

## 国外論文譯述

### 黃海北部的潮汐\*

小倉伸吉

#### 1. 引言

在本文中，黃海北部是指山东高角和长山串联綫以北并向西延伸至辽东海灣的这一海区（見圖1）。这海区呈哑鈴形，并被渤海海峡分成两部分。东部呈椭圆形，长軸約220浬（每浬約等于1.85公里），短軸約120浬，其深度不到75米，整个海区的平均深度在平潮时为40米。西部为一自西南向东北延伸的封閉海区，其长度約为250浬，寬度約在50浬至140浬之間，大部分的深度不到30米，整个海区的平均深度在平潮时为19米。这个海区的南部，即在辽东半島西南角至大青河口这一联綫以南的部分称为渤海，其北部称为辽东海灣。

本文作者曾对黃海北部的潮汐作过研究。本文作者在1932年，首先分析了在黃海北部离岸較远的两个測站（圖1中的G、H站）以及在黃海中部的一个測站上所进行的潮汐及潮流的觀測結果<sup>[1]</sup>。本文作者又在1933年根据28个測站的潮汐觀測資料以及12个測站的潮流觀測資料研究了渤海海峡以东海区中的潮汐<sup>[2]</sup>，并繪制了 $M_2$ 及 $K_1$ 潮的同潮时綫圖以及等潮差綫圖。最近即将發表的第二篇論文<sup>[3]</sup>对上述海区中的潮汐及潮流的觀測資料将有所增补。

本文作者在1932年曾研究过辽东海灣的潮汐。作者根据“狭海动力理論”（Narrow-sea dynamical theory）計算了 $M_2$ 及 $K_1$ 潮并将計算結果与6个測站的觀測資料<sup>[4]</sup>作了比較。作者繪制了 $M_2$ 及 $K_1$ 潮的同潮时綫圖以及 $M_2+S_2$ ，

$K_1+O_1$ 潮的等潮差綫圖。討論辽东海灣潮汐的第二篇論文<sup>[5]</sup>發表于1934年，此文对潮汐及潮流的資料有所增补；作者并将这些資料与前一篇論文中所得的理論計算值作了比較。

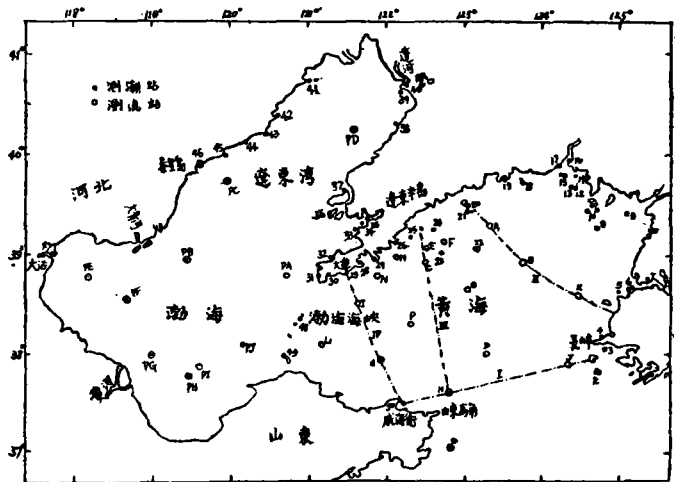


圖1. 黃海北部

本文作者討論渤海潮汐的論文<sup>[6]</sup>發表于1936

\* 原文見：Ogura, Sinkiti: "The Tides in the Northern Part of the Hwang Hai", 發表在 Japanese Journal of Astronomy and Geophysics, Vol. XIV, No. 1, pp. 27—55, 1936.

小倉伸吉(已故)为日本著名的潮汐学家，著有“日本近海的潮汐”(1933)等書，为研究日本近海及中国沿海的潮汐的权威。本文为小倉伸吉研究中国黃渤海潮汐的总结性論文。本文总结了1936年以前日本在黃渤海所进行的潮汐及潮流的觀測資料，在觀測与理論相結合的基础上，解决了有关黃海北部及渤海、辽东海灣潮波系統的一些重要問題，为研究中国沿海的潮波系統的一个值得重視的貢獻。

自1936年至今，有关研究黃渤海潮汐的論文，尚未見譯文獻。所以本文出版以来虽已20年，仍为研究黃渤海的潮汐及潮流时必须参考的基本文獻之一，故特譯出，以供进一步研究黃渤海潮汐及潮流之参考。

——譯者附記。

年。当时利用 9 个测站上的潮汐观测资料以及 6 个测站上的潮流观测资料绘制了  $M_2$  及  $K_1$  潮的同潮时綫圖以及  $M_2+S_2$  与  $K_1+O_1$  潮的等潮差綫圖。在該文中又繪制了黄海北部整个海区（包括渤海及辽东海灣在內）的潮流圖，整体地探討了这一海区的潮汐及潮流。

上述諸論文均系日文写成，并在不同的时期發表。本文为上述諸論文之总结及修正稿，拟将黄海北部的潮汐作为一个整体来予以探討。

### 2. 潮汐的資料

本文利用了黄海北部 61 个测站的潮汐調和常数。其中 50 个沿岸测站（站号为 1—50）的調和常数都是从观测时期在 1 月以上的資料中推算出来的，所以是很精确的。其余 11 个外海测站的調和常数是本文作者从 24 或 48 小时的观测資料中推算出来的，所以易于产生較大的誤差。

外海测站上的潮汐观测，除 Q 站外，均用 1931 年日本海軍“淀艦”調查船<sup>[7]</sup>上所設計的方法进行。这方法根据一条简单的定律，即如果海底为平坦的話，則由抛錨船上每隔一小段時間所得的測深記錄應該給出海面的升降变化。为了求得准确的深度，測深机上附有特殊之仪器，測深机所指出的深度經過鋼絲繩傾斜度以及船只傾斜度的校正，深度可以讀到 1 厘米。观测每隔 10 分鐘进行一次。这个方法在海面平靜而深度不太大（譬如說不超过 40 米）同时海流不太强时，可以得出很好的結果。圖 2 指出“淀艦”所作观测的一些結果。

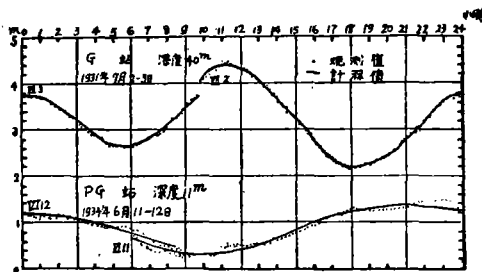


圖 2. 外海测站上的潮汐观测結果

外海测站 Q 上的潮汐观测是用日本海軍 T. Kondo 海軍少校<sup>[7]</sup>最近所設計的公海驗潮仪进行的。沉入海底的驗潮仪借海底压力的变化机械地記錄了海面的升降。这个仪器在海岸附近所作

的观测結果与在沿岸测站上用一般的驗潮仪所作的观测結果，两者相比之下，証明公海驗潮仪記錄潮汐非常准确。公海驗潮仪記錄紙的比例尺为 2.5 厘米相当于高度 1 米，0.53 厘米相当于時間 1 小时。

根据外海测站上 24 小时的潮汐观测記錄以推算潮汐調和常数近似值的方法如下所述。所观测到的潮汐假定其周期为  $24^h50^m$  (24 太陰小时)，先把它分解为全日与半日两部分，并令

$$H = A_0 + H_1 \cos(15^\circ t - k_1) + H_2 \cos(30^\circ t - k_2) \dots \dots (1)$$

式中的  $t$  为自月亮經過当地子午綫的（上中天）時間算起之太陰小时数， $H$  为  $t$  时所观测到的潮高， $A_0$  为平均海平面的高度， $H_1, k_1, H_2, k_2$  为需要测定的全日潮及半日潮的常数。在实际計算时，通过观测記錄画上一条周期为  $24^h50^m$  之平滑曲綫，并从圖上讀取太陰上中天前后每一太陰小时的 24 个潮高数值，讀到 1 厘米。再根据 24 个数值用一般的方法来計算  $A_0, H_1, k_1, H_2, k_2$  各常数。例如下列数值即为 G 及 PG 站（見圖 2）之計算結果。月亮經過测站子午綫的（上中天）時間以  $120^\circ E(8^h)$  的标准時間为准。

站号	太陰上中天時間	$A_0$	$H_1$	$k_1$	$H_2$	$k_2$
G	1931年7月3日, 2 <sup>h</sup> 16 <sup>m</sup>	323 <sup>cm</sup>	40 <sup>cm</sup>	115°	81 <sup>cm</sup>	297°
PG	1934年6月11日, 11 <sup>h</sup> 14 <sup>m</sup>	88	50	155	8	176

把上述数值代入 (1) 式中之所得之曲綫如圖 2 中之实綫所示。

当由  $H_1, k_1, H_2, k_2$  求調和常数时，我們必須假定在各分潮的常数之間有某些关系存在。我們假定每一个全日潮或半日潮可以表为：

$$H \cos(nt - k) = f_1 H_1 \cos(V_{01} + nt - k_1) + f_2 H_2 \cos(V_{02} + nt - k_2) + f_3 H_3 \cos(V_{03} + nt - k_3) + \dots \dots (2)$$

式中的  $H$  及  $k$  为从观测資料中借 (1) 式所算得的常数； $V_{01}, V_{02}, V_{03} \dots$  为  $t=0$  时平衡潮的引数 (equilibrium argument)； $f_1, f_2, f_3 \dots$  为根据月亮的升交点 (ascending node of the moon) 而定的系数； $H_1, H_2, H_3 \dots$  为各分潮的半潮差； $k_1, k_2, k_3 \dots$  为其迟角。速度  $n$ ，对

于一切全日分潮均取为  $15^\circ$ ，对于一切半日分潮均取为  $30^\circ$ 。如果我们把半日分潮中最主要的  $M_2$  潮以及全日分潮中最主要的  $K_1$  潮分别作为 (2) 式右边的第一项，则该项的常数可表为：

$$\tan(k_1 - k) = \frac{b}{a},$$

$$H_1 = H \frac{\cos(k_1 - k)}{a} = H \frac{\sin(k_1 - k)}{b}$$

上式中的

$$\left. \begin{aligned} a &= f_1 \cos V_{01} + f_2 \frac{H_2}{H_1} \cos(V_{02} + k_1 - k_2) \\ &\quad + f_3 \frac{H_3}{H_1} \cos(V_{03} + k_1 - k_3) \\ &\quad + \dots \\ b &= f_1 \sin V_{01} + f_2 \frac{H_2}{H_1} \sin(V_{02} + k_1 - k_2) \\ &\quad + f_3 \frac{H_3}{H_1} \sin(V_{03} + k_1 - k_3) \\ &\quad + \dots \end{aligned} \right\} (3)$$

我们可以时间作为变数来计算每一分潮的  $f$  及  $V_0$  的值，因此，如果分别予  $H_2/H_1, H_3/H_1, \dots, k_1 - k_2, k_1 - k_3, \dots$  等等以某值，则就可根据 (3) 式来计算常数  $H_1$  及  $k_1$ 。在实际计算中，对于  $M_2, S_2, N_2, K_2$  各半日潮及  $K_1, O_1, P_1$  各全日潮包含有下列一些假设：

站 别	半 日 潮				全 日 潮			
	$M_2$	$S_2$	$N_2$	$K_2$	$K_1$	$O_1$	$P_1$	
东部 各站	$G, H_1 H/H_1$	1.00	0.30	—	0.08	1.00	0.70	0.33
	$k_1 - k(^{\circ})$	0	-60	—	-60	0	45	0
渤海 辽东 各站	$H/H_1$	1.00	0.30	0.19	0.08	1.00	0.70	0.33
	$k_1 - k(^{\circ})$	0	-50	25	-50	0	30	0
震	$H/H_1$	1.00	0.30	0.16	0.08	1.00	0.75	0.33
	$k_1 - k(^{\circ})$	0	-55	30	-55	0	35	0

上述关系是从许多沿岸测站的潮汐调和常数中得出的，并假定其在外海测站上也是近似地存在的。全部观测资料以及计算所得的全日潮与半日潮的常数均发表于原始文献上<sup>[1,2,3]</sup>。

四个主要分潮  $M_2, S_2, K_1$  及  $O_1$  的常数以及  $K_1 + O_1$  潮与  $M_2 + S_2$  潮振幅之比， $M_2$  潮及  $K_1$  潮的同潮时均给出在表 1 中。同潮时以 Greenwich 以东  $135^\circ (9^h)$  的子午线为标准，并按下式计算之：

$$M_2 \text{ 潮: } \frac{M_2^2}{30^\circ} + (\text{东经小时数} - 9^h)$$

$$K_1 \text{ 潮: } \frac{K_1^2}{15} + (\text{东经小时数} - 9^h)$$

日本海軍水路部每年出版的“潮汐表”載有許多測站的潮汐非調和常数，這些測站不僅包含表 1 中所列的，也有中國沿岸的某些測站。後者的非調和常数主要是從“海軍部潮汐表 (“Admiralty Tide Tables”)<sup>[1]</sup> 上取來的，誤差很大，所以只能作為參考。

### 3. 潮流的資料

黃海北部的潮流受到日不等的影響很大，從而，在某一測站上在日間所作的幾天觀測幾乎不能用來研究潮流。日本海軍的調查船“淀艦”於 1931 年開始在黃海北部的每一測站上進行 24 小時以上的海流觀測，接着隸屬於日本各水產研究所的船隻也進行觀測，這種測站的總數現在已達 27 個。24 小時的海流觀測資料是不足以詳細地研究潮流的，但從這資料中可以得出潮流的一般性質。此外，多數測站的觀測是在夏季朔望前後的 2—3 天內的一個晝夜中進行的，此時全日潮流及半日潮流兩者都很強，所以這種觀測給我們提供了研究潮流時最有用的資料。

自海面至海底的各層觀測是在拋錨的船上進行的。除下述情況外，觀測儀器均為 Ekman-Merz 型海流計。為了消除船身對於海流的影響以及船鐵對於海流計磁石的影響，在“淀艦”調查船上海面附近的海流不是用海流計而是用自船尾漂游出去潮流板 (Current-float) 測定的。潮流板用 4 米長的竹杆做成；附有兩塊板，各長 1 米寬 0.3 米，兩者結合一起形成十字架。竹杆下端系有重物，以使竹竿豎直。竹杆上端露出水面約 0.5 米，所以觀測到的海流乃是屬於海面下大約 3 米處的水層的。在其他所有調查船上，由於這些船均較“淀艦”小得多，海面附近的海流，與深層的一樣，也是用海流計測定的。各層的觀測每隔 30—60 分鐘重複一次。全部觀測資料均發表在原始論文中<sup>[1,2,3]</sup>。

在各站各層上所觀測到的海流，先分解為潮流，半日潮流，全日潮流三部分。為此，所觀測到的一切海流都要算出它們的北分流及東分流的流速。北分流速如在潮汐中一樣，也假定其具有

1) 系指英國出版的潮汐表——譯者注

表1. 潮汐調和常数

站号	地名	位置		$M_2$		$S_2$		$K_1$		$O_1$		$\frac{K_1+O_1}{M_2+S_2}$	同潮时		观测期间	资料来源		
		北 緯	东 經	H	k	H	k	H	k	H	k		小时	小时				
		°	'	厘米	°	厘米	°	厘米	°	厘米	°		小时	小时	月			
1	巡威島	37	45	125	20	154	145	59	190	38	298	28	274	0.31	5.5	20.5	4	1
2	大青島	37	50	124	43	99	157	42	205	31	300	27	272	0.41	5.9	20.7	2	1
3	月乃島	38	3	124	49	106	161	35	212	39	317	26	274	0.46	6.1	21.8	1	1
4	梦金島	38	11	124	47	112	202	38	245	34	315	24	266	0.39	7.5	21.8	2	1
5	席島	38	38	125	0	156	230	53	273	38	318	24	289	0.30	8.3	21.9	4	1
6	避島	38	40	125	10	197	238	53	288	41	328	31	294	0.29	8.6	22.5	0.5	1
7	鎮南浦港	38	41	125	24	182	251	60	296	37	334	25	298	0.26	9.0	22.9	24	1
8	腊島	39	16	124	43	192	247	70	293	40	330	28	295	0.26	8.9	22.7	0.5	1
9	云霧島	39	25	125	7	222	255	76	300	48	342	30	304	0.26	9.2	23.5	2	1
10	大和島	39	27	124	37	196	253	66	295	43	337	30	296	0.28	9.1	23.2	2	1
11	椴島	39	31	124	40	208	255	68	301	42	335	27	302	0.25	9.2	23.0	4.5	1
12	圓島	39	41	124	27	205	253	70	304	45	329	29	295	0.27	9.1	22.6	1	1
13	水运島	39	42	124	25	212	258	68	307	45	331	29	300	0.26	9.3	22.8	4	1
14	多獅島	39	48	124	25	215	263	72	307	38	336	28	299	0.23	9.5	23.1	1	1
15	薪島	39	48	124	16	212	263	74	304	41	335	27	304	0.24	9.4	23.0	1	1
16	斗流浦	39	56	124	20	158	289	42	343	36	351	28	318	0.32	10.3	0.1	2	1
17	赵氏沟	39	53	124	12	195	275	57	330	37	344	28	308	0.26	9.9	23.7	3	1
18	大鹿島	39	45	123	45	187	260	56	307	38	329	24	297	0.26	9.4	22.7	1	1
19	大弧山	39	46	123	33	193	272	42	304	37	338	24	292	0.26	9.8	23.3		1
20	草島	39	29	123	5	158	268	48	308	46	336	27	306	0.35	9.7	23.2		1
21	大王家島	39	27	123	3	158	270	46	322	35	342	25	306	0.29	9.8	23.6	2	1
22	海洋島	39	4	123	9	127	268	43	312	37	332	25	309	0.36	9.7	22.9	2	1
23	外长山列島	39	3	122	43	118	278	39	321	36	335	23	314	0.38	10.1	23.2	2	1
24	大长山島	39	16	122	35	132	278	42	326	33	344	25	315	0.33	10.1	23.8	5	1
25	葫蘆島	39	12	122	18	130	286	39	331	37	347	26	316	0.37	10.4	0.0	3	1
26	曾家屯	39	8	122	6	115	287	34	331	29	347	23	318	0.35	10.4	0.0		1
27	大弧口	38	58	121	50	101	295	29	349	26	353	19	325	0.35	10.7	0.4	2.5	1
28	大連港	38	56	121	39	99	300	29	348	27	1	20	329	0.37	10.9	1.0	12	1
29	小平島	38	49	121	31	89	304	26	354	23	4	19	340	0.37	11.0	1.2		1
30	旅順港	38	48	121	15	84	309	26	357	23	14	17	345	0.36	11.2	1.9	36	1
31	羊头洼	38	47	121	8	61	331	20	22	13	40	13	15	0.32	0.0	3.6		1

表1. (續)

站号	地名	位置		$M_2$		$S_2$		$K_1$		$O_1$		$\frac{K_1+O_1}{M_2+S_2}$	同潮时		观测期间	资料来源		
		北緯	东經	H	k	H	k	H	k	H	k		小时	小时				
		°	'	°	'	厘米	°	厘米	°	厘米	°	厘米	°		小时	小时	月	
32	营城子灣	38	58	121	18	56	359	18	47	25	55	19	20	0.60	0.9	4.6	4.5	1
33	葫蘆套	39	16	121	36	62	22	22	71	33	73	23	30	0.67	1.6	5.8	1	1
34	长島	39	18	121	40	65	35	22	86	27	68	20	36	0.54	2.1	5.4		1
35	簸箕島	39	23	121	45	70	48	23	97	28	85	21	43	0.53	2.5	6.6	1	1
36	西中島	39	24	121	17	48	33	16	81	31	69	23	35	0.84	2.0	5.5	5.5	1
37	长兴島	39	39	121	28	54	94	16	143	35	78	26	44	0.87	4.0	6.1	2	1
38	飯魚園	40	18	122	6	120	137	37	192	43	87	30	57	0.47	5.4	6.7	2.5	1
39	辽河門洲	40	38	122	10	117	153	33	208	33	103	26	65	0.39	6.0	7.7	24	2
40	营口	40	41	122	16	129	172	36	227	42	106	31	72	0.44	6.6	7.9	3	1
41	壺卢島港	40	43	120	59	93	156	27	212	36	104	28	63	0.53	6.1	7.9	2	1
42	长山寺角	40	23	120	35	60	163	16	217	39	102	28	66	0.88	6.4	7.8	3	1
43	团山	40	12	120	28	39	159	11	217	37	103	27	59	1.28	6.3	7.8	0.5	1
44	新立屯	40	8	120	12	13	179	2	227	37	107	26	61	4.20	7.0	8.1	0.5	1
45	环海寺	40	0	119	56	6	270	3	14	34	105	25	65	6.55	10.0	8.0	1.5	1
46	秦皇島	39	54	119	37	14	315	5	26	27	101	21	65	2.52	11.5	7.8	1	3
47	大沽	38	59	117	42	94	95	24	164	25	146	18	114	0.36	4.3	10.9	12	4
48	庙島列島	38	21	120	54	60	309	17	7	6	14	4	20	0.13	11.2	1.9		1
49	鹽城子	37	59	120	41	56	292	10	2	9	238	7	152	0.24	10.7	16.8		1
50	威海衛港	37	30	122	10	59	315	18	2	22	311	13	267	0.45	11.4	21.6	12	5
51	烟台外海	37	57	121	55	74	306	22	6	18	325	13	280	0.32	11.1	22.5	1	1
52	山东高角外海	37	37	122	47	20	291	6	351	23	321	16	276	1.50	10.5	22.2	1	1
53	山东高角外海	37	3	122	48	46	55	14	105	31	306	22	276	0.88	2.6	21.2	1	1
54	辽东海灣內	38	58	119	26	33	32	10	87	21	142	16	107	0.86	2.1	10.5	1	1
55	辽东海灣內	39	45	119	57	11	335	3	30	25	101	19	66	3.14	0.2	7.7	1	1
56	辽东海灣內	40	16	121	35	88	141	26	196	34	86	25	51	0.52	5.6	6.6	1	1
57	渤海內	38	45	118	8	96	95	29	150	32	138	24	103	0.45	4.3	10.3	1	1
58	渤海內	38	34	118	40	36	82	11	137	29	149	22	114	1.09	3.8	11.0	1	1
59	渤海內	38	0	118	57	8	161	2	216	27	166	20	131	4.70	6.4	12.1	1	1
60	渤海內	37	48	119	27	22	306	7	1	23	155	17	120	1.38	11.2	11.4	1	1
61	渤海內	38	7	120	8	37	317	11	12	8	133	6	98	0.29	11.6	9.9	1	1

资料来源: 1. 日本帝国海軍海道測量部; 2. 辽河开港局; 3. 秦皇島港务局; 4. 美国海岸測量局; 5. 英国海軍部海道測量部

24h50<sup>m</sup> 的一个周期, 而表为:

$$V = A_0 + V_1 \cos(15^\circ t - k_1) + V_2 \cos(30^\circ t - k_2) \quad (4)$$

式中的  $t$  为太陰時間,  $V$  为  $t$  时的北分流速,  $A_0$  为常流,  $V_1, k_1$  及  $V_2, k_2$  为所求全日潮流及半日潮流的常数。在实际計算中, 北分流速对時間作圖, 繪成一条平滑的周期为 24h 50<sup>m</sup> 的流速曲綫。再从曲綫上讀取每一太陰小时的流速值, 計 24 个, 准确到 0.01 节。再用这 24 个值进行調和分析。分析东分流速的方法同上。

从上面所求得的东、北分流速的常数, 我們可以用來計算常流的方向及速度; 全日潮流达到最大流速及最小流速时的速度  $V$ , 迟角  $k$  及方向, 同样也可計算半日潮流的这种速度, 迟角及方向。最小流速的方向与最大流速的方向相正交。潮流为右轉或左轉并在一潮汐周期內旋轉一周。在任何時間  $t$ , 全日潮流及半日潮流在最大或最小流速的方向上的流速分別表为  $V \cos(15^\circ t - k)$  及  $V \cos(30^\circ t - k)$ 。

从上面所求得的全日潮流与半日潮流的常数, 我們只能推算出主要分潮流的調和常数的近似值, 为此, 并須适当地假設在这些常数之間有某些关系存在。在推算最大流速及最小流速的方向上的調和常数时, 所用的方法, 与在潮汐中所用的完全相同。各常数之間所存在的关系亦与在潮汐中所假定的的一样。但是在潮流情况中, 对于全日潮流还必须有一个假定: 即每一个全日分潮流的最大流速及最小流速的方向, 分别与合成全日潮流的这些方向相同。对于半日潮流也須有同样的假定。这些假定只有当各分潮流在达到最大流速及最小流速时的方向均相同及  $k$  值均相等时才能成立, 当速矢端迹圖(hodography)为扁椭圆时近似地成立。但是在实际上, 各分潮流的  $k$  值是不相等的, 所以假如速矢端迹圖为卵圆形, 則虽然各分潮流最大流速的方向相互之間是相同的, 但可与合成潮流最大流速的方向有很大的差别。下表为 I 站(大連以南約 26 哩)之測流分析結果。表中之同流时 (Co-current hour) 为以  $135^\circ (9h) E$  为标准的达到最大流速及最小流速的时间, 即  $M_2$  及  $K_1$  潮流的同流时分別为  $\frac{M_2^2}{30} + (L - 9h)$ ,  $\frac{K_1^2}{15} + (L - 9h)$ ,  $L$  为測站之

东径小时数。

I 站

緯度:  $38^\circ 31' N$ , 經度:  $121^\circ 37' E$ . 深度: 53 米。

1931 年 8 月 28~29 日, 月令: 0.9—1.9 日。

太陰赤緯:  $20^\circ .8N - 24^\circ .3N$ 。

太陰上中天: 8 月 29 日  $0^h 21^m$ .  $120^\circ E$  标准時間。

流向从真北起順时針序計算, 流速以节为单位。

海面下	$A_0$	半日潮流		全日潮流		海面下	常 流		
		$V_2$	$k_2$	$V_1$	$k_1$		流速	流向	
米	节	节	°	节	°	米	节	°	
3	北分流	+0.35	0.21	72	0.74	193	3	0.54	311
	东分流	-0.41	0.73	174	0.40	1			
10	北分流	+0.32	0.25	78	0.51	195	10	0.53	307
	东分流	-0.42	0.67	176	0.49	6			
20	北分流	+0.32	0.24	43	0.39	203	20	0.54	306
	东分流	-0.44	0.80	177	0.47	20			
40	北分流	-0.03	0.09	335	0.06	53	40	0.12	256
	东分流	-0.12	0.60	158	0.56	24			
50	北分流	0.00	0.09	303	0.08	33	50	0.12	270
	东分流	-0.12	0.50	149	0.40	31			

圖 3 系根据上表中的記錄所繪成的海面下 3 米处的潮流圖解。圖解指出全日潮流, 半日潮流以及两者的合成潮流。小圈旁之阿拉伯数字系太陰小时数。自圖中心至曲綫上某一点的連綫系在所指時間的流速向量。圖 3 上并以矢箭繪出常流。

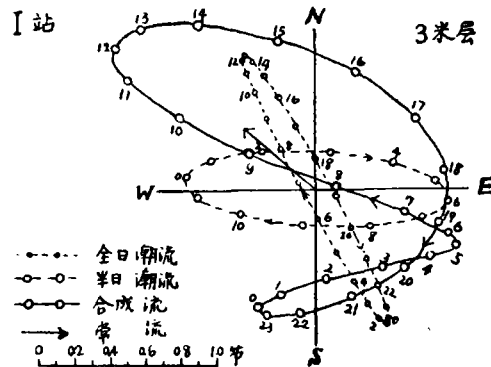


圖 3 I 站海面下 3 米处的潮流圖解

如上所示的各站分析結果均完整地發表在原始文献中<sup>[1,2,3]</sup>。在本文表 2 中又發表了  $M_2$  及  $K_1$  潮流的常数的平均值。各常数的平均值系海面下各層所求得的数值的算术平均数, 并不是自

海面下	半日潮流			全日潮流			$M_2$			$K_1$			
	V	k	流向	V	k	流向	V	k	同流时	V	k	同流时	
米	节	°	°	节	°	°	节	°	小时	节	°	小时	
3	最大	0.74	354	275	0.82	189	332	0.66	339	0.2	0.64	24	2.5
	最小	0.21	84	5	0.08	279	62	0.19	69	3.2	0.06	114	8.5
10	最大	0.67	354	273	0.70	190	316	0.60	339	0.3	0.55	25	2.5
	最小	0.25	84	3	0.06	280	46	0.22	69	3.3	0.05	115	8.5
20	最大	0.82	0	283	0.62	201	310	0.73	345	0.4	0.48	36	3.3
	最小	0.17	90	13	0.02	291	40	0.15	75	3.4	0.02	126	9.3
40	最大	0.60	336	282	0.57	205	265	0.53	321	11.6	0.44	40	3.5
	最小	0.01	66	192	0.03	295	175	0.01	51	2.6	0.02	130	9.5
50	最大	0.51	327	279	0.42	210	259	0.45	312	11.3	0.33	45	3.9
	最小	0.04	57	9	0.00	—	—	0.04	42	2.3	0.00	—	—
平均	最大			278			296	0.59	331	11.9	0.49	34	3.2
	最小			8			26	0.12	61	2.9	0.02	124	9.2

表 2. 潮流調和常数的平均值

站号	北緯	东經	深 度	$M_2$ 潮流			$K_1$ 潮流			$\frac{K_1+O_1}{M_2+S_2}$	同流时		观测深度 米	观测 時間	观测者			
				V	k	方向	V	k	方向		$M_2$	$K_1$						
A	39	18	123	20	35	最大	0.82	338	209	0.14	61	203	0.22	0.1	4.9	3, 10,	2	1
						最小	0.31	68	119	0.05	151	113	3.1	10.9	20, 31			
B	38	57	123	47	55	最大	1.03	352	198	0.13	107	184	0.16	0.5	7.9	3, 10, 20,	1	1
						最小	0.26	82	108	0.01	197	94	3.5	13.9	40, 53			
C	38	56	122	29	43	最大	0.67	316	232	0.28	16	256	0.55	11.4	1.9	10, 20,	1	1
						最小	0.27	46	142	0.02	106	166	2.4	7.9	40			
D	38	1	123	16	68	最大	0.88	358	169	0.16	77	12	0.24	0.7	5.9	3, 10, 20,	1	1
						最小	0.21	88	79	0.04	167	282	3.7	11.9	40, 60			
E	39	5	122	30	35	最大	0.71	333	223	0.29	26	251	0.53	11.9	2.6	3, 10,	1	1
						最小	0.10	63	133	0.02	116	161	2.9	8.6	20			
F	39	8	122	43	35	最大	0.82	332	234	0.21	11	253	0.33	11.9	1.5	3, 10, 20,	1	1
						最小	0.13	62	144	0.01	101	343	2.9	7.5	30			
G	37	57	121	55	40	最大	0.15	84	50	0.27	44	290	2.36	3.7	3.8	3, 10,	1	1
						最小	0.06	174	320	0.02	134	20	6.7	9.8	20, 35			
H	37	37	122	47	38	最大	1.19	1	157	0.09	320	39	0.10	0.8	22.1	3, 10,	1	1
						最小	0.23	91	67	0.00	—	—	3.8	4.1	20, 35			
I	38	31	121	37	53	最大	0.59	331	278	0.49	34	296	0.11	11.9	3.2	3, 10, 20,	1	2
						最小	0.12	61	8	0.02	124	26	2.9	9.2	40, 50			
J	37	54	124	20	76	最大	1.65	359	193	0.29	139	125	0.23	0.7	10.0	3, 10, 20,	1	3
						最小	0.03	89	283	0.01	229	35	3.7	16.0	40			
K	38	36	124	28	48	最大	1.56	341	203	0.27	63	191	0.23	0.1	4.9	3, 10, 20,	1	1
						最小	0.13	71	113	0.05	153	281	3.1	10.9	40			
L	38	7	121	8	31	最大	0.49	7	310	0.44	33	293	1.18	1.2	3.1	15, 25	1	5
						最小	0.17	97	40	0.04	123	203	4.2	9.1				
M	39	0	122	6	22	最大	0.48	323	229	0.21	8	232	0.58	11.6	1.4	3, 10, 18	1	1
						最小	0.08	53	139	0.01	98	322	2.6	7.4				

站号	北 緯	东 經	深 度	$M_2$ 潮流			$K_1$ 潮流			$K_1 + O_1$ $M_2 + S_2$	同流时		观测深度 米	观测 时间	观测 者	
				V	k	方向	V	k	方向		$M_2$	$S_2$				
N	38 48	121 54	46	最大	0.71	323	243	0.27	21	255	0.50	11.7	2.3	3, 10, 20,	1	1
				最小	0.13	53	153	0.03	111	345		2.7	8.3			
O	38 40	123 1	56	最大	0.81	354	196	0.16	17	267	0.26	0.6	1.9	3, 10, 20,	1	1
				最小	0.41	84	106	0.01	107	177		3.6	7.9			
P	38 19	122 18	53	最大	0.27	341	204	0.13	39	265	0.63	0.2	3.5	3, 10, 20,	1	1
				最小	0.16	71	114	0.02	129	355		3.2	9.5			
Q	37 3	122 48	31	最大	0.96	357	196	0.07	301	302	0.10	0.7	20.9	3, 10, 20,	1	1
				最小	0.13	87	286	0.02	31	32		3.7	2.9			
PA	38 51	120 41	40	最大	0.82	11	332	0.55	36	319	0.91	1.3	3.4	5, 10, 20,	1	1
				最小	0.16	101	62	0.20	126	49		4.3	9.4			
PB	38 58	119 26	23	最大	0.82	350	255	0.20	102	237	0.33	0.7	7.8	10, 20	1	1
				最小	0.17	80	345	0.05	192	147		3.7	13.8			
PC	39 45	119 57	21	最大	0.55	69	53	0.14	358	359	0.35	3.3	0.9	3, 10, 18	1	1
				最小	0.11	159	143	0.07	88	269		6.3	6.9			
PD	40 16	121 35	21	最大	1.02	55	41	0.19	4	38	0.25	2.7	1.2	10, 18	1	1
				最小	0.05	145	311	0.03	94	308		5.7	7.2			
PE	38 45	118 8	16	最大	0.98	17	278	0.22	72	280	0.30	1.7	5.9	3, 10	1	1
				最小	0.06	107	188	0.05	162	10		4.7	11.9			
PF	38 34	118 40	21	最大	0.97	7	285	0.23	70	260	0.32	1.3	5.8	3, 10, 15	1	1
				最小	0.11	97	195	0.04	160	170		4.3	11.8			
PG	38 0	118 57	11	最大	0.77	12	327	0.14	15	320	0.24	1.5	2.1	3, 8	1	1
				最小	0.03	102	57	0.04	105	230		4.5	8.1			
PH	37 48	119 27	16	最大	0.47	8	319	0.13	81	229	0.38	1.3	6.4	3, 10	1	1
				最小	0.08	98	49	0.08	171	139		4.3	12.4			
PI	37 53	119 35	18	最大	0.65	46	314	0.21	78	245	0.43	2.6	6.2	5, 12	1	4
				最小	0.11	136	44	0.05	168	155		5.6	12.2			
PJ	38 7	120 8	21	最大	0.49	6	295	0.38	64	255	1.03	1.2	5.3	3, 10, 18	1	1
				最小	0.17	96	25	0.07	154	345		4.2	11.3			

观测者: 1. 日本帝国海軍“淀艦(Yodo.)”; 2. Hayatomo 水产研究所“旅順”輪; 3. 日本农林省水产局“Hisyun”輪; 4. 日本农林省水产局“Syôhō”輪; 5. 关东州水产研究所“Ryôtō”輪。

海面至海底的积分平均数。这两个平均值是不相等的，但一般相差不大。

由表 2 可知，黄海北部夏季的常流一般均弱，看不出有系统的环流存在。(按表中并無常流数据——譯者注)

#### 4. 同潮时綫圖及等潮差綫圖

圖 4 系  $M_2$  潮的同潮时綫圖及等潮差綫圖，圖 5 系  $K_1$  潮的同潮时綫圖及等潮差綫圖。同潮时以 Greenwich 以东  $135^\circ (9h)$  的子午綫为标准。在繪这种綫时，不但利用了表 1 中的資料，并且也利用了由許多外海測站上的观测記錄計算

出来的潮汐以及同潮时綫与等潮差綫的方向的資料。这种計算方法，J. Proudman 及 A. T. Dodson 教授在研究北海的潮汐<sup>[9]</sup>时首先应用了，今簡述如下。

在海平面上，自固定点  $O$  引直角坐标軸  $Ox$  及  $Oy$ 。令  $u$  及  $v$  分別为流速在  $x$  及  $y$  方向上的分量沿任一垂綫之平均值， $\zeta$  为自由海面之升降高度， $\rho$  为海水的密度， $\omega$  为地轉角速度， $Pf$  及  $Pg$  为海底单位面积上摩擦力之分量， $\varphi$  为海面任一点之緯度， $h$  为平均海面以下之深度。如略去当地之天文扰动力不計，則运动方程式可写成这样：



$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} - 2uv \sin \varphi &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{F}{h} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + 2\omega u \sin \varphi &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{G}{h} \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

$$\text{令} \quad \left. \begin{aligned} \zeta &= \zeta_1 \cos \sigma t + \zeta_2 \sin \sigma t \\ u &= u_1 \cos \sigma t + u_2 \sin \sigma t \\ v &= v_1 \cos \sigma t + v_2 \sin \sigma t \\ F &= F_1 \cos \sigma t + F_2 \sin \sigma t \\ G &= G_1 \cos \sigma t + G_2 \sin \sigma t \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

在上式中  $\sigma = 2\pi/\text{周期}$ ,  $\zeta_1, \zeta_2, u_1, u_2, v_1, v_2, F_1, F_2, G_1, G_2$  与時間無关而为  $x$  及  $y$  之函数。将(6)式代入(5)式得:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} &= -\frac{\sigma}{g} u_2 + \frac{2\omega \sin \varphi}{g} v_1 - \frac{1}{gh} F_1 \\ \frac{\partial \zeta_2}{\partial x} &= +\frac{\sigma}{g} u_1 + \frac{2\omega \sin \varphi}{g} v_2 - \frac{1}{gh} F_2 \\ \frac{\partial \zeta_1}{\partial y} &= -\frac{\sigma}{g} v_2 - \frac{2\omega \sin \varphi}{g} u_1 - \frac{1}{gh} G_1 \\ \frac{\partial \zeta_2}{\partial y} &= +\frac{\sigma}{g} v_1 - \frac{2\omega \sin \varphi}{g} u_2 - \frac{1}{gh} G_2 \end{aligned} \right\} (7)$$

如海面任一点的潮流常数以及摩擦力为已知, 則該点海面升降高度的梯度, 即可由(7)式計算而得。假定几乎位在一直綫上的許多測站的潮流常数  $u, v$  以及該直綫两端的高度常数  $\zeta_1, \zeta_2$  为已知。根据这些資料, 我們便可以計算在这直綫上的每一測流站的  $\zeta_1$  及  $\zeta_2$  的高度梯度, 从而借圖解或其他方法也可以計算这直綫上任一点之  $\zeta_1, \zeta_2$  值及其梯度。

設同潮时綫及等潮差綫与  $x$  增加方向所构成的角度分别为  $\psi$  及  $\psi'$ , 由  $\frac{\zeta_2}{\zeta_1} = \text{const.}$  及  $\zeta_1 + \zeta_2 = \text{const.}$  这两个条件,  $\psi$  及  $\psi'$  分别为:

$$\left. \begin{aligned} \tan \psi &= -\frac{\zeta_1 \frac{\partial \zeta_2}{\partial x} - \zeta_2 \frac{\partial \zeta_1}{\partial x}}{\zeta_1 \frac{\partial \zeta_2}{\partial y} - \zeta_2 \frac{\partial \zeta_1}{\partial y}} \\ \tan \psi' &= -\frac{\zeta_1 \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} + \zeta_2 \frac{\partial \zeta_2}{\partial x}}{\zeta_1 \frac{\partial \zeta_1}{\partial y} + \zeta_2 \frac{\partial \zeta_2}{\partial y}} \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

方程式(8)使我們得以根据海面的高度常数及高度梯度來計算同潮时綫及等潮差綫的方向。实际进行这种計算的是  $M_2$  及  $K_1$  潮,  $x$  及  $y$  的方向分別指向东及北,  $k$  值均以  $135^\circ (9h) E$  为标准。每一測站的  $u_1, u_2, v_1, v_2$  值, 系根据海面下各層的相应值用圖解方法計算而得。在計算

$M_2$  潮流时, 將摩擦考虑在內, 但由于  $K_1$  潮流的速度一般均很小, 故在計算  $K_1$  潮流时, 沒有考虑摩擦。在本文中假定摩擦力的量值与流速的平方成正比, 故  $F$  及  $G$  为  $ku (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$  及  $kv (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$  之調和分量 (harmonic constituents), 式中  $k$  为一常数。当  $\sigma t$  每变化  $30^\circ$  时  $u$  及  $v$  的值, 可根据式(6)借任何一站所求得之  $u_1, u_2, v_1, v_2$  值計算之。因而, 由表达式  $ku (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$  及  $kv (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$ ,  $F$  及  $G$  之值亦可分別求得。又根据当  $\sigma t$  每变化  $30^\circ$  时  $F$  及  $G$  的这些数值, 就可用最小二乘方的方法来計算常数  $F_1, F_2, G_1, G_2$ 。在第一次研究辽东海灣的潮汐时, 常数  $k$  取为  $0.002 \text{CGS}$  制; 后来在研究渤海的潮汐时,  $k$  取为  $0.0025$ 。  $k$  值的这一差异, 对于計算結果影响不大, 只不过引起些微的差异而已。

凡是可以从观测记录中計算出潮汐及潮流常数的一切測站, 都直接計算了那些測站上的同潮时綫及等潮差綫的方向。此外, 对于圖1上沿 I, II, III, IV 4 条綫上的一些点, 也計算了潮汐常数以及同潮时綫、等潮差綫的方向。在这种計算中, I 綫东端的以及 II 綫两端的潮汐常数, 是从附近两个測站的数值中估計而得的。潮汐的这些計算数值及同潮时綫、等潮差綫的方向也列入在圖4及圖5中。但是, 在有几点地方因潮汐很小 (PC, PG 站的  $M_2$  潮, PJ 站的  $K_1$  潮), 或因潮流很弱 (G 站的  $M_2$  潮, H 及 Q 站的  $K_1$  潮), 則計算所得的方向就未列入圖中。

外海測站上的潮汐及潮流常数是只有一天或两天的观测中推算出来的, 所以必然是很粗略的。因而, 对于潮汐常数以及根据这样不准确的記錄計算出来的同潮时綫、等潮差綫的方向, 我們不应信之过甚。虽然如此, 但是在画离岸很远的外海上的同潮时綫以及等潮差綫时, 这些計算数值却是很好的参考資料。由圖4及5可知, 計算出来的方向, 除某些測站如 J, PH 的  $M_2$  潮等以外, 一般均与同潮时綫及等潮差綫頗相一致。

圖4及圖5中的同潮时綫及等潮差綫, 根据今后的观测記錄, 必然会有所修正, 但除一部份海区以外, 大的变动, 想是不会有的; 这种海区如渤海南部, 那里迄今尚無准确的潮汐資料可資利用。在黃海北部,  $M_2$  潮有三个無潮点,  $K_1$  潮有

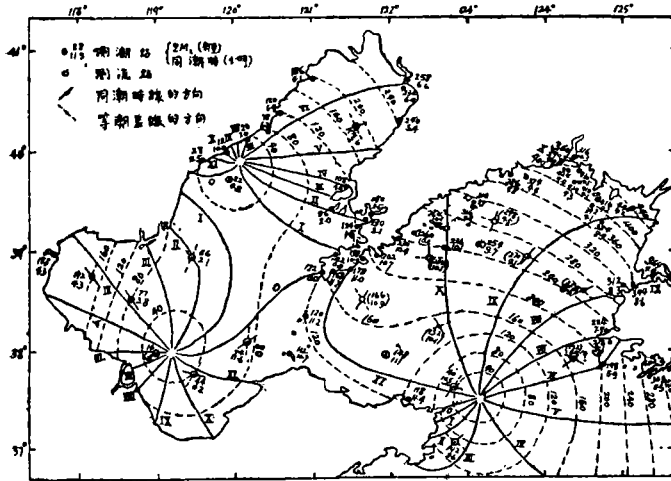


圖 4.  $M_2$  潮的同潮时綫及等潮差綫; 同潮时以  $135^\circ(9h)E$  为标准, 潮差以厘米計

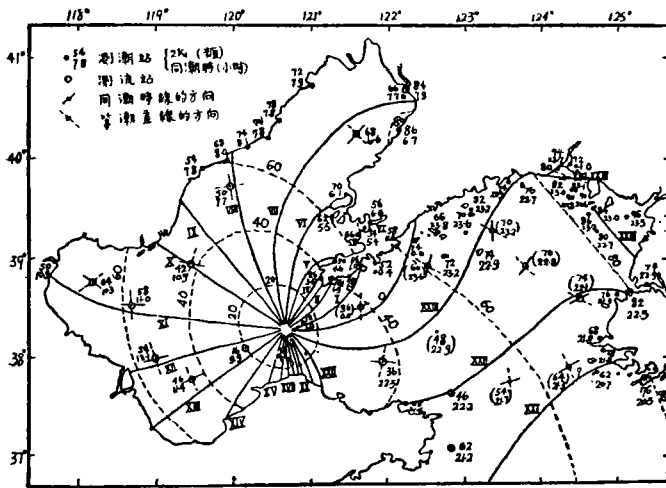


圖 5.  $K_1$  潮的同潮时綫及等潮差綫; 同潮时以  $135^\circ(9h)E$  为标准, 潮差以厘米計

一个無潮点, 围绕这些無潮点  $M_2$  潮及  $K_1$  潮的潮波分别在 12 及 24 小时内旋轉一周, 潮波繞各点的旋轉方向均为反时針式。位在  $M_2$  潮各个無潮点对近的一些測站如 44—46,  $M_2$  潮的振幅是很小的, 潮汐的日不等很显著, 以致一月中除了太陰赤緯接近于 0 的几天外, 一天之内只有一次高潮及一次低潮。这种情形在外海的 PC 及 PG 測站(見圖 2)上也存在。

### 5. 潮流圖

圖 6 及 7 分別為  $M_2$  及  $K_1$  潮流圖。由站

位上所画出之長箭头表示最大流速的方向, 長箭头的长度与最大流速之量值成比例。長箭头旁的阿拉伯数字指出以  $135^\circ(9h)E$  为标准的出現最大流速的小时。由站位上所画出之短箭头表示最小流速的方向, 它出现在最大流速之后  $\frac{1}{4}$  周期(对于  $M_2$  及  $K_1$  潮流分别为 3 及 6 小时)。这些箭头借表 2 中所給出之常数繪成, 这些常数系海面至海底各層流速之平均值。大潮时半日潮流之平均流速約为圖 6 中所示流速的 1.3 倍, 太陰赤緯最大时全日潮流之平均流速約为圖 7 中所示流速的 1.7 倍。圖 6 及 7 中所画流速之比例尺之比为 1.3:1.7, 所以圖 6 及 7 中箭头之长度近似地与半日潮流及全日潮流的最大流速成比例。圖 6 及 7 中之实綫为同流时綫 (Co-current line), 即为沿着此綫在箭头所指方向上出現最大流速的时间为相同之綫。各綫旁之羅馬数字为以  $135^\circ(9h)E$  为标准出現最大流速的时间。由观测資料所繪成的每小时的同流时(平滑)曲綫, 根据今后的資料, 必然会有所修正, 但不会有很大之变动。

圖 6 指出: 在渤海海峡稍东有一个自西南向东北延伸的区域, 那里半日潮流極弱; 在这区域之东, 潮流一般为南北向, 而在这区域之西, 潮流一般为东西向; 在辽东海灣潮流的方向一般与海灣的方向平行; 还有黄海北部最大流速的时间自东向西稍落后, 然后在辽东海灣向东北稍落后。

圖 7 指出: 全日潮流的方向, 除辽东海灣以外, 一般为东西向, 在辽东海灣則与灣的方向平行; 最大流速的时间以在辽东海灣及大連附近为最早, 从那里向东西两方漸落后, 但就黄海北部大部份而論, 最大流速的时间相差不大。在渤海

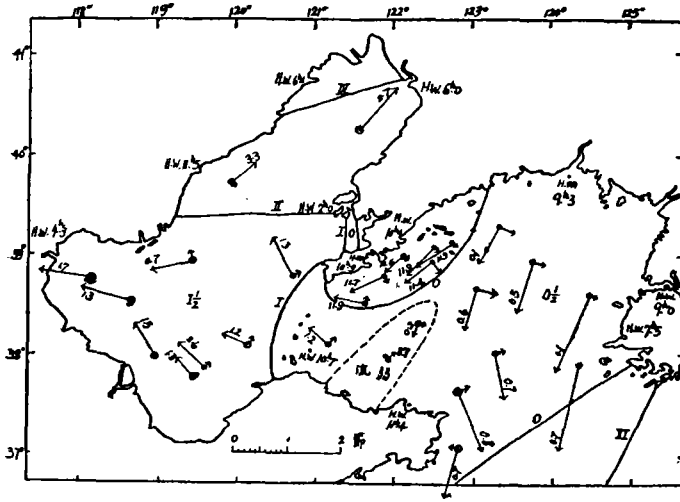


圖 6.  $M_2$  潮流時間以  $135^\circ(9h)E$  為標準

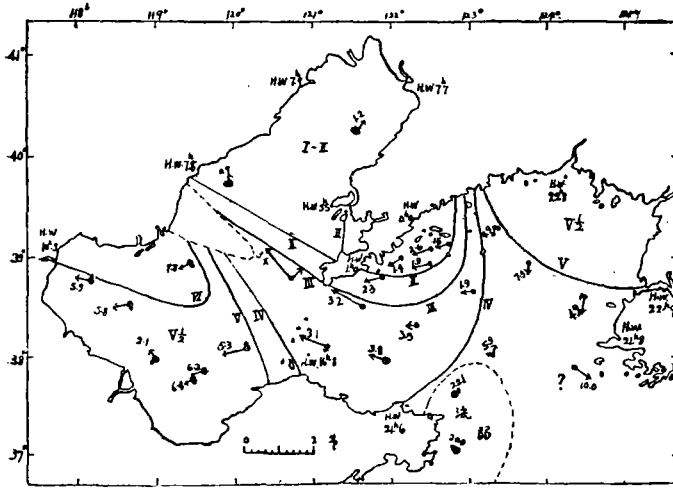


圖 7.  $K_1$  潮流時間以  $135^\circ(9h)E$  為標準

海峽附近半日潮流極弱，那里的全日潮流有时可大于半日潮流，并且潮流圖解呈現很复杂的形状，尤其是在半日潮流与全日潮流两者的方向相差很大处，潮流圖解的形状更显得复杂。这种情形存在于  $G, I$  (見圖 3),  $L$  及  $P$  各站。

### 6. 辽东海灣潮汐的动力学解释

本文作者曾于 1932 年用动力学的方法探討了辽东海灣的潮汐<sup>[4]</sup>，并在 1934 年将結果与后来的觀測資料作了比較<sup>[5]</sup>。在 1932 的論文中，辽东海灣的潮汐用 R. Sterneck 及 A. Defant 所創立的“狭海理論”來計算，起初沒有考虑摩擦力，也就是把由于灣外海区中的潮汐所支持着的海水

縱向駐立振動与由于地球偏轉力所引起的海水橫向駐立振動結合起來來計算灣內的潮汐。坐标原点在灣之頂端， $x$  軸指向中綫的方向。那末，当辽东海灣發生縱向駐立振動时，海水的水平位移  $\xi$  以及自由海面的升高  $\eta$  可令其为：

$$\begin{aligned} \xi &= \xi_0 \cos \sigma t, \\ \eta &= \eta_0 \cos \sigma t \dots\dots (9) \end{aligned}$$

在上式中， $\xi_0$  及  $\eta_0$  均与時間无关，仅为  $x$  之函数， $\sigma = \frac{2\pi}{T}$ ， $T$  为潮汐周期。將上述表达式代入运动方程式及連續方程式中即得：

$$\begin{aligned} \Delta \eta_0 &= \frac{\sigma^2}{g} \xi_0 \Delta x, \\ \xi_0 &= -\frac{1}{S} \int_0^x b \eta_0 dx \dots (10) \end{aligned}$$

在上式中， $b$  为海灣內与中綫垂直的任一断面在海面上的寬度， $S$  为这断面之面积。設在原点  $\eta_0$  值为已知，并且在那里  $\xi_0 = 0$ ，由此順次各垂直断面的  $\xi_0$  及  $\eta_0$  值均可根据(10)式求得之。在某一直垂直断面的两端，由于地球偏轉力所引起的橫向駐立振動可用下式表之：

$$\frac{\omega \sin \varphi}{g} b \sigma \xi_0 \frac{\tan \left( \frac{\pi T'}{2} \right)}{\text{arc} \left( \frac{\pi T'}{2} \right)} \cos \left( \sigma t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (11)$$

在上式中， $\omega$  为地轉角速度， $\varphi$  为海面任一点的緯度， $T'$  为橫向自由振動的周期。將計算所得的每个垂直断面两端的縱向振動及橫向振動合成之后，即可根据某些測站來推算潮差的觀測值与計算值之比。垂直断面每一端点的潮差的計算值須乘上上述比例之平均值。本文作者取了与海灣中綫相垂直的 15 个断面，每一断面相隔为 10 哩，如圖 8 所示。

在辽东海灣的东南部有一海灣，即測站 32—35 所在之处。这个海灣的面积被分为相等的三部份，每一部份的面积分別加在位于 10—11, 11—

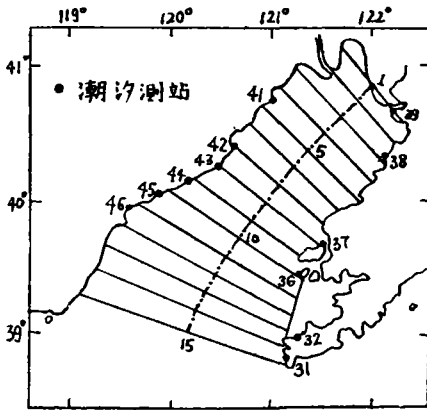


圖 8. 辽东海灣的縱断面

12, 12—13 各断面之間的区域上。本文作者計算了  $M_2$  及  $K_1$  潮。 $M_2$  潮的縱向振動在第 9.6 断面上有一节綫，但是  $K_1$  潮沒有这种节綫。本文作者發現，对于  $K_1$  潮，理論計算結果与观测頗为符合，但对于  $M_2$  潮两者相差頗大，所以这个理論对于  $M_2$  潮并不适用。后来在計算  $M_2$  潮时考虑了潮汐摩擦。在这种情况下， $\xi$  及  $\eta$  表为：

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \xi_1 \cos \sigma t + \xi_2 \sin \sigma t \\ \eta &= \eta_1 \cos \sigma t + \eta_2 \sin \sigma t \end{aligned} \right\} \dots\dots (12)$$

在上式中， $\xi_1, \xi_2, \eta_1, \eta_2$  均与時間無关，仅为  $x$  之函数，运动方程式及連續方程式为：

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} &= -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{k\rho}{h} \left( \frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2 \\ \eta &= -\frac{1}{b} \frac{\partial}{\partial x} (\xi S) \end{aligned} \right\} \dots\dots (13)$$

在上式中  $k$  为摩擦常数， $\rho$  为海水密度， $h$  为海深。由上面各式可以得到下列关系式：

$$\left. \begin{aligned} \Delta \eta_1 &= \left( \xi_1 - \frac{k\rho}{h} \xi_2^2 \right) \frac{\sigma^2}{g} \Delta x \\ \Delta \eta_2 &= \left( \xi_2 - \frac{k\rho}{h} \xi_1^2 \right) \frac{\sigma^2}{g} \Delta x \\ \xi_1 &= -\frac{1}{S} \int b \eta_1 dx \\ \xi_2 &= -\frac{1}{S} \int b \eta_2 dx \end{aligned} \right\} \dots\dots (14)$$

給海灣頂端之  $\eta_1$  及  $\eta_2$  以不同的值，則順次各断面上之  $\xi_1, \xi_2, \eta_1$  及  $\eta_2$  即可由(14)式算出。在計算中，設  $k=0.002, \rho=1$ ，而且第一次設海灣頂端之  $\eta_1=117$  槓， $\eta_2=0$ ；第二次設該处之  $\eta_1=100$  槓， $\eta_2=0$ 。这样所求得的海灣縱向振動再与由地轉力所引起之橫向振動結合起来。計算指

出：根据海灣頂端  $\eta_1=100$  槓， $\eta_2=0$  之假設所求得的结果与观测虽然并不完全符合，但尚称一致。

在本文作者于 1934 年所發表的論文中，又将 1932 年所得的計算結果与观测資料作了比較。1934 年可以利用的測潮站，由 1932 年的 6 个增至 12 个。計算及观测数值如下表所示。在計算  $M_2$  潮时，海灣頂端之  $H$  及  $k$  值，当不考虑潮汐摩擦时，分別取为 100 槓及  $180^\circ$ （而在前一篇文章中則取为 156 槓及  $167^\circ$ ）；在其他两种情况中，海灣頂端之  $k$  值亦取为  $180^\circ$ （而在前一篇文章中則取为  $170^\circ$ ）。 $k$  值均以  $135^\circ (9^h)E$  为标准。

表 3. 辽东海灣的潮汐

站号	断面	$M_2$ 潮			$K_1$ 值		
		計算值			观测值	計算值	
		I	II	III		計算值	观测值
31	14.4H(槓)	50	63	81	61	24	13
	$k(^\circ)$	24	19	17	359	63	54
32	13.0H(槓)	47	65	83	56	26	25
	$k(^\circ)$	38	33	32	27	66	69
36	9.8H(槓)	35	55	71	48	29	31
	$k(^\circ)$	86	73	71	61	85	83
37	7.7H(槓)	48	60	75	54	33	35
	$k(^\circ)$	128	102	99	121	89	92
38	2.8H(槓)	119	97	114	120	41	43
	$k(^\circ)$	157	148	147	163	92	100
39	1.0H(槓)	130	100	117	117	42	33
	$k(^\circ)$	180	180	180	179	104	116
41	4.5H(槓)	84	67	80	93	38	36
	$k(^\circ)$	202	178	175	184	114	118
42	7.0H(槓)	54	39	48	60	34	39
	$k(^\circ)$	219	175	168	192	117	116
43	8.0H(槓)	45	28	34	39	32	37
	$k(^\circ)$	237	178	167	188	120	118
44	9.2H(槓)	33	13	19	13	30	37
	$k(^\circ)$	261	167	147	209	121	122
45	10.3H(槓)	37	6	7	6	29	34
	$k(^\circ)$	285	210	159	300	127	120
46	11.3H(槓)	42	6	2	14	28	27
	$k(^\circ)$	301	280	226	346	133	116

I: 不考虑摩擦，断面 1 之  $H=100$  槓， $k=180^\circ$ 。

II: 考虑摩擦，断面 1 之  $H=100$  槓， $k=180^\circ$ 。

III: 考虑摩擦，断面 1 之  $H=117$  槓， $k=180^\circ$ 。

由上表可知，計算值与观测值的偏差，对于  $K_1$  潮來說，一般均很小，但对于  $M_2$  潮則有很大

的系統差。不过对于  $M_2$  潮, 当假定海灣頂端之  $H$  及  $k$  值分别为 100 厘米及  $180^\circ$ , 并同时考虑摩擦时(上表中之第 II 种情况), 这样所得的結果似乎与观测最为符合。在第 II 种情况下,  $k$  的計算值与观测值的偏差在 44, 45 及 46 三站上很大。在这些站上振幅  $H$  很小, 并且  $k$  值随着地点变化得很快, 所以要是断面的位置少許有些不同, 計算結果就相差很大。

圖 9 指出辽东海灣內由計算所得的  $M_2$  波之縱向振動, I 为不考虑潮汐摩擦时之情况, II, III 为考虑潮汐摩擦时之情况。由圖 9 可知, 海灣內之縱向振動, 由于潮汐摩擦之影响, 已不再是駐立振動了。潮波由灣口向灣頂前进。在灣頂潮汐位相受潮汐摩擦的影响并不大, 但在灣頂附近潮差有一些减小。

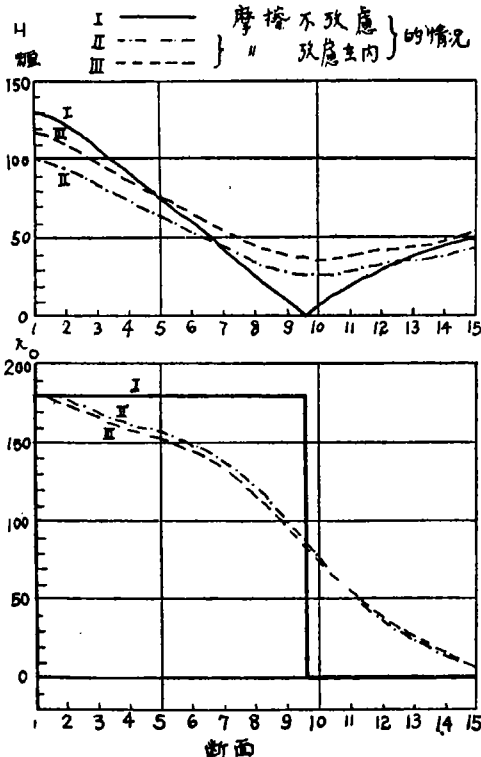


圖 9. 辽东海灣  $M_2$  潮之縱振。

如果没有潮汐摩擦, 潮流最大流速的时间, 在海灣內到处都应一样, 潮流的方向, 自灣頂的低潮时間起, 至高潮时間止, 应流向灣頂。另一方面, 潮汐摩擦使最大流速的时间自灣頂向灣口逐渐提早。下表指出  $M_2$  潮流的最大流速提早时

間(以  $M_2$  小时計)的計算值。

断面	提早時間	断面	提早時間	断面	提早時間
	$h$		$h$		$h$
1	0.0	6	0.5	11	1.1
2	0.1	7	0.5	12	1.3
3	0.1	8	0.6	13	1.6
4	0.3	9	0.7	14	1.8
5	0.4	10	0.9	15	2.1

上表之計算值与观测值頗为符合(見圖 6)。

显然, “狹海理論”是不能严密地应用于像辽东海灣这样一个海灣的。这是由于辽东海灣外面的海区——渤海——的面积, 若与辽东海灣本身的面积相比, 并不能算很大, 而且灣口附近潮流的方向又与灣內的相差很大之故(見圖 6 及 7)。故“狹海理論”只能近似地解释灣內之潮汐。

### 7. 黃海北部的潮汐的定性解释

視黃海北部为一整体, 这样的潮汐定量解释迄今尚未完成。但是这一区域内的潮汐, 如略去日、月直接作用在这海区海水上的天文扰力不計, 則可以作如下的定性解释。在研究潮汐时, 必須知道黃海北部各部份自由振動的周期。由于海区形状的不規則, 要計算准确的周期是很困难的。

下表指出根据  $2L/\sqrt{gh}$  这一公式計算所得的近似周期(以太陽时間計算)。在这公式中,  $L$  及  $h$  分别为海区之长及平均深度,  $g$  为重力加速度。

区 域	方 向	$L$	$h$	周期	
东 部 渤 海	SSE—NNW	115	40	6.0	
	E—W	155	18	12.1	
辽东海灣	縱 向	1	140	21	10.0
		2*	190	21	13.6
东部及渤海	E—W	380	32	22.0	

\* 包括渤海海峡以西, 自山东半島北端一点向西至大青河口这一联綫以北的区域。

#### A. $M_2$ 潮

首先探討辽东海灣及渤海的潮汐。由圖 6 可以看出, 如自渤海海峡中点向西北引一直綫, 則半日潮流的方向与此綫相切, 这正如我們从地形上可以預料到的一样。所以如果沿此綫置一假想的屏障, 則渤海中的潮汐不会受到多大的影响。

渤海中的潮汐，大部份是受渤海海峡以外海区中的潮汐所支持着的。如果没有地轉及潮汐摩擦，则东西向的縱振将为駐立振动，在本海区中部有一条南北向延伸的节綫，自由振动的周期約为 12 小时。地球偏轉力引起一个橫向駐立振动。由于这两种振动的結合，在本海区中央部份将产生一个無潮点。但是在实际情况下，由于潮汐摩擦的影响，海灣內的縱振将不再是駐波而是前进波了，并且無潮点移向南部（見圖 4）。潮流虽受摩擦的些微影响，但几乎是同时的，自西端之低潮時間起至高潮時間止，潮流自东向西。

辽东海灣的縱振是灣外海区中的潮汐所支持着的，这情况正与渤海中的完全相同。辽东海灣自由振动的周期約为 10 小时，假如没有潮汐摩擦，则海灣內縱振与橫振所形成之無潮点，应位于中綫上离灣頂約 86 浬之处，辽东海灣中的潮汐摩擦較渤海中更为显著，由于摩擦的影响，無潮点移向西方（見圖 4）。

由于潮汐摩擦的影响，当潮波逐渐向灣口接近时，最大流速的时间，漸次提早（見圖 6）。

沿渤海东西向的自由振动的周期約为 12 小时，所以渤海海峡稍外的海区是这个振动的波腹。这个波腹的位置由于受了摩擦以及辽东海灣潮汐的影响必然有所改变。因而，我們推測在渤海海峡附近应有一个弱流区域，这与圖 6 上所指出的海峡以东之海区相当。

适在渤海海峡之东的海区中的潮流，如上所述，其流速甚弱，所以由此向东延伸的海区中的潮汐所受渤海及辽东海灣的潮汐的影响不大。那末，黄海北部的东部的潮汐，大部份是受其南口以外海区，即黄海南部的潮汐所支持着的。如果我們將辽东海灣及渤海暫置不論，则黄海虽被山东半島分成两部分，并以海峡与渤海相通，但黄海仍然具有一个比較简单的形状。所以假如没有地轉及潮汐摩擦，由于南口外海区中的潮汐的支持，本海区中有一种超势将产生一个南北向的駐立振动。如不包括渤海及辽东海灣，黄海的自由振动的周期約为 17 小时，在黄海将存在着一节綫。黄海北部（山东高角及长山串联綫以北之海区，見圖 1）的自由振动的周期約为 6 小时，較  $M_2$  潮的周期之半稍小。所以黄海南北向振动的节綫应位在上述联綫稍南之处。实际上，由于受

了流經渤海海峡的潮流以及潮汐摩擦的影响，振动不再是駐波而帶有几分前进波的性質，并且在上述联綫附近潮波的传播速度很慢同时潮汐的振幅也很小。

在整个海区上最大流速的时间几乎为同时，北向的流速約在辽东半島南岸的低潮之后 3 小时达到最大，或者約在沿山东高角向 *ENE* 这一綫上的高潮時間达到最大。由于地球偏轉力的影响，在山东高角附近产生一个無潮点，但又因流經渤海海峡的潮流以及潮汐摩擦的影响，無潮点移向西方。

### B. $K_1$ 潮

辽东海灣縱向自由振动的周期約为 10 小时，灣內受灣口以外海区中（渤海）之全日潮所支持着的縱振几乎为駐波，振动的位相，在整个海灣內几乎相同。振幅自灣口向灣頂增加，最大流速的时间到处相同，潮流自灣頂之低潮起至高潮止，流向灣頂。地球偏轉力产生一种橫向振动。由于这两种振动的結合，才使潮波由东而西越过海灣，由于流速很小，潮汐摩擦的影响亦很小。

黄海北部（不包括辽东海灣）东西向的自由振动的周期約为 22 小时。所以在这个海区中，由于受到黄海南部的潮汐的支持，能够产生东西向的全日振动，而这个振动几乎为駐波，其节綫在这海区的中部。地球偏轉力引起一个几乎是駐波的橫向振动。这两个駐立振动的节綫在渤海海峡附近相交成为無潮点。潮流一般为东西向，流速向海区的中部增加。最大流速的时间在东部及西部几乎为同时，但在中部，由于出入辽东海灣的潮流的影响而有所提早，辽东海灣中最大流速的时间約較渤海中的早 4 小时。

（管秉賢譯，任允武校）

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 水路要报，第 11 年（1932），185。
- [ 2 ] 水路要报，第 12 年（1933），47。
- [ 3 ] 水路要报，第 15 年（1936），—。
- [ 4 ] 水路要报，第 11 年（1932），269。
- [ 5 ] 水路要报，第 13 年（1934），91。
- [ 6 ] 水路要报，第 15 年（1936），147。
- [ 7 ] 水路要报，第 11 年（1932），133; Hydrogr. Bull. Monaco, 10, 1(1933), 64。
- [ 8 ] 水路要报，第 15 年，（1936），—。
- [ 9 ] Phil. Trans. Roy. Soc. (A)224 (1924), 185。