

## ADCP データの潮流解析について

吉 宣好, 佐藤 敏: 海洋研究室

## On Tidal Removal From ADCP Data

Nobuyoshi yoshi, Satoshi Sato : Ocean Research Laboratory

## 1. はじめに

現在, わが国の流況観測においては, 海上保安庁だけでなく, 他の観測機関においても多くの ADCP 観測が実施されており, 我々は ADCP 観測によって, GEK 観測に比べ簡単に多くの観測データを取得できるようになった。

しかし, 潮流の大きな海域においては, この ADCP データを利用するに当たり潮流成分を除去する事が一つの課題となっている。

現在これに対しては, 観測海域で実際に潮流観測を行い潮流成分を算出したものを, その海域で行われた ADCP 観測データから差し引く手法と ADCP 観測データだけをもとに潮流成分を差し引く手法が考えられている。

そこでもし, 簡単にかつ観測点以外の区域をも補完できる後者の手法を用いることで, ADCP 観測データのみからその海域の潮流成分を抽出することができれば, 潮流解析にとっても非常に有意義なものになると考えられる。

従って, 潮流観測なしで簡単に ADCP 観測データから観測海域全体の潮汐成分を考慮した流速値を求めることを考えることにした。

今回は, 前述した解析手法として, 多項式等により観測海域全域の潮流成分とその他の成分を分離決定する Candela et al. (1992), Foreman and Freeland (1991) の手法を用いて対馬海峡近海及び伊豆大島近海において, ADCP データを解析処理し, 一昼夜潮流観測データとの比較検討を行ったので報告する。

## 2. 解析概要

初めに, 解析手法について簡単に述べる。一定の水深における ADCP 観測データの流速の北方・東方成分をそれぞれ, 次式(1)のように観測海域における緯度・経度を説明変数とし, 潮流成分とそれ以外の成分に分けた関数を仮定する。

$$u(t) = u_0(x, y) + \sum_{i=1}^n \{b_i(x, y) \cos(\sigma_i t_j) + c_i(x, y) \sin(\sigma_i t_j)\} \quad (1)$$

ここで,  $t_j$  は観測の時間 (h) ・  $\sigma_i$  は潮汐の分潮  $i$  の角速度 ・  $n$  は分潮の数とする。

さらに  $u_0(x, y) \cdot b_i(x, y) \cdot c_i(x, y)$  を次式(2)・(3)・(4)のようにおき。

$$u_0(x, y) = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^j \alpha_{j-k,k} X^{j-k} Y^k \quad (2)$$

$$b_i(x, y) = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^j \beta_{j-k,k} X^{j-k} Y^k \quad (3)$$

$$c_i(x, y) = \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^j \gamma_{j-k,k} X^{j-k} Y^k \quad (4)$$

$m$  を多項式の次数とし,  $\alpha_{j-k,k} \cdot \beta_{j-k,k} \cdot \gamma_{j-k,k}$  は ADCP データから最小二乗法により求めた係数とする。この予測式を基に緯度・経度からその海域の北方・東方成分を導き出し, 潮流成分とその他の成分に分離する手法を用いた。

この手法は, Candela が1990年に東シナ海において, 5日間で129点の観測を行い,  $M_2$  (主太陰半日周潮) と  $K_1$  (日月合成日周潮) を用いて1次と2次式の二つについて検討したときのもので, その時の結果はその観測海域の潮汐とよく一致していた。

また, 前述したカナダの海洋研究所の Foreman and Freeland (1991) が Candela と同様の手法でヴァンクーバー島の南西沿岸域において, 船底に備え付けられた ADCP を用いて, 測定層 8 m 間隔で



1988年10月25日の9時54分から1988年10月28日10時15分までの約3日間の観測と固定点での潮流観測を実施し比較検討している。結果としては、潮汐成分(分潮)として $M_2$ と $K_1$ を用いて解析しており、Candelaほど良い結果は、得られなかったものの、データを等間隔に間引いて計算した場合より、全データを用いた方が良い傾向を示していることが解った。

### 3. 対馬海峡及び五島列島近海

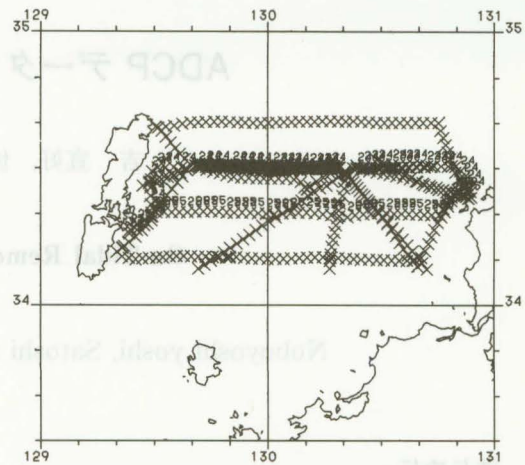
前述の手法を用いて比較検討するに当たり、初めは潮流の大きいモデル海域として対馬海峡近海のデータを用いて解析を行った。

ここでのデータは、対馬東水道を測量船海洋が1992年の8月22日から9月6日まで5分間隔で水面下10mのADCP観測を実施したデータを用いた。第1図に測点図を第2図に流向流速図を示す。観測データは、昼間観測をし夜は停泊をするという繰り返して観測されたため、24時間以上の連続移動データは得られなかった。

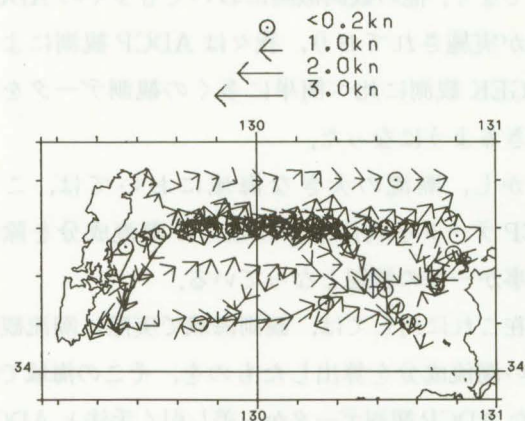
このデータを用いて、潮流成分は半日周潮として $M_2$ を日周潮として $\{k_1$  (日月合成日周潮) $+O_1$  (主太陰日周潮) $\}/2$ を使用した。さらに多項式の次数として3次と7次について解析したがいずれも実際よりも大きな値を示した。時間は観測開始日のAM 0時を0時として計算した。次数7次について $M_2$ のみの場合も前述と同様の結果を得た。

第3図から第6図までは、計算した流向流速図であり、第3図は、多項式の次数を7次にし、潮流成分は $M_2$ と $(K_1+O_1)/2$ を用い時間を8月29日14時にし、位置を観測海域内の位置で計算したときの流向流速図である。殆どの流速が実際には有り得ない大きな値となっている。小さい値の部分は、実際の観測点とほぼ同じ位置でありかつ重複して観測されている部分である。

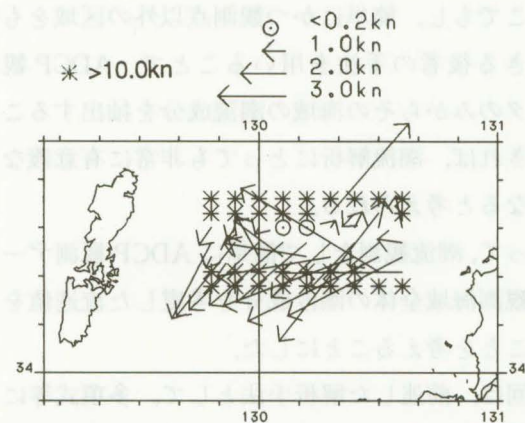
第4図は、多項式の次数を7次にし、潮流成分は $M_2$ と $(K_1+O_1)/2$ を用い時間と位置は観測値と同じものを用いて計算したときの流向流速図である。当然ではあるが、観測値を基に多項式を求めているので、実測値にほぼ近い値を示していることが解る。



第1図 対馬東水道測点図



第2図 流向流速図 (観測データ)



第3図 流向流速図 (次数7次の潮流成分 $M_2$ と $(K_1+O_1)/2$ による計算データで時間は8月29日14時で計算)

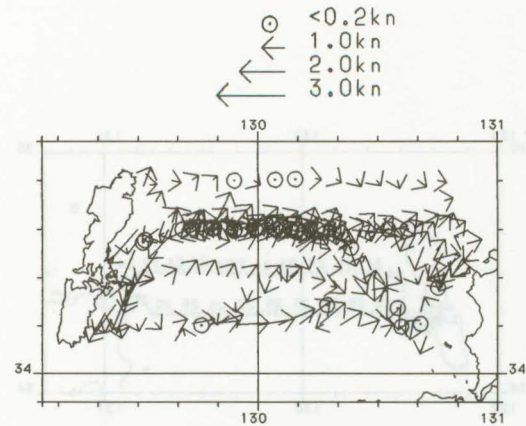


第5図は、多項式の次数を3次にし、潮流成分は  $M_2$  と  $(K_1+O_1)/2$  を用い時間を8月29日14時にし、位置を観測海域内の位置で計算したときの流向流速図であるが、第3図と同様に殆どの流速が実際には有り得ない大きな値となっており、小さい値の部分は、実際の観測点とほぼ同じ位置でありかつ重複して観測されている部分である。

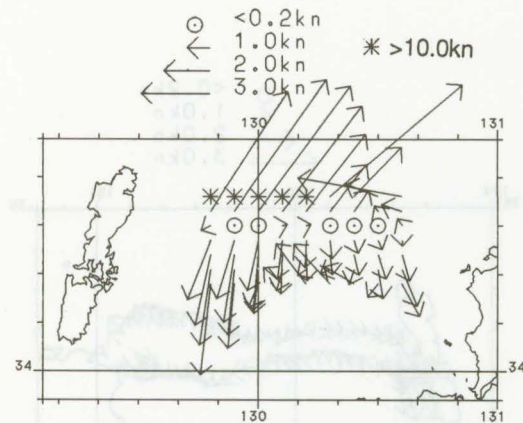
第6図は、多項式の次数を7次にし、潮流成分は  $M_2$  のみを用い時間を8月29日14時にし、位置を観測海域内の位置で計算したときの流向流速図である。第3図及び第5図と同様の結果を示していることが解る。

次に、前述したように観測実施期間は昼間 ADCP 観測をし、夜は港若しくは沖合いに停泊するといった行動になっており、移動データが24時間以上の連続性がないため、できるだけ連続時間の長いデータを抽出して（2日にまたがるが24時間以上連続にはならなかった；8月24日7時～15時と8月25日8時～15時までのデータ）解析に用いた。まず潮汐成分として24時間分のデータがないので半日周潮の  $M_2$  のみを用いたもので多項式の次数を3次から7次まで替えて、最小二乗法を行った多項式をもとに流向流速を求めてみたが、ADCP 観測データと比較して、次数が大きくなるにつれて流速が大きくなり、また、流向も場所によって反対方向を示すものがあった。しかし、測線位置と同じ所ではほぼ同じ値が得られた（第7図、第8図、第9図、第10図、第11図、第12図）。

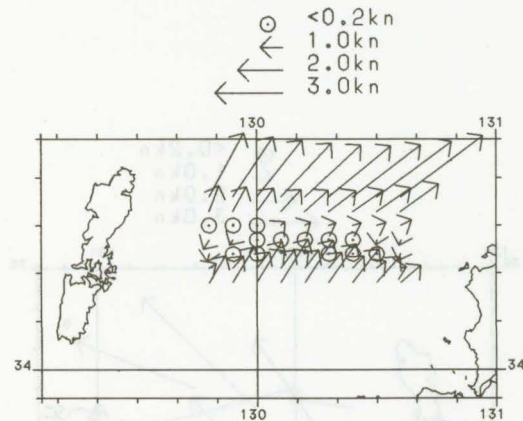
第7図と第8図は、観測データの測点図と流向流速図を示す。第9図は、多項式の次数を3次にし、潮流成分を  $M_2$  のみ、時間を8月25日9時にし、位置を観測海域内の位置で計算したときの流向流速図である。すべての流速が実際には有り得ない大きな値となっている。第10図は、第9図と同様の条件で位置と時間だけ観測値と同じ値を用いて計算したときの流向流速図である。当然ではあるが、観測値とほぼ同じ値を示している。第11図は、多項式の次数を7次にし、潮流成分を  $M_2$  のみ、時間を8月25日9時にし、位置を観測海域内の位置で計算したときの流向流速図である。すべて10kn以上の流速で実際には



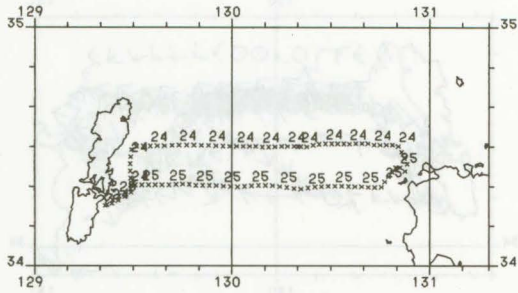
第4図 流向流速図（次数7次の潮流成分  $M_2$  と  $(K_1+O_1)/2$  による計算データで測線と同一位置・時間で計算）



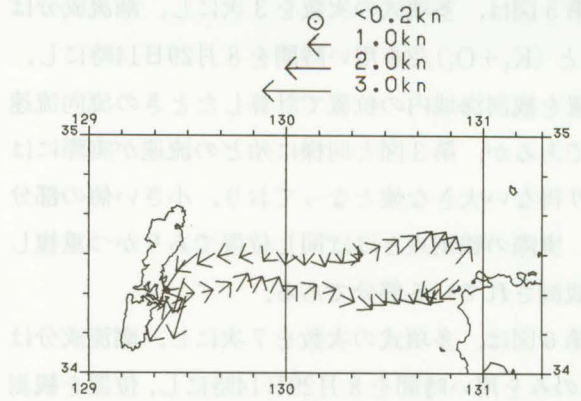
第5図 流向流速図（次数3次の潮流成分  $M_2$  と  $(K_1+O_1)/2$  による計算データで時間は8月29日14時で計算）



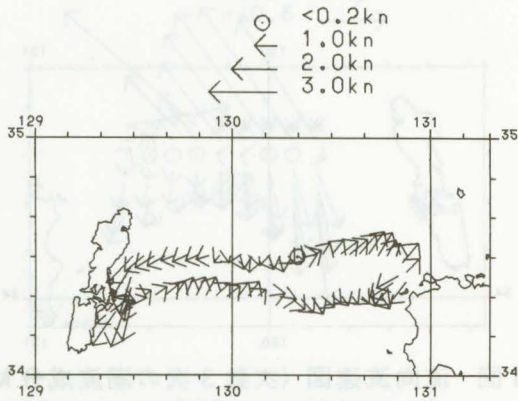
第6図 流向流速図（次数7次の潮流成分  $M_2$  のみによる計算データで時間は8月29日14時で計算）



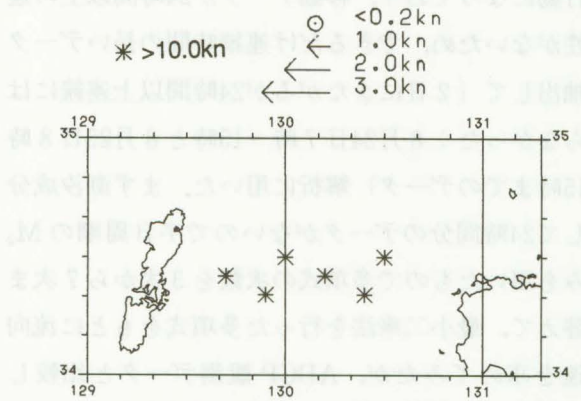
第7図 測点図



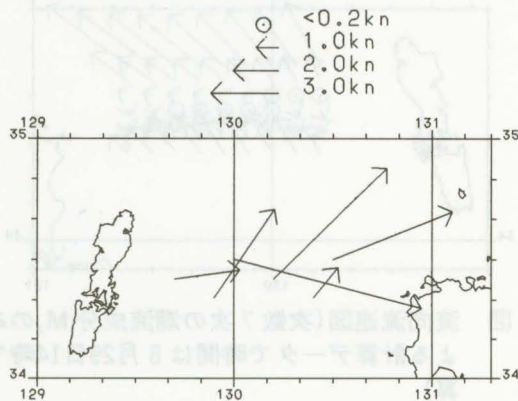
第10図 流向流速図(次数3次の潮流成分  $M_2$  のみによる計算データで測線と同一位置・時間で計算)



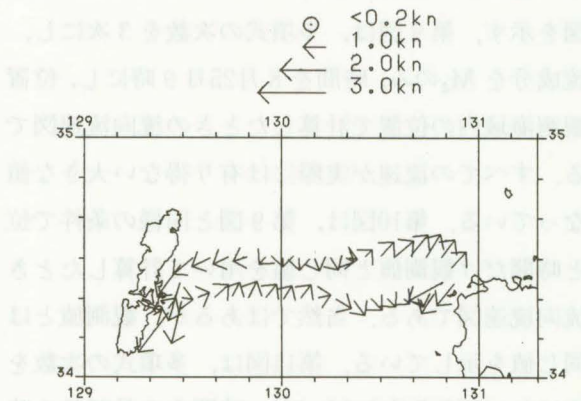
第8図 流向流速図(観測データ)



第11図 流向流速図(次数7次の潮流成分  $M_2$  のみによる計算データで時間は8月25日9時で計算)

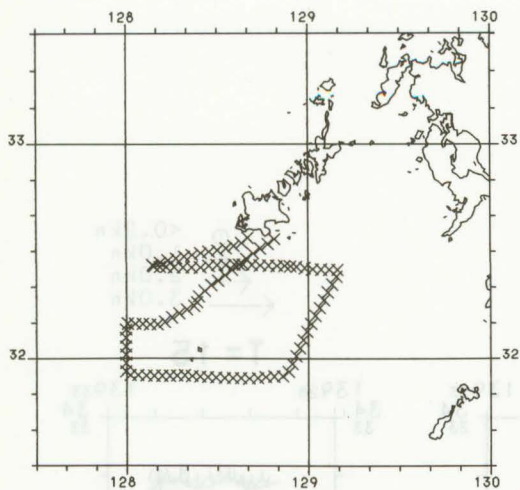


第9図 流向流速図(次数3次の潮流成分  $M_2$  のみによる計算データで時間は8月25日9時で計算)

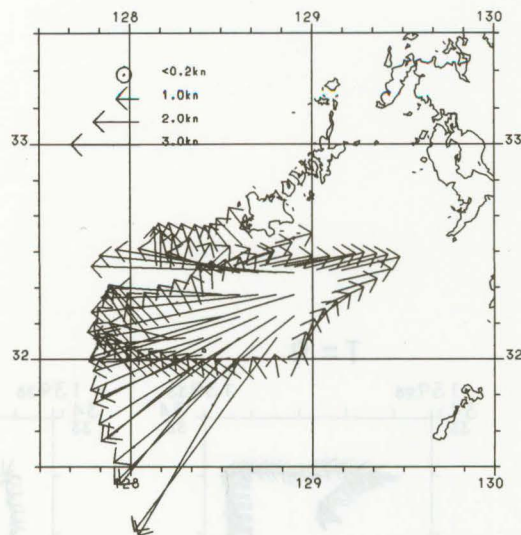


第12図 流向流速図(次数7次の潮流成分  $M_2$  のみによる計算データで測線と同一位置・時間で計算)

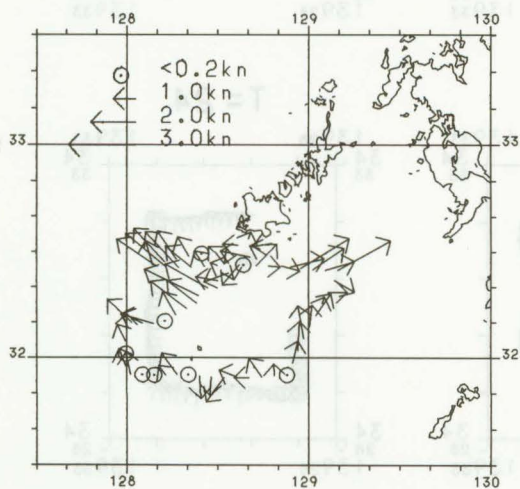




第13図 五島列島近海測点図



第15図 流向流速図(次数3次の潮流成分  $M_2$  のみによる計算データで時間は1月21日10時で計算)



第14図 流向流速図(観測データ)

の流向流速図を示す。第15図は、多項式の次数を3次にし、潮流成分を  $M_2$  のみ、時間を1月21日10時にし、位置を観測海域内の位置で計算したものと位置と時間だけ観測値と同じ値を用いて計算したものの両方の流向流速を表したものである。観測値と同じ位置以外のは、すべての流速が実際には有り得ない大きな値となっていることがわかる。

対馬海峡近海及び五島列島近海において十分な成果が得られなかった理由として、観測範囲の測線間隔が広いことと24時間以上連続移動の観測データが得られなかったことが考えられる。

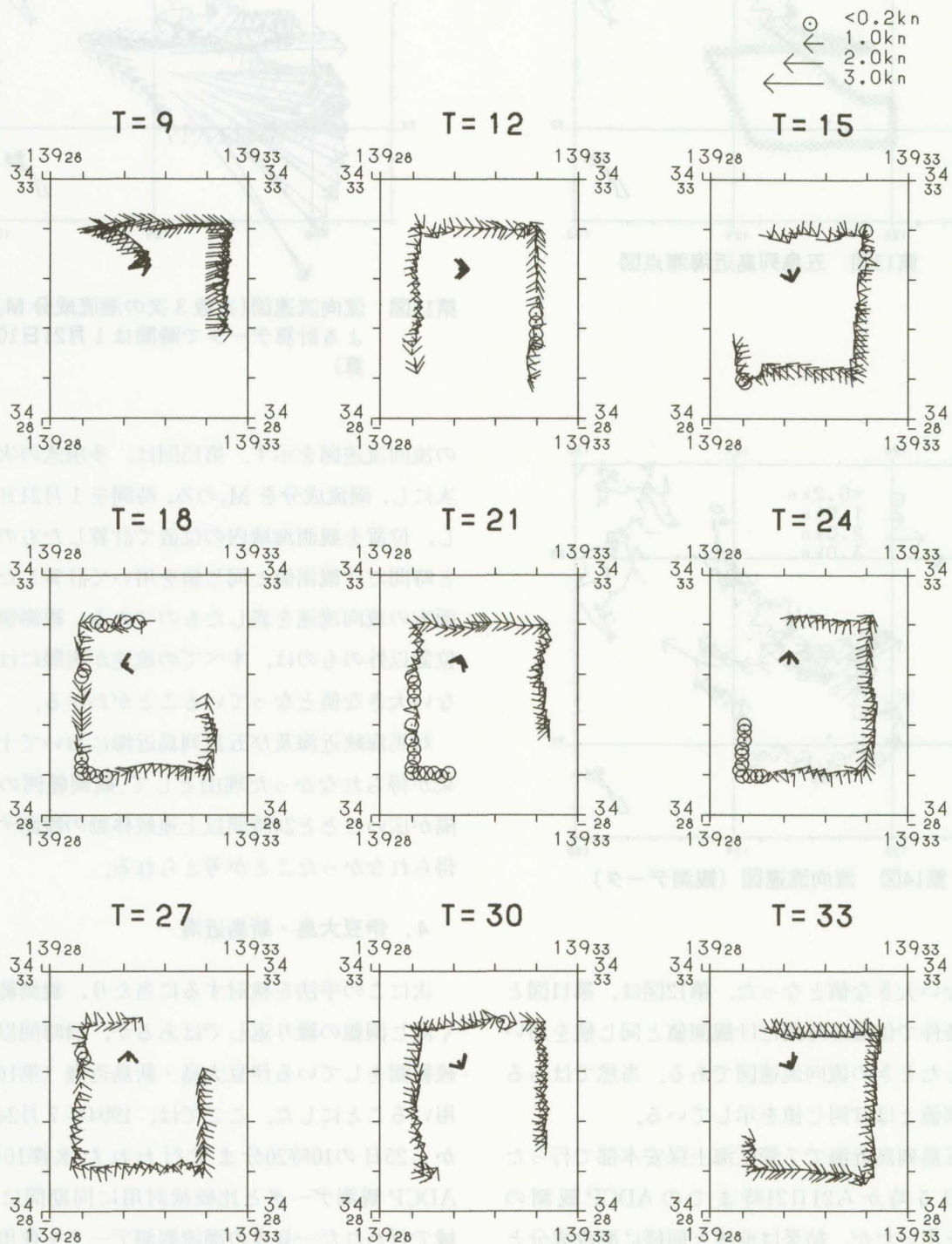
有り得ない大きな値となった。第12図は、第11図と同様の条件で位置と時間だけ観測値と同じ値を用いて計算したときの流向流速図である。当然ではあるが、観測値とほぼ同じ値を示している。

次に五島列島近海で7管区海上保安本部で行った1月21日5時から21日21時までの ADCP 観測のデータを用いたが、結果は前述と同様に潮汐成分として  $M_2$  のみを使用して多項式の次数を3次について解析してみたが、測線位置以外では、かなり大きい値を示した。従ってどの海域でも満足のいく結果は得られなかった。

第13図は、測点図を示す。第14図は、観測データ

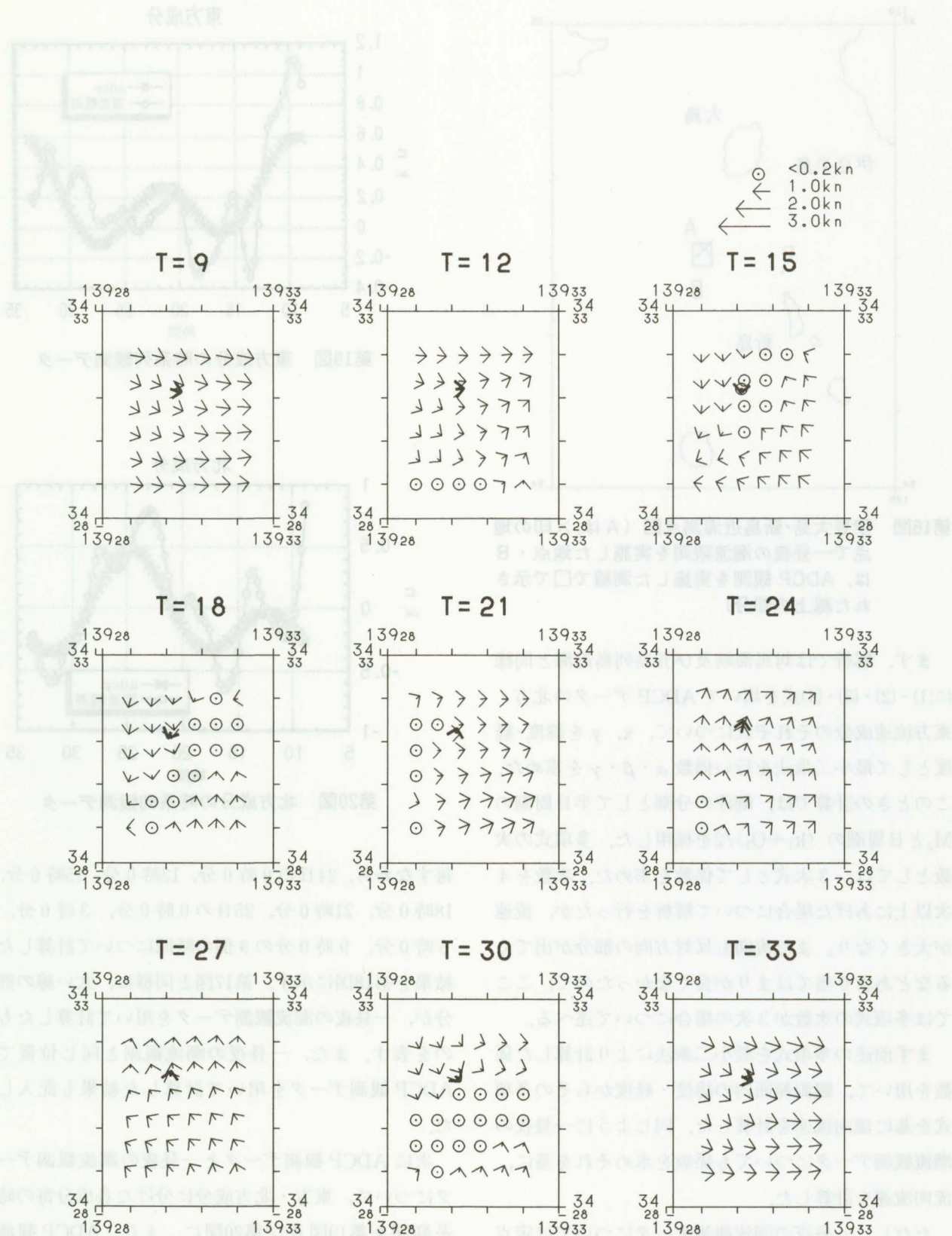
#### 4. 伊豆大島・新島近海

次にこの手法を検討するに当たり、観測範囲が狭く同じ測線の繰り返しではあるが、24時間以上の連続観測をしている伊豆大島・新島近海(第16図)を用いることにした。ここでは、1994年7月24日9時から25日の10時20分まで行われた水深10m層の ADCP 観測データと比較検討用に同期間にその海域で行われた一昼夜の潮流観測データを使用して解析することにした。24日の9時から3時間毎に1時間分の ADCP 観測データと一昼夜の潮流観測データの流向流速図を第17図に示す。一昼夜の潮流観測データは、太い線の部分で20分おきに観測しており1時間に3回分しかデータがない。

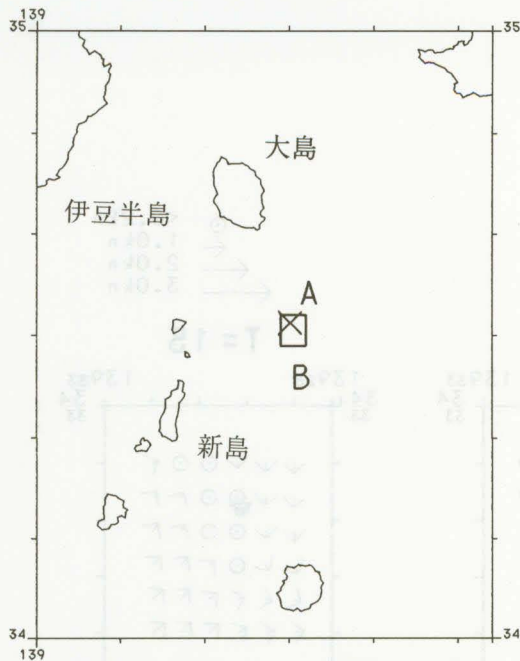


第17図 流向流速図 (3時間おきの1時間分の観測データ)





第18図 流向流速図 (3時間おきの最小二乗法による計算データ)

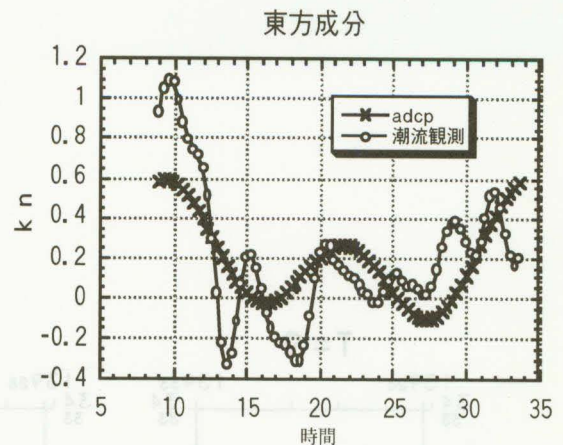


第16図 伊豆大島・新島近海測点図 (Aは、×印の地点で一昼夜の潮流観測を実施した地点・Bは、ADCP観測を実施した測線で□で示された線上の部分)

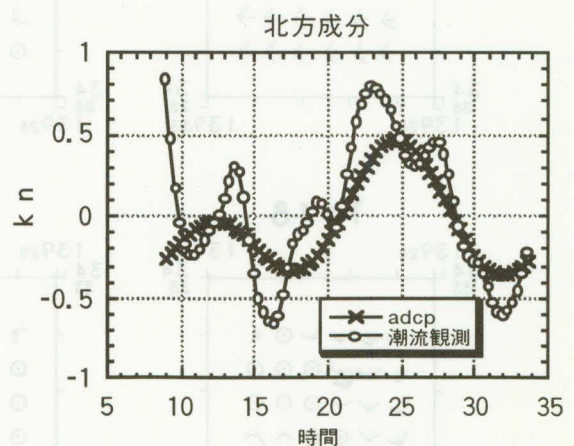
まず、解析では対馬海峡及び五島列島近海と同様に(1)・(2)・(3)・(4)式を用いてADCPデータの北方・東方流速成分のそれぞれについて、 $x, y$ を緯度・経度として最小二乗法を行い係数 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ を求めた。このときの計算では、潮汐の分潮として半日周潮の $M_2$ と日周潮の $(k_1+O_1)/2$ を採用した。多項式の次数としては、3次式として係数を求めた。次数を4次以上にあげた場合について解析を行ったが、流速が大きくなり、また流向も反対方向の部分が出てくるなどあまり当てはまりが良くなかったので、ここでは多項式の次数が3次の場合について述べる。

まず前述の多項式を最小二乗法により計算した係数を用いて、観測範囲内の緯度・経度からその多項式を基に流向流速を計算した。同じように一昼夜の潮流観測データについても係数を求めそれを基に、流向流速を計算した。

ただし、一昼夜の潮流観測データについては定点での観測のため、説明変数としての緯度・経度は関係なくなるので、時間だけを変数とした定数項のみとなる。この結果については、流向流速図を第17図と同様にADCP観測データと一昼夜潮流観測データについて、24日の9時から翌日の9時まで3時間



第19図 東方成分の時系列観測データ

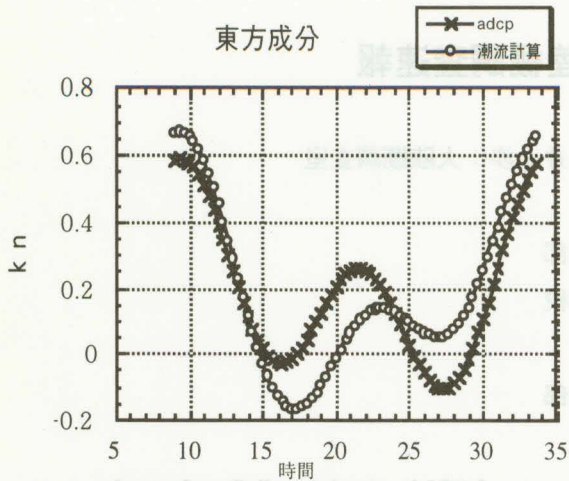


第20図 北方成分の時系列観測データ

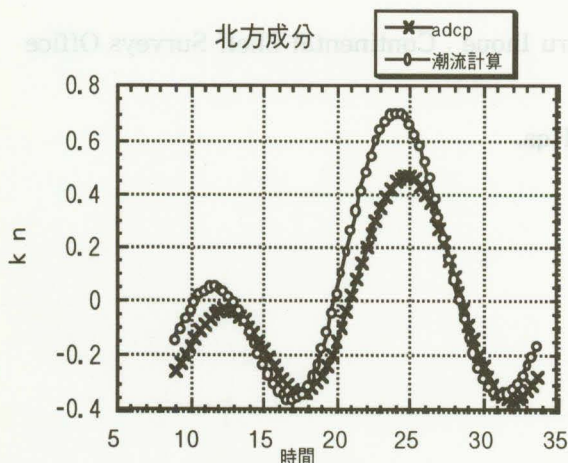
毎すなわち、24日の9時0分、12時0分、15時0分、18時0分、21時0分、25日の0時0分、3時0分、6時0分、9時0分の9個の時間について計算した結果を第18図に示す。第17図と同様に、太い線の部分が、一昼夜の潮流観測データを用いて計算したものを表す。また、一昼夜の潮流観測と同じ位置でADCP観測データを用いて計算した結果も記入した。

次にADCP観測データと一昼夜の潮流観測データについて、東方・北方成分に分けた各成分毎の時系列図を第19図及び第20図に、また、ADCP観測データと一昼夜の潮流観測データについて、それぞれ多項式を使って最小二乗法により求めた係数を基に、緯度・経度として一昼夜の潮流観測位置(点A)を用いて流向流速値を計算した結果の東方・北方成分を時系列図で第21図及び第22図示す。





第21図 東方成分の最小二乗法による時系列データ



第22図 北方成分の最小二乗法による時系列データ

第21図及び第22図で解るように、潮流観測を実施した位置(点A)と同じ位置で ADCP データを基に最小二乗法により求めたデータと一昼夜の潮流観測データを基に最小二乗法により求めたデータを比較すると、東方・北方成分の両方ともほぼ同じ型を示していることから、この多項式で十分に潮流成分を反映しているものとする。さらに、ADCP 観測データと一昼夜の潮流観測データから最小二乗法により、それぞれ求めた式から一昼夜の潮流観測点(34.52N, 139.502E: 点A)において恒流成分を抽出した結果を第1表に示す。

この表から、ADCP 計算データと一昼夜潮流計算データの流速と流向がほぼ同じであることがわかる。従ってこのことから十分に恒流成分を抽出することが、可能であることが理解できる。

第1表 10m恒流成分 (34.52N 139.502E)

	流向 (度)	流速 (k n)
adcp計算データ	106	0.19
一昼夜観測計算データ	81	0.19

### 5. おわりに

この解析手法について検討した結果は、対馬海峡及び五島列島近海においては、十分な連続移動データが得られず満足のいくものでなかった。しかし、伊豆大島・新島近海では、観測範囲がかなり狭いものの潮流成分の抽出が十分に可能であることが解る。潮流成分の強い海域では、この解析のために観測期間・測定間隔・観測線などの ADCP の観測のやり方について工夫した観測をすることにより、この手法を用いた潮流解析がある程度可能であると考えられる。

最後に、データ取り扱いで本解析に協力していただいた沿岸調査課観測及び7管区水路部の皆様に感謝の意を表します。

### 参考文献

Foreman and Freeland: A Comparison of Techniques for Tide Removal From Ship-Mounted Acoustic Doppler Measurements Along the Southwest Coast of Vancouver Island, J. G. R., 96, 17007-17021, (1991)

Candela, J., R. C. Beardsley, and R. Limeburner: Removing tides from ship-mounted ADCP data, with application to the Yellow Sea, in Proceedings of the IEEE Third Working Conference on Current Measurement, edited by G. F. Appell and T. B. Curtin, pp. 258-266, Inst. of Electrical and Electronics Engineers, New York, (1990)