

船上重力データの精度評価及び誤差補正について

笹原昇：海洋研究室

塩原健：株式会社パスコ

矢吹哲一朗：海洋調査課

Accuracy evaluation and error compensation on the sea gravity data

Noboru SASAHARA: Ocean Research Laboratory

Ken SHIOHARA: PASCO Corporation

Tetsuichiro YABUKI: Hydrographic Surveys Division

1 はじめに

海域ジオイドモデルの確立や大規模な海洋循環モデルの精度向上への貢献などを目的として、平成15年度より3ヵ年計画で特定研究「人工衛星による海面変動・重力場の解析手法に関する研究」が開始された。その研究の一環として北西太平洋における「海域ジオイドモデル」を構築したが、それには重力ジオイド決定手法が用いられている。重力ジオイド決定手法は「remove-restore法」が一般的で、既知であるジオイドの長波長成分を除き短波長成分のみを計算する。通常、長波長成分は人工衛星の観測によって作成された全球重力ポテンシャルモデルのもの、短波長成分の計算には地球表面で観測された重力データが当てられる。海洋情報部では1960年代から船上重力観測を始め、大陸棚調査分も含め、広範囲の重力データを保有している。また、JODCでも国内外のデータを蓄積している。これらの船上重力データを「remove-restore法」の短波長成分として用いるため、精度評価及び誤差補正を行った。

2 評価・誤差補正作業

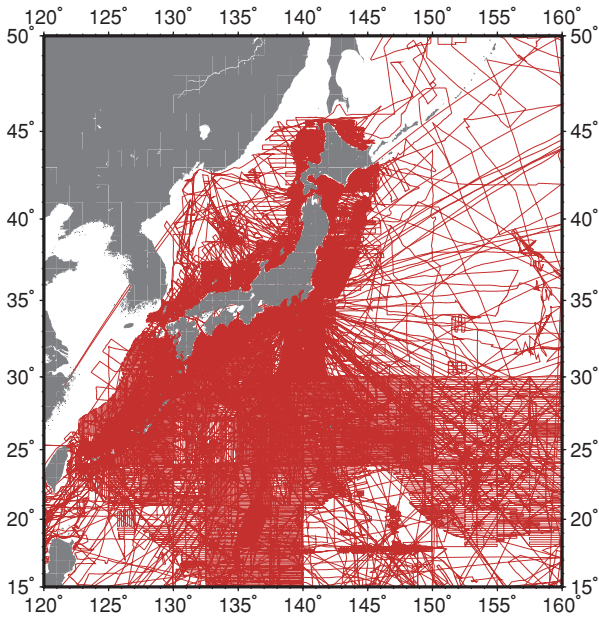
作業の手順は、①測地系・正規重力・基準網を統一し、②移動平均により船上重力に含まれるスパイクノイズ除去を行った。次に各クルーズ（1観測航海）をレグ（ここでは、一定距離を直進した部分を

意味する）に分割し、各レグの交点における重力異常値の差を求めた（Wenzel, 1992）。この差を主に重力計のドリフトに起因するものとして捉え、回帰分析によりクルーズ毎にその差の直線式を計算し、直線式の傾斜が最小となるよう重力データを修正した（③COE; Cross Over Errorチェック・補正; Wessel and Watts, 1988）。この作業後、バイアスを決定する必要があるが⑤の作業で実施した。④COEチェック補正後のデータを、アルティメータによる重力値と比較し、その差が大きいものを除去した。最後にアルティメータ重力値との較差をとり、その較差に船上重力測定誤差の長波長成分が含まれると仮定し、回帰分析によりレグ毎に⑤長波長成分誤差となる2次曲線を求めこれを用いて、船上重力データを補正した。

以下、船上重力データと各作業の詳細について説明する。

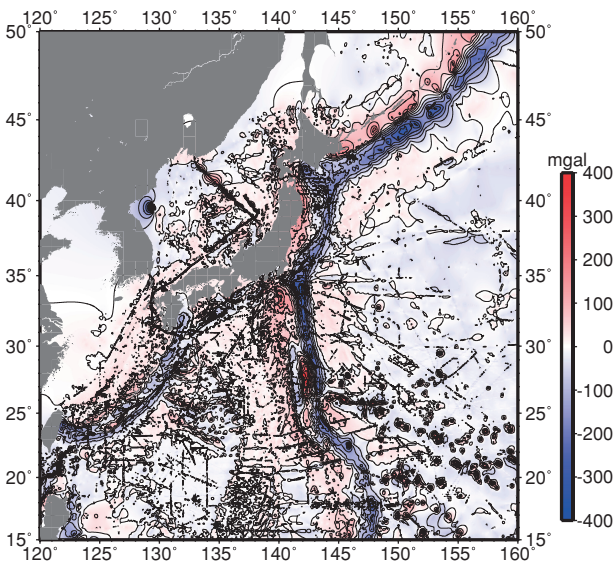
(1) 船上重力データ

本稿で対象とする船上重力データは1962～2004年の410クルーズ、約320万データである。これらの測地系、正規重力・基準網を統一した。評価・誤差補正作業と測地系等の統一を行う前のデータについて、観測航跡線を第1図に、重力異常分布を第2図に示す。



第1図 船上重力観測航跡図

Fig. 1 Track lines of sea gravity observation.



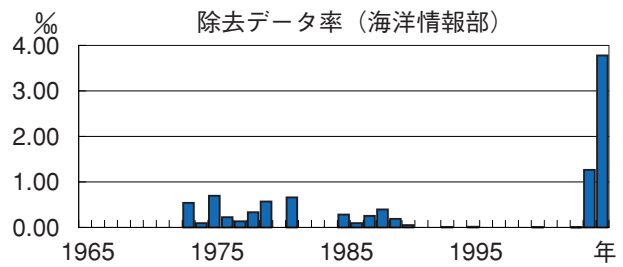
第2図 船上重力データによる重力異常図

Fig. 2 Gravity anomaly around Japan from the sea gravity observation (before the evaluation and compensation).

(2) 移動平均値による除去

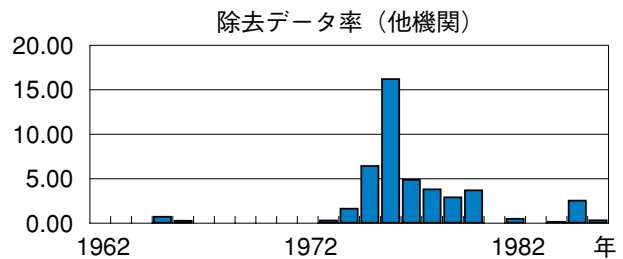
ここでは、船上重力観測の航跡に沿った実移動距離10km長を1単位として、その間の重力異常値の平均値を求め、その平均値と単位内の各値を比較し50mgalより大きいデータを除去した。総データ数3,156,946(海洋情報部2,550,440,他機関606,506)から2,480(海洋情報部574,他機関1,906)の0.079

%が除去された。第3図に海洋情報部、第4図に他機関の年ごとの除去データ率(千分率%)を示す。第3図において2000年以降の除去数が多いのは、回頭時のデータが多く含まれているためである。第4図において1974年頃に除去率が高くなっているデータは、主に東京大学海洋研究所共同利用研究船「白鳳丸」のクルーズによるものであるが、高除去率の理由は特定できていない。



第3図 海洋情報部における移動平均値による除去データ率 (%)

Fig. 3 Removal ratio by means of moving average for H.O.D. gravity data.



第4図 他機関における移動平均値による除去データ率 (%)

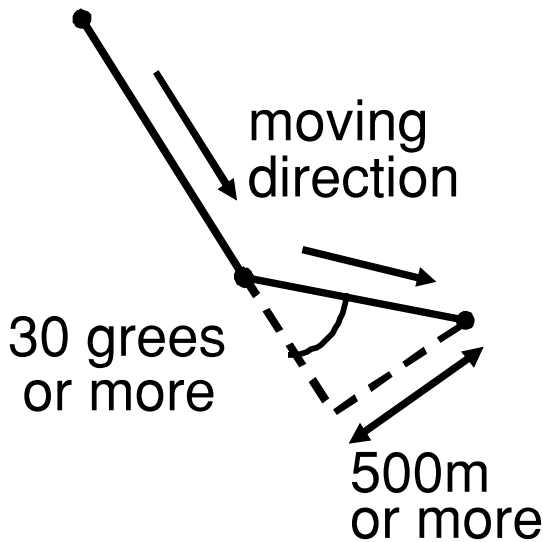
Fig. 4 Removal ratio by means of moving average for the gravity data of other organizations.

(3) レグの構成

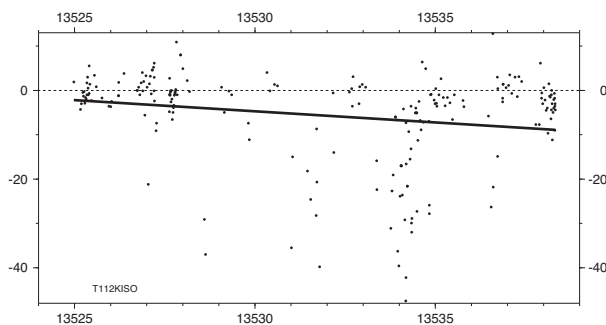
第5図に示すような観測点の位置関係により各クルーズを直線部分(レグ)に分割した。すなわち、回頭角30度以上、横距離500m以上の位置関係にある場合、別個のレグとした。ただし、その長さが1km未満のものについてはレグとせず、その直線部分に含まれるデータをすべて除去した。残されたレグ数24,736である。(海洋情報部14,855,他機関9,881)

(4) COEチェック・補正

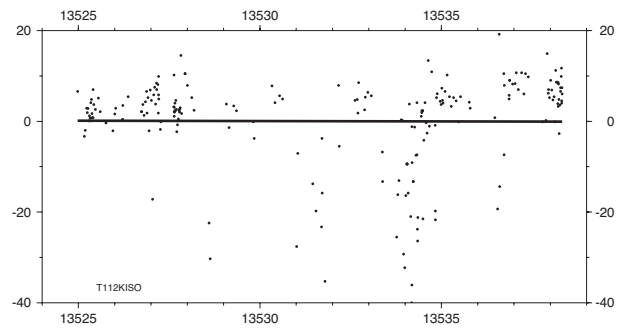
第6図のようにレグ間の交点における重力異常値の差を用いて、クルーズごとにCOE値を最小化する回帰直線を算出した。他のクルーズとのCOE数が50以上あるクルーズに対して、求められた回帰直線の傾斜が最小となるようデータを補正してから回帰直線を再計算した。(本稿ではこれを9回繰り返した)。第6図に対する回帰直線による補正結果を第7図に示す。第8図には、年代ごとの傾斜の補正結果を示す。傾斜絶対値の平均が、補正の前には1.121mgal/dayであったものが補正後は0.003mgal/day



第5図 レグと識別される観測点の位置関係
Fig. 5 Geometry for leg identification procedure.



第6図 COEに(時間に対する)回帰直線を適用させた例
Fig. 6 An example of a regression line applied to the COEs.

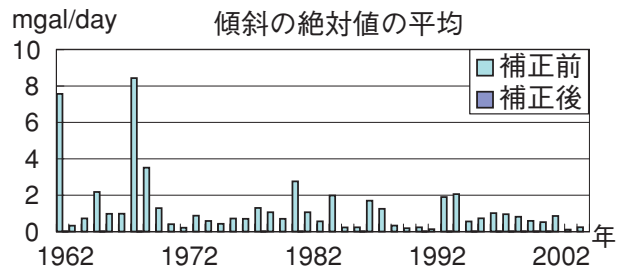


第7図 第6図の例に対する回帰直線適用後のCOE値
Fig. 7 COE values of the example of Fig. 6 after applied the regression line.

とほとんどゼロになっている。第8図の補正前について1962年に傾斜の絶対値の平均が高くなっているのは、アメリカのNOAA(国立海洋大気庁)、1968年については海上保安庁測量船「明洋」の観測データによるものである。これらの原因として、データのドリフト補正の不完全さなど考えられるが特定までにはいたっていない。

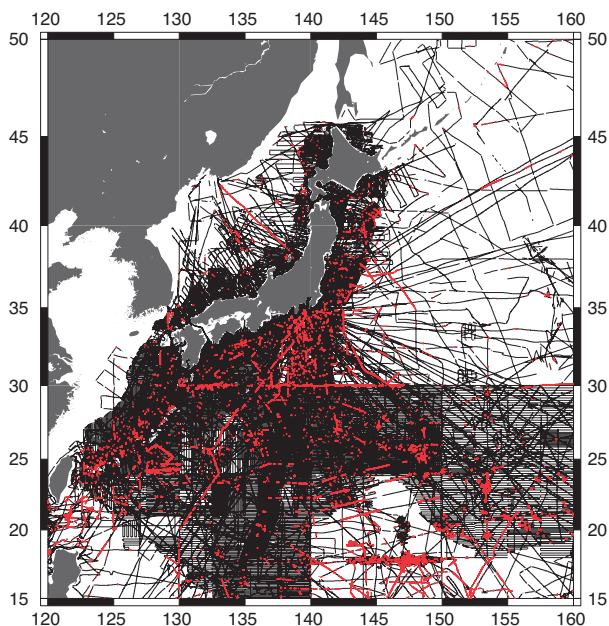
(5) アルティメータ重力による除去

衛星海面高度計(アルティメータ)データによって作られた重力異常値データ(Sandwell and Smith, 1997; version11.1)とCOE補正後の船上重力データを比較しその差が50mgalより大きいものを除去した。総データ数3,062,556(海洋情報部2,486,201,他機関576,355)から37,454(海洋情報部11,884,他機関25,570)の約1.2%を除去した。除去データの分布を図9に示すが、除去データのほとんどが海洋



第8図 補正前後における傾斜の絶対値の平均
青:補正前 紫:補正後(ほぼ0)
Fig. 8 Average of absolute value of tilt before and after correction. Light blue box: before purple box: after (almost zero).

情報部以外の機関が観測したものであった。



第9図 アルティメータ重力との較差が大きい船上重力分布図 赤：除去データ点

Fig. 9 Distribution of the removed gravity data show in red (comparison with an altimeter gravity (Sandwell and Smith, 1997)) and other remained data shown in black.

(6) アルティメータ重力による補正

船上重力データと(5)項で用いたアルティメータによる重力異常値との差をとり、差と距離により回帰2次曲線を求めた。その回帰式の計算値を船上重力の長波成分誤差の予測値と考え、船上重力データに補正を加えた。この時、船上重力データに含まれる短波長成分(アルティメータ重力より短波長)まで補正しないよう回帰式の傾斜はアルティメータ重力値の空間分布の傾斜を超えないようにした。

この補正前後において船上重力から求められた重力異常は、平均が-18.8から9.0mgalとなり、標準偏差は55.8から55.5mgalとなった。

4 結果

前述された全ての補正の結果、その前後において船上重力データの平均が4.9から9.0mgal、標準偏差が60.6から55.5mgalとなった。また、アルティメータによる重力異常値との較差の平均が5.8から0.0mgal、標準偏差が22.2から2.8mgalと減少した。第10図に補正された船上重力異常図を示す。

5 検証

補正された船上重力データそのものの精度を検証できる標準値が海上では存在しないため、補正作業の各過程におけるデータを用いて実際にジオイドを算出し、その計算値を比較することによって精度検証を試みた。ジオイド算出方法の詳細については笹原・他(2006)にて説明しているが、人工衛星等の観測データにより解析された全球重力ポテンシャルモデルGGM(Global Gravity Model)による重力異常値と船上重力や陸上重力のように地球表面で観測されたデータを用いて計算する。ジオイドは重力異常値を全球積分することにより求められ、GGMはジオイドの大まかな成分、表面観測重力は細かな成分の決定に反映されている。計算されたジオイドから細かな成分(表面観測重力によるもの)を抽出し、それらの統計処理を行った。その結果を第1表に示す。測地系等の統一は行い補正処理を行わなかった船上重力データによるジオイドの統計処理結果を表の「nothing」の行に、移動平均のみを行ったものを「moving average」に、本稿の補正処理を全て行ったものを「all」に示した。第1表をみるとジオイド算出値のばらつきは抑えられているのがわかる。

第1表 船上重力データへの補正処理の違いによるジオイド計算値の統計結果

Table 1 Statistics of calculated geoid with the difference of correction procedure to sea gravity data.

procedure	mean(m)	s.d.(m)	r.m.s.(m)
nothing	-0.011	0.278	0.278
moving average	-0.011	0.277	0.277
all	0.022	0.265	0.266

謝辞

海洋情報部をはじめとする船上重力観測に携わった方々に感謝いたします。本稿の図はGMT (Wessel and Smith, 1998) を用いています。

参 考 文 献

Sandwell, D.T., and W.H.F. Smith (1997), Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry, *Journal of Geophysical Research*, **102 (B5)**, 10339-10554.

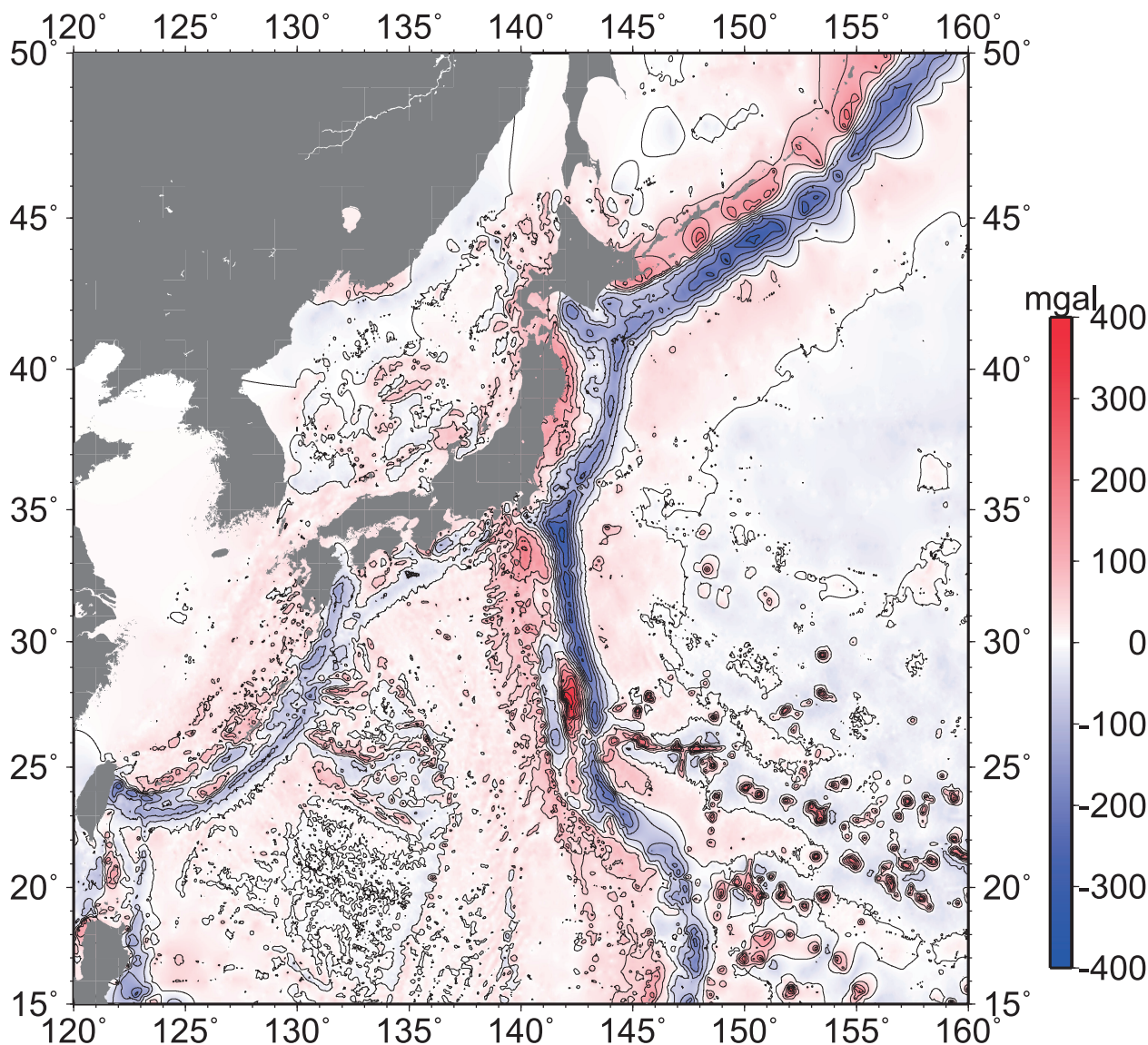
笹原昇, 矢沼隆, 矢吹哲一郎 (2006), 日本周辺にお

ける海域ジオイドモデルの決定, *海洋情報部研究報告*, **42**, 39-47.

Wenzel, H.G. (1992), Sea gravity data adjustment with program SEAGRA, *Bureau Gravimetrique International, Bulletin d'Information*, **71**, 59-70.

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

Wessel, P. and A.B. Watts (1988), On the Accuracy of Marine Gravity Measurements, *Journal of Geophysical Research*, **93 (B1)**, 393-413.



第10図 補正された船上重力データによる重力異常図
Fig. 10 Corrected gravity anomaly of sea gravity observation around Japan.