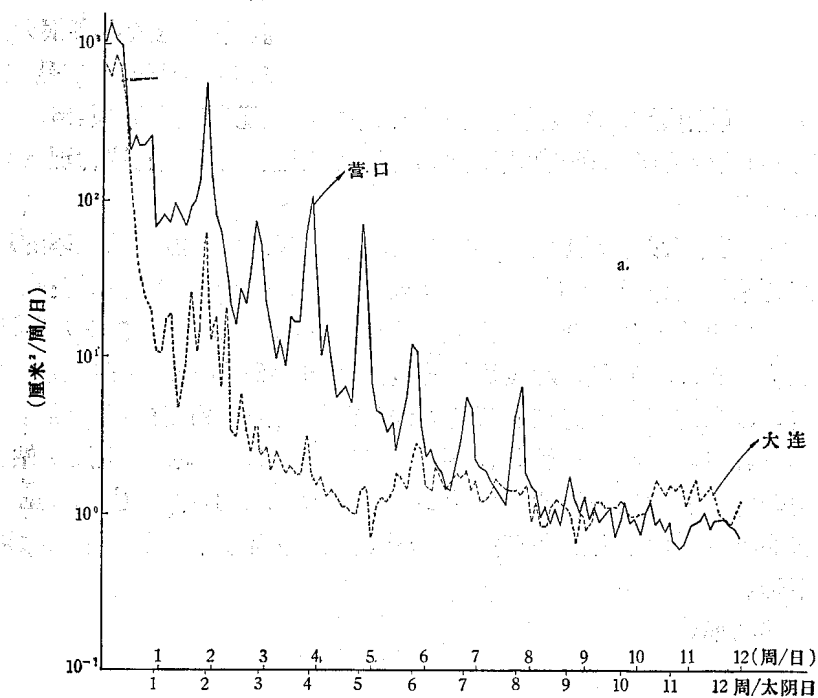


图2 渤海余差谱

a. 营口、大连； b. 塘沽、烟台

报中分潮选取不够和湾顶的潮汐非线性相互作用较强所致。

此外,在渤海余差谱中,低频段上的能量峰值相当高,平均能量占有很大的比例,例如,营口和塘沽低频段平均能量分别是 498 平方厘米和 643 平方厘米,这是在 19 个站中最大者。在渤海海峡附近,低频段的能量峰值和平均能量显著低于湾顶,但和其它海区相比,大连和烟台的低频段能量峰值和平均能量仍然相当显著。看来,这种现象与本海区地形比较封闭的特点有关。

通过对 19 个测站余差谱的比较可以看出,塘沽和营口余差能量随频率的增高而降低的速率要比其它站缓慢;并且在 1 周/日和 2 周/日之间有两个较小的峰值:在营口其对应的频率分别是 1.12 周/日和 1.40 周/日(对应周期分别为 20.5 小时和 17.7 小时),在塘沽分别是 1.12 周/日和 1.49 周/日(对应周期分别为 20.5 小时和 16.6 小时)。值得注意的是,根据调查报告,以渤海与北黄海东北部为轴线可以算出渤海的自由振动周期为 19.9 小时,以渤海东北与西南为轴线可以算出自由振动周期为 17.2 小时,而上述两站在 1—2 周/日频段内的两个峰值所对应的周期平均为 20.5 小时和 17.1 小时。由此可见这两个峰值很可能与渤海的纵横自由振动周期有关。另外还应该指出,本海区的本底噪声是由湾顶向海峡逐步下降。

2. 东海余差功率谱

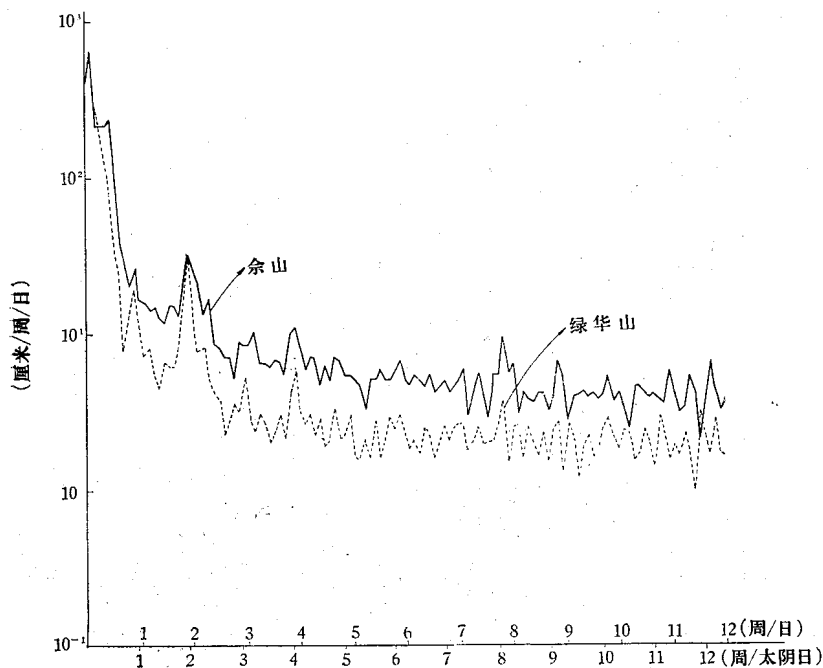


图3 东海岛屿站的余差谱

东海区的潮汐预报余差功率谱如图 3, 4 所示。图 3 中, 余山、绿华山的余差功率谱代表了东海西岸岛屿及面临宽阔海面港口的特征。由这两站的余差谱曲线可以看出, 除了低频段上出现明显的能量峰值外, 在 2 周/日上也有较明显的能量峰值, 然后向高频方

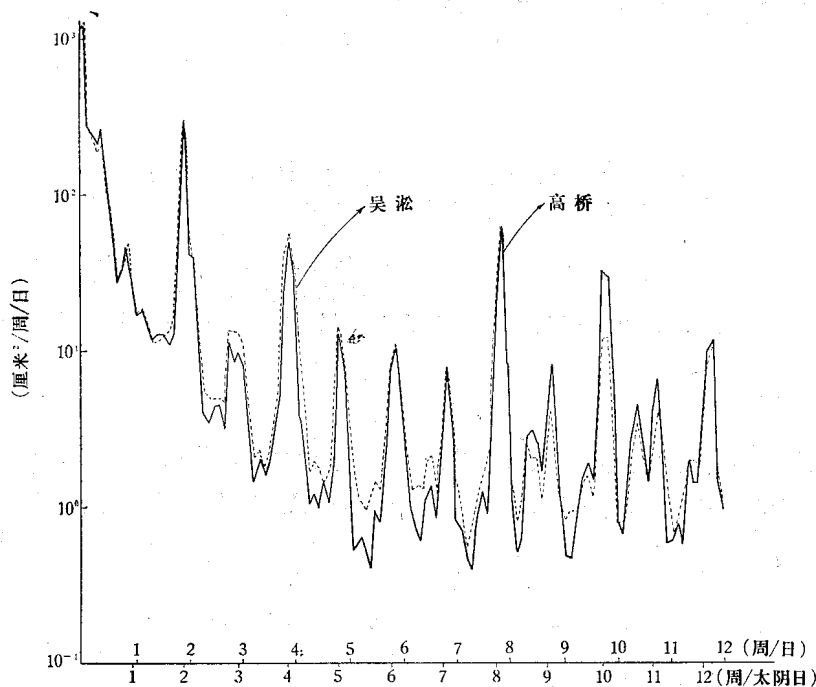


图4 长江口余差谱

向迅速减小。然而,与大陆沿岸站的余差谱曲线相比较,这两站在2周/日上的峰值显然较低。这表明在离岸较远的深水区域中潮汐的非线性相互作用并不显著。

图4给出了位于长江口的高桥和吴淞两站的余差谱,它们可以作为江河浅水区域站的代表。东海是多岛屿海区,潮波由外海传入经过岛屿到达浅水港口,发生明显的畸变,潮汐非线性相互作用比较显著,因此在吴淞和高桥的余差谱中呈现出具有一系列倍潮线谱的特征,即除在低频段有明显能量峰值外,在相应于基本天文潮及其倍潮的频段上均有较明显的能量峰值。余差不仅在低频段上能量大,而且在潮汐频段上能量也比较大。看来,这主要是由气象扰动及其与天文潮相互作用所致。这一现象也表明采用调和方法进行潮汐预报有一定的局限性。例如,浅水准调和分潮方法考虑了天文-气象分潮 $M\bar{A}_2, M\bar{A}_{20}$ 。这两个分潮的振幅分别约为5.72厘米和4.06厘米,根据能量 $Q = \frac{1}{2} H^2$,可算得 $Q = 24.36$ 平方厘米。这部分能量相当于用调和方法时余差在2周/日上的能量(48.4平方厘米)的50%左右。因为调和方法没有考虑这个分潮,就没有在2周/日上的余差能量中扣除这一部分的能量。在其它频段上也有类似情况。因此,对于这类位于湾顶及江河浅水区域的港口必须改进潮汐预报方法,提高其准确度。

此外,对东海各站余差谱的比较分析表明,岛屿测站余差谱在高频部分的本底噪声要比江河沿岸站高;这种现象在本海区相当普遍,目前对这种现象还难以进行物理解释。当然,在余差谱的低频部分,岛屿站的本底噪声比江河或大陆沿岸站低,其中最低的是绿华山和坎门两站。

通过以上分析可以看出,潮汐预报余差主要是由气象扰动及其与天文潮相互作用所致,而单纯由潮汐预报方法本身所导致的误差则较小。所以,这种预报误差用传统的调和

方法是无法解决的。

参 考 文 献

- [1] 方国洪、于克俊, 1981. 浅水港口潮汐预报的一个方法. 海洋与湖沼 12 (5): 383—390.
- [2] Doodson, A. T., 1928. The analysis of tidal observation. *Phil. Trans. Roy. Soc., ser. A.* vol. 227: 223—279.
- [3] Isozaki, I., 1968. An investigation on the variations of sea level due to meteorological disturbances on the Japanese Islands (I). *Meteo. and Geophy.* 19(3): 401—426.
- [4] J. S. 贝达特, A. G. 皮尔索, 1971. 随机数据分析方法. 凌福根译, 1976. 国防工业出版社, 第325—358页.

A PRELIMINARY ANALYSIS OF TIDE RESIDUAL SPECTRA OF THE YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA*

Yu Kejun

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

By means of Doodson's standard method, the tidal prediction was made at 19 tide stations along the coast of China. The spectra of the sea level and the residual spectra were computed by Fast Fourier Transform method, furthermore, the residual (subtraction of the tidal prediction from the observation) and its spectrum structure were also analysed, the main results are as follows:

(1) With the same method, the residual of the tidal prediction varies with different places investigated, and the residual at the top of gulf and in shallow water region of estuary was larger than elsewhere.

(2) At stations located to the north of the mouth of the Changjiang River, the seasonal changes of the residual were fairly large, with a maximum value in Winter, while to the south of the mouth of Changjiang River those were small, with a maximum value at most stations in Autumn.

(3) There was more than 60% of the residual energy concentrated at the frequency band of 0—0.51 cpd. For most of stations the relative errors ($\sqrt{\frac{R_e}{R_T}} \times 10^2$, R_e and R_T are respectively residual and tidal energy contained in the frequency range from 0.51 to 6.28 cpd) of astronomical tidal prediction were less than 10%.

It was also shown that the residual of tidal prediction was mainly caused by meteorological disturbances and non-linear interaction between meteorological disturbances and the astronomical tide. Whereas, the errors made by the method were comparatively small, except at the top of gulf and in shallow region of estuary.

*Contribution No. 664 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.