

東南アジアおよび台湾における陸水の分布 (その 2)

—デルタの発達と海水遡上限界の概況—

奥 田 節 夫

DISTRIBUTION OF LAND WATER AT SOUTH-EAST ASIA AND TAIWAN (II)

—Development of Deltas and Sea Water Intrusion—

By *Setsuo OKUDA*

Synopsis

At the deltaic areas in South-East Asia and Taiwan, there are many places where rapid developments of coastal lines are progressing and sea water intrudes into land a large distance from river mouths. Outline of coastal developments and sea salt intrusion are reported from some direct surveys, scientific papers, official reports and informations obtained by inquiry in the field.

Geochemical analysis on river waters in Malaya is added as a continuation to the previous report.

1. 緒 論

著者は1968年に文部省昭和43年度海外学術調査団の一員として、また1969年に ECAFE のデルタ開発シムポジウムのためのコンサルタントグループの一員として東南アジアおよび台湾の諸地域を訪れる機会を得た。

前回の報告¹⁾にひきつづいて今回は主として同地域の海岸地帯の調査結果に重点をおき、とくにデルタ地域の開発に深い関連を有するデルタの発達の模様と海水遡上の現況について報告する。

なお前年度、水質分析が未了であったマレーシアの分析結果とそれに対する考察について追加報告する。

2. 台 湾

台湾西岸の海岸線の発達については総合的な調査は行われていないが、台南市付近(安平 Amping)の海岸線変化に対する歴史的考察²⁾および旧海港の内陸化状況にに対する聞きこみ情報から推定した。

河川における海水遡上の限界についても直接的な調査の結果は入手出来ないので、主要河川について行われた灌漑水質の分析結果^{3),4)}から推定した。

これらの結果は Fig. 1 に総括的に示されるが、とくに海退の著しい西南部において海水遡上距離が大きいことが認められる。

台湾の西岸においては多量の土砂が流出する河川(たとえば濁水溪では年間 $6\sim7\times10^7\text{ m}^3$ 程度の土砂が流出していると称せられる)の河口においても顕著なデルタは発達せず、海岸線全体が平行的に沖へ押し出している傾向が強い。この理由としては Space Photo⁵⁾からも認められるように西岸沿いに強い沿岸流があり、また度々の台風襲来による大きな風浪のために流出土砂が分散移動して河口の狭い領域に集中し難いものと考えられる。

3. ジャバ島

インドネシア西部の海岸変動に関しては、バンドン国立地質研究所の総合的な研究⁶⁾があり、定量的な結果がまとめられている。

しかし海水の遡上限界に関しては、河口沿岸域は養魚池に利用されていて水田利用ほど塩害を直接に蒙らないので、あまり具体的な調査は行われていない。

したがって海水遡上限界はバンドン地質調査所によってつくられた地下水分布図⁷⁾から、塩分の多い沿岸地下水域を求め、地形図と少数の採水分析結果から推定した。

その概要は Fig. 2 に示す通りである。

とくにジャバ海沿いにデルタの発達が著しいのは、分水嶺が南に偏っていて北岸に向かって大きな河川がゆるい勾配でそいであり、その源流は火山噴出物でおおわれて浸食を受けやすく多量の土砂が流出し、しかもジャバ海では南岸のインド洋にくらべて海潮流が弱いためである。

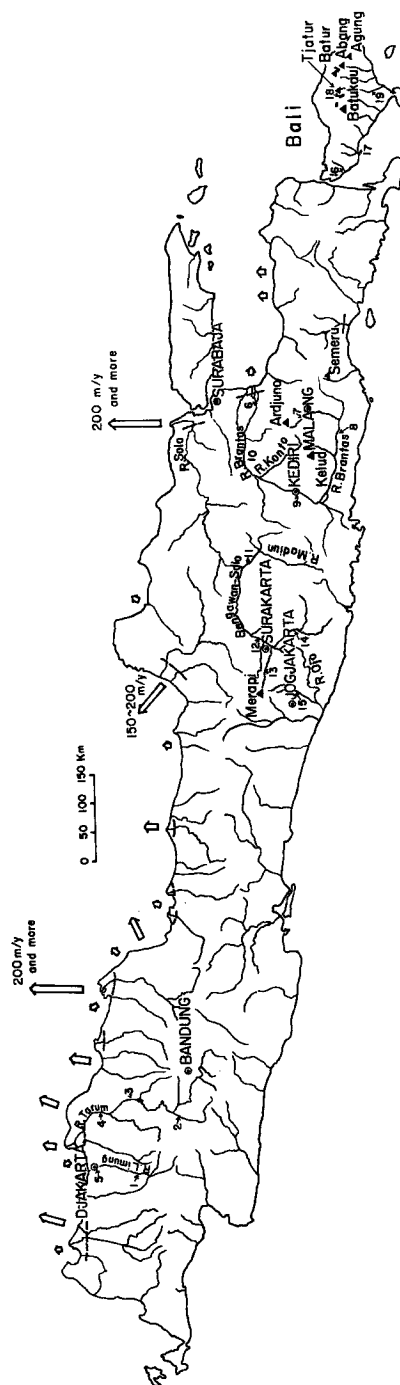


Fig. 2 Coastal development (⇔) and sea water intrusion limit (----) in Java.

4. マレーシア

マレーシアの海岸変動に関しては J.J. Nossion⁸⁾⁹⁾ の研究があり、部分的にはかなり正確なデータが得られている。Fig. 7 に示されるように西岸側はマラッカ海峡に面して潮流が強く（潮位差が大きく）、デルタの発達が困難で Perak 川河口付近では浸食が卓越している部分がある。東岸における海潮流の分布につい

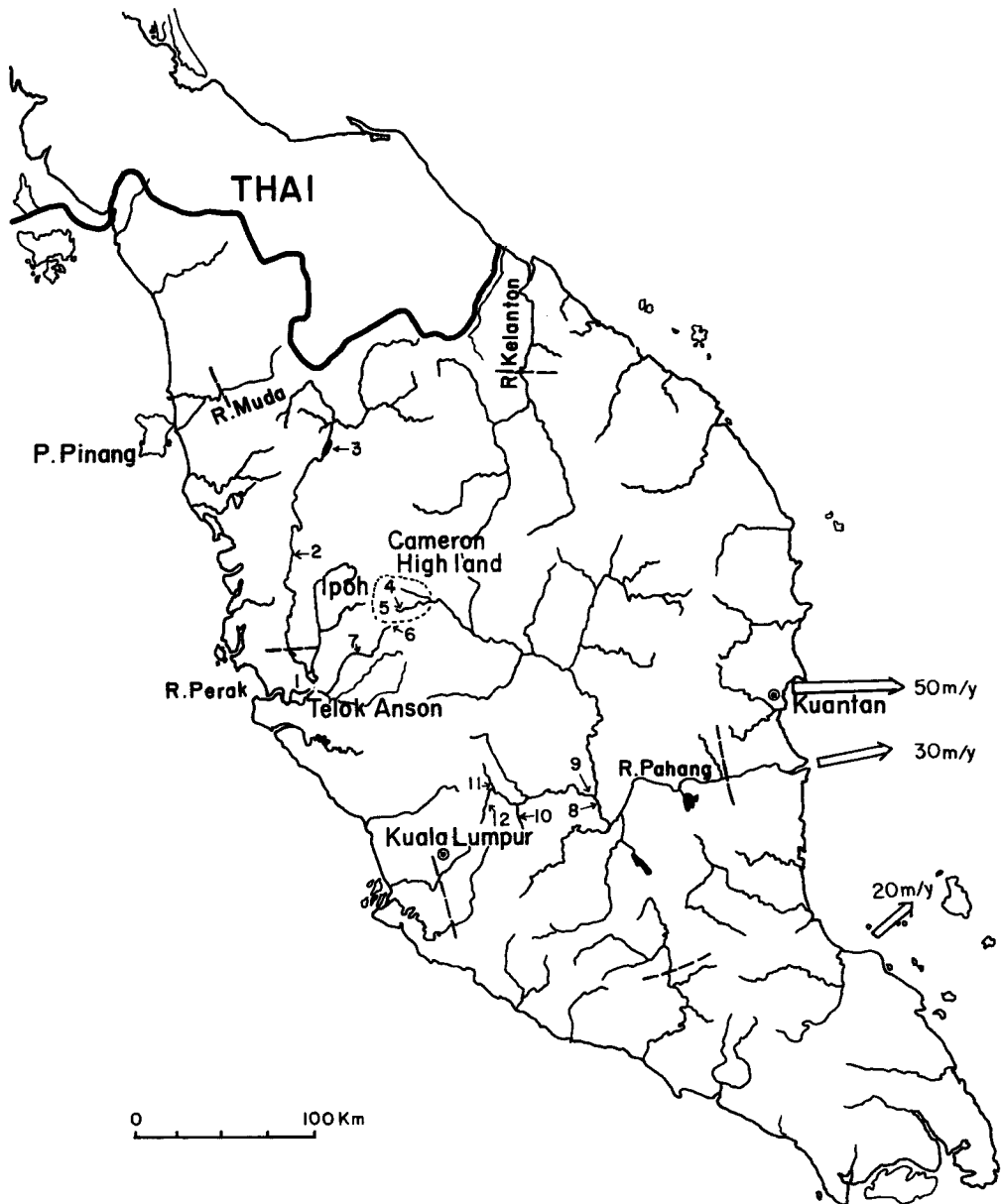


Fig. 3 Coastal development ($\Rightarrow$) and sea water intrusion limit (----) in Malaya. “←number” shows the water sampling location and corresponds to station number in Table 1.

ては、あまり観測が行われていないが Sand Spit ののび方などからみて Kuala Dungun 以北では岸沿いに北流し、以南では南流していると云われている。

主要河川の海水遡上限界については Perak 川で電気伝導度分布の観測および住民からの聞きこみをした以外は、灌漑水利局においてその概要を聴取した。

これらの結果は Fig. 3 に示されている。

5. タイ

タイの河川は土砂の流出量が比較的小さく、海岸線の変化は小さい。バンコック市を流れる Chao Phraya 川の河口でもデルタの発達は顕著でない。この川については塩分分布の調査が以前から行われており、上流に貯水池をつくって流量を調節し、海水遡上を抑制する計画が進んでいる¹⁰⁾。これによれば河川流量が $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以下では塩水楔は河口より 100 km 以上も遡るが、流量 $150 \text{ m}^3/\text{sec}$ 以上では塩水は河口より 20 km

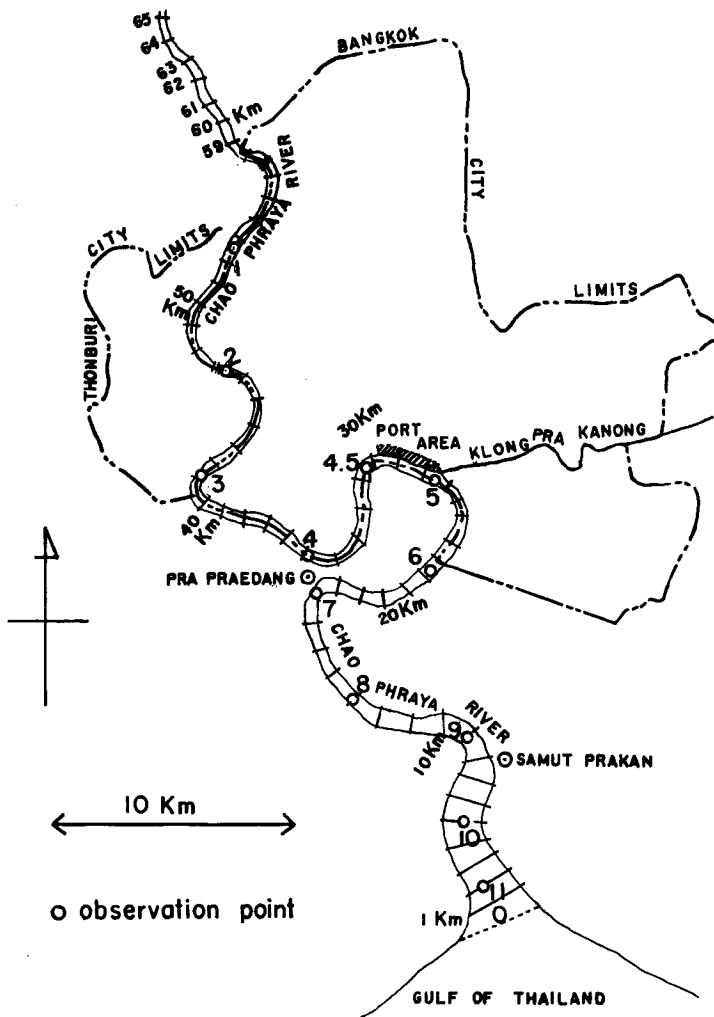


Fig. 4 (a) General view of lower Chao Phraya river and observation points.

以下の下流域にしか廻り得ない。著者およびタイ灌漑水利局の協力によって Chao Phraya 川下流の塩分分布型を知るために行われた観測結果を Fig. 4 に示す。

観測期間中に度々スコールがあつて、下流の河川流量は図中に記した日平均値よりかなりの変動があり、流量と遇上状況の対応は説明困難であるが、河口近くを除いてはほとんど強混合型の塩分分布を示している。

しかし同図から判るように、河口の海洋性乱流による混合の盛んな水域、上流部の陸水が支配的な水域、

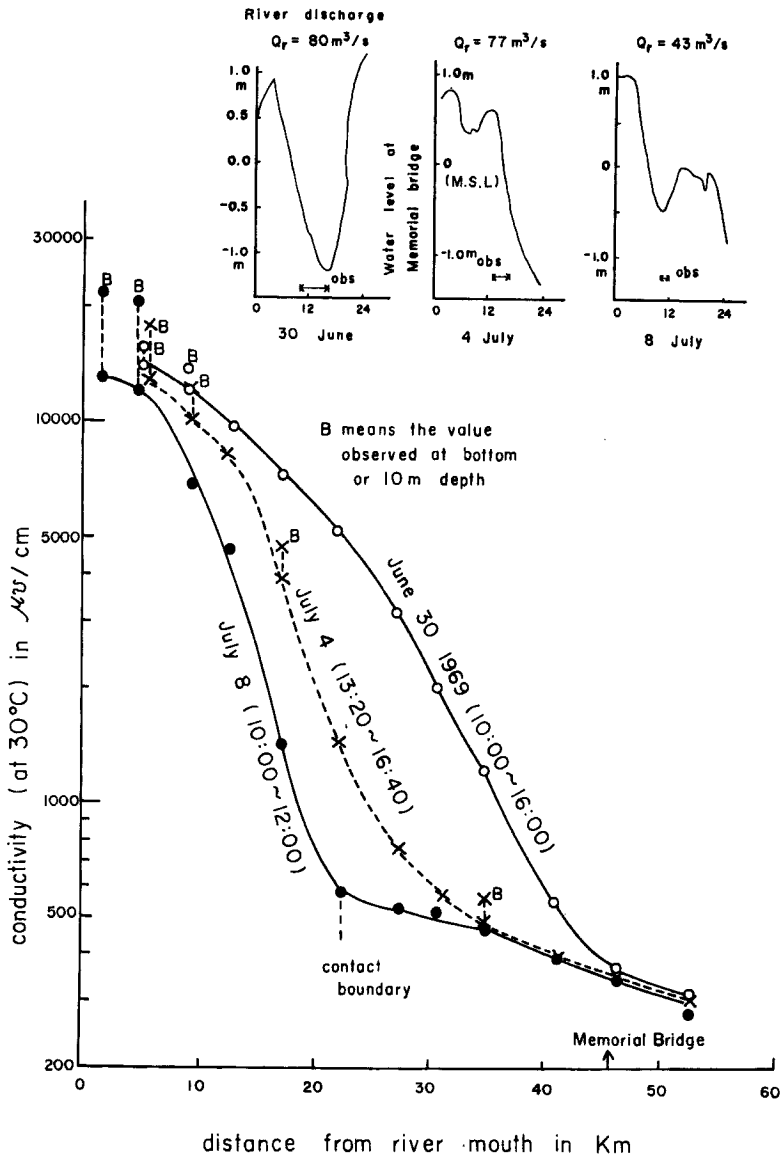


Fig. 4 (b) Observed results on the distribution of electric conductivity in the lower Chao Phraya river and tidal stage in observation period.

およびその中間の海水，陸水の混合水域の区別は比較的明瞭である。中間水域の電気伝導度の分布直線から〔平均流速〕／〔水平方向の乱流拡散係数〕の比を求めると $0.1 \sim 0.2/\text{km}$ 程度の値が得られ，潮差が小さくなるにつれて乱流拡散係数が小さくなる傾向が認められた。

6. 東パキスタン

東パキスタン国内の Ganges 川デルタでは Fig. 5 に示されるように水路はまさに網目状に発達し，感潮

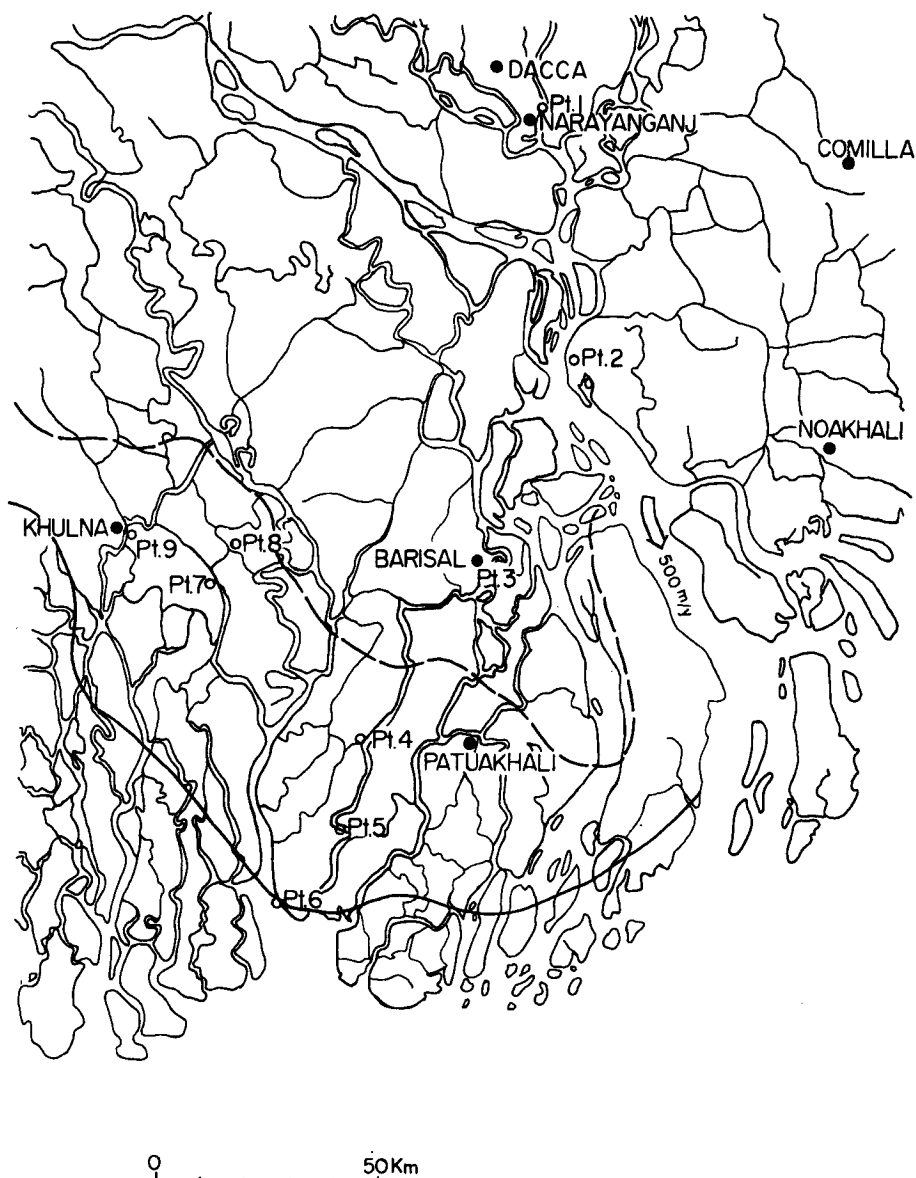


Fig. 5 Coastal development (⇔) and sea water intrusion limits (---- limit in dry season, —— limit in rainy season) in East Pakistan.

域における水流の方向を系統的に調べることもさへ困難である。

海岸線の変化は場所ごとに著しくことなり、定量的な調査もほとんど行われていない。図中に記した値は、その付近の干拓地帯で比較的観察のよく行われている地域で聴取した代表的値にすぎない。

海水の遡上状況については、広汎な地域について組織的な調査が灌漑計画のために進められつつあるが、その内容の一部¹¹⁾が同図に示されている。

その上限(---線)は5月の渇水期の、下限(—線)は11月の豊水期の状態に対応し、その間にはさまれた広い地域は渇水期の水さえ供給されれば米の二毛作の可能な場所である。

なお塩分分布状況を調べるために同図中 Pt. 1~9 の地点で電気伝導度の鉛直分布を測定したが、Pt. 6 の

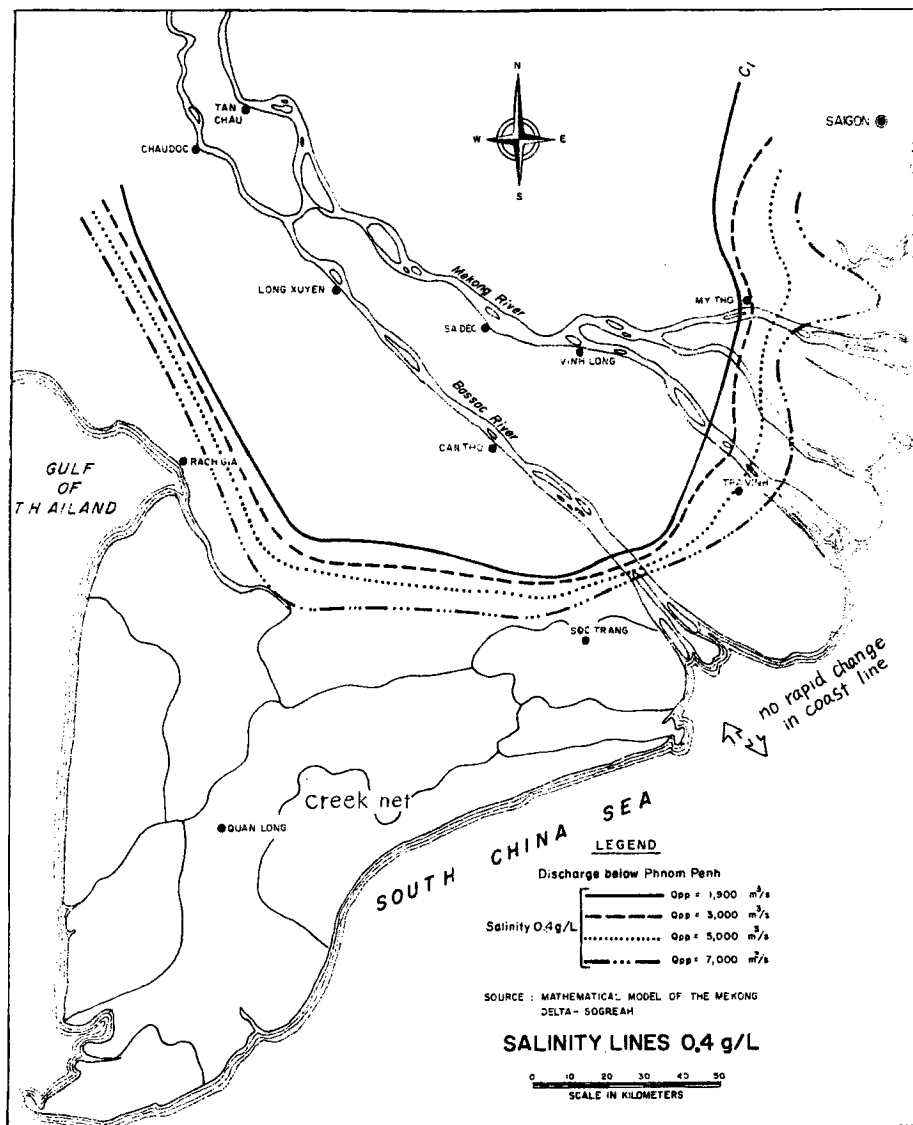


Fig. 6 Sea water intrusion limits corresponding to various river discharges in the lower Mekong.

底層部に成層が認められた他は強混合型を示していた。

とくに Patuakhali 東方では海水遡上範囲が著しくせまいが、その原因についてはこの水域では河口部の堆砂が盛んで海水の遡上を抑止していると云われている。

7. メコン河口

Mekong 河口については直接に訪れる機会はなかったが、ECAFE 主催のデルタ開発に関するシムポジウム（1969年11月4日～13日於東京）においてメコン下流調査委員会の代表者によって提供された資料¹²⁾を参考のために Fig. 6 として掲げる。

ただしこの図は現地観測の値ではなく、ある前提のもとに数値モデルを利用した計算値を示すもので、その前提、計算過程、実係数の見積りなどが未知なので、その信頼性については言及出来ない。

メコン河口の海岸線変化については具体的調査はあまり行われていないが、現地技術者の感じとしてはあまり顕著な変化は進行していないと云うことである。

8. 東南アジア水域の海流と潮位差

一般に河口デルタの発達には沿岸流や風浪の強さに支配され、海水の遡上も潮汐条件に左右される面が大きい。したがって諸地域のデルタの発達や海水遡上の現象を相互比較的に考察するためには、その水域の海流、風向風速、潮位差などの資料が重要な意義を有する。

しかしながら現時点では対象水域における上述の資料は極めて少く、またたとえあっても信頼性が必ずしも高くない。そこで極めてあらいデーターではあるが、海流についてはソビエト科学アカデミーおよび測地局共編の Physico-Geographical atlas of the world（露文、1964版）の海流図および日本の水路部編纂の潮汐表によって必要な水域の値をまとめると Fig. 7 に示すような分布が得られる。

とくに風浪を支配する風向、風速については各地の資料が入手出来なかったが、四方を島嶼で囲まれた南支那海、ジャバ海では海流は大体季節風に支配されるので海流系は風系と強い関連がある。

しかしベンガル湾北部および台湾近海ではサイクロンあるいは台風の襲来が度々あり、その沿岸では海流系とは無関係な強風にさらされることが多い。

同図にもとづいて各地域のデルタの発達あるいは海退の状況を考察すると、すでに部分的に指適したように、海流が弱く、潮位差の小さい沿岸でその現象の顕著なことが認められる。

海水遡上限界は河床勾配にも影響されるが、比較的勾配の急な台湾西南部では河口から 20 km 以下であり、それ以外の大きなデルタの存在地域ではほとんど 30～60 km の範囲におさまっている。

9. マレーシアの水質分析結果

昨年度採水しながら船便遅れのために分析結果が発表出来なかったマレーシアの主要河川の水質について報告する。採水地点は Fig. 3 内の数字を記入した場所で、その分析結果は Table 1 に示される。

その地球化学的意義は前報で説明しているので省略するが、この表から主要イオン濃度は極めて低く、日本の河川の平均値以下である。

Perak 川沿いには多数の錫鉱山があって、水ふるいの後多量の泥が河川に注入されているにもかかわらず、溶解イオン濃度は意外に低い。

これらの河川の流域の大部分は花崗岩地帯であるが、表に付記した日本の花崗岩風化地帯の値にくらべると非常にイオン濃度が低い。このことは一般に信じられている「熱帯地方では基岩の風化は数百mの深層まで及ぶ」という通念に反するが、事実、探国内でもっとも崩壊災害の多いと云われるカメロン高地（Fig. 3 参照）を訪れてみても堅い花崗岩が採石されており、日本にくらべると小規模な山腹崩壊や地すべりがわずかに発生しているにすぎないと云う事実からも裏書きされる。

他の東南アジア諸国と比較のために前報と同じように三角座標図、 $\text{HCO}_3^- \sim \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ および $\text{HCO}_3^- \sim \text{Soluble SiO}_2$ の関係を描くと Figs. 8, 9 および 10 が得られる。

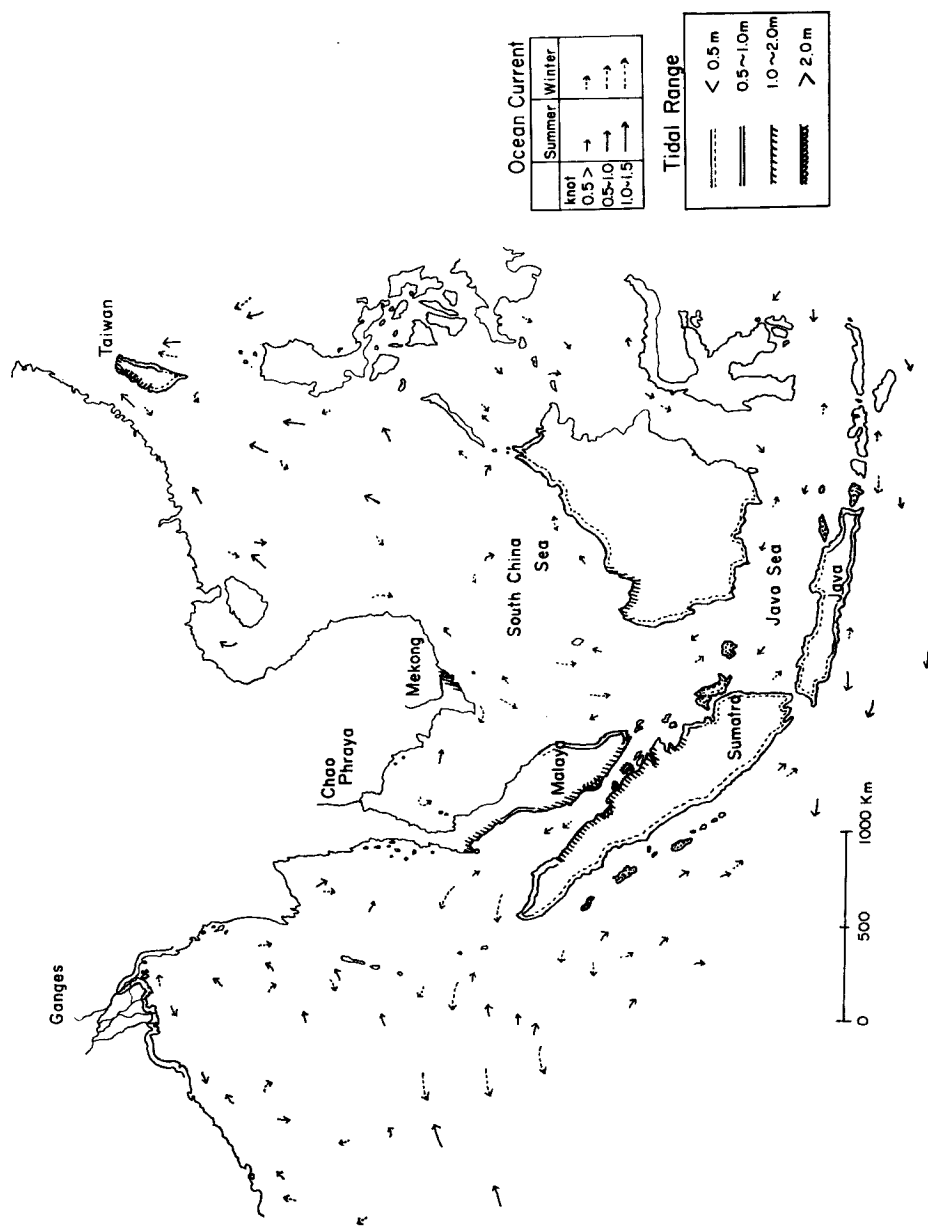


Fig. 7 General pattern of ocean current and distribution of tidal range in South-East Asia.

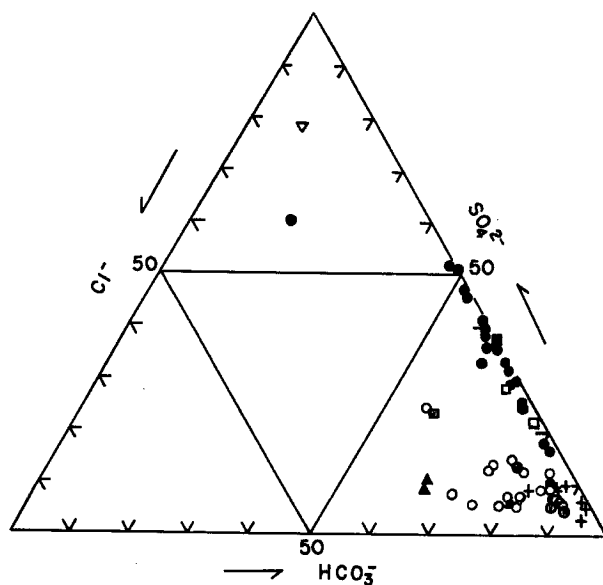


Fig. 8 Trilinear diagram of natural waters (Cl^- - HCO_3^- - SO_4^{2-}).

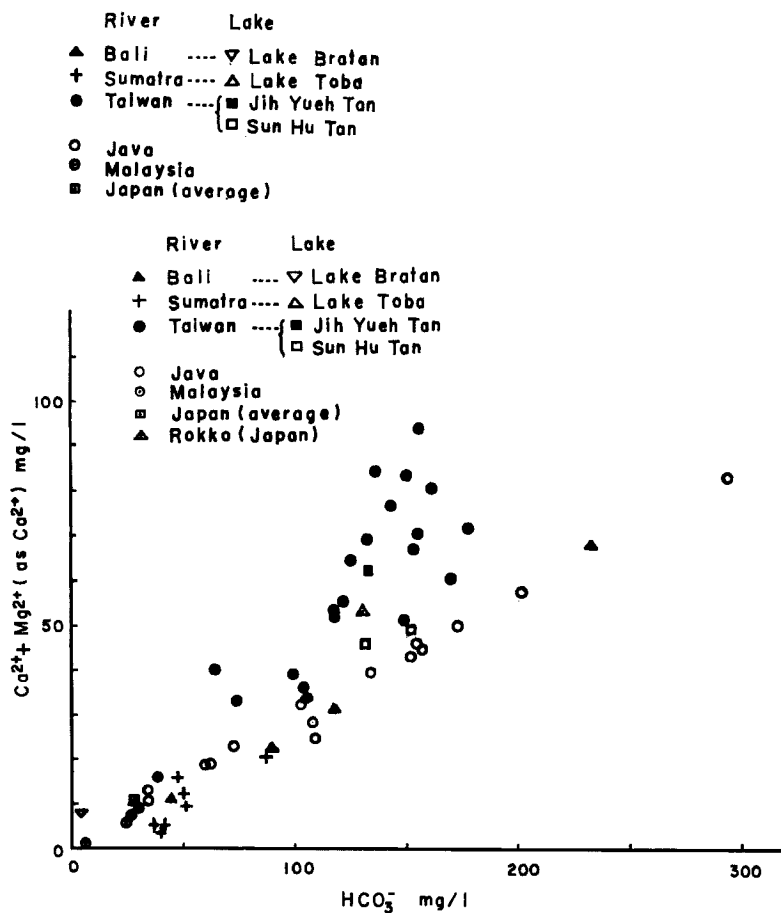


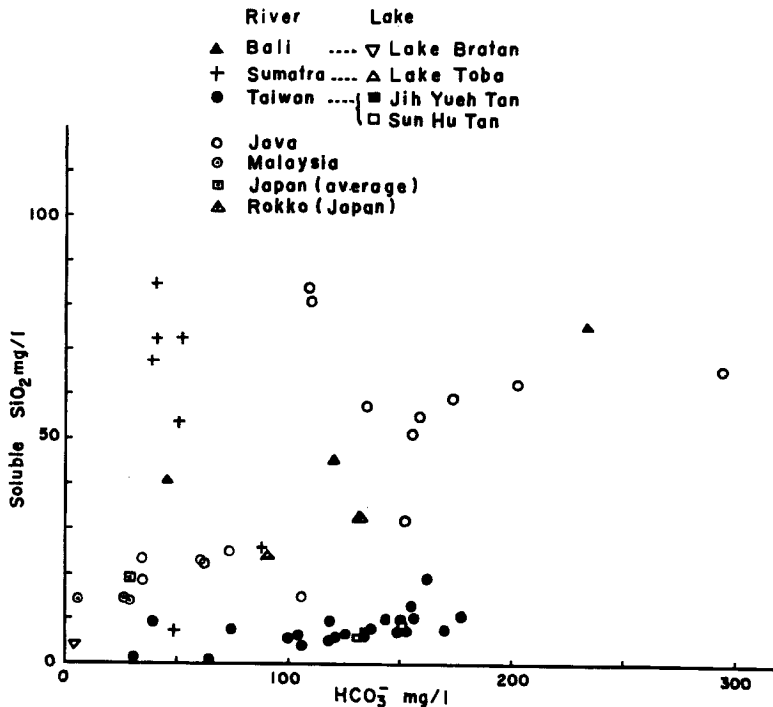
Fig. 9 Relation between contents of HCO_3^- and $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ in natural waters.

Table 1 Chemical analysis of natural waters.

Station No.	River system	Location	Date collected	Water temp. (°C)	pH
Malaya 1	R. Perak main	Telok Anson	19/ 9/68	31.0	6.7
	"	Surface	22/ 9/68	29.0	6.9
	"	3 m Depth	"	29.0	6.8
	"	6 m " (Bottom 6.5m)	"	29.0	6.6
2	R. Perak main	Kualr Kangsar	20/ 9/68	29.0	6.8
3	"	Chenderoh Dam upper	"	30.0	6.9
4	R. Pahang head	Cameron High Lands	22/ 9/68	17.0	6.6
5	Spring	"	"	17.0	6.5
6	R. Perak trib	Jor Reservoir entry	"	22.0	6.5
7	" Batang	Tapak	"	25.0	6.5
8	R. Pahang main	Temerloh	23/ 9/68	30.0	6.9
9	" trib. Semanton	"	"	29.0	6.7
10	" " Karak	Karak	"	28.0	6.7
11	" " Bentong	Bentong	"	30.0	6.5
12	" " Benus	Mande	"	28.0	6.8
Japan, River* (av.)					
" Mt. Rokko	R. Myohoji				
" Mt. Tateyama	R. Jōganji	Dorodani	8/10/69	7.0	8.3

Specific conduct. ($\mu\Omega/\text{cm}$)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (as Ca ²⁺) (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Soluble SiO ₂ (mg/l)	Comments
72	3.1	7.6	0.7	14.4	3.2	11.6	In lowest tide Sand (Bottom)
66	2.7	7.4	2.0	25.3	3.1	16.8	
68	2.4	7.3	1.2	25.2	2.8	13.1	
70	2.7	7.4	1.6	23.9	3.4	13.0	
58	2.6	6.4	0.9	26.4	1.6	16.4	Granite quarry Sand (Bottom) Mud (") Sand (") " Sand and rock Averaged for 225 rivers Strongly weathered granite "
53	2.6	6.7	1.0	26.9	1.4	15.7	
14	1.6	0.8	0.8	0.8	0.0	14.8	
15	1.3	0.5	0.4	6.1	0.9	12.9	
28	2.6	3.3	1.9	14.1	1.6	13.2	
27	2.2	2.8	1.1	11.4	1.1	12.3	
53	2.1	7.5	0.9	28.2	1.3	13.8	
42	2.4	4.3	1.2	19.3	1.1	14.9	
34	2.3	2.6	0.9	14.4	1.1	12.7	
35	2.1	2.6	1.4	13.2	1.1	11.8	
38	2.7	2.9	1.1	17.8	1.1	18.0	
	6.7	12.1	5.8	31.0	10.6	19.0	
		54.0		130		32.0	
1020		358		182		18.0	

* After Jun KOBAYASHI. OKAYAMA Univ.

Fig. 10 Relation between contents of HCO_3^- and soluble SiO_2

三角坐標分類では隣接した北スマトラ地域の水質型に近く、他のグラフでは相対的に最も濃度が低く、化学的浸食の生じ難い地域であることを示している。

このような東南アジア地域における水質型の分類あるいは濃度分布特性に関しては、さらに他元素の分析をまち、地質、地形、水文気象および植生などの条件と関連して考察を加えたい。

謝 辞

この研究の一部は文部省昭和43年度科学研究費補助金（海外学術調査）の援助によって行われたものであり、関係各位に感謝する。

また昭和44年6月、7月にわたって現地調査の機会を与えられた ECAFE 事務局に感謝する。

なお本報告の水質分析の項は名古屋大学教授北野康氏および同大学院生吉岡竜馬氏の協力によってまとめられたものであり、深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) 奥田・北野・吉岡：東南アジアおよび台湾における陸水の分布（その1）京都大学防災研究所年報第12号, B, 昭43, 3, pp. 213~229.
- 2) Chang, K.S.T.: Study of Shoreline Process on Amping Coast and Its Relationship with Coastal Engineering, Committee of I.H.D. in the Republic of China, 1966, May.
- 3) 徐玉標：台湾灌溉水質之研究, 国立台湾大学農学院, 中国農村復興聯合委員会聯合印行, 1967, Jan.
- 4) 1) と同じ。
- 5) Wobber, F.J.: Space Photography a New Analytical Tool for the Sedimentologist, Sedimentology,

Vol. 9, 1967, p. 263.

- 6) Tjia, H.D., Asikin, S. and Atmdja, R.S.: Coastal accretion in western Indonesia. Bull. National Inst. of Geology and Mining, Bandun, Vol. 1, No. 1, 1968, Aug., pp. 15-46.
- 7) Purbohadiwidjojo, M.M.: Tentative ground water map of Java and Madura. Geological Survey of Indonesia, 1960.
- 8) Noshin, J.J.: The geomorphic history of the Northern Pahang Delta. Jour. of Tropical Geography, Vol. 20, 1965, pp. 54-64.
- 9) 同上: Relief and coastal development in north-eastern Johore. Jour. of Tropical Geography, Vol. 15, 1961, pp. 27-36.
- 10) Kanchanalak, B.: Salt intrusion control in the Chao Phya Estuary. Thailand. Royal Thai Irrigation Department, 1966, Aug.
- 11) East Pakistan, Water and Power Development Authority: Office report on salinity study in coastal embankment project area. 1968, March.
- 12) Sain, K.: Salinity control in the deltaic region of the Mekong river in Viet-Nam. Comittee for coordination of investigation of the Lower Mekong Basin, Papers in ECAFE Delta Symposium 1969, Tokyo.