

## 海底地形の人工衛星リモートセンシング

我如古康弘\*・東原 和雄\*

### ON THE POSSIBILITY OF OCEAN BATHYMETRY BY USING SATELLITE REMOTE SENSING WITH ALTIMETER

Yasuhiro Ganeko\* and Kazuo Tukahara\*

#### Abstract

Recently great improvements have been made in satellite altimetric techniques, especially with the altimeter on board the ocean observation satellite "Seasat". An altimeter can measure undulations on the sea surface with a resolution of 10cm, and improved accuracy is expected with the forthcoming altimeter satellite "Topex", which is scheduled to be launched in 1990.

Undulations of the sea surface are caused by the anomalous potential based on non-uniformly distributed mass inside the earth or in the sea bottom features. A small part of sea surface undulations is caused by oceanographic phenomena. The relation between altimetric sea surface undulations obtained by the use of Seasat and sea bottom features is investigated along some Seasat passes in the western Pacific off the coast of Japan. The area is well surveyed, and a bathymetric data file has prepared for various applications by the Japan Oceanographic Data Center.

The correlation between the short-wavelength component of the sea surface profile and that of the sea bottom profile is very good. Consequently, it may be concluded that the bathymetric data file used is well compiled, and that altimetric sea surface profiles can be applied in the detection of seamounts in poorly surveyed or unsurveyed areas.

#### 1. はじめに

測地衛星Geos-3や海洋観測衛星Seasatに搭載された人工衛星高度計(アルティメータ)は、衛星が持つマイクロ波レーダにより人工衛星と地表までの距離を測定するものである。このアルティメータは特に海域で有効であり、海面の凹凸を10cmの分解能で測定することができる。また、1990年頃に打ち上げが予定されており、アルティメトリ専用衛星であるTOPEX/POSEIDON MISSION (NASA/JPL, 1984)では、分解能2cm程度を目標としている。

海面の凹凸は近似的にジオイド(geoid)の形状を表わしており、地球の重力場を表現している。また、海

---

\* 第三管区海上保安本部水路部 3rd R. M. S. Hq. Hydro. Div.

面の凹凸には海流や渦などの海水運動の影響も加わっているが、この成分は時間とともに変化するものである。したがって、人工衛星アルティメータの用途には、時間とともに変化しない成分である地球重力場の測定と、時間とともに変化する海水運動の検出がある。この論文では、時間とともに変化しない成分について、即ちアルティメータによる海面形状と地球重力場の関係から引き出される人工衛星アルチメトリの一つの応用について検討してみることにする。

広大な大洋における海底地形は、永年の人類の海域における諸活動により、かなり良く知られるようになっている。しかし、日本近海においても、ときに新海山の発見が報告されている (e. g., Tamaki, 1985, private communication)。また、人類の活動が現在まであまり及ばなかった海域、例えば、南半球の海域や極域の海域については未知の部分も多いと考えられる。

海洋観測衛星Seasatは、海洋観測のための種々の観測装置を搭載して1978年に米国NASAの手で打ち上げられた。Seasatは機器の故障により、約3か月あまりという短い寿命であったが、搭載されたいずれの装置も極めて良い成果を得ている。特にアルティメータについては、SkylabやGeos-3の経験を生かして、最終的に相対的分解能10cmという高精度が達成されている。絶対的な地球の形については、アルティメータによる海面形状が人工衛星の軌道に対して相対的に決まるという事実から、人工衛星の軌道決定精度に依存しており、精度10cmを達成することは困難である。ここでは、Seasatのアルティメータにより、日本周辺の太平洋海域で測定されたいくつかの海面形状プロファイルと、その軌跡に沿う海底地形とを比較することにより、人工衛星アルチメトリを海底地形リモートセンシングに利用することの可能性について検討してみたい。このような趣旨での研究はいくつかなされている (e. g., White et al., 1983; Dixon et al., 1983)。海底地形が比較的良く調査されている日本近海において、海底地形ファイルの評価をも兼ねて、再度検討してみる。

## 2. 海山によるGeoid Anomaly

### (1) 海山地形の海面形状への影響

計算をする場合、当然、海底地形ばかりでなく地下の構造の影響も考慮する必要がある。海山周辺の地下構造は、その海山の生成過程によって異なると考えられる。即ち、中央海嶺での海底生成時に生まれたものと、海底形成後に中央海嶺から離れた地点でホットスポットなどの活動により冷えた海底上に形成されたものとは、海山を保持するための地下構造が異なっているといわれている。海底生成時の薄い海底地殻上に生まれた海山は、主に海山の根の浮力によって支えられており、冷えて堅く厚くなった海底地殻上に生まれた海山は、主に海底地殻の弾性によって支えられているといわれる。これらの地下構造は海山周辺の重力異常に表われ、したがって、geoid anomalyとして海面形状に表われることになる。このことは、海面形状から海山の構造や生成の歴史や地下構造に迫ることができる可能性があることを意味している。この立場での研究もいくつか発表されている (e. g., David et al., 1982; Watts and Ribe, 1984; McAdoo, 1981)。しかし、まだ確立された海山モデルがないこと、また、ここでは、地下構造それ自体や海山生成の歴史について詳しく立ち入ることは本意ではないので、かなり大胆な仮定モデルを採用することとする。

計算に用いた海山モデルをFig. 1に示した。Fig. 1aは単に海底に海山地形が乗っているという単純な場合である。この場合、海底地形の影響が最も大きく海面形状に表われる。Fig. 1 bは海底地形の重量が海山付近の地殻の厚さの変化に伴う浮力作用によって完全に支えられるとしたモデルである。

Jordan et al. (1983)は東太平洋に分布する海山について調査し、海山の大きさ、分布等についての統

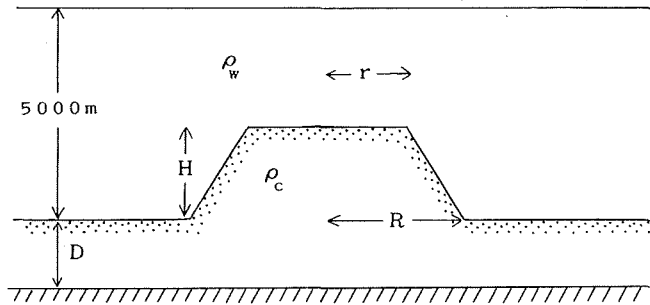


Figure 1a. A model seamount without compensation.

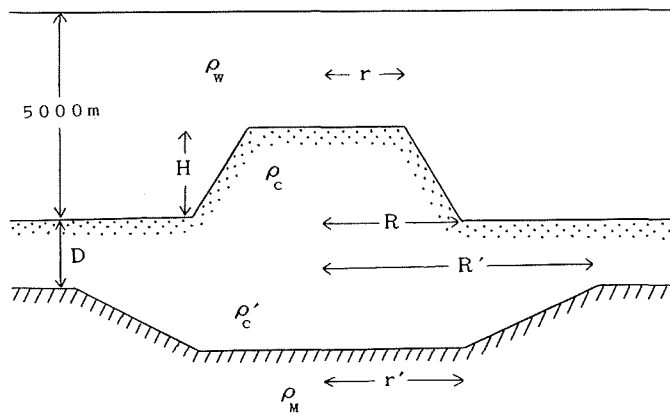


Figure 1b. A model seamount with a compensation structure.

計的結果を得ている。それによれば、標高200mから4000mのギョー状の海山について、円錐台形状を仮定した場合、海山底部の半径Rに対して、頂上部の半径は $r=0.21 \times R$ 、標高は $H=0.21 \times R$ という関係があることが示されている。このような海山形状を仮定し、Fig.1bのモデルについては、 $R'=2R$ 、 $r'=R$ 、密度差については $\Delta\rho=\rho_c-\rho_w=1.6\text{g/cm}^3$ 、 $\Delta\rho'=\rho_M-\rho_c'=0.6\text{g/cm}^3$ という数値を採用する。補償面の深さDとして、5、20及び100kmを仮定した。Jordan et al. のモデルでは、半径Rが20km程度でモデルの有効範囲である標高4000mを超えてしまう。現実には底面の半径が30kmを超える海山も存在しており、彼らのモデルが一樣に適用できるわけでもない。

計算の結果をTable 1及びFig. 2に示した。補償面の深さDが浅いほど補償の影響がgeoid anomalyに大きく響いて来る。D=5 kmでは、geoid anomalyの大きさは、無補償の場合に比べて2分の1以下である。したがって、無補償の場合が、海面形状から海底地形を探索するときの感度が最も良いということになる。このときアルティメータの分解能を10cmとすれば、標高1000m程度の海山の検出が可能ということになる。計算では海山地形の底部水深として5000mを用いているが、底部水深が浅い場合には海山地形の海面形状への影響はより大きくなる。小規模の海山の場合、一般に補償は完全でないと考えられ、海山は海底地殻の弾性により支えられている可能性が高く、無補償のモデルに近いであろう。したがって、人工衛星アルティメトリによるリモートセンシングで標高1000m程度の海山地形の検出が可能と推定される。

Table 1. Geoid anomaly for modeled sea mounts

R	r, H	Peak Geoid Anomaly			
		Uncompensated	Completely Compensated		
			D=5km	D=20km	D=100km
2km	0.42km	0.5cm	0.2cm	0.3cm	0.4cm
4	0.84	4	1	3	3
6	1.26	12	4	8	11
8	1.68	26	10	18	24
10	2.10	48	19	33	44
12	2.52	77	32	52	70
14	2.94	114	49	76	103
16	3.36	159	70	104	143
18	3.78	213	95	137	190
20	4.20	275	125	175	244

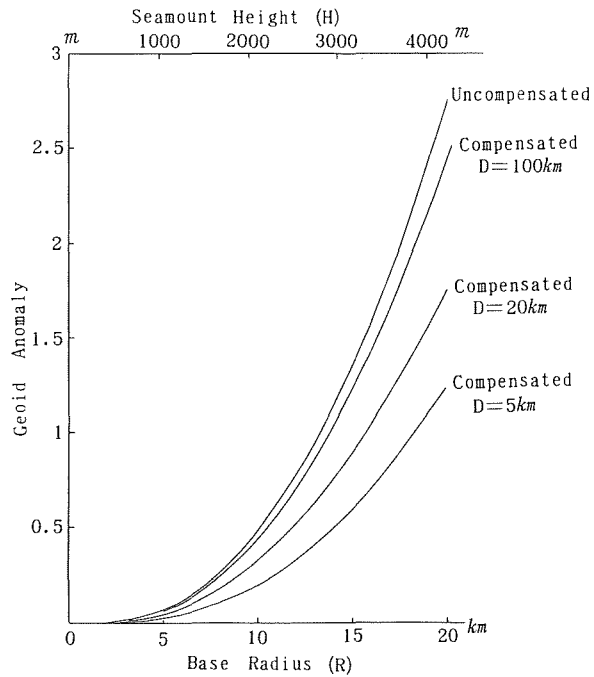


Figure 2. Geoid anomaly caused by model seamounts with a compensation condition of variable crustal thickness which is denoted by D.

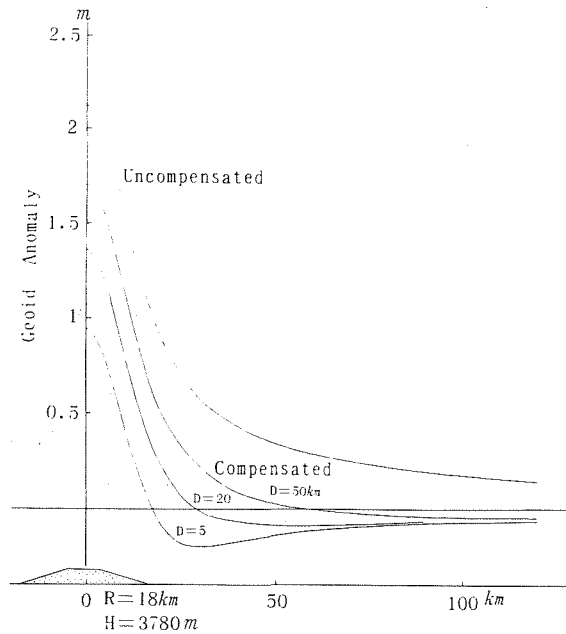


Figure 3. Sea surface features for model seamounts with the same compensation conditions as Figure 2.

海山周辺のgeoidの形状をFig. 3に示した。補償構造が存在する場合には、海山の周辺にgeoidの凹みが生じ、海山はgeoidの堀で囲まれるかたちとなる。後節で示すSeasatのアルティメータのデータからも、この現象は良くうかがえる。

(2) 海溝等の2次元構造地形によるGeoid Anomaly

海底には海山のほか、海溝、海嶺のように構造が長く連なったかたちの地形が存在している。このような地形の海面形状への影響は、先の海山地形の場合に比してかなり大きなものとなる。例えば、水深5000mの海底にFig. 4のような形状の溝構造（深さ3000m、巾100km、長さ1000km）が存在する場合、地下の構造

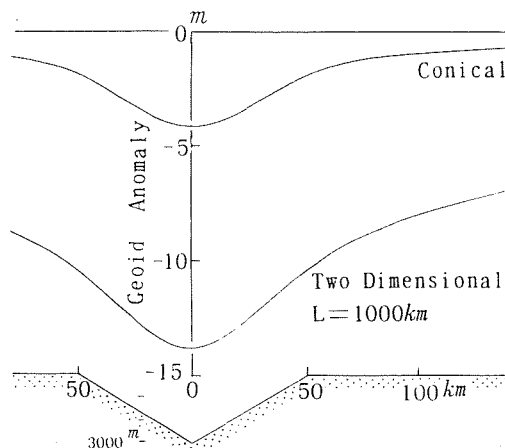


Figure 4. Sea surface features over a trench-like sea bottom and a conical dent on the sea bottom with the same cross section as the trench.

を考慮せず地形のみの影響が海面形状に表われているものとして、溝構造の場合とそれと同一横断面を有する円錐状の凹みの場合とを対比してFig. 4に示した。前者は後者の3倍以上のgeoid anomalyを伴っている。即ち、海溝ないし海嶺地形の検出は海山地形の検出よりも容易であることがわかる。

次節以降にSeasat Altimeterによる海面形状とSeasatの軌跡に沿う海底地形の断面図とを比較して、これらの相関の程度を調査してみる。

### 3. 海底地形の数値データ

水路部では、保有する水深データを数値データとして磁気テープに収録し種々の図の作成等に活用している。水深データファイルは、大別して沿岸域と外洋域の二つのブロックから構成されている(日本水路協会, 1981)。沿岸域の水深データファイルは、日本周辺で実施された測量縮尺約5万分の1の沿岸の海の基本図測量や港湾測量、沿岸測量の成果を使用している。外洋域のファイルはGEBCO(大洋水深総図)で収集した水深データを使用している。外洋域データは、水路部及び国内はもとより諸外国の測量データを含んでいる。これらの水深データは、音速度の改正や海上測位精度について十分な評価がなされ採用されたものである。この数値化された水深データを使用してコンピュータグラフィックスにより作成された北西太平洋の海底地形図が、昭和59年3月に日本海洋データセンター(JODC)から刊行されている(JODC, 1984)。

基本の水深データファイルは、不規則に分布した水深データ点から構成されている。コンピュータを介してこれらの水深データを種々の目的に使用するためには、一様にデータ点が分布したデータファイル、即ち格子点水深データファイルが便利である。格子点における水深値は、基本データファイルの水深値から内挿計算される。内挿方法は種々あるが、ここでは注目する格子点の近くにある水深データ4個を選び出し、各水深値に格子点から水深点までの距離の2乗に反比例した加重をつけて平均する方式を採用している。

格子点水深ファイルは現在には必要の都度計算作成され、使用後そのファイルは保存はされていない。日本海洋データセンターでは、沿岸域と外洋域について、本格的な格子点水深ファイルを整備し、必要区域の格子点水深を容易に取り出すことのできるシステムを作成中である。格子点水深ファイルを基にしてコンピュータとプロットで海底地形の断面図、等深線図及び海底地形鳥かん図等を容易に描画することができる。日本沿岸域の海底地形と北西太平洋の著名な地形についての鳥かん図が刊行されている(水路部, 1985)。

今回使用した格子点水深ファイルの格子点間隔は、経度、緯度ともに6'(約10km)とした。使用した水深データ数は約156,000点である。格子点水深ファイルの枠の経緯度は、北緯20度から同40度、東経130度から同150度の範囲とした。作成された格子点水深の数は経度方向と緯度方向それぞれ200個で、全体では40,000個である。この格子点水深ファイルからSeasat衛星のグランドトラックに沿った水深プロファイルが作成された。

### 4. 海底地形 profile と Seasat Altimeter データ

Fig. 5に日本周辺におけるSeasat passの一部を示した。Seasatのデータに関しては種々の論文を参照して頂くとして(e. g., Seasat Special Issue, 1982; Ganeko, 1983; Marine Geodesy, 1984), ここでは、水深データの密度が比較的高い日本周辺の海域のいくつかのpassについて検討してみる。Fig. 5は、日本海洋データセンターから出版されている北西太平洋海底地形図(JODC, 1984)の中に収容された海底地形図の一つに、Seasatのpassを重ね合わせて示したものである。

各passについて、海底地形とアルティメータによる海面形状(SSH)のプロファイルをFig. 6とFig. 7に

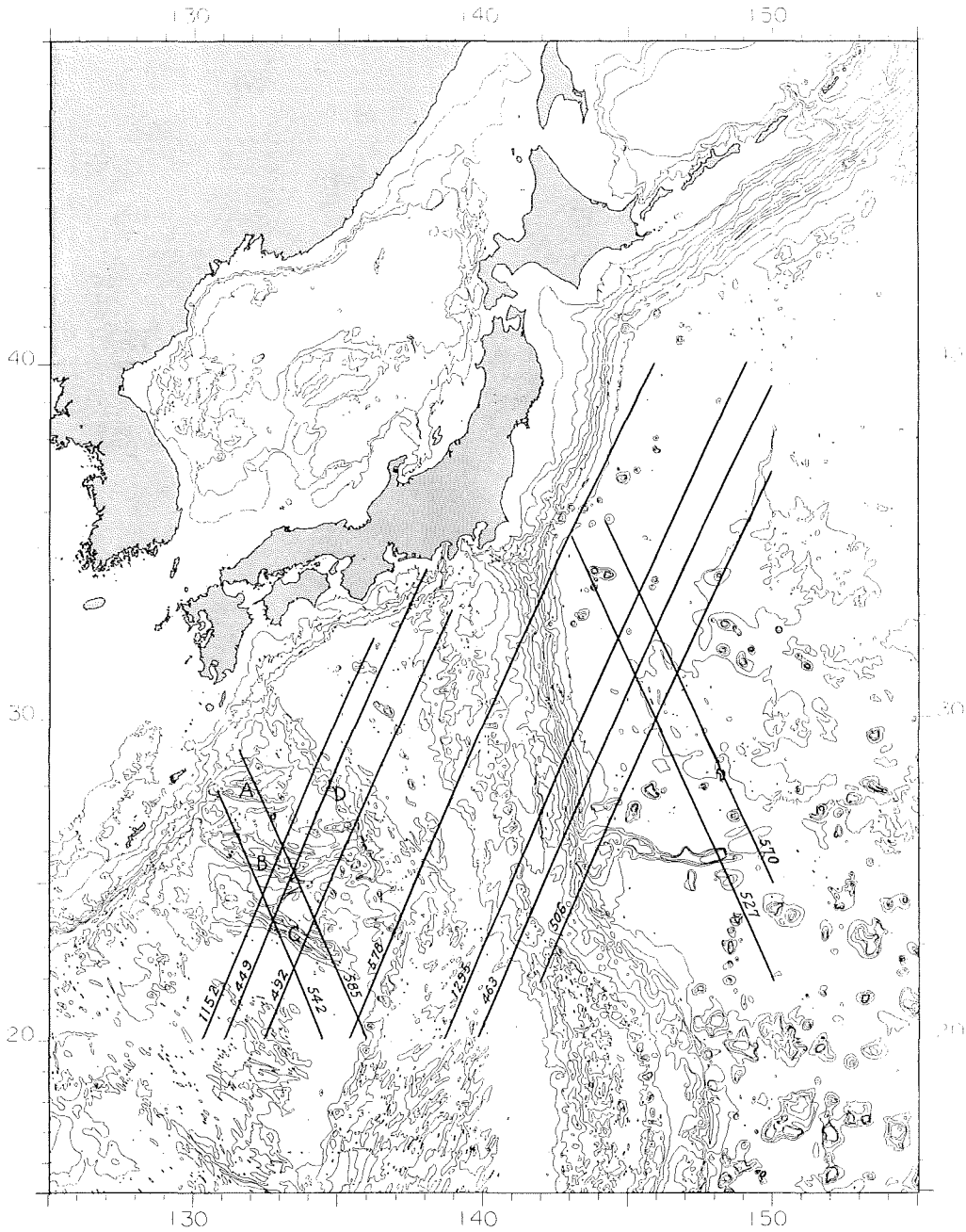


Figure 5. Subsattelite tracks of Seasat used in this study overlaid on a bathymetric chart. Symbols A-D denote ridges, A: AMAMI Plateau; B: DAITO Ridge; C: OKI-DAITO Ridge; D: KYUSYU-PALAU Ridge.

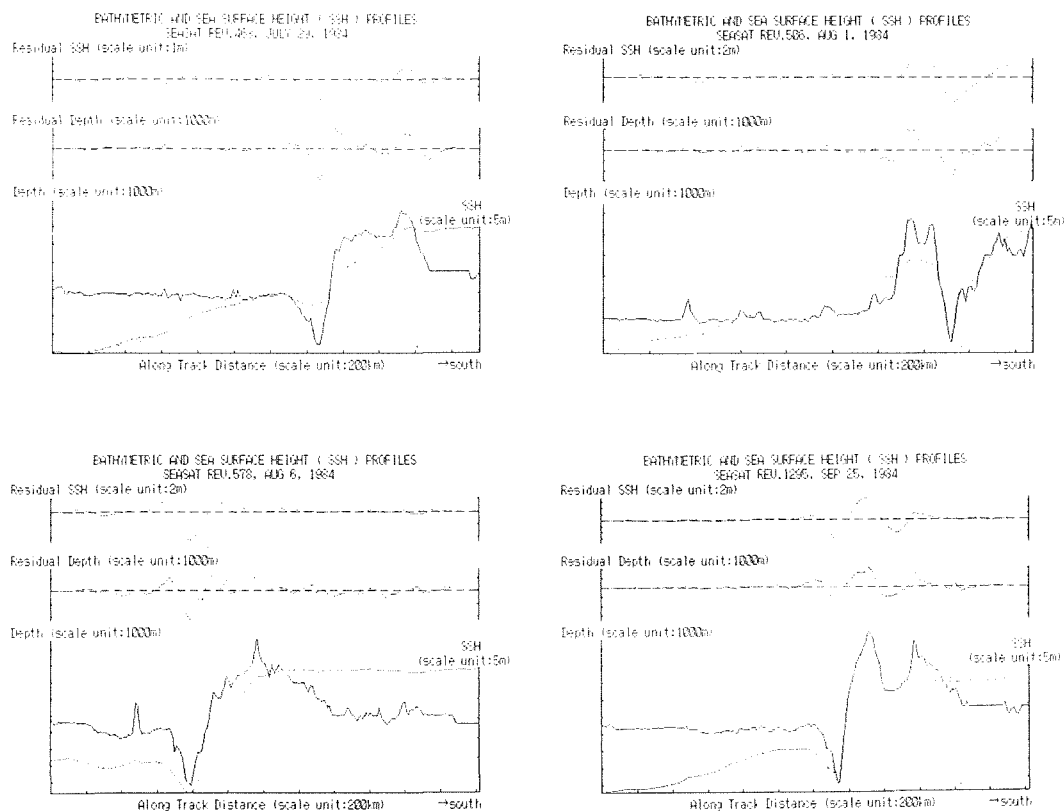


Figure 6. Bathymetric profile (solid line) and sea surface height (SSH) profile (dotted line) for Seasat's subsatellite tracks crossing the trench, lower half of each figure, and the short-wavelength components of SSH and bathymetric features, upper half of each figure.

示した（各図の下段プロフィール）。いずれのpassについても、海底地形及びSSHの生のプロフィールそのものは、必ずしも良い相関を示していない。それは、SSHプロフィールには地下深部の構造が反映されていて、一般にSSHの長波長成分が海底地形のそれと相関がないためである。そこで、海底地形及びSSHプロフィールの短波長成分について比較を行なってみる。短波長成分の抽出は、ここでは、両プロフィールをそれぞれ一定の巾の移動平均により平滑化し、これとものプロフィールとの差をとることによって行なう。移動平均の巾として便宜上260kmと430kmの二種につき調査した。

Fig. 6及びFig. 7の各図の上部二段のプロファイルが、それぞれ、上段がSSHの、下段が海底地形の短波長成分である。図の例は移動平均の巾が260kmの場合である。ちなみに、衛星アルチメータデータのデータ取得間隔は、約6.7kmである。図から明らかなように、短波長成分についてSSHと海底地形プロフィールは極めてよい相関を示している。図で見える限り、海水運動によって生じた海面形状の凹凸の目立ったものは見当たらない。主な海山地形は直径50km程度以内であり、また、海山地形によるgeoid anomalyのスケールはこの直径ないしその3倍程度（Fig. 3参照）であるので、採用した移動平均フィルタの巾は、海山地形と



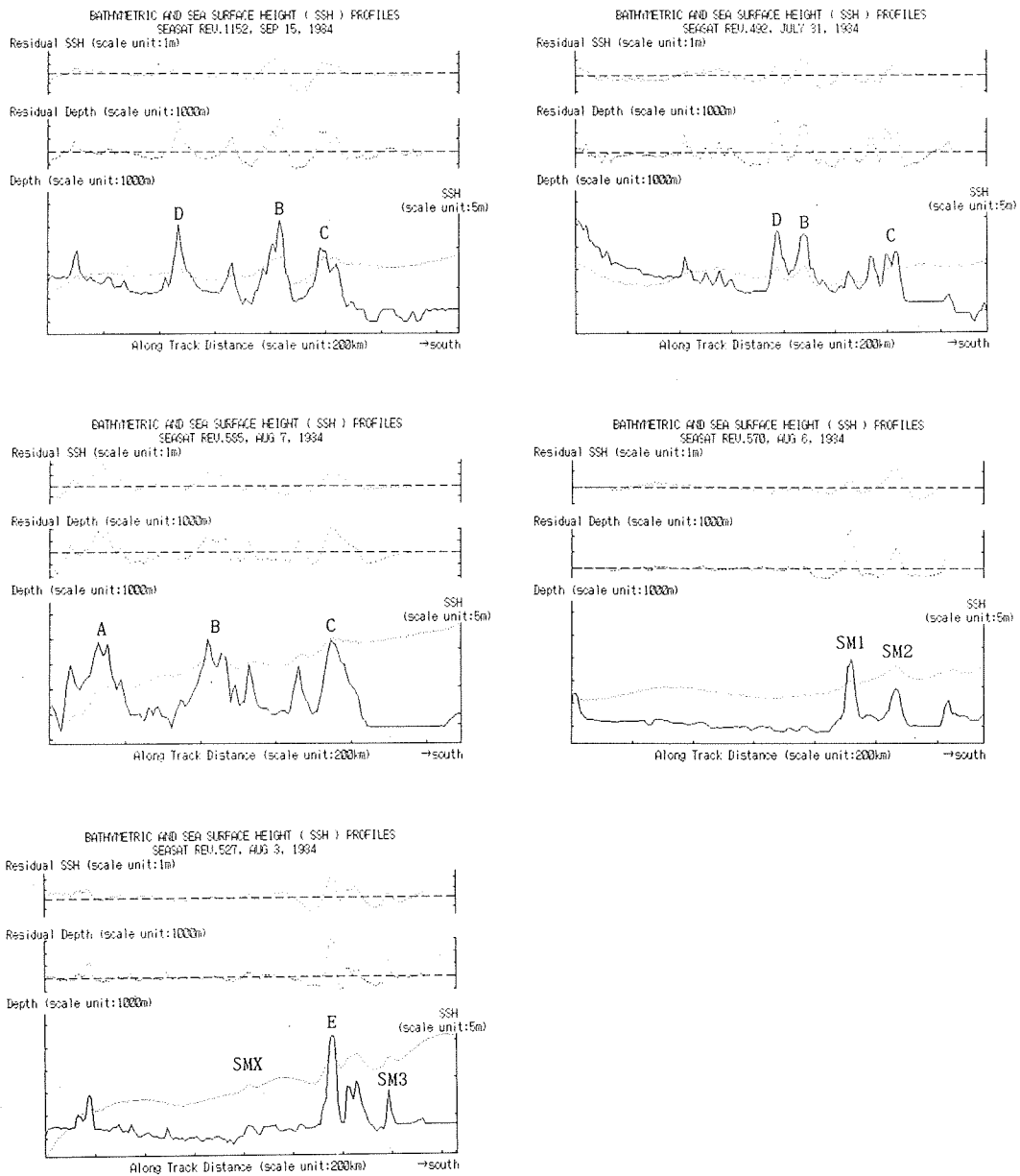


Figure 7. Bathymetric profile (solid line) and sea surface height (SSH) profile (dotted line) for Seasat's subsatellite tracks crossing ridges and seamounts, lower half of each figure, and the short-wavelength components of SSH and bathymetric features, upper half of each figure. Symbols A-E denote ridges shown in Figure 5 and Figure 8. Symbols SM1-SMX denote seamounts shown in Figure 8.

SSHとの相関を調査する場合、適当であると考えられる。

(1) 海溝地形を横断するSeasat Pass

Fig. 6 及びTable 2 に海溝地形を横切るSeasat passについて、いくつかの例を示した。海溝地形はSSHに大きな影響を与えているが、これは、海溝が二次元的に極めて長く連なった構造であることから、第3節でも数値的に予想できたことである。海面高が海溝を狭んで西側が東側に対してステップ状に高くなっているが、これは、日本海溝での一つの特徴となっている。何らかの地下構造が起因していると考えられる。

Table 2 には、移動平均巾260kmと430kmの2つのケースにつき、SSHと海底地形の短波長成分をそれぞれs及びhとし、それらの間の相関係数

$$\text{Covar Coeff} = \frac{\sum_i (h_i - \bar{h})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\sum_i (h_i - \bar{h})^2 \sum_j (s_j - \bar{s})^2}}$$

及び、SSHの短波長成分s'と海底地形の短波長成分hとの間に、

$$s'_i = k(h_i - \bar{h})$$

というリニアな関係があるとした場合、残差 $\sigma^2 = \sum_i (s_i - \bar{s} - s'_i)^2$ を最小にするkの値を示してある。ここで、 $\bar{s}$ 及び $\bar{h}$ はそれぞれs, hの平均値である。相関係数は0.82~0.93という極めて大きな値となっている。kの値は、例えば、Rev.463のpassでFilter 1についていえば、1000mの海底地形の凹凸に対して、1.25mのSSHの凹凸が対応しているということを示している。kの値はFilter 2の場合にFilter 1の場合より大きくなっている。これは、海溝地形に伴うgeoid anomalyの規模がFilter 1の巾に比して大きく、Filter 1では十分にフィルタ効果が表われていないためである。kの値はいずれも $1 \times 10^{-3}$ 以上で、また、海底地形のSSHへの影響はFilter 2の場合に良く表現されていると考えられるので、海溝地形の場合には、 $k = 2.3 \times 10^{-3}$ が一般的

Table 2. Covariance between bathymetric and altimetric sea surface height (SSH) profiles along Seasat passes crossing the trench

Rev. No.	Filter 1*		Filter 2**	
	Covar. Coeff.	$k \times 10^{-3}$	Covar. Coeff.	$k \times 10^{-3}$
463	0.88	1.25	0.88	1.38
506	0.86	1.81	0.87	2.08
578	0.82	1.67	0.89	2.37
1295	0.91	2.74	0.93	3.19
Average		1.86		2.26

\* running mean width : 260 km

\*\* running mean width : 430 km

な値であると推論される。この数値は、モデル地形の場合 (Fig. 4) の $k=4.7 \times 10^{-3}$ に対して約2分の1である。この数値の減少は、海溝付近の複雑な海底地形や地下構造に起因すると考えられる。

(2) 海山・海嶺が存在する海域を横断するSeasat Pass

Fig. 7 及びTable 3 に海山や海嶺が分布する海域を横断するSeasat passのいくつかについて(1)と同様な形式で掲げている。Fig. 6 の場合と同様SSHと海底地形の短波長成分は互いに極めて良い相関を示している。Table 2 とTable 3 を比較してみると、相関係数については大差なく、ともにかなり大きい値となっている。しかし、係数 $k$ の値については明瞭な差が認められる。すなわち、海溝地形を横断するpassについては、 $k$ が $1 \times 10^{-3}$ 以上の値、特に $2 \sim 3 \times 10^{-3}$ という大きな値となっているが、Table 3 の場合には $1 \times 10^{-3}$ 以下であり、 $0.5 \sim 0.8 \times 10^{-3}$ 程度が一般的な値である。この場合、海底地形の凹凸1000mに対して海面の凹凸は $0.5 \sim 0.8$ m程度であることを意味している。独立した海山や小規模な海嶺状の地形の高まりは、先の実験地形の場合ほどのgeoid anomalyを与えないことから、Table 2 とTable 3 の違いは十分予想されることである。

Fig. 7 (a)~(c) に示したpass Revs.492, 585, 1152はいずれもフィリピン海海域の地形を横断するpassであり、A: 奄美海台、B: 大東海嶺、C: 沖大東海嶺、D: 九州・パラオ海嶺を切っている。これらの地形に対応する位置は図にA~Dの記号で示してある。これらの海嶺地形の影響はSSHにも明瞭に表われており、

Table 3. Covariance between bathymetric and altimetric sea surface height (SSH) profiles along Seasat passes over seamount and ridge area

Rev. No.	Filter 1*		Filter 2**	
	Covar. Coeff.	$k \times 10^{-3}$	Covar. Coeff.	$k \times 10^{-3}$
449	0.79	0.53	0.62	0.45
492	0.69	0.53	0.62	0.52
527	0.78	0.88	0.71	0.96
542	0.85	0.82	0.80	0.86
570	0.63	0.45	0.47	0.46
585	0.89	0.65	0.79	0.75
1152	0.85	0.78	0.72	0.75
Average		0.66		0.68

\* running mean width : 260 km

\*\* running mean width : 430 km

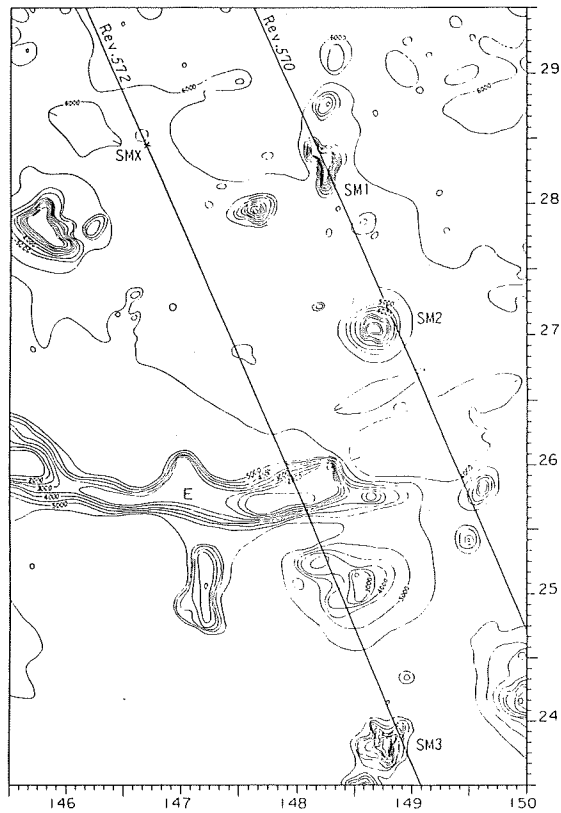


Figure 8. Subsattelite tracks of Seasat for Revs. 570 and 572 shown on a detailed bathymetric chart taken from Bathymetric Atlas in the Northwest Pacific (JODC, 1984).

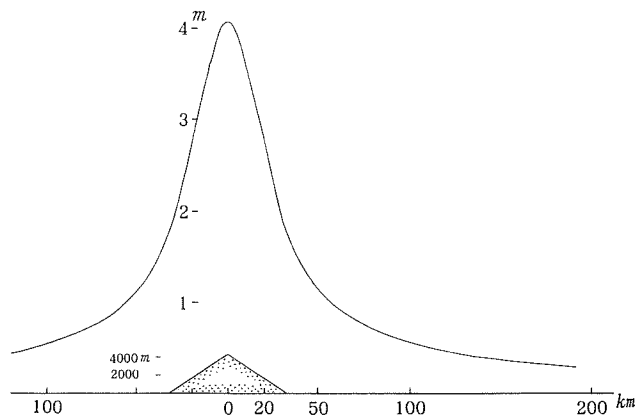


Figure 9. Sea surface features over a simply modeled seamount with the same size of SM 2 in Figure 8 for the case of no compensation.

その凹凸は数mに達している。海嶺地形のSSHへの影響は、同規模の横断面を持つ独立海山の場合に比して、海溝地形の場合と同じく3倍程度の大きさを持つことはモデル計算によっても確かめることができる。

Fig. 7 (d) Rev.570は、海山地形の海面形状への影響を見るのに良い例である。このpassの南部の緯度27度と28度付近に明瞭な2つの海山地形SM1とSM2が見られる。一方、SSHにもこれらの海山に対応する高まりが明瞭に表われている。地形プロファイルから見ると、SM1がSM2よりも比高が約1000m高いにかかわらず、海面の高まりはSM2の方がSM1よりも大きくなっている。SM2に対応する海面の高まりは、SM2の海山地形（比高約1600m水深6000m、底面直径約60km、円錐型海山）から推定される補償効果なしとした最も大きく見積った海面の凹凸約1.2mをも超えるものである。この事実は、passの近くにSM2としてプロファイルに表われている地形よりもずっと大きな海山が存在しており、プロファイルにはその海山の頂上から離れた部分の断面が表われていると推定される。実際にこの付近の海底地形を詳しく示したものがFig. 8である。本図は北西太平洋海底地形図（JODC, 1984）の一部である。pass Rev.570は緯度28度20分付近で比高3000m程度の海山（SM1）の真上を横断しており、また、27度付近では、比高4000mに達する大型の海山（SM2）の中腹をかすめたかたちとなっている。すなわち、passが必ずしも海山の真上を横断しなくとも、海山の影響による海面の凹凸が海山の規模に応じて広がっているため（Fig. 9参照）、海面の凹凸の観測から海山の存在がある程度推定される。

Fig. 7 (e) Rev.527はFig. 5及びFig. 8で見るとおり、小笠原海台の東方延長上にある海嶺状地形E及び海山SM3を横断しているが、この場合にもそれらの地形に伴うSSHの凹凸は極めて明瞭に表われている。地形が地下で補償がなされていると思われるSSHの凹みが、海面の高まりを狭んで表われている。本passで記号SMXと示された位置に、SSHには小規模ながらはっきりした高まりが見られる。これに対応する位置付近の地形には、地形プロファイルやFig. 8で見るとおり、はっきりとした海山地形は表現されていない。わずかに標高500m程度の小規模な地形が見られにすぎず、これは、記録されたSSHの高まりを生じるほどの地形となっていない。この周辺の海域は他の地域に比して調査密度が低いため、海山がマッピングされていない可能性も十分考えられる。

## 5. 結 論

前節で、日本周辺海域において、海面形状（SSH）と現実の海底地形との関係をSeasetアルティメータデータを用いて調査した。SSHと海底地形は、長波長成分については相関関係はあまりないと言えるが、短波長成分についてみると相関係数が0.8~0.9という極めて大きい値であり、SSHから海底地形の推定がある程度可能であることがわかった。この事実は、海底地形の調査が不十分であるか、全く行なわれていない海域について特に大きな意味を有していると考えられる。すなわち、これらの海域において海山の存在などの大雑把な海底地形の予測に、アルティメータによるSSHのデータが活用できる。この論文で調査した海域についてみると、海底地形はかなり良く調査されており、比較に用いた海底地形にデータには大きな地形の落ちはないということが判明した。永年の海洋調査データの蓄積は高く評価されるものである。

人工衛星アルティメトリは当初ジオイドの決定や地球重力場の調査等、測地学的利用を目的としていたが、海洋観測衛星Seasatによる高精度の達成に伴い、海流、渦等の海洋調査への応用が注目されるに至っている。また更には、海山などのローカルな海底地形の一次調査や地下構造の解明にも有効性が確認されるに至っている。このような状況下において、人工衛星アルティメトリの発展が期待されるわけであるが、米国NASAは仏国と共同してアルティメトリ専用衛星TOPEX/POSEIDONを1990年頃に打ち上げる準備を進めてい

る。この衛星は海面形状の測定分解能 2 cm を目標としており、成功時には現在の応用分野における一層の進歩のほか、人工衛星アルティメトリの新たな応用分野が拓ける可能性も高い。

本論文作成にあたって、海上保安庁水路部海洋情報課の長尾道広氏には、海底地形データファイルから海底地形プロファイルを作成していただいた。また、水路部大陸棚調査室及び海洋情報課には最新の海底地形データを提供していただいた。ここに感謝の意を表したい。

#### 参 考 文 献

- Dixon, T. H., M. Naraghi, M. K. McNutt, and S. M. Smith 1983 : Bathymetric Prediction From SEASAT Altimeter Data, *J. Geophys. Res.* Vol.88, No. C3, 1563-1571.
- Ganeko, Y. 1983 : A 10'×10' Detailed Gravimetric Geoid Around Japan, *Marine Geodesy*, Vol.7, Nos.1-4, 291-314.
- Jordan, T. H., H. W. Menard, and D. K. Smith 1983 : Density and Size Distribution in the Eastern Pacific Inferred From Wide-Beam Sounding Data, *J. Geophys. Res.*, Vol.88, No.B12, 10508-10518.
- MacDoo, D. C. 1981 : Geoid Anomalies in the Vicinity of Subduction Zones, *J. Geophys. Res.*, Vol.86, No.B7, 6073-6090.
- Marin Geodesy, 1984. Vol. 8, Nos.1-4.
- NASA/JPL 1984 : TOPEX/POSEIDON, Science Opportunity Document.
- 日本海洋データセンター (JODC) 1982 : 水深ファイルの現況について, *JODCニュース*, No.25, 1.
- 日本海洋データセンター (JODC) 1984 : 海底地形図 (北西太平洋), 30ページ.
- 日本水路協会 1981 : 海洋情報の数値化ならびに提供方法の研究 (200海里海域の総合調査に関する研究), 調査研究資料24, 27-69ページ.
- Schwank, D. C. and A. R. Lazarewicz 1982 : Estimation of Seamount Compensation Using Satellite Altimetry, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 9, No. 8, 907-910.
- Seasat Special Issue 1982 : *J. Geophys. Res.*, Vol.87, No.C5.
- 水路部 (JHD) 1985 : 海のアトラス, 丸善株式会社, 111ページ.
- Watts, A. B. and N. M. Ribe 1984 : On Geoid Heights and Flexure of the Lithosphere at Seamounts, *J. Geophys. Res.*, Vol.89, No.B13, 11152-11170.
- White J. V., R. V. Sailor, A. R. Lazarewicz, and A. R. LeSchack 1983 : Detection of Seamount Signatures in SEASAT Altimeter Data Using Matched Filters, *J. Geophys. Res.*, Vol.88, No.C3, 1541-1551.