

## マングローブ林域感潮河川の環境について

## (1) Khlong Ngaoの水理環境

佐々木 孝, 井上 裕雄

ON THE TIDAL CHANNEL ENVIRONMENTS IN THE MANGROVE FOREST ZONE  
1. Hydraulic Environments in the khlong Ngao

TAKASHI SASAKI and HIROO INOUE

Field surveys on the ecological environments in the mangrove forest were carried out by the Thai-Japanese Joint Research Project Group in September, 1984. We took partial charge of a series of ecological environment studies by carrying out the field surveys on hydraulic characteristics and water qualities in the Khlong Ngao near Ranong, southern Thailand, one of the mangrove tidal channels, which was very affected by tin-mining operation.

This is the report on the results of investigation and simulation of the hydraulic characteristics in the Khlong Ngao.

Consequently, it was shown that the numerical results were in good agreement with the observed data.

We wish to thank Dr M. Bhovichitra, Mr. U. Sittiphuprasert of Faculty of Fisheries Science, Kasetsart University, Thailand, for helping our field surveys

マングローブ林の生態学的調査が、Southern ThailandのRanong Provinceを流下するKhlong Ngaoにおいて、1984年9月にタイ国と日本との共同研究グループによって実施された。特に本調査においてはKasetsart大学水産学部のMhan博士およびUdom講師のご協力を得て実施されたものである。

本研究はこの一連の研究のうち、錫採鉱排出汚濁水によって影響を受けているマングローブ林域感潮河川であるKhlong Ngaoにおける河川水理特性についての現地調査とその電算機シミュレーションに関するものである。

この河川流況シミュレーションは現地における観測データとよく適合した。

## 緒 言

熱帯、亜熱帯地方の海岸線、内湾および河口付近に生育するマングローブ林の保全、育林および利用についての調査研究が各専門分野から多面的に実施されている。特に近年積極的にすすめられている日本とThailandの研究者による共同研究により、その実態および生態が次第に明らかにされつつある<sup>1),2)</sup>。このマングローブ林の世界の総面積は1622×10<sup>4</sup>haといわれマングローブが繁茂する海岸線は森林資源としてのみならず、水産資源としてもその重要性が注目されている。<sup>3)</sup>

本研究はBurma国境付近に位置するSouthern ThailandのRanong Provinceを流下するKhlong Ngaoにおける環境調査のうち、流況解析についてとりまとめたものである。Thailandでは錫採鉱は重要な産業であるが、Ranong Provinceを錫の鉱脈が走っており、Khlong Ngao上流においても錫の採鉱船による採掘作業が現在も盛んに続けられている。採泥砂から錫を選別した後に採鉱船から排出される泥水により、河川、河口域および海岸線の水は多量のSSを含み、常時濁っており、外海水とは異様な境界を呈している。この汚水の漁業資源への影響が懸念されている。

本研究はこれらの実態を量的に明確にして、マングローブ沿岸域の水産資源との関係を求めるために行われたものである。

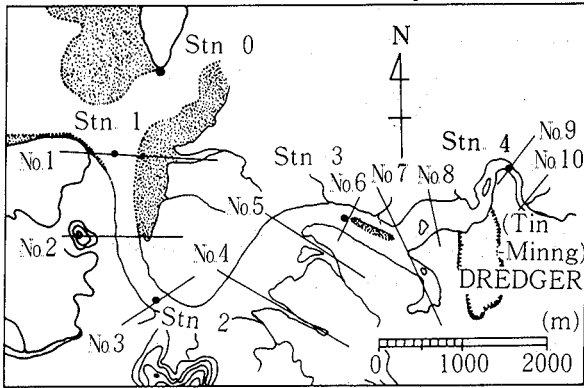


Fig 1 Map showing the location of observation stations: No.1~No.10, Stations for surveying of cross sectional area; Stn 1~Stn 4, Stations for current measurements

方 法

シュミレーションモデルを作成し、解析するために必要とされる河川の深浅測量、河口部における潮位観測、流速観測およびフロートによる流況観測を実施した。利用した計器は水位計 (LAR CO), 電磁流速計 (MARSH & MCBIRNEY CO) および記録計 (YOKOGAWA ELECTRIC WORKS CO) であり、現地調査は1984年9月7日~同年9月20日の間に行われた。(Fig 1)

Khlong Ngaoの河川形状、河床物質および河川水文資料などが解析において重要な要素となるが、このような河川資料は皆無である。そのため、詳細な現地踏査を行い地形を確認するとともに、マングローブ林の繁茂状況を把握した。深浅測量は河川下流部から上流部まで、本支川に渡り水深計を用いて実施した。河口域の水深はROYAL THAI NAVYの海図により確定した。潮位観測はFig 1に示されている地点において行い、PAK NAM RANONG (ROYAL THAI NAVY) の潮汐表と比較検討することとした。この観測位置は解析水域であるKhlong Ngaoの河口沖合にあり、Khlong Ngaoの流況を支配する重要な地点となると同時にシュミレーションモデルにおける境界条件としても使われる。また河川上・中・下流部における流速値を電磁流速計により、船上から計測した。さらに流況パターンを調べるために、3個の小型フロートを流し、船により追跡してフロート位置を経時的に把握した。これらは上げ潮時および下げ潮時ともに実施された。

実測したデータにもとづいて、河川の流速場を定めるための数理モデル解析を行った。

基礎方程式はNavier Stokes式として、これを水深方向に平均化し、しかも非線形項を無視した次の運動方程式および連続方程式を用いて二次元的に解析することとした。

$$\frac{\partial M}{\partial t} = - \left( \frac{r^2}{h+\zeta} \sqrt{U^2+V^2} \right) M + fN - g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + A_e \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = - \left( \frac{r^2}{h+\zeta} \sqrt{U^2+V^2} \right) N - fM - g(h+\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + A_e \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \left( \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \right) \quad (3)$$

ここに

$t$ : 時間,  $\zeta$ : 水均水位からの変動水位,  $x, y$ : 直行座標系であり,  $x$ は東西方向,  $y$ は南北方向を示す。  $U, V$ :  $x, y$ 方向の平均流速,  $A_e$ : 水平渦動拡散係数,  $r$ : 河床摩擦係数,  $f$ : コリオリの係数,  $g$ : 重力の加速度,  $M, N$ :  $x, y$ 方向の流量であり, 次のように定義されるものとする。

$$M = \int_{-\zeta}^h u dz = (h + \zeta) U$$

$$N = \int_{-\zeta}^h v dz = (h + \zeta) V$$

$h$ は平均水深,  $u$ および $v$ はそれぞれ $x$ ,  $y$ 方向の流速成分である。 $z$ は水深方向を示す。

Table 1 The parameters related to the computer simulation

Discription	Unit	Symbol	Value
time interval	sec	$\Delta t$	5
grid interval	cm	$\Delta s$	500
Acceleration of gravity	cm/sec	$g$	980
horizontal eddy viscosity	cm <sup>2</sup> /sec	$A_l$	3400
bottom friction		$\gamma$	$2.6 \times 10^{-3}$
Corioli's parameter	1/sec	$f$	$0.2 \times 10^{-4}$

(1), (2), (3)式の離散化を行い, 適当な境界条件および初期条件を導入することにより, 数値解析的に河川流の非定常場を求めることができる。ここでは差分法の陽解法にもとづいて計算することとした<sup>(4)</sup>。境界条件は前述の潮位観測値を用い, 初期条件は水位および流速ともに0とおいた。この場合, 一般に河川の非定常流解析の初期条件には不等流の水位, 流速場を与えることが多いが, Khlong Ngaoは流域面積が小さく, 淡水の流入すなわち河川固有流量はほとんどない状況であるので, 海域とほぼ同じ取扱いをした。計算に必要な諸係数の検討は実測流速値と計算流速値が適合するように行った。諸係数をTable 1に示す。

Table 2(a) Movements of drifters with time at flood tide, Sept 18, 1984  
(See Fig. 3(a))

Drifter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No1	1000 h m	1100	1105	1205	1212	1232	1300	1315	1345		1500	1530
No2	1000 h m	1100	1105	1205	1212	1232	1300	1317	1345		1500	1530
No3	1000 h m	1100	1105	1205	1212	1232	1300	1343	1345	1445		

Table 2 (b) Movements of drifters with time at edd tide, Sept 15, 1984  
(See Fig. 3 (a))

Drifter	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
No1	1315 h m	1400	1415	1430	1445	1500	1515	1530	1550	1600	1625
No2	1315 h m	1400	1415	1430	1445	1500	1515	1550	1600	1625	
No3	1315 h m	1400	1415	1430	1445	1500	1515	1550	1600	1625	

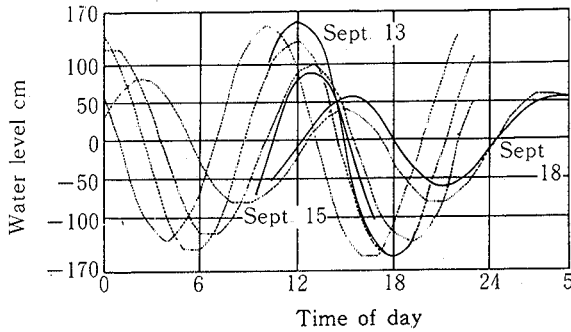


Fig. 2 Tidal curve at the mouth of the Khlong Ngao

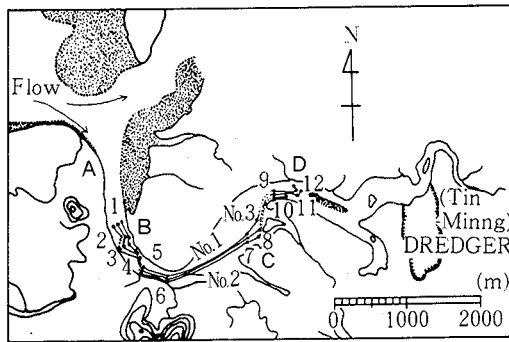


Fig. 3 (a) Observed trajectories of drifters at the flood tide

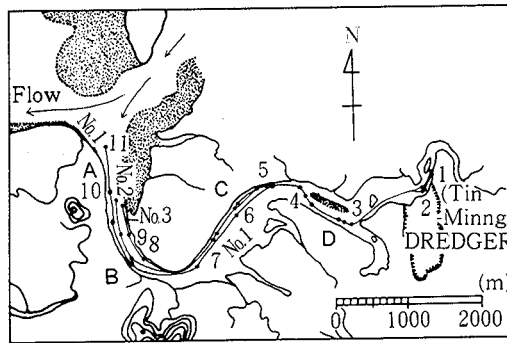


Fig. 3 (b) Observed trajectories of drifters at the ebb tide

結 果

Fig. 1のStn. 0で記録させた潮位データ(9月13日, 15日, 18日)とPAK NAM PANONGにおける潮位データをプロットしたものをFig. 2に示す。Fig. 3とTable. 2は大潮期の上げ潮時および下げ潮時に行ったフロート追跡によって得た流況図である。Fig. 4は9月14日, Fig. 1のStn. 3において観測した流速値である。Fig. 5は現地データにもとづいて確定した計算格子図であり, Fig. 7はその低潮時の水深である。河川横断面形およびこの水深は, Fig. 1に示される測線No. 1~No. 10を中心に行った水深計による深淺測量によって得たものを使った。Fig. 7は数理モデル解析によって得られた上げ潮時および下げ潮時の最強平均流速分布図である。Fig. 5の0点における流速と水位の時間変動値をFig. 8に示す。

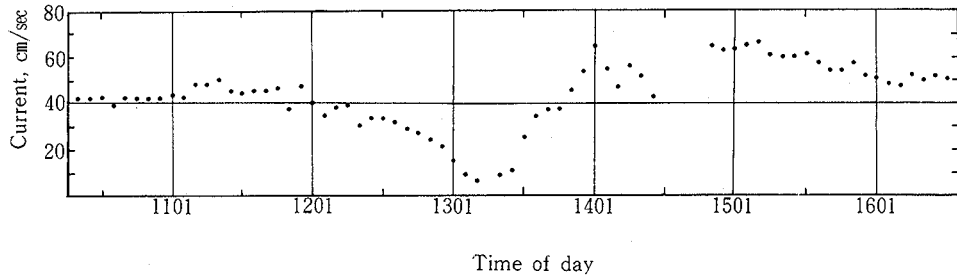


Fig. 4 Current speed at depth 30 cm below the water surface. Measured at Stn. 3, Sept. 14, 1984

### 考 察

Fig 1のStn 0における潮位観測地点と潮汐表潮位点のPAK NAM RANONGとは約7.45kmの距離があり, Fig 2にみられるように, 潮時と潮差がともに多少の違いはあるが, ほぼ相似の形状を示しており, 1日2回潮の規則的な潮汐である。この時期の最大潮差は3.5m程度のものである。干満差が大きいために, たとえば満潮時4m程ある水深が50cm程度になり, Khlong Ngao河口の広範囲に渡り, 干上がる。上流部における錫採鉱放流水に含まれる浮遊砂が河口および海岸線に沈降していることもあり, 特に大潮期の干潮時には小型の漁船でも運航困難になる。この潮汐によりKhlong Ngaoの淡水はほとんどなく, 塩水が最上流部まで溯上する。Fig. 3 (a)は小潮期の上げ潮時の流動パターンを示している図である。9月18日のほぼ低潮時(10時)に小型フロート3個を河口より約2km地点に投入して満潮時の15時30分まで漁船によって追跡して得た流況図である。河口部左岸側(A)から流入した海水は一度右岸側(B)に沿い, その後左岸側(C)に沿って溯上し, 砂州のある(D)地点付近で反転した。最強時には71cm/sec程の平均流速を示した。Fig. 3 (b)は9月15日の満潮時(13時15分)に上流部に同じく小型フロート3個を投入して追跡した結果であるが, 14時15分に(D)地点に到達したフロートは右岸側(C)に沿い流下し, No.1のフロートは16時25分に河口部に到達した。流速は最強時に約1m/sec程度になった。この日の干潮時は19時であるが, 河口部の東西流がかなり速いため, 河川水が流出しにくく, 16時30分頃にはフロートがほとんど停滞した。すなわち, 下げ潮時には次第に流速を増しながら流下する河川水が, 最強流速に達した後は, 急速に流速が低下し河口部では長時間停滞する傾向を示した。Fig. 3 (a)とFig. 3 (b)を比較することにより, 上げ潮時と下げ潮時の河川内ミオ筋が異なり, 川幅の広い場所では中央に砂州が形成されていることが理解される。9月14日, Stn. 3における固定点での流速観測値を示すFig. 4をみると, この日の満潮時が12時であるので, 流れは上流部へ向かっており, 観測開始時11時21分頃に40cm/sec~50cm/sec程度の流速が次第に小さくなり, 13時11分に6cm/sec程度以下になる様相がわかる。その後, 潮が反転すると, 河口部へ向かって速度を増し70cm/sec程度までになる。

このような傾向は他の観測点(Stn. 1, Stn. 2およびStn. 4)においてもみられた。またこのことはフロート追跡結果とも一致することが認められた。

Fig. 6は流況シュミレーションのために確定した地形と, 水深計による実測水深から得たほぼ低潮時の水深である。河口部は幅が約1400mあり, 河口部左岸側から流入し, 狭水道の湾曲部を通過して河川幅の広い中央部に達する。これより上流部は水深が浅くなる。河川本支川の両岸には河口部から最上流部までマングローブ林が繁茂しており, 河川水は両岸から氾濫する。数値計算では現場で得た河川資料の精度を考慮して, 氾濫域は無視した。Fig. 5のように, 河口部X-Y上に境界条件を与え, 初期水深はFig. 6に示してある水深を使った。Fig. 5の(A)点から(T)点までは流速および水位のチェック点であり, 実測データと比較できるように配慮した。Fig. 7 (a)およびFig. 7 (b)はそれぞれ, 小潮期, 最強時の上げ潮期および下げ潮期の流速分布図である。Fig. 5で示してある(F)地点および(N), (O)地点の両域において流速が速い。これらの流況パターンはフロート追跡によって得た流況パターンとほぼ一致しているものと考えられる。Fig. 8はFig. 5の(O)地点のStn. Qにおける流速・水位の時間変動をあらわしたものである。この場所は流路が左岸から右岸へ変更する場所のため, 東西流の流速が大きい。下げ潮時の流速が上げ潮時より大きく, 最大平均流速が62cm/sec程度となった。また最大水位差は94cm程度となった。これらは現地データをほぼ満足している。他の地点においてもほぼ同様の結果を得た。

従って, ここで得た流況解析結果を利用して, 上流部から放流されるSSの輸送量把握が可能となろう。

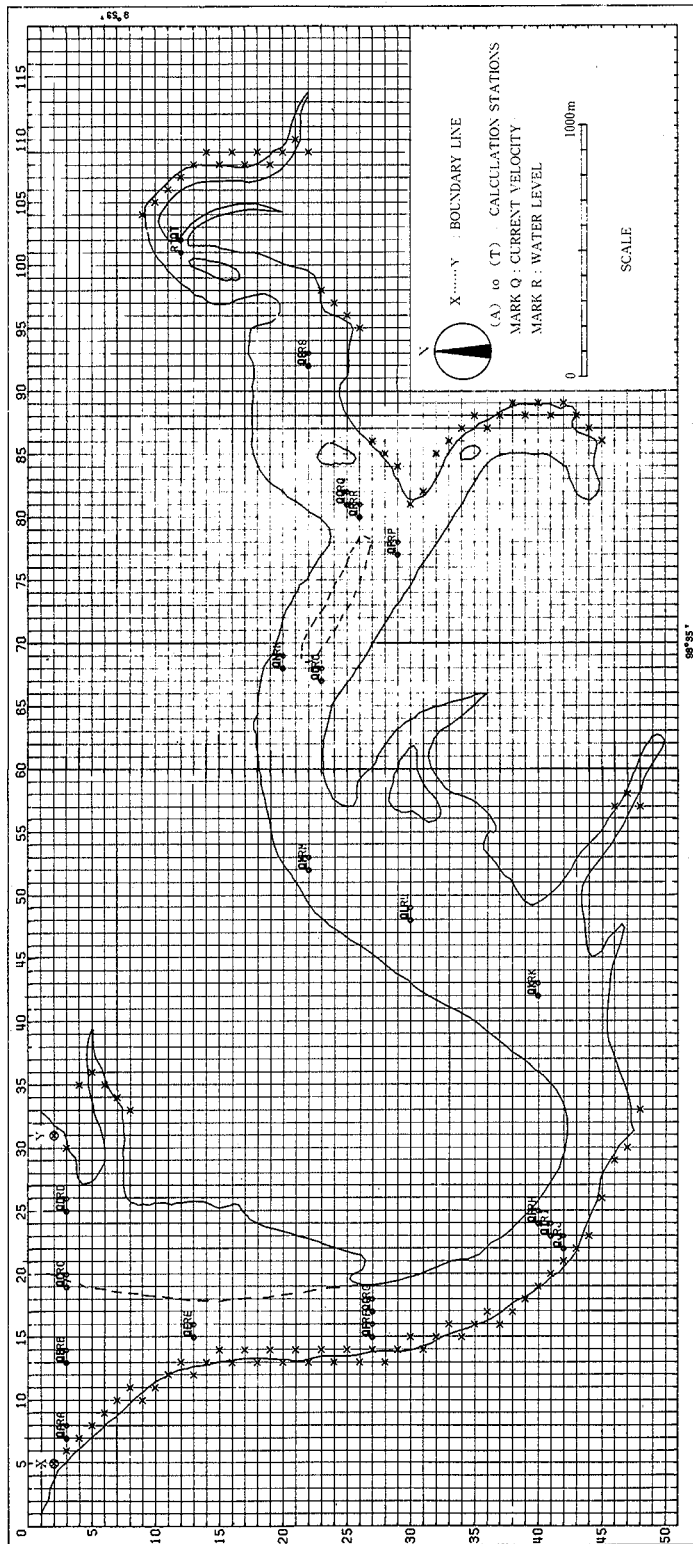


Fig. 5 Stations for observing and calculating the tidal level and the current velocity

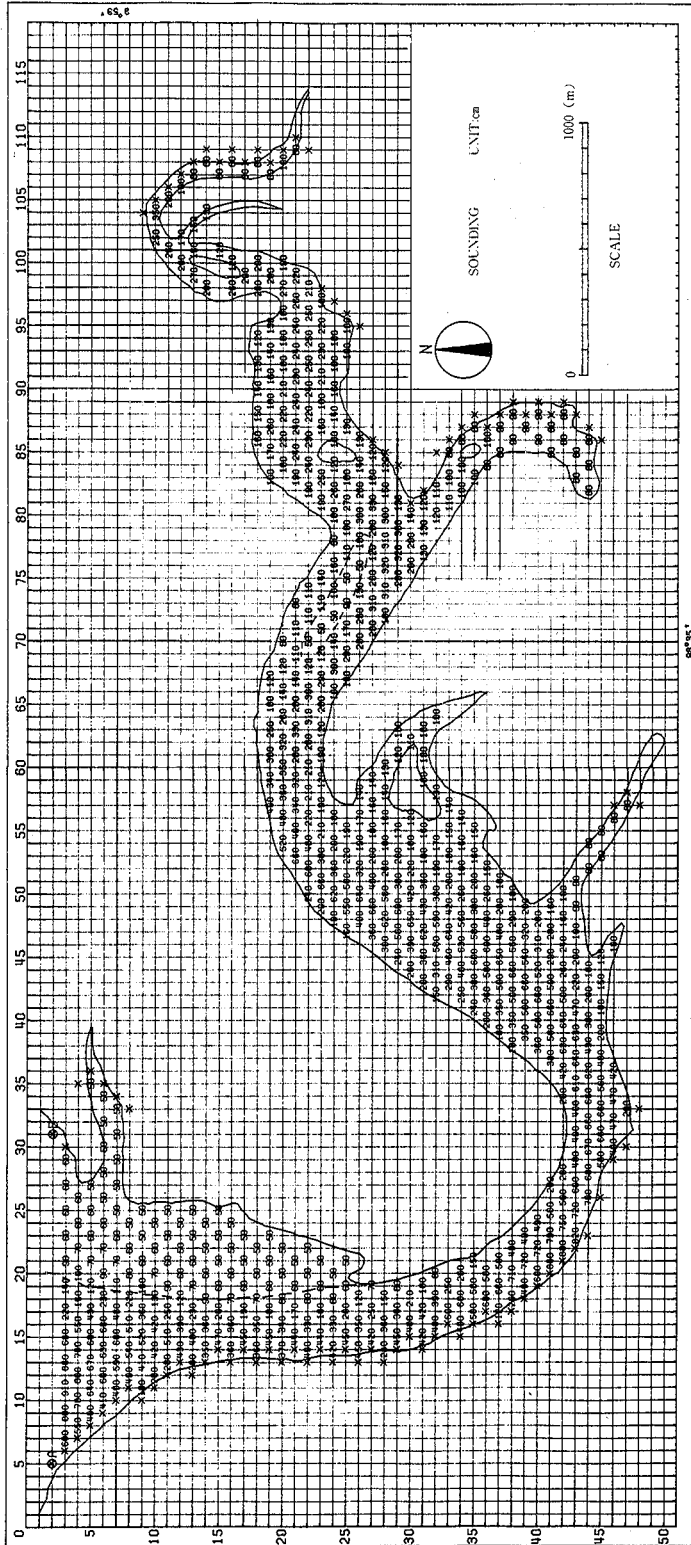


Fig. 6 Sounding in the Khlung Ngao.

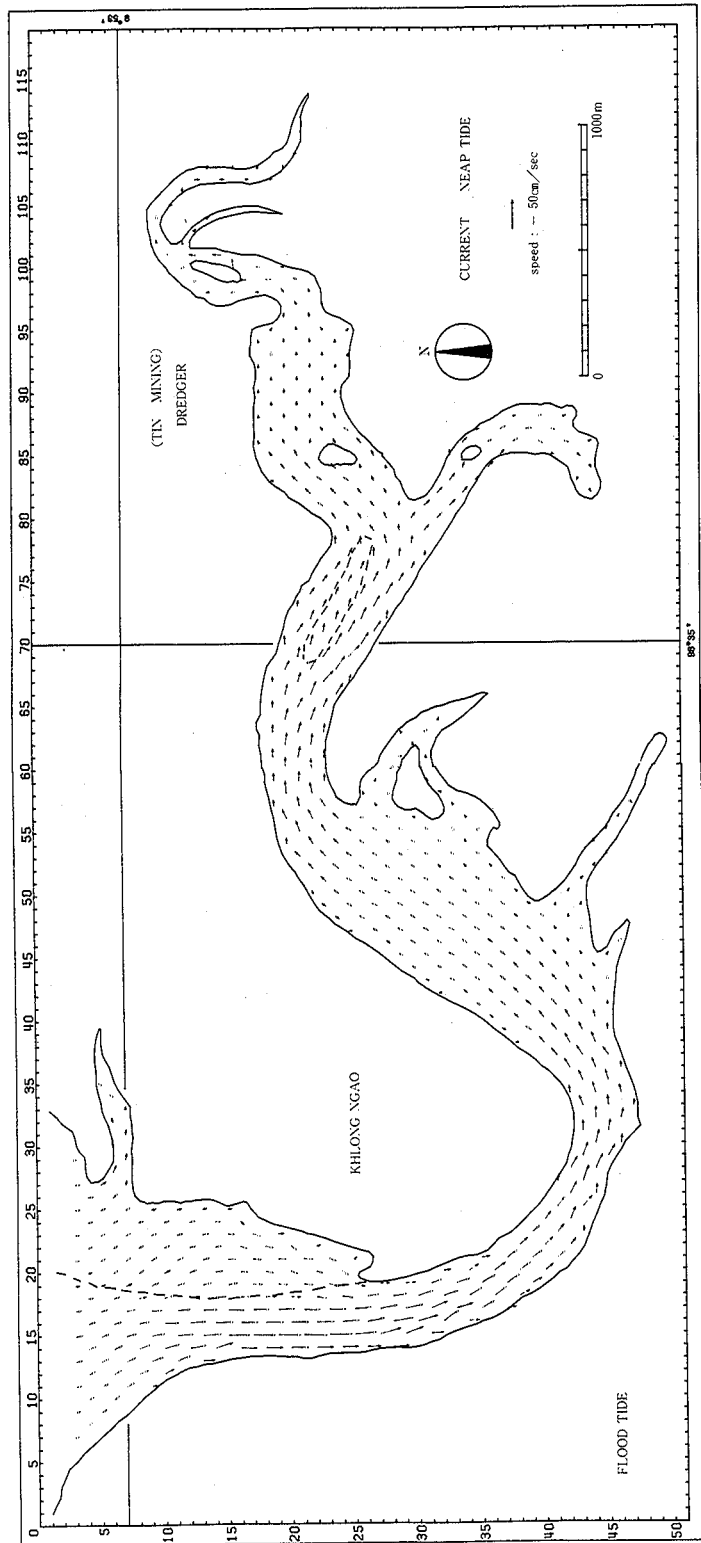


Fig. 7 (a) Distribution of currents in the Khlong Ngao at the flood tide.



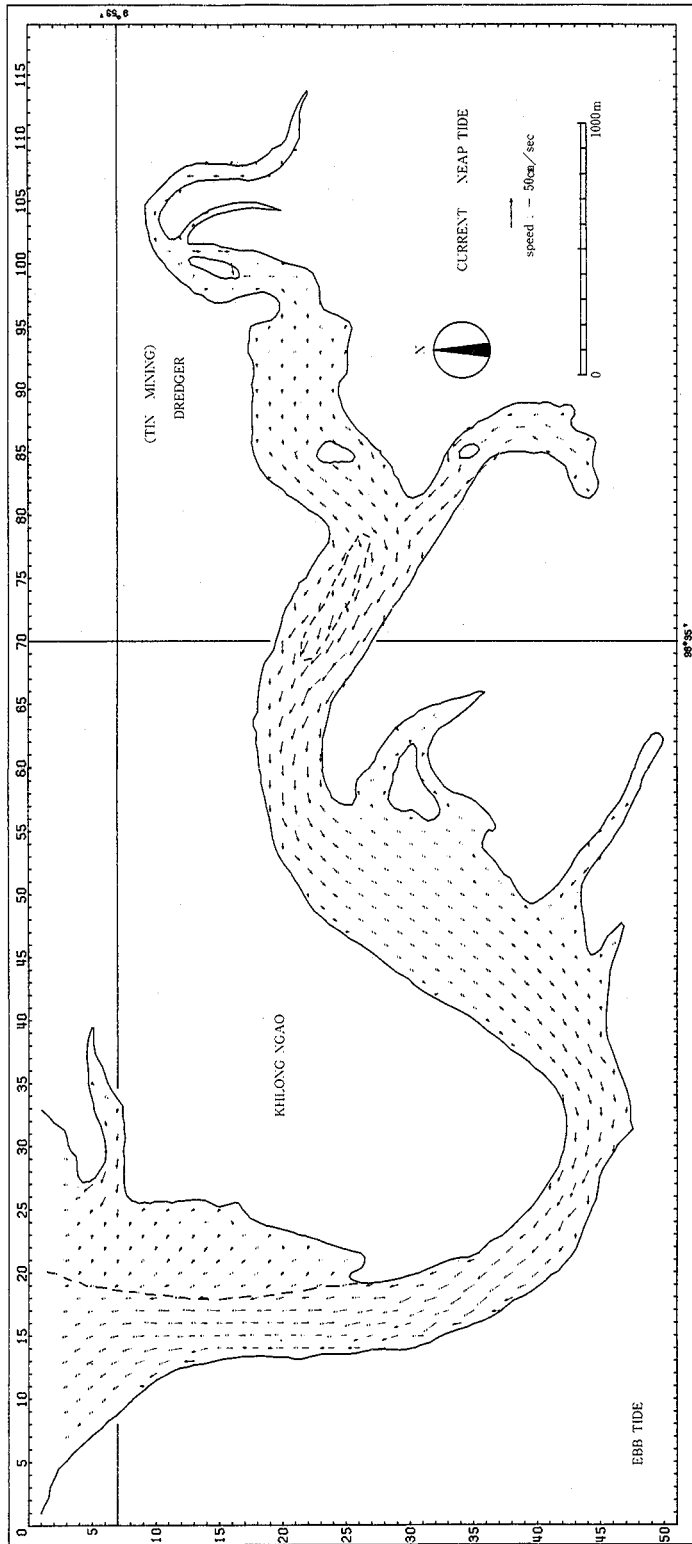
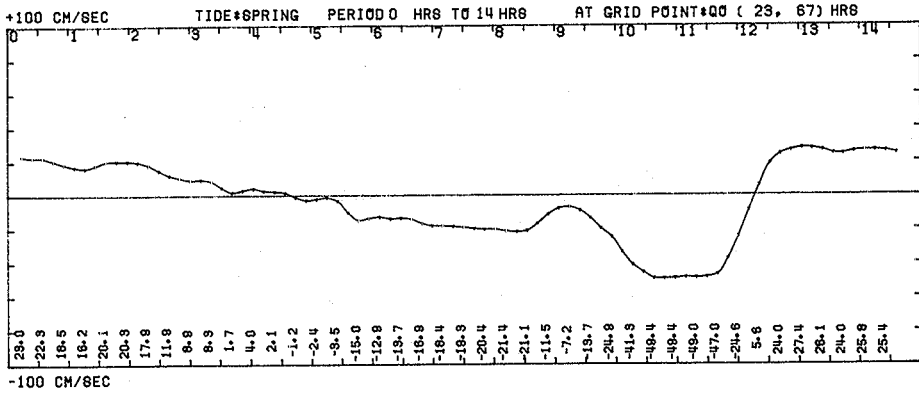


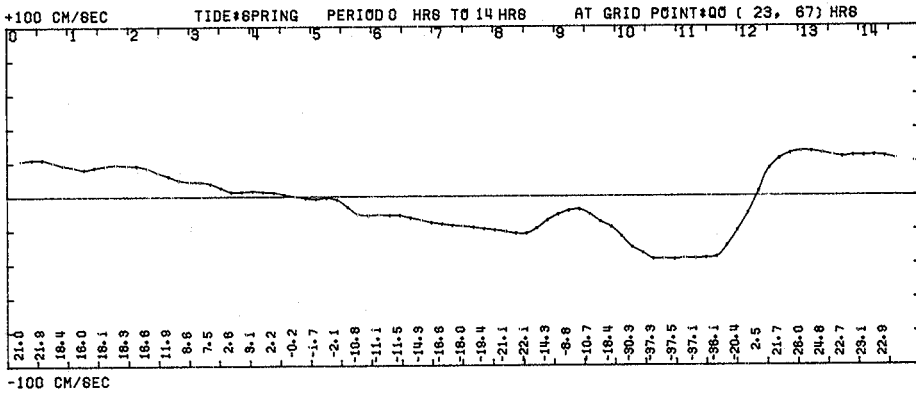
Fig. 7 (b) Distribution of currents in the Khlung Ngao at the ebb tide.

KHLONG NGAO STATION: 0

EAST-WEST FLOW(E\*\*)



NORTH-SOUTH FLOW(S\*\*)



ELEVATION

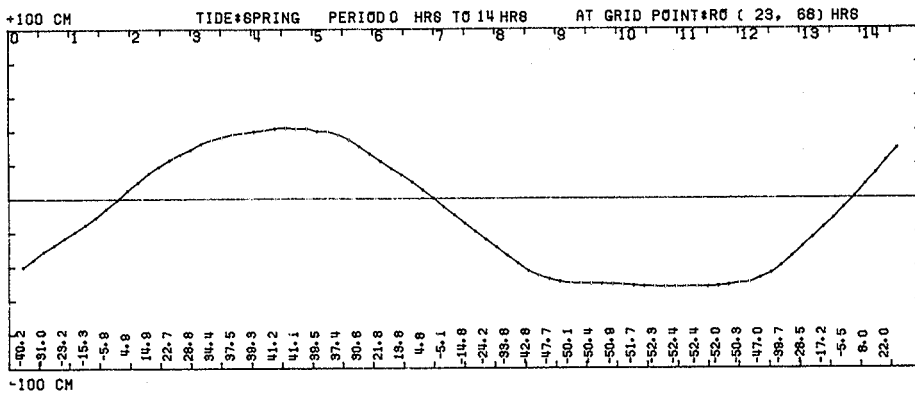


Fig. 8 Tidal current and water level calculated at Stn. Q.

## 謝 辞

本研究をすすめるに当たり、現地調査においてKasetsart大学水産学部Mhan博士およびUdom講師のご協力を得た。また計算は香川大学計算センターMELCOM-COSMO-700Sによって行った。ここに記して深謝申し上げる次第である。

## 引用文献

- (1) NOZAWA, K (Leader of research group) ; Mangrove Estuarine Ecology in Thailand, Thai-Japanese Cooperative Research Project on Mangrove Productivity and Development, Bulletin prepared by grants from the Japanese Ministry of Education (1983-1984)
- (2) 杉二郎編; マングローブ研究, 東京農業大学総合研究所 (1985)
- (3) NHK取材班; 森が危ない, 134-211, 東京, 日本放送出版協会 (1986)
- (4) 上野武夫; 数値実験による来島海峡の潮流の研究, 179号, 神戸海洋気象台い報 (1967) (1986年10月31日 受理)