

白嶺丸重磁力データの整備・公開

石原 丈実^{1,*}

ISHIHARA Takemi (2021) Preparation and release of gravity and magnetic data collected by R/V Hakurei-maru. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 72 (5), p. 421-445, 15 figs, 4 tables.

Abstract: One-minute interval good-quality gravity and magnetic data were prepared for most of the Hakurei-maru cruises carried out by Geological Survey of Japan from 1974 to 1999. The RMS COD (root mean square crossover difference) of all the magnetic data after leveling correction is 26.1 nT, while that of all the gravity data after altimetry and leveling corrections is 3.2 mGal. These data can create a magnetic anomaly map without false lineations along survey lines and a free air gravity anomaly map, which has better quality than a map created using satellite altimetry data.

Three types of data files were released as an open-file report of Geological Survey of Japan, no. 714: a master data file, which has corrected navigation data and observed data, a gravity and depth data file and a magnetic data file, which include data after gravity and magnetic anomaly calculation.

Keywords: Hakurei-maru, marine geophysical survey, gravity anomaly, magnetic anomaly, low-pass filter, data release

要 旨

地質調査所による1974年から1999年の地質調査船白嶺丸のほとんどの航海に対して1分間隔の均質なデータを整備した。GPSが一般的になる前は、船舶の位置データの精度が悪いため測線間の交点誤差が大きく、広範囲の磁気図・重力図の作成は困難だった。こうしたデータが多く含まれる白嶺丸の重力・全磁力データに対して、フィルターや衛星データの活用も含む各種補正により、測線に沿う不自然な異常のない磁気異常データ、アルチメトリによるものよりノイズの少ないフリーエア異常データを作成し、公開した。全航海に対するレベリング補正後の磁気異常データの二乗平均平方根交点誤差(RMS COD; root mean square crossover difference)は26.1 nT, アルチメトリ補正・レベリング補正後のフリーエア異常データのRMS CODは3.2 mGalである。

測位データ補正後の観測値のみのマスターデータファイル, 重力異常を計算した重力・測深データファイル, 磁気異常を計算した磁力データファイルの3種類のデータを地質調査総合センター研究資料集No.714として公開した。

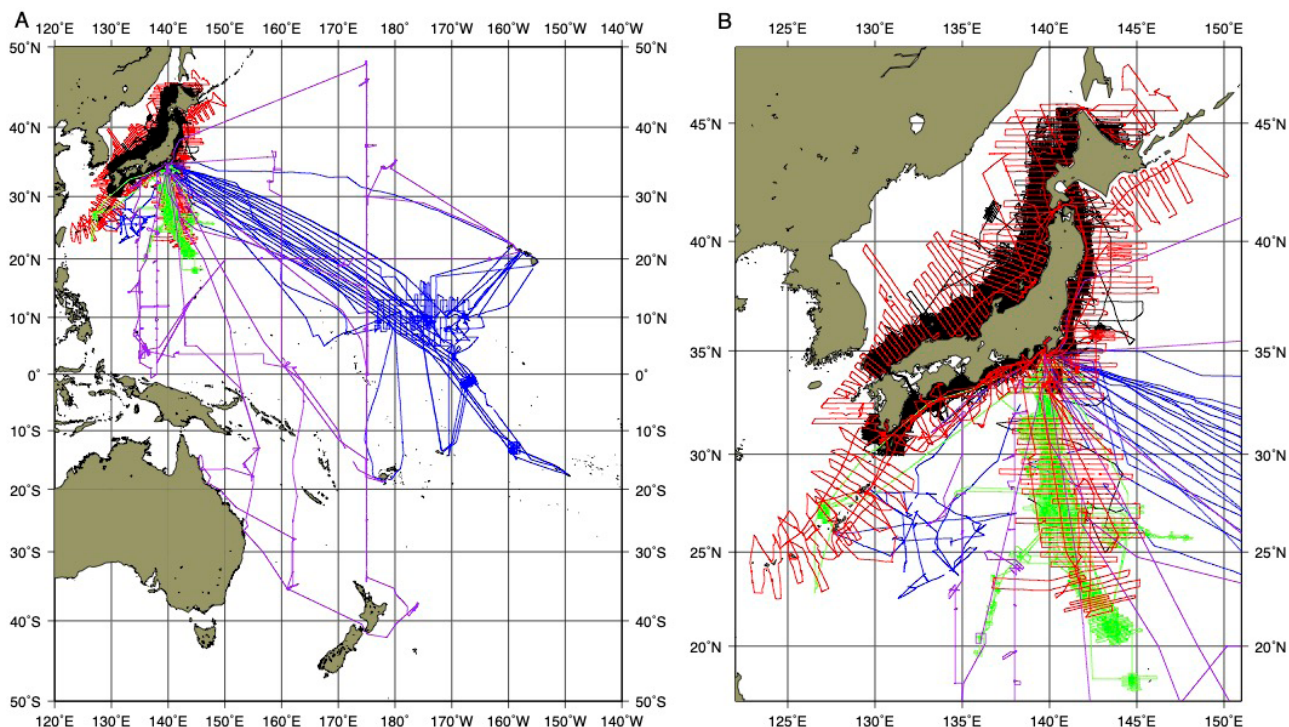
1. はじめに

旧工業技術院地質調査所では地質調査船白嶺丸に

よる航海を1974年度から1999年度まで実施してきた(1980年代前半までの白嶺丸を使用した調査研究の紹介は例えば, 水野, 1985)。第1表に航海の一覧, 第1図に白嶺丸の全航跡を示したが, 全期間に亘る日本周辺海域の100万分の1(第1表の種別1a)及び20万分の1(第1表の種別1b)の海洋地質図作成プロジェクトの航海(以下「海洋地質図航海」と略す), 1983年度まで実施されたマンガン団塊を対象とした深海底鉱物資源に関する研究航海(第1表の種別2, 以下「マンガン航海」と略す), その後1989年度まで主に伊豆小笠原海域を対象にした「海底熱水活動に伴う重金属資源の評価手法に関する研究航海」(第1表の種別3, 以下「伊豆小笠原航海」と略す)である。これらの航海では船上重力計による重力調査は当初から, プロトン磁力計による調査はGH745航海から実施している。得られた重磁力データの多くは海域毎の重力異常図・磁気異常図として公開しているが, 今回全体を取りまとめ, デジタルデータとして公開することにした。NH901, NH911, NH921, NH931, NH942, NH951, NH961(第1表の種別4)はNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)のプログラムで関西総合環境センターにより実施された「海洋中の炭素循環メカニズムの調査研究航海」(「炭素循環航海」と略す)であるが, 同時に重磁力調査を含む工業技術院特別研究が行われており, これらの航海で取

¹ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

* Corresponding author: ISHIHARA, T., Email: takemishihara@gmail.com



第1図 白嶺丸の航跡。赤線、黒線、青線、緑線、紫線は、それぞれ100万分の1海洋地質図航海(種別1a)、20万分の1海洋地質図航海(種別1b)、マンガン航海(種別2)、伊豆小笠原航海(種別3)、炭素循環航海(種別4)。A)全航跡。B)日本周辺域。

Fig. 1 Track lines of Hakurei-maru. Red, black, blue, green and purple lines show surveys for 1:1,000,000 marine geological maps (group 1a), 1:200,000 marine geological maps (group 1b), manganese nodule surveys (group 2), surveys in Izu-Ogasawara area (group 3) and marine carbon cycle surveys (group 4), respectively. A) Whole track lines. B) Track lines in areas around Japan.

得られた重磁力データについても合わせて公開することにした。なお、これ以外の白嶺丸の調査としては、1980年度から石油公団で実施した南極周辺海域の調査があるが、今回公開するデータには含めていない。データの公開に際して、白嶺丸の測位・船上重力調査・海上磁気調査に関する問題についてまとめた。

この間1974年から1999年の間に1982年と1990年の2回、航法装置(いずれもMagnavox社製)の更新を行なっている。また、船上重力計は当初のS63重力計から1987年SL2重力計(両者ともLaCoste & Romberg社製)に、磁力計は当初のG801プロトン磁力計から1990年G866プロトン磁力計(両者ともGeometrics社製)に更新されている(第2表)。

2. 航法装置と測位

白嶺丸建造当初の航法装置については石原(1977)で記述しているが、1974年から1982年までは、NNSS (Navy Navigation Satellite System) 衛星(或いはTransit衛星とも呼ばれる衛星)からの電波を受信してその周波数のドップラーシフトを元に計算され、10分程度から10時間程度の間隔で得られる比較的正確な位置(以下、衛星測位と呼ぶ)と電磁誘導の原理を応用して船首方向の対水速

度が10%程度の精度で得られる電磁ログ(あるいはEMログ)による船速データ・ジャイロコンパスで得られる船首方位を組み合わせた推測位置(以後、実時間船位という)が航法装置で得られていた。船速データとしては海底から船の前後左右の4方向からの反射波を受けてその周波数のドップラーシフトから対地速度が0.5%程度とより正確にわかるドップラーソナーも装備していたが、日本周辺海域では海岸近くの浅い海域を除いて安定して使用できる場所がなく、ほとんどの海域では電磁ログを使用して測位を実施した(電磁ログ及びドップラーソナーについて詳しくは米澤(1995)参照)。電磁ログでは対水速度が得られるので、それに海水の流れの速度を加えて対地速度にし、それを時間的に積分して実時間船位を求める。なお、白嶺丸のブリッジではこれとは別にLORAN-CやDeccaといった電波航法装置も備えていたが、これらの電波航法装置から得られる測位データは1982年以前の重磁力データの測位には利用していない。実際の観測では、より精度の良い衛星測位の結果が得られるとその時点でそれまでの推測位置を置き換えることになり、船位の突然の跳びが生じる(第2図)。これをupdateと呼んでおり、この位置の跳びはほぼ推測位置の誤差を示している。この実時間船位の精度を示す例として、

白嶺丸重磁力データの整備・公開 (石原)

第1表 白嶺丸航海と取得された磁力・重力デジタルデータ

Table 1 Hakurei-maru cruises and magnetic and gravity data collected in the cruises

Group	Cruise	Survey area	Survey period	Port of call and dates	Existing digital data (time interval)	Scanned or digitized analog data	Final digital data
1b	GH741	Japan Trench	04/17-04/21 (5 days)	—	No	gravity data scanned	
1b	GH742	Sagaminada Sea	05/10-05/29 (20 days)	05/17-18 Tateyama 05/23-25 Motomachi	No	gravity data scanned	
1a	GH743	Izu-Ogasawara Islands	06/10-06/29 (20 days)	06/15-16 Futami 06/22-23 Kaminato	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1 minute gravity data
1b	GH744	South of Kii Channel	07/08-07/27 (20 days)	07/13-14 Kushimoto 07/20-21 Komatsujima	CR80 (5 minutes) + PR79 (10-30 s)	gravity data digitized	1 minute gravity data
2	GH745	Eastern part of Central Pacific Basin	08/14-10/17 (65 days)	08/26-31 Honolulu 09/16-20 Hilo 09/21-22 Honolulu	CR80 (5 minutes)	gravity data scanned	5-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH746	Izu-Ogasawara Islands	10/27-11/01 (5 days)	—	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
2	GH747	East of Okinawa	11/12-12/16 (35 days)	11/22-25 Koniya 12/04-07 Naha	MR (10 s) + CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 30-second magnetic data
1a	GH751	Ryukyu islands	01/20-02/18 (30 days)	01/24-25 Kagoshima 02/03-05 Miyako 02/12-13 Naha	MR (10 s)		1-minute gravity 30-second magnetic data
1b	GH752	Sagaminada Sea	04/17-04/26 (10 days)	—	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1b	GH753	Sagaminada Sea, south of Kii Channel	05/09-06/07 (30 days)	05/19-21 Toba 05/30-6/01 Komatsujima	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH754	Southwest of Japan	06/16-07/07 (22 days)	06/25-28 Kochi	MR (10 s)		1-minute gravity 30-second magnetic data
1a	GH755	Ryukyu Islands	07/16-08/22 (38 days)	07/27-30 Koniya 08/09-13 Naha 08/18-19 Kagoshima	MR (10 s)		1-minute gravity 30-second magnetic data
2	GH761	Mid-eastern part of Central Pacific Basin	01/10-03/09 (60 days)	02/05-09 Honolulu 02/10-13 Kauai	CR80 (5 minutes)	magnetic data digitized gravity data scanned	5-minute gravity 1-minute magnetic data
1a	GH762	Off Tohoku Japan	04/17-06/04 (49 days)	05/02-05 Kamaishi 05/19-21 Hakodate	CR80 (5 minutes) + MR (30 s)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1b	GH763	Off Hachinohe, West Tsugara Basin	06/15-08/04 (51 days)	06/30-07/02 Hachinohe 07/21-22 Aomori	CR80 (5 minutes) + MR (30 s)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
2	GH771	Mid-western part of Central Pacific Basin	01/12-03/12 (60 days)	01/21-24 Majuro 02/13-18 Apia	CR80 (5 minutes)	gravity data scanned	5-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH772	Off Kyushu	04/19-05/28 (40 days)	04/30-05/04 Hakata 05/14-17 Sakaiminato	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH773-1	Around Hokkaido	06/14-07/09 (26 days)	06/25-27 Otaru 07/09-12 Niigata	MR (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH773-2	West Tsugaru Basin	07/10-08/12 (34 days)	07/22-23 Hakodate 08/06-07 Niigata	MR (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH781	Western part of Central Pacific Basin	01/07-03/07 (60 days)	01/15-18 Majuro 02/08-13 Suva	CR80 (5 minutes)	magnetic data digitized gravity data scanned	5-minute gravity 1-minute magnetic data
1a	GH782	Central part of Japan Sea	04/18-06/02 (46 days)	05/02-04 Niigata 05/17-20 Hakodate	MR (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH783	Around Oki Islands	06/13-07/04 (22 days)	06/23-25 Sakaiminato	CR80 (1 minute) + CR80 (5 minutes)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH784	Off Monbetsu	07/12-08/12 (32 days)	07/22-24 Abashiri 08/07-08 Hakodate	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH791	Northern part of Central Pacific Basin	01/13-03/13 (60 days)	02/06-09 Honolulu 02/10-14 Kahului	CR80 (5 minutes)	gravity data scanned	5-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH792	Southern part of Ogasawara Islands	04/16-05/15 (30 days)	05/01-03 Futami	MR (30 s)	gravity data digitized	1-minute gravity 1-minute magnetic data
1a	GH793	Norther part of Ogasawara Islands	05/28-07/06 (40 days)	06/08-10 Futami 06/23-25 Futami	MR (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1a	GH794	Izu Islands	07/13-08/11 (30 days)	07/23-25 Hachijo 08/05-06 Oshima	MR (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH801	Wake-Tahiti Transect	01/12-03/11 (60 days)	02/06-13 Papeete	PR79 (30 s)	magnetic data scanned	1-minute gravity 1-minute magnetic data

第1表 続き.

Table 1 Continued.

Group	Cruise	Survey area	Survey period	Port of call and dates	Existing digital data (time interval)	Scanned or digitized analog data	Final digital data
1b	GH802	Off Boso Peninsula	04/18-05/17 (30 days)	05/02-05 Chiba	CR80 (5 minutes)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
1a	GH803	Kashimanada Sea, northern part of Izu Islands	05/22-06/25 (35 days)	05/30-31 Kashima 06/05-07 Kashima	MR (30 s)+ CR80 (5 minutes)	No charts for 2nd half	1-minute gravity 1-minute magnetic (5 minutes for 2nd half)
1b	GH804	Northwest of Hachijo Island	07/02-08/05 (35 days)	07/17-19 sokodo	MR (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH805	Magellan Trough	08/11-10/09 (60 days)	09/05-08 Honolulu 09/09-12 Hilo	PR79 (30 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH811	Off Kamaishi	04/15-05/14 (30 days)	04/28-05/01 Kamaishi	CR80 (1 minute) + CR80(5 minutes)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH812	Off Sendai-Hitachi	05/22-06/30 (40 days)	06/02-04 Shioyama 06/16-17 Onahama	MR (10 s)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH813	Off Sendai-Hitachi	07/08-08/06 (30 days)	07/20-22 Shioyama	PR79 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
2	GH814	East of Gilbert Islands	08/14-10/12 (60 days)	09/10-16 Pagopago	CR80 (5 minutes)	magnetic data digitized gravity data scanned	5-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH821	Off Muroto Cape	04/15-05/19 (35 days)	05/01-04 Kochi	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH822	Kumanonada Sea	05/27-06/25 (30 days)	06/09-12 Toba	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH823	Off Shimokita Peninsula	07/02-08/05 (35 days)	07/16-19 Hakodate	CR80 (5 minutes) + PR82 (10 s)	gravity data digitized	1-minute gravity 5-minute magnetic data
2	GH824	Nova-Canton Trough	08/14-10/12 (60 days)	09/10-16 Apia	CR80 (5 minutes)	gravity data scanned	5-minute gravity 5-minute magnetic data
1b	GH831	Off Ashizurimisaki, south of Bungo Channel, Hyuganada Sea	04/15-05/24 (40 days)	05/02-05 Kochi	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH832	Off Ashizurimisaki, south of Bungo Channel, Hyuganada Sea	06/03-08/01 (60 days)	06/18-20 Aburatsu 07/07-09 Kochi	PR82 (10 s) + CR80 (5 minutes)		1-minute gravity 10-second magnetic data
2	GH833	Penrhin Basin	08/08-10/06 (60 days)	09/06-12 Papeete	CR80 (5 minutes)	magnetic data digitized gravity data scanned	5-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH841	South of Kyushu	04/16-05/15 (30 days)	05/02-04 Kagoshima	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
3	GH842	Izu-Ogasawara Islands	05/21-06/29 (40 days)	06/11-13 Hachijo	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH843	South of Kyushu	07/05-08/23 (50 days)	07/28-31 Kagoshima	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
3	GH844	Izu-Ogasawara Islands	08/30-10/08 (40 days)	09/21-22 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH851	Izu-Ogasawara Islands	04/15-05/24 (40 days)	05/05-08 Futami	PR82 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH852	Hibikinada Sea, Off Mishima Island	05/31-07/19 (50 days)	06/19-22 Hakata 07/11-13 Hakata	PR82 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH853	Izu-Ogasawara Islands	07/26-09/03 (40 days)	08/12-15 Futami	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH854	Hibikinada Sea, Off Mishima Island	09/10-10/09 (30 days)	09/25-28 Hakata	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH861	Central part of Izu- Ogasawara Islands	04/15-05/29 (45 days)	04/28-30 Futami 05/13-15 Futami	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH862	Off Hinomisaki, off Tottori	06/04-07/23 (50 days)	06/20-23 Sakaiminato 07/12-14 Sakaiminato	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH863	Central part of Izu- Ogasawara Islands	07/29-09/01 (35 days)	08/17-18 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH864	Off Hinomisaki, off Tottori	09/08-10/07 (30 days)	09/21-24 Sakaiminato	PR82 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH871	Izu-Ogasawara Islands	04/15-05/29 (45 days)	04/30-02 Futami 05/19-21 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data

白嶺丸重磁力データの整備・公開 (石原)

第1表 続き.

Table 1 Continued.

Group	Cruise	Survey area	Survey period	Port of call and dates	Existing digital data (time interval)	Scanned or digitized analog data	Final digital data
1b	GH872	Off Kyogamisaki, Gentatsuse	06/05-07/24 (50 days)	06/23-26 Nishimaizuru 07/13-15 Nishimaizuru	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH873	Izu-Ogasawara Islands	07/31-09/03 (35 days)	08/15-18 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH874	Off Kyogamisaki, Gentatsuse	09/10-10/09 (30 days)	09/25-28 Nishimaizuru	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH881	Izu-Ogasawara-Mariana	04/14-05/23 (40 days)	05/07-10 Futami 05/21-21 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH882	Around Noto Peninsula	05/30-07/18 (50 days)	06/20-23 Fushiki 07/07-09 Fushiki	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH883	Izu-Ogasawara-Mariana	07/25-09/02 (40 days)	08/10-13 Futami 08/24-25 Yaene	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH884	Around Noto Peninsula	09/08-10/07 (30 days)	09/20-24 Fushiki	PR82 (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH891	Northern part of Mariana Islands	04/12-05/15 (34 days)	04/30-03 Futami	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH892	Eastern margin of Japan Sea	05/22-07/10 (50 days)	06/12-15 Niigata 06/29-01 Niigata	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
3	GH893	Hydrothermal area in Okinawa Trough	07/18-09/01 (46 days)	08/02-05 Naha 08/19-22 Naha 08/26-27 Koniya	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH894	Eastern margin of Japan Sea	09/07-10/06 (30 days)	09/21-23 Niigata	PR82 (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH90	Off Niigata	04/13-05/22 (40 days)	05/01-04 Niigata	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH901	North Pacific	06/13-08/11 (60 days)	07/12-16 Apra	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH911	Hawaii-Mariana	04/27-06/10 (45 days)	05/20-22 Apra	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH91	Off Sakata	06/20-07/29 (40 days)	07/05-08 Sakata 07/22-24 Sakata	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH921	Western Pacific	04/23-06/13 (52 days)	05/13-16 Suva	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH92	Off Akita	06/22-07/31 (40 days)	07/10-13 Sakata	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH931	Western Pacific	04/13-06/11 (60 days)	05/07-12 Honolulu	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH93	Japan Basin, Okushiri Island	06/21-07/30 (40 days)	07/09-12 Niigata	CR80 (1 minute)		1-minute gravity 1-minute magnetic data
1b	GH94	Around Okushiri Island	06/20-07/29 (40 days)	07/08-11 Hakodate	NS (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
4	NH942	Northwestern Pacific	08/08-10/06 (60 days)	09/08-13 Majuro	gmt dat (1 minute)	No chart	1-minute gravity 1-minute magnetic data
4	NH951	Western Pacific	04/14-06/12 (60 days)	05/05-10 Brisbane	NS (10 s)	No chart	1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH95	Off Shakotan Peninsula	06/19-07/28 (40 days)	07/07-10 Otaru	NS (10 s) + CR80 (1 minute)		1-minute gravity 10-second magnetic data
4	NH961	Western Pacific	04/12-06/12 (62 days)	05/10-13 Wellington 05/23-25 Townsville 05/29-30 Cairns	NS (10 s)	No chart	1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH96	Ishikari Bay	06/21-07/30 (40 days)	07/08-11 Otaru	NS (10 s)	No chart	1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH97	Suruganada and Enshunada Seas	04/11-05/20 (40 days)	04/29-05/02 Shimizu	NS (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH98	Off Rumoi	06/25-08/03 (40 days)	07/13-16 Otaru	NS (10 s)	No chart	1-minute gravity 10-second magnetic data
1b	GH99	West of Wakkanai	06/25-08/03 (40 days)	07/13-16 Otaru	NS (10 s)		1-minute gravity 10-second magnetic data

Groups: 1a Survey for 1:1,000,000 marine geological maps; 1b 1:200,000 marine geological maps; 2 Manganese nodule survey; 3 Survey in Izu-Ogasawara area; 4 Marine carbon cycle survey (Conducted by KEEC)

Test of equipments and training of people from developing countries were carried out in GH741, GH743 and GH746 cruises.

第2表 白嶺丸の航法装置・重力計・磁力計と白嶺丸航海の既存の重磁力データファイル

Table 2 Navigation system, gravimeter and magnetometer on board R/V Hakurei-maru and existing files for gravity and magnetic data collected by Hakurei-maru cruises

Navigation system, gravimeter and magnetometer						
Device		Manufacturer		Period		
				1974-1982/06	1982/07-1986	1987-1989
Navigation system		Magnavox		Model 200	Model 200 integrated system	Series 5000
Gravimeter		LaCoste & Romberg		S63		SL2
Magnetometer		Geometrics		G801		G866
Existing files for gravity and magnetic data						
Type	Processing step	Data interval	Format	Period		
				1974-1982/06	1982/07-1989	1990-1999
Preserved	Unprocessed data	10 s	Binary	PR79	PR82	NS
Intermediate	Recalculated navigation data	10 s - 1 minute	Ascii	MR		
Final	Navigation + anomaly data	1 - 5 minutes	Ascii	CR80		



第2図 updateと実時間船位・再計算船位(石原, 1977). 航法装置から得られる実時間船位(実線)では衛星測位の位置(星印)が得られるごとにupdateと呼ばれる推測航法の位置(黒丸)からの跳びが発生する. 時刻 T_2 のupdateの跳びのベクトル D_{12} を一つ前の衛星測位からの時間差 T_2-T_1 で割って海水の流れのベクトルの修正量を計算し, それを T_1 から時間で積分して T_1 から T_2 までの修正位置(再計算船位; 破線)を求める.

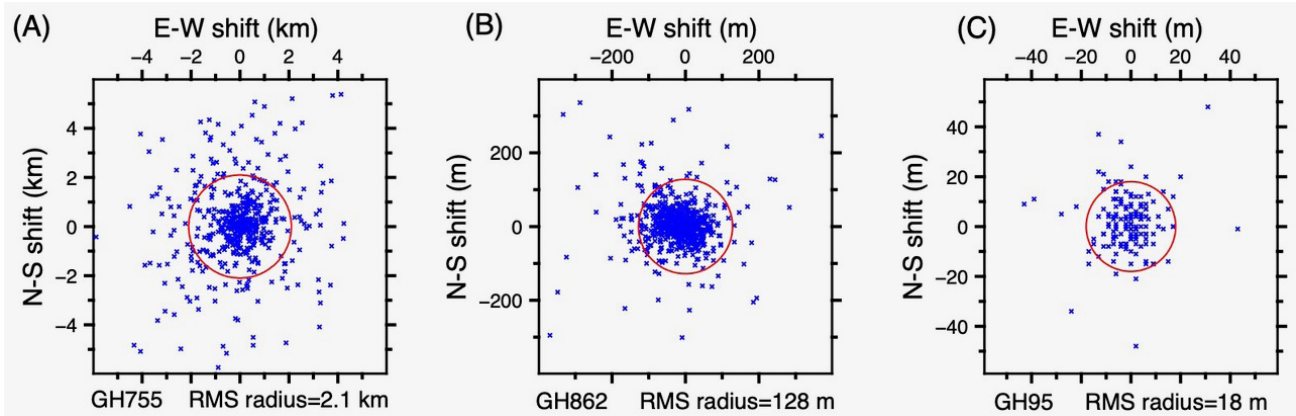
Fig. 2 Updates at satellite fixes and real-time and recalculated ship's positions (after Ishihara, 1977). Jumps from dead reckoning positions (black circles) to satellite fixes (star marks), which are called "updates", occur in real-time ship's positions obtained from the navigation system (solid line). A correction for the water velocity vector is calculated using D_{12} at satellite fix time T_2 divided by the time difference T_2-T_1 . Recalculated ship's positions (broken line) are calculated by integrating this correction term over the time from T_1 and adding it to the real-time positions.

第3図AにGH755航海のupdateのときの位置の跳びの分布を示した. RMS誤差円半径として2.1 kmの跳びとなった. 実際には海水の流れの誤差によりこの跳びが生じたと考え, 得られたデータに位置の跳びがなくなるように海水の流れの再計算を行い, 直前の衛星測位からこの新しい海水の流れを加えた対地速度を時間的に積分して推測位置の再計算を行なっている(第2図; 以後, 再計算後の位置を再計算船位という). 海水の流れも2回の衛星測位の間一定ということは考えにくいので, この再計算船位の誤差も衛星測位の近傍を除いてRMS誤差半径の半分程度(1 km程度)かそれ以上になる可能性がある.

航法装置の更新に伴い, 1983年から1989年まではLORAN-C電波航法データ, 1990年からはGPS航法データも合わせた複合航法が可能になり, 測位精度が向上した. 第3図Bには1983年から1989年までのLORAN-C電波航法を使用した場合のupdateのときの位置の跳びの分布の例としてGH862航海の結果を示したが, RMS誤差円半径は128 mとなった. 第3図Cには1990年以降のGPSも使用可能となった時の例としてGH95航海の結果を示した. GPSの測位精度を100 m程度にまで劣化させるSA (Selective Availabilityという米国国防総省のポリシー)が適用されていたはずであるが, RMS誤差円半径として18 mが得られている. NNSSの衛星測位にも誤差があるが, これはそれを考慮したもともと確からしい位置への跳びの値である (NNSSの陸上固定点での結果では誤差円半径は35 m程度になる; 石原, 1977). 1990年からGPSが利用できる時間帯が徐々に増え, 測位精度が向上した. 1983年以後の測位データにもupdateに伴う位置の跳びが小さいながらもあるので, 擬似的な海水の流れの変化と考えて1982年以前と同じ推測位置の再計算を行なっている.

3. マスターデータの整備とアナログデータのデジタル化

航法装置は重力・磁力・水深データの収録装置も兼ね



第3図 衛星測位時updateの位置の跳び(青色のx印)の分布. RMS誤差円を赤色で示した. A)はGH755航海(電磁ログによる推測航海法), B)はGH862航海(LORAN-Cを含む複合航海システム), C)はGH95(さらにGPSを含む複合システム)で得られたデータ. A)とB)とC)ではスケールが違うのに注意.

Fig. 3 Distribution of position jumps at satellite fixes (blue x marks) and RMS error circle in red. A) Data collected in GH755 cruise with EM-log dead reckoning. B) Data collected in GH862 cruise with integrated navigation system including Loran-C. C) Data collected in GH95 cruise with integrated navigation system including GPS and Loran-C. Note the difference of scales of graphs in A, B and C.

ており, 取得されたデータはオープンリールの磁気テープに記録され, 船上でさらに圧縮・再編成した保存用の磁気テープを作成していた. 当初は測位の精度・電算機的能力等を考慮して5分間隔で処理を行い, 処理結果を別の磁気テープに記録していた. 保存用の磁気テープには10秒間隔のデータが記録されていたが, 時間の経過とともに読取不能となってしまった磁気テープが多く, データ処理後の5分間隔のデジタルデータしか残っていない航海が多かった. これらの航海に対して今回残されていた重力・磁力データのチャート記録をデジタル化して1分間隔のデータを作成することにした. なお, 水深のデータについては, 航海中に, 5分間隔で読みとるか1分間隔でデジタル化していたが, 今回は新たなデジタル化は行わず, 既存のデータのエラーの除去に留めた.

3.1 残存するデジタルデータの確認

第1表のexisting digital dataの欄は見つかった各航海のデジタルデータである. 第2表にはデータファイルについてもまとめてあるが, 保存用のデータファイルには, 衛星から受信したデータ, 衛星測位のデータ, 実時間船位のデータ等が混在しており, その形式も航海装置の更新とともに変更になり, 1982年の更新前のものをPR79, 更新後のものをPR82と表している. 1990年の更新に伴っては元の磁気テープをそのまま保存用ファイル(NSとして表している)としてデータ処理に使った. これらのデータはバイナリ形式で記録されている. これらのデータを元にして処理した結果は当初5分間隔, 途中から1分間隔のデータとしてCR80フォーマット(岸本ほか, 1984)というファイルにまとめていた他, 一部の航海についてはMRファイルという10秒から1分の間隔のデータを

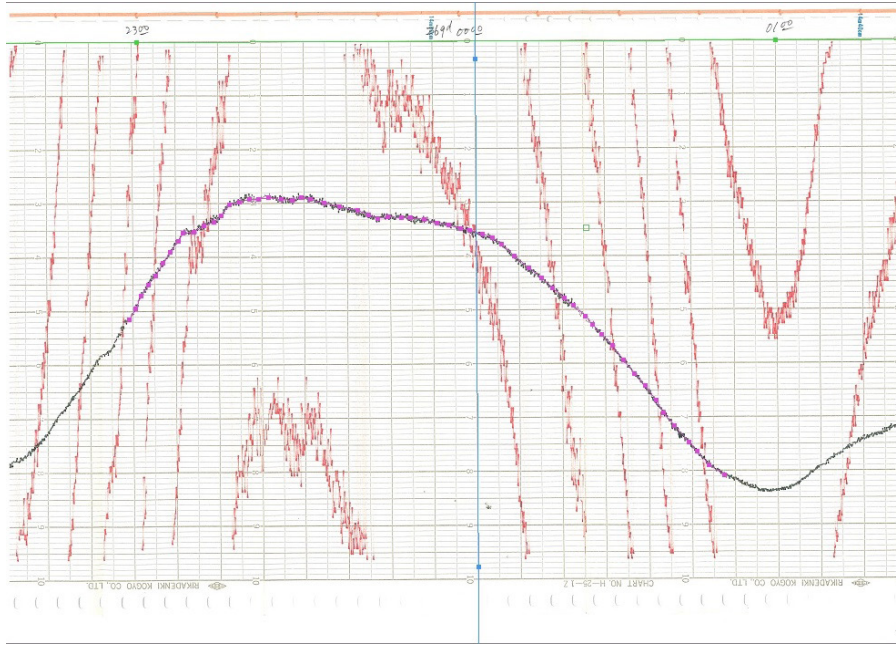
作成していたものが残っていた. CR80ファイルでは重力異常・磁気異常の計算まで済ませているが, MRファイルでは再計算船位までで異常値の計算は行っていない. PR79のデータはほとんど読取不能となっているものが多く, CR80かMRを元データとして使用せざるを得なかった. これらのデータをもとに, 測定値のとび等があるエラーデータは除去し, 再計算船位を求めたものに対して旧日本測地系から世界測地系(WGS84)への変換を行なった. なお, NH942の航海では処理ずみの水深値, 磁気異常値, 重力異常値しか見当たらず, そのまま公開することにした.

3.2 アナログデータのデジタル化

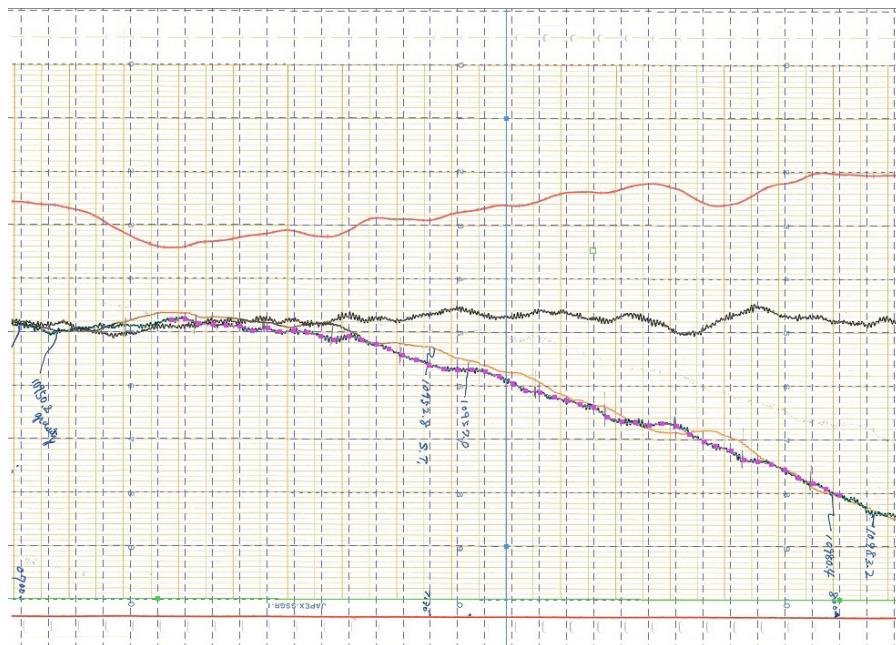
5分間隔のデジタルデータしか残存しない航海について, チャート記録のデジタル化作業を行なった(第1表). 磁力計のチャートは残存しているものが少なく, マンガン航海を中心にデジタル化した. 船上重力計のチャートはほぼ全ての航海のものが残っていた. このうち海洋地質図航海はデジタル化まで行ったが, マンガン航海については時間的制約のため, チャートをスキャンしたjpegファイルを作成するまでに留めた.

第4図に磁力計のチャートのデジタル化の例を示した. まず, 磁力計の長いチャート用紙から1時間程度の時間に相当するA3サイズに分けてスキャンしたjpegの画像ファイルを作成してデジタル化ソフトウェアで読取っていく. フルスケール100 nTの赤線と1000 nTの黒線があるが, 黒線にそって1~3分間隔の点の時刻と磁力値を読取り1分間隔の値をAkimaの補間法(Akima, 1970)で求めた.

第5図には重力計のチャートのデジタル化の例を示し

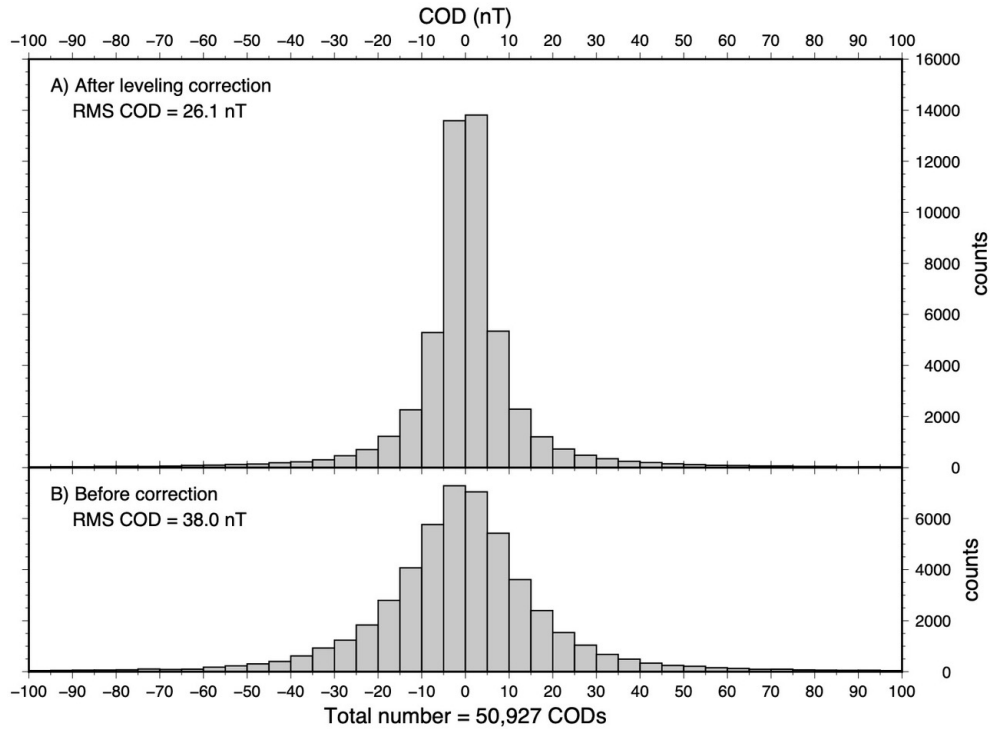


第4図 デジタイズした磁力計のチャートの例。横軸(時間)の2点(緑色)と縦軸(磁力値)の2点(青色)により(時間, 磁力値)のxy座標を決めた後, 黒線(フルスケール 1000 nT)に沿って1~3分おき(紫の点)にデジタイズする。
 Fig. 4 An example of digitized magnetometer chart. Time and magnetic values were defined by two points in green and two points in blue along the horizontal and vertical axes, respectively, and those values at the purple points at 1 to 3 minutes interval were obtained by digitization.



第5図 デジタイズした船上重力計のチャートの例。横軸(時間)の2点(緑色)と縦軸(重力読取値)の2点(青色)により(時間, 重力読取値)のxy座標を決めた後, 緑線(フルスケールほぼ 100 mGal)に沿って1分おきの破線との交点(紫の点)をデジタイズする。

Fig. 5 An example of digitized marine gravimeter chart. Time and gravimetric readings were defined by two points in green and two points in blue along the horizontal and vertical axes, respectively, and those values at the purple points, which are the intersections of green curve and the broken lines at 1 minute interval, were obtained by digitization.



第6図 白嶺丸航海の測線の交点50,927点での磁気異常値の差の分布. A) はレベリング補正後で二乗平均平方根交点誤差(RMS COD) 26.1 nT, B) は補正前でRMS COD 38.0 nT.

Fig. 6 Distribution of 50,927 crossover differences (CODs) of magnetic anomalies obtained by Hakurei-maru cruises. A) After leveling correction with a root mean square (RMS) of 26.1 nT. B) Before correction with an RMS of 38.0 nT.

た. この場合もチャートを45分程度の時間に分けてスキャンしたjpegの画像ファイルを作成してデジタイズのソフトウェアで読取っていく. 値の読み取りは1分間隔の破線の縦線と重力読取値(緑線)との交点で行った. 縦軸のフルスケールは100 (ほぼ100 mGal)であるが, 重力値がチャートの両端にくるとフルスケールの半分(50)移動して真ん中から記録するようになっているので, 読み取った値に100以上の桁の数値と±50を追加して重力値とした.

3.3 デジタルマスターデータの作成

こうしてチャート記録から得られた1分間隔の重磁力データに対しては位置データも必要になるが, これは5分間隔の緯度・経度別々のデータに対してAkimaの補間法(Akima, 1970)を用いて計算し, 以後のデータ処理に使用可能なデジタルマスターデータを作成した.

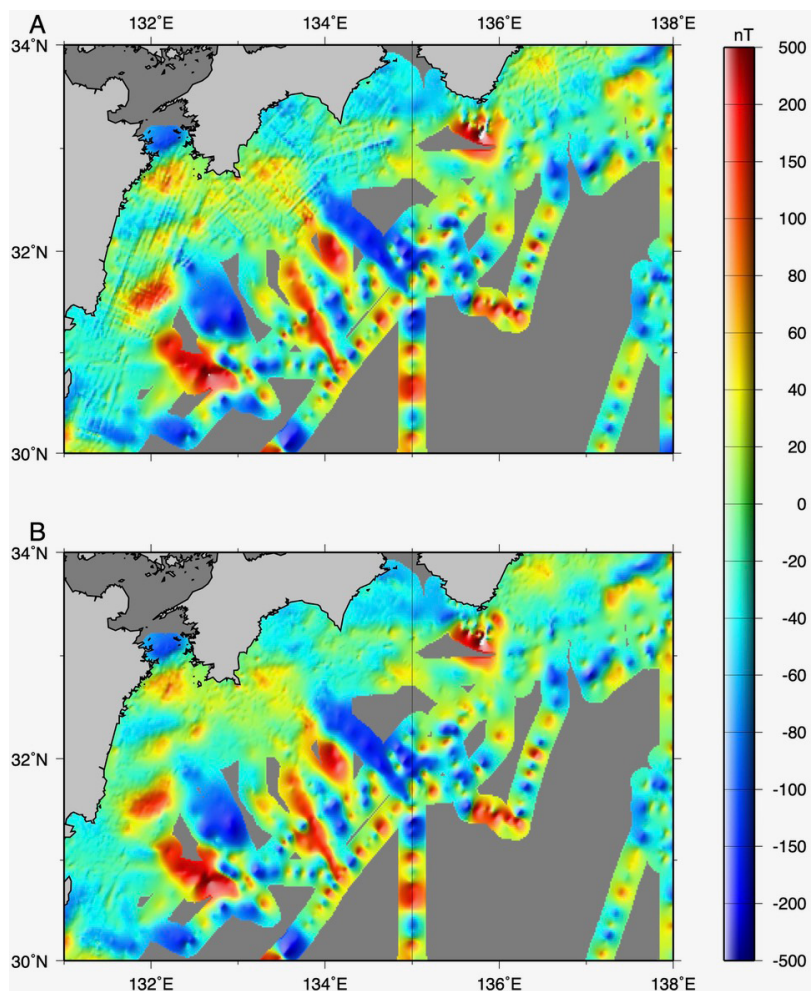
4. 磁力データの処理

地磁気全磁力測定にはGeometrics社製のプロトン磁力計を使用し, 船体磁気の影響を避けるためセンサーを船尾から後方で曳航しているため, 再計算船位から航跡に沿って200 mに相当する時間を遡った位置を地磁気の観測位置とした. 第4図の磁力計のチャート記録からわか

るように, 磁力デジタルデータには短周期のノイズが含まれているので, 幅2分(ノイズの振幅が大きい場合には幅5分)のガウシアンフィルターをかけ, これを磁力データの観測値とした.

4.1 磁気異常値の計算

磁気異常の計算にはCM4モデル(Sabaka *et al.*, 2004)を使用した. このモデルは, 白嶺丸の調査期間全体をカバーする1960.0年から2002.5年にかけての地磁気の永年変化について2.5年間隔の球面調和関数の係数を与えてその間を3次スプライン関数で補間するようになっていて, jerkと呼ばれる5年より短い時間の変動もよく表されており(Chambodut and Manda, 2005), IAGA (国際地磁気・超高層物理学会)が5年間隔で決定しているIGRF (国際標準地球磁場)によるものより永年変化の近似が良い. このモデルには磁気異常を構成するリソスフェアに起源を持つ高次の項も含まれているが, 地球の中心核に起源を持つと考えられている15次までの球面調和関数を使って求めた主磁場モデルの値, そして電離層や磁気圏を流れる電流による日変化のモデルの値が含まれている. これらのモデルの値を全磁力観測値から差引いて磁気異常値とした.



第7図 白嶺丸航海で得られたフィリピン海北部日本沿岸海域の磁気異常. A) レベリング補正前のデータを使ったもの. B) レベリング補正後のもの.

Fig. 7 Magnetic anomalies collected by Hakurei-maru cruises along the Japanese coast in the northern Philippine Sea. A) Before leveling correction. B) After leveling correction.

4.2 レベリング補正

得られた磁気異常値は永年変化や日変化の影響が取り除かれているはずであるが、これらの補正が不正確な場合がある。Ishihara (2015)は周りの観測点からの距離に応じた重みつき平均値で各観測点の補正量を計算し、各測線に沿った時間領域でのローパスフィルターを用いてレベリング補正する方法を考案した。ここでは、この方法を簡略化したレベリング補正の方法をデータに適用した。まず、データをほぼ直線で近似できる測線に分割する。Ishihara(2015)では全ての観測点に対してその周りの観測点の寄与を計算する必要があったが、新しい方法では重み付きの補正量は測線間の計算だけでよい。全ての測線同士の最接近する点(一般には観測点を補間した点で交点を含む)の距離が15 km以下のものについて両者の磁気異常値の差を求め、各々の再接点での距離の関数の重み付きの補正量を与える。それらに測線に沿った時間領域でのローパスフィルターをかけて各観測点での補正量を求める。ローパスフィルターの時間幅としては6時間を採用した。計算された補正量を用いて新たな補正量の計算を行い、この計算を補正量に変化しなくなるまで30回繰り返した。このレベリング補正により、測線

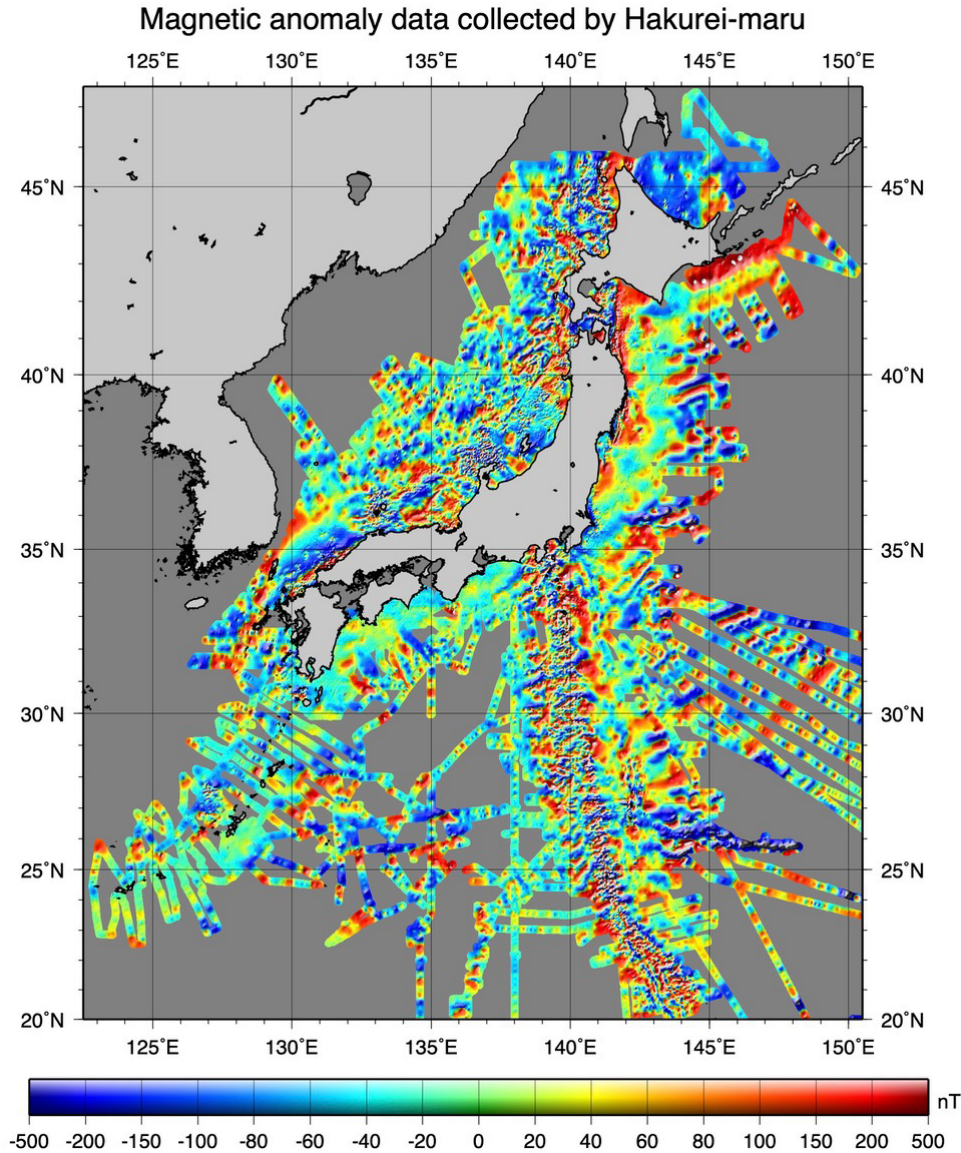
間の全交点50,927点に対する磁気異常値のRMS CODが38.0 nTから26.1 nTへと減少した(第6図)。

4.3 磁気異常図

第7図にはフィリピン海の日本列島沿岸部について、上述のレベリング補正前後の磁気異常図を比較して示した。補正前の図の日向灘から高知沖、熊野灘にかけての沿岸近くに見られる測線に沿って直線上に伸びる不自然な異常が、補正後の図にはほぼ完全に消えていることがわかる。第8図にレベリング補正後のデータを使った日本列島周辺の磁気異常図を示した。

5. 重力データの処理

重力測定は1986年まではLaCoste & Romberg社製S63船上重力計、1987以降は同じ同社製のSL2船上重力計を使用した。後者はセンサーが鉛直方向のみに動くように工夫してビーム型重力計にみられるクロスカップリング補正を不要にしたストレートライン型の重力計であるが、精度はビーム型重力計とほとんど変わらない(LaCoste, 1983; Valliant, 1991)。旧地質調査所による白嶺丸航海のほぼ全てのデータが集まったので、重力計のドリフト



第8図 白嶺丸航海で取得されたレベリング補正後のデータを使って作成した日本周辺の磁気異常図。

Fig. 8 Magnetic anomaly map around Japan created using data obtained by Hakurei-maru cruises after leveling correction.

やフィルターの問題について検討してみた。なお、入港地での重力計読取値、絶対重力値については石油公団による南極調査のデータも含めて検討した。

5.1 ドリフトと変換係数

船上重力計による観測は相対測定なので、船橋港埠頭での陸上の重力値と出港時及び入港時の船上重力計の読取値を既知の絶対重力値に接続することで海上での重力値を計算している。船橋港以外での入港地も含めて重力計のドリフト(船上重力計読取値の時間変化)を調べた(第3表、第4表)。異なる重力値のデータを比較するためmeter zeroという値を使う(Nettleton, 1976)。これは各点での絶対重力値から読取値にmGal単位への変換係数

を乗じた値を差引いたもので、読取値が0のときの仮想的な絶対重力値を意味している。線型性の良いセンサーを使っているのでメーカーから全測定範囲に対して1つの変換係数(S63に対しては0.9992, SL2に対しては読取値が既に変換済みということで1)が与えられているが、この変換係数が正確なら、船橋港以外の入港地も含めてスムーズなドリフトの曲線が得られるはずである。

第9図A, BはそれぞれS63重力計, SL2重力計のドリフトをmeter zeroで示したものである。S63重力計(第9図A)では1年程度の周期的な変化を除くと、船橋港以外も含めてスムーズなドリフト曲線が得られたが、SL2重力計(第9図B)の場合、変換係数1では船橋港からの重力値の差に比例してスムーズな曲線からのズレが大きくなる

第3表 船橋基地及び寄港地でのS63重力計読取値と重力値・meter zero

Table 3 S63 readings, gravity values and meter zero at Funabashi and other ports

Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter zero
Chiba	GH742	1974	129	979763.4	10635.3	969136.6
Chiba	GH742	1974	149	979763.4	10636.2	969135.7
Chiba	GH743	1974	161	979763.4	10641.2	969130.7
Futami	GH743	1974	166	979441.4	10318.7	969131.0
Chiba	GH743	1974	180	979763.4	10642.0	969129.9
Chiba	GH744	1974	189	979763.4	10641.6	969130.3
Chiba	GH744	1974	226	979763.4	10654.3	969117.6
Chiba	GH745	1974	226	979763.4	10654.3	969117.6
Chiba	GH745	1974	290	979763.4	10642.8	969129.1
Funabashi	GH745	1974	291	979789.4	10667.4	969130.5
Funabashi	GH746	1974	301	979789.4	10673.0	969124.9
Funabashi	GH746	1974	305	979789.4	10672.5	969125.4
Funabashi	GH747	1974	316	979789.4	10671.4	969126.5
Funabashi	GH747	1974	349	979789.4	10669.0	969128.9
Funabashi	GH751	1975	19	979789.4	10678.6	969119.3
Funabashi	GH751	1975	49	979789.4	10672.0	969125.9
Funabashi	GH752	1975	107	979789.4	10675.2	969122.7
Funabashi	GH752	1975	116	979789.4	10676.0	969121.9
Funabashi	GH753	1975	128	979789.4	10679.0	969118.9
Funabashi	GH753	1975	162	979789.4	10676.0	969121.9
Funabashi	GH754	1975	167	979789.4	10677.8	969120.1
Kochi	GH754	1975	176	979621.8	10512.0	969118.2
Funabashi	GH754	1975	188	979789.4	10679.0	969118.9
Funabashi	GH755	1975	197	979789.4	10678.5	969119.4
Funabashi	GH755	1975	234	979789.4	10679.1	969118.8
Funabashi	GH761	1976	10	979789.4	10679.2	969118.7
Honolulu	GH761	1976	36	978929.5	9817.5	969119.9
Funabashi	GH761	1976	69	979789.4	10681.7	969116.2
Funabashi	GH762	1976	108	979789.4	10687.0	969110.9
Kamaishi	GH762	1976	123	980247.2	11141.0	969115.1
Funabashi	GH762	1976	156	979789.4	10678.2	969119.7
Funabashi	GH763	1976	167	979789.4	10683.8	969114.1
Shiogama	GH763	1976	212	980132.3	11026.5	969114.6
Funabashi	GH763	1976	217	979789.4	10683.8	969114.1
Funabashi	GH771	1977	12	979789.4	10695.6	969102.4
Funabashi	GH771	1977	70	979789.4	10688.4	969109.6
Funabashi	GH772	1977	109	979789.4	10698.8	969099.2
Sakaiminato	GH772	1977	135	979809.0	10710.3	969107.3
Funabashi	GH772	1977	148	979789.4	10686.2	969111.7
Funabashi	GH773-1	1977	165	979789.4	10694.9	969103.1
Niigata	GH773-1	1977	191	979978.8	10877.7	969109.8
Niigata	GH773-2	1977	218	979978.8	10873.5	969114.0
Funabashi	GH773-2	1977	224	979789.4	10687.0	969110.9
Funabashi	GH781	1977	355	979789.4	10749.4	969048.6
Funabashi	GH781	1977	356	979789.4	10749.4	969048.6
Funabashi	GH781	1977	358	979789.4	10749.4	969048.6
Funabashi	GH781	1977	365	979789.4	10746.5	969051.5
Funabashi	GH781	1978	5	979789.4	10726.1	969071.9
Funabashi	GH781	1978	7	979789.4	10723.1	969074.9
Suva	GH781	1978	40	978610.1	9513.3	969104.4
Funabashi	GH781	1978	65	979789.4	10692.5	969105.5
Funabashi	GH782	1978	108	979789.4	10688.0	969110.0
Niigata	GH782	1978	122	979978.8	10877.5	969110.0
Hakodate	GH782	1978	140	980377.5	11278.4	969108.1
Funabashi	GH782	1978	153	979789.4	10690.5	969107.5
Funabashi	GH783	1978	164	979789.4	10691.2	969106.8
Sakaiminato	GH783	1978	174	979808.8	10712.6	969104.8
Funabashi	GH783	1978	185	979789.4	10694.0	969104.0

白嶺丸重磁力データの整備・公開 (石原)

第3表 続き.

Table 3 Continued.

Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter zero
Funabashi	GH784	1978	193	979789.4	10698.9	969099.1
Hakodate	GH784	1978	219	980377.5	11288.9	969097.6
Funabashi	GH784	1978	224	979789.4	10700.4	969097.6
Funabashi	GH791	1979	13	979789.4	10691.9	969106.1
Honolulu	GH791	1979	36	978929.5	9835.5	969101.9
Funabashi	GH791	1979	72	979789.4	10703.2	969094.8
Funabashi	GH792	1979	106	979789.4	10696.4	969101.6
Futami	GH792	1979	122	979441.7	10351.6	969098.4
Funabashi	GH792	1979	135	979789.4	10701.8	969096.2
Funabashi	GH793	1979	148	979789.4	10703.7	969094.3
Futami	GH792	1979	159	979441.7	10354.7	969095.3
Futami	GH792	1979	174	979441.7	10355.2	969094.8
Funabashi	GH793	1979	187	979789.4	10706.0	969092.0
Funabashi	GH794	1979	194	979789.4	10708.6	969089.4
Okada	GH794	1979	217	979855.4	10775.3	969088.7
Funabashi	GH794	1979	223	979789.4	10709.1	969088.9
Funabashi	GH801	1980	12	979789.4	10699.4	969098.6
Papeete	GH801	1980	38	978700.2	9615.7	969092.2
Papeete	GH801	1980	45	978700.2	9617.5	969090.4
Funabashi	GH801	1980	71	979789.4	10712.4	969085.6
Funabashi	GH802	1980	109	979789.4	10704.6	969093.4
Chiba	GH802	1980	123	979763.4	10674.5	969097.4
Funabashi	GH802	1980	138	979789.4	10707.8	969090.2
Funabashi	GH803	1980	143	979789.4	10707.6	969090.4
Funabashi	GH804	1980	184	979789.4	10714.2	969083.8
Okada	GH804	1980	213	979855.4	10782.1	969081.9
Funabashi	GH804	1980	218	979789.4	10716.4	969081.6
Funabashi	GH805	1980	223	979789.4	10717.2	969080.8
Honolulu	GH805	1980	249	978929.5	9854.7	969082.7
Hilo	GH805	1980	253	978864.6	9790.9	969081.5
Funabashi	GH805	1980	283	979789.4	10717.4	969080.6
Val Paraiso	TH80	1981	14	979621.5	10544.1	969085.8
Funabashi	GH811	1981	105	979789.4	10700.1	969097.9
Kamaishi	GH811	1981	118	980247.2	11156.4	969099.7
Funabashi	GH811	1981	134	979789.4	10700.7	969097.3
Funabashi	GH812	1981	142	979789.4	10702.0	969096.0
Shiogama	GH812	1981	153	980132.3	11045.7	969095.4
Onahama	GH812	1981	167	980008.8	10923.2	969094.3
Funabashi	GH812	1981	181	979789.4	10705.1	969092.9
Funabashi	GH813	1981	189	979789.4	10706.4	969091.6
Shiogama	GH813	1981	203	980132.3	11051.2	969090.0
Onahama	GH813	1981	211	980008.8	10928.5	969089.0
Funabashi	GH813	1981	218	979789.4	10711.4	969086.6
Funabashi	GH814	1981	226	979789.4	10722.3	969075.7
Funabashi	GH814	1981	285	979789.4	10723.2	969074.8
Funabashi	TH81	1981	328	979789.4	10717.3	969080.7
Val Paraiso	TH81	1981	360	979621.5	10550.6	969079.3
Val Paraiso	TH81	1982	40	979621.5	10542.0	969087.9
Funabashi	GH821	1982	71	979789.4	10719.6	969078.4
Funabashi	GH821	1982	105	979789.4	10717.0	969081.0
Kochi	GH821	1982	121	979621.8	10552.8	969077.4
Funabashi	GH821	1982	139	979789.4	10724.4	969073.6
Funabashi	GH822	1982	147	979789.4	10724.8	969073.2
Funabashi	GH822	1982	176	979789.4	10728.4	969069.6
Funabashi	GH823	1982	183	979789.4	10728.4	969069.6
Hakodate	GH823	1982	200	980377.5	11315.7	969070.9
Funabashi	GH823	1982	217	979789.4	10729.0	969069.0
Funabashi	GH824	1982	226	979789.4	10730.6	969067.4
Funabashi	GH824	1982	285	979789.4	10732.9	969065.1

第3表 続き.

Table 3 Continued.

Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter zero
Funabashi	TH82	1982	332	979789.4	10730.3	969067.7
Sydney	TH82	1982	351	979675.1	10616.7	969066.9
Sydney	TH82	1983	52	979674.8	10605.1	969078.2
Funabashi	GH831	1983	105	979789.4	10722.9	969075.1
Kochi	GH831	1983	122	979621.8	10568.0	969062.3
Funabashi	GH831	1983	144	979789.4	10735.3	969062.7
Funabashi	GH832	1983	154	979789.4	10737.8	969060.2
Kochi	GH832	1983	188	979621.8	10578.9	969051.4
Kochi	GH832	1983	207	979621.8	10572.0	969058.3
Funabashi	GH832	1983	213	979789.4	10738.4	969059.6
Funabashi	GH833	1983	220	979789.4	10741.0	969057.0
Papeete	GH833	1983	250	978700.2	9650.5	969057.4
Papeete	GH833	1983	256	978700.2	9648.8	969059.1
Funabashi	GH833	1983	279	979789.4	10739.9	969058.1
Sydney	TH83	1983	347	979672.2	10619.4	969061.3
Fremantle	TH83	1984	5	979402.9	10343.5	969067.7
Sydney	TH83	1984	49	979672.2	10613.0	969067.7
Funabashi	GH841	1984	107	979789.4	10723.3	969074.7
Funabashi	GH841	1984	136	979789.4	10727.5	969070.5
Funabashi	GH842	1984	142	979789.4	10727.9	969070.1
Funabashi	GH842	1984	181	979789.4	10736.8	969061.2
Funabashi	GH843	1984	187	979789.4	10737.6	969060.4
Funabashi	GH843	1984	243	979789.4	10745.0	969053.0
Futami	GH844	1984	266	979441.4	10397.9	969051.8
Funabashi	GH844	1984	282	979789.4	10745.6	969052.4
Fremantle	TH84	1984	346	979402.9	10366.0	969045.2
Fremantle	TH84	1985	7	979402.9	10359.1	969052.1
Fremantle	TH84	1985	11	979402.9	10359.7	969051.5
Fremantle	TH84	1985	46	979402.9	10357.1	969054.1
Funabashi	GH851	1985	105	979789.4	10735.6	969062.4
Futami	GH851	1985	128	979441.4	10394.3	969055.4
Funabashi	GH851	1985	144	979789.4	10744.8	969053.2
Funabashi	GH852	1985	150	979789.4	10745.9	969052.1
Funabashi	GH852	1985	200	979789.4	10752.8	969045.2
Funabashi	GH853	1985	207	979789.4	10753.8	969044.2
Futami	GH853	1985	224	979441.4	10407.0	969042.7
Funabashi	GH853	1985	246	979789.4	10756.2	969041.8
Funabashi	GH854	1985	253	979789.4	10756.5	969041.5
Funabashi	GH854	1985	282	979789.4	10753.3	969044.7
Port Moresby	TH85	1985	355	978907.5	9873.9	969041.5
Port Moresby	TH85	1986	35	978907.5	9862.5	969052.9
Funabashi	GH861	1986	105	979789.4	10733.0	969065.0
Futami	GH861	1986	118	979441.4	10399.1	969050.6
Futami	GH861	1986	120	979441.4	10398.8	969050.9
Futami	GH861	1986	133	979441.4	10402.2	969047.5
Futami	GH861	1986	135	979441.4	10402.7	969047.0
Funabashi	GH861	1986	149	979789.4	10751.2	969046.8
Funabashi	GH862	1986	155	979789.4	10751.5	969046.5
Funabashi	GH862	1986	204	979789.4	10756.3	969041.7
Funabashi	GH863	1986	210	979789.4	10754.8	969043.2
Ftami	GH863	1986	228	979441.4	10404.1	969045.6
Funabashi	GH863	1986	244	979789.4	10754.6	969043.4
Funabashi	GH864	1986	251	979789.4	10754.7	969043.3
Funabashi	GH864	1986	280	979789.4	10749.4	969048.6
Val Paraiso	TH86	1987	1	979621.5	10582.2	969047.8

白嶺丸重磁力データの整備・公開（石原）

第4表 船橋基地及び寄港地でのSL2重力計読取値と重力値・meter zero

Table 4 SL2 readings, gravity values and meter zero at Funabashi and other ports

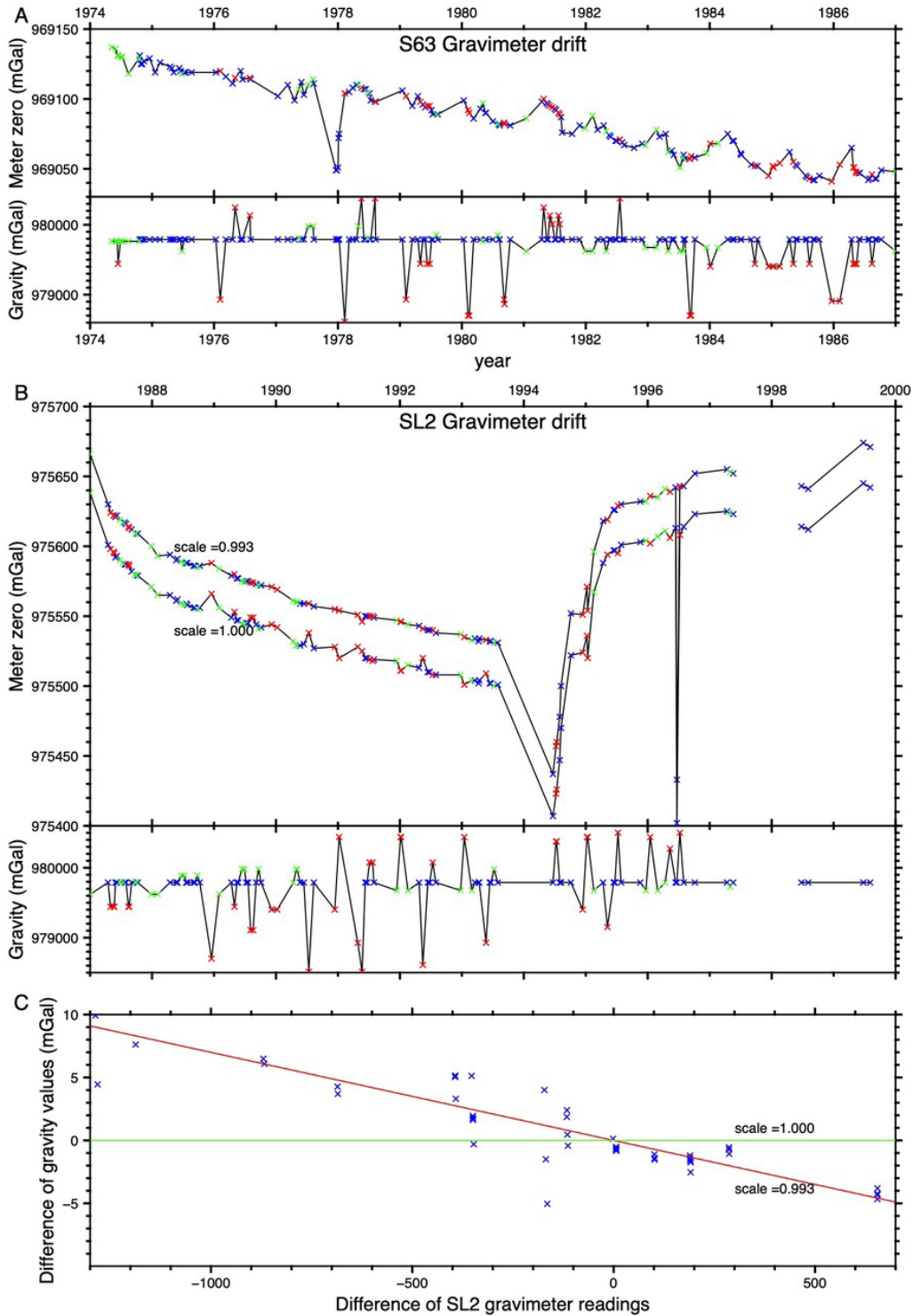
Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter1*	Meter2#
Valparaiso	TH86	1987	1	979619.7	3981.6	975638.1	975666.0
Funabashi	GH871	1987	105	979789.4	4188.5	975600.9	975630.2
Futami	GH871	1987	120	979441.7	3844.2	975597.5	975624.4
Futami	GH871	1987	139	979441.7	3846.2	975595.5	975622.4
Futami	GH871	1987	141	979441.7	3846.3	975595.4	975622.3
Funabashi	GH871	1987	149	979789.4	4197.6	975591.8	975621.2
Funabashi	GH872	1987	156	979789.4	4196.8	975592.6	975622.0
Maizuru	GH872	1987	174	979795.0	4205.2	975589.8	975619.2
Maizuru	GH872	1987	177	979795.0	4205.5	975589.5	975618.9
Maizuru	GH872	1987	194	979795.0	4207.1	975587.9	975617.3
Funabashi	GH872	1987	205	979789.4	4202.2	975587.2	975616.6
Funabashi	GH873	1987	212	979789.4	4202.4	975587.0	975616.4
Futami	GH873	1987	227	979441.7	3855.1	975586.6	975613.6
Futami	GH873	1987	230	979441.7	3855.4	975586.3	975613.3
Funabashi	GH874	1987	246	979789.4	4207.1	975582.3	975611.7
Maizuru	GH874	1987	268	979795.0	4215.3	975579.7	975609.2
Maizuru	GH874	1987	271	979795.0	4215.6	975579.4	975608.9
Funabashi	GH874	1987	282	979789.4	4210.3	975579.1	975608.6
Valparaiso	TH87	1987	363	979619.6	4048.2	975571.4	975599.7
Valparaiso	TH87	1988	34	979619.6	4054.5	975565.1	975593.5
Funabashi	GH881	1988	105	979789.4	4224.7	975564.7	975594.3
Futami	GH881	1988	128	979441.7	3877.7	975564.0	975591.1
Funabashi	GH881	1988	144	979789.4	4228.6	975560.8	975590.4
Funabashi	GH882	1988	151	979789.4	4227.5	975561.9	975591.5
Fushiki	GH882	1988	173	979889.5	4330.6	975558.9	975589.2
Fushiki	GH882	1988	191	979889.5	4331.4	975558.1	975588.4
Funabashi	GH882	1988	200	979789.4	4230.8	975558.6	975588.2
Funabashi	GH883	1988	207	979789.4	4231.1	975558.3	975587.9
Futami	GH883	1988	226	979441.7	3882.2	975559.5	975586.7
Funabashi	GH883	1988	246	979789.4	4233.0	975556.4	975586.0
Funabashi	GH884	1988	252	979789.4	4233.1	975556.3	975585.9
Fushiki	GH884	1988	265	979889.5	4334.6	975554.9	975585.2
Funabashi	GH884	1988	281	979789.4	4233.1	975556.3	975585.9
Papeete	TH88	1988	351	978700.4	3134.7	975565.7	975587.6
Valparaiso	TH88	1989	31	979621.5	4065.7	975555.8	975584.3
Funabashi	GH891	1989	102	979789.4	4240.4	975549.0	975578.7
Futami	GH891	1989	122	979441.7	3888.6	975553.1	975580.3
Funabashi	GH891	1989	135	979789.4	4242.1	975547.3	975577.0
Funabashi	GH892	1989	142	979789.4	4242.5	975546.9	975576.6
Niigata	GH892	1989	163	979978.0	4434.4	975543.6	975574.6
Niigata	GH892	1989	180	979978.0	4434.1	975543.9	975574.9
Funabashi	GH892	1989	191	979789.4	4244.3	975545.1	975574.8
Funabashi	GH893	1989	199	979789.4	4244.0	975545.4	975575.1
Naha	GH893	1989	214	979108.4	3559.8	975548.6	975573.5
Naha	GH893	1989	231	979108.1	3559.5	975548.6	975573.5
Funabashi	GH894	1989	250	979789.4	4245.7	975543.7	975573.4
Funabashi	GH894	1989	263	979978.9	4437.7	975541.2	975572.3
Funabashi	GH894	1989	279	979789.4	4247.4	975542.0	975571.7
Fremantle	TH89	1989	341	979400.9	3857.2	975543.7	975570.7
Fremantle	TH89	1990	8	979400.9	3859.1	975541.8	975568.8
Funabashi	GH90	1990	103	979788.1	4256.5	975531.6	975561.4
Niigata	GH90	1990	121	979978.0	4448.9	975529.1	975560.2
Niigata	GH90	1990	124	979978.0	4448.9	975529.1	975560.2
Funabashi	GH90	1990	142	979789.4	4260.1	975529.3	975559.1
Funabashi	NH901	1990	164	979789.4	4259.8	975529.6	975559.4
Apra	NH901	1990	193	978512.5	2974.2	975538.3	975559.1
Funabashi	NH901	1990	223	979789.4	4262.3	975527.1	975556.9
Fremantle	TH90	1990	347	979400.9	3873.4	975527.5	975554.6
Fremantle	TH90	1991	7	980440.6	4920.8	975519.8	975554.2
Funabashi	NH911	1991	118	978925.9	3398.4	975527.5	975551.3
Funabashi	NH911	1991	142	978512.5	2987.6	975524.9	975545.8
Funabashi	NH911	1991	161	979789.4	4269.4	975520.0	975549.9

第4表 続き.

Table 4 Continued.

Port	Cruise	Year	JD	Gravity	Reading	Meter1*	Meter2#
Funabashi	GH91	1991	171	979789.4	4269.2	975520.2	975550.1
Sakata	GH91	1991	186	980075.1	4556.5	975518.6	975550.5
Sakata	GH91	1991	203	980075.1	4556.6	975518.5	975550.4
Funabashi	GH91	1991	210	979789.4	4270.6	975518.8	975548.7
Sydney	TH91	1991	348	979674.9	4157.0	975517.9	975547.0
Hobart	TH91	1992	3	980440.1	4928.8	975511.3	975545.8
Hobart	TH91	1992	8	980440.1	4928.8	975511.3	975545.8
Sydney	TH91	1992	47	979674.9	4159.7	975515.2	975544.3
Koror	NH921	1992	114	978367.6	2844.4	975523.2	975543.1
Suva	NH921	1992	134	978610.1	3090.6	975519.5	975541.1
Funabashi	NH921	1992	164	979789.4	4279.8	975509.6	975539.6
Funabashi	GH92	1992	174	979789.4	4279.3	975510.1	975540.1
Sakata	GH92	1992	192	980075.1	4566.6	975508.5	975540.5
Funabashi	GH92	1992	213	979789.4	4281.2	975508.2	975538.2
Sydney	TH92	1992	359	979675.8	4167.7	975508.1	975537.3
Hobart	TH92	1993	14	980439.4	4938.7	975500.7	975535.3
Sydney	TH92	1993	57	979675.4	4171.2	975504.2	975533.4
Funabashi	NH931	1993	76	979789.4	4285.1	975504.3	975534.3
Funabashi	NH931	1993	97	979789.4	4287.0	975502.4	975532.4
Funabashi	NH931	1993	103	979789.4	4285.5	975503.9	975533.9
Honolulu	NH931	1993	144	978928.1	3419.4	975508.7	975532.6
Funabashi	NH931	1993	164	979789.4	4287.4	975502.0	975532.0
Funabashi	GH93	1993	172	979789.4	4287.6	975501.8	975531.8
Niigata	GH93	1993	190	979978.0	4478.2	975499.8	975531.1
Funabashi	GH93	1993	211	979789.4	4288.6	975500.8	975530.8
Funabashi	GH94	1994	171	979789.4	4382.6	975406.8	975437.5
Hakodate	GH94	1994	189	980377.3	4954.7	975422.6	975457.3
Hakodate	GH94	1994	192	980377.3	4951.7	975425.6	975460.3
Funabashi	GH94	1994	210	979789.4	4342.1	975447.3	975477.7
Funabashi	NH942	1994	219	979789.4	4319.4	975470.0	975500.2
Funabashi	NH942	1994	279	979789.4	4267.7	975521.7	975551.6
Fremantle	TH94	1994	347	979401.8	3878.1	975523.7	975550.8
Hobart	TH94	1995	6	980439.1	4902.6	975536.5	975570.8
Hobart	TH94	1995	10	980439.1	4919.1	975520.0	975554.4
Sydney	TH94	1995	49	979675.1	4107.7	975567.4	975596.2
Funabashi	NH951	1995	104	979789.4	4200.9	975588.5	975617.9
Brisbane	NH951	1995	129	979150.7	3557.0	975593.7	975618.6
Funabashi	NH951	1995	163	979789.4	4192.4	975597.0	975626.3
Funabashi	GH95	1995	170	979789.4	4192.7	975596.7	975626.0
Otaru	GH95	1995	188	980501.8	4906.8	975595.0	975629.3
Otaru	GH95	1995	191	980501.8	4906.8	975595.0	975629.3
Funabashi	GH95	1995	209	979789.4	4188.5	975600.9	975630.2
Sydney	TH95	1995	355	979674.9	4070.9	975604.0	975632.5
Hobart	TH95	1996	15	980439.1	4836.9	975602.2	975636.1
Sydney	TH95	1996	59	979674.9	4068.3	975606.6	975635.1
Funabashi	NH961	1996	103	979788.3	4176.9	975611.4	975640.6
Wellington	NH961	1996	131	980273.5	4667.6	975605.9	975638.6
Funabashi	NH961	1996	164	979789.4	4176.7	975612.7	975641.9
Funabashi	GH96	1996	173	979789.4	4387.0	975402.4	975433.1
Otaru	GH96	1996	191	980501.2	4892.8	975608.4	975642.6
Funabashi	GH96	1996	212	979789.4	4175.4	975614.0	975643.2
Funabashi	GH96	1996	278	979789.4	4166.3	975623.1	975652.3
Funabashi	GH97	1997	101	979789.4	4164.0	975625.4	975654.5
Funabashi	GH97	1997	120	979729.9	4105.4	975624.5	975653.2
Funabashi	GH97	1997	140	979789.4	4166.2	975623.2	975652.4
Funabashi	GH98	1998	176	979789.4	4175.8	975613.6	975642.8
Funabashi	GH98	1998	215	979789.4	4177.3	975612.1	975641.3
Funabashi	GH99	1999	164	979789.4	4170.0	975619.4	975648.6
Funabashi	GH99	1999	185	979789.4	4170.0	975619.4	975648.6

*Meter zero for scale =1.0; #Meter zero for scale =0.993 mGal.



第9図 白嶺丸搭載船上重力計のドリフト。A) S63重力計。B) SL2重力計。各図の下には入港時の重力値，上にはmeter zeroの値をx印で示している。船橋停泊中を青色で，他の港への入港時は船橋からの重力値の差が200 mGal以上の場合を赤色，それ未満の場合を緑色で示している。C) 船橋港以外と対応する船橋港の重力値とSL2重力計読取値の比較。横軸に読取値の差，縦軸に重力値の差-読取値の差の点をx印で示した。緑線と赤線はそれぞれ変換係数が1と0.993の場合に相当する。

Fig. 9 Drift of the gravimeters on board Hakurei-maru. A) S63 gravimeter. B) SL2 gravimeter. Gravity values and meter zero values at ports are plotted at the bottom and top of each figure, respectively. Values at Funabashi port are shown in blue, while those at other ports with difference of gravity values from Funabashi > 200 mGal and < 200 mGal are shown in red and green, respectively. C) Difference of gravity values from Funabashi port - difference of SL2 gravimeter readings from Funabashi port as function of difference of gravimeter readings from Funabashi port. Green and red lines show the cases of conversion factors of 1 and 0.993, respectively.

ような曲線が得られた。SL2重力計の変換係数の影響について第9図Cで検討した。長い期間のドリフト変化の影響を避けるため、船橋港以外の港での重力計読取値からその日の船橋港での仮想読取値(直前と直後の船橋港での読取値から時間的に線型のドリフト変化を仮定して得られる値)を差し引いた値(Aとする)に対して、両港の絶対重力値の差からAの値を差し引いた値をプロットした。変換係数が1であれば水平な直線(緑線)の上に乗るはずであるが、右下がりの傾向が明瞭である。ばらつきもあるが、変換係数を0.993とする赤線ではほぼ近似できることがわかった。第9図Bには変換係数が0.993の場合も示しているが、よりスムーズなドリフト曲線になった。このため、SL2の全データに対しては変換係数を0.993として再計算することにした。なお、S63重力計のドリフトでは1978年初めに50 mGalを越すような変化が見られるが、これは1977年の航海後にセンサーのヒーターの電源をオフにしていたためとみられ、その後はセンサーのヒーターを常時通電するようにした結果、大きな変化はみられなくなった。SL2重力計についても1994年、1996年の2回にわたり大きな変化が見られるが、原因は不明である。

5.2 フィルター処理

S63船上重力計からの出力は船の動揺による鉛直方向の高周波の加速度等の影響を取り除くため、アナログの電子回路を通して3段階の時定数20秒のRCフィルターと2段階の時定数60秒のRCフィルターがかけられ、計3分の遅延が生じる(Valliant, 1991)。この出力に対して時間的に対称で遅延がなくなるようにデジタルフィルターをかけることにした。このため、1分間隔のデータに対してはまずAkimaの補間法(Akima, 1970)を用いて10秒間隔の時系列データを作成した(5分間隔のデータについてはこの計算は実施せず元のデータをそのまま使用している)。この時系列データに対して、時定数20秒のもの3回と60秒のもの2回の逆方向のRCデジタルフィルターを通して時間に対して対称で遅延がないデータを作成することができた。なお、SL2重力計では10秒間隔の値に対して幅520秒のガウシアンフィルターに近いデジタルフィルターがかかって時間的にほぼ対称で5分遅延したデータが出力されるようになっているので5分前の時刻のデータとした。

フリーエア異常値を求めるためには、こうして得られた重力観測値に緯度補正とエトベス補正を施す必要がある。緯度補正は1980年の測地基準系に基づく正規重力式により求めた(Moritz, 2000)。エトベス補正は船速と船の進行方向のデータを用いて計算することができるが(Glick, 1962)、いくつかの航海のエトベス補正のデータでフィルター結果を見たところ、重力観測値と同じローパスフィルター(S63重力計の場合には上記の時間

に対して対称なフィルター)をかけただけでは高周波のノイズが残っていたので、さらに時定数1分のRCフィルターを正逆方向に2回ずつかけたものをエトベス補正值とし、フリーエア異常値を計算した。

5.3 交点誤差とアルチメトリ重力異常による補正

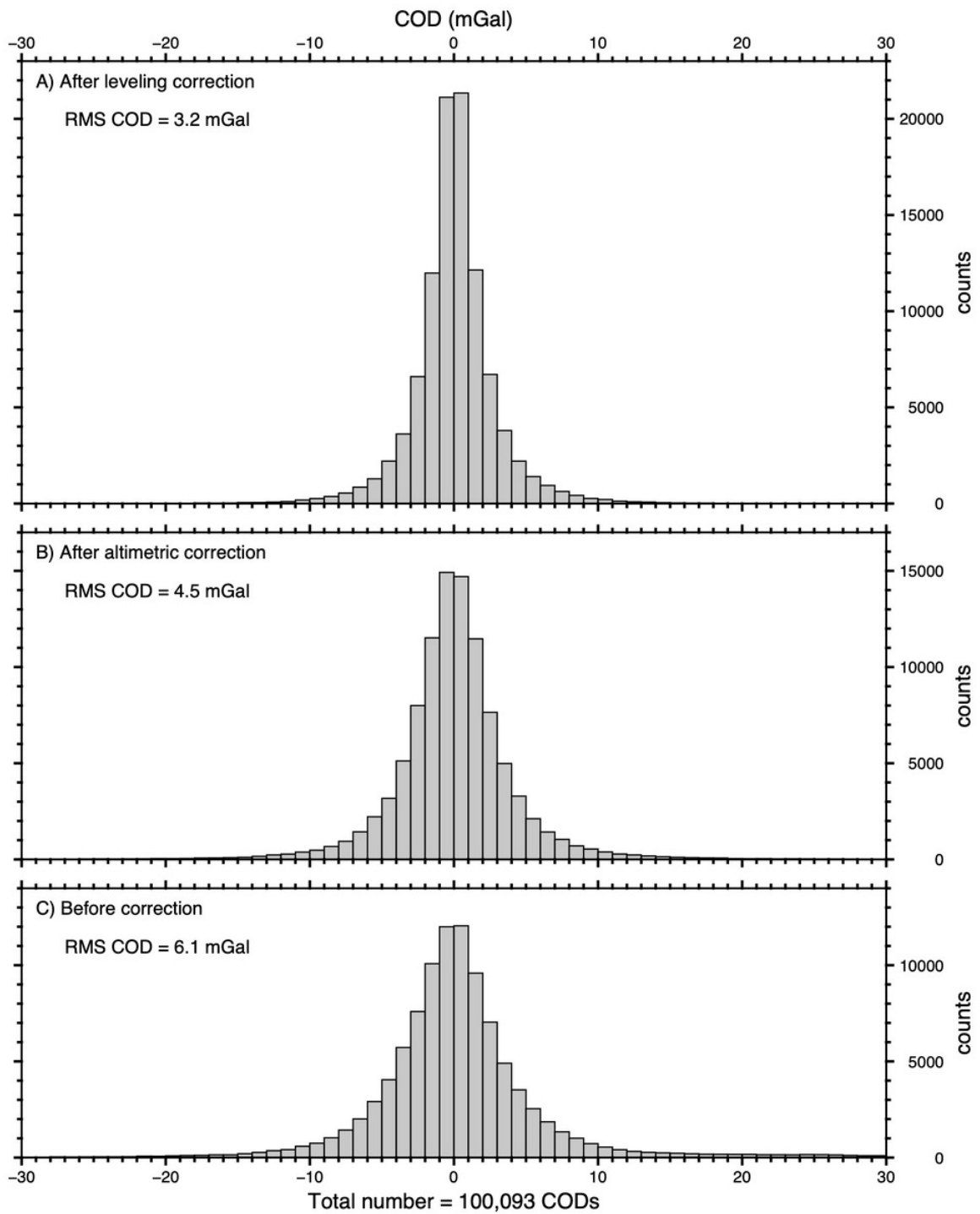
得られたフリーエア異常値の測線間の交点誤差の分布の幅は比較的大きい(RMS COD = 6.1 mGal; 第10図C)。このため、公開されている人工衛星アルチメトリで得られた緯度・経度1分間隔のフリーエア異常グリッドデータ(Sandwell *et al.*, 2014)を使って補正することとした。このデータは海洋の広範囲を十分な密度で均質にカバーする軌道の衛星データから計算されたもので、誤差0.5~2 mGalの精度の良い船上重力計のデータとの比較から精度2 mGal程度と推定され、特に重力異常の長波長成分として利用することができる。第11図には1例としてGH762航海で得られたフリーエア異常値とアルチメトリのグリッドデータから補間で求めた同じ緯度・経度のフリーエア異常値を比較する形で示した。長周期成分はほぼ一致しているが、138日から148日までは40 mGalを越えるような差がある。こうした長周期成分の差を修正するため、アルチメトリのフリーエア異常値を船上重力計のフリーエア異常値から引いたものに対して白嶺丸の測線に沿って幅720分(半日)のガウシアンローパスフィルターをかけ、得られたものを元の船上重力計のフリーエア異常値から差し引いた。こうして高周波部分は船上重力計、低周波(長波長)部分はアルチメトリの特性を持ったデータが作成できる。この操作により測線間の全交点100,093点のRMS CODは6.1 mGalから4.5 mGalへ小さくすることができた(第10図B)。

5.4 レベリング補正

さらに交点での誤差を小さくするため、磁気異常と同様なレベリング補正計算を行なった。ローパスフィルターの時間幅としては1時間を採用し、15回の繰り返し計算を行なった。この補正によりRMS CODは4.5 mGalから3.2 mGalへと小さくなった(第10図A)。

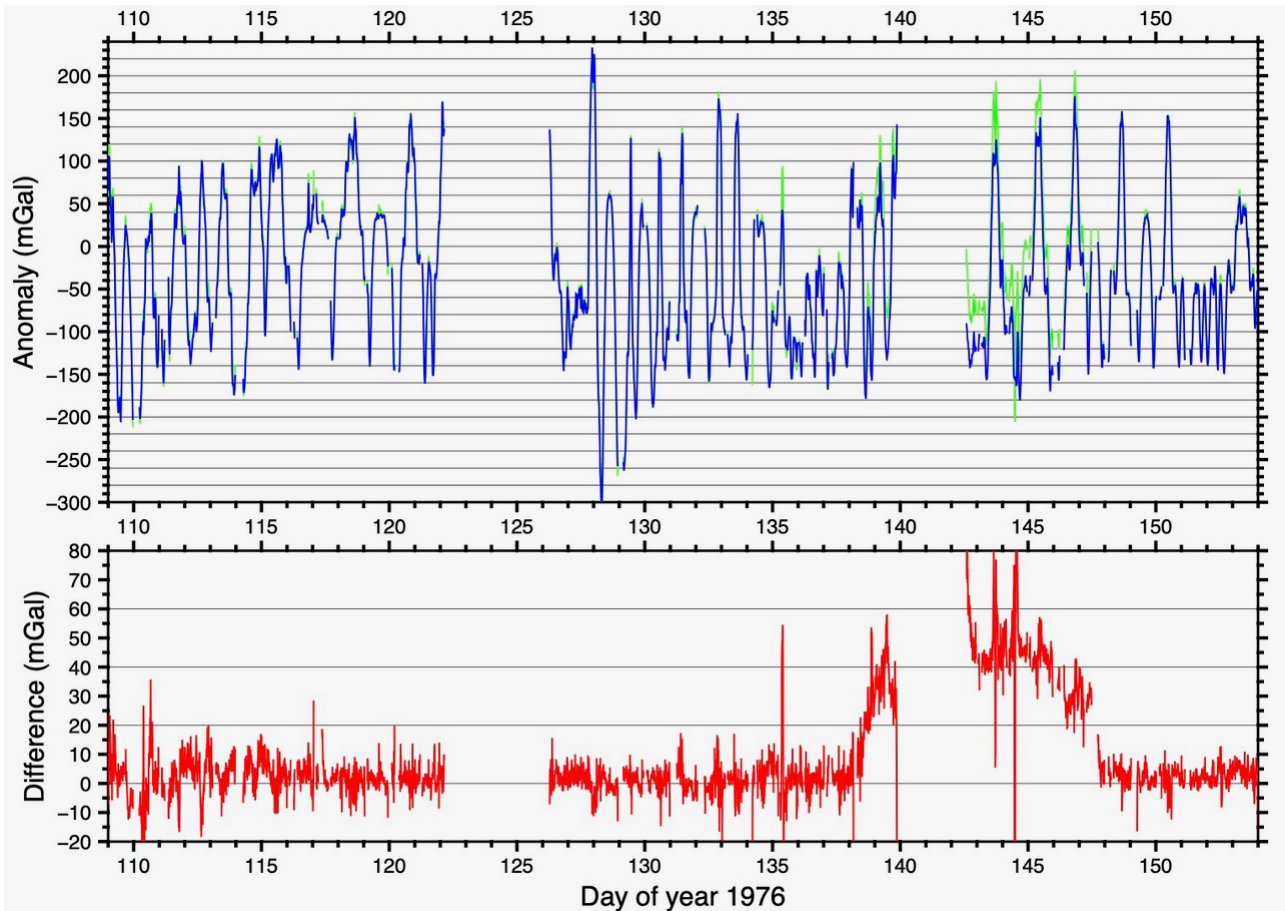
5.5 重力異常図

第12図は日本海南部のアルチメトリによるフリーエア重力異常と白嶺丸航海で得られたものを比較したものである。北西側の部分は後者のデータが十分でないので比較できないが、山陰から北陸にかけての日本沿岸では前者(第12図A)ではNS方向の短波長のノイズで線状の異常がやや不明瞭になっているのに対し、後者(第12図B)では主にNE-SWからENE-WSW方向の線状の異常がより明瞭に確認される。また、西側の水深が深くスムーズな海底地形の対馬海盆では、アルチメトリによるデータには短波長のノイズが残っているが、航海データはより



第10図 白嶺丸航海の測線の交点100,093点でのフリーエア重力異常値の差の分布. A) アルチメトリ補正及びレベリング補正後でRMS COD 3.2 mGal, B) アルチメトリ補正後でRMS COD 4.5 mGal, C) 補正前でRMS COD 6.1 mGal.

Fig. 10 Distribution of 100,093 crossover differences (CODs) of free air gravity anomalies obtained by Hakurei-maru cruises. A) After altimetry and leveling corrections with an RMS of 3.2 mGal. B) After altimetry correction with an RMS of 4.5 mGal. C) Before correction with an RMS of 6.1 mGal.



第11図 上図) GH762航海のS63 船上重力計で得られたフリーエア異常値(緑線)とアルチメトリデータから得られる同一地点のフリーエア異常値(青線)の比較。下図) 船上重力計の値—アルチメトリから得られた値。

Fig. 11 Above) comparison of free-air anomalies obtained by S63 gravimeter in GH762 cruise (green line) and those obtained by interpolation of gridded altimetry data (blue line). Below) Difference of gravimeter data from the altimetry data.

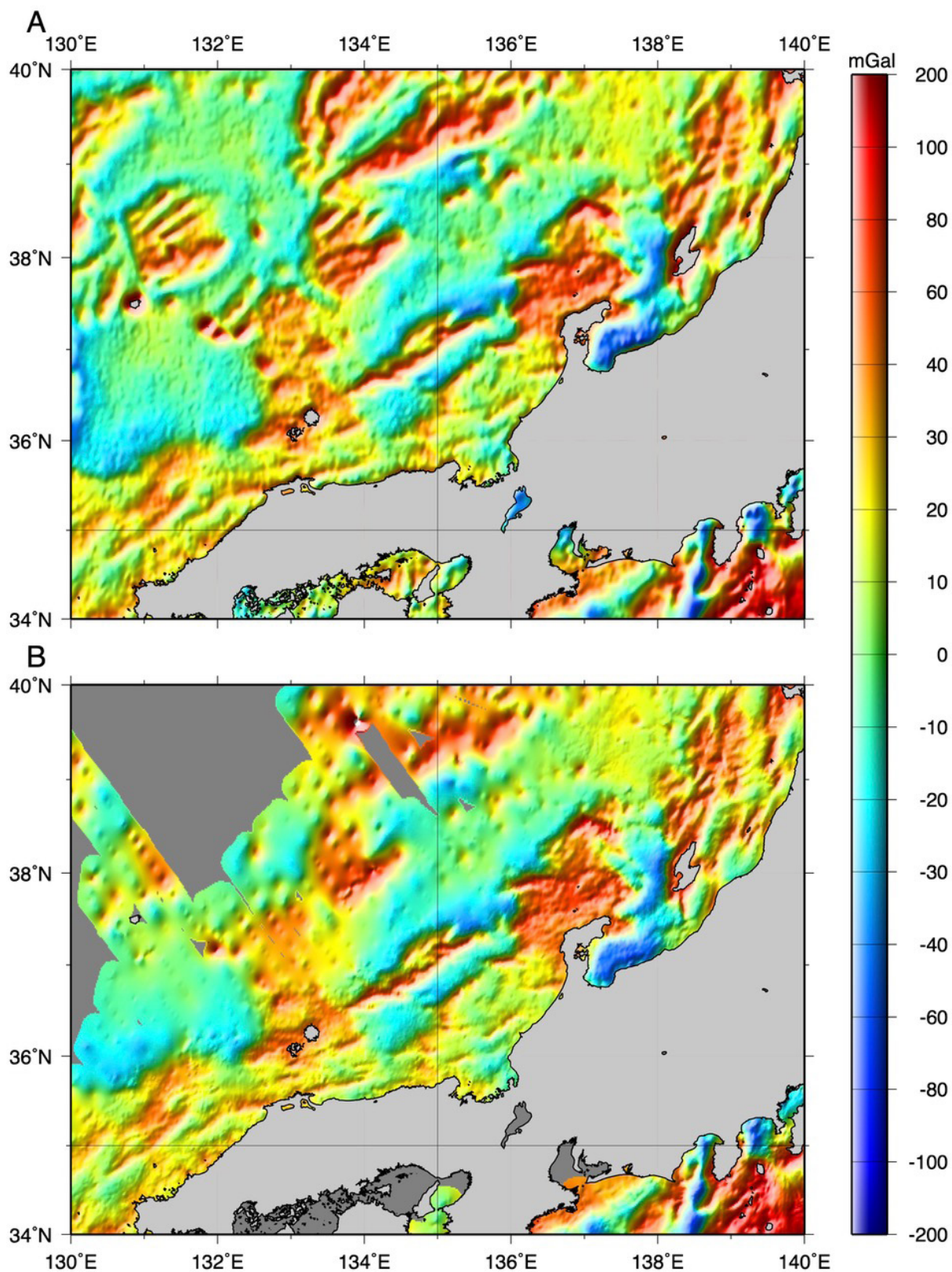
滑らかな重力異常となっている。

第13図は上記のアルチメトリ補正とレベリング補正後のデータを用いて作成した日本周辺海域全域のフリーエア異常図である。

6. 考察

重力データではフィルター処理が問題になる。重力計で取得されるデータでは、船の動揺等のノイズがより高周波側に、海底下の地質構造を反映する重力異常がより低周波側にあることを利用して、最適なローパスフィルターを使ってノイズを消して重力異常のみをとりだすことになる(Childers *et al.*, 1999)。本研究で重力データ処理に使われているフィルターの周波数応答を比較検討してみる。よく知られているように、ガウス関数のフーリエ変換はガウス関数になり(例えば, Gubbins, 2004), 周波数を f , 標準偏差を σ とすると, 周波数応答は $\exp[-(2\pi f\sigma)^2/2]$ となる。SL2重力計のフィルターの応答はフルスケール520 sのガウシアンフィルターで近似すると,

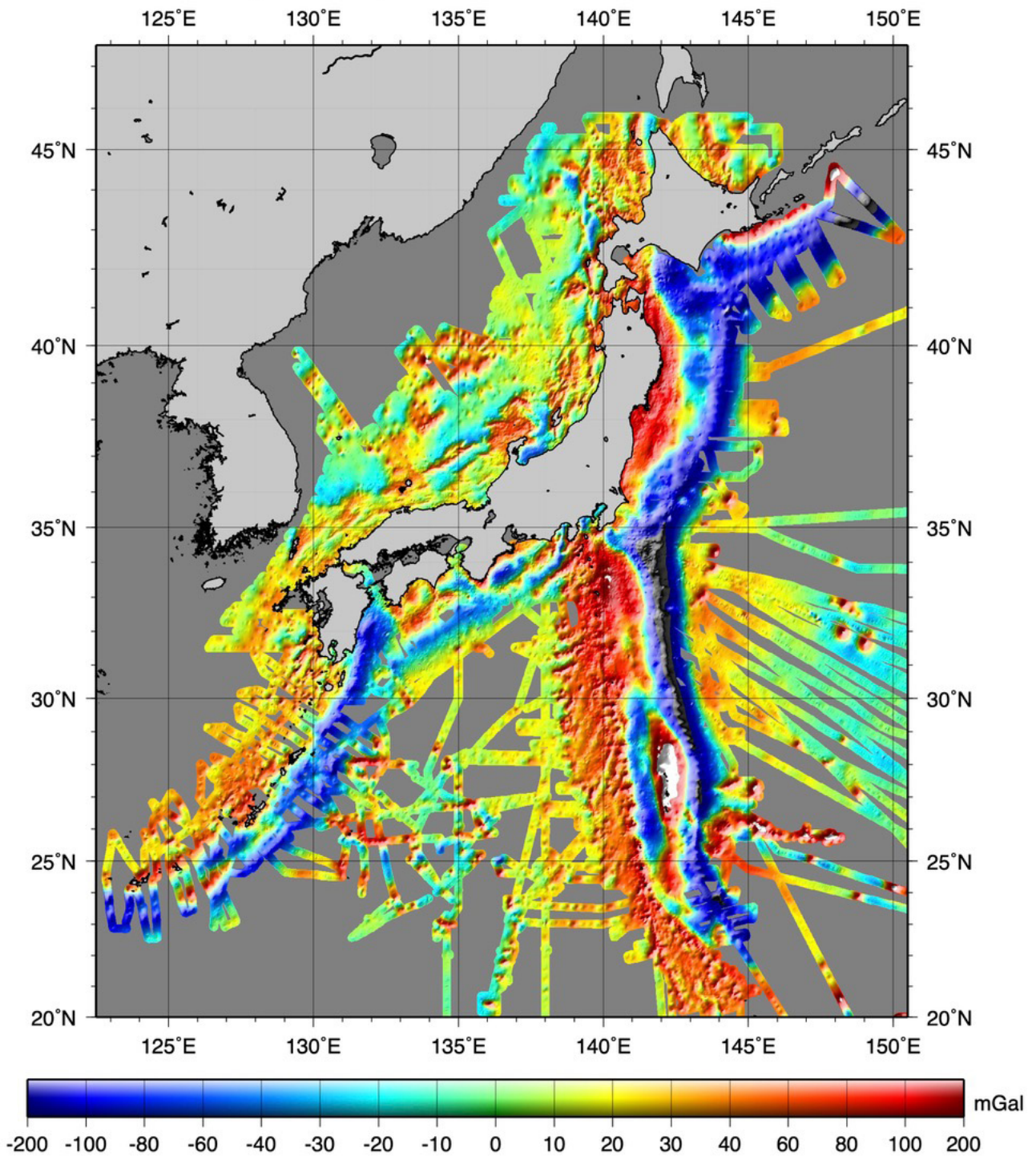
$6\sigma = 520$ sより $\sigma = 86.7$ sを入力すれば良い。一方, S63重力計の場合, 時定数 T のRCフィルターを時間について正逆方向1回ずつかけた場合の周波数応答は $1/[1+(2\pi fT)^2]$ で表され, 正方向のみの場合はこの平方根となる。この関数を時定数20 sのもの3回, 60 sのもの2回を掛け合わせるとフィルターの周波数応答が得られる。第14図にはこのような計算による各重力計のフィルターの周波数応答を示した。各フィルターの応答の半減する周波数(周期)はSL2重力計0.00216 Hz (463 s), S63重力計0.00232 Hz (431 s), S63重力計に逆方向の同じRCフィルターをかけた時間について対称にしたもの(本報告のデータ)0.00154 Hz (649 s)である。船速10 kt (ノット, 1 kt = 1.852 km/h)を仮定すると, SL2重力計のデータでは周期7.5分(波長2.3 km), S63重力計に逆方向の同じRCフィルターをかけたデータでは周期10分(波長約3.1 km)より短周期(短波長)の重力異常は大きく減衰することになる。SL2重力計の場合は大きな問題にはならないかもしれないが, 1986年以前の大陸棚などの水深が浅いとこ



第12図 日本海南部海域のフリーエア重力異常. A)衛星アルチメトリにより得られたデータ. B)白嶺丸航海で得られたアルチメトリ補正及びレベルング補正後のデータを使ったもの.

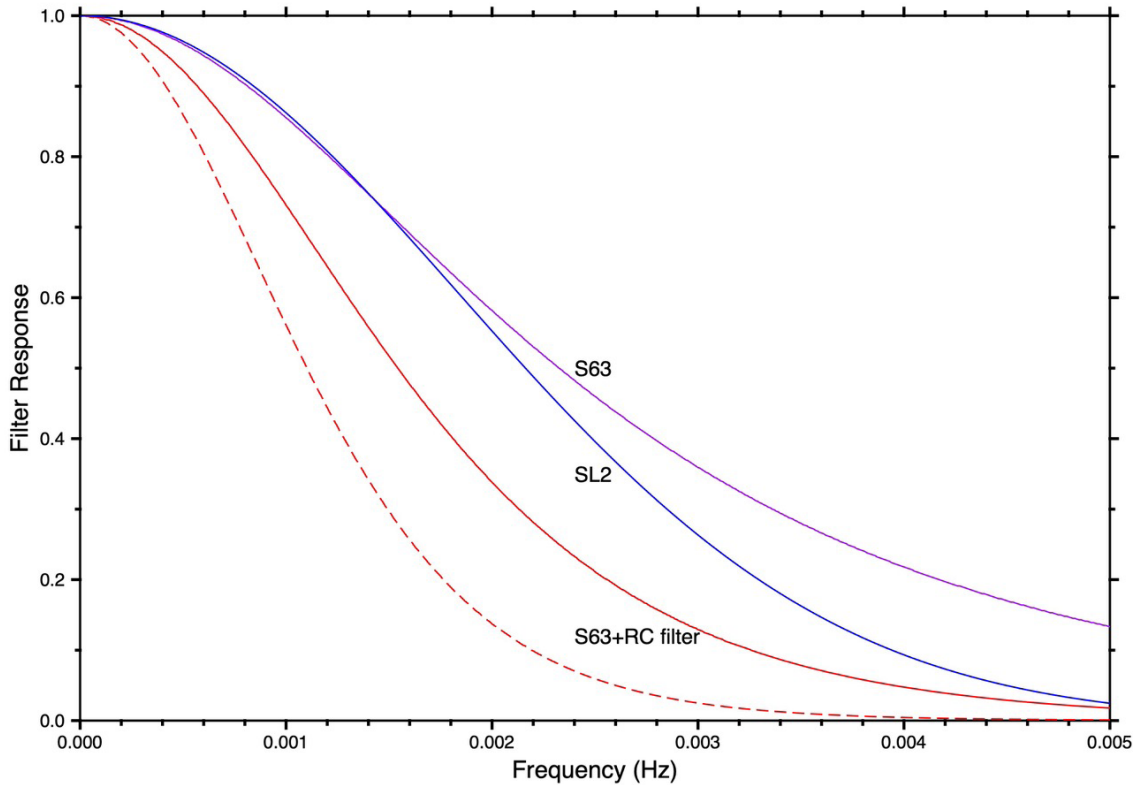
Fig. 12 Free air gravity anomalies in the southern part of Japan Sea. A) Data obtained by satellite altimetry. B) Data obtained by Hakurei-maru cruises after altimetry and leveling corrections.

Gravity anomaly data collected by Hakurei-maru



第13図 アルチメトリ補正及びレベリング補正後の白嶺丸で取得されたデータを使って作成した日本周辺のフリーエア重力異常図.

Fig. 13 Free air gravity anomaly map around Japan created using data obtained by Hakurei-maru cruises after altimetry and leveling corrections.



第14図 重力計データの周波数応答. SL2 (青色), S63 (紫色), S63に逆向きで同じRCフィルターをかけたもの (赤色), さらに時定数120 sのRCフィルターを正逆方向2回ずつかけたもの (赤破線).

Fig. 14 Filter responses of gravity data. SL2 gravimeter (blue), S63 gravimeter (purple), S63 gravimeter after applying the same RC filters but in the reverse time direction (red), and S63 gravimeter after further applying two times of normal and reverse RC filters with time constant of 120 s (red dashed lines).

ろで観測されたS63重力計のデータでは短波長の重力異常の振幅がフィルターのために減衰しているものがあるかもしれない。水深1,000 m以上の深海部ではソースから遠いので海上で測定される短波長の異常は元々測定にかからないくらい小振幅になっていてあまり問題にならないと推定される。

ただ、本報告のデータでもノイズが取りきれていないケースがある。第15図に対馬北東沖の海域でGH854航海により取得されたデータを示したが、周期10～15分程度で連続する高周波のノイズがまだ残っている(図の中央部11～16時の青線)。このノイズを取り除くため、重力計とエトベス補正のデータの各々にさらに時定数2分($\Delta t/T = 1/12$)のRCフィルターを正逆両方向に2回かけた(赤線、周波数応答は第14図の赤破線)。このフィルター処理により、この高周波ノイズは取り除くことができたが、こうした処理を施すと、ノイズだけでなく有用なシグナルも取り除くことにつながりかねないので公開するデータには含めないことにした。

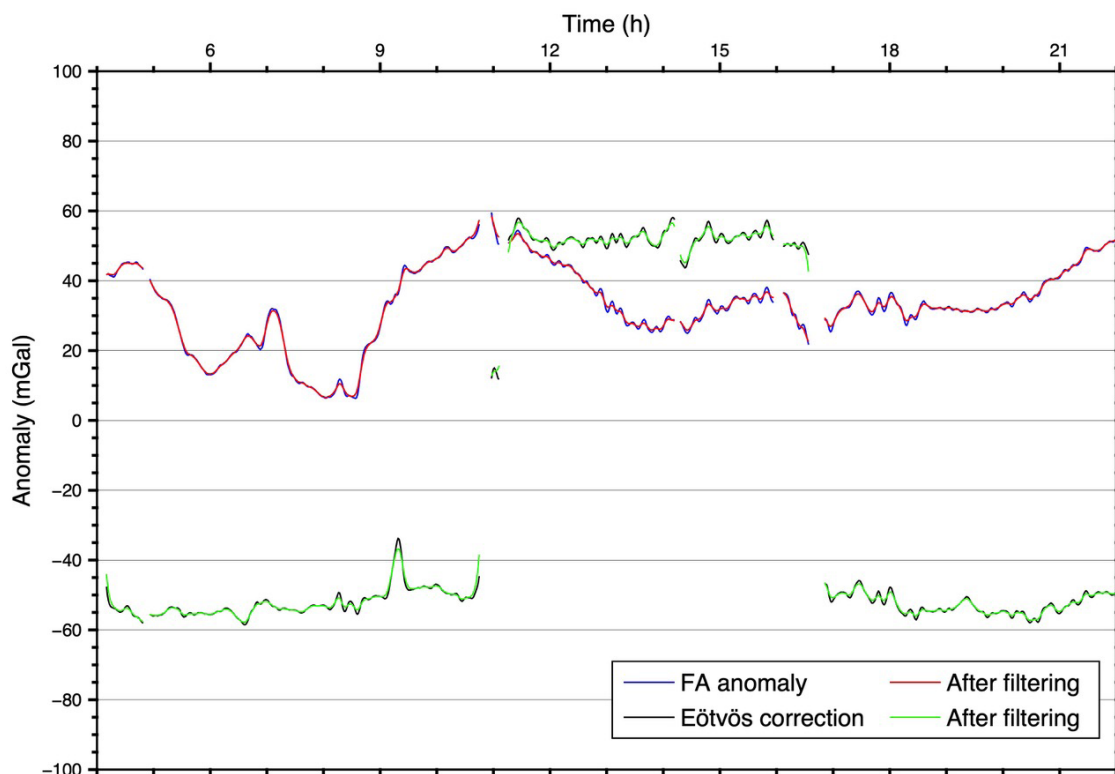
7. まとめ

白嶺丸の最初の航海から50年近く、最終航海から20

年以上が過ぎ、データ取得の担当者の多くが退職等でなくなりデータ保存が難しくなる中、旧地質調査所によるほとんどの航海の重力・磁力データを整備し、マンガ航海の一部とGH803航海後半部分を除いて、1分間隔の均質なデータを作成することができた。

整備した航海の全データに対する磁気異常のRMS CODは38.0 nT, レベリング補正後26.1 nTとなった。フリーエア異常のRMS CODは6.1 mGal, アルチメトリ補正・レベリング補正後のRMS CODは3.2 mGalとなった。これらの補正により、測線に沿う不自然な異常のない磁気異常図、アルチメトリによるフリーエア異常よりノイズの少ない重力異常図を作成することができた。

LaCoste & Romberg社製船上重力計の公称精度は1 mGalといわれていて、それと比較すると上記結果はかなりよくない。原因の一つはフリーエア異常を計算するためには、標準重力値のために緯度の情報、エトベス補正のために東向きの船速と緯度の情報が必要となることである。標準重力値は赤道から北極・南極へ緯度とともに単調に増加するが、緯度1分の誤差で最大1.5 mGal程度の誤差が生じるので、測位精度の悪い1982年以前のデータにはこの影響もあるかもしれない。ただ、船速の



第15図 フリーエア重力異常(青線)とエトベス補正(黒線)とそれらに時定数120 sのRCフィルターを正逆方向に2回かけた値(赤線と緑線). S63重力計データ(GH854航海の9月12日)の例.

Fig. 15 Free air anomalies (blue) and Eötvös corrections (black) and the values after further applying two times of normal and reverse RC filters with time constant of 120 s (red and green). An example of S63 gravimeter data collected on September 12 during GH854 cruise.

精度の方がもっと重要で、エトベス補正を1 mGalの精度で得るためには船速を0.1 ~ 0.2 ktの精度で求めなければならない。電磁ログの船速の精度は10 %程度(船速10 ktなら1 kt)といわれていて、再計算船位でも船速は十分な精度で得られていないと推定される。実際、フリーエア異常の交点誤差では船速として電磁ログのみを用いていた1982年以前のデータのRMS CODがそれ以後のものに比べて大きい傾向がある。地域を限ってもう一度解析してみれば、より良い結果が得られるかもしれないが、その際は、今回整備したマスターデータが利用できるであろう。2000年以降の海洋地質図航海は第2白嶺丸を使用して行われた。測位にはSAなしのGPSが使用されており、1秒間隔のデータが取得されている。交点誤差の小さいより高精度の重力異常が得られていると期待される。

8. 公開するデータについて

地質調査総合センター研究資料集no. 714として公開している(石原, 2021)。1974年から1999年までの地質調査船白嶺丸の82回の航海で取得された測位・重力・水深・地磁気のデータを、航海毎にファイルを分け、wnav_files (マスターデータ)、wgdl_files (重力・水深データ)、

wmag_files (磁力データ)の3種類のフォルダーに納めている。

データがないところは、水深観測値、水深補正值、水深補正表番号、磁力観測値、重力読取值、重力値は0、エトベス補正とフリーエア異常、フリーエア異常値は9999.9としている。重力・水深データには測位データだけのところも含むが、磁力データはデータがあるところのみのデータである。

謝辞：白嶺丸の船上重力計・磁力計のデータ取得は、著者の他、村上文敏・中条純輔・宮崎光旗・西村清和・上嶋正人・奥田義久・玉木賢策・山崎俊嗣・棚橋 学・岸本清行・木川栄一・森尻理恵・佐柳敬造・駒澤正夫・小田啓邦の各氏によって行われた。また、歴代の白嶺丸船長をはじめとする乗組員に大変お世話になった。チャートのスキャンの一部は井上絵里さんに手伝っていただいた。査読者小田啓邦博士、編集委員森尻理恵博士から貴重なコメントをいただき本稿を大幅に改善することができた。図面の作成にはGMT (Generic Mapping Tools; Wessel *et al.*, 2013)を使用した。

文 献

- Akima, H. (1970) A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. *Journal of the Association for Computing Machinery*, **17**, 589–602.
- Chambodut, A. and M. Manda (2005) Evidence for geomagnetic jerks in comprehensive models. *Earth Planets Space*, **57**, 139–149.
- Childers, V.A., R.E. Bell and J.M. Brozena (1999) Airborne gravimetry: an investigation of filtering. *Geophysics*, **64**, 61–69.
- Glicken, M. (1962) Eötvös corrections for a moving gravity meter. *Geophysics*, **27**, 531–533.
- Gubbins, D. (2004) Time series analysis and inverse theory for geophysicists. 255pp. Cambridge University Press.
- 石原丈実(1977) 人工衛星測位装置(NNSS)による位置測定. 地質ニュース, no. 280, 30–35.
- Ishihara, T. (2015) A new leveling method without the direct use of crossover data and its application in marine magnetic surveys: weighted spatial averaging and temporal filtering. *Earth Planets Space*, **67**. doi:10.1186/s40623-015-0181-7
- 石原丈実(2021) 白嶺丸重磁力データ. 産総研地質調査総合センター研究資料集, no. 714, 産総研地質調査総合センター. 2p.
- 岸本清行・石原丈実・玉木賢策(1984) 地質調査所における海洋地球物理データ処理の現状. 最近の海底調査—その4—, 39–45.
- LaCoste, L. (1983) LaCoste and Romberg straight-line gravity meter. *Geophysics*, **48**, 606–610.
- 水野篤行(1985) 海洋地質部の研究の概要(昭和59年度). 地質ニュース, no. 367, 6–12.
- Moritz, H. (2000) Geodetic Reference System 1980. *Journal of Geodesy*, **74**, 128–133.
- Nettleton, L. L. (1976) Gravity and Magnetics in Oil Prospecting, 464 pp. McGraw-Hill, Inc.
- Sabaka, T. J., Olsen, N. and Purucker, M. E. (2004) Extending comprehensive models of the Earth's magnetic field with Ørsted and CHAMP data. *Geophysical Journal International*, **159**, 521–547.
- Sandwell, D.T., R.D. Müller, W.H.F. Smith, E. Garcia, and R. Francis (2014) New global marine gravity model from Cryosat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure. *Science*, **346**, 65–67.
- Valliant, H. D. (1991) The LaCoste & Romberg air/sea gravity meter: an overview. *CRC Handbook of Geophysical Exploration at Sea, 2nd Edition, Hydrocarbons*, 141–176.
- Wessel, P., W. H. F. Smith, R. Scharroo, J. F. Luis and F. Wobbe (2013) Generic Mapping Tools: Improved version released, *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, **94**, 409–410.
- 米澤弓雄(1995) 基礎航海計器(改訂版). 航海計器シリーズ1, 169pp. 成山堂書店.

(受 付 : 2021年2月22日 ; 受 理 : 2021年6月18日)

