

# 東播海岸における潮流について (I)

樋口 明生・中村 重久

## ON TIDAL CURRENTS OFF THE EASTERN HARIMA COAST (II)

By *Haruo HIGUCHI* and *Shigehisa NAKAMURA*

### Synopsis

A series of the observation of tidal currents have been carried out only off the Eastern Harima Coast. From the observation of tidal currents for about 5 hours on 9 Feb. 1966, it was found that there are various currents of which the periods are in a range of 2 sec to 48 min beside the tidal currents. These were analysed into harmonic components.

And tidal constituents and seiche are also studied by referring the observation carried out by Kinki Regional Construction Bureau, Ministry of Construction. From the results of harmonic analyses, it became clear that non-linear effect of tidal currents is remarkable and that the component of seiche in the Harima-Nada is about one tenth of the observed current velocity. The mixed tidal ellipses were also reduced for 12 days from 1 Oct. 1965.

### 1. 緒 論

播磨灘北東部に位置する東播海岸は、海岸線の後退がかなり顕著であるが、海岸付近の流れがこの現象にどのように関与して、浸食がどのようにすすんでいるかという問題を考える場合に、波の効果とともに、この海域で顕著な流れである潮流の効果を知らなければならない。このうち潮流に関してこれまで観測を行い若干の知見を得ることができ、これによって潮流の地域的特性の一部を知ることができたり。しかしながら、潮流観測の実施には相当の労力および経費を要するため、いまだなお、潮流の地域的特性を完全に把握できるような十分な資料は得られていない。

ここでは、はじめに東播海岸屏風ヶ浦沖の定点で得られた約5時間にわたる潮流の連続観測記録にもとづき解析を行い、潮流の諸特性を明らかにする手がかりをもとめ、つぎに東播海岸林崎漁港(明石市)東燈浮標付近で記録された潮流について、潮流およびそれ以外の周期成分の変化について考察する。また混合潮流楕円を描き、その月令による変化についても考察する。

### 2. 潮流観測について

この研究の対象とした潮流の記録が得られた海域(測定点の位置)、測器、観測法および観測時期はつぎの通りである。すなわち、(1)東播海岸屏風ヶ浦沖約470mの定点で、1966年2月9日10時30分から16時30分まで、東邦電探 K. K. 製 CM-2 型流速計によって潮流観測を行った。潮流観測をはじめると同時に、観測船を3ヶ所の碇で碇置き、その位置を海岸線上の2定点のトランシットによって決定した。観測点の平均水深は4.5mであった。流速計はそのキャプタイヤとその下にとりつけられた重錘によって海底と1.5mの高さを保つようにした。また流速の変化は小林測器 K. K. の EPR-2T 型自動記録計に自記させた。観測時は海面上は静穏であり、時々微風がみられる程度であった。また同時に流速計の約0.5m上方

で水温の自記も行った。これに用いた水温計は東邦電探 K. K. 製で、自記装置は流速の場合と同型のもを用いた。

(2) 東播海岸林崎漁港沖の潮流については、建設省近畿地方建設局によって、鉄製枠組の中に固定された小野式自記流速計を用いて得られた。流速計は海底上約 1.5m の位置に置かれている。ここで用いる資料は、このようにして得られた記録の正時前後 5 分間の平均流速であって、10分毎の資料である。流速計の作動状態が円滑ではなく、欠測の部分もあるので、ここでは1965年10月1~12日の資料(流速および流向)を用いる。

### 3. 東播海岸屏風ヶ浦沖の潮流について

潮流観測を行った位置は Fig. 1 の St. A である。潮流は大体において往復流であって、東流時には  $135^{\circ}$ 、西流時には  $310^{\circ}$  であった。観測当初は潮流は西流であったが、12時過ぎに転流し、東流の極大は15時頃であった。前述のような碇置法をとったにもかかわらず、波や船上の作業などによる船の横揺れの影響

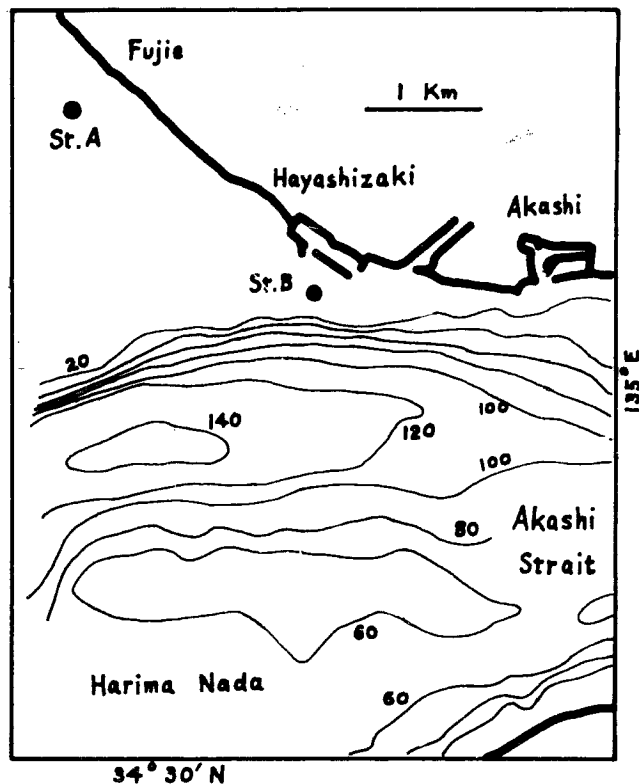
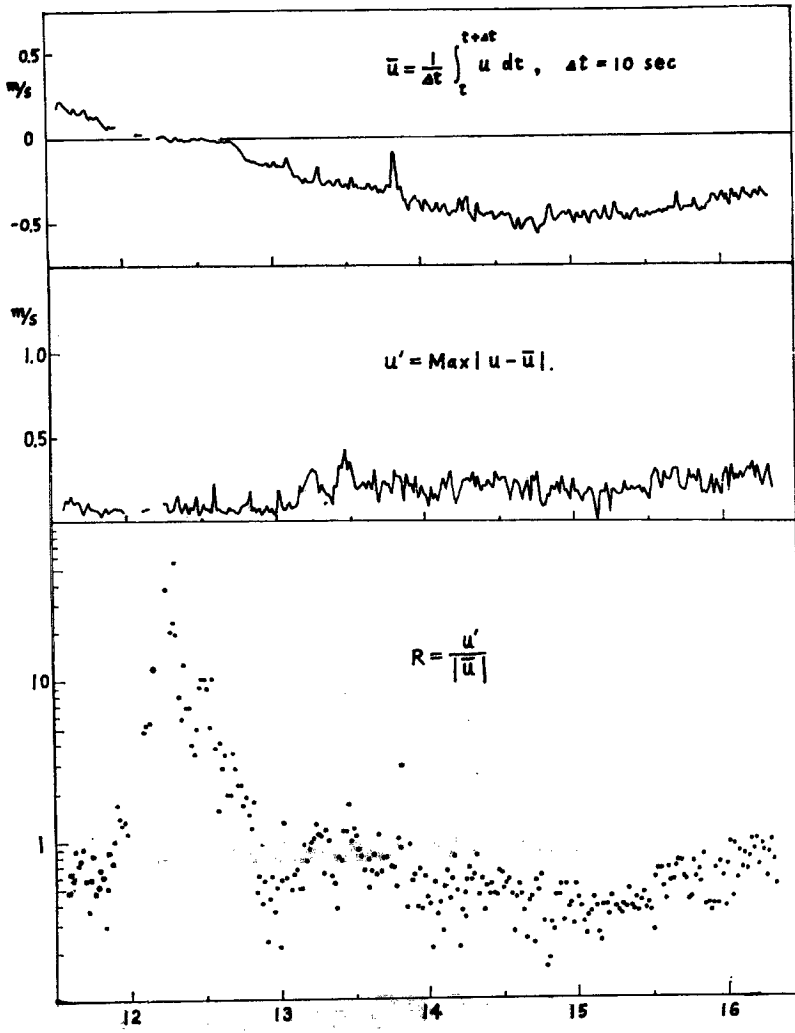


Fig. 1 Location of stations A and B where tidal observations were carried out (water depth below LLW is shown in m).

が、流速の記録に含まれている。波による成分を船自体の横揺れの影響と区別してとりだすことはこの記録の場合、調和分解かスペクトル分析では難しいと思われる。その一つの理由は、それらの周期が殆ど同じ(約3秒)とみられるからである。

ここではこの自記記録されたものから、つぎのような操作を経て得られた平均流速  $\bar{u}$  の時間的变化を調べ、その結果を Fig. 2 の上に示す。すなわち、図の縦軸は

$$\bar{u} = \frac{1}{\Delta t} \int_t^{t+\Delta t} u dt$$



1966-2-9 (D)  
EASTERN HARIMA COAST

Fig. 2 Time change of tidal currents  $\bar{u}$ , fluctuations in the currents  $u'$  and their ratio  $R = u'/|\bar{u}|$  at St. A on Feb. 9, 1966.

で与えられる  $\bar{u}$  である。 $u$  は時刻  $t$  における流速であり、 $\Delta t$  はここでは10秒ととった。これによって10秒以下の短周期の変動は殆ど除去されたことになるが、この図をみてもわかるように10分前後の周期の流速の変動もかなりあることがわかる。また、 $\Delta t$  のとりかたによって相異があることは当然ではあるが、こ

では  $dt$  の時間について  $(u-\bar{u})$  を考え、その絶対値の最大値を  $u'$  として Fig. 2 の中に示した。これは潮流にともなう乱流成分のうち、10秒以下の変動の大きさを示す一つの指標であると考えられる。この図をみると  $u'$  の大きさは転流時前後で 10cm/s 位であるが、その時間以外は 20cm/s 位の大きさである。図中の顕著な変動から  $u'$  は数分位の周期で変動する成分をもつものと考えられる。

つぎに、上に導いた  $\bar{u}$  および  $u'$  を用いて、

$$R = u' / |\bar{u}|$$

なる量を考える。これはある時刻における平均流速に対する乱流の大きさを示す量と考えることができる。この  $R$  の時間的变化は Fig. 2 の下に示すようであって、この図で顕著なことは、転流時とみられる時刻に  $R$  は大きな値をとり、転流時から遠ざかるにつれて  $R$  の値は小さくなる。そして東流極大時頃に  $R$  は極小の値をとる。この  $R$  は Bowden ら<sup>2-3)</sup> の示した  $[(u')^2]^{1/2} / \bar{u}$  に対応する量と考えられる。ただし、[ ] は 2 乗平均をあらわす。

変動成分にどのような周期のものが含まれるかをみるために、上にみた資料を次のような方法で調和分解してみた。すなわち、0時30分、1時30分、2時30分および3時30分のそれぞれを中心として前後24分について、毎2分の流速値24ヶについて(基本周期48分について)調和分解した。この結果は Fig. 3 の第1行にみるようであって、縦軸に変動成分の大きさ、横軸に調和成分の番号を示す。これから、48分から2分間の周期をもつ変動成分の大きさは潮流の位相に密接に関係があることがわかる。すなわち、転流時前後に小さかった変動成分は転流後顕著に大きくなり、さらに潮流が大きくなるとともに小さくなることがわか

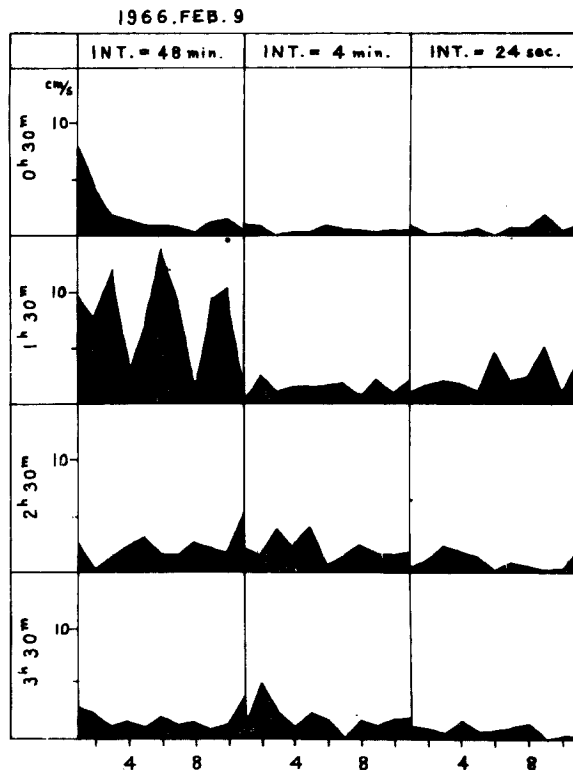


Fig. 3 Harmonic analyses of tidal currents for 24 data for the time intervals of 48 min, 4 min and 24 sec, respectively.

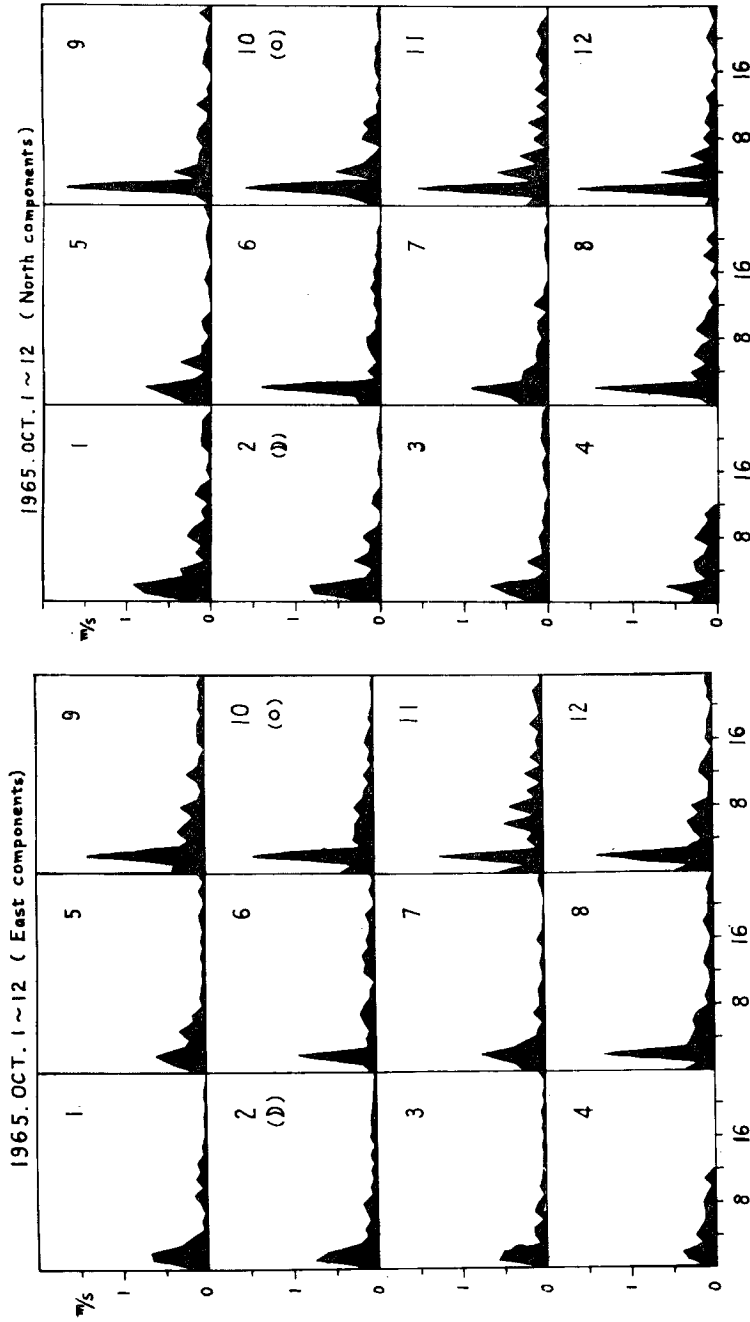


Fig. 4 Harmonic analyses of tidal currents at St. B for 48 data in 24 hours during Oct. 1~12, 1965: (a) north components and (b) east components.

る。基本周期を4分にとってみれば Fig. 3 の第2行のようになって、4分から10秒の範囲の周期をもつ変動成分は大体潮流の位相に一致しているように見える。さらに、基本周期24秒についてみれば、Fig. 3 の第3行にみるように基本周期48分の場合とよく対応した変動成分の変化がみとめられるようである。これだけの資料からは変動成分が潮流と定量的にどのような関係があるかを決定するわけにはいかないが、ある周期であらわされる変動成分が潮流の位相と関係があることは確かである。さらにまた、この変動成分が潮流流速の変化によって生じたものか、あるいは海底地形の影響も含まれているものかを分別するには、さらに他の適切な資料が必要である。

水温については  $0.2^{\circ}\text{C}$  以上の変動はみられなかった。観測期間を通じて  $8.5\sim 9^{\circ}\text{C}$  を示していた。

#### 4. 東播海岸林崎漁港沖

潮流観測を行った位置は Fig. 1 の St. B で、海底上約 1.5m の位置 ( $34^{\circ}39'19''\text{N}$ ,  $134^{\circ}58'25''\text{E}$ , T. P. -3.9m) である。ここでは潮流観測資料から、30分毎の資料を1965年10月1日から12日までの間についてとりだし、毎日48ヶの潮流の流速および流向の記録から、潮流の北分および東分をもとめ、それぞれについて調和分解を行った。調和分解にあたっては防災研究所の電子計算機 FACOM-331 を用いた。調和分解の結果は Fig. 4 (a) および (b) に示すようである。Fig. 4 (a) には潮流の北分について、各周期成分の大きさを基本周期24時間に対する調和成分の番号に対して図示してある。Fig. 4 (b) には潮流の東分について同様な図を示す。半日周期の太陰潮の成分をとりだすためには、連続してさらに長期の観測資料

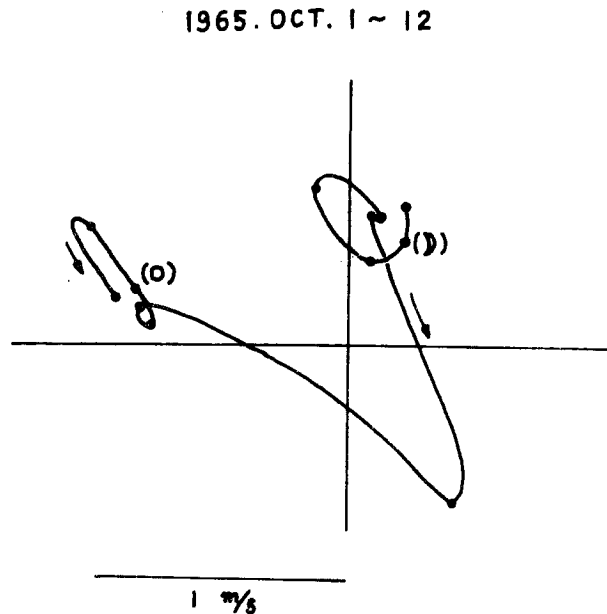


Fig. 5 Relation between Moon age and the constant term reduced by harmonic analyses during Oct. 1~12, 1965.

が必要であり、また時刻を太陰時であらわしたもので資料を整理しなくてはならない。ここではこの操作は省略し、標準太陽時について与えられた資料を用いている。Fig. 4 をみると、この観測点付近での潮流は調和成分のはじめの4成分によって特長づけられることがわかる。

EASTERN HARIMA COAST

1965. OCT. 1~12

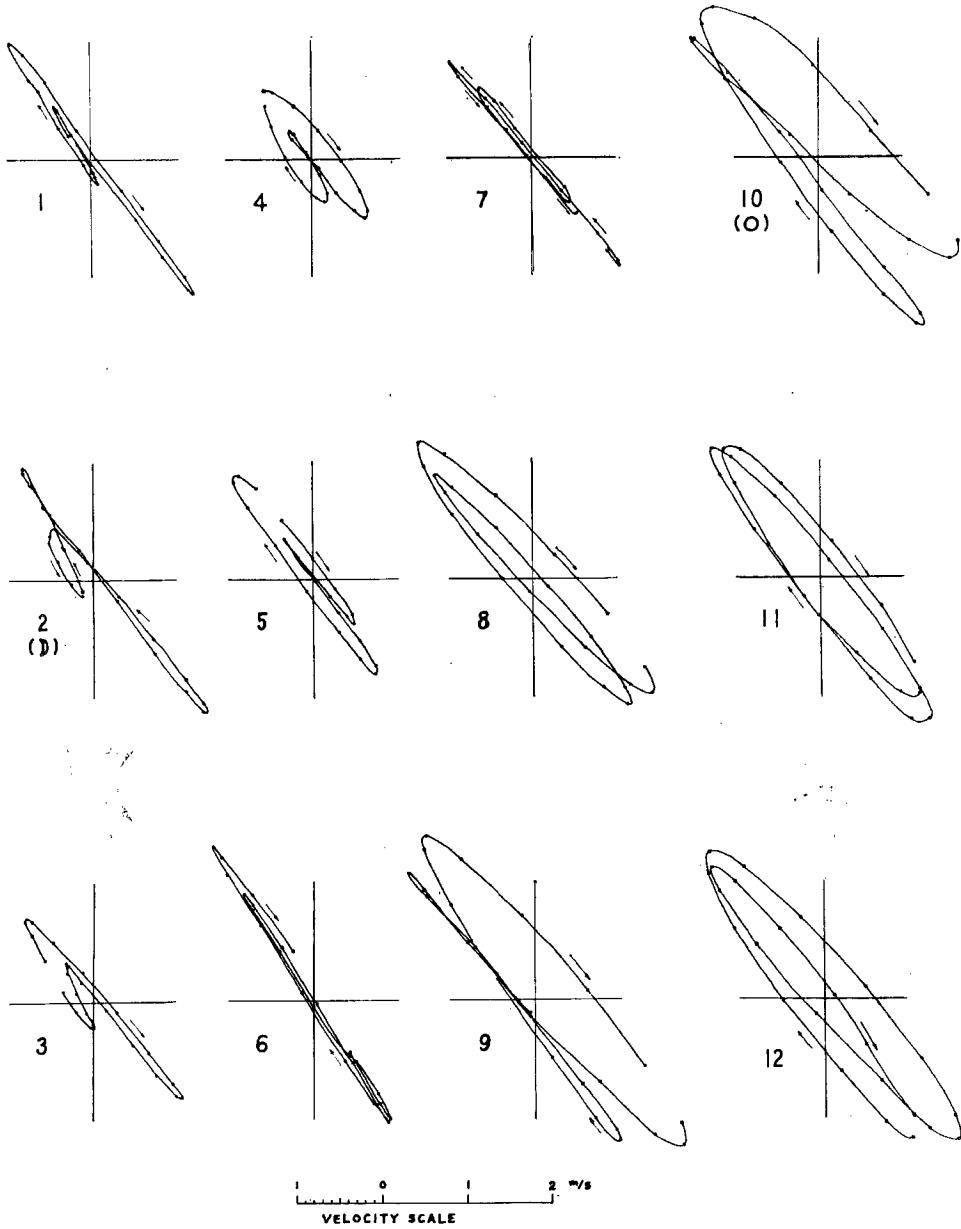


Fig. 6 Relation between Moon age and the mixed tidal ellipse during Oct. 1~12, 1965.

Fig. 5 には上述の調和分解で得られた恒流成分をベクトル図としてあらわしたものである。これから、恒流成分は月令とともにその大きさおよび流向が変化することがわかる。

Fig. 6 には上述の調和分解で得られた調和成分のうち、日周潮成分  $n=1$  と半日周潮成分  $n=2$  とを合成して得られる混合潮流楕円を示す。調和成分  $n=1$  および  $2$  について、この図から成分の大きさのみでなく、北分と東分との位相差が月令とともに変化していることがわかる。これは海底地形および海岸線の形状の影響および摩擦の効果によるものと考えられる。

いま、平均海面に  $x-y$  平面をとり、 $z$  軸を垂直上方にとると運動方程式はつぎのようになる。すなわち、

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \xi}{\partial x} + \nabla(\eta \nabla U), \\ \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \xi}{\partial y} + \nabla(\eta \nabla V). \end{cases}$$

また連続方程式は

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = - \int_{-H}^{\xi} \left( \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) dz.$$

ここに  $U$  および  $V$  は流速の  $x$  および  $y$  成分、 $\xi$  は水面の高さ、 $g$  は重力の加速度、 $\eta$  は渦動粘性係数、そして  $H$  は水深である。上の方程式系の解として、 $U$  および  $V$  について

$$\begin{aligned} U &= U_0(x, y) + U_1(x, y) \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varepsilon_1\right) + U_2(x, y) \sin\left(\frac{4\pi}{T}t + \varepsilon_2\right) + \dots, \\ V &= V_0(x, y) + V_1(x, y) \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \delta_1\right) + V_2(x, y) \sin\left(\frac{4\pi}{T}t + \delta_2\right) + \dots. \end{aligned}$$

が与えられるとする。 $T$  としては24時間を取り、 $\varepsilon_j$  および  $\delta_j$  ( $j=1, 2$ ) は位相差をあらわすものとする。このとき、実際の流れには非線型効果があらわれ、つぎのような成分が副次的にあらわれることになる。すなわち、

$$\begin{aligned} U_{11} &= \alpha U_1 \cdot V_1 \sin\left(\frac{4\pi}{T}t + \varepsilon_{11}\right), \text{ etc.} \\ U_{12} &= \beta U_1 \cdot V_2 \sin\left(\frac{6\pi}{T}t + \varepsilon_{12}\right), \text{ etc.} \\ U_{22} &= \gamma U_2 \cdot V_2 \sin\left(\frac{8\pi}{T}t + \varepsilon_{22}\right), \text{ etc.} \end{aligned}$$

ここに  $\alpha$ ,  $\beta$  および  $\gamma$  は定数、 $\varepsilon_{ij}$  などは位相差である。これらの成分のうち  $U_{11}$  などの成分は周期の関係から、半日周期の成分と重なってしまうが、 $U_{12}$  などや  $U_{22}$  などは観測記録の調和分解によって別の成分として判別することができる。Fig. 4 の各日で調和成分  $n=2$  の大きさが他の成分よりもとくに大きいのは、半日周期太陰潮成分が大きいことによるのはもちろんであるが、その上に、上述のような非線型効果による成分も重ねられていることに注意しなくてはならない。調和成分  $n=3$  は潮流の北分および東分とともに小さく、 $n=4$  はとくに潮流の北分で大きいことから、 $U_1 \cdot V_2 (=U_{12})$  などの効果は  $U_2 \cdot V_2 (=U_{22})$  などの効果にくらべると大きくないことがわかる。図からみると  $U_2 \cdot V_2 (=U_{22})$  などの効果は月令15の頃にとくに大きいといえる。

なお、播磨灘の静振による流速の変動成分は Fig. 4 では  $n=12$  の成分に相当すると考えられるが、ここに資料として解析に用いた期間ではとくに顕著な成分ではないようである。

ここでは2つの観測点における潮流観測の結果にもとづいて東播海岸の潮流の地域的特性を明らかにしようとして解析および考察を行った。まだ若干の問題点が残されているが、これについては今後検討を加えていきたい。



## 謝 辞

終に、本研究をすすめるにあたって適切な御指導をいただいた岩垣雄一教授ならびに、現地観測にたづさわった防災研究所の関係諸氏に心から感謝の意を表す。また貴重な観測資料の利用に便宜をはかっていたいただいた建設省近畿地方建設局にも感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) 樋口明生, 中村重久: 東播海岸における潮流について, 京大防災研究所年報第9号, 昭41, pp.771—777.
- 2) Bowden, K.F.: Measurements of turbulence near the sea bed in a tidal current, Jour. Geophys. Res., Vol.67, No.8, 1962, pp.3181—3186.
- 3) Bowden, K.F. and M.R. Howe: Observations of turbulence in a tidal current, Jour. Fluid Mech., Vol.17, Pt.2, 1963, pp.271—284.