

長周期潮 S_a , S_{sa} を求める簡便法とその成果

赤木 登・佐藤 静・多賀谷魁威

A BRIEF METHOD APPLIED FOR THE LONG-PERIOD TIDES S_a
AND S_{sa} , AND THE RESULTS BY MEANS OF THIS METHOD

Noboru Akagi, Sizu Satō and Yasumitu Tagaya

*Received 31 August 1967***Abstract**

The tidal harmonic constants for a port are expected to be nearly constant as long as the topography of the port was not extremely changed. It has been, however, shown by the calculated results up to date (Journal of the college of science, Imperial University, Tōkyō Vol. 28, Article 7) that the harmonic constants vary by the changes in the astronomical, meteorological and oceanic conditions, etc. Especially, the variation of the long-period tides is more remarkable than others. Accordingly, in order to obtain more reliable harmonic constants of the long-period tides which can be adopted for tidal prediction, we should not calculate them from the results of observations for only one year, but from those for several years. However, it is too laborious and inefficient to carry out many times harmonic analysis such as the T.I. method or Darwin method, when the principal purpose is in obtaining long-period tides.

Therefore, the brief method which obtains long-period tides S_a and S_{sa} by using twelve values of monthly mean sea levels for a year or several years will be described in this report. This method is the one obtaining the six unknowns by means of the method of least squares on the assumption that a curve which is drawn by twelve values of monthly mean sea levels of successive years or of a year consists of the six terms, i.e. constant, linear term concerning time and cosine and sine terms of the product of time and phase-increment per a solar day of S_a and S_{sa} . Using this method, we may also deduce the secular variations of ground or sea level. Moreover, in this report the harmonic constants, which have been calculated by means of this method, of long-period tides S_a and S_{sa} will also be included for 74 ports along the coasts of Japan.

1 ま え が き

ある場所の潮汐調和常数は、その場所の地形が極端に変わらない限り一定であるべきであるが、観測期間の違いや観測および計算の誤差などにより計算するたびに多少変動する。特に、長周期潮 S_a や S_{sa} は観測期間中の天文および気象条件や海況などに影響されるところが大きく、その変動もまた他の分潮のそれに比べて大きいということが現在までの計算結果（東京帝大理科紀要第28巻7）に示されている。したがって、わずか一年間の観測資料から求めた S_a や S_{sa} を潮汐予報に用いることは適当でなく、少なくとも数年間の観測資料から求めたものを用いるべきであろう。しかしながら、長周期潮だけを求めることを主目的とするときに、一般によく知られている T.I. 法や Darwin 法を適用して、何年分も計算することは余りにも多くの労力を要し、非能率的である。

そこで筆者はここに、1年あるいは数年間の12個の月平均水面値を用いて長周期潮 S_a や S_{sa} を求める簡便法について述べ、この方法により電子計算機 HIPAC 103 によって計算した日本沿岸74点における調和常数を報告する。

2 観測方程式の仮定

潮汐の調和分解を考える場合には、潮汐曲線が常数項、余弦項および正弦項で表わされるという仮定から出立するのが普通である。しかしながら観測期間中に地盤変動があった場合には、当然観測値にその影響が含まれる。したがって、このような仮定のもとに作られた計算様式に従うときは、あらかじめデータを修正してから計算に入るべきであろう。そこで、もしその期間中の地盤変動が時間に一次的に比例するようなものであれば、その影響を除去すると同時に地盤変動をも推定できるようにするために、ここでは前述の仮定のほかに、さらに時間に関する一次項を加えた次のような観測方程式を仮定してみた。

$$h_m = S_0 + \alpha d_m + a_{S_a} \cos \rho_{S_a} d_m + b_{S_a} \sin \rho_{S_a} d_m + a_{S_{sa}} \cos \rho_{S_{sa}} d_m + b_{S_{sa}} \sin \rho_{S_{sa}} d_m \quad (1)$$

ここに、

h_m : m 月の平均水面値

S_0 : 年平均水面値

α : 一太陽日あたりの平均水面、または地盤の変動量、+のときは平均水面の上昇、または地盤の沈下を示し、-のときはその逆を示す。

d_m : m 月中央日の1月1日0時からの経過日数

ρ_{S_a} : S_a 分潮の一太陽日あたりの位相増加量 = $0^\circ.985647$

$\rho_{S_{sa}}$: S_{sa} 分潮の一太陽日あたりの位相増加量 = $1^\circ.971295$

$\left. \begin{array}{l} a_{S_a} \\ b_{S_a} \end{array} \right\}$: S_a 分潮に関する未知数

$\left. \begin{array}{l} a_{S_{sa}} \\ b_{S_{sa}} \end{array} \right\}$: S_{sa} 分潮に関する未知数

で、 m は1~12までの整数である。

さらに、(1)式は

$$\left. \begin{array}{l} a_{S_a} = H_{S_a} \cos \zeta_{S_a}, \quad b_{S_a} = H_{S_a} \sin \zeta_{S_a} \\ a_{S_{sa}} = H_{S_{sa}} \cos \zeta_{S_{sa}}, \quad b_{S_{sa}} = H_{S_{sa}} \sin \zeta_{S_{sa}} \end{array} \right\} \quad (2)$$

とおくことにより、

$$h_m = S_0 + \alpha d_m + H_{S_a} \cos(\rho_{S_a} d_m - \zeta_{S_a}) + H_{S_{sa}} \cos(\rho_{S_{sa}} d_m - \zeta_{S_{sa}}) \quad (3)$$

となる。

3 観測方程式の解法

12個の h_m が与えられれば、(1)式における6個の未知数 S_0 , α , a_{S_a} , b_{S_a} , $a_{S_{sa}}$, $b_{S_{sa}}$ は最小二乗法により求めることができる。すなわち、まず(1)式に基づく12個の観測方程式から六元一次の正規方程式

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{m=1}^{12} h_m = \sum_{m=1}^{12} S_0 + \alpha \sum_{m=1}^{12} d_m + a_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_a} d_m + b_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_a} d_m \\ \dots \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned}
 & + a_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_{Sa}} d_m + b_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_{Sa}} d_m \\
 \sum_{m=1}^{12} h_m d_m = & S_0 \sum_{m=1}^{12} d_m + \alpha \sum_{m=1}^{12} d_m^2 + a_{S_a} \sum_{m=1}^{12} d_m \cos \rho_{S_a} d_m + b_{S_a} \sum_{m=1}^{12} d_m \sin \rho_{S_a} d_m \\
 & + a_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} d_m \cos \rho_{S_{Sa}} d_m + b_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} d_m \sin \rho_{S_{Sa}} d_m \\
 \sum_{m=1}^{12} h_m \cos \rho_{S_a} d_m = & S_0 \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_a} d_m + \alpha \sum_{m=1}^{12} d_m \cos \rho_{S_a} d_m + a_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \cos^2 \rho_{S_a} d_m + b_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_a} d_m \cos \rho_{S_a} d_m \\
 & + a_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_{Sa}} d_m \cos \rho_{S_a} d_m + b_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_{Sa}} d_m \cos \rho_{S_a} d_m \\
 \sum_{m=1}^{12} h_m \sin \rho_{S_a} d_m = & S_0 \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_a} d_m + \alpha \sum_{m=1}^{12} d_m \sin \rho_{S_a} d_m + a_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_a} d_m \sin \rho_{S_a} d_m + b_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \sin^2 \rho_{S_a} d_m \\
 & + a_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_{Sa}} d_m \sin \rho_{S_a} d_m + b_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_{Sa}} d_m \sin \rho_{S_a} d_m \\
 \sum_{m=1}^{12} h_m \cos \rho_{S_{Sa}} d_m = & S_0 \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_{Sa}} d_m + \alpha \sum_{m=1}^{12} d_m \cos \rho_{S_{Sa}} d_m + a_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_a} d_m \cos \rho_{S_{Sa}} d_m \\
 & + b_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_a} d_m \cos \rho_{S_{Sa}} d_m + a_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \cos^2 \rho_{S_{Sa}} d_m + b_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_{Sa}} d_m \cos \rho_{S_{Sa}} d_m \\
 \sum_{m=1}^{12} h_m \sin \rho_{S_{Sa}} d_m = & S_0 \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_{Sa}} d_m + \alpha \sum_{m=1}^{12} d_m \sin \rho_{S_{Sa}} d_m + a_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_a} d_m \sin \rho_{S_{Sa}} d_m \\
 & + b_{S_a} \sum_{m=1}^{12} \sin \rho_{S_a} d_m \sin \rho_{S_{Sa}} d_m + a_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \cos \rho_{S_{Sa}} d_m \sin \rho_{S_{Sa}} d_m + b_{S_{Sa}} \sum_{m=1}^{12} \sin^2 \rho_{S_{Sa}} d_m
 \end{aligned} \tag{4}$$

を得る。

ここで、 d_m は平年、閏年により異なり、月に大小があるために不等間隔となるので、計算開始時を任意にとることは、計算様式上不便である。したがって、計算様式上の便利のために、計算に用いる最初のデータ h_1 は常に1月の平均水面値とすることにする。このように決めた場合の平年および閏年に対する d_m , $\cos \rho_{S_a} d_m$, $\sin \rho_{S_a} d_m$, $\cos \rho_{S_{Sa}} d_m$, $\sin \rho_{S_{Sa}} d_m$ の値は TABLE 1 のようになる。TABLE 1 の値を用いて、(4)式の右辺の係数を求めると、TABLE 2 および TABLE 3 のようになる。また、(4)式の左辺は与えられたデータから容易に求めることができる。

さて、(4)式における未知数 S_0 , α , a_{S_a} , b_{S_a} , $a_{S_{Sa}}$, $b_{S_{Sa}}$ を求めるには TABLE 2 および TABLE 3 に掲げた係数を要素とするそれぞれの六次の正方行列の逆行列を求めておくことと便利である。TABLE 2 および TABLE 3 に対応する逆行列をそれぞれ TABLE 4 および TABLE 5 に掲げる。

いま、それらの逆行列の第 i 行 j 列の要素を y_{ij} 、(4)式の右辺の左から i 番目の未知数を x_i 、(4)式の第 j 番目の式の左辺を z_j とすれば (4)式の解は、

$$x_i = \sum_{j=1}^6 y_{ij} z_j$$

として求めることができる。この場合、観測年に適した逆行列を用いることはいうまでもない。かくして得られた a_{S_a} , b_{S_a} , $a_{S_{Sa}}$, $b_{S_{Sa}}$ から (3)式の H , ζ は (2)式の関係を用いて

$$\left. \begin{aligned}
 H_{S_a} &= \sqrt{a_{S_a}^2 + b_{S_a}^2}, & \zeta_{S_a} &= \tan^{-1} b_{S_a}/a_{S_a} \\
 H_{S_{Sa}} &= \sqrt{a_{S_{Sa}}^2 + b_{S_{Sa}}^2}, & \zeta_{S_{Sa}} &= \tan^{-1} b_{S_{Sa}}/a_{S_{Sa}}
 \end{aligned} \right\} \tag{5}$$

のように求められる。

(3)式および(5)式の(-ζ)は、紀元時における分潮の位相であるので、われわれが通常求めている g や κ を求めるには次に次のような改正を施さねばならない。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} g_{S_a} &= \zeta_{S_a} + V_{S_a G}, & \kappa_{S_a} &= g_{S_a} + \sigma_{S_a} S \\ g_{S_{2a}} &= \zeta_{S_{2a}} + V_{S_{2a} G}, & \kappa_{S_{2a}} &= g_{S_{2a}} + \sigma_{S_{2a}} S \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ここで、

- $V_{S_a G}$: グリニッチ子午線に準拠した S_a 分潮の引数
- $V_{S_{2a} G}$: グリニッチ子午線に準拠した S_{2a} 分潮の引数 $= 2V_{S_a G}$
- σ_{S_a} : 一太陽時あたりの S_a 分潮の位相増加量 $= 0^{\circ}0410686$
- $\sigma_{S_{2a}}$: 一太陽時あたりの S_{2a} 分潮の位相増加量 $= 0^{\circ}0821373$
- S : 観測地点の標準時刻帯を時で表わしたもので西経を+, 東経を-とする。

また、西暦 Y 年1月1日0時(G.M.T.)における $V_{S_a G}$ は、

$$V_{S_a G} = 280^{\circ}.190 - 0^{\circ}.23872(Y - 1900) + 0^{\circ}.98565 \ell$$

ただし、 ℓ は $(Y - 1901)$ を4で除した商の整数部、すなわち、1900年以降 $Y - 1$ 年までに含まれる閏年の回数である。

4 本法のHIPAC 103用プログラム

本法を迅速かつ正確に行なうために作成したHIPAC 103用の計算プログラムの概要は、Fig.1のフローチャートに示すとおりである。このプログラムは、命令・作業用番地を含めて563語の記憶番地を占め、一度完成したプログラムは、セルフロードングテープにしておけば、全くシステムプログラムに無関係に用いられるように、データ読み込みの命令をも含んでいる。また、(4)式の解法については、3節で述べたように、観測年の平、閏を判別(累年月平均値をデータとしたときは平年として扱う)してTABLE 4およびTABLE 5の逆行列を使い分けるようにし、単なる積和を求めることによって解を得るようにした。HIPAC 103による計算およびプリントの所要時間は、100箇所分につき約5分である。

5 観測方程式の検討

観測方程式の仮定の適否を検討するために、 $H_{S_a} = 20.2\text{cm}$, $\kappa_{S_a} = 171^{\circ}$, $H_{S_{2a}} = 1.7\text{cm}$, $\kappa_{S_{2a}} = 307^{\circ}$ と $H_{S_a} = 7.7\text{cm}$, $\kappa_{S_a} = 109^{\circ}$, $H_{S_{2a}} = 11.5\text{cm}$, $\kappa_{S_{2a}} = 118^{\circ}$ との2組の推算値に、 $\alpha = \pm 0.01\text{cm} \sim \pm 0.05\text{cm}$ の長期変動を加えたデータを用い、観測方程式に時間に関する一次項を入れた場合と入れない場合の二通りの方法で各分潮の調和常数を算出し、その結果をTABLE 6に示した。TABLE 6によれば、前者の方法によるときは、ほぼ完全にもとの分潮の調和常数を求めることができるが、後者の方法によるときは、 $|\alpha|$ が大きくなるにつれて求められた分潮の調和常数と、もとの調和常数との差も大きくなることからわかる。よって、観測方程式の中に時間に関する一次項を入れるという仮定は、決して無意味ではないと考える。

6 日本沿岸における S_a , S_{2a} の調和常数

まえがきで述べたように、 S_a , S_{2a} の調和常数は、観測年によって非常に変動が大きいため、各年ごとに求めた調和常数から、数年間の平均的調和常数を求めるためには、単なる算術平均ではなく、分潮ごとにベクトル的に平均すべきである。すなわち、ある分潮について n 年間の n 組の調和常数 $H_1, \kappa_1, H_2, \kappa_2, \dots, H_n, \kappa_n$ があった場合には n 年の平均を表わす \bar{H} , $\bar{\kappa}$ は、

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n H_i \cos \kappa_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n H_i \sin \kappa_i\right)^2}$$

$$\bar{\kappa} = \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n H_i \sin \kappa_i}{\sum_{i=1}^n H_i \cos \kappa_i} \right)$$

のように計算されるべきである。

しかしながら、 S_a や S_{sa} のように、各年の同月同日の釣合潮の引数 (V_G) がほぼ同じである場合には、累年の月平均値をデータとして調和解すれば、同期間を1年単位で調和解して得た値を上述の方法で平均した結果と、ほぼ同じ結果を得ることができる。また、累年月平均値は験潮を実施している各機関によって、しばしば発表されているし、累年月平均値をデータとすれば、データパンチも容易になるので、累年月平均値をデータとして計算した日本沿岸74点の S_a および S_{sa} の調和常数を TABLE 7 に掲げた。TABLE 7 中の観測者欄に記した G, H, M の略号は観測者が国土地理院、水路部、気象庁であることを示す。

TABLE 7 を見ると、北海道の北岸および南岸を除く日本近海の平均水面の季節変化は、主として S_a 潮に支配され、おおむね2~4月に最低、8~9月に最高となり、その潮差は九州西岸で約40cm、東進するにつれて次第に減少し、本州東岸で約25cm、日本海側でも北進するにつれて次第に減少し、北海道西岸で約25cmとなることがわかる。一方、北海道北岸および南岸においては、本州および九州沿岸と異なり、年間の最高・最低の潮差は20cm以下と小さく、 S_a の振幅に対する S_{sa} の振幅の比が大きく平均水面の季節変化には、4月と10月に極小（4月の方が低い）、7~8月と12~1月に極大（7~8月の方が高い）があるのが特徴的である。このようにこの地方において、他の地方と異なった様相を示す原因は何かということ、きわめて興味ある問題である。平均水面の季節変化の原因は、主として海水の密度変化や気圧の変化によるものであることが、既に野満博士によって発表されている。この地方におけるこの特異現象も、親潮系に面している港のみ現われていることから、親潮の消長ともなう海水の密度変化に密接な関係があると思われることは、想像に難くないが、親潮との量的関係を論ずるだけの十分な海洋観測資料がないため、海水の密度変化との関係についての確証を得ることができないのが残念である。

一方、気圧との関係を調べるために、雄武、網走、釧路、浦河、富江、輪島の6か所について、平均水面を解析したと同様な方法で、5か年累年月平均気圧を調和解し、その結果を TABLE 8 に掲げた。これからわかることは、北海道北岸および南岸においては、気圧の季節変化にも S_a 潮に対して1.1~1.9倍の S_{sa} 潮が認められ、富江や輪島などとは異なった傾向を示していることである。また、TABLE 8 には気圧1mbの変化に対する平均水面の変化が1cmとした場合の各分潮の気圧から求められた振幅と、平均水面から求められた振幅との比も示した。これによると、気圧の影響は S_a 潮では0.2~0.5、 S_{sa} 潮では0.4~0.7であり、平均水面の変化におよぼす気圧の影響は S_a 潮より S_{sa} 潮の方が効果的であるようである。したがって、北海道北岸および南岸では、気圧の季節変化において S_a 潮より S_{sa} 潮が大きいうえに、平均水面の変化におよぼす気圧の影響は、 S_{sa} 潮の方が効果的であるということが手伝ってこの地方独特の平均水面の季節変化を示すものと思われる。

7 む す び

この方法は累年月平均値をデータとする場合には、各分潮の引数 (V_G) に平均的な値を用いているので、略算とも考えられるが、平均的引数と実際の引数との差は S_a で $\pm 0.5^\circ$ 、 S_{sa} で $\pm 1^\circ$ 以内であるので分潮の性質から考えれば、求められた結果には十分信用がつけ、極めて有効的方法と考える。また、地盤沈下の激しい大阪における α の値に注目してみると、隣接の神戸、洲本、淡輪などとは異なった傾向を示していることがわかる。

よって、地盤変動の詳しい調査は別として、隣接験潮所の同一期間の観測資料から求めた α の値を比較検討することは、地盤変動の傾向を把握するのに役立つであろう。おわりに、本報告作成には庄司海象課長から助言をいただいたことならびに国土地理院および気象庁の多大の観測資料を拝借したことを記し、関係者各位ならびにプログラミングに際して協力を賜わった計算機室の諸氏に対し深甚なる謝意を表する次第である。(海象課)

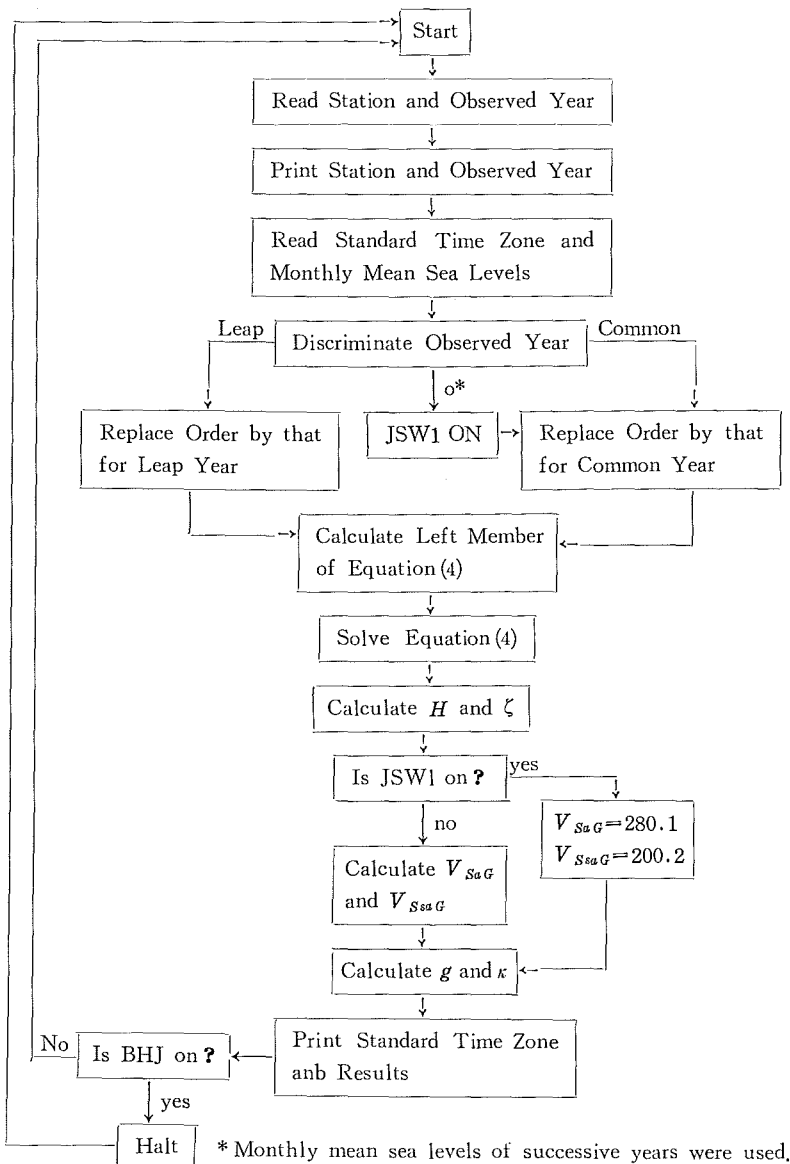


Fig. 1 Flow Chart of Analysis by HIPAC103

TABLE 1. VALUES OF d_m , $\cos \rho_{sa}d_m$, $\sin \rho_{sa}d_m$, $\cos \rho_{Ssa}d_m$ AND $\sin \rho_{Ssa}d_m$ FOR COMMON AND LEAP YEAR

For Common Year						For Leap Year				
m	d_m	$\cos \rho_{sa}d_m$	$\sin \rho_{sa}d_m$	$\cos \rho_{Ssa}d_m$	$\sin \rho_{Ssa}d_m$	d_m	$\cos \rho_{sa}d_m$	$\sin \rho_{sa}d_m$	$\cos \rho_{Ssa}d_m$	$\sin \rho_{Ssa}d_m$
1	15.5	0.96466	0.26349	0.86114	0.50837	15.5	0.96466	0.26349	0.86114	0.50837
2	45.0	0.71503	0.69909	0.02254	0.99975	45.5	0.70899	0.70522	0.00534	0.99999
3	74.5	0.28517	0.95848	-0.83735	0.54667	75.5	0.26864	0.96324	-0.85566	0.51754
4	105.0	-0.23333	0.97240	-0.89112	-0.45377	106.0	-0.25002	0.96824	-0.87498	-0.48416
5	135.5	-0.68905	0.72471	-0.05041	-0.99873	136.5	-0.70142	0.71275	-0.01603	-0.99987
6	166.0	-0.95940	0.28205	0.84090	-0.54120	167.0	-0.96411	0.26550	0.85902	-0.51195
7	196.5	-0.97163	-0.23649	0.88814	0.45957	197.5	-0.96742	-0.25317	0.87181	0.48985
8	227.5	-0.71649	-0.69760	0.02671	0.99964	228.5	-0.70438	-0.70982	-0.00770	0.99997
9	258.0	-0.27065	-0.96268	-0.85350	0.52110	259.0	-0.25405	-0.96719	-0.87092	0.49143
10	288.5	0.24800	-0.96876	-0.87699	-0.48051	289.5	0.26463	-0.96435	-0.85994	-0.51039
11	319.0	0.69993	-0.71421	-0.02019	-0.99980	320.0	0.71211	-0.70207	0.01421	-0.99990
12	349.5	0.96355	-0.26751	0.85688	-0.51552	350.5	0.96801	-0.25090	0.87410	-0.48574

TABLE 2. COEFFICIENTS IN THE NORMAL EQUATION (4) FOR COMMON YEAR

S_o	a	a_{sa}	b_{sa}	a_{Ssa}	b_{Ssa}
1.200000×10	2.1805000×10^3	3.5800426×10^{-2}	5.2966777×10^{-2}	$-3.3252306 \times 10^{-2}$	4.5566344×10^{-2}
2.1805000×10^3	5.2883275×10^5	$-9.1953031 \times 10^{-1}$	-7.0029191×10^2	-8.4105797	-3.6478643×10^2
3.5800426×10^{-2}	$-9.1953031 \times 10^{-1}$	5.9833707	2.2783245×10^{-2}	$-1.3124306 \times 10^{-2}$	5.4931879×10^{-2}
5.2966777×10^{-2}	-7.0029191×10^2	2.2783245×10^{-2}	6.0166294	1.9651181×10^{-3}	4.8936957×10^{-2}
$-3.3252306 \times 10^{-2}$	-8.4105797	$-1.3124306 \times 10^{-2}$	1.9651181×10^{-3}	5.9686893	$-7.8620298 \times 10^{-3}$
4.5566344×10^{-2}	-3.6478643×10^2	5.4931879×10^{-2}	4.8936957×10^{-2}	$-7.8620298 \times 10^{-3}$	6.0313106

TABLE 3. COEFFICIENTS IN THE NORMAL EQUATION (4) FOR LEAP YEAR

S_0	α	a_{ss}	b_{ss}	$a_{S_{ss}}$	$b_{S_{ss}}$
1.2000000×10^1	2.1910000×10^3	4.5651337×10^{-2}	3.0947563×10^{-2}	3.9926477×10^{-4}	1.5130253×10^{-2}
2.1910000×10^3	5.3312800×10^5	1.0200084×10	-7.0131912×10^2	4.3322639	-3.6630504×10^2
4.5651337×10^{-2}	1.0200084×10	6.0001965	7.5650862×10^{-3}	1.8418293×10^{-2}	3.3957406×10^{-2}
3.0947563×10^{-2}	-7.0131912×10^2	7.5650862×10^{-3}	5.9998063	3.0096637×10^{-3}	2.7245287×10^{-2}
3.9926477×10^{-4}	4.3322639	1.8418293×10^{-2}	3.0096637×10^{-3}	5.9998636	$-8.3678148 \times 10^{-3}$
1.5130253×10^{-2}	-3.6630504×10^2	3.3957406×10^{-2}	2.7245287×10^{-2}	$-8.3678148 \times 10^{-3}$	6.0001364

TABLE 4. INVERSE MATRIX FOR SOLVING NORMAL EQUATION (4) FOR COMMON YEAR

1.340732323	$-6.891407079 \times 10^{-3}$	$-2.141459076 \times 10^{-3}$	$-8.104848182 \times 10^{-1}$	$-2.532959597 \times 10^{-3}$	$-4.203437434 \times 10^{-1}$
$-6.891407079 \times 10^{-3}$	$3.776987687 \times 10^{-5}$	$9.055587815 \times 10^{-6}$	$4.438056612 \times 10^{-3}$	$1.641812814 \times 10^{-5}$	$2.300395775 \times 10^{-3}$
$-2.141459076 \times 10^{-3}$	$9.055587815 \times 10^{-6}$	$1.671520095 \times 10^{-1}$	$4.476020069 \times 10^{-4}$	$3.669596666 \times 10^{-4}$	$-9.616581809 \times 10^{-4}$
$-8.104848182 \times 10^{-1}$	$4.438056612 \times 10^{-3}$	$4.476020069 \times 10^{-4}$	$6.877085916 \times 10^{-1}$	$1.867276568 \times 10^{-3}$	$2.689646566 \times 10^{-1}$
$-2.532959597 \times 10^{-3}$	$1.641812814 \times 10^{-5}$	$3.669596666 \times 10^{-4}$	$1.867276568 \times 10^{-3}$	$1.675517831 \times 10^{-1}$	$1.212056391 \times 10^{-3}$
$-4.203437434 \times 10^{-1}$	$2.300395775 \times 10^{-3}$	$-9.616581809 \times 10^{-4}$	$2.689646566 \times 10^{-1}$	$1.212056391 \times 10^{-3}$	$3.059379388 \times 10^{-1}$

TABLE 5. INVERSE MATRIX FOR SOLVING NORMAL EQUATION (4) FOR LEAP YEAR

1.302041370	$-6.661029862 \times 10^{-3}$	$4.691012451 \times 10^{-3}$	$-7.834888648 \times 10^{-1}$	$4.534845347 \times 10^{-3}$	$-4.063980936 \times 10^{-1}$
$-6.661029862 \times 10^{-3}$	$3.640696102 \times 10^{-5}$	$-2.909569164 \times 10^{-5}$	$4.279948020 \times 10^{-3}$	$-2.480603504 \times 10^{-5}$	$2.220117598 \times 10^{-3}$
$4.691012451 \times 10^{-3}$	$-2.909569164 \times 10^{-5}$	$1.666964297 \times 10^{-1}$	$-3.622808247 \times 10^{-3}$	$-4.929958558 \times 10^{-4}$	$-2.715750576 \times 10^{-3}$
$-7.834888648 \times 10^{-1}$	$4.279948020 \times 10^{-3}$	$-3.622808247 \times 10^{-3}$	$6.698223590 \times 10^{-1}$	$-3.000172766 \times 10^{-3}$	$2.602389721 \times 10^{-1}$
$4.534845347 \times 10^{-3}$	$-2.480603504 \times 10^{-5}$	$-4.929958558 \times 10^{-4}$	$-3.000172766 \times 10^{-3}$	$1.666893027 \times 10^{-1}$	$-1.276951366 \times 10^{-3}$
$-4.063980936 \times 10^{-1}$	$2.220117598 \times 10^{-3}$	$-2.715750576 \times 10^{-3}$	$2.602389721 \times 10^{-1}$	$-1.276951366 \times 10^{-3}$	$3.020565367 \times 10^{-1}$

TABLE 6. COMPARISON BETWEEN THE RESULTS FROM TWO CASES WHICH INCLUDE OR NEGLECT LINEAR TERM CONCERNING TIME IN THE OBSERVATION EQUATION

α	S_a			S_{sa}			S_a			S_{sa}			Harmonic Constants to be expected
	H	κ	g	H	κ	g	H	κ	g	H	κ	g	
cm	cm	°	°	°	°	°	cm	°	°	cm	°	°	
-0.01	20.1	171	171	1.7	305	305	18.9	170	170	2.3	300	301	$S_a \left\{ \begin{array}{l} H=20.2\text{cm} \\ \kappa=171^\circ \end{array} \right.$
-0.02	20.3	171	171	1.6	311	312	17.8	168	168	2.9	301	301	
-0.03	19.9	171	171	1.8	304	304	16.5	167	167	3.7	296	297	
-0.04	20.1	170	170	1.8	313	313	15.8	164	164	4.2	299	300	
-0.05	20.2	171	171	1.8	308	309	14.8	163	163	4.8	296	297	
0.01	20.6	170	171	1.7	315	316	21.3	171	171	1.4	322	323	$S_{sa} \left\{ \begin{array}{l} H=1.7\text{cm} \\ \kappa=307^\circ \end{array} \right.$
0.02	20.4	170	171	1.8	309	310	22.5	172	172	0.8	337	338	
0.03	20.8	170	171	1.6	317	318	23.8	173	173	0.8	34	35	
0.04	20.6	171	172	1.5	306	307	24.6	174	175	0.8	76	77	
0.05	20.5	171	171	1.6	311	312	25.6	175	175	1.4	84	85	
-0.01	7.7	109	109	11.7	119	120	7.7	100	100	11.1	120	120	$S_a \left\{ \begin{array}{l} H=7.7\text{cm} \\ \kappa=109^\circ \end{array} \right.$
-0.02	7.8	110	110	11.8	118	119	7.8	91	91	10.5	119	120	
-0.03	7.7	107	108	11.6	119	120	8.1	81	81	9.7	121	122	
-0.04	8.0	108	108	11.6	118	118	8.7	76	76	9.2	120	121	
-0.05	7.9	109	109	11.6	118	119	9.0	69	70	8.7	122	122	
0.01	8.2	111	112	11.7	117	118	8.4	117	117	12.2	117	118	$S_{sa} \left\{ \begin{array}{l} H=11.5\text{cm} \\ \kappa=118^\circ \end{array} \right.$
0.02	8.1	110	110	11.6	118	119	8.8	125	125	12.8	117	118	
0.03	8.2	112	113	11.8	117	118	9.5	132	132	13.5	116	117	
0.04	7.9	112	113	11.8	119	120	9.8	138	138	14.0	117	118	
0.05	8.0	111	111	11.8	118	119	10.5	141	142	14.6	116	117	

TABLE 7. HARMONIC CONSTANTS OF S_a AND S_{sa} ALONG THE COASTS OF JAPAN

Place	Position		α	S_a			S_{sa}			Period of Observation	Observer
	Lat. N.	Long. E.		H	κ	g	H	κ	g		
Monbetu	44 21	143 22	0.00	4.3	200	200	4.7	236	237	1956~1963	H
Abasiri	44 01	144 17	-0.02	7.8	206	207	5.3	233	234	1959~1963	M
Hanasaki	43 17	145 35	-0.02	5.4	209	209	3.1	241	242	"	M
Kusiro	42 58	144 22	-0.02	6.1	197	198	3.8	240	241	"	M
Urakawa	42 10	142 46	-0.01	4.8	175	175	4.2	250	251	1958~1966	H
Hakodate	41 47	140 43	-0.01	8.3	178	179	4.8	251	252	1959~1963	M
Aomori	40 50	140 46	-0.02	14.5	179	179	3.7	266	267	"	M
Asamusi	40 54	140 52	-0.01	12.1	173	173	4.0	237	238	"	G
Ōminato	41 15	141 09	0.00	10.4	171	171	3.4	228	229	1954~1963	H
Hatinohe	40 32	141 31	-0.02	13.9	180	180	3.0	236	237	1959~1963	M
Miyako	39 38	141 58	-0.02	12.5	183	183	3.2	235	236	"	M
Kamaisi	39 16	141 54	-0.01	10.3	178	179	3.2	226	227	1954~1963	H
Ayukawa	38 18	141 31	-0.03	14.0	188	188	3.8	223	224	1959~1963	M
Onahama	36 56	140 55	-0.02	13.5	189	189	2.9	224	225	"	M
Tyōsi	35 44	140 50	-0.02	14.1	194	195	1.9	219	220	"	M
Mera	34 55	139 50	-0.02	11.5	185	185	2.0	166	167	"	M
Katidokibasi	35 40	139 46	-0.02	11.5	175	176	2.8	172	173	"	M
Sibaura [Tōkyō]	35 38	139 45	-0.02	12.1	170	170	2.7	187	187	1961~1966	H
Yokohama	35 26	139 40	-0.03	13.2	180	180	3.3	159	160	1963~1965	H
Yokosuka	35 17	139 39	-0.02	10.5	174	175	2.0	183	183	1961~1966	H

TABLE 7. HARMONIC CONSTANTS OF S_a AND S_{sa} ALONG THE COASTS OF JAPAN—CONTINUED

Place	Position		α	S_a			S_{sa}			Period of Observation	Observer
	Lat, N.	Long, E.		H	κ	g	H	κ	g		
Okada (Ōsima)	34 47	139 24	-0.07	17.8	181	181	3.2	127	128	1959~1963	M
Aburatubo	35 09	139 37	-0.02	11.4	178	179	2.3	170	171	"	G
Itō	34 58	139 06	-0.02	12.1	180	180	2.1	175	176	"	M
Utiura	35 01	138 54	-0.02	14.3	172	172	2.8	173	173	"	M
Simizu	35 00	138 30	-0.02	14.4	172	172	2.5	153	153	"	M
Omaezaki	34 36	138 14	-0.02	14.7	172	172	2.3	134	135	"	M
Maisaka	34 41	137 37	-0.03	15.4	162	163	2.6	115	116	"	M
Nagoya	35 05	136 53	-0.02	17.9	158	158	2.7	136	136	"	M
Toba	34 29	136 51	-0.02	17.2	166	166	3.1	139	140	"	M
Owase	34 04	136 12	0.01	10.5	149	150	2.2	160	161	1955~1959	M
Uragami	33 33	135 54	-0.04	18.0	166	167	1.8	169	170	1959~1963	M
Kusimoto	33 28	135 46	-0.02	13.8	163	163	2.2	150	151	"	M
Simotu	34 06	135 09	-0.02	16.2	159	160	3.8	134	135	"	M
Kainan	34 09	135 12	-0.01	15.5	156	156	2.3	159	160	"	G
Wakayama	34 13	135 09	-0.02	16.5	157	157	2.5	146	147	"	M
Komatuzima	33 59	134 37	-0.01	16.1	155	155	2.1	136	136	"	M
Tannowa	34 20	135 10	-0.01	15.1	155	155	2.1	208	209	"	M
Ōsaka	34 39	135 26	0.02	16.1	157	158	2.8	188	189	"	M
Kōbe	34 41	135 11	0.00	17.7	155	155	1.5	203	203	"	M
Sumoto	34 20	134 54	-0.02	17.3	159	159	3.6	158	159	"	M
Uno	34 29	133 57	0.00	16.6	152	152	1.2	159	160	"	M
Takamatu	34 21	134 03	-0.01	17.8	153	153	1.4	144	145	"	M
Matuyama	33 52	132 43	-0.01	16.0	158	158	2.3	162	163	"	M
Kure	34 14	132 33	0.00	15.6	152	153	0.4	189	189	1955~1966	H
Tokuyama	34 02	131 48	0.00	16.2	152	152	0.3	88	89	1954~1966	H
Simonoseki	33 58	130 57	0.00	18.8	148	149	1.0	173	173	1959~1963	M
Mozi	33 57	130 58	0.00	18.6	150	150	0.3	210	211	1959~1966	H
Kōti	33 30	133 35	-0.01	16.0	156	156	1.5	108	109	1959~1963	M
Kōti	33 30	133 34	-0.01	15.6	153	153	1.5	119	120	"	G
Tosasimizu	32 47	132 58	-0.01	14.5	156	157	1.2	114	115	"	M
Uwazima	33 14	132 33	0.00	14.5	154	154	1.4	166	167	"	M
Hosozima	32 26	131 40	0.00	14.2	154	154	1.4	131	131	"	G
Aburatu	31 35	131 25	-0.01	14.8	161	161	1.9	116	117	"	M
Kagosima	31 36	130 34	-0.02	19.4	158	159	1.4	99	100	"	M
Makurazaki	31 16	130 18	-0.01	17.8	153	154	1.5	103	103	"	M
Nase	28 23	129 30	-0.01	17.0	148	148	1.1	262	263	1957~1966	H
Minamata	32 12	130 23	0.00	18.2	148	149	1.7	334	335	1932~1950	M
Misumi	32 37	130 27	-0.01	20.2	152	152	1.0	80	81	1959~1963	M
Megami	32 43	129 51	0.00	17.2	146	147	0.9	92	93	1950~1960	M
Hukabori	32 41	129 49	-0.01	20.0	150	150	0.5	62	63	1959~1963	M
Tomie	32 37	128 46	-0.01	20.2	153	153	0.4	129	129	"	M
Sasebo	33 10	129 43	0.00	19.3	148	149	0.8	33	34	1959~1966	H

TABLE 7. HARMONIC CONSTANTS OF S_a AND S_{sa} ALONG THE COASTS OF JAPAN—CONTINUED

Place	Position		α	S_a			S_{sa}			Period of Observatio	Observer
	Lat. N.	Long. E.		H	κ	g	H	κ	g		
Izuhara	34 12	129 18	0.00	18.2	155	156	0.7	282	283	1959~1966	<i>H</i>
Tonoura	34 54	132 04	0.00	19.5	155	155	3.0	230	231	1959~1963	<i>M</i>
Sakai	35 33	133 14	-0.01	18.2	155	155	3.7	238	239	"	<i>M</i>
Saigō	36 12	133 20	0.00	17.9	165	165	2.4	204	205	"	<i>M</i>
Miyazu	35 32	135 12	0.00	18.4	164	164	4.0	230	230	"	<i>M</i>
Maizuru	35 29	135 24	0.00	17.4	163	164	3.4	235	236	1959~1966	<i>H</i>
Wazima	37 24	136 54	-0.01	17.5	171	171	5.2	226	227	1959~1963	<i>G</i>
Kasiwazaki	37 21	138 31	-0.01	15.8	178	179	5.6	227	228	"	<i>G</i>
Nezugaseki	38 34	139 33	-0.01	14.8	179	180	5.6	228	229	"	<i>G</i>
Iwasaki	40 35	139 54	-0.01	13.8	164	165	3.9	224	224	"	<i>M</i>
Osyoro	43 13	140 52	-0.01	10.9	154	155	3.8	231	232	"	<i>G</i>
Wakkanai	45 25	141 41	0.00	10.3	154	154	2.1	204	204	"	<i>M</i>

TABLE 8. HARMONIC CONSTANTS OF S_a AND S_{sa} IN SEASONAL CHANGE IN BAROMETRIC PRESSURE

Place	S'_a		S'_{sa}		H'_{Ssa}/H'_{sa}	H'_{sa}/H_{sa}	H'_{Ssa}/H_{Ssa}	Period of Observation
	H'	κ'	H'	κ'				
Omu (instead of Monbetu)	2.1	272	2.4	35	1.1	0.5	0.5	1959~1963
Abasiri	1.8	274	2.6	36	1.4	0.2	0.5	"
Kusiro	1.4	284	2.7	38	1.9	0.2	0.7	"
Urakawa	1.7	294	2.8	41	1.6	0.4	0.7	"
Tomie	7.5	293	0.8	71	0.1	0.4	(2.0)	"
Wazima	5.0	299	2.2	44	0.4	0.3	0.4	"

Note.— The letters marked with ' mean the values concerning Barometric Pressure,