

## 内湾海水の動態についての水理学的研究

### II. 内湾における潮流および潮流による拡散

河原田礼次郎・戸原義男\*・加藤 治\*

(農業水理学研究室)

昭和54年8月20日 受理

### Hydraulic Studies on the Movement of Tidal Current in Inner Bay

#### II. On the Tidal Current and Diffusion due to Tidal Current in Inner Bay

Reijirō KAWAHARADA, Yoshio TOHARA\* and Osamu KATŌ\*

(Laboratory of Irrigation and Drainage Engineering)

#### 緒 言

内湾の海水は外海との交流が十分でないため、いったん汚染されると容易に更新されず問題となる。すなわち汚染源の問題と並行して湾内水の動態をつかむことがその対策上重要なこととなる。かかる問題は厳密には3次元解析が必要となるが2次元解析であっても拡散の方程式を組合せた場合、たとえ2, 3タイダルの解析をすとしてもその計算量は莫大なものとなり実用的でない。したがってむしろ1次元モデルについて多様なケースを考えた方が有意義であると判断した。すなわち外海の潮汐によって内湾の潮流はいかなる様相を呈するのか、その結果どのような拡散状態を示すかを、恒流成分をも加味し1次元数値モデルによって解析した。

#### 基礎方程式

湾の軸方向に沿って伝播する潮汐の運動および連続の方程式を示すと次のようにあらわされる。

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{n^2}{R^{4/3}} |u| u = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_0 \quad (2)$$

$u$ : 流速,  $g$ : 重力の加速度,  $Z$ : D. L. から上方にとった潮位,  $A$ : 通水断面積,  $R$ : 径深,  $n$ : 粗度係数,  $q_0$ : 単位区間当りの河川からの流入量

次に拡散方程式は式(3)のようである。

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} = \bar{K} \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} \quad (3)$$

$S$ : 濃度,  $\bar{K}$ : 拡散係数

以上三つの式を差分式に書きかえ境界条件を与えて数値計算を行なえばよい。式(1), (2)の差分式については前報<sup>1)</sup>でのべたので式(3)について前報の記号を用いて差分化すると次のようである。すなわち

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{S_m^{r+1} - S_m^r}{\tau}, \quad u = \frac{u_m^r + u_{m+1}^r}{2},$$

$$\frac{\partial S}{\partial x} = \frac{S_{m+1}^r - S_{m-1}^r}{2l}$$

$$\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} = \frac{1}{l^2} (S_{m+1}^r + S_{m-1}^r - 2S_m^r)$$

とおき式(3)に代入すれば式(4)をうる。

$$S_m^{r+1} = \left(1 - \frac{2\bar{K}}{l^2} \tau\right) S_m^r - \frac{\tau}{4l} (u_m^r + u_{m+1}^r) (S_{m+1}^r - S_{m-1}^r) + \frac{\bar{K}}{l^2} \tau (S_{m+1}^r + S_{m-1}^r) \quad (4)$$

#### 適用例とその考察

内湾の一つとして鹿児島湾を選び、湾口を起点として外海の潮位を与え、この振動が湾奥までどのような形で伝播していくか、その結果どのような拡散状態を示すのかを Fig. 1 のように湾の主軸上に 1 km おきにとった92断面について解析した。

またこの計算の場合、湾が比較的深いので運動方程式の摩擦の項を無視し、またこの湾内へは大きな河川からの流入量も少ない<sup>\*1)</sup>ので連続の式の右辺を無視した。

かかる数値モデルによって数値計算をすすめるにあたって条件を列挙すると次のようである。

\*1) 前報<sup>1)</sup>では河川からの流入量を無視できないであろうとのべたが、その後の研究の結果流入量が少ないのでほとんど影響がないことが分った。

\* 佐賀大学農学部  
Faculty of Agriculture, Saga University

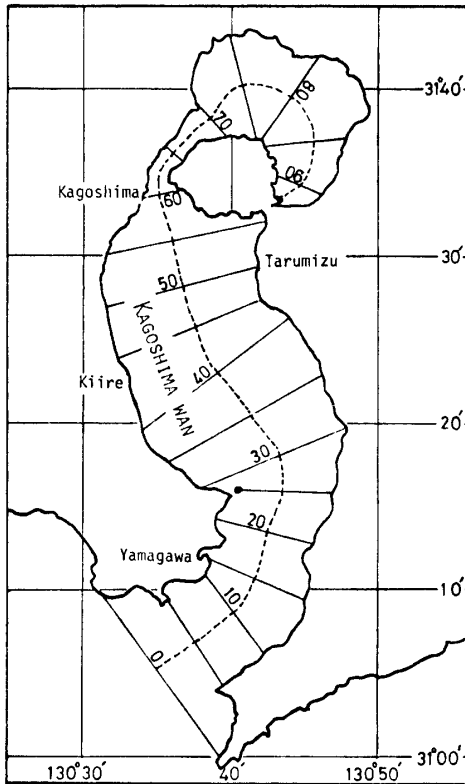


Fig. 1. Location of calculated sections in Kagoshima-wan.

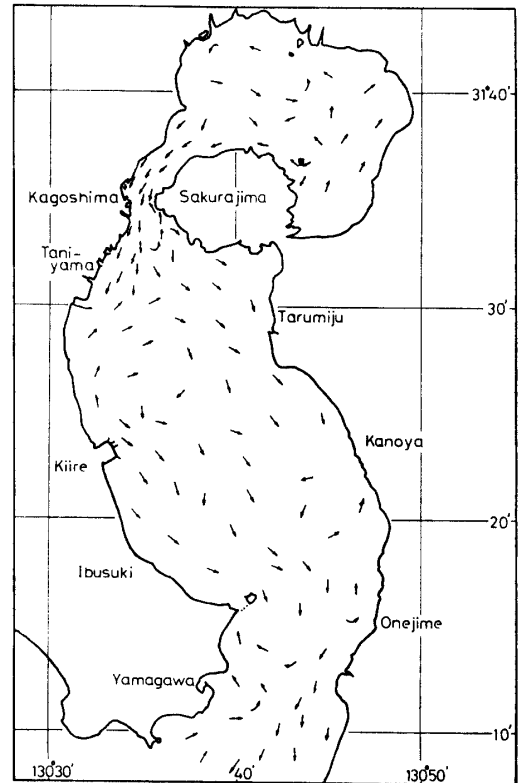


Fig. 3. Residual current in Kagoshima-wan.

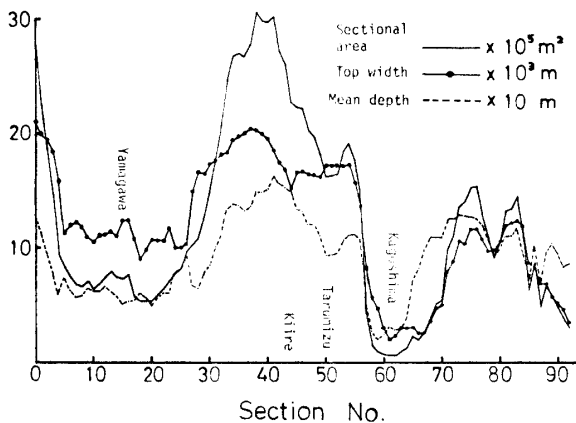


Fig. 2. Some elements on flow profile of Kagoshima-wan.

(1) Fig. 1 の No. 15 地点 (山川沖), No. 42 地点 (喜人沖), No. 60 地点 (鹿児島港沖) および No. 82 地点 (福山沖) の 4 地点にそれぞれ別個の点源を与え, それらの拡散状態を比較した。

(2) 時期は 5 月 1 日~7 月 31 日 (春), 9 月 1 日~11 月 30 日 (秋) の 2 季とした。

(3) 恒流については, これをどのように取り入れるかについて問題があるが, 今回は Fig. 3<sup>2)</sup> のうち湾

の主軸の西側の成分をとって計算した。

(4) 拡散係数  $\bar{K}$  の大きさは  $10^3 \sim 10^6$  ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ ) とと思われるので 5 および 100 ( $\text{m}^2/\text{sec}$ ) の 2 種類で比較した。

(5) 計算の時間々隔  $\tau$  は, 拡散については 30 秒, 潮流解析については 15 分をとった。

以上の計算結果およびその考察についてのべると次のようである。

(a) ここには春季の結果のみをあげているが秋の方が濃度の値が春より少し大きい等多少の差はあるが, 傾向としては差はあまりない。

(b) Fig. 4 は (1) にのべたように No. 15, 42, 60, 82 のそれぞれの地点に点源を設けたときの濃度の拡散していく状態を時間の経過に従って図示したものの一部で, 点源を中心にしてその幅が次第に広がっていくと共に濃度 (数字) が段々と小さくなっていく様子がうかがえよう。上段一列の 1~92 の数字は Fig. 1 の断面番号を示す。またこれらは, いずれも春季のもので 5 月 1 日に点源を与えたものである。

これらを見て分るように拡散の進み方が早いのは狭窄部の鹿児島湾沖 (No. 60 地点) であり, ついで湾口 (No. 15 地点), 湾央 (No. 42 地点), 湾奥 (No. 82 地点) となっている。すなわち拡散の幅の広がり, こ

No. 15 ( $\bar{K}=5$ )

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

149995  
 149995  
 149995  
 149995

TIME 1.00 hr

12234556665543221  
 12234556665543221  
 12234556665543221  
 12234556665543221  
 12234556665543221

TIME 36.00 hr

1111222333322211  
 1111222333322211  
 1111222333322211  
 1111222333322211  
 1111222333322211  
 1111222333322211

TIME 84.00 hr

No. 15 ( $\bar{K}=100$ )

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

11234567787765432211  
 11234567787765432211  
 11234567787765432211  
 11234567787765432211  
 11234567787765432211

TIME 1.00 hr

22222222222222222222111111111111111111  
 2222222222222222222222221111111111111111  
 22222222222222222222222111111111111111111  
 22222222222222222222222111111111111111111  
 22222222222222222222221111111111111111111  
 22222222222222222222221111111111111111111

TIME 36.00 hr

11  
 11  
 11  
 11  
 11

TIME 84.00 hr

Fig. 4-1. Diffusion state when pollution source is No. 15.

No. 42 ( $\bar{K}=5$ )

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

299993  
 299993  
 299993  
 299993

TIME 1.00 hr

113457889999888765443211  
 113457889999888765443211  
 113457889999888765443211  
 113457889999888765443211  
 113457889999888765443211

TIME 36.00 hr

11  
 11  
 11  
 11  
 11

TIME 180.00 hr

No. 42 ( $\bar{K}=100$ )

1 2 3 4 5 6 7 8 9  
 123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

11234567788776543211  
 11234567788776543211  
 11234567788776543211  
 11234567788776543211

TIME 1.00 hr

11  
 11  
 11  
 11  
 11

TIME 36.00 hr

11  
 11  
 11  
 11  
 11

TIME 180.00 hr

Fig. 4-2. Diffusion state when pollution source is No. 42.



の順に大きくなっており、その比は  $\bar{K}=5$  のとき、ほぼ  $1:1.8:3.0:7.4$ 、 $\bar{K}=100$  のとき  $1:1.4:2.0:3.1$ 、また初期濃度の  $1/1000$  以下 (図の空白の部分) になるまでに要する時間は、 $1\sim 1.5$  日、 $7.5$  日、 $10$  日、 $1$  カ月以上となっており湾奥での汚染がもっとも影響が大きい。

(c) 拡散の広がりを中心と思われる点の位置は No. 60 地点ではあまり変化しないが、No. 82, No. 42 地点では湾口側へ、No. 15 地点では少し湾奥側へ偏る。

以上は、すべて湾の主軸の西側の恒流成分を加味したものであるが、恒流を加味しない、いわゆる潮流のみによるものと比較すると次のことがいえる。

(d)\*<sup>2</sup> 恒流のない場合は4地点とも水塊は潮汐に応じて湾口 $\leftrightarrow$ 湾奥の振動をするだけで位置の移動はあまりないといえるが、恒流成分を入れると、これが一定値で連続的に与えられているためか、水塊の移動が振動を繰返しながらも変則的となり、No. 15, No. 42 地点のものは No. 26 地点付近に、No. 60, No. 82 地点のものは No. 57 地点付近に次第に移動していく。

(e) 拡散については、No. 60 地点に5月1日に点源を投入したときに、No. 60 地点および他の No. 15, No. 42, No. 82 地点の濃度が時間の経過と共にどのように変化していくかを恒流の有無について Fig. 5 に示した。実線が恒流のない場合、点線が恒流を加味した場合である。

すなわち No. 60 地点では投入点であるだけでなく湾の狭窄部で流速が大きいため、初めの短時間は多少潮汐の影響をうけて振動しているが、あとは漸次濃度

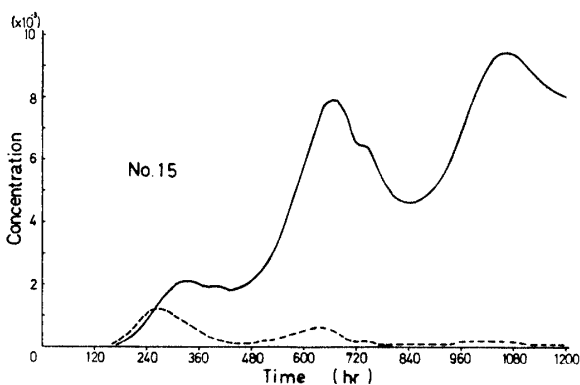


Fig. 5-1. Concentration change at No. 15 when pollution source is No. 60.

\*<sup>2</sup> 前報<sup>1)</sup>では、水塊の移動が何れの断面においても湾奥に向かっていると述べたが、これは初期条件のとり方によるものであり、本報告において訂正しておきたい。

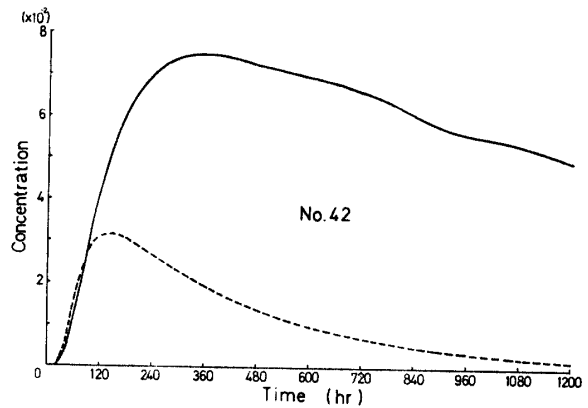


Fig. 5-2. Concentration change at No. 42 when pollution source is No. 60.

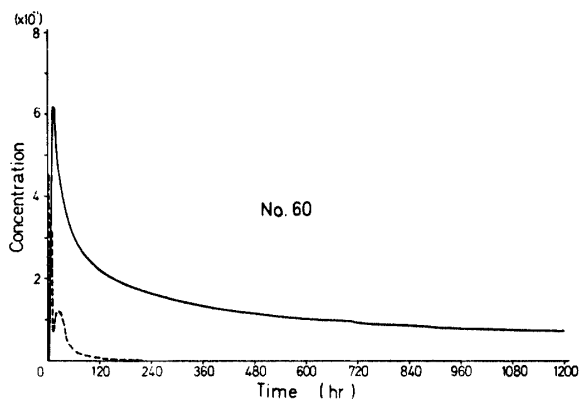


Fig. 5-3. Concentration change at No. 60 when pollution source is No. 60.

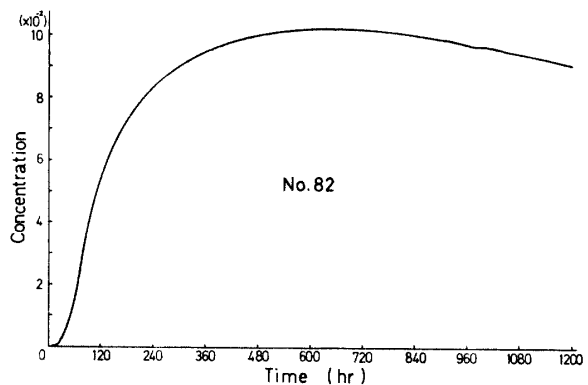


Fig. 5-4. Concentration change at No. 82 when pollution source is No. 60.

が低下していくのに対し他の地点では No. 60 地点からの距離に応じて影響をうけはじめる時間、濃度の値、上昇の傾向がずれていっている様子がうかがえる。No. 15 地点は、湾口であるため外海の潮汐の振動がかなりきいているようである。

また、いずれの断面も恒流の影響が大きく、No. 82

地点では図示できない値になっている。

内湾の潮流および潮流による拡散の問題は、数理モデルの手法としては2次元解析も見通し<sup>3)</sup>がたつに至ったが、まだ十分実用にはならず特にここにあげた適用例の鹿児島湾は、Fig. 2のように湾の大きさ、形態が他地域の湾とは著るしくその様相を異にしており計算値の収束が遅いようである。このようなことから1次元モデルによる解析を試み大略の様相の一端を知ることができたが、まだ十分なものとは言えない。さらに研究をすすめたい。

### 要 約

内湾の潮流および潮流による拡散の問題を解明するために、前報<sup>1)</sup>の1次元モデルに拡散方程式を組合せ解析する方法を論じた。

適用例としては鹿児島湾を選び、恒流成分をも加味して計算を試みた。

その結果、湾奥での拡散の進み方が一番遅く、汚染の影響がもっとも大きいこと、また恒流の拡散に与える影響の大きいこと等、鹿児島湾内の流況の一端を知ることができた。

**謝辞** 終りに本研究は、科学研究費特定研究「内湾における海水循環過程の研究」の補助を受けた。この研究の機会を与えて戴いた代表者高橋淳雄教授に謝意を表したい。

計算に使用した電子計算機は九州大学電子計算機センターFACOM 230-75およびFACOM M-190である。

### 文 献

- 1) 河原田礼次郎・戸原義男・加藤治：内湾海水の動態についての水理学的研究。鹿大農学術報告，No. 26, 231-235 (1976)
- 2) 第十管区海上保安本部：鹿児島湾の潮流 (1977)
- 3) 河原田礼次郎・戸原義男・加藤治：2次元数理モデルによる内湾の潮流および潮流による拡散。文部省科研費特定研究「海洋保全」シンポジウム (高橋班研究会) 講演要旨集，13, 14 (1977)

### Summary

In order to solve the problem of tidal current and the diffusion due to the tidal current in the inner bay, the solving method obtained by combining the one dimensional model in the previous report<sup>1)</sup> with the equation of diffusion was described.

As an example, Kagoshima-wan was chosen, and the above mentioned calculation was tried with the component of residual current, too.

As the result, a part of the current state in Kagoshima-wan was ascertained. That is, the diffusion in the back part of the bay was noted to be slowest in its progress, and was to be influenced mostly by the pollution, the diffusion was to be affected considerably by the residual current, and so on.