

## 瀬戸内海の平均水面モデルについて

笹原昇：海洋研究室

矢吹哲一朗：海洋調査課

寺井孝二：第四管区海上保安本部

小嶋哲哉，高梨泰宏：第六管区海上保安本部

### The model of the mean sea level in Setonaikai

Noboru SASAHARA: Ocean Research Laboratory

Tetsuichiro YABUKI: Hydrographic Surveys Division

Koji TERAJ: Hydrographic and Oceanographic Department, 4<sup>th</sup> R.C.G. Hqs.

Tetsuya KOJIMA, Yasuhiro-TAKANASHI: Hydrographic and Oceanographic Department 6<sup>th</sup> R.C.G. Hqs.

#### 1 はじめに

海洋情報部では、2006年に「海域ジオイドモデル」を決定したが(笹原・他, 2006), その計算には船上重力データやアルティメータ重力データが使われた。海域には閉水面, 例えば, 東京湾, 伊勢湾, 瀬戸内海などが含まれており, 特に瀬戸内海は船上重力データが乏しく, アルティメータ重力の精度も良くない海域である。このような海域において, 精度の高いジオイドモデルを作ることは難しい。

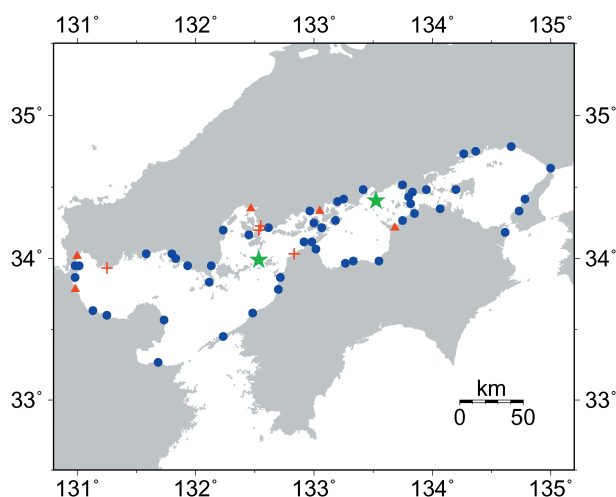
この瀬戸内海の平均水面モデルが, 水路協会との共同研究「K-GPSを用いた水路測量の効率化の研究」(日本水路協会, 2001, 2002; 以後, 効率化研究とする)において計算されており, 本稿ではこの共同研究の構築手法によりモデルを再構築し, 新しく構築されたモデルの精度について検証を行ったので報告する。

平均水面モデルが決定されその精度について十分に検証されれば, 実際の測量に適用可能となり現地での潮汐観測や潮高改正作業などが省かれ, 水路測量作業の効率化が図られる。

#### 2 平均水面モデル構築作業

##### (1) 平均水面楕円体高

「効率化研究」では2000年から2001年にかけて瀬戸内海沿岸の驗潮所近傍の基本水準標 (BM) にてGPS測量を実施した。この基本水準標楕円体高と「平均水面, 最高水面及び最低水面一覧表」(海洋情報部, 2006) にある基本水準標と基本水準面の関係



第1図 GPS測量観測点, 検証観測点 (●: 平均水面楕円体高と国土地理院ジオイド高との差が30cm未満, ▲: 差が30cm以上40cm未満, +: 40cm以上, ★: 検証観測点(怒和島・白石島))

Fig. 1 The observation point of GPS survey in Setonaikai, the investigation point of mean sea level.

第1表a GPS測量・解析結果及び国土地理院ジオイドモデルによるジオイド高との差  
 Table. 1a The results of GPS survey and the difference between calculated ellipsoid height of M.S.L. and geoid of G.S.I. model.

番号	地名	緯度(度)	経度(度)	平均水面 楕円体高 (m)	国土地理院 ジオイド高 (m)	差(m)	差 40cm 以上	差 30cm 以上
1	撫養	34.183333	134.616667	36.732	36.739	-0.007		
2	明石	34.633333	135.000000	37.031	36.950	0.081		
5	湊	34.333333	134.733333	36.898	36.799	0.099		
7	飾磨	34.783333	134.666667	36.890	36.706	0.184		
9	赤穂	34.750000	134.366667	36.668	36.565	0.103		
10	日生	34.733333	134.266667	36.656	36.546	0.110		
11	宇野	34.483333	133.950000	36.361	36.313	0.048		
12	琴浦	34.466667	133.833333	36.324	36.164	0.160		
14	坂出	34.316667	133.850000	36.525	36.402	0.123		
17	多度津	34.266667	133.750000	36.291	36.254	0.037		
18	詫間	34.216667	133.683333	36.547	36.190	0.357		*
19	下津井	34.433333	133.800000	36.267	36.126	0.141		
20	水島	34.516667	133.750000	36.025	35.974	0.051		
23	福山	34.483333	133.416667	35.493	35.398	0.095		
25	松永	34.416667	133.250000	35.206	35.064	0.142		
26	尾道	34.400000	133.200000	35.195	34.967	0.228		
27	幸崎	34.333333	133.050000	34.272	34.619	-0.347		*
28	竹原	34.333333	132.966667	34.434	34.403	0.031		
29	土生	34.266667	133.183333	34.746	34.946	-0.200		
30	熊口	34.216667	133.066667	34.697	34.654	0.043		
31	宮浦	34.250000	133.000000	34.564	34.432	0.132		
33	三島	33.983333	133.550000	36.695	36.531	0.164		
34	多喜浜	33.983333	133.333333	35.921	35.768	0.153		
35	新居浜	33.966667	133.266667	35.778	35.601	0.177		
37	今治	34.066667	133.016667	34.632	34.549	0.083		
38	馬刀淵	34.116667	132.916667	33.984	34.159	-0.175		
39	菊間	34.033333	132.833333	35.079	33.873	1.206	x	*

から平均水面楕円体高を求めた（第1表）。

本稿ではこれら平均水面楕円体高の精度の尺度として国土地理院ジオイドモデル（安藤・他，2000；gsigeo 2000 Ver.4.0）を用い，全観測点（58点）についてこのモデルによるジオイド高とGPS観測によ

る平均水面楕円体高との差が30cm未満（49点），30cm以上40cm未満（5点），40cm以上（4点）というように分類した（第1図，第1表）。これは平均水面とジオイドがほぼ一致し，国内の陸上におけるジオイドモデルとしては国土地理院のものが最も精度

第1表b GPS測量・解析結果及び国土地理院ジオイドモデルによるジオイド高との差  
 Table. 1b The results of GPS survey and the difference between calculated ellipsoid height of M.S.L. and geoid of G.S.I. model.

番号	地名	緯度(度)	経度(度)	平均水面 楕円体高 (m)	国土地理院 ジオイド高 (m)	差(m)	差 40cm 以上	差 30cm 以上
40	広	34.216667	132.616667	33.414	33.288	0.126		
41	音戸	34.200000	132.533333	33.439	32.981	0.458	x	*
42	呉	34.233333	132.550000	33.960	33.119	0.841	x	*
43	広島	34.350000	132.466667	32.785	33.120	-0.335		*
44	深江	34.166667	132.450000	32.889	32.678	0.211		
45	岩国	34.200000	132.233333	32.573	32.516	0.057		
46	松山	33.866667	132.716667	33.354	33.204	0.150		
47	松前	33.783333	132.700000	33.399	33.235	0.163		
48	柳井	33.950000	132.133333	32.153	32.114	0.039		
49	長浜	33.616667	132.483333	32.927	32.833	0.094		
51	三机	33.450000	132.233333	32.186	32.198	-0.012		
52	鶴崎	33.266667	131.683333	31.507	31.342	0.165		
54	国東	33.566667	131.733333	31.809	31.750	0.059		
55	室津	33.833333	132.116667	31.933	31.909	0.024		
57	光	33.950000	131.933333	32.239	32.175	0.064		
58	下松	34.000000	131.833333	32.349	32.342	0.007		
59	徳山	34.033333	131.800000	32.529	32.415	0.114		
60	三田尻	34.033333	131.583333	32.524	32.384	0.140		
62	宇部	33.933333	131.250000	32.991	32.483	0.508	x	*
64	中津	33.600000	131.250000	32.729	32.528	0.201		
65	宇島	33.633333	131.133333	32.878	32.692	0.186		
66	苅田	33.783333	130.983333	33.033	32.711	0.322		*
67	新門司	33.866667	130.983333	32.786	32.647	0.139		
68	青浜	33.950000	131.016667	32.719	32.560	0.159		
69	長府	34.016667	131.000000	32.108	32.465	-0.357		*
70	田野浦	33.950000	130.983333	32.664	32.552	0.112		
71	入部	34.483333	134.200000	36.711	36.736	-0.025		
72	与島	34.383333	133.816667	36.277	36.216	0.061		
76	小島	34.116667	132.983333	34.439	34.396	0.043		
4	都志	34.416667	134.783333	36.849	36.941	-0.092		
13	高松	34.350000	134.066667	36.723	36.701	0.022		

が良く、平均水面の大まか基準として用いることができるからである。また、「効率化研究」でも尺度して国土地理院モデルが使われており、その時のモデルと本稿の地理院モデルとは明らかに差があり、最新のモデルの方が平均水面モデルとの較差が小さくなっている。このため、新しい地理院モデルを尺度として用い平均水面モデルを再構築する必要がある。

### (2) モデル構築手法

モデル構築には、北緯33度4分から34度56分、東経130度45分から135度10分の領域を緯度4分、経度5分間隔の節点で区切り、平均水面楕円体高を近似できるようにこれら節点に3次多項式を当てはめていく離散スプライン関数による手法を用いる。

さらに

$$\alpha = \frac{\sigma_e}{\sigma_f} \quad (2.1)$$

$\sigma_e$  : 測量・解析された平均水面楕円体高と3次多項式による近似値との差の標準偏差 (m)

$\sigma_f$  : 3次多項式による近似値の標準偏差 (m)

であらわされるパラメータ $\alpha$ を多項式の選択により適宜変化させ、その適合状況を示す赤池のベイズ型情報規準量ABIC(田辺・田中, 1983)を最小にし近似を最適化させる。

$$ABIC \equiv -2 \log L(\sigma_e^2, \sigma_f^2) \quad (2.2)$$

$L(\sigma_e^2, \sigma_f^2)$  : ベイズモデルの尤度

### (3) 使用データ

スプライン関数に用いる平均水面楕円体高データを前項の分類により、①全観測点(58点)、国土地理院ジオイドモデルによるジオイド高との差が②40cm以上を除去したもの(54点)、③30cm以上を除去したもの(49点)とした。このように分けたのは、計算に使用されるデータの違いが構築される平均水面モデルの精度に対してどう影響を与えるか検証するためである。

以上の手法・データを使用して、①から③までの各場合の平均水面モデルを求めた。

## 3 平均水面モデル検証

第1図に示したように怒和島・白石島の2点において平均水面モデル検証のためGPS測量・験潮を実施した。

### (1) 検証データ

・怒和島

元怒和漁港岸壁の仮設置基準点上にてGPS測量を2005年3月3日に行った。

験潮は、元怒和漁港に設置した簡易験潮器(離合社製RMD)により2005年5月16日～5月20日の間観測した。これと基準験潮所である松山験潮所(気象庁所管)のデータとの比較により平均水面を決定した。

・白石島

白石港防波堤の仮設置基準点上にてGPS測量を2005年6月19日に行った。

験潮は、白石港に設置した簡易験潮器(離合社製RMD)により2005年6月14日～7月4日の間観測した。これと基準験潮所である宇野験潮所(気象庁所管)のデータとの比較により平均水面を決定した。

第2表に怒和島・白石島の観測・解析結果を示す。

さらに比較のため平均水面モデルCLS01(Hernandez and Schaeffer, 2001)による平均水面高とGPS平均水面楕円体高の差を第2表に示す。

CLS01は数種類のアルティメータ海面高を7年間ほど平均化しLSC法により作成された平均水面モデルである。

### (2) 検証

前項2.(3)使用データ別に得られた平均水面モデルを用いて、第2表で示される怒和島・白石島の経緯度に基づく各検証点の平均水面楕円体高のモデル値を算出した。これらモデル値と第2表の実測値との差、国土地理院ジオイドモデルによる検証点のジオイド高との差をとり比較・検証を行った(第3表)。

第2表 検証点のGPS測量・解析結果及び平均水面楕円体高と国土地理院ジオイドモデルによるジオイド高との差、同楕円体高と平均水面モデルCLS01による平均水面高との差

Table. 2 The results of GPS survey at evaluation points, the difference between calculated ellipsoid height of M.S.L. and geoid of G.S.I. model., and the one between that and mean sea surface height of MSS Model CLS01.

地名	緯度(度)	経度(度)	平均水面楕円体高(m) ①	国土地理院ジオイド高(m) ②	①と②の差(m)	CLS01による平均水面高(m)③	①と③の差(m)
怒和島	33.990176	132.534005	32.856	32.540	0.316	33.352	-0.496
白石	34.406775	133.524449	35.771	35.569	0.202	35.743	0.028

第3表 瀬戸内海の平均水面モデルによる検証点の平均水面楕円体高及び実測値・国土地理院ジオイドモデルによるジオイド高との差

Table. 3 calculated ellipsoid height of M.S.L. with M.S.L. model in Setonaikai and the differences between the one and observation value, the one and geoid of G.S.I. model.

データ	検証点地名	平均水面楕円体高モデル値(m)	モデル値-実測値(m)	モデル値-国土地理院ジオイド高(m)
験潮所すべて	怒和島	33.226	0.370	0.686
	白石島	35.798	0.027	0.229
地理院モデルとの差 40cm以上除去	怒和島	32.940	0.083	0.400
	白石島	35.811	0.040	0.242
地理院モデルとの差 30cm以上除去	怒和島	32.834	-0.023	0.294
	白石島	35.704	-0.066	0.135

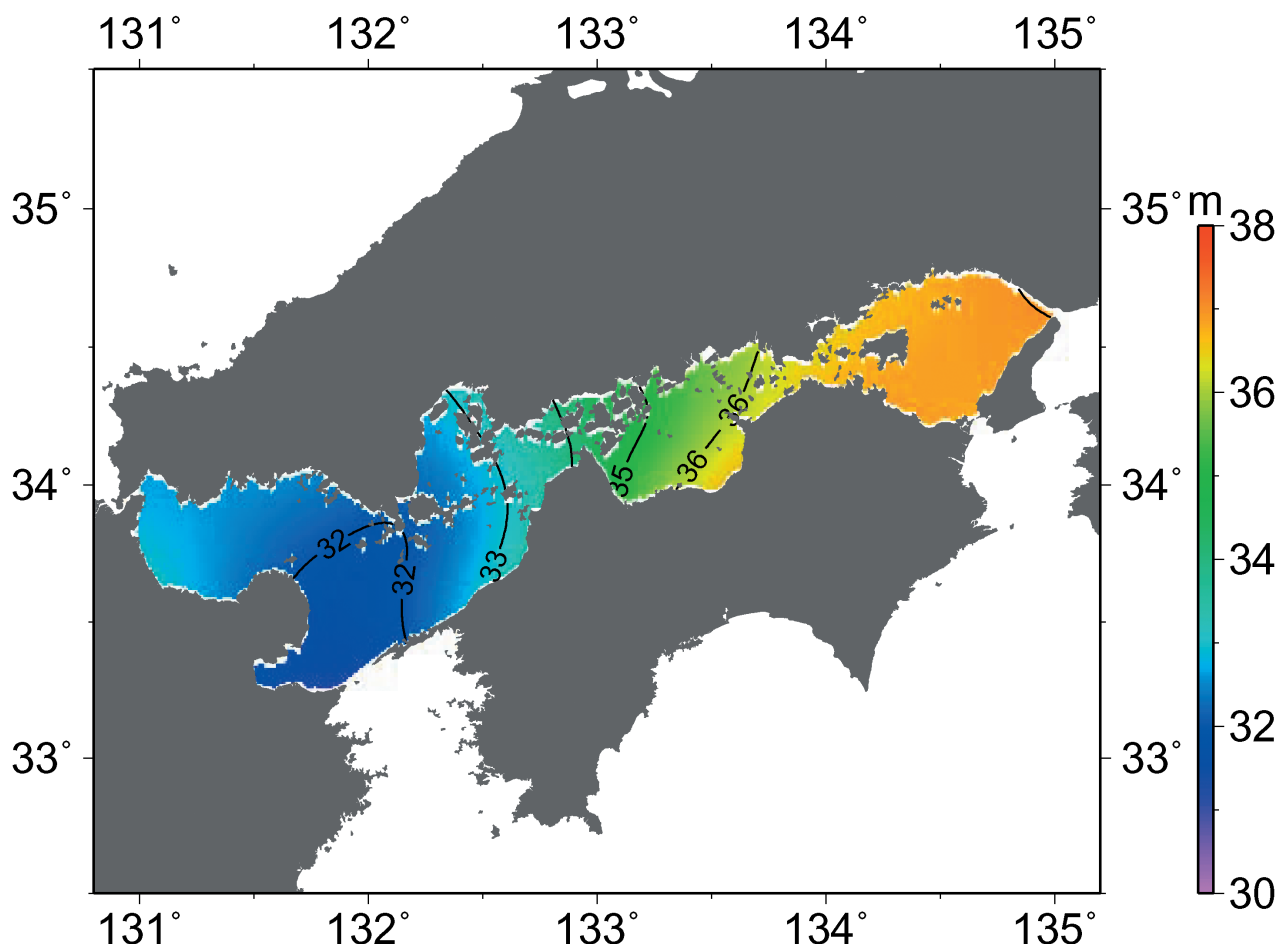
4 考察

第2表の結果をみると平均水面楕円体高と国土地理院ジオイド高との差は怒和島・白石島とも0.2m以上となり、同楕円体高と平均水面モデルモデルCLS01による平均水面高との差では怒和島は0.496mと大きく白石島は0.028mと小さかった。

第3表の結果をみると験潮所データを全て使ったモデルでは怒和島のモデル値と実測値との差が大きくなっており、第1表の41音戸(差0.458m)、42呉(差0.841m)などのデータの影響を受けていると考えられる。「地理院モデルジオイド高との差が40cm

以上除去」,「地理院モデルジオイド高との差が30cm以上除去」して作成したモデルでは怒和島のモデル値と実測値との差や地理院モデルとの差が小さくなっている。本検証により「地理院モデルとの差30cm及び40cm以上除去」したモデルで、怒和島・白石島の検証点近傍であれば本モデルと実測値と差は10cm以内に収まることが確認できた。第2図に「地理院モデルジオイド高との差が30cm以上除去」して作成したモデルによる平均水面楕円体高分布を示す。

また、本モデルの計算に使用された験潮所の平均水面楕円体高の実測値とモデル値との差をとったが



第2図 平均水面モデル（地理院モデルとの差30cm以上除去）による平均水面楕円体高分布  
 Fig. 2 Distribution of M.S.L. ellipsoid height with M.S.L. model.

数点を除き10cm以内に収まった。

今回の作業では検証点の数が少なく十分な検証はできなかった。特に国土地理院ジオイドモデルとの差が大きかった験潮所近傍での観測が必要である。瀬戸内海におけるGPS・験潮観測の今後の進展に期待したい。

参 考 文 献

安藤久, 佐々木正博, 畑中雄樹, 田中和之, 重松宏実, 黒石裕樹, 福田洋一: 「日本のジオイド2000」の構築, 国土地理院時報, 97, 25-30, (2002)

Hernandez, F. and P. Schaeffer: The CLS01 Mean Sea Surface: A validation with the GSFC 00.1 surface. Retrieved May, 2005, from <http://www.jason.oceanobs.com/docu->

[ments/donnees/produits/auxiliaires/cls01\\_valid\\_mss.pdf](#), (2001)

海洋情報部: 平均水面, 最高水面及び最低水面一覧表, (2006)

日本水路協会: K-GPSを用いた水路測量の効率化の研究 その2, 調査研究資料108, (2002)

日本水路協会: K-GPSを用いた水路測量の効率化の研究, 調査研究資料102, (2001)

田辺國士・田中輝雄: ベイズモデルによる曲線・曲面のあてはめ, 月刊地球, 5 (3), 179-186, (1983)

Wessel, P. and W.H.F. Smith: New improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, 79, 579, (1998)