

## 南極観測におけるマルチビーム測深の開始

泉 紀明：海洋調査課

### Initiation of multibeam sounding survey in the Japanese Antarctic Research Expedition

Noriaki IZUMI: Hydrographic Surveys Division

#### Abstract

The Japanese Antarctic Research Expedition was initiated in 1956. During the initial stage of the Expedition (between the 1st and 5th Expedition; from 1956 to 1960), preliminary bathymetric soundings were obtained along the transect between the Showa Station and Cape Town. From 1987, a full-scale mapping with a single beam echo sounder has started with an objective to make a nautical chart as well as a bathymetric map around the Showa Station, revealing the presence of deep continental shelf around the Antarctic. From 2009, SeaBeam 3020 was installed on the brand-new icebreaker Shirase (launched in 2009), starting the first swath mapping in the history of the Japanese Antarctic Research Expedition. The swath mapping data will be critical for generating the nautical and bathymetric charts in the Antarctic region, as well as for understanding the morpho-tectonics of the region.

#### 1 はじめに

南極地域観測は国家事業として昭和31年（1956）から始まり、幾多の困難を経ながらも年月を重ね、今年第51次南極地域観測隊が派遣される。この間、観測船も「宗谷」「ふじ」「しらせ」と近代化・大型化を遂げ、極地観測に大きな役割を果たしてきた。

平成21年5月に4代目の観測船となる新「しらせ」（12,650トン）が竣工した（写真1）。新船には砕氷・防食能力の向上やコンテナを使った荷役システム、環境対策のための装備などが加えられているが、海洋調査という点での大きな変化はマルチビーム測深機が装備されたことであろう。マルチビーム測深機を装備した船舶は海洋情報部をはじめ各研究・観測機関にあるが、砕氷能力を併せもった船は日本では新「しらせ」が唯一である。今まで行われたことのない、氷床下での面的海底地形調査という新

しい試みになる。またその調査や成果の取りまとめにあたってはこれまでの海底地形調査と同様に海洋情報部が受け持つこととなった。今年度より調査が始まるにあたり、これまで行われてきた日本の南極海域での海底地形調査及びこれからの課題について、簡単ではあるがまとめてみたい。

#### 2 船による海底地形調査

昭和基地のあるリュツォ・ホルム湾は南極大陸の中でも発見が遅く、1931年2月にノルウェーのGunnar Isachsen探検隊によりようやくその存在が知られることになった。その後何度か上陸が試みられたが厚い氷に阻まれ失敗し、日本観測隊が上陸するまでリュツォ・ホルム湾東岸は未踏の地域となっていた（吉川他、1957）。

南極観測を開始するにあたり、まずは航海の安全を確保することが第一であった。このためそれまで



写真1 砕氷艦「しらせ」  
Photo 1 Icebreaker "SHIRASE"

の英国資料などから氷海航法の方法や沿岸記などを抜粋した資料が1955年に、いわば水路誌としてまとめられた(熊凝他, 1958)。この中に付属している1947年発行の米海軍刊行の図にはすでに多くの測深点が記入されており、まだ昭和基地のなかったリュツォ・ホルム湾沖にも数点の測深点が記されている(海上保安庁水路部, 1955)。

第1次隊では初代観測船であった宗谷や、宗谷の随伴船であった海鷹丸により、当時の寄港地であったケープタウンと南極大陸間で水深測量が行われた。当初は水路探索の意味合いが強く、航路開拓を主眼とした調査が行われた(文部省, 1963)。

第2次隊には当時の水路部から初めての観測隊員が乗り組み、採泥も行われた。測深点数は多くなかったものの、南極周縁陸棚が他大陸の陸棚より深いことを見出し、その成因として庄司他(1959)は(1)氷河重量による地殻の沈降(2)氷河による侵食、の2要因でないかと言及している。

その後第5次隊まで南極大陸往復路において測深が続けられた。この結果、南極大陸とアフリカ大陸間には海嶺があり、大洋底が南北2区に分けられると見出された(Sato, 1964)。

第7次隊からは海洋物理・海洋化学担当として各1名の計2名が水路部から派遣されるようになり、停船観測及び航走観測による海洋観測や採水分析、昭和基地では潮汐観測などが定常観測業務として実施され、また往復路においては適宜測深作業が行われてきた。

第1表 シングルビーム測深機による海底地形調査概要

Table 1 Summary of survey contents by single-beam echo sounder.

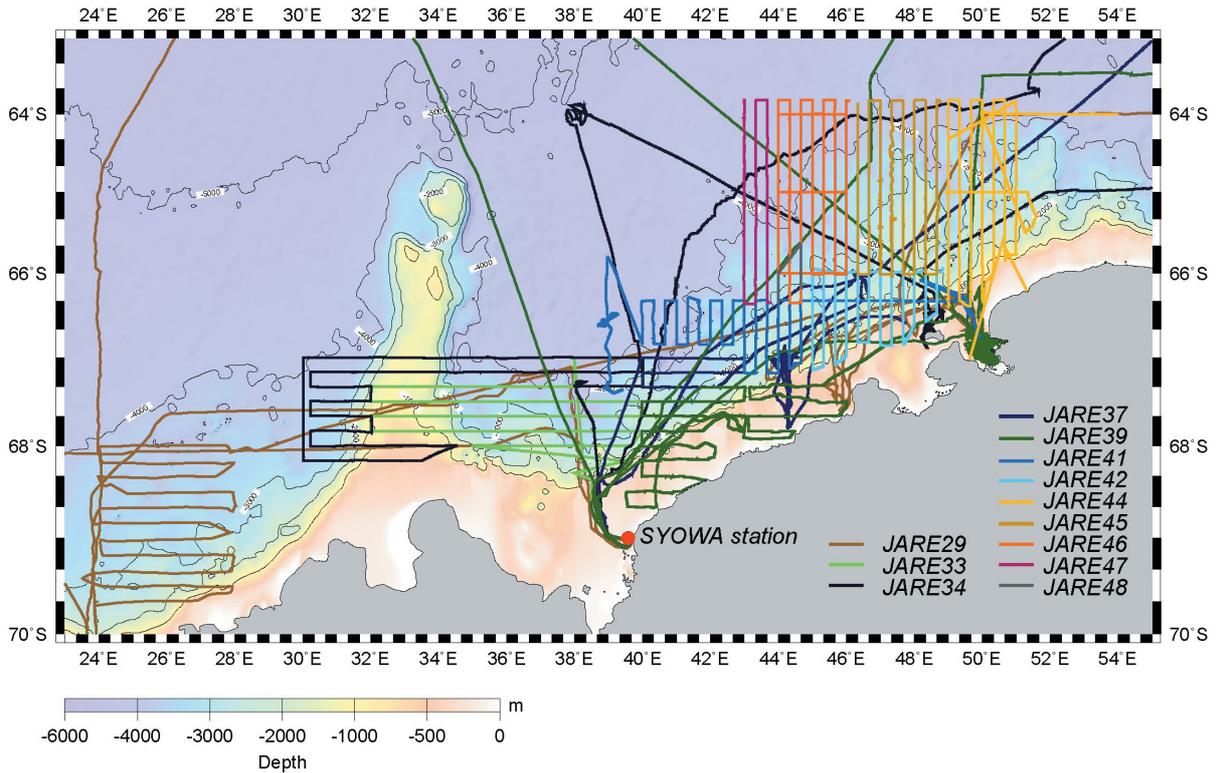
調査次	主とする調査海域	記録	測線方向及び間隔	水深値収録間隔
29	ブライド湾	アナログ	E-W 10mile	1min.
33	リーセルランセル半島沖	アナログ・デジタル	E-W 10mile	1min.
34	リーセルランセル半島沖	アナログ・デジタル	E-W 10mile	1min.
37	プリンスオラフ海岸沖	アナログ・デジタル	E-W 10mile	1min.
39	プリンスオラフ海岸沖	アナログ・デジタル	E-W 10mile	4sec.
41	プリンスオラフ海岸北方	アナログ・デジタル	N-S 20'	4sec.
42	プリンスオラフ海岸北方	アナログ・デジタル	N-S 20'	4sec.
44	アムゼン湾北方	アナログ・デジタル	N-S 20'	4sec.
45	アムゼン湾北西方	アナログ・デジタル	N-S 20'	4sec.
46	ケーシー湾北西方	アナログ・デジタル	N-S 20'	4sec.
47	ケーシー湾北西方	アナログ・デジタル	N-S 20'	4sec.
48	ケーシー湾北西方	アナログ・デジタル	N-S 20'	4sec.

第29次隊(1987)からは昭和基地周辺の海図及び海の基本図の整備を目的として、測量が本格的に行われるようになった。以降第33次, 34次, 37次, 39次, 41次, 42次, 44次~48次と調査が継続されて行われた。これらはすべてシングルビーム測深機(海洋電子工業製「深海用精密音響測深儀 改1」)を用いた調査である。調査概要を第1表に、測線を第1図にまとめた。

シングルビームによる測深記録は第29次のみがアナログ収録され、それ以降はアナログ・デジタル併用で収録されている。デジタル記録は測深値の飛びや欠測が頻繁にあり、アナログ記録を基に修正され、水深値の採用が行われた。

### 3 陸上からの海底地形調査

一方、船では定着氷海域での測深が難しいことから、陸上側からのアプローチも試みられてきた。氷上から穿孔して手回しワイヤーを用いての測深や、穿孔して音響測深機を海中へ吊す方法、穿孔せずに氷上から音響測深機を使う方式(Yoshida, 1969: 藤原, 1971)などであった。これらの手法により第9次, 14次, 15次, 18次, 22次の越冬時を中心とした測深作業が行われ、船では近づけない昭和基地を中心としたリュツォ・ホルム湾沿岸部の海底地形が少しずつ明らかにされ、湾内の起伏に富んだ海底地形が見出された(森脇, 1975: OMOTO, 1976: MORIWAKI, 1980: MORIWAKI et. al., 1983)。これらの成果からリュツォ・ホルム湾海底地形図(国立極地研



第1図 シングルビーム測深機による海底地形調査測線  
 Fig. 1 Position of survey lines by single-beam echo sounder.

究所, 1989) が作成された。

陸上からの測深と前述の船による調査結果を合わせて、プリンス・ハラルド海岸からラルス・クリステンセン海岸にいたる海域の6図の海図が整備・刊行され、国際海図も順次刊行されている(海上保安庁, 2009)。

#### 4 南極海域における日本のその他の調査

南極海域に於いては、石油公団が「白嶺丸」により1980年から2000年までの20年間にわたって石油・天然ガス賦存の可能性調査のため海底地形・地質構造・地磁気・重力・地殻熱流量・試料採取の各調査を行ってきた。南極大陸をほぼ一周するように堆積盆の構造探査が実施され、地域ごとに異なるテクトニクスに規制されていることが明らかになった。またそれらの成果はデータベース化されている(村上他, 2001)。

近年は海洋研究開発機構の「白鳳丸」や東京海洋大学「海鷹丸」によっても南極海域で調査がされている。リュツォ・ホルム湾沖においても海洋地質学

的調査が行われ、地形・地磁気・重力調査(野木他, 2008)のほか、コアの採取も行われ解析が進められている(菅沼他, 2008)。

#### 5 新「しらせ」について

新しくなった「しらせ」には第1から第5までの観測室が備えられている。各観測室の主な目的は第1観測室が大気・電離層・地磁気観測、第2観測室が野外観測準備及び資料保存分析、第3観測室が海底地形・海流観測、第4観測室が海洋観測・モニタリング観測、第5観測室が海上重力観測となっている。

第3観測室にはマルチビーム測深機本体及び運用卓が備えられている。写真2右奥にある2個の青色の筐体がSEABEAM 3020のラック(右側が送信機用、左側が受信機及び表面音速ユニットやPOS/MVが収納されている)であり、白色のラックは地層探査部BATHY 2010、その手前に運用卓がある。写真左側にはXBT/XCTD観測装置、ADCPが据えられている。



写真2 第3観測室  
Photo 2 Third observation room.

第2表 マルチビーム測深機概要  
Table 2 General characteristics of multi-beam echo sounder.

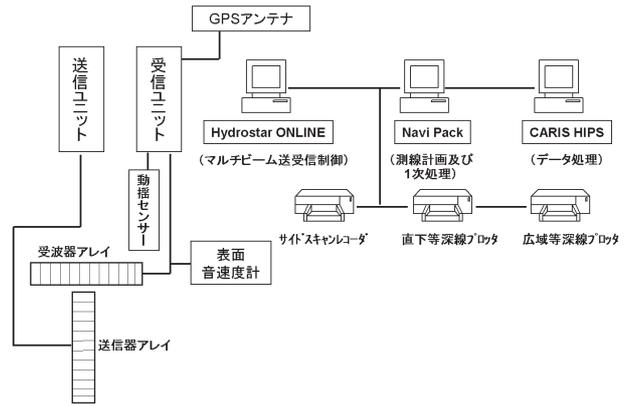
周波数	20kHz
受信ビーム数	205本
ビーム分解能	2° × 2°
最大出力電力	10kW
測深周期	0.4~10sec
スワ幅	130° (MAX)
測深範囲	50~6000m

マルチビーム測深機はSEABEAM 3020 (L-3 Communications ELAC Nautik社製) が採用されている (ユニバーサル造船, 2009)。測深機のスペック概要を第2表に示す (ELAC社HP)。

SEABEAM 3020のアレイ構成は今までのマルチビームと同様、ミルズクロス形態を成している。特徴として、船舶の動揺 (ピッチ, ヨー) に対してビーム送信位置を補正することにより、船舶の姿勢変化を除去するスエプトビーム方式を採用している。

システム構成を第2図に示す。

Hydrostar ONLINEによりマルチビーム及びサイドスキャンデータ送受信装置の制御が行われる。Navi Packは測線計画の作成と測深結果の簡易的な表示を行い、CARIS HIPSは後処理によるマルチビームデータの処理を受け持つ。



第2図 SEABEAM 3020システム構成  
Fig. 2 Schematic view of SEABEAM 3020 system.

第3表 地層探査部概要  
Table 3 General characteristics of sub bottom profiler.

探査深度	海底下約75m (底質依存)
地層探査周波数	4.75 ± 2kHz (FMcharp)
送信ビーム幅	25°
受信ビーム幅	25°
地層探査分解能	8cm
最大出力電力	10kW
地層探査周期	0.2~16sec

また、地層探査部としてBATHY 2010 (SyQwest社製) が採用されている。周波数掃引された超音波によるチャープ方式を用いた地層探査システムである。地層探査部のスペックを第3表に示す (SyQwest Inc. HP)。

## 6 これからの海底地形調査

今後、海底地形調査をすすめていくことへの目的は「南極海域の海図整備」である。これは国際水路機関南極地域水路委員会のメンバー国が分担して刊行することとなっており、我が国もその一員であるからである。先に述べたように南極海域における海図は既に刊行されているが、日本周辺海図と比べると採用されているデータ量ははるかに少ない。南極海へアプローチする船も増えつつある現在に於いては、精密な位置をもった十分な量の測深データによる海

図が要求される。

しかし海底地形を把握することの意味はこれだけではない。海底地形は海洋の調査を行う上において、あるいは地球科学的議論を行う上で基本的な情報であるが、南極地域においては精密地形データが非常に不足しており、その集積が求められている（長尾，1995）。海底地形調査を行うことにより進展が期待される項目を上げてみたい。

吉田（1985）は南極大陸の地形の課題について以下の点を挙げている。

1. 南極の地体構造に関連した大地形に関する問題
2. 大陸氷河—氷床やその他の氷河による氷河地形ないし氷河作用に関する問題
3. 鉱物資源の探査・開発やそれに伴う技術的問題，環境保全に関連する応用地形学的問題

以上の点は陸上地形に関して述べられたものであるが、海底地形に関しても同様の課題が考えられる。

大地形に関する問題として、大陸の分裂に関する点がある。南極大陸はかつてオーストラリア、南アメリカ、アフリカ、インドなどととも Gondwana 大陸を形成していたが、分裂し、海洋底拡大により現在に至るとされる。南極プレートはほとんどが海嶺により画されているが、大陸分裂や海洋底形成過程を明らかにするには、まず南極海のテクトニクスを明らかにする必要がある。これまで主として衛星データによる重力異常観測や船上からの地磁気観測によりこれらは論じられてきた（野木，1995）。詳細な地形データが得られることになれば地形データとこれらを併用することでより具体的な論議につながるものと考えられる。

第二には大陸氷河によって形成された地形の問題である。近年は海水流出が特に頻発しているとされる（牛尾，2003）が、約2万年前の最終氷期最盛期（LGM: Last Glacial Maximum）から前期完新世までの間に約135 mの汎世界的海水準上昇が生じたことが知られている。この要因として南極氷床の融解も原因の一つと考えられおり、地球温暖化に伴う気候変動予測において重要なテーマである。そのためには氷床溶融がどのようなプロセスを経て、どうい

う規模で生じたかということの解明が欠かせない。特に白瀬氷河周辺は多くの露岩地域があり、陸上の地形・岩石試料と氷床変動の関係も探られており（Sawagaki et al., 1997）、リュツォ・ホルム湾海底にも氷床変動により作られた地形が存在する可能性は高い（吉田他，1993；澤柿他，2002）。

南極周辺の大陸棚や大陸棚外縁部は一般的に400～900 mとかなり深く、場所によっては1000 mにも達する。その深い大陸棚にも氷山による海底削剥跡や、氷山により運ばれた漂流岩屑（IRD: Ice Rafted Debris）の堆積の存在がわかっており、これらの分析から氷床の過去を探る試み（能美他，2007）もされている。

大陸棚の深度は海水準変動や氷床の減少によるアイソスタティックだけでは説明がつかず、大陸棚の地形発達と南極氷床盛衰の歴史とは密接な関係があるとも考えられている（奥野他，2009）。

また大陸棚より更に深い水深2000 mに及ぶような場所でも氷蝕谷が形成されているが、このような深海で谷が形成されるメカニズムも明らかになっていない（吉田，1985）。

詳細な海底地形や浅部堆積物構造を把握することは過去の海水進退に対する知見を補助すると共に、海洋古環境復元への基礎データとなると考えられる。

更なる堆積環境の詳細な解析を行うには堆積物のコアを採取することが必要となってくる。堆積物採取のポイント選定にも地形調査は重要な役割を持つことになるであろう。

## 7 終わりに

第51次の観測ではリュツォ・ホルム湾やブライド湾などの氷海域で、船体航行試験と共に地形データ取得を行う予定である。調査を開始するにあたり、厳しい海象条件の中で観測機器の安定した動作が確保できるか、データ取得がどの程度可能か、そしてデータクオリティはどうかなど事前予想の難しい課題が山積みである。しかも輸送を第一任務とする「しらせ」では十分な調査期間は与えられておらず、その中でやり直しのきかない調査を実施していくこ

となる。厳しい条件ではあるが、南極の極域科学にとって多くの新知見が期待できるものであり、今後の成果が待たれる。

参 考 文 献

藤原健蔵：リュツォ・ホルム湾における測深と氷蝕大陸棚の地形，南極資料，**41**，81-103（1971）  
 海上保安庁：水路図誌目録，（2009）  
 海上保安庁水路部：南極洋資料，（1955）  
 国立極地研究所：リュツォ・ホルム湾海底地形図，（1989）  
 熊凝武晴・鈴木裕・柳川三郎：南極洋における測深および水深図 水産大特別研究報告1，**3**，241-249（1958）  
 L-3 Communications ELAC Nautik： [http://www.elac-nautik.de/\\_uploads/images/pdf/L-3 ELAC%20Nautik%20SBI%203020%20ICEstBREAKER.pdf](http://www.elac-nautik.de/_uploads/images/pdf/L-3%20ELAC%20Nautik%20SBI%203020%20ICEstBREAKER.pdf)  
 森脇喜一：昭和基地付近の海底地形－第15次越冬隊・地理部門報告I－，南極資料，**54**，101-115（1975）  
 Moriwaki, K: SUBMARINE TOPOGRAPHY OF THE CENTRAL PART OF LÜTZOW-HOLM BAY AND AROUND ONGUL ISLANDS, ANTARCTICA. *Mem. Natl Inst. Polar Res.*, Spec. Issue No 14, 194-209 (1980)  
 MORIWAKI, K. and YOSHIDA, Y. SUBMARINE TOPOGRAPHY OF LÜTZOW-HOLM BAY ANTARCTICA. *Mem. Natl Inst. Polar Res.*, Spec. Issue No **28**, 247-258 (1983)  
 文部省：南極六年史（1963）  
 村上文敏・西村昭・上嶋正人：南極周辺海域の地質調査－白嶺丸による20年間の成果－，月刊地球号外35，172-179（2001）  
 長尾年恭・青山雄一：南極海での地殻熱流量測定と地形データの問題点，月刊海洋，vol 27，No 58（1995）  
 能美仁博・横山祐典・三浦英樹・大河内直彦：深海底堆積物の解析による最終氷期以降の南極半島周辺氷床の消長，第四紀研究，**46**（2），103

-117（2007）  
 野木義史：南極海のテクトニクス，月刊地球，vol 17，No 6340-344（1995）  
 野木義史・池原実・中村恭之・亀尾桂・香月興太・川村明加・北重太：白鳳丸KH-07-4 Leg3航海での固体地球物理観測，第28回極域地学シンポジウムプログラム・講演要旨，**34**，（2008）  
 OMOTO, K.: Glacio-geomorphic study on submarine morphology east of Lützow-Holm Bay, East Antarctica. *Sci.Rep.Tohoku Univ.*, Ser.7 (Geogr.), **26**, 241-297 (1976)  
 Syqwest Inc.: <http://www.syqwestinc.com/B2010/b2010.htm>  
 奥野淳一・三浦英樹・野木義史，南極大陸周縁域の大陸棚深度に関する考察，第29回極域地学シンポジウムプログラム・講演要旨，**49**，（2009）  
 Takanobu Sawagaki, Kazuomi Hirakawa: Erosion of Bedrock by Subglacial Meltwater, Soya Coast, East Antarctica. *Geografiska Annaler*: vol 79 (4) 223-238 (1997)  
 澤柿教伸，松岡健一：東南極白瀬流域とリュツォ・ホルム湾沿岸における氷床底面に着目した氷河学的研究の可能性と展望，月刊地球Vol 24，No 1，70-75（2002）  
 菅沼悠介・池原実・三浦英樹：相対古地磁気強度を用いた南極海リュツォ・ホルム湾沖海底堆積物の年代推定，第28回極域地学シンポジウムプログラム・講演要旨，**9**，（2008）  
 庄司大太郎・佐藤任弘：南極の底質－その粒度分析－，南極資料，**7**，39-49，（1959）  
 Takahiro Sato: Submarine Topography and Several Bottom Sediments around Prince Olav and Prince Herald Coasts, Antarctica, *Antarctic Rec.*, **21**, 1777-1787 (1964)  
 牛尾収輝：頻発する南極リュツォ・ホルム湾の海水流出－1980年～2003年の海水状況から－，南極資料，**47**，No 3，338-348（2003）  
 Yoshio YOSHIDA: Echo-Sounding of Ice-Covered Waters from Surface of Ice, *Antarctic Rec.*, **34**

(1969)

吉田栄夫：南極大陸の地形，月刊地球vol 7, No 5, 240-247 (1985)

吉田栄夫・森脇喜一：南極の隆起海成地形に関する若干の問題，月刊地球, Vol 15, No 7, 395-399 (1993)

吉川虎雄・戸谷洋：第一次南極地域観測隊地理部門報告，南極資料, 1, 1-13 (1957)

ユニバーサル造船艦船・特機事業部 舞鶴事業所：防衛省殿向け砕氷艦「しらせ」のテクノロジー，ユニバーサル造船テクニカルレビュー, 4, (2009)