HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	噴火湾周辺海域における潮汐・潮流の数値モデル
Author(s)	坂田, 陽一郎; 磯田, 豊
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 49(2), 51-57
Issue Date	1998-08
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/24168
Type	bulletin (article)
File Information	49(2)_P51-57.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北大水産彙報
49(2), 51-57, 1998.

噴火湾周辺海域における潮汐・潮流の数値モデル

坂田陽一郎[1)]・磯田　豊[1)]

A Numerical Model of Tides and Tidal Currents around Funka Bay

Youichirou SAKATA[1)] and Yutaka ISODA[1)]

Abstract

The barotropic tides and tidal currents of four major constituents (M2, S2, K1, O1) around Funka Bay were investigated using a 2-dimensional tidal model. From results of model calculations, all four tidal constituents showed standing waves which have phases of tides about 90 degrees different from those of tidal currents. The M2-tidal current (7～8 cm/s) was most dominant only at the mouth of the bay.

Key words: Funka Bay, Four major constituents, Standing wave

緒　　言

噴火湾周辺で過去に行われた短期の係留観測から，潮流は数日周期で変動する流れに比べて十分に小さく，その振幅は湾口部で 10 cm/s 程度であることが報告されている (大谷，1981)。しかしながら，噴火湾周辺海域では検潮所が少なく，また係留観測による報告がきわめて少ないため，陸棚を含むこの海域の潮汐・潮流の分布についてはまだよくわかっていない。そこで，本研究では 2 次元の順圧潮汐モデルを用いて沿岸潮位を再現し，モデル計算結果から噴火湾周辺海域における潮汐・潮流分布の特徴を明らかにすることを試みる。

数 値 モ デ ル

本数値実験で用いたモデル海底地形を Fig. 1 に示す。噴火湾内の水深は湾央が最大で約 100 m あり，湾口の水深は湾央より浅く敷居状の地形となっている。湾口の北側は北海道南部の太平洋岸の陸棚地形に続いており，湾口の南側は津軽海峡の北岸を形成する渡島半島につながっている。また，噴火湾の東方に広がる海域は日高湾と呼ばれ，噴火湾口を中心とする U 字状の陸棚斜面に囲まれている。

計算に用いた基礎方程式は以下に示す f 平面上の均質な流体の運動方程式と連続式である。

$$\frac{\partial \boldsymbol{u}}{\partial t}+(\boldsymbol{u}\cdot\nabla)\boldsymbol{u}+f\boldsymbol{k}\times\boldsymbol{u}=-g\nabla\eta-\frac{r_b^2|\boldsymbol{u}|\boldsymbol{u}}{H+\eta}+A_h\nabla^2\boldsymbol{u} \tag{1}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\nabla\{(H+\eta)\boldsymbol{u}\}=0 \tag{2}$$

[1)] 北海道大学水産学部物理海洋学講座
(*Laboratory of Physical Oceanography, Faculty of Fisheries, Hokkaido University*)

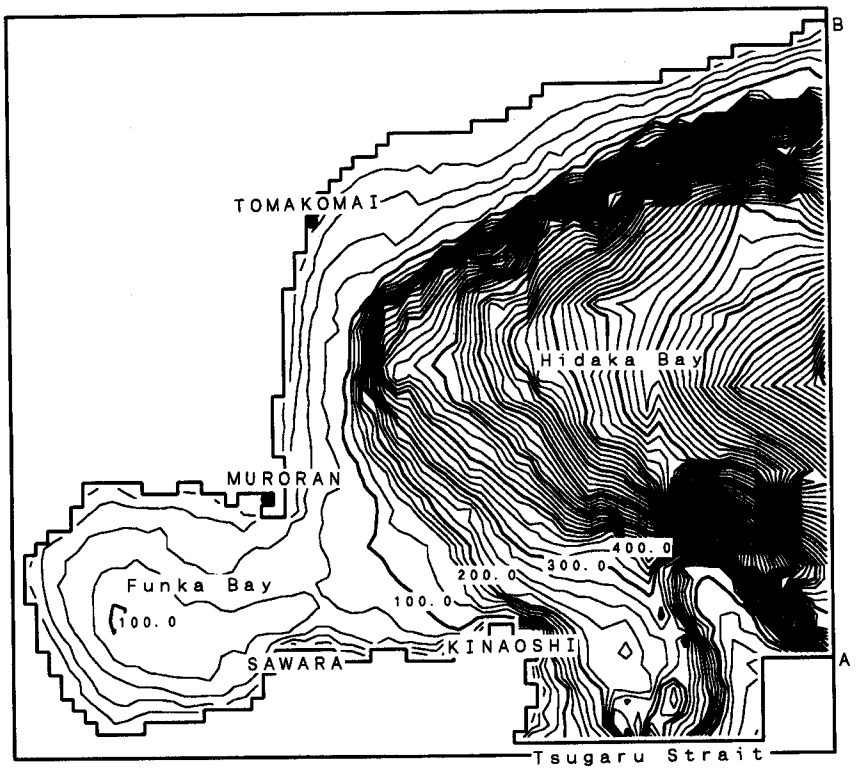

Fig. 1. Model basin around Funka Bay. Numbers show the depth in meter. Model forcing is given along the open-boundary between A and B points, basis on the harmonic constants of four major tides as shown in Table 1. In this model, the Tsugaru Strait is closed.

ここで $\boldsymbol{u}$ は鉛直平均した流速ベクトル，∇ は水平微分演算子，f [$=9.7\times10^{-5}\mathrm{s}^{-1}$] は 42°N におけるコリオリパラメータ，$\boldsymbol{k}$ は鉛直上向きの単位ベクトル，g [$=980\ \mathrm{cm\cdot s}^{-2}$] は重力加速度，$\eta$ は平均水面からの海面変位，r_b^2 [$=0.0026$] は海底摩擦係数，A_h [$=1.0\times10^5\ \mathrm{cm}^2\cdot\mathrm{s}^{-1}$] は水平渦動粘性係数，$H$ は水深である。水平格子は 2.5 km×2.5 km とし，陸岸境界では non-slip 条件を課した。

計算は M2・S2・K1・O1 の主要 4 大分潮について行い，それぞれ Fig. 1 に示した太平洋側の開境界 A-B で強制水位を与えた。Table 1 に各分潮毎の調和定数を示す。A-B 間の格子上の強制水位は，A・B 点における調和定数を線形内挿した値である。なお，A・B 点における調和定数は，室蘭と苫小牧の検潮所 (位置は Fig. 1 を参照) における調和定数を再現するように試行錯誤して求めた値である。津軽海峡は閉境界とし，そのため津軽海峡から侵入する潮汐波は考慮しなかった。これは津軽海峡内の潮汐は太平洋から侵入する潮汐波によって支配され，日本海から太平洋に抜ける潮汐の影響は小さいためである (Odamaki, 1989)。海面は平均水面で静止しているという初期状態から水位強制を始め，5 周期目まで計算したところでほぼ定常状態となった。そこで，6 周期目の計算結果を用いて各格子点上で調和解析を行った。

Table 1. Harmonic constants of model forcing given at the open-boundary A and B.

	A		B	
	amplitude (cm)	phase lag (degree)	amplitude (cm)	phase lag (degree)
M2 (12.4 hour)	30.9	104.1	27.7	106.6
S2 (12.0 hour)	14.2	142.7	14.1	141.7
K1 (23.9 hour)	23.6	165.5	23.8	167.7
O1 (25.8 hour)	19.2	147.9	19.5	148.8

計 算 結 果

室蘭と苫小牧の検潮所における調和定数と計算結果から得られた調和定数を比較し，Table 2 に示した。主要 4 大分潮はいずれも振幅・位相ともに観測結果と計算結果の差は小さく，モデル計算結果は噴火湾周辺海域の潮汐分布を良く再現していると考えられる。例えば，室蘭における観測値と計算値の差が最も大きかった分潮は O1 分潮であるが，それでも両者の差は潮位で 0.3 cm，位相で 0.4° (1.7 分) である。苫小牧における観測値と計算値の差をみると，潮位の差が最も大きかった分潮は O1 分潮であるがその差は 0.5 cm 程度，位相の差が最大だった分潮は M2 分潮であるがその差は 1.2° (2.5 分) 程度である。

潮位分布

Fig. 2, 3 はモデル計算から得られた半日周潮 (M2・S2) と日周潮 (K1・O1) の潮位の振幅 (上段：等潮差図)・位相 (下段：等潮位図) の水平分布図である (等潮差図・等潮位図)。噴火湾周辺海域で最も卓越する分潮は M2 分潮であることがわかる。M2 分潮の潮位の最大振幅は噴火湾奥において約 36 cm，噴火湾口から噴火湾奥にかけて約 3 cm の振幅の増幅が起こっている。次に卓越する潮位は K1 分潮，次いで O1 分潮となる。K1 及び O1 分潮では M2 分潮に見られた湾内における振幅の増幅はみられない。K1 及び O1 分潮の最大振幅はそれぞれ日高湾から噴火湾にかけてほぼ一様で，それぞれ約 23.5 cm，約 19 cm である。最も潮位の振幅が小さいのは S2 分潮で，その最大振幅は噴火湾奥において約 17 cm と M2 分潮の最大振幅にくらべ半分程度の大きさである。

Table 2. Observed and calculated harmonic constants at MURORAN and TOMAKOMAI.

		Muroran		Tomakomai	
		amplitude (cm)	phase lag (degree)	amplitude (cm)	phase lag (degree)
M2	Observation	33.9	103.9	31.5	105.6
	Numerical result	34.0	103.9	31.2	104.4
S2	Observation	15.5	142.5	14.5	143.9
	Numerical result	15.5	142.5	14.3	144.5
K1	Observation	23.7	165.0	23.4	165.9
	Numerical result	23.7	165.0	23.6	165.1
O1	Observation	19.3	148.4	18.5	148.2
	Numerical result	19.0	148.0	19.0	148.7

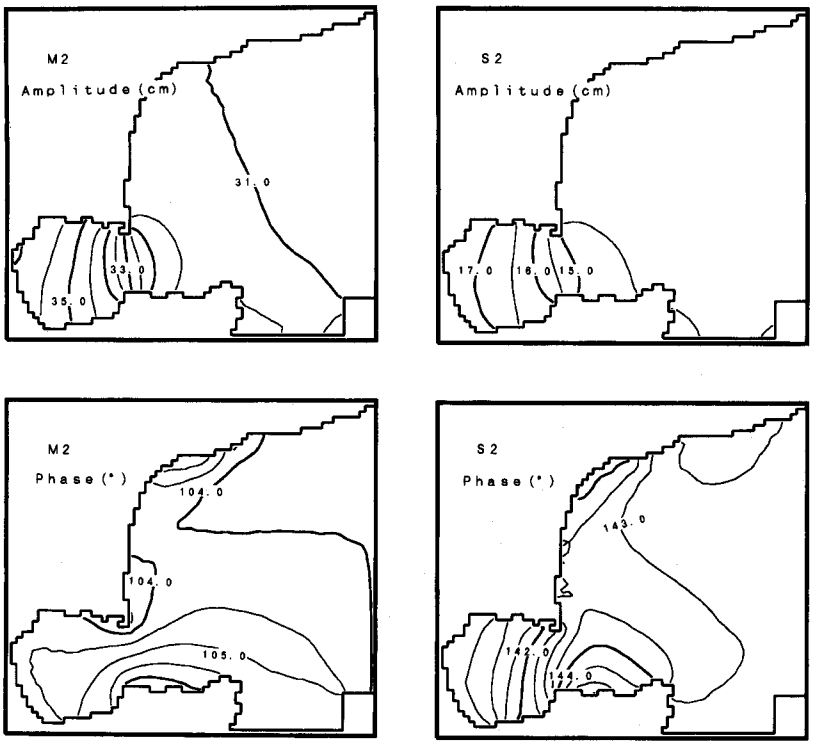

Fig. 2. Calculated co-range and co-tidal charts of M2 and S2 tides.

また，S2 分潮でも M2 分潮に見られるような噴火湾口から噴火湾奥にかけての振幅の増幅が見られ，増幅振幅は約 2 cm である。

各分潮の位相分布をみると，主要 4 大分潮のいずれも計算領域内における位相差は非常に小さい。最も大きな位相差が見られたのは S2 分潮であるが，湾口と湾奥で約 4° (8 分) 程度である。この様に各分潮とも空間的な位相差は小さいものの，各分潮について噴火湾内の位相分布の詳細をみるとそれぞれ以下のような特徴がある。まず M2 分潮の位相は湾口の室蘭側が約 104°，対岸の砂原側が約 106° であり，室蘭側から砂原側へと位相が進んでいる。しかし，湾軸方向の位相差は小さくほぼ同位相であることがわかる。S2 分潮の位相は M2 分潮とは異なり，先に述べたように湾奥が湾口よりも約 3° 先行している。そして渡島半島側の砂原から木直にかけて約 145° と最も位相の遅れた海域が形成されている。また，日周潮の K1・O1 分潮の位相分布は，噴火湾周辺海域においてほぼ同位相である。以上のモデル計算の結果から，日周潮に関しては振幅・位相ともに噴火湾周辺海域でほぼ一様であり，半日周潮に関しては，振幅は噴火湾奥で最大となり，位相は噴火湾周辺海域において 2～4° 程度の位相差があることがわかった。

潮流分布

Fig. 4, 5 はモデル計算から得られた半日周潮流 (M2・S2) と日周潮流 (K1・O1) の潮流楕円分布図である。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，矢印は楕円の回転方向を示す。主要 4 大分潮の中で最も潮流振幅が大きいのは M2 分潮で，噴火湾口付近

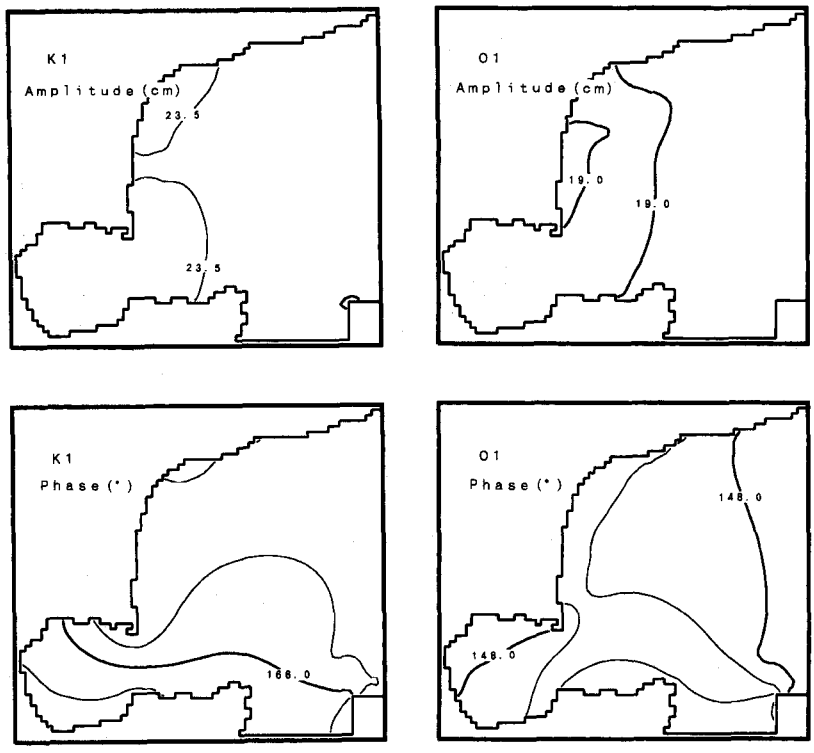

Fig. 3. Calculated co-range and co-tidal charts of K1 and O1 tides.

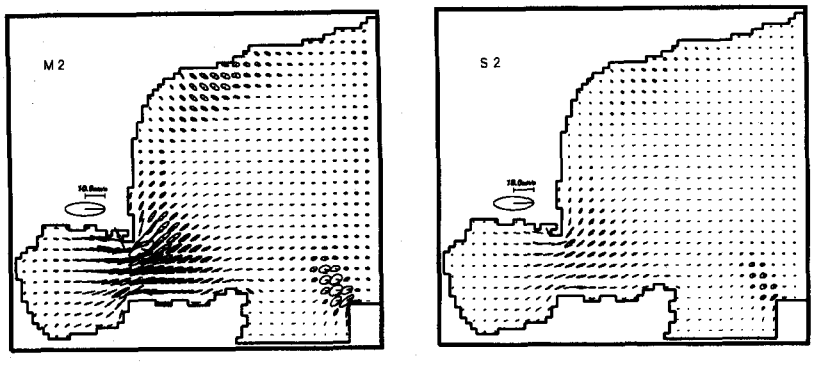

Fig. 4. Calculated tidal current ellipses of M2 and S2 tides.

において約 7～8 cm/s，他の分潮の潮流振幅は最大でも約 3 cm/s 程度である。いずれの分潮においても潮流楕円の定性的な空間分布はよく似ており，潮流振幅は噴火湾口付近で最大となり，長軸は湾軸方向に向いている。S2 分潮流の最大振幅値は約 3 cm/s，K1・O1 分潮流の最大振幅値は約 2～3 cm/s である。噴火湾外の潮流楕円をみると，北海道南岸の 100 m 以浅の陸棚海域では噴火湾口の潮流振幅の半分程度の大きさであり，位相をみると噴火湾口とほぼ同位相で上げ潮・下げ

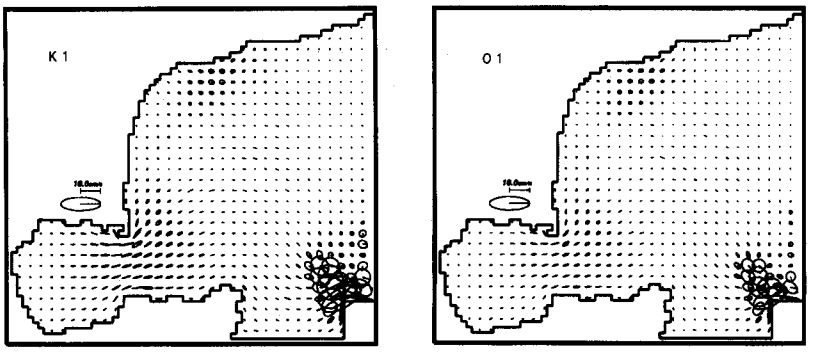

Fig. 5. Calculated tidal current ellipses of K1 and O1 tides.

潮を繰り返していることがわかる。

噴火湾口部における潮汐の力学特性

潮位と潮流の変動が同位相の場合の潮汐波は進行波的，位相差が 90° の場合は定在波的な力学特性を持つ。先に述べたように，主要 4 大分潮の潮流はすべて湾軸方向の成分が卓越しているため，湾軸方向の往復流とみることができる。そのため，潮流の位相は噴火湾口部の湾軸方向の成分についてのみ注目することにする。

まず，噴火湾口付近で最も卓越している M2 分潮の潮位と潮流の位相関係を調べてみよう。湾口での潮位の位相は約 105°（仮想天体が明石に南中する時刻を 0° し，他の分潮も同様とする）で，潮流の位相は約 210° である。したがって，潮位と潮流の位相差は約 105° となり，噴火湾口における M2 分潮は定在波的であることがわかる。

同様に，S2 分潮の噴火湾口付近における潮位の位相は約 143°，潮流の位相は約 230° であり，両者の位相差は約 87° である。噴火湾口付近における K1 分潮の潮位の位相は約 166°，潮流の位相は約 260° で位相差は約 94°，O1 分潮の潮位の位相は約 149°，潮流の位相は約 240° で位相差は約 91° である。したがって，S2・K1・O1 分潮ともに定在波的な挙動を示していることがわかる。

ま と め

2 次元の順圧潮汐モデルを用いた数値実験の結果から得られた噴火湾周辺海域の潮汐・潮流の特徴をまとめると以下の様になる。

(1) 主要 4 大分潮の中で，噴火湾周辺において最も卓越するのは M2 分潮であり，潮位は湾奥において最大となりその振幅は約 36 cm，潮流振幅は湾口付近で最大 7～8 cm/s となる。S2 分潮は主要 4 大分潮のなかで最も潮位振幅が小さく，最大でも約 17 cm，潮流振幅も湾口付近で最大となり 3 cm/s 程度である。また，M2 分潮・S2 分潮ともに湾口から湾奥にかけて潮位の振幅が若干増幅される傾向がみられる。

(2) K1・O1 分潮の潮位振幅は，ともに噴火湾周辺海域においてほぼ一様で約 20 cm であり，半日周潮に見られたような湾内での振幅の増幅はみられない。潮流の振幅は湾口部で最大となり K1・O1 分潮とも最大 2～3 cm/s 程度で，M2 分潮と比較すると 1/3～1/4 程度である。

(3) 主要 4 大分潮の潮位と潮流の位相関係を調べた結果，いずれの分潮も噴火湾口部において

定在波的な挙動を示すことがわかった。

文　　献

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.
Odamaki, M (1989). Co-Oscillating and Independent Tides of the Japan Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan.*, **45**, 217-232.