

マレーシア国における潮汐観測

桑木野 文章：沿岸調査課

Tide Observation in MALAYSIA

Fumiaki Kuwakino : Coastal Survey and Cartography Div.

はじめに

マレーシア国の西マレーシア海域（マレー半島）潮位測定プロジェクトは、同国第四次経済計画の中に位置づけられ、コロンボプラン技術援助による海上保安庁水路部からの専門家の指導のもとに着々とその計画が進行中である。潮位測定プロジェクトがどのような過程のもとに実現されつつあるか出来るだけ具体的に記述することとしたい。

西マレーシア地域の精密水準測量ネットワークは、1912年 Port Swettenham（現在では Port Kelang）における英国海軍が設定した平均水面にもとづいている。その後 Port Dickson, Kuantan, Penang等の地で平均水面が得られ、これらを連結した結果0.3～1.0フィートも基準点より低いこと、さらにはタイ国との国境線決定測量時に Sungai Golok, Padang Besar においても同様な差違が判明した。このようなことからマレーシア政府は、精密な平均水面を求めると共にマレー半島沿岸域における潮汐現象把握のための潮位測定プロジェクトを実施することを決定し、土地地域開発省測量局が推進機関となった。測量局の組織等は第1表に示す。

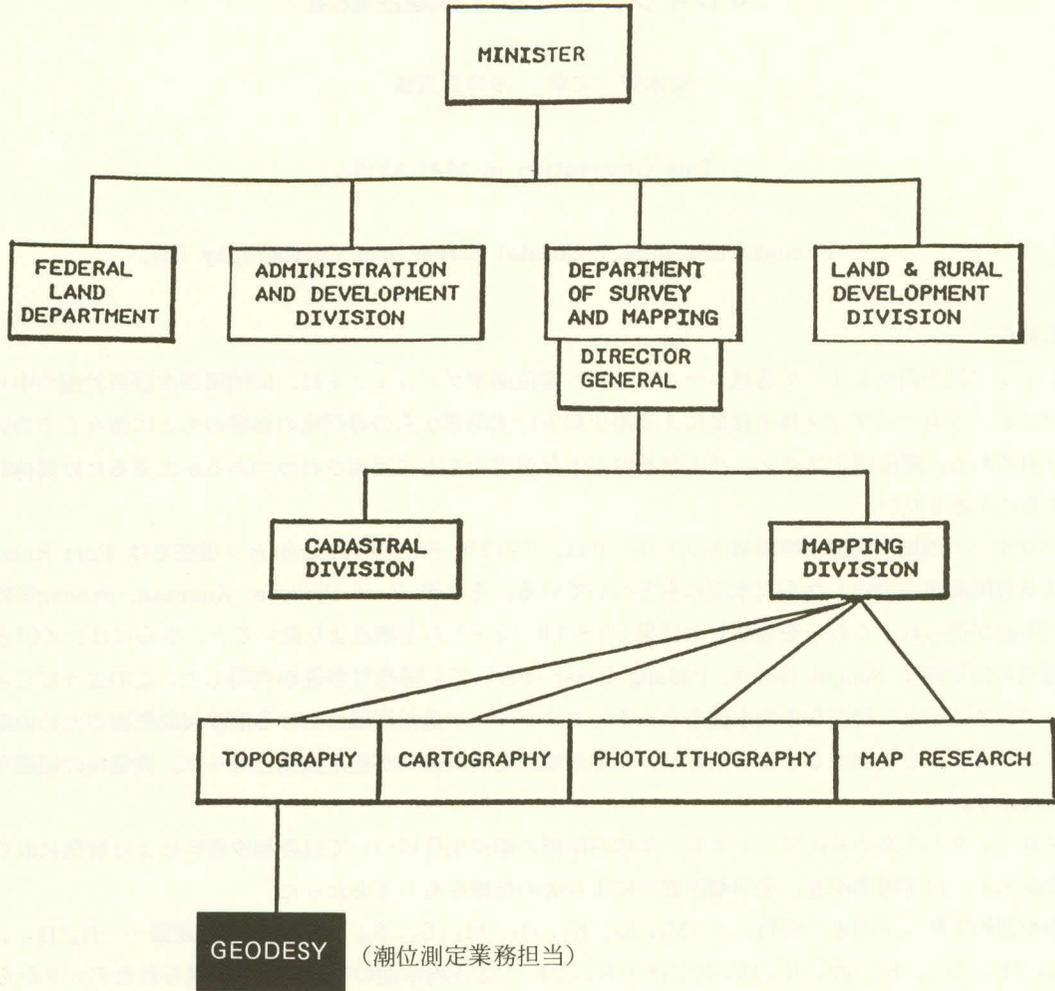
本プロジェクトを進めるに当ってマレー半島沿岸域の潮汐現象について既存潮汐資料により解明に取り組む必要がある。日本国潮汐表、英国潮汐表等により次の指標をもってあつた。

①潮汐調和定数（半潮差，遅角）…… $M_2, S_2, K_1, O_1, M_4, S_a, S_{sa}$ ②潮汐非調和定数…… $H_s/H_m, H'+H_0/H_s+H_m, K_m/29, K'/15, K'/15-K_m/29$ ③平均水面の季節変動等。得られたデータから同沿岸域には、すべての潮汐タイプが出現していることが判った。すなわちマラッカ海峡の One Fathom Bank 付近から北部では半日週潮型で、南部では徐々に混合潮型に変わってシンガポール海峡東口では日週型に近い混合潮となり、南支那海に面したマレー半島東岸は日週潮型に近似するようになりタイ国との国境付近では完全な日週潮型を呈するという事象となっている。また平均水面の季節変動をみると、マレー半島の東西で大きな差違がみられる。西岸では5月、10月に高く2月、8月に低くなっているが、東岸では8月に低く12月、1月に高くなり、その半振幅も西岸が約15 cm であるのに対し東岸では約20 cm にも達する。

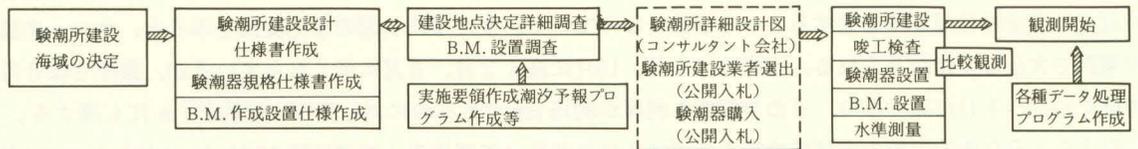
以上のような潮汐現象の海域特性等を考慮に入れ専門家（矢野雄幸：派遣期間1981.9～1983.9）により測量局に対し下記事項が提案された。

- ① 全海域の詳細な潮汐現象，平均水面の把握のため約10か所の験潮所を設ける。
- ② 験潮器は，フロートタイプとし測定データは磁気カセットテープ入力仕様とする。
- ③ 外部電源は使用せずバッテリー方式とし最低1か月連続観測が可能なものとする。
- ④ 験潮井戸はスチールパイプを打ち込んで使用し，上部に験潮ハウスを設ける。
- ⑤ 導水方法は，パイプに2個の小穴で行なう等。

第1表 土地地域開発省測量局の組織



本プロジェクトの具体的な実施の流れ図を示すと次のようになる。



以下主要なものについて記述することとしたい。

1. 験潮所設置海域の決定

マレー半島の潮汐現象から第1図に示す海域に験潮所を設けることが決定された。

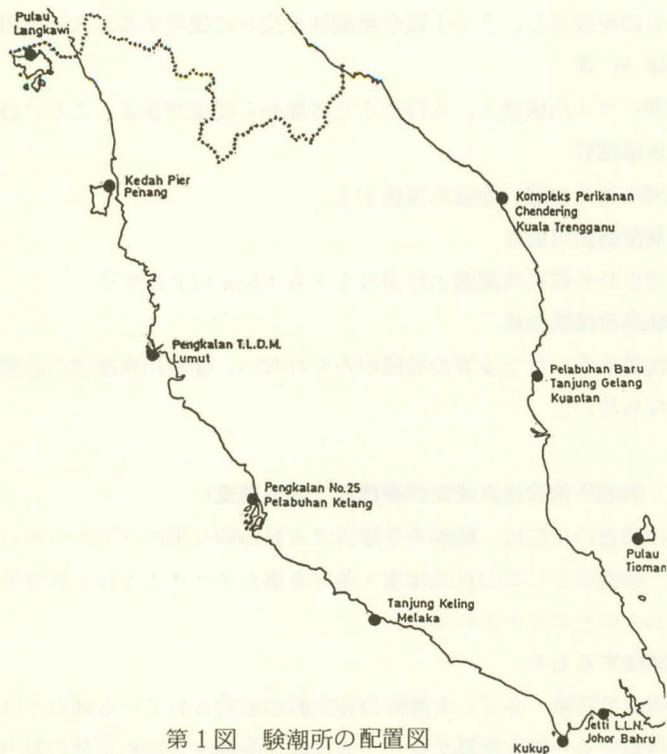
2. 験潮所建設仕様

験潮所及び験潮器の仕様は、つぎのとおりとされた。

(1) 験潮所の構成

①験潮井戸（直径70 cm, 肉厚2 cm のスチールパイプ）②験潮器（直径30 cm のフロート使用）③験潮柱 ④球分体 ⑤Benchmark Mark

* スチールパイプは、アンチラストペイント塗装付で使用する長さは建設地点での地質調査結果により決定される。験潮器はバッテリー使用（雷の発生が多いことから外部電源使用ではデータの入力・収録に支障が生じることから）、カセットテープデータ収録方式とする。



第1図 験潮所の配置図

(2) 験潮ハウス

①床面積 4 m^2 ($2\text{ m} \times 2\text{ m}$) 及び高さ 2.5 m ~ 2.7 m ②側面及び屋根は鉄骨アルミニウム波板張

* 高さは水準測量作業を考慮に入れたこと、南国特有の熱風、スコール等による高温・多湿による悪影響をさけるため通気確保のため波板を使用。1985年以降建設されたものは、北東モンスーンの強風、波浪に耐え得るものとして、さらに検討を重ねた結果験潮ハウスを鉄骨コンクリート製で八角形の形状のものに設計変更された。

(3) 海水導入

直径2 cm の小穴を対称的位置に2個設ける。その位置は最低低潮面より約1 m 下で海底上少なくとも2 m 以上確保する。

* 初年度（1983年）建設した3か所について貝類の異常とも言える成育速度がみられ、ほぼ1か月で導水穴がふさがれてしまう事態が発生した。この防止のためダイバーによる除去、亜鉛板設置等試みたが、いずれも一時的であり経費的にも追従できないことから、導水穴を直径2.5 cm に拡げ験潮ハウス内に設けたリールとをステンレスチェーンでリンク状に結び、月1回そのチェーンを引き廻すことにより導水穴を清掃する方式を採用した。この方式の採用後この種のトラブルは解消された。

(4) 験潮柱

験潮所と独立に設置し5 cm 刻みのマーク付きで0位は最低低潮面下少なくとも50 cm に設置される。験潮ハウス内から観測出来る位置とする。

* 初年度は厚さ3 cm, 幅15 cm の木板に5 cm 毎のマークを削り込んだ4.5~7.0 m のものを固定し使用したが、上述のように貝類の付着度がはげしく毎月清掃しなければ観測出来ない事態となった。そこで、験潮柱（5 m ないし6 m の長さのもので2つ折りの可能なもの）をはめ込むことの出来る験潮柱箱とも言うべ

の記、標高及び最寄りの三角点に関すること。㉔調査機材…メジャリングテープ、レッド、トーチライト、スケッチブック、カメラ、大縮尺の地図及び海図

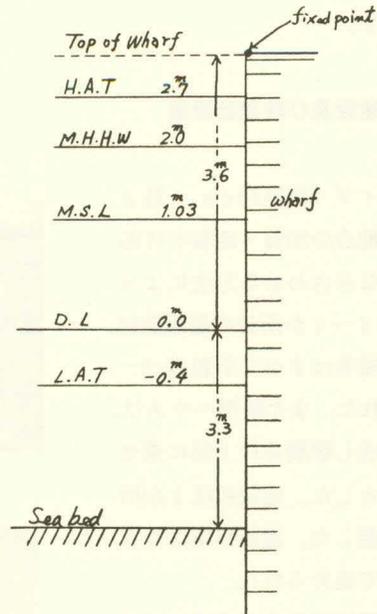
(2) 調査実施要領

㉑潮差が大きい時期に実施する。㉒調査地点には固定点を設ける。㉓海面下海底までの深さを計測し、潮位を考慮し水深の概値を求め建設候補地点を選び出す。(水深は少なくとも3mを必要とする) ㉔候補地点で連続8時間(高(低)潮前1時↔低(高)潮後1時)15分毎に、固定点↔海面↔海底の測定を行う。㉕候補地点及び付近の詳細な平面図を作成する。㉖水準標石設置点の選定。㉗験潮柱設置点選定(験潮柱の長さの決定資料を必要とする)。㉘候補地点付近の水深測量(建設時の資材運搬バージの安全確保等のため)。㉙土地所有者・管理者との打ち合わせ、その地域における電力・給水、ホテル、交通事情など建設時あるいは観測期間中に必要とされる情報の収集。

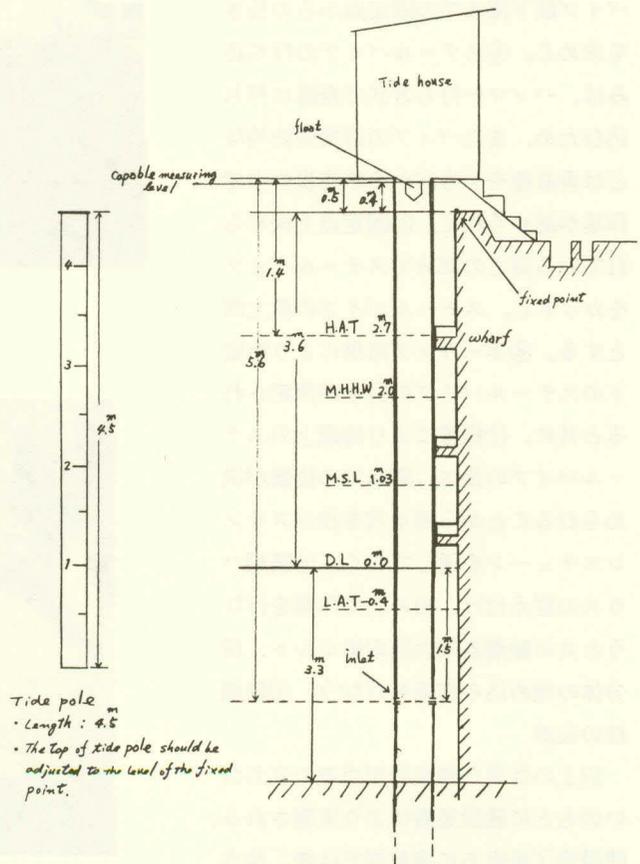
(3) 適地調査の成果

㉑験潮所の建設設計の高さの基準として固定点を用いることから固定点と海底との高さを決定する。㉒潮汐観測値と潮汐推算値を比較することによりその潮汐推算値が候補地点に使用するに耐え得るものか、あるいは潮時差・潮高比を設定しなければならないか等の判断を行なう。この観測結果によって付近の既知潮汐調和定数から主要4分潮、長周期分潮について振幅分布、遅角分布図を作成し候補地点の潮汐調和定数の概値を求めるとともに Z_0 の値を設定する。㉓固定点下基本水準面の高さを求める。㉔候補地点における験潮所設計にかかる高程基準仕様を作成する。

Chendering 港の験潮所建設仕様を第2、



第3図 Chendering 港における各種水準面



第4図 Chendering 験潮所建設仕様(一部)

3, 4 図に示す。

4. 験潮所建設及び験潮器設置

(1) 験潮井戸

スチールパイプ（直径70 cm, 長さ10 m）を建設地点の地質・地盤等に応じて何本かつなぎ合わせる方法によったことから、3～4か所分の建設資材、ボーリング機械等はすべて引船式バargeに積み込まれた。また験潮ハウスは、あらかじめ作成し験潮井戸上部に乗せるという方式とした。建設には1か所平均3日間を要した。建設作業はつぎのような流れで進められた。

①地質・地盤等調査のためボーリング作業を実施し、およそのスチールパイプ最下部までの固定点からの長さを求める。②スチールパイプの打ち込みは、ハンマー打ち方式で垂直に打ち込むため、またパイプの溶接連結時などは垂直錘を2方向からの注視の中で作業が進められた。③固定点上決められている高さの部分でスチールパイプをカットし、スチールパイプの最上部とする。④ボーリング結果により海底下のスチールパイプの長さが決定されると共に、仕様書により海底上のスチールパイプの長さ、導水穴の位置が決められることから導水穴を設けステンレスチェーンを通しておく。⑤験潮ハウスの据え付け、組み立て作業を行なうと共に験潮器架台固定用ボルト、球分体の埋め込み作業を行なう。⑥験潮柱の設置

以上の作業が測量局担当者の立ち合いのもとに建設業者により実施される。建設完了後直ちに測量局では竣工検査をかねた検査を実行する。



写真1 験潮所の一例



写真2 験潮所の一例



写真3 ベンチマーク

⑧ 驗潮井戸内水位と外部水位との比較観測…連続 8 時間。
⑨ 驗潮井戸内のスチールパイプ最上部と海底との長さ、驗潮井戸外部海底とスチールパイプ最上部との長さ、驗潮井戸内外の海底と導水穴との長さ等の確認計測。⑩ 驗潮井戸及び驗潮柱の垂直検査。

(2) 驗潮器据え付け

驗潮器そのものについては後述する。驗潮器本体は、水路部で現在所有している LFT-V 型と同型である。① 驗潮器架台の設置、・出来るだけ水平に、・驗潮器錘測尺が驗潮所入口から見通せるように、・驗潮器のフロートが驗潮井戸中央に位置するように、等の注意を払う。② 驗潮器の設置 架台上に設置し、フロートワイヤーを納める大滑車と A/D 変換器とを断結状態にしたうえで、・完全に水平かつ前後左右に動かないように架台上に固定する。・大滑車に巻き込まれているフロートワイヤーをフロートに連結する(余分のワイヤーがあるので、大滑車の溝に完全に納まる長さに調整したうえで実行する)、・驗潮井戸最上面(観測可能最高潮位)にフロートを位置付け、大滑車を固定し、この状態でバランスウエイトが最大吊り下げ位置に専用ワイヤーで固定する(通常井戸蓋を湿気防止のため使用するの、その厚み等を考慮する)、・大滑車と A/D 変換器とを連結し建設仕様による最大観測可能値に A/D 変換器ゲージをセットする、・フロートワイヤーを繰り出しながら 1 m 毎のフロートワイヤーと A/D 変換器との対応検査を実施する。③ 驗潮所基準測定値等の決定 ・驗潮器錘測基点、球分体、驗潮柱、Bench Mark 等の水量測量を実施する、・潮汐推算値によって基本水準面上の潮高、錘測基点から水面までの長さを計測し、観測基準面(基本水準面下 1 m)を定め驗潮所基準測定値の概値を求める、・驗潮所基準測定値には通常丸められた数値を用いるので、A/D 変換器を微調整し最終的に驗潮所基準測定値すなわち錘測基点から観測基準面までの高さを決定する。・驗潮器と驗潮柱との比較観測から驗潮所観測基準面、驗潮柱観測基準面との差が得られ、水準測量の結果と比較対比することでその成果の検査ができる。④ 驗潮所基準面関係図の作成 水準測量の成果、驗潮器と驗潮柱との比較観測結果などから、驗潮所基準面関係図を作成する。図のサンプルを第 5 図に示す。この図には驗潮器設置日、驗潮所経緯度等も記入される。⑤ 驗潮所の 2 つのタイプ、Bench Mark 及び驗潮柱の写真を掲げる。

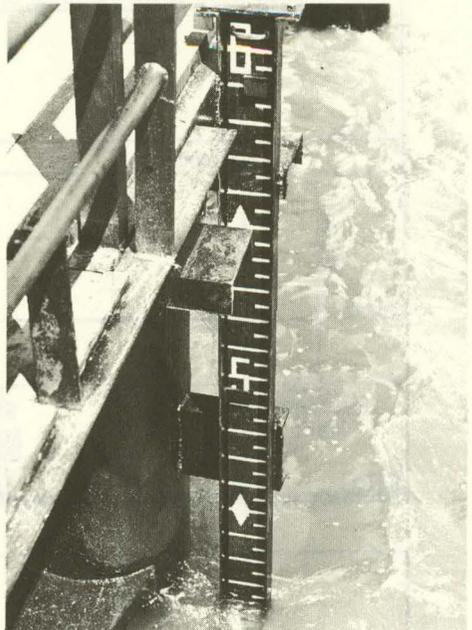
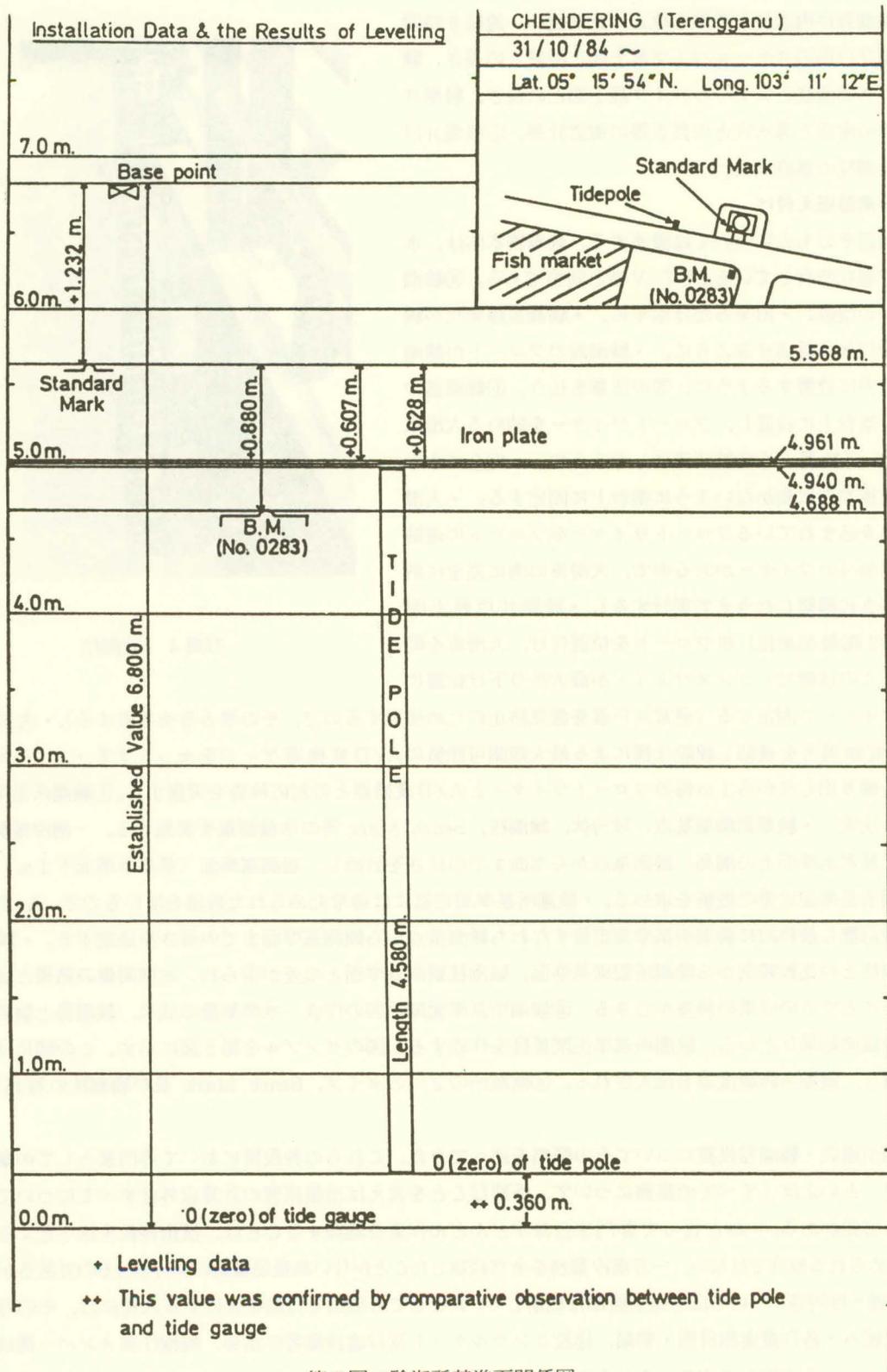


写真 4 驗潮柱

驗潮所建設・驗潮器設置についてその概略を述べてきた。これらの各段階において専門家としての業務は何か? といえば「すべての業務について、極端なことを言えば出張旅費の計算以外はすべてについてリードする必要がある。」かと言って専門家自身がどんどん作業を処理することは、技術移転を第 1 とする立場から進められる態度ではない。一方潮汐業務を全然経験したことがない測量局職員に実行させるのであるが、業務の意義・目的等については当局上層部は理解していたとしても現場で行動を共にする人達には、その方面からの取組み・各作業実施計画・要領、建設コンサルタント及び建設業者の指導、現地作業メンバー構成、調査機材リスト作成等々の作成、これらについて上層部への説明・打ち合わせなどに加わることが必須で、さ



第 5 図 驗潮所基準面關係圖

らに験潮データ取得・サンプリング方法の決定，データ処理基本構想作成，それに基づく各種データ処理プログラム作成等々取組まなければならない業務が次から次に待ちうけている状況であった。以後使用された験潮器，データ処理などについて述べることにする。

5. 使用された験潮器

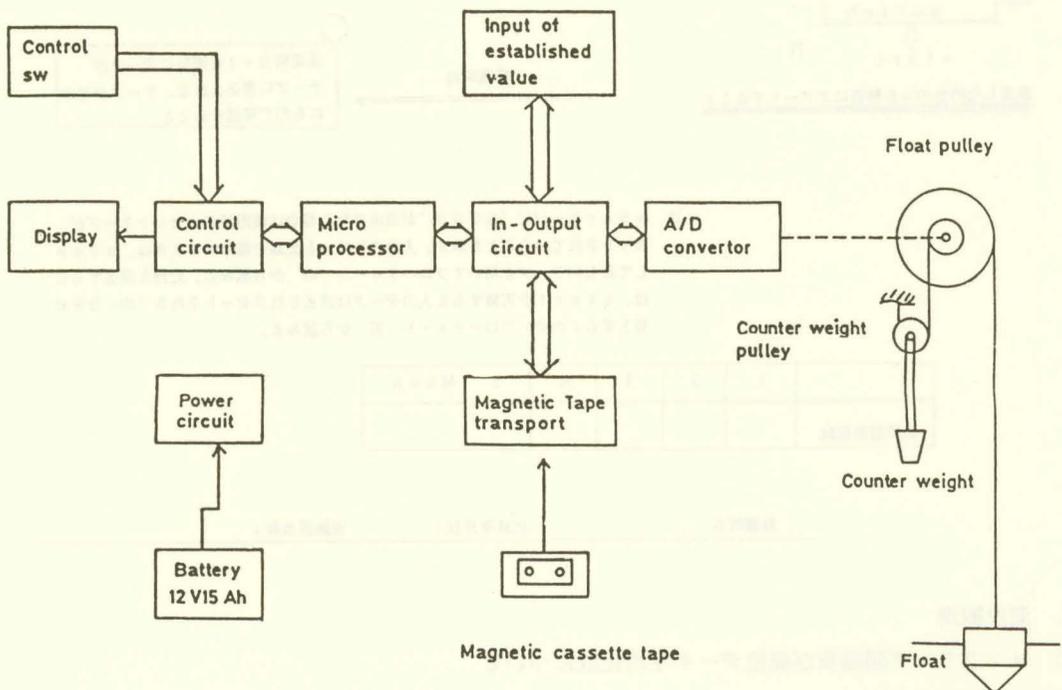
海上保安庁水路部で常設験潮所に採用されているLFT-V（協和商工製）のフロート機構を使用し，フロートの上下動をA/D変換器によってデジタル変換し，10進数3桁で情報交換用カセットテープに入力する。入力されるデータは，そのままの値または本装置に内蔵されているマイクロコンピュータにより平均化化されたいずれかであり平均化データ数，サンプリング間隔等は任意に設定可能である。

(1) 験潮器仕様

㉑入力データ：BCD 3桁（0～999）㉒サンプリング間隔（T）：10～90秒で10秒単位 ㉓平均化データ数（N）：1～9データ ㉔最大収録データ数：115,000データ ㉕電源：12V 12AH密閉型蓄電池 ㉖時刻設定：10進数4桁 ㉗潮位表示：×××（cm）㉘記録密度：800 BPI ㉙記録内容：1ブロック内では，128データでそのうち8データはそのブロックの最初の潮位データに係る計測時刻に使用される。

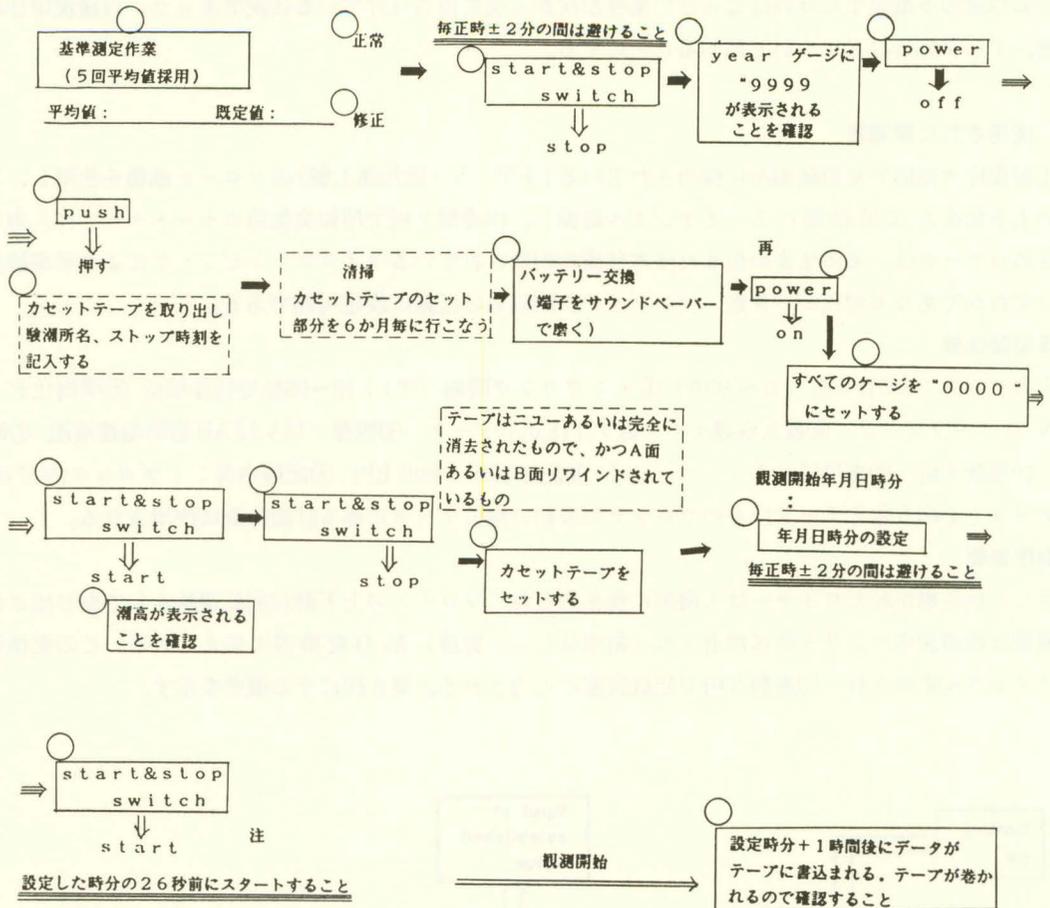
(2) 動作概要

フロートから導かれたワイヤーは大滑車に巻き取られ，フロートの上下動が回転運動として取り出される。この運動は増速歯車により5倍に増進され（縮率なし……実長）A/D変換器に伝えられる。この変換器によってデジタル変換され，10進数3桁で記録装置に入力される。第6図にその概要を示す。



第6図 験潮器動作概要

第2表 驗潮器カセットテープ交換要領フローチャート



注 yearゲージに“8008”が表示された場合は使用済のカセットテープがセットされていることを示す。入力されている記録を保存するときは、stopして新しいテープを用いてフローチャート 再 から試みる。記録を消去するには、startを実施すると入力データは消去されリセットされる(約4分を必要とする)ので、フローチャート 再 から試みる。

	1	2	3	4	5	Mean
標準測定記録						

驗潮所名 : 実施年月日 : 実施担当者 :

6. 潮汐観測

(1) サンプリング間隔及び潮位データ平均化数について

上述のようにサンプリング間隔は10~90秒の間で任意に、平均化の数も1~9個の範囲で設定できる。これらを設定するにあたって考慮しなくてはならない事項がある。

1. Condition of Tide Station

- a) The condition of the Tide Station should be reported during each visit to facilitate any repairs or maintenance. The condition on each item in para 1 should be reported using abbreviations as follows:

G-Good S-Satisfactory NR-Needs Repair NC-Needs Cleaning

- b) Occurrence of any other activities around the Tide Station that may affect its function should be reported under Remarks.

2. Recording Data

- a) When changing batteries and cassette tapes, the serial numbers of the new and old batteries and cassette tapes should be recorded as well as the time (nearest min) the STOP/START switch is at position STOP, and subsequently at position START. Condition of the batteries, cassette tapes and magnetic tape recorder should be reported under Remarks if malfunction occurs.

3. Zero Determination

- a) This is to ensure that the Zero of Tide Gauge is maintained at its Established Value below the Base Point. Five sets of determination (in cm) are required before and after change of cassette tapes. The time (nearest min) and mean value of each set is also required.
- b) The Established Value is the difference in height between the Base Point and Zero of Tide Gauge.

4. Simultaneous Observations of Tide Gauge and Tide Pole

- a) This is to check the condition of the inlet holes of the stilling well. The readings on A/D convertor and the Tide Pole should be read off simultaneously at 10 mins interval to the nearest cm.
- b) This observation should be carried out for at least 8 hours continuously for the first two or three months in the case of a new Tide Station. Subsequently, 3 or 4 hours of continuous observation would suffice every month.
- c) The difference of readings between the A/D convertor and Tide Pole is deduced under the heading Diff. The mean of this value is required at the end of observations.
- d) The Fixed Difference is the difference in height between Zero of Tide Gauge and Tide Pole.

(2) 具体的に記すとサンプリング間隔10秒、平均化数3個と設定し、計測時刻を1986年9月28日10時30分とし、この時刻にスイッチONすると記録されるのは、1986 9 28 10 30 10 0 0 312と入力される。この入力データは、現実とは異なっている。すなわち最初に計測されるまでには26秒を必要とするので、最初に観測される時刻は10時30分26秒+10秒で、平均時刻は10時30分46秒となり記録内容から判断される平均時刻10時30分20秒とは異なることがわかる。したがって毎分、毎5分、毎正時を平均時刻とする潮位データを取得するには工夫が必要となる。

(3) 通常潮汐観測成果として最終的に毎正時潮位を必要とする。また水深測量の潮高改正のため毎5分あるいは毎10分の潮高も必要とされる。任意時刻の潮位データから補間手法により毎5分、10分、毎正時等の潮位を求めることも可能であるが、生データとして少なくとも毎5分の潮位が取得されることが良好である。

(4) 験潮器の機能活用、毎5分、10分、正時潮位を含むデータを取得すること等総合的に検討した結果、10秒毎計測で5個平均すなわち50秒毎のデータを取得する様式が採用された。

(5) 験潮所現場における観測要領及び野帳を表2、3に示す。

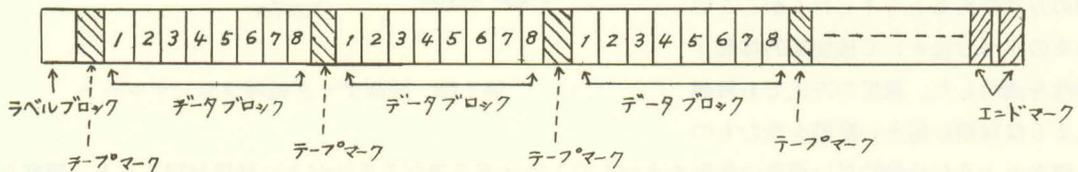
⑧ 記録装置にカセットテープを挿入しスイッチをONにすると、まずテープが完全なものであるか否かを判定しつつラベルデータの書き込み、ブロックデータの書き込み等を行った後観測データの入力待ちの状態となる。この処理に要する時間が26秒である。

(6) 毎月カセットテープ、バッテリーの交換を必要とする。両者共に1か月が限度ということではなく特にカセットテープの湿気に対するおそれから1か月毎に定期的に交換を実施するのが良策である。その際カセットテープは新品あるいは完全に消去したもの、またバッテリーは完全に充電したものを持参する。

7. 潮汐データ処理

(1) 潮位データの記録

⑨ テープフォーマット



まずラベルデータブロック（256バイト）が設けられ、つづいてデータブロックとなり8ブロック毎にテープマークが設けられる。テープへのデータの書き込みは1ブロック（256バイト）毎に行なわれる。⑩ラベルブロックに書き込まれる内容は、機械番号、潮位補正值、サンプリング間隔、平均化データ数、観測開始年月日時分である。⑪データブロックには各ブロックとも128個のデータで構成される。書き込み順に記すと、観測年月日時分秒（そのブロックで最初にサンプリングされたデータについてのもの）、つづいて潮位データが120個入力される。

(2) 観測データの処理

潮位観測の目的は、最終的に正確な毎正時値を取得し日平均水面値・月平均水面値および年平均水面値を求めることが主要なもの1つである。潮汐観測値はカセットテープに収録されていることから、コンピューターを活用し観測値を読み出しから各平均水面値の算出まで一連の処理プログラムを作成する必要がある。この処理の流れ図及び関連プログラム名等を第7図に示す。

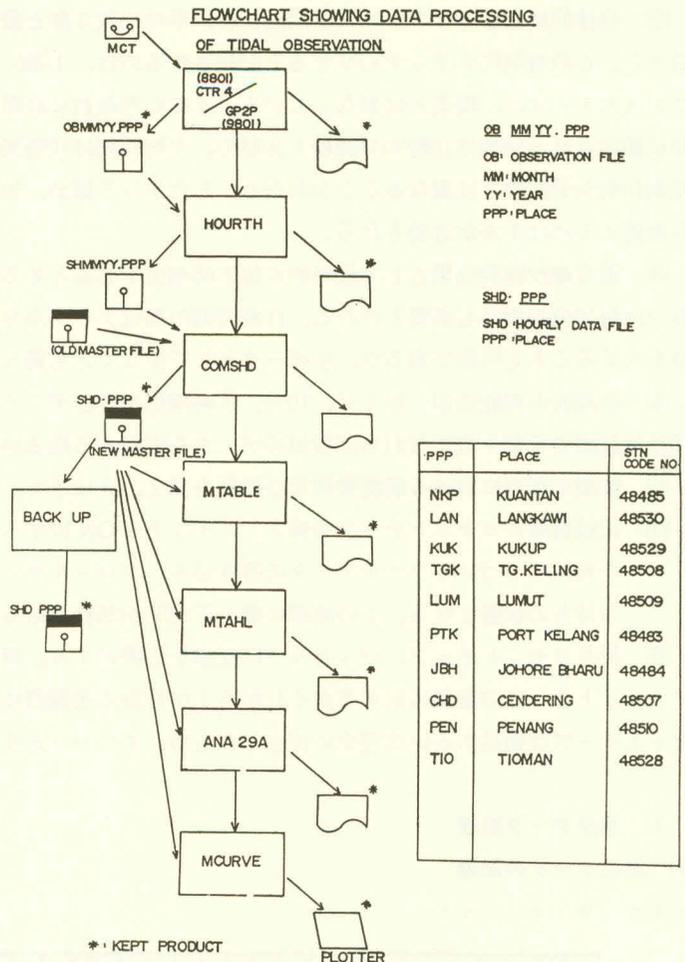
この処理で注意すべきことは、50秒毎の観測値からいかにして正しい毎正時値を取得するかということである。海面は潮汐現象のみならず風、うねり等で常に動いており、験潮井戸の導水穴により風浪等による海面の動揺は消去されているが、それでもいわゆる SIN/COS 曲線のような滑らかな変動曲線を示す海域のみではない。時々刻々水面は変動し、その変動はノコギリ型あるいは10分～120分という周期成分の混存するものもみられる。このような変動曲線状を示めず観測値から潮汐成分以外の変動を除去し毎正時値を求める処理が必要となる。したがってそれぞれの験潮所における変動状況の把握、その状況に応じた処理方法を確立することが肝要である。ここに潮汐観測曲線のモデルとして舞鶴と博多港におけるものをそれぞれ第8、9図に示す。第8、9図のような観測曲線から正確な毎正時を得るためには、各種の方法があると考えられるがここではその平滑方法として放物線の移動平均法を適用した。適用の方法でも舞鶴のような周期の短い変動を含むものと博多のような比較的長い周期の変動を含むものとは若干異なる手法がよい結果が得られる。舞鶴タイプでは、30分毎の値で毎正時値を一時的に求め、この一時値をさらに平滑化することにより正確な値が得られ、博多タイプでは30分毎の値で充分精度の高い値が得られることが認められた。なお平滑化に用いるデータは、所要時刻を中心とした前後2個ずつ合計5個の連続したデータを用いた。

なお、マレー半島沿岸では顕著な短周期変動はみられず、50秒毎のデータについて直接平滑化を計り毎正時値を求めることにしてある。また異常記録（機械的なトラブルによるものが主な原因）に対する処理も、前後のデータからチェック、修正するステップを加味されている。

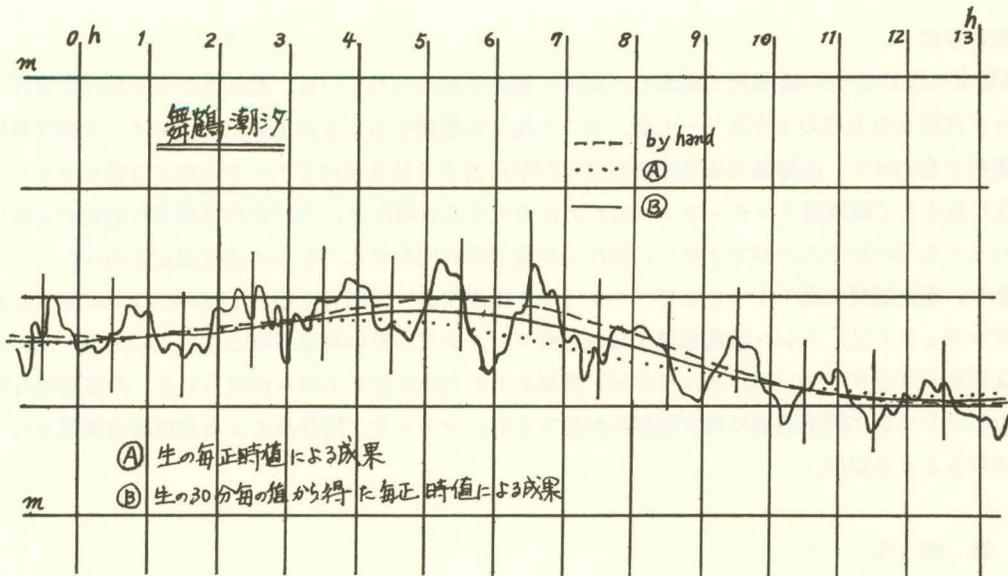
(3) 観測データの処理フローチャート

第7図のとおりであるが若干説明を加える。

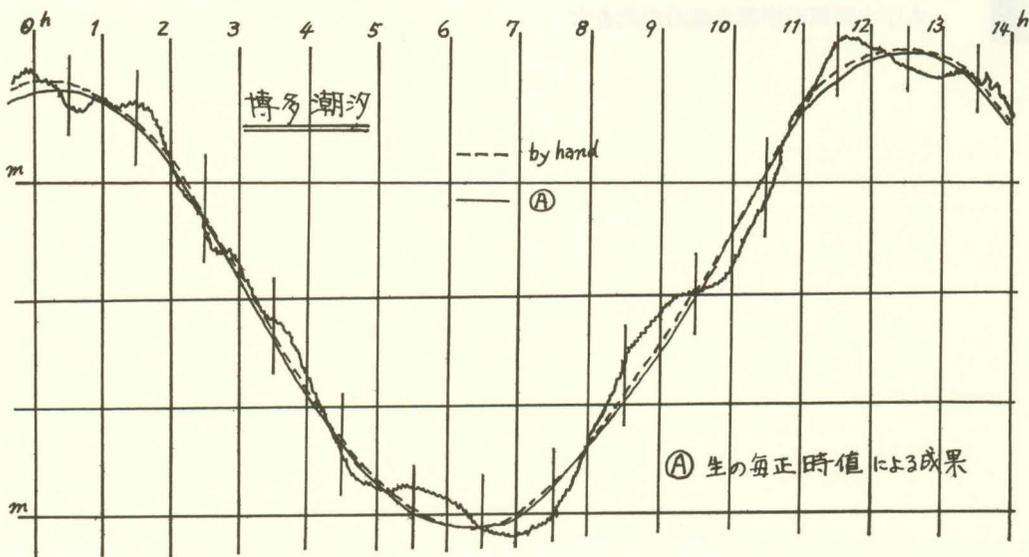
㊸フロッピーディスク“OB”は、50秒毎のデータが格納される。㊹毎正時値は、プログラム“HOURTH”でフロッピーディスク“SH”に収録される。㊺“SH”に収録された毎正時値は、一観測期間のみのものであり、プログラム“COMSHD”で以前のものと連結され観測データマスターファイル“SHD”が作成



第7図 観測データ処理フローチャート



第8図 舞鶴港における潮汐観測曲線



第9図 博多港における潮汐観測曲線

される。④プログラム“MTABLE”は、毎正時、日平均値、月平均値を網らした潮位月表を作成する。⑤プログラム“MTAHL”は任意の1か月間における日々の高低潮時刻及びその潮高表を作成する。⑥プログラム“ANA29”は、29日間の毎正時値を用いて潮汐調和定数を算出する潮汐調和分解プログラム。⑦プログラム“MCURVE”は、観測値あるいは推算値をX-Yプロッターで描画する。これらの処理プログラムのはかに、潮汐調和定数管理プログラム、潮汐調和定数60分潮以内を用いての潮汐推算プログラム、月令・赤緯算出プログラム等も準備されている。

8. おわりに

1986年末には10か所の験潮所が稼動し、順調に観測が続けられている。赴任時から2か年の在任中不動のスタッフに恵まれ上述のようなハード面、ソフト面共に整備することが出来た。マレーシア国測量局の前向きな姿勢と合わせて、国際協力事業団の派遣専門家に対する供与機材でデータ処理に必要なコンピューター等をはじめとして験潮器メンテナンスのために使用する車輛など、専門家の業務遂行活動の支援協力が得られたことも見のがすことができない。後任の伊藤友孝専門家によりさらに潮位測定業務がシステム化されつつあり、潮位観測成果の1つとして「マレーシア国潮汐表 1987年」版が1986年11月に出版された。現在本プロジェクトは、マレー半島海域すなわち西マレーシアがその対象海域となっているが、1987年以降いよいよ東マレーシア（サバ州，サラワク州）海域をその対象に含める動きが見られる。今後有効な技術移転のもとにマレーシア国全海域に潮汐観測所が拡充され、マレーシア国自身による潮位測定業務が行なわれるようになることを望む。

報告者紹介



Fumiaki Kuwakino

桑木野 文章 昭和62年3月現在、
本庁水路部沿岸調査課沿岸調査官