

TOPEX/POSEIDON 海面高度計データを用いた海流推定について

寄高博行, 工藤宏之: 海洋研究室

矢沼 隆, 大島ゆう子: (株)パスコ

Estimation of Ocean Current using TOPEX/POSEIDON Altimeter Data

Hiroyuki Yoritaka, Hiroyuki Kudo: Ocean Research Laboratory

Takashi Yanuma, Yuko Oshima: PASCOCO Co. Ltd.

1. はじめに

米国とフランスの共同によるマイクロ波高度計を搭載した TOPEX/POSEIDON 衛星は、1992年9月の打ち上げから当初予定の3年をはるかに上回り、6年を過ぎた1998年10月現在においても観測を継続しており、2000年に打ち上げが予定されている後継機 Jason-1との間の空白期間は短くなってきている。水路部においてもこの高精度の海面高データを海況把握に用いることを目的とし、科学技術振興調整費（マイクロ波センサーデータ利用等によるリモートセンシング高度化のための基盤技術開発：平成4～8年度）による調査研究をはじめとして実用に供するための研究を続けてきた（木下ほか、1996）。本報告ではこれらの研究成果をベースとして構築した、本州南方における力学的海面高の絶対値を求めるシステムを紹介する。また、TOPEX/POSEIDON データを配布している米国航空宇宙局/ジェット推進研究所（NASA/JPL）が処理アルゴリズム及びフォーマットの変更を行ったことから、以前開発された日本近海における海面高データを切り出すプログラム（寄高・西田、1995）の改訂も含めて地衡流を求めるまでのプログラム群を整備したので、併せて報告する。

2. TOPEX/POSEIDON データ

TOPEX/POSEIDON 衛星の概要、配布されているデータの基本構造については寄高・西田（1995）に詳しい記述がある。処理アルゴリズム見直しの原

因となった TOPEX センサーによる測定値と POSEIDON センサーによる測定値の間の有意な差についてはデータ配布当初から知られていたが、TOPEX データの処理アルゴリズムに欠陥が発見され、第1世代のデータ配布はサイクル132（1996年4月観測分）で終了した。JPL ではこの欠陥を修正するとともに、潮汐モデルを Cartwright and Ray と拡張 Schwiderski から、TOPEX/POSEIDON データも利用したテキサス大学 CSR3.0.1 とグルノーブル力学研究所 FES95.2.1 に変更し、オハイオ州立大学ジオイド OSU91A は JGM3 のバージョン、平均海面高 OSUMSS92 は TOPEX/POSEIDON データも利用した OSU95 と改善された第2世代のデータ（MERGED GDR Generation B：以後 MGDR-B）を1998年1月から配布している。

3. 基本処理

(1) 切り出し

サイクル毎のディレクトリーに分けられている MGDR-B から指定海域のデータ切り出しを行う。大気補正等の標準補正、フラッグ判定はマニュアル（Benada, 1997）に従い、2種の基準面（ジオイド及び平均海面高）と2種の潮汐モデル（CSR3.0.1及びFES95.2.1）による4種の残差海面高を計算する。

(2) ノイズ除去

それぞれのパス、それぞれの残差海面高を指定緯度毎のブロックに分割し、ブロック毎の切り出し期間平均値及び分散を求め、標準偏差の指定倍を越え

るデータはノイズとして除去する。標準値はブロック長緯度15分、カット・オフのしきい値4倍としてある。

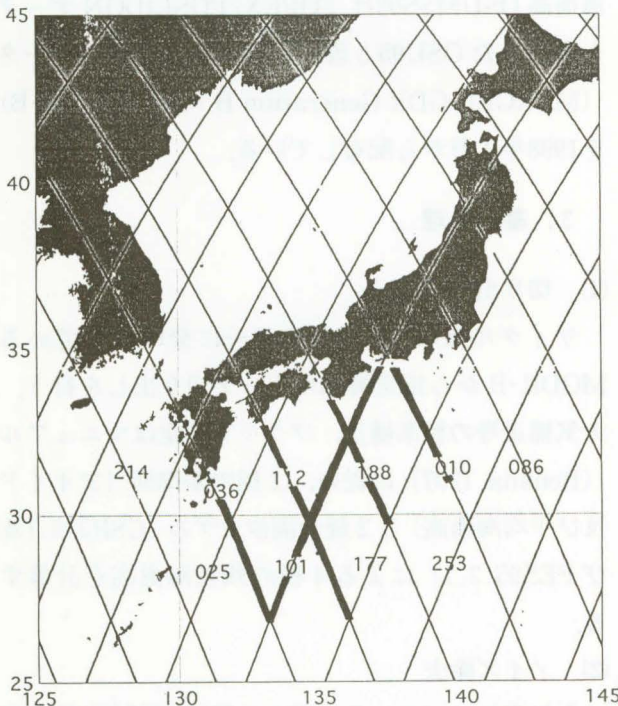
(3) 等間隔データ作成

指定した e-folding スケールと探索範囲を持つガウシアン・フィルターによって、指定緯度間隔のデータとする。標準値は e-folding スケール5分、探索範囲±15分、作成緯度間隔5分としてある。

4. CTD による力学的海面高を用いたジオイドプロファイル補正

(1) CTD による力学的海面高補間

第1図に示す日本近海における TOPEX/POSEIDON 衛星軌道のうち、本州南岸黒潮域を対象として軌道下での CTD 観測が実施されている。CTD 観測と衛星データの対応を第1表に示す。CTD データはノイズ処理を施した後に、ニールブラウン製 Mk III (1995年7月の観測まで) によるデータには、陸上検定値による圧力・水温の較正、電気伝導度センサーと水温センサーの応答補正、電気伝導度センサーの圧力・水温補正を実施し、±0.5



第1図 日本近海における TOPEX/POSEIDON 衛星軌道(実線)。太線は軌道下での CTD 観測を実施した部分を、数字はパス番号を示す。

db の範囲の平均により1db 毎のデータとした。シーバード製 SBE9, ニールブラウン製 Mk III とともに採水データを用いて塩分を補正し、下記の式で力学的海面高 SSDH を求めた。

$$SSDH = (\int (\alpha - \alpha_r) dp - 30 [m^2/s^2]) / g$$

ここで α は比容, α_r は同じ圧力での水温 0 °C, 塩分 35 における比容, g は重力加速度を示す。積分は 10db から基準面として 2500db まで行った。水深 2500m 以浅の測点では 10db から最深層までの積分を行い、沖側の測点の同じ層までの積分値との差を沖側の測点の 2500db までの積分値に加えた値を用いた。30 [m²/s²] は力学的海面高を 0 近傍とするための人工的な値である。

以上が力学的海面高補間のための前処理となる。CTD 観測は緯度 10—30 分間隔で実施されているた

第1表 CTD 観測と TOPEX/POSEIDON 衛星観測の対応。

パス	船舶データ年月	補正に用いた T/P 海面高データ			
		サイクル番号	年月日時		
10	1996年4月	132	1996年4月14日11時		
		133	1996年4月24日9時		
36	1995年4月	096	1995年4月24日12時		
	1995年11月	116	1995年11月8日19時		
		117	1995年11月18日17時		
	1996年4月	133	1996年4月25日9時		
		134	1996年5月5日7時		
		101	1995年4月	095	1995年4月24日12時
		096	1995年4月27日1時		
	1995年4月	116	1995年11月11日9時		
		117	1995年11月21日7時		
		132	1996年4月18日0時		
		133	1996年4月27日22時		
	1996年11月	152	1995年11月2日8時		
		153	1995年11月12日6時		
		112	1993年7月	029	1993年7月2日3時
		030	1993年7月12日1時		
		049	1994年1月16日10時		
		050	1994年1月26日8時		
		060	1994年5月5日12時		
	1994年5月	061	1994年5月15日10時		
		066	1994年7月4日0時		
	1994年7月	067	1994年7月13日22時		
		078	1994年10月31日0時		
	1994年11月	080	1994年11月19日19時		
		085	1995年1月8日9時		
	1995年1月	086	1995年1月18日7時		
		104	1995年7月15日19時		
	1995年7月	105	1995年7月25日17時		
		122	1996年1月10日6時		
	1996年1月	124	1996年1月30日2時		
		158	1997年1月1日6時		
	1997年1月	159	1997年1月11日4時		
		173	1997年5月29日23時		
	1997年6月	175	1997年6月18日19時		
		188	1994年1月	048	1994年1月9日11時
		049	1994年1月19日9時		
		059	1994年4月28日13時		
	1994年5月	060	1994年5月8日11時		

め、緯度5分毎の TOPEX/POSEIDON データに合わせるために3次元のスプライン補間を施す。

(2) サイクル抽出及び補正值算出

CTD 観測の前後における衛星のサイクルを抽出し、衛星による4種の残差海面高とCTD 観測による力学的海面高との差を各サイクルについて算出する。その差を、CTD 観測と各サイクルの時間差をパラメータとして、指定した e-folding スケールを持つガウス関数で重み付けすることにより各パスの補

正值を得る。標準値は e-folding スケール5日としてある。

第2図に足摺岬から南南東に伸びるパス112におけるCTD 観測による力学的海面高と、CTD 観測前後のサイクルにおける残差海面高の出力例を示す。これまでの研究(cf. 木下ほか, 1997)と同様に、ジオイドには31.5-32Nの間で1m以上の誤差があり、平均海面高では黒潮の流路が安定しているためアノマリとしては表現されておらず、31.5-32.5Nの間に1m近い誤差がある。第3図にパス112における力学的海面高と残差海面高との差を4サイクル分示す。各サイクルで補正值が一致しない要因としては大きい順に、1)観測時期のずれによる誤差、2)衛星の観測誤差、3)基準面の設定を含むCTD 観測誤差、4)潮汐モデルの誤差などが考えられる。他のサイクルに比べて差が非常に大きいと判断したサイクルまたは緯度帯の補正值は平均化の前に取り除いた。補正值の分散はパス112について約7cm、それ以外のパスで約10cmとなった。

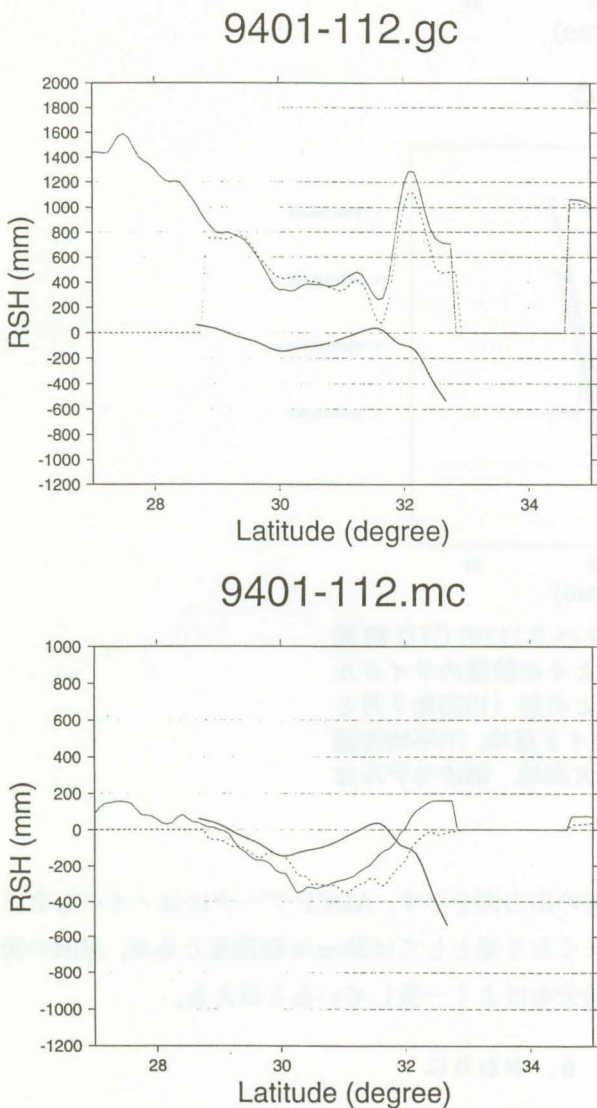
(3) 補正海面高による地衡流速算出

前ステップで得られた4種の補正值をもとに、全サイクルにわたって地衡流のパスに直交する成分を求める。CTD データを参照しているため、ジオイド基準と平均海面高基準で補正結果は一致するはずであるが、ジオイド基準にスパイク状のノイズが多く見られる。ノイズがジオイド傾斜の大きいところで生じていることから、残差海面高の内挿に伴う誤差と推定される。MGDR-Bに含まれている基準値を用いる場合には平均海面高を用いた方がこの内挿誤差を小さくできる。

第4図にパス112におけるサイクル毎の地衡流速出力例を示す。黒潮は通常32-32.5Nを通過しているが、サイクル88-90(1995年2月)には流軸が南下し蛇行が通過したことを示しており、海洋速報による黒潮の推定流路とも一致している。

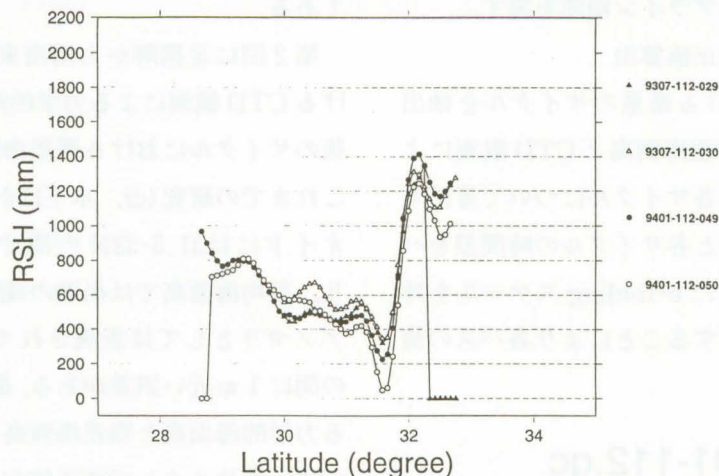
5. ADCP による流速データとの比較

海面高データとの比較のため、JODCが保有しているADCP連続データから、1993年1月以降のデータを、船速5ノット以上18ノット以下、加速度毎時

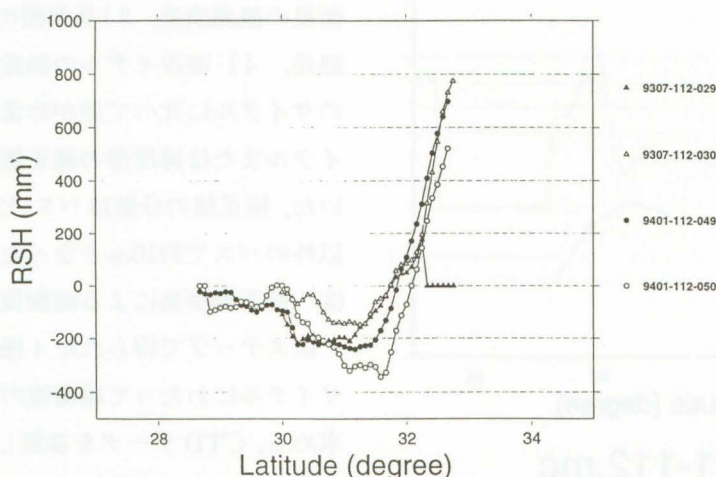


第2図 TOPEX/POSEIDON パス112の残差海面高(1994年1月)。(上)ジオイド基準、(下)平均海面高基準。実線はCTD 観測による力学的海面高を、細線はCTD 観測の直前の衛星観測(サイクル49)を、点線はCTD 観測直後の衛星観測(サイクル50)を示す。残差海面高0は衛星欠測域。潮汐モデルはCSR3.0.1を使用。

112.1.gc



112.1.mc



第3図 TOPEX/POSEIDON パス112のCTD観測による力学的海面高とその前後のサイクルにおける残差海面高との差(1993年7月と1994年1月). (上)ジオイド基準, (下)平均海面高基準. 差0は衛星欠測域. 潮汐モデルはCSR3.0.1を使用.

12ノット以下, 流速4ノット以下のしきい値を設けて抽出した.

それぞれのパスについて, 経度±40分以内のADCPデータを抽出し, 最も近い軌道上の位置を算出するとともに, 軌道に直交する成分を計算する. 次に各月をn個(標準3個)に分割し, それぞれの期間で緯度6分ブロック毎のADCPデータ充足率を計算する. 次に指定したADCPデータ存在幅(標準は緯度1.5度)以上, データ充足率(標準50%)以上のパス・期間について処理を行う. 第5図にパス112の補正海面高による地衡流速とADCPによる流

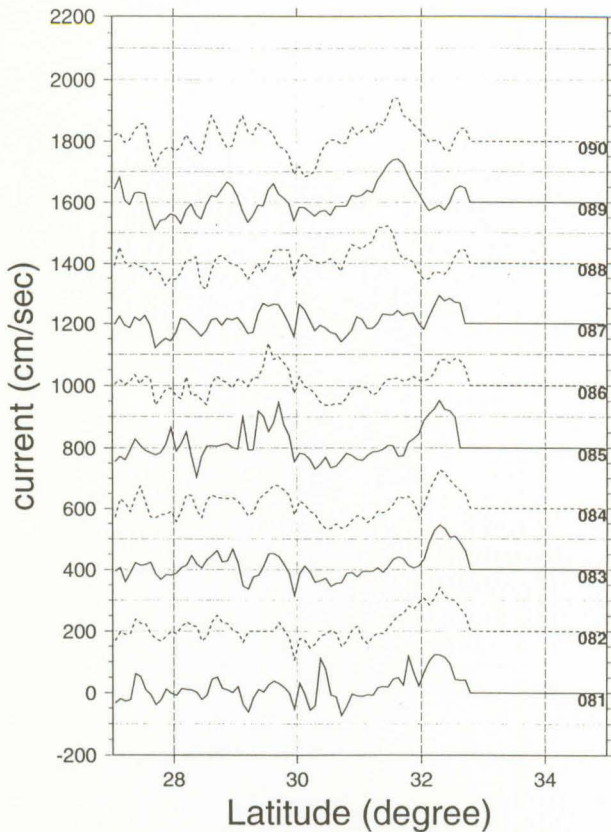
速の出力例を示す. ADCPデータにはノイズも含まれており差としては20cm/s程度生じるが, 黒潮の流速分布はよく一致していると言える.

6. おわりに

本州南岸の主に黒潮については, TOPEX/POSEIDONデータを用いてその流路を特定できるシステムが構築されたが, CTD観測との時間差, 衛星観測誤差を含む基準海面高補正值については今後も機会をとらえて検証を行う必要がある.

CTD観測を行っていないパスについては,

112.081-090.mc



第4図 TOPEX/POSEIDON パス112の補正後の海面高データによる地衡流速の時系列。正の流速は東北東向きを、負の流速は西南西向きを、右端の数字はサイクルを示す。平均海面高基準、潮汐モデルは CSR3.0.1 を使用。

ADCP データによる流速値を参照して基準海面高を補正することも可能であり、CTD 観測参照と同様にプログラム群も整備したが、力学的海面高の絶対値が不明となること、ADCP の小さくない誤差がそのまま補正值に加わることから、高精度の基準海面高を算出するためには水温・塩分データ、潮位データの併用や個々の ADCP データの評価が必要となり、今後の課題として残されている。

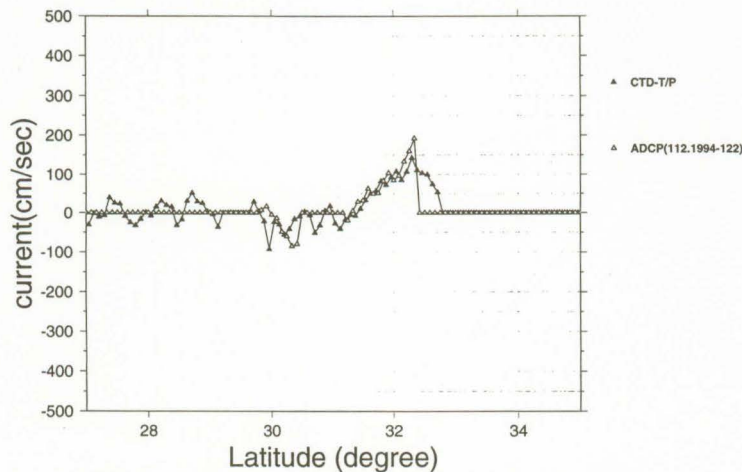
なお、今回整備したプログラム群は UNIX Sun OS5.4 上での動作を確認しており、一連の処理は 20-60N, 120-180E におけるサイクル 11~186 (1993 年 1 月~1997 年 10 月) のデータに対して終了している。また、本システムの作図プログラム及び第 2 図以降は GMT ver.3.0 を利用した (Wessel and Smith, 1995)。

参 考 文 献

Benada, J. R.: Merged GDR (TOPEX/POSEIDON) Generation B User's Handbook Version 2.0, PO.DAAC/JPL, 124pp, (1997)

木下秀樹, 道田豊, 西田英男, 寄高博行: マイクロ波高度計軌道下のジオイドの高精度化, 海洋理工会誌, Vol.2 No.1, 31-38, (1996)

112-082



第5図 TOPEX/POSEIDON パス112の補正後の海面高データによる地衡流速と ADCP による流速(1994年12月中旬)。ADCP 流速 0 はデータのない領域。

Wessel, P., Smith, W. H. F. : New version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Amer. Geophys. U., 76, 329, (1995)
 寄高三和子, 西田英男 : TOPEX/POSEIDON 衛星データの日本近海切り出しファイルについて, 水路部技報, 13, 83-90, (1995)



図1 1992年12月～1994年12月のTOPEX/POSEIDON衛星データによる日本近海（10°N～140°E）の海面高変動を示す。縦軸は海面高（cm）、横軸は緯度（度）を示す。



図2 1992年12月～1994年12月のTOPEX/POSEIDON衛星データによる日本近海（10°N～140°E）の海面高変動を示す。縦軸は海面高（cm）、横軸は緯度（度）を示す。