



Title	噴火湾口付近においてHFレーダにより観測された潮流と計算された潮流の比較
Author(s)	磯田, 豊; ISODA, Yutaka; 坂田, 陽一郎 他
Citation	北海道大学水産科学研究彙報, 55(1), 63-69
Issue Date	2004-08
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/21995">https://hdl.handle.net/2115/21995</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	55(1)_P63-69.pdf



## 噴火湾口付近において HF レーダにより観測された潮流と 計算された潮流の比較

磯田 豊<sup>1)</sup>・坂田陽一郎<sup>2)</sup>・磯野 哲郎<sup>3)</sup>・清水 学<sup>4)</sup>  
春日 一彦<sup>5)</sup>・灘井 章嗣<sup>6)</sup>・藤井 智史<sup>6)</sup>・齊藤 誠一<sup>7)</sup>

(2004年3月3日受付, 2004年6月2日受理)

### Comparison of HF Radar Observed and Computed Tidal Currents around the mouth of Funka Bay

Yutaka ISODA<sup>1)</sup>, Youichirou SAKATA<sup>2)</sup>, Teturo ISONO<sup>3)</sup>, Manabu SHIMIZU<sup>4)</sup>,  
Kazuhiko KASUGA<sup>5)</sup>, Akitsugu NADAI<sup>6)</sup>, Satoshi FUJII<sup>6)</sup> and Seichi SAITOH<sup>7)</sup>

#### Abstract

The model result of 2-dimensional tidal model around Funka Bay (Sakata and Isoda, 1998) was used to compare with the surface tidal currents measured by HF radar around the bay mouth. Observed M2 (semi-diurnal tidal) currents measured by HF radar are in well agreement with those derived from the model. On the other hand, in the specific period of about two weeks, observed K1 (diurnal tidal) currents show remarkable increasing of amplitude and changing to circular tidal ellipses in comparison with the computed tidal currents. Such change may appear to be associated with variations in southward flow of Coastal Oyashio. The horizontal shear flow, i.e., the relative vorticity of flow, in this specific period was larger than that in other period because of offshore movement of the flow axis. It is possible that large negative vorticity of flow shifts the apparent inertial period to the diurnal period, and hence horizontal current oscillation can be amplified.

**Key words:** HF radar, tidal model, tidal current, Coastal Oyashio, Funka Bay

#### はじめに

大谷 (1981) は噴火湾口で行った短期の係留観測から、潮流の振幅は数日周期で変動する流れに比べて十分に小さく、最大でも 10 cm/s 程度であることを報告している。しかし、噴火湾周辺海域における係留観測による報告はきわめて少なく、この海域における潮流の空間分布に関する記述はほとんどない。そこで、坂田・磯田 (1998) では水平二次

元の数値モデルを用いて沿岸潮位を再現し、そのモデル結果をもとに噴火湾周辺海域の潮流分布の記述を試みた。その記述をまとめると以下ようになる。主要 4 大分潮の中で最も卓越する潮流は M2 分潮であり、最大振幅は湾口付近にあり、7-8 cm/s 程度である。S2・K1・O1 分潮も湾口付近で最大振幅となるが、最大でも 2-3 cm/s 程度の振幅値である。また、主要 4 大分潮の潮流楕円は、いずれも湾口付近では湾軸方向に扁平しており、湾軸方向の往復流となっ

<sup>1)</sup> 北海道大学大学院水産科学研究科資源環境科学講座  
(Laboratory of Marine Environmental Science, Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University)  
(e-mail: isoda@sola3.fish.hokudai.ac.jp)

<sup>2)</sup> 株式会社 CSK  
(CSK Corporation)

<sup>3)</sup> 海洋科学技術センター  
(Japan Marine Science and Technology Center)

<sup>4)</sup> 水産総合研究センター中央水産研究所  
(National Research Institute of Fisheries Sciences, Fisheries Research Agency)

<sup>5)</sup> 東京大学海洋研究所・研究調査船淡青丸  
(The University of Tokyo, Ocean Research Institute, R/V Tansei-Maru)

<sup>6)</sup> 通信総合研究所・沖縄亜熱帯計測技術センター  
(Okinawa Subtropical Environment Remote Sensing Center)

<sup>7)</sup> 北海道大学大学院水産科学研究科資源計測学講座  
(Laboratory of Marine Environment and Resource Sensing, Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University)

ている。

このようなモデル結果の記述がどれだけ正しいものなのかを確かめる手段がこれまでなかったが、1995年1月～3月の期間に噴火湾口付近でHFレーダ観測が実施され、表層の潮流について詳細な調和解析を行うことが可能となった。我々はHFレーダで得られた流速データを解析し、新しい知見として、一時的に卓越する日周潮流を捉えることができた。本論では、数値モデル計算による順圧的な潮流とHFレーダ観測から得られた潮流を比較し、この卓越する日周潮流の特徴を記述することを目的とする。

HFレーダ観測

HFレーダ観測は1995年1月10日から3月9日の3ヶ月間、北海道水産学部の旧漁業航海学講座と通信総合研究所・沖縄亜熱帯計測技術センターを中心に行われたものである。HFレーダは噴火湾口の渡島半島側に位置する木直と砂原の2つ地点に設置された (Fig. 1)。各地点からはK1～K12, S1～S12のそれぞれ12本のビームが発射され、ビーム視線方向の流速成分が得られる。1ビームにつき10分の観測が必要となるため、各ビームで得られる流速値は2時間毎の値である。

こうして得られた流速データを、まず、各ビーム交点でベクトル合成して計144地点の東西・南北流速値を求め、次に、適当な時間内挿を行うことで毎正時の流速データを作成した。このようにして作成した流速データのうち、1月11日零時から3月8日零時までのデータを使用した。なお、各ビーム交点において欠測率が10%を超える場合、その地点は解析対象から除いた。

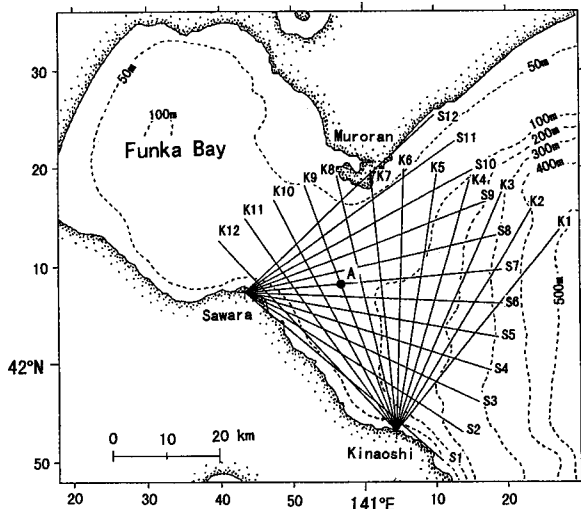


Fig. 1. Bottom topography around the Funka Bay and HF radar beams from Sawara (S1-S12) and Kinaoshi (K1-K12).

噴火湾口における流速のスペクトル解析

Fig. 1に示したA点における流速の東西・南北成分の時系列を Fig. 2に示す。このA点是全ビーム交点の中で最も欠測率が低い地点であり、またビームの交角が90度に近いために計測誤差が比較的小さい地点と判断される。Fig. 2をみると、数日周期の変動が卓越しており、1日周期以下の高周波変動が小さいことがわかる。この高周波変動は南北成分よりも東西成分で目立っており、○・●印で示した大潮から数日後に高周波変動が顕著になるようにみえる。

回転スペクトル解析

A点の流速データを用いて計算した回転スペクトル密度、回転係数を Fig. 3に示す。この計算にはFFT法を用い、データ個数は1,345個 (1月11日～3月8日)、三角フィルターの項数は8個とした。太い実線で示した時計回り成分のスペクトル密度には、日周期 (K1・O1)、半日周期 (M2・S2)、慣性周期 (17.9時間) に95%の有意水準を越えるピークが認められる。一方、細い実線で示した反時計回り成分のスペクトル密度には、半日周期帯にのみ有意なピークが認められ、その値は時計回り成分の値とほぼ同程度である。そのため、半日周期帯の回転係数は零に近く、流速楕円は扁平した形となる。一方、日周期や慣性周期帯の回転係数は1に近く、流速楕円は時計回りの円に近い形となる。また、全スペクトル密度の値から各周期帯の振幅値を概算すると、半日周期帯は約7 cm/s、日周期と慣性周期帯は約6 cm/sと見積もられる。この日周期帯の振幅値を日周潮流の値と考えると、数値モデルで推測された値の2倍以上であることを示している。しかし、日周期帯の変動が真に日周潮流であるかどうかは、日周期に近い慣性周期変動の影響と月齢との関係を確認しておかなければならない。

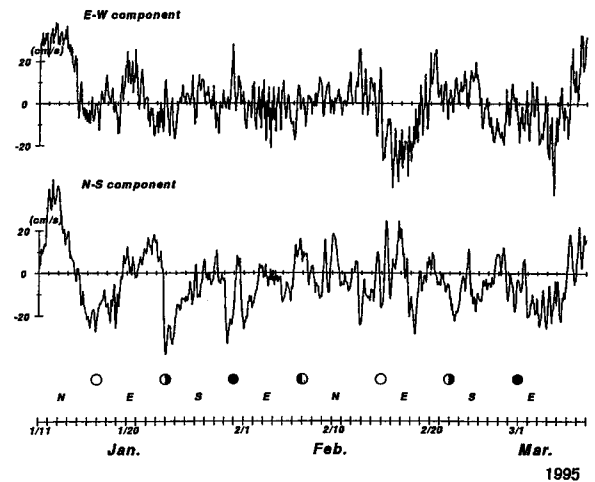


Fig. 2. Observed time series of EW and NS current components at location A from 11 January to 8 March 1995.

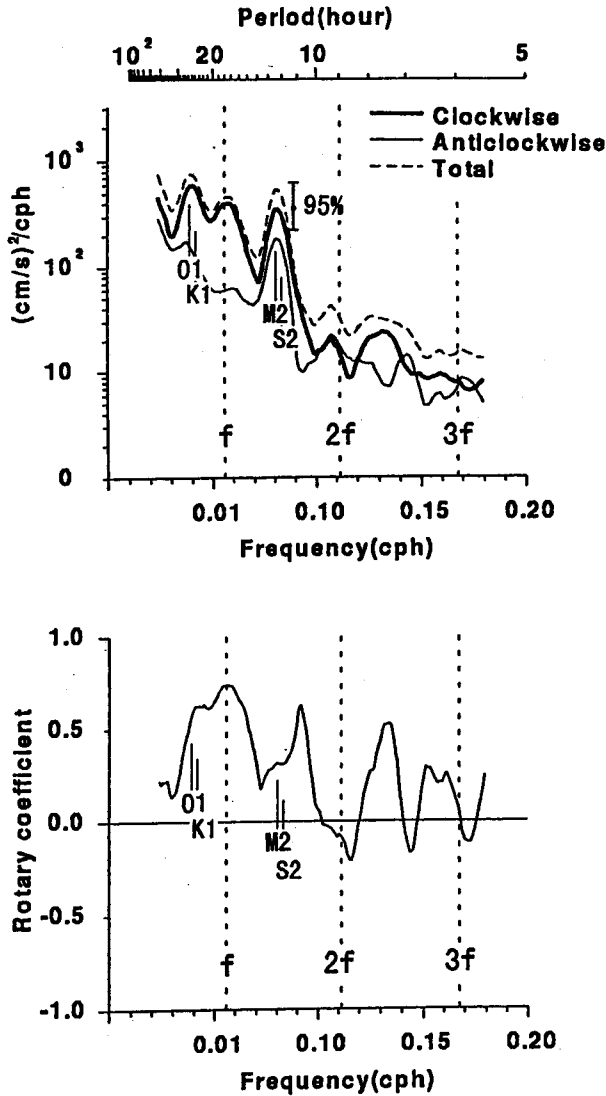


Fig. 3. Rotary spectra (upper) and rotary coefficient (lower) for location A current observation. The inertial peaks ( $f$ ,  $2f$ ,  $3f$ ) and the four major tidal peaks are labeled. Vertical bar of spectra gives the 95% confidence interval.

### ダイナミックスペクトル解析

本解析では、まず A 点における流速値を卓越している湾軸成分 (以下、NW 成分) に変換し、35 時間のハイパスフィルターを用いて長周期成分を除去した。次に、6 日間を 1 セットとしたデータに MEM によるスペクトル密度を計算し、このような操作を 1 日ずつずらしたデータに対して行い、ダイナミックスペクトルを求めた (Fig. 4)。なお、スペクトル計算の一度の操作で用いたデータ個数は 145 個 (6 日)、予測誤差フィルターの項数は 25 個、自己相関ラグは 40 とした。

Fig. 4 の上段は流速 NW 成分の時系列、中段は上述の方法で求めたダイナミックスペクトル、下段は 12 時間周期 (半日周期)・約 18 時間周期 (慣性周期)・24 時間周期 (日周

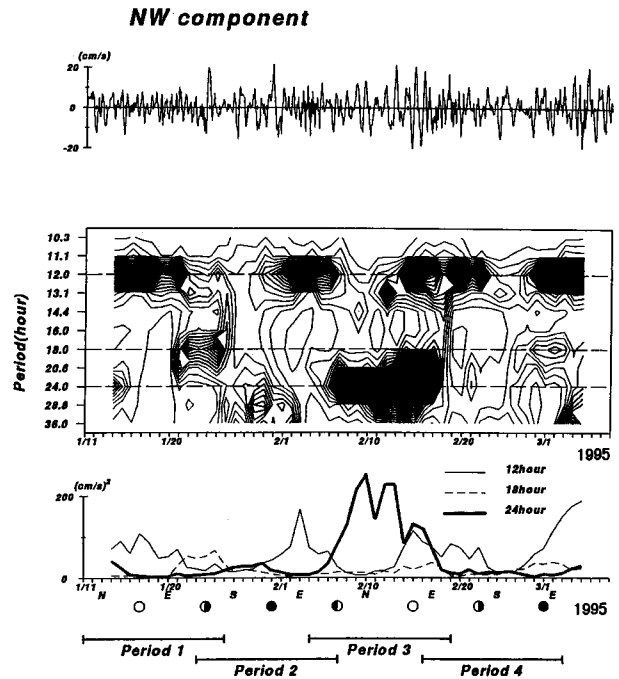


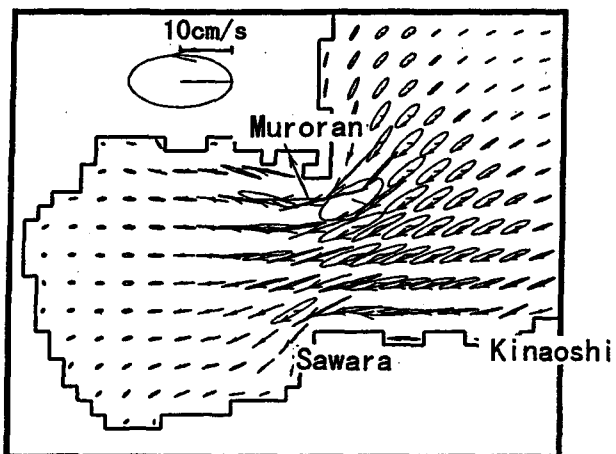
Fig. 4. Observed time series of NW current component (upper), dynamic spectra (middle), and time series of spectral density for 12, 18 and 24 hours (lower). Periods 1, 2, 3 and 4 for the harmonic analysis of tide are shown.

潮) におけるエネルギー値の時系列を示す。半日周期成分は大潮・小潮に対応して流速振幅がきれいに变化しており、振幅の最大値は 10 cm/s 程度となることがわかる。慣性周期成分は 1 月 22 日～25 日、3 月 1 日～3 日に流速振幅が増加しているが、それ以外は顕著な振幅の変化はない。日周期成分は赤道潮 (E 印)・回帰潮 (N・S 印) に対応して流速振幅が変化しているが、半日周期成分のように明瞭ではない。2 月 10 日前後の期間を除いて、振幅の最大値は 5 cm/s 程度となり、この程度の値であれば数値モデル結果とも矛盾はない。しかしながら、この 2 月 10 日前後の時期に限って日周期成分の流速振幅は顕著に増幅しており、振幅の最大値は 15 cm/s にも達している。このとき、慣性周期成分の振幅は十分に小さく、増幅した日周期変動に対する慣性周期変動 (約 18 時間周期) の影響は考えられない。そこで、次節では、2 月 10 日前後とそれ以外の時期における潮流の空間分布を比較し、一時的に増幅すると思われる日周潮流の特徴を記述する。

### 噴火湾口付近における潮流楕円の空間分布

潮流の空間分布は 15 日間の流速データを用いた調和解析 (最小二乗法) により求めた潮流楕円として示し、用いた分潮は主要 4 大分潮 (M2・S2・K1・O1) である。2 月 10 日前後を含む調和解析の期間 2 月 4 日から 2 月 19 日を Period 3 とし、他の観測期間において 1 月 11 日から 1 月

(a) Model



M2

(b) HF

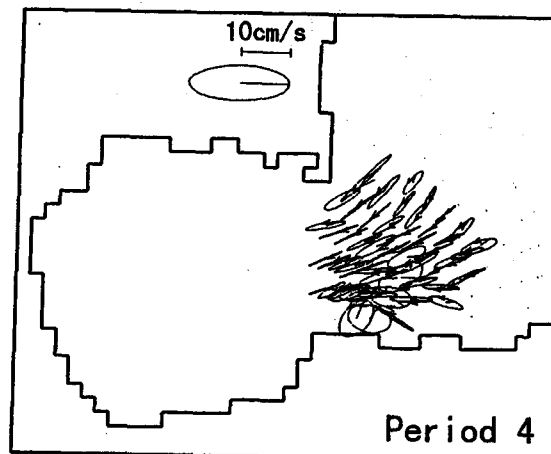
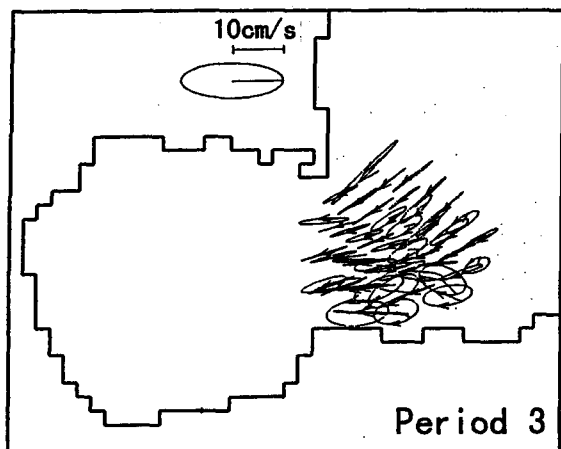
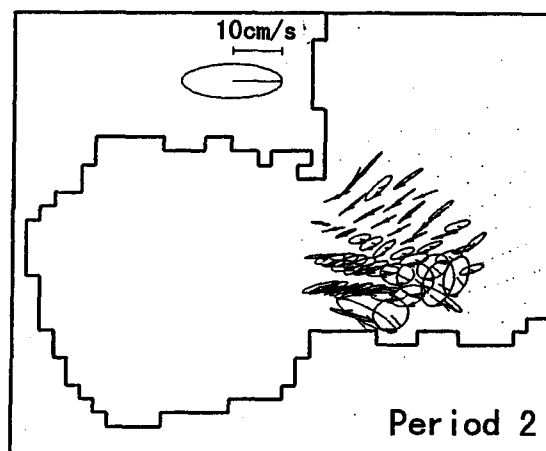
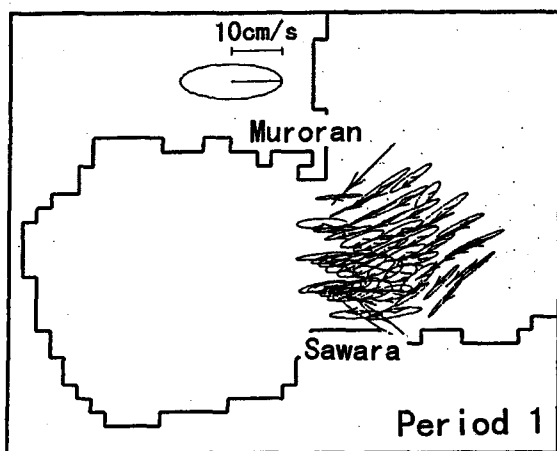
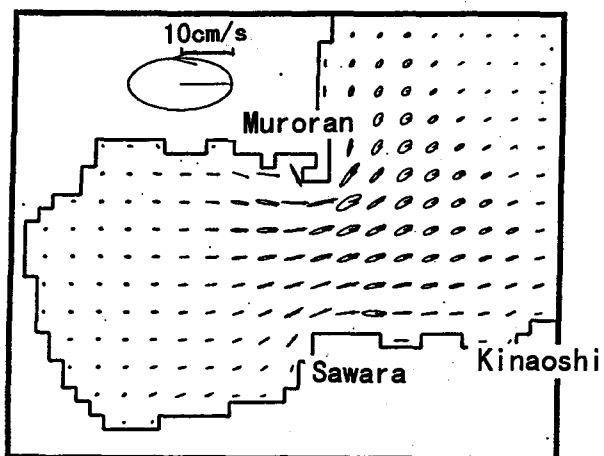


Fig. 5. Tidal ellipses of M2 constituent (a) for computed tide and (b) for observed tides during Period 1, 2, 3 and 4, respectively.

(a) Model



K1

(b) HF

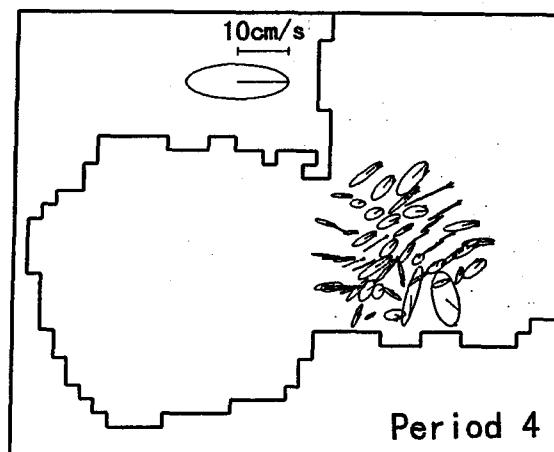
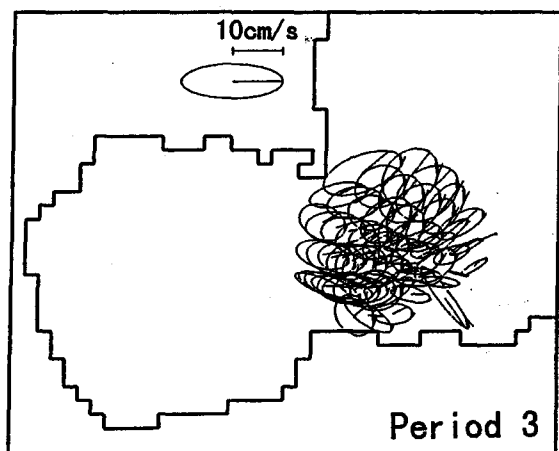
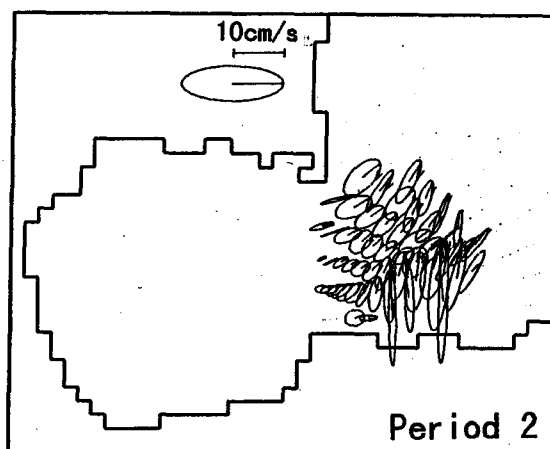
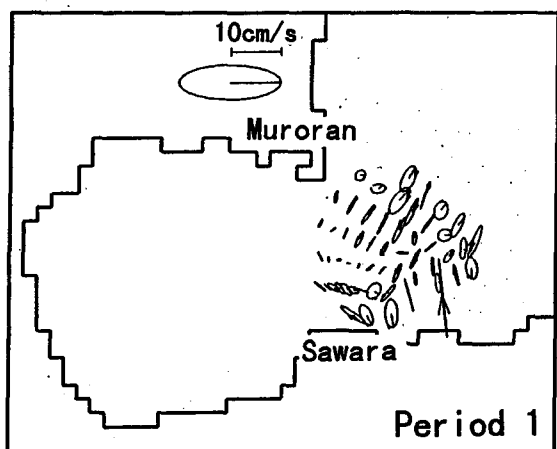


Fig. 6. Same as Fig. 5 except for K1 constituent.

26日を Period 1, 1月23日から2月7日を Period 2, 2月16日から3月3日を Period 4とした。各期間における潮流楕円の空間分布図は、半日周潮の代表として M2 を Fig. 5, 日周潮の代表として K1 を Fig. 6 に示した。潮流楕円は各分潮の仮想天体が明石に南中する時刻における潮流ベクトルを始線とし、矢印は回転方向を示している。また、各図の上段には、比較のため、坂田・磯田 (1998) による数値モデルの計算結果を示している。

**M2 分潮流の潮流楕円 (Fig. 5)**

湾口付近における M2 分潮の潮流楕円はいずれの期間においても湾軸方向に偏平しており、長軸の振幅は Period 2 でやや小さくなることを除けば、約 7 cm/s であることがわかる。また、楕円の回転方向はほとんどが時計回りである。よって、日周潮流が卓越していた Period 3 の期間と他の期間で、M2 分潮流の空間分布には違いはない。数値モデルの結果と比較しても、振幅や位相に大きな違いはなく、湾口付近の半日周潮流は基本的に外部 (順圧) 潮汐の挙動で説明ができると考えられる。

**K1 分潮流の潮流楕円 (Fig. 6)**

M2 分潮の潮流楕円分布にもみられるが、K1 分潮におい

ては特に顕著に、砂原沖付近の潮流楕円のバラツキが大きく、長軸は岸に直交方向に向く傾向がみられる。これは潮汐現象ではなく、HF レーダのビーム交角が 0 度に近くなっていることによる計測誤差の影響と考えている。この砂原沖を除外して湾口付近の潮流楕円をみると、Period 1, 2, 4 は湾軸方向に偏平しており、長軸の振幅は 2-3 cm/s となり、位相についても数値モデル結果とよく似ている。一方、Period 3 における潮流楕円の振幅は 7-10 cm/s まで増幅しており、楕円の形状は他の期間に比べて円に近い。このように Period 3 は他の期間とは全く異なる潮流楕円の形状を示すが、潮流楕円の位相や回転方向 (時計回り) は同じである。このように位相が大きく変わらないことから、Period 3 に卓越する日周潮流が他の異なる日周期変動 (海陸風に伴う変動) や内部潮汐 (想定される波としては内部ケルビン波) に影響されたとは考えにくい。

おわりに

HF レーダ観測の流速データ解析により、数値モデルから推測されていた噴火湾口付近の潮流分布がある程度正しいことが確かめられた。ところが、この HF レーダ観測から新たに、日周潮流の振幅が一時的に増幅する現象が捉え

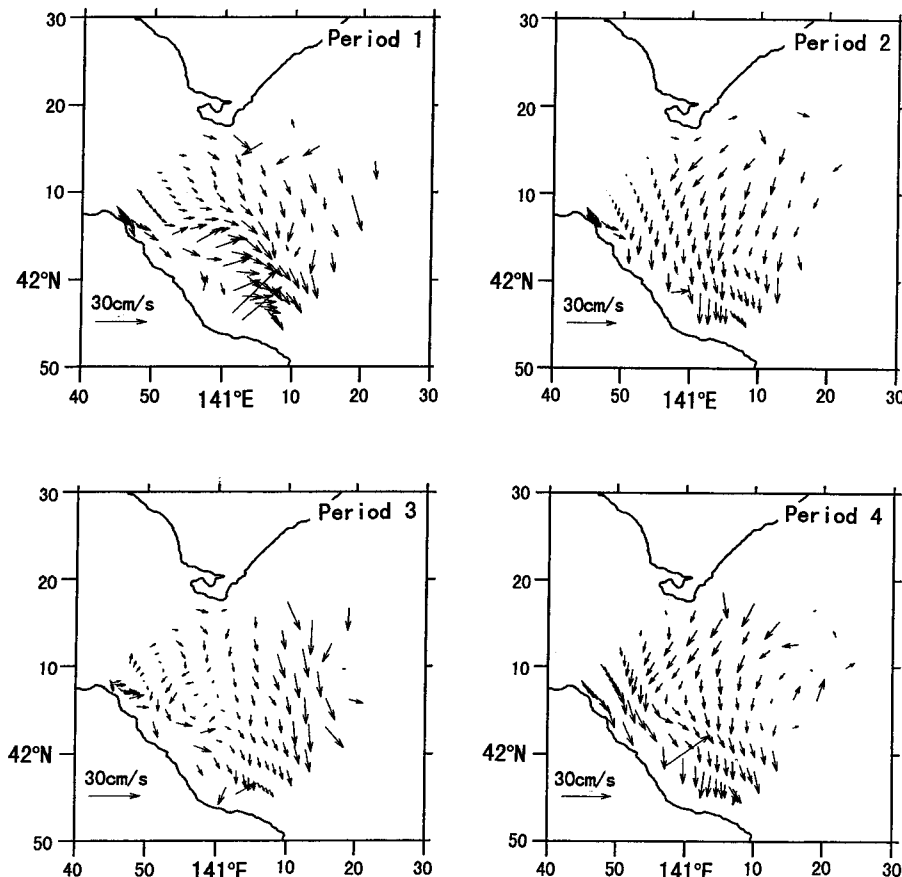


Fig. 7. Residual flows during Period 1, 2, 3 and 4, respectively.

られた。その原因としていくつか考えられるが、振幅が増幅した期間においても潮流の位相が他の期間やモデルと比べて大きく変わらないことから、慣性周期帯の変動（慣性振動）が日周潮流に影響を与えた可能性や内部潮汐の可能性は否定されるように思われる。

そこで、Fig. 7 に Period 1-4 の各期間における残差流の空間分布図を示し、平均流動場の違いを調べてみた。先に述べたレーダビーム交角の問題のために砂原沖の流れ場は怪しいものの、湾口中央から沖合にかけての流れ場は安定しており、南下する沿岸親潮の流れがきれいに捉えられている。いずれの期間においても、沖合（おそらく陸棚斜面上）ほど南下流が大きい傾向にある。Period 1 ではその南下流と湾外へ流出する流れが湾口付近で合流しており、Period 2 では南下流が湾口に接近し、Period 3 では南下流が沖合へ移動し、Period 4 では南下流が再び湾口へ接近している。Period 3 と他の期間の相違として、湾口付近におけるシアー流の強さが挙げられる。すなわち、Period 3 では湾口付近の平均流速が小さく、沖合で強くなり、負の相対渦度が最も大きな時期である。この相対渦度の大きさは  $(=-(25 \text{ cm/s})/(10 \text{ km}) \sim -2.5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1})$  程度と見積もられる。一般に、水平シアー流のある領域に存在する波動は、場のコリオリパラメータに相対渦度を加えた「実効的なコリオリパラメータ： $f_{\text{eff}} \sim f + \zeta/2$ 」に支配される (Kunze, 1985)。この場合、 $f_{\text{eff}} \sim (9 - 2.5/2) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} = 7.75 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

となり、(実効的な) 慣性周期に換算すると、18 時間 (噴火湾の緯度から計算される真の慣性周期) よりも長い周期の 22.5 時間となる。この値は日周期に近づいている。現段階では推測の範囲内にあるが、沿岸親潮が噴火湾口に達したときの水平シアー効果により、実効的な慣性周期が日周期帯に近づいた場合、日周期潮汐波が水平的な振動が卓越する近慣性波的な性質をもつようになるというシナリオが考えられる。それを示唆するように、Fig. 6 の Period 3 における潮流楕円は慣性振動に似た円形の形状を示しているように思われる。

しかし、このシナリオはあくまでも可能性の一つである。今後は、まず、沿岸親潮をきちんと再現できる数値モデルを作成し、上記のシナリオの可能性を確かめたいと考えている。

## 参 考 文 献

- Kunze, E. (1985) Near-inertial wave propagation in geostrophic shear. *J. Phys. Oceanogr.*, **15**, 544-565.  
 大谷清隆 (1981) 噴火湾の物理環境. 沿岸海洋研究ノート, **19**, 68-80.  
 坂田陽一郎・磯田 豊 (1998) 噴火湾周辺海域における潮汐・潮流の数値モデル. 北海道大学水産学部研究彙報, **49-2**, 51-57.