

一昼夜潮汐・潮流データ解析の一試み

赤木 登 ・ 海洋資料センター

A Trial on the Tidal Analysis for 24 Lunar Hour Observations

By

Noboru Akagi : Japan Oceanographic Data Center

1. まえがき

近年、観測計器及びその設置技術の発達により、潮流の長期連続観測は容易に行われるようになった。しかしながら、限られた期間内で広範囲にわたる観測を実施する場合には、使用計器の数の制約を受け、ことごとく長期連続観測を実施することは困難であり、まだまだ一昼夜観測にあまじなければならない状況にある。また、過去の観測資料の中にも相当数の一昼夜観測資料がある。そこで、ここでは一昼夜観測データ解析の一試みについて報告する。

2. 解析の方法

時刻原点を観測期間のほぼ中央にとり、太陰時で - 1 1 時から 1 2 時までの 2 4 個の観測値を用い、これらの点を結んだ曲線が

$$h_t = A_0 + \sum R_i \cos(15^\circ i t - \zeta_i)$$

で表わされると仮定すれば ($i = 1, 2, \dots$)

$$A_0 = \frac{1}{24} \sum_{t=-11}^{12} h_t, \quad A_i = \frac{1}{12} \sum_{t=-11}^{12} h_t \cos 15^\circ i t, \quad B_i = \frac{1}{12} \sum_{t=-11}^{12} h_t \sin 15^\circ i t$$

$$R_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}, \quad \zeta_i = \tan^{-1} \frac{B_i}{A_i}$$

により A_0, R_i, ζ_i を求めることができる。このようにして求められた R_i や ζ_i は観測当日の天文条件によって第 1 図～第 1 2 図に示すように変化し、定数とみなすことはできない。そこで、先ず $i = 1$ の場合について考えると R_1 や ζ_1 は、主要日周分潮 K_1, O_1, P_1 等が合成されたものの振幅及び遅角と考えられるので次のように書くことができる。

$$R_1 \cos(15^\circ t - \zeta_1) \doteq f'H' \cos(V'_0 + \sigma't - \kappa') + f_0 H_0 \cos(V_{00} + \sigma_0 t - \kappa_0) + H_p \cos(V_{0p} + \sigma_p t - \kappa_p) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 f' 、 f_0 は K_1 、 O_1 分潮の天文因数、 H' 、 H_0 、 H_p は K_1 、 O_1 、 P_1 分潮の振幅、 V'_0 、 V_{00} 、 V_{0p} は K_1 、 O_1 、 P_1 分潮の平衡引数、 σ' 、 σ_0 、 σ_p は K_1 、 O_1 、 P_1 分潮の 1 太陰時当りの角速度、 κ' 、 κ_0 、 κ_p は K_1 、 O_1 、 P_1 分潮の遅角である。更に、 $f_0/f' = r'_0, H_0/H' = r_0, H_p/H' = r_p, \kappa' - \kappa_0 = \Delta_0, \kappa' - \kappa_p = \Delta_p,$

$\sigma' \doteq \sigma_o \doteq \sigma_p \doteq 15^\circ$ / 太陰時とすると(1)式の右辺は

$$f'H' \{ \cos(V'_o + 15^\circ t - \kappa') + r'_o r_o \cos(V_{oo} + 15^\circ t + \Delta_o - \kappa') + (1/f')r_p \cos(V_{op} + 15^\circ t + \Delta_p - \kappa') \} \\ = f' j_1 H' \cos(15^\circ t - \delta_1) \dots \dots \dots (2)$$

のように変形される。

ただし、

$$\delta_1 = \tan^{-1} \frac{\sin(V'_o - \kappa') + r'_o r_o \sin(V_{oo} + \Delta_o - \kappa') + (r_p/f') \sin(V_{op} + \Delta_p - \kappa')}{\cos(V'_o - \kappa') + r'_o r_o \cos(V_{oo} + \Delta_o - \kappa') + (r_p/f') \cos(V_{op} + \Delta_p - \kappa')} \dots \dots \dots (3)$$

$$j_1 = [\{ \sin(V'_o - \kappa') + r'_o r_o \sin(V_{oo} + \Delta_o - \kappa') + (r_p/f') \sin(V_{op} + \Delta_p - \kappa') \}^2 \\ + \{ \cos(V'_o - \kappa') + r'_o r_o \cos(V_{oo} + \Delta_o - \kappa') + (r_p/f') \cos(V_{op} + \Delta_p - \kappa') \}^2]^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

である。

(1)式の左辺と(2)式の右辺は等しいと考えられるので、

$$\delta_1 = \zeta_1, \quad f' j_1 H' = R_1$$

一方、(3)式及び(4)式に含まれている $V'_o, V_{oo}, V_{op}, r'_o, f'$ の時刻原点における値は別途計算できる。

従って、(3)式に含まれる未知数は κ' だけとなり、逐次近似法により(3)式の右辺の値が ζ_1 に等しくなるような κ' を求めることができる。このようにして求めた κ' を(4)式に代入して j_1 を求め、

$$H' = R_1 / f' j_1$$

により H' が求まる。更に、 $H_o = r_o H', H_p = r_p H', \kappa_o = \kappa' - \Delta_o, \kappa_p = \kappa' - \Delta_p$ により O_1 及び P_1 分潮の振幅及び遅角をも求めることができる。

次に、 $i = 2$ の場合について考えると、この場合は半日周潮を意味し、 R_2 や ζ_2 は主要半日周分潮 M_2, S_2, K_2, N_2 等が合成されたものの振幅及び遅角であると考えられる。

いま、 P_1 を (地球・太陽間の平均距離 / 地球・太陽間の実距離)^{1/3}、 f_m, f'' を M_2, K_2 分潮の天文因数、 H_m, H_s, H'', H_n を M_2, S_2, K_2, N_2 分潮の振幅、 $V_{om}, V_{os}, V'_o, V_{on}$ を M_2, S_2, K_2, N_2 分潮の平衡引数、 $\sigma_m, \sigma_s, \sigma'', \sigma_n$ を M_2, S_2, K_2, N_2 分潮の1太陰時当りの角速度、 $\kappa_m, \kappa_s, \kappa'', \kappa_n$ を M_2, S_2, K_2, N_2 分潮の遅角とし、
 $P_1 / f_m = r'_s, f'' / f_m = r'_k, H_s / H_m = r_s, H'' / H_m = r_k, H_n / H_m = r_n$
 $\kappa_s - \kappa_m = \Delta_s, \kappa'' - \kappa_m = \Delta'', \kappa_n - \kappa_m = \Delta_n, \sigma_m \doteq \sigma_s \doteq \sigma'' \doteq \sigma_n = 30^\circ / \text{太陰時}$ とおくと、
 $i = 1$ の場合と同様に

$$R_2 \cos(30^\circ t - \zeta_2) = f_m j_2 H_m \cos(30^\circ t - \delta_2) \dots \dots \dots (5)$$

となる。

ただし、

$$\delta_2 = \tan^{-1} \frac{\sin(V_{om} - \kappa_m) + r'_s r_s \sin(V_{os} - \Delta_s - \kappa_m) + r'_k r_k \sin(V'_o - \Delta'' - \kappa_m) + r_n \sin(V_{on} - \Delta_n - \kappa_m)}{\cos(V_{om} - \kappa_m) + r'_s r_s \cos(V_{os} - \Delta_s - \kappa_m) + r'_k r_k \cos(V'_o - \Delta'' - \kappa_m) + r_n \cos(V_{on} - \Delta_n - \kappa_m)} \dots \dots (6)$$

$$j_2 = [\{ \sin(V_{om} - \kappa_m) + r'_s r_s \sin(V_{os} - \Delta_s - \kappa_m) + r'_k r_k \sin(V'_o - \Delta'' - \kappa_m) + r_n \sin(V_{on} - \Delta_n - \kappa_m) \}^2 \\ + \{ \cos(V_{om} - \kappa_m) + r'_s r_s \cos(V_{os} - \Delta_s - \kappa_m) + r'_k r_k \cos(V'_o - \Delta'' - \kappa_m) + r_n \cos(V_{on} - \Delta_n - \kappa_m) \}^2]^{1/2} \dots \dots (7)$$

(6)式の右辺に含まれている変数の中、 κ_m 以外のものは別途計算できるので、日周潮の場合と同様に κ_m を求めることができる。次に、この κ_m を(7)式に代入し、 j_2 を求め

$$H_m = R_2 / f_m j_2$$

により H_m が求まる。更に、 $H_s = r_s H_m, H'' = r_k H_m, H_n = r_n H_m, \kappa_s = \kappa_m + \Delta_s, \kappa'' = \kappa_m + \Delta'',$

$\kappa_n = \kappa_m + \Delta n$ により, S_2, K_2, N_2 分潮の振幅及び遅角も求められる。

3. 結果の考察

このようにして求めた調和定数 $H_m, \kappa_m, H', \kappa'$ の天文条件による変化及び信頼性をみるため, 鹿児島港の主要7分潮 ($M_2, S_2, K_2, N_2, K_1, O_1, P_1$) による春, 夏, 秋, 冬各季節約1ヶ月間の推算値を解析し, その結果を第1図~第12図に示した。図において, 水平な直線はそれぞれ推算に用いた $H_m, H', \kappa_m, \kappa'$ の値(仮りに期待値と呼ぶことにする)を示し, ×印は解析から得られたそれぞれの値, △印は j_1 又は j_2 の値である。また, 各図の下部の各記号は月の位相及び位置を示し, 次のような意味に使われている。

●: 朔, ○: 望,)): 上弦, ((: 下弦, A: 遠地点, P: 近地点, N: 赤緯最北, S: 赤緯最南, E: 赤道上
これらの図から, 春秋分については見ると M_2 分潮については, 特に目立った傾向は見られず概ね良好であるが, K_1 分潮については j_1 の値の極小付近, すなわち, 月が赤道付近にあるころ期待値との差が大きくなっている。夏冬季については, 春秋分ほど顕著な傾向は見られないが, やはり j_1 や j_2 の値の極小付近において期待値との差が大きくなるという傾向が現われている。

4. 推算値と観測値との差

前節の考察により, 本法によって得られた調和定数の信頼性は, ほぼ把握できたが本節では, 更に, その調和定数を用いた推算値と観測値(鹿児島の場合は主要7分潮による推算値を用いる)との差について調べて見ることにする。

潮汐又は潮流を推算するには, 各分潮ごとに潮高又は流速を計算して集計する方法によるのが一般的であるが前節で述べた方法によって得られた調和定数を用いる場合は, 解析にくらべ厳密すぎるので, ここでは推算期間を1太陰日に限定することを条件に分潮群ごとに計算集計する次式を用いることにした。

$$h_t = A_0 + f' j_1 H' \cos(15^\circ t - \delta_1) + f_m j_2 H_m \cos(30^\circ t - \delta_2) \dots \dots \dots (8)$$

ここで, t は太陰時で-11時~12時の範囲とし, その他の記号は前節におけるものと同じである。

夏季大潮期(1981年6月20日)及び小潮期(1981年6月26日)のデータを解析して得られた調和定数を用い(8)式による春・夏・秋・冬各季節の大潮及び小潮両期の推算値と観測値との差の範囲を第1表に掲げた。

第1表 季節別推算値と観測値との差(鹿児島港)

推算時期	推算値 - 観測値		平均潮差
	夏季大潮(1981,6,20)のデータによる	夏季小潮(1981,6,26)のデータによる	
春季大潮(1981, 4, 6)	-10cm~+8cm	-10cm~+12cm	266cm
春季小潮(1981, 3, 30)	-10"~+3"	-12"~+9"	71"
夏季大潮(1981, 7, 3)	-3"~+3"	-14"~+15"	226"
夏季小潮(1981, 7, 11)	-6"~+6"	-7"~+7"	85"
秋季大潮(1981, 10, 15)	-8"~+3"	-10"~+5"	265"
秋季小潮(1981, 10, 7)	-6"~+5"	-13"~+13"	66"
冬季大潮(1981, 1, 11)	-5"~+3"	-17"~+12"	232"
冬季小潮(1981, 12, 20)	-2"~+6"	-5"~+7"	101"

また、大泊験潮所の夏季大潮及び小潮期の実測値を解析し、推算値と実測値との差を第2表に掲げた。

第2表 大泊港における推算値と観測値との差

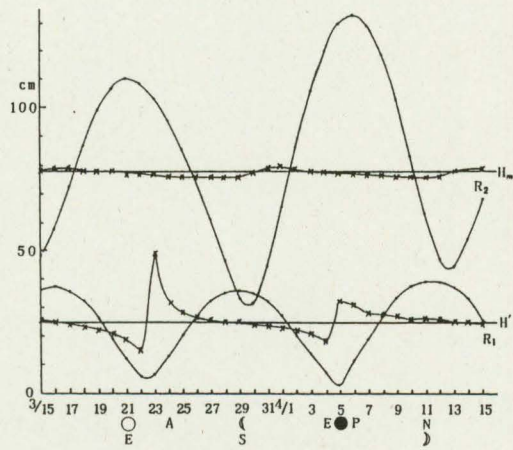
推算時期	推算値 - 観測値		平均潮差
	夏季大潮(1981,7,3)のデータによる	夏季小潮(1981,6,26)のデータによる	
夏季大潮(1981,7,3)	—————	- 2 3cm ~ + 1 1cm	2 07 cm
夏季小潮(1981,6,26)	- 1 1cm ~ + 6cm	—————	1 22 "

これらの表は、当然のことではあるが、小潮期よりも大潮期に得られた調和定数の方がよいということを示している。

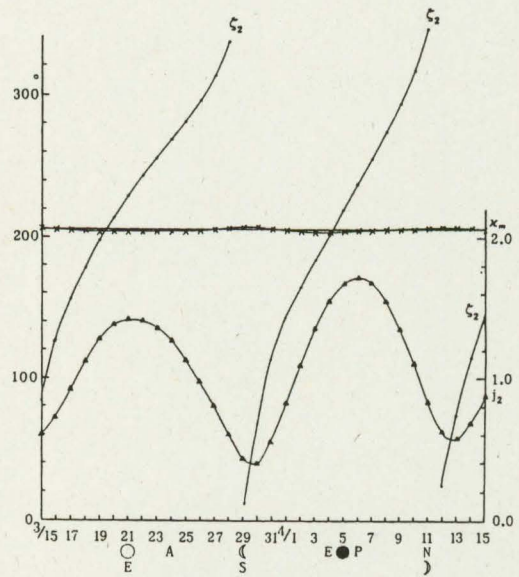
5. むすび

半日周潮については、四季を通じて天文条件による影響は小さく、比較的安定した値が得られているが、一般的には、解析結果の良否は観測当日の天文条件に左右される。ここで取扱った例によれば、特に春秋の日周潮の解析結果は天文条件による非常に大きな影響を受けている。一般的に言うと、半日周潮については、朔・望のころ、日周潮については月の赤緯が極大のころが最も条件がよいとすることができる。

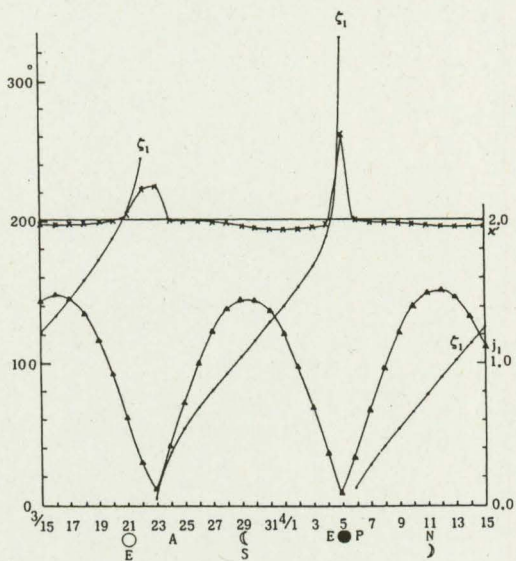
解析結果の良否と j の値とは密接な関係があるので、得られた調和定数の信頼度の指標として、この j の値を用いることができよう。ここで取扱った例からみる限りでは j の値が 0.7 以上の場合がよいように思われる。 Γ や Δ など仮定した値を用いているのが本法の弱点ではあるが、1 昼夜程度の観測データを解析する場合には、やむを得ないものとする。以上考察したようなことを考慮して行なった観測から得られたデータならば、本法によっても有効な成果が得られると思われる。おわりに、投稿に際し、図の浄書に協力していただいた海洋資料センターの渡辺 昇氏に対し、深甚の謝意を表す。



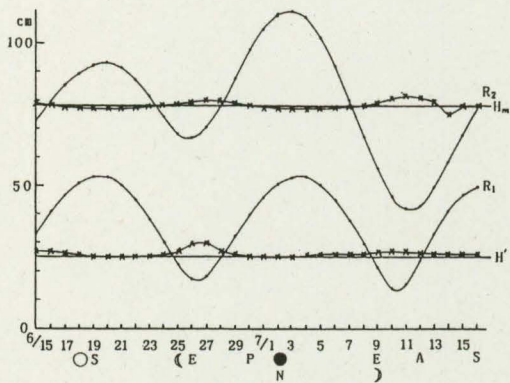
第 1 図 R_1, R_2, H 及び H_m の変化 (1981 春季)



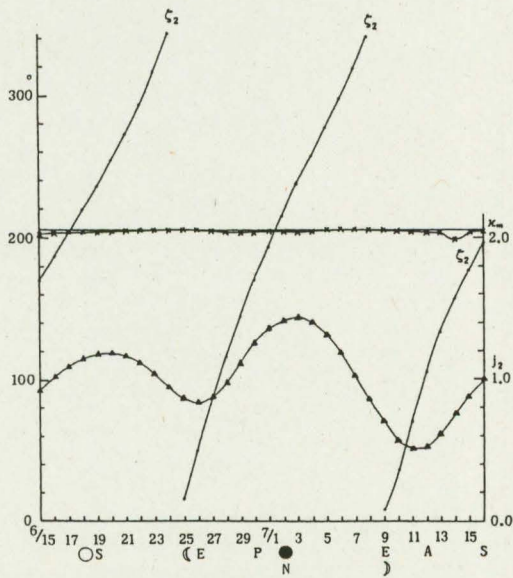
第 2 図 ζ_2, κ 及び j_2 の変化 (1981 春季)



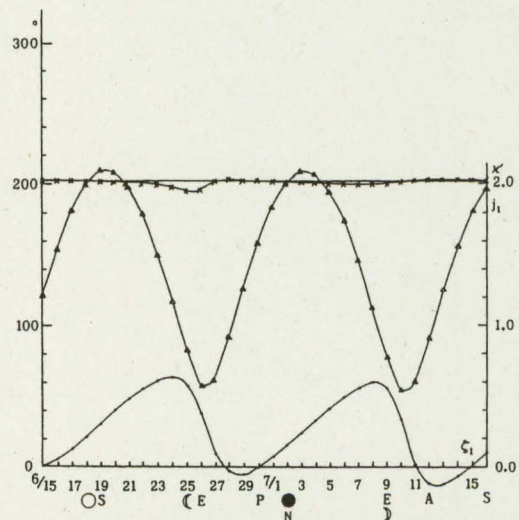
第 3 図 ζ_1, κ 及び j_1 の変化 (1981 春季)



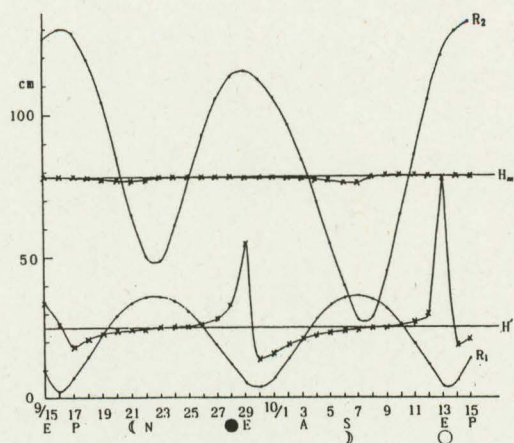
第 4 図 R_1, R_2, H 及び H_m の変化 (1981 夏季)



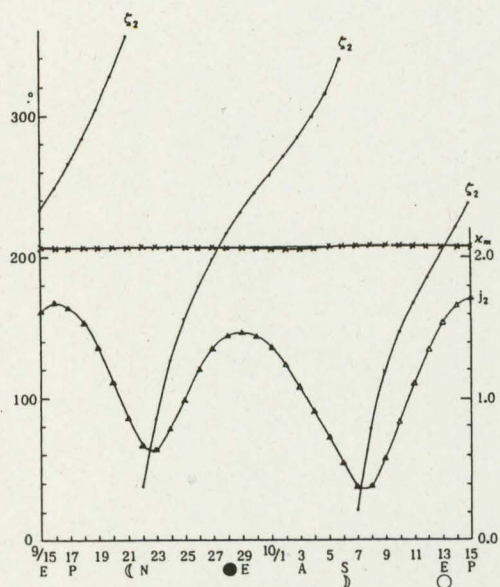
第 5 図 ζ_2, κ 及び j_2 の変化 (1981 夏季)



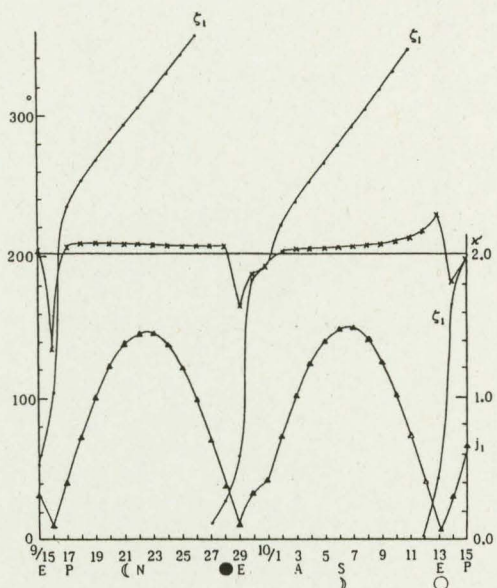
第 6 図 ζ_1, κ 及び j_1 の変化 (1981 夏季)



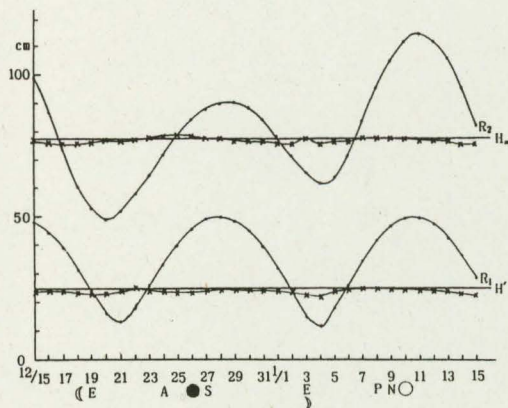
第 7 図 R_1, R_2, H 及び H_m の変化 (1981 秋季)



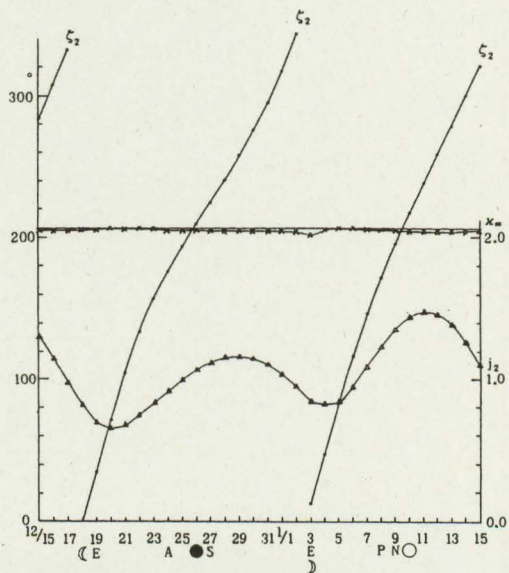
第 8 図 ζ_2, x_m 及び j_2 の変化 (1981 秋季)



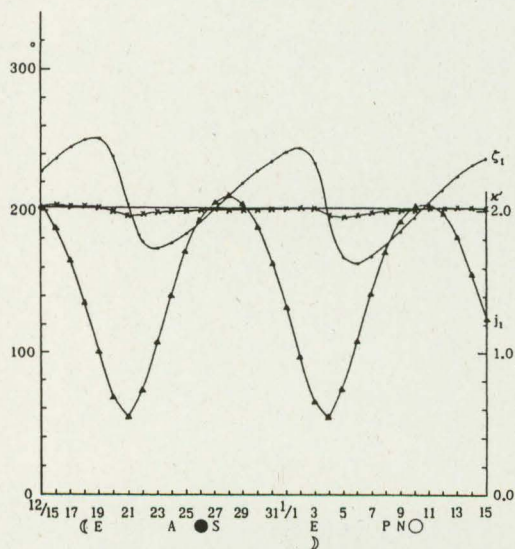
第 9 図 ζ_1, x 及び j_1 の変化 (1981 秋季)



第 10 図 R_1, R_2, H 及び H_m の変化 (1981~2 冬季)



第 11 図 ζ_2, x_m 及び j_2 の変化 (1981~2 冬季)



第 12 図 ζ_1, x 及び j_1 の変化 (1981~2 冬季)