

JAREにおける船上目視観測による海水モニタリングに向けて  
—国際標準に基づく観測手順の簡略化とその活用例—大島慶一郎<sup>1\*</sup>・牛尾収輝<sup>2</sup>・大槻晃久<sup>2</sup>Sea-ice monitoring by ship-based visual observation during JARE  
—Simplification of observation method based on the ASPeCt protocol—Kay I. Ohshima<sup>1\*</sup>, Shuki Ushio<sup>2</sup> and Akihisa S. Otsuki<sup>2</sup>

(2006年5月8日受付: 2006年7月25日受理)

**Abstract:** A protocol for ship-based visual observation of sea ice is proposed for the Japanese Antarctic Research Expedition (JARE). The protocol is a simplified version of the ASPeCt protocol, used for extracting quantitative information on sea ice. The ship-based visual observations started from JARE-46. In the pack ice region, ice thickness, ratio of deformed ice, and total ice volume increased toward the coast. Continuous monitoring of sea ice, particularly its thickness, by ship-based observation is effective for obtaining information on climatology and interannual variation of sea ice in the coastal pack ice region.

**要旨:** 日本南極地域観測隊 (JARE) 用の船上海氷目視観測のプロトコルを提案した。ASPeCt (Antarctic Sea ice Processes and Climate) のプロトコルを簡略化したもので、海水の定量化に必要なものに絞ったものである。このプロトコルに従って、第46次隊から目視観測を開始した。流水域での観測では、沿岸に近づくにつれて氷厚・変形氷の割合とも大きくなり、海水の体積が著しく大きくなることが示された。継続した目視観測データの蓄積は、南極沿岸流水域の海水 (特にその厚さ) の気候値・年々変動を知る上で貴重なものとなる。

## 1. はじめに

現在、海水の情報は人工衛星によってはほぼリアルタイムに監視できるようになっている。特に海水の密接度 (海水が海面を覆う面積比) や拡がりにはマイクロ波放射計データにより、25 km の分解能でグローバルに監視できる。海水の漂流速度もマイクロ波データに面相関法を適用するなどして、ある程度把握可能である (Kimura, 2004)。しかしながら、衛星の観測

<sup>1</sup> 北海道大学低温科学研究所, Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Kita-19, Nishi-8, Kita-ku, Sapporo 060-0819.

<sup>2</sup> 情報・システム研究機構国立極地研究所, National Institute of Polar Research, Research Organization of Information and Systems, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

\*Corresponding author. E-mail: ohshima@lowtem.hokudai.ac.jp

では容易に計測できない重要な海水情報もある。その一つは海水の厚さである。ごく薄い海水に関しては、マイクロ波からある程度識別できるが (Markus and Burns, 1995 ; Ohshima *et al.*, 2005), 薄氷域は沿岸ポリニヤや氷縁という限られた海域にしかなく、多くの海水域ではマイクロ波から直接海水の厚さを知ることはできない。最近、人工衛星の海面高度計から海水の厚さを推定することが試みられているが (Laxon *et al.*, 2003), 分解能も悪く、まだまだ確立されたものには至っていない。

衛星観測では容易に把握できないもう一つの重要な海水情報は、海水表面の凹凸情報である。この海水の凹凸情報は海水の体積を見積る上で不可欠な情報である (Allison and Worby, 1994; Worby *et al.*, 1996)。砕氷船上からの海水目視観測は、特に他の手法では計測が容易でない厚さ・凹凸分布の情報を得る上でも、未だに有用な観測手法である。目視観測はどの海域でも特別な測器などを必要とせず実施できる利点がある。面的な情報を一定基準の下に記録することで、ある海域の海水の年々変動や様々な海水域間の比較も可能となる。

国際的にも、海水目視観測の重要性が再確認されており、SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) の ASPeCt (Antarctic Sea ice Processes and Climate) では、国際標準となる目視観測のプロトコルを作成し、その手引きを CD-ROM 化して全世界に配布している (Worby and Allison, 1999)。このような目視観測の国際標準化と並行して、全世界から目視観測データ (特に氷厚データ) を収集し、南極海域の氷厚の平均的分布 (気候値) を作るプロジェクトも行われている (Antarctic Ice Thickness Project : AnITPR)。未だ南極海域における氷厚の気候値さえもよくわかっていない現状を考えると、これらのプロジェクトの意義が理解できる。

日本南極地域観測隊 (Japanese Antarctic Research Expedition, 以下 JARE と略す) においては「しらせ」はほぼ毎年同じ時期に同じ海域を通る。従って、この航路上でのデータは海水の経年変動を調べるのに非常に有効である (大島, 2003)。昭和基地沖のセクターは他の国からはアクセスすることが難しい海域なので、海水データにおいても日本以外からはほとんど得られていない。このセクターの海水変動を日本が監視していくことは大きな貢献となる。しかしながら、今まで JARE のもとでの目視観測は海水研究者が観測隊員として乗船した時のみに限られている。2004 年までの時点で ASPeCt の目視観測に貢献したのは第 42 次隊の宇都正太郎氏によるものだけであった。

一方、海水の厚さは重要な情報であるので、第 29 次隊以後は船上ビデオ撮影による氷厚計測がしばしば行われてきた (下田ら, 1997; 宇都ら, 2004)。さらに、第 42 次隊からは船上からの EM (Electro-Magnetic induction sounding) による氷厚観測が開始され (Uto *et al.*, 2003, 2006)、現在も継続中である。定量性、時間分解能という点では EM 観測は非常に有力な手法であるが、船は開水面・薄氷域を選んで航行することや氷盤が船体の影響を受ける可能性もあり、データとしてやや代表性に難がある。目視観測は、船の周辺約 1 km の氷況をもとに記載するので、代表性としては良い場合もあること、EM 観測に対する比較・検証データ

として使えること, EM 観測からではわからないデータ (例えば雪の情報) も含んでいること, などからその有用性には変わりはない. 従って, EM 観測と目視観測を同時に行うことによって, 海水モニターとしてはさらに有効なデータを得ることになる. 海水・積雪の厚さ, 表面の凹凸状況は, 砕氷船の航行とも密接に関連し, 砕氷船運航計画のための基礎資料にもなり得るものである (例えば, 牛尾ら, 2004).

ASPeCt の目視観測プロトコルは, 海水研究を専門とする者以外にはやや複雑すぎるものである. JARE で目視観測を定常的に行うためには, 専門ではない観測者にもわかるようなプロトコルに変換する必要がある. 本報告は JARE 用に簡略・改良した海水目視観測のプロトコルとその観測方法 (手引) を示すとともに, 第 46 次隊の観測例をもとに, 目視観測からどのようなことがわかるかを紹介する.

## 2. JARE 用の目視観測プロトコル

国際標準となっている ASPeCt のプロトコル (Worby and Allison, 1999) を図 1 に示す. 図にあるように, 海水の種類 (ice type), 密接度 (ice concentration), 氷と雪の厚さ (sea ice and snow thickness), 氷盤サイズ (floe size), 表面の凹凸 (topography), 雪の種類 (snow type),

<p><b>ICE TYPE (ty)</b></p> <p>10 Frazil 11 Shuga 12 Grease</p> <p>20 Nilas 30 Pancakes 40 Young grey ice. 0.1-0.15 m 50 Young grey-white ice. 0.15-0.3 m 60 First year, 0.3-0.7 m 70 First year, 0.7-1.2 m 80 First year, &gt;1.2 m 85 Multiyear floes 90 Brash 95 Fast ice</p>	<p><b>FLOE SIZE (f)</b></p> <p>100 Pancakes 200 New sheet ice 300 Brash/broken ice 400 Cake ice, &lt;20 m 500 Small floes, 20-100 m 600 Medium floes, 100-500 m 700 Large floes, 500-2000 m 800 Vast floes, &gt;2000 m</p>	<p><b>TOPOGRAPHY (t)</b></p> <p>100 Level ice 200 Rafted pancakes 300 Cemented pancakes 400 Finger rafting</p> <p>5xy New, unconsolidated ridges (no snow) 6xy New ridges filled with snow or a snow cover 7xy Consolidated ridges (no weathering) 8xy Older, weathered ridges</p> <p>x values: 0 0-10% areal coverage 1 10-20% 2 20-30% 3 30-40% 4 40-50% 5 50-60% 6 60-70% 7 70-80% 8 80-90% 9 90-100%</p> <p>y values: 1 0.5 m av. sail height 2 1.0 m 3 1.5 m 4 2.0 m 5 3.0 m 6 4.0 m 7 5.0 m</p>	<p><b>SNOW TYPE (s)</b></p> <p>0 No snow observation 1 No snow, no ice or brash 2 Cold new snow, &lt;1 day old 3 Cold old snow 4 Cold wind-packed snow 5 New melting snow (wet new snow) 6 Old melting snow 7 Glaze 8 Melt slush 9 Melt puddles 10 Saturated snow (waves) 11 Sastrugi</p> <p><b>OPEN WATER</b></p> <p>0 No openings 1 Small cracks 2 Very narrow breaks, &lt;50m 3 Narrow breaks, 50-200 m 4 Wide breaks, 200-500 m 5 Very wide breaks, &gt;500 m 6 Lead/coastal lead 7 Polynya/coastal polynya 8 Water broken only by small scattered floes 9 Open sea</p>
<p><b>ICE CONC<sup>n</sup> (c)</b> to be expressed in tenths</p>			
<p><b>SEA ICE (z) AND SNOW THICKNESS (sz)</b> to be expressed in centimetres</p>			

図 1 ASPeCt の船上海氷目視観測プロトコル. Worby and Allison (1999) より.

Fig. 1. Protocol of ship-based visual observation of sea ice endorsed by the SCAR ASPeCt. After Worby and Allison (1999).

開水面の形態 (open water) の 7 種類の項目に分かれ、かなり詳細な記述が要求される。例えば、topography の項目では、リッジング (ridging; 氷盤がぶつかりあってできる脈々と盛り上がった氷況)、ラフティング (rafting; 氷盤が重なり合っている氷況) も何種類かに分けられ計 8 つの分類がある。Snow type も 11 に分類されている。これらの識別は海氷研究を専門とする者でなければ煩雑で難しい。これらの中で実際に必要性の高い情報は、topography では、変形氷化 (リッジングやラフティング) している部分の面積割合とセールハイト (基盤となる氷の表面からのリッジングまたはラフティングの高さ) の二つのみ、雪はその厚さのみであり、他の細かい情報は海氷を量的に評価する時にはあまり重要ではない。

JARE 用のプロトコルは「海氷の定量化に必要な情報のみに絞って、海氷研究の専門ではない観測者にもわかる」という方針で作られた。海氷データで重要な項目は、重要な順に、海氷の厚さ、リッジ (海氷表面の凹凸) の割合・セールハイト、海氷の種類、雪の厚さであるので、これらのみを記述するプロトコルとした。なお、以後リッジングやラフティングなどの変形氷 (化) を、リッジという言葉に代表させる。第 46 次隊と第 47 次隊で用いた JARE 用プロトコルとその手引書は付録に示した。

図 2 は、ASPeCt 用の目視観測シートと JARE 用の観測シートを比較したものである。観測時の船周辺の氷況は一様とは限らないので、ASPeCt 用の場合は、氷況を代表的なものか

ASPeCt版 観測シート

Day/Date (Z):		31 July 1995		DAY 212																						
POSITION			SEA ICE OBSERVATIONS																							
hr (Z)	Lat (°S) dd mm	Long (°E/W) ddd mm	Conc. (tenths)	PRIMARY					SECONDARY					TERTIARY					O/W							
				c	ty	z	f	t	s	sz	c	ty	z	f	t	s	sz	c	ty	z	f	t	s	sz	hr (Z)	
0																									0	
1	63 22	139 47	8	1	80	150	500	833	4	15	5	60	50	400	601	3	10	2	10	2	-	-	-	-	2	1
2	63 39	139 50	9	3	60	50	400	621	4	10	6	50	30	500	100	2	5									1
3	63 39	139 51	9	4	70	80	500	621	4	15	5	60	60	500	611	3	10									1
4	63 46	139 52	8	2	70	100	400	641	4	10	6	60	70	500	100	3	5									1
5	63 50	140 09	0																							7

JARE版 観測シート

Date(Z)		2004年 12月 15日										
時 (Z)	分	Position	全密 (%)	密 (%)	厚 (m)	Size	リッジ 率 (%)	リッジ 高 (m)	リッジ 雪 (m)	コメント	写真	観測者
8		LAT 65° 38.3'	95	1	30	0.8	4	20	1.0	0.2	3	大槻
		LON 39° 16.0'		2	65	0.3	5	0	0.0	X		
9		LAT 65° 50.6'	30	1	30	0.3	4	0	0.0	X	右舷	島田
		LON 39° 6.3'		2								
10		LAT 66° 3.3'	90	1	60	0.7	4	0	0.0	0.2-0.3	3	大槻
		LON 38° 52.0'		2	30	X	3	0	0.0	X		

図 2 ASPeCt 用の海氷目視観測シート (Worby and Allison, 1999) と JARE 用の観測シート。  
 Fig. 2. Form used for ship-based sea ice observations by (upper) ASPeCt (Worby and Allison, 1999) and (lower) JARE.

ら三つまで選んで記載するようになってきている。JARE 用では簡略化のため二つまでとしている。ASPeCt 用では、図 1 にあるように、多くの分類の中から記号で記載するようになってくるが、JARE 用では、*floe size* のみ記号で、あとは割合の場合は何 %、厚さ・高さの場合は何 m という計測の数字そのものを書くスタイルとしている。毎正時の 1 時間ごとに計測というのは同様である。なお、ASPeCt の目視観測を推進している米国の S. Ackley 博士と議論し、JARE 用に簡略化したプロトコルでも十分に ASPeCt へ提供可能であることの確認を得ている。

### 3. 第 46 次隊での目視観測

「しらせ」において、海水を目視観測できる機会は、通常昭和基地への往路と復路の 2 回ある。しかし、復路の時期の 2 月中旬は海水域の融解進行が顕著な時期であり、沖の流氷域には海水はほとんどない場合が多い。リュツォ・ホルム湾内の定着氷の厚さは、何年氷か、最後に割れ出したのはいつか、などのローカルな要因で決まる (Kawamura *et al.*, 1997; 牛尾, 2003; 牛尾ら, 2004; Ushio, 2006)。沖合流氷域の海水は、南極沿岸流によって東から西へと漂流しており (Ohshima *et al.*, 1996; Kimura, 2004)、ある程度は東南極沿岸の流氷域を代表していると考えられる。南極の海水モニタリングという観点からは、往路での観測、特に往路の流氷域における観測の重要度が高い。

図 3 は第 46 次隊の往路の航路と、そのときの海水密接度を示している。氷縁から定着氷に到達するまでの流氷域での観測は、実時間にすると 2 日半でしかない。第 47 次隊ではさ

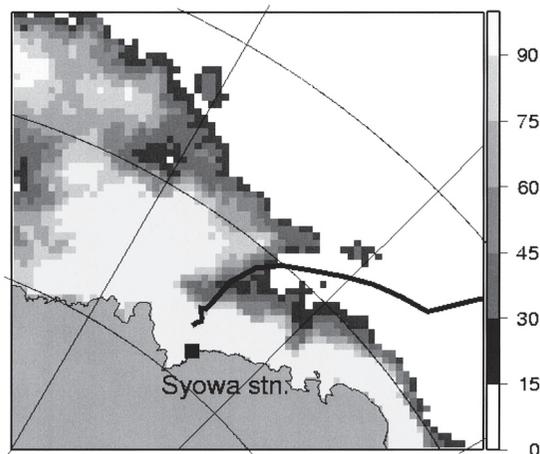


図 3 第 46 次隊における「しらせ」の往路航路と、そのとき (2004/12/16) の海水密接度。海水密接度は SSM/I による。

Fig. 3. Cruise track of icebreaker Shirase to Syowa Station on JARE-46 and sea ice concentration on 16 December 2004, derived from SSM/I.

らに短く、1日しかなかった。現実的には、往路の1-3日のみが目視観測にとって重要となる。将来的には、より重要な流水域では約30分ごとに観測することが望ましいと考えられる。

第46次隊での目視観測の結果を一部紹介する。図4は往路の全流水域での海水厚の分布図である。各氷況の面積比なども考慮して計算している。1m前後の厚さの海水が最も卓越していることがわかる。図5の棒グラフの灰白部は海水厚を緯度帯ごとに平均して示したものである。高緯度の沿岸に近い海域ほど、厚さが大きくなっていることがわかる。全域を平均すると、平均氷厚は約1.2mという結果となる。これらの結果は、例えば第30, 31, 32次隊によるほぼ同じ海域での氷厚ビデオ観測から得られた結果（下田ら, 1997; 宇都ら, 2004; Ohshima *et al.*, 1998）とおおむね同様な結果となっている。

これらの氷厚データはリッジ化していない平坦部分の厚さである。しかし、海水には相互に重なり合っている部分（ridging や rafting）もあるため、海水の体積を求めるには、リッジ（凹

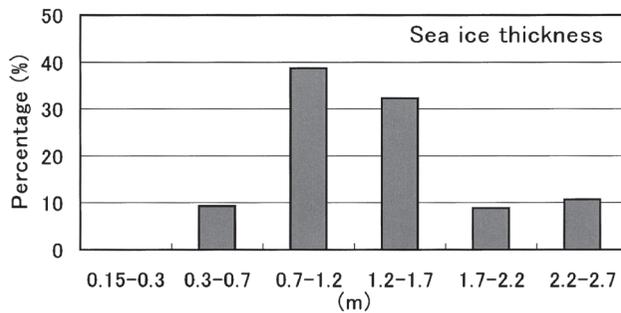


図4 往路全流水域での目視観測による海水厚の分布。第46次隊による観測。  
 Fig. 4. Distribution graph for sea ice thickness in the pack ice zone, derived from ship-based visual observation by JARE-46.

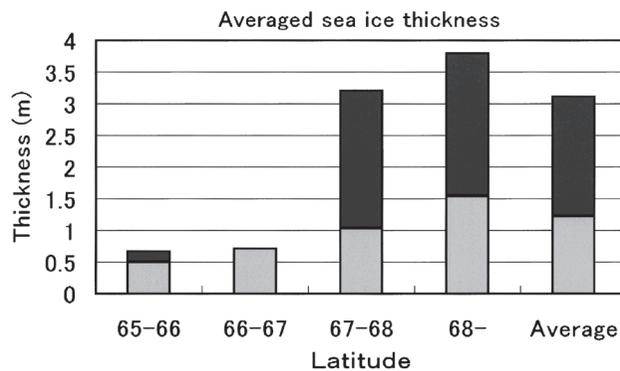


図5 緯度帯ごとに平均した海水厚。灰白部は一枚氷の厚さ、黒塗り部がリッジ部の寄与分、両者を合わせたものがリッジ部を含む平均氷厚。第46次隊による観測。  
 Fig. 5. Latitudinal averaged sea ice thickness derived from ship-based visual observation by JARE-46. Grey shows the thickness of undeformed sea ice and black shows the contribution of ridging to the thickness. The total represents the averaged ice thickness with deformed ice taken into account.

凸)の情報が必要となる. Allison and Worby (1994) は, (氷盤の) 氷厚とリッジの割合・セールハイトから, 海水の体積を算出する方式を提案した. 図6はその模式図で, 平坦部分の氷盤の氷厚を  $Z_u$ , リッジのセールハイトを  $S$ , リッジの海水板面積に占める割合を  $R$  とすると, リッジ部も含む平均氷厚  $Z_r$  は

$$Z_r = (r+1) (0.5 \times R \times S) + Z_u, \tag{1}$$

となる. ここでアイソスタシーの仮定から  $r=4.3$  がよく使われる (Worby and Allison, 1999). Allison and Worby (1994) は実測に基づいて式 (1) の有効性を確かめている.

目視観測のリッジの割合・セールハイトのデータを基に算出した, 氷厚を緯度帯ごとに示した (図5). 図5では灰白部と黒塗り (リッジ部の寄与分) の部分を合わせた量が実質的な平均氷厚である. 海水の体積はこの氷厚と密接度を掛け合わせることで導出される. この図からわかるように, 特に沿岸近くはリッジ部が体積に占める割合が極めて高く, 海水の体積を見積る上でリッジの情報が不可欠であることがわかる. また, 沿岸近くでリッジが著しく大きな割合となるのは沿岸域に卓越する東風によって, 沿岸近くは海水の収束場になって

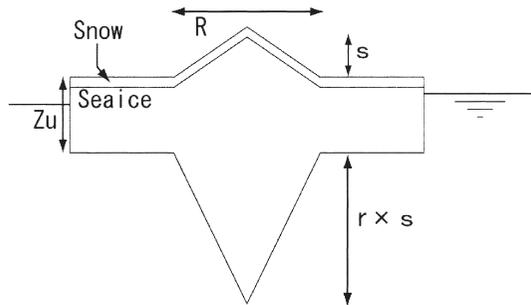


図6 リッジ部分を含めた平均氷厚を割り出す方式の模式図.

Fig. 6. Schematics of method for estimation of averaged ice thickness with ridging taken into account.

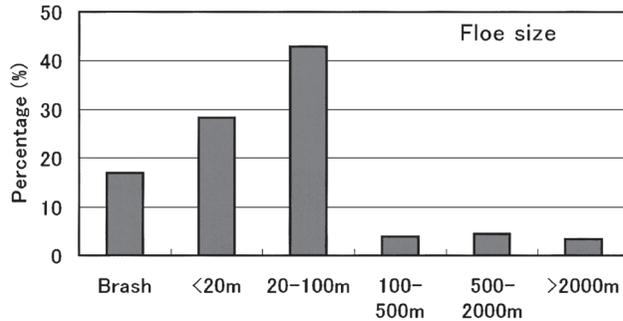


図7 流水域全体での氷盤サイズのヒストグラム, 第46次隊による観測.

Fig. 7. Distribution graph for floe size in the pack ice zone, derived from ship-based visual observation by JARE-46.

いることを反映している。

図7は流氷域全体での氷盤サイズの分布図である。海水域がどのような氷盤の大きさの集合でできているかは、例えば海水の融解過程を考える場合も重要な情報である。氷盤の大きさが小さくなるほど、側面融解が大きくなり融解が促進されるからである（例えば、Ohshima *et al.*, 1998）。

#### 4. おわりに

北極海では最近の30-40年間で海水の厚さが、有意にかつ著しく減少していることが報告されており（例えば、Rothrock *et al.*, 1999）、温暖化の影響が最も強く出る海域として重要視されている。南極海全域では海水面積で見ると、この30年で有意な減少トレンドがあるとは認められない（例えば、気象庁, 2006）。海水の厚さや体積はどのようなのであろうか。また今後温暖化の微候が南極海域の海水にも現われるのであろうか。海水目視観測による海水データの取得は地道ではあるが、海水の経年変動の検出のために不可欠な観測であり、上述のような重要な問題に基本的な情報を与えるものである。今後「しらせ」及び後継観測船の航路上での目視観測が定常的に続けられれば、10年、20年先を考えると貴重な情報になってくるのは間違いないであろう。加えて、海水目視観測データは、砕氷船の運航上においても貴重な基礎資料となる。

海水目視観測は、第46次隊に続いて第47次隊でも実施され、さらに第48次隊でも計画されている。必ずしも毎年、海水研究者が観測隊に加わることがない状況の下でも、海水目視観測が継続的なモニタリング研究として位置付けられるよう、引き続き観測手順の改良と支援体制の充実を計りたいと考える。

#### 謝 辞

海水目視観測の提案を快く引き受けサポートして頂いた第46次隊の松原廣司隊長、渡邊研太郎副隊長、現地で海水目視観測を実施していただいた同隊の島田裕之氏、藤井純一氏、江川晋子氏、古崎睦氏、岸本栄二氏、及び第47次隊の下田春人氏に深く感謝いたします。目視観測のプロトコル作成及びデータ処理方法には豊田威信氏、宇都正太郎氏から非常に有益なアドバイスを頂きました。図3は二橋創平氏に作成して頂きました。ここに合わせて感謝の意を表わします。

#### 文 献

- Allison, I. and Worby, A. P. (1994): Seasonal changes of sea-ice characteristics off East Antarctica. *Ann. Glaciol.*, **20**, 195-201.
- Kawamura, T., Ohshima, K. I., Takizawa, T. and Ushio, S. (1997): Physical, structural and isotopic characteristics and growth processes of fast sea ice in Lützow-Holm Bay, Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **102**, 3345-3355.

- Kimura, N. (2004): Sea ice motion in response to surface wind and ocean current in the southern ocean. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, **82**, 1223–1231.
- 気象庁 (2006): 北極域および南極域の海水. 気候変動監視レポート, **2005**, 23.
- Laxon, S., Peacock, N. and Smith, D. (2003): High interannual variability of sea ice thickness in the Arctic region. *Nature*, **425**, 947–950.
- Markus, T. and Burns, B. A. (1995): A method to estimate subpixel-scale coastal polynyas with satellite passive microwave data. *J. Geophys. Res.*, **100**, 4473–4487.
- 大島慶一郎 (2003): 南大洋域の観測の重要性. *天気*, **50**, 604–609.
- Ohshima, K. I., Takizawa, T., Ushio, S. and Kawamura, T. (1996): Seasonal variations of the Antarctic coastal ocean in the vicinity of Lützow-Holm Bay. *J. Geophys. Res.*, **101**, 20617–20628.
- Ohshima, K. I., Yoshida, K., Shimoda, H., Wakatsuchi, M., Endoh, T. and Fukuchi, M. (1998): Relationship between the upper ocean and sea ice during the Antarctic melting season. *J. Geophys. Res.*, **103**, 7601–7616.
- Ohshima, K. I., Nihashi, S. and Tamura, T. (2005): Detection of coastal polynyas and ice production in the Antarctic and Okhotsk Seas from SSM/I. *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2005*, Vol. 4. 2652–2655.
- Rothrock, D.A., Yu, Y. and Maykut, G. A. (1999): Thinning of the Arctic sea-ice cover. *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 3469–3472.
- 下田春人・遠藤辰雄・村本健一郎・小野延雄・滝澤隆俊・牛尾収輝・河村俊行・大島慶一郎 (1997): 船上ビデオ撮影による南極沿岸域の海水状況. *南極資料*, **41**, 355–365.
- 牛尾収輝 (2003): 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**, 338–348.
- 牛尾収輝・宇都正太郎・泉山 耕・下田春人・鮎川 勝 (2004): 「しらせ」砕氷航行データが示す南極リュツォ・ホルム湾定着氷の年々変化. *南極資料*, **48**, 180–190.
- Ushio, S. (2006): Factors affecting fast-ice breakup frequency in Lützow-Holmbukta, Antarctica. *Ann. Glaciol.*, **44** (in press).
- 宇都正太郎・下田春人・泉山 耕・牛尾収輝・青木 茂・橋田 元・若林裕之・西尾文彦 (2004): 船上観測データに基づく南極リュツォ・ホルム湾定着氷の夏季における氷厚及び積雪深分布特性について. *南極資料*, **48**, 165–179.
- Uto, S., Shimoda, H. and Izumiyama, K. (2003): Sea ice thickness and snow depth distribution of the summer land-fast ice in Lützow-Holm Bay, East Antarctica. *Proceedings the 17th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, Vol. 1. 175–183.
- Uto, S., Shimoda, H. and Ushio, S. (2006): Characteristics of sea ice thickness and snow depth distributions of the summer land-fast ice in Lützow-Holmbukta, East Antarctica. *Ann. Glaciol.*, **44** (in press).
- Worby, A. P., Jeffries, M. O., Weeks, W. F., Morris, K. and Jaña, R. (1996): The thickness distribution of sea ice and snow cover during late winter in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **101**, 28441–28455.
- Worby, A. P. and Allison, I. (1999): A technique for making ship-based observations of Antarctic sea ice thickness and characteristics, Part I: Observational technique and results. *Antarct. CRC Res. Rep.*, **14**, 1–23.

## 付録 「しらせ」上での海水目視観測の手引き（抜粋）

## Appendix. Instruction manual for ship-based observation of sea ice on board Shirase.

正時の前後 10 分（正時-5 分から正時+5 分）くらいでの、船の周り半径約 1km の範囲の海水状況を記載する。正時に観測できなくても、1 時間に 1 回程度の観測があることが重要なので、正時に遅れてもよいから観測するのが望ましい。観測シートの時間には、GMT(Z)で観測のほしい真中の時間（分）を記載する。最低 5 分間の平均的なものを記載する。氷況は一気に変わる場合もあるが、あまり迷わずに、自分がこの時間と決めた中で代表的なものから上位 2 種類のみ記載する。

観測したときの緯度・経度も記載。時間さえ正しく記載すれば緯度・経度は後でもわかるので、時間が大事。正時の位置は艦橋でも取っているの、後でそれを記載する手もある。

天候が悪い時（目安として風速 15 m/s 以上）は、外に出ず、ブリッジ内から判定できる範囲の情報のみを記載する。特に upper デッキへ上るのは慎重に）

**全密：**船周り全体での海水の密接度（sea ice concentration）

どのくらいの割合海水が覆っているかを 10%単位で記載。ほんのわずかにある場合（5%以下）は 5、100%と 90%の間は 95 とする。ブリッジまたはブリッジの屋上(図 A1 の A)から全体を見回して判定する。

この際に、ブリッジ屋上より、デジカメで正面と左右の計 3 枚の写真を撮る。天候が悪ければ外へは出ず、ブリッジ内からの撮影でよい。

**船周りの状況がほぼ均一の場合：**全密の右の欄は 1 のみ記入。

**密：**海水密接度。この場合は全密と同じ値になる。

**厚：**平均的な氷の厚さ。全項目の中で一番重要な量。0.1m 単位で記載。1m 以上は 0.5m 単位で。\* \* m 以上、\* \* m 以下といった記載は避ける。あくまで、リッジ化していない（盛り上がりがない）氷盤の平らな部分の厚さ。原則として雪を除いた氷の部分の厚さ。雪と海水が判別しにくい場合は全体の厚さを海水の厚さとし、雪の項は×とする（雪については後述）。厚さがわからない場合（近くに海水がないケースなど）は厚さの所は×と記載する。往路、海水が見え始めた密接度が小さい海域では、しばらくは厚さはわからないので×としてよい。

氷厚の推定には、氷盤が折り重なって側面が見える場合や船が氷を割っていく際に、割れた氷盤が 90° 回転した時などを参考にする。氷盤の厚さは、開水面から出ている部分の長さの約 5 倍であることも参考にする。

厚さの観測は飛行甲板（図 A1 の D）で行うのが望ましい。この位置から真下の割れた海水に対して、手を伸ばして（片目をつぶって）物差しと合わせた時、8cm が長さ 1m に相当する。あらかじめ、4cm ごと（海水の厚さの 0.5m に対応）にメモリを振ったスケールを用意しておく。観測場所はブリッジの後ろ（図 A1 の B）からでもよい。この場所では手を伸ばして物差しと合わせた時、4cm が真下の水面近くの長さ 1m に相当する。

手元スケールの確認には、しらせに持ち込んでいるビデオ氷厚検定用の十字型スケール（1 辺 1.5m）を停船中に降ろして用いるとよい。

アザラシやペンギン・トウガモなどの動物が近くにいる時は、動物をものさしにすることができる。その場合、図 A2 の動物ものさしを参照にする。

**Size：**平均的な氷盤の大きさ、形状。

以下の中から一つ選ぶ。1 から 8 の算用数字で記載。

- 
1. **Pancake ice** : はす葉氷。数十 cm から数 m 程度の直径を持ち、ほぼ円形。海水が生成される際にできるので、海水融解期である 12 月・1 月はほとんどないと思われる。
  2. **Sheet ice** : はす葉氷はある程度波や風のある場合にできるが、静かな状況のとき、大きな氷板と氷板の間などにできる一枚氷。これも生成期にできるので、12 月・1 月にはほとんど見られないと思われる。
- 従って、往路に関しては、海水融解期なので、以下の 6 つの中から選ぶことになる可能性が高い。
3. **Brash/Broken ice** : 砕け氷。融解の際に氷盤が割れて（砕けて）グジャグジャ、ポロポロになったような氷。
  4. **Cake ice** : <20m の氷盤。大きな氷盤がどんどん割れて小さい size になっていく際に見られる。
  5. **Small floes** : 20–100m の氷盤
  6. **Medium floes** : 100–500m の氷盤
  7. **Large floes** : 500–2000m の氷盤
  8. **Vast floes** : > 2000m の氷盤

**リッジ (凹凸)** : 海水表面の凹凸の状況。氷盤がぶつかりあって脈々とリッジ状に盛り上がるリッジング (Ridging)、氷盤が重なり合うラフティング (Rafting) の状況を記載する。

率 (%) は海水の占める面積のうち、どのくらいの割合が Ridging 又は Rafting しているかを 10% 単位で記載する。Ridging や Rafting した後に雪が積もっている場合があるので見落とさないように注意。1 枚氷ではない、でこぼこした状況はすべてリッジの割合とする。Ridging と Rafting の区別はしなくてよい。特に見られなければ、0 とする。降雪などで視界が悪くリッジの様子がよくわからない場合は×として 0 と区別する。

**高 (m)** は Ridging また Rafting の sail height。つまり基盤になっている氷に対し、どのくらいの高さ盛り上がっているかを 0.5m 単位で記載する (最低を 0.5m とする)。0.5m、1.0m、1.5m・・・。

**雪(m)** : 海水に乗っている雪の厚さを 0.1m 単位で記載。船に割られたりして横に回転した氷盤は上についていた雪が剥離する場合があるので注意。

可能な限り、海水と雪の厚さは区別してそれぞれの厚さを記載する。区別が難しい場合 (経験上よくあるケース)、全体の厚さを海水の厚さとし、雪の項は X として、雪がほとんど載っていないと判断される 0 と区別する。今までの経験では、雪の厚さは海水の厚さの 1~3 割程度というのが典型的。

---

船の周りの状況が均一でない場合：

明らかに氷況が異なる海域が船の周りには、それぞれについて上にあるような厚さ、size等を記載する。最大2つまで異なった氷況を書くこととする。だいたい一様と思ったら、1のみの記入で十分。

2つの異なった氷況が周りにあった場合には、その中で海水が厚い氷況のものを1へ。薄いのを2へ記載する。1、2の次にある密は全域の面積に対するそれぞれの海水の密接度を意味する。従って、1、2の密を合計したものは全密と等しくなる。

コメント：以下の事項を記入する

- ・ 船が比較的薄い氷域を選別して航行していないか。
- ・ 氷盤の裏側にアイスアルジ（あると茶褐色の色が付く）が発達していないか。
- ・ その他気づいた点。

写真：デジカメで撮った写真の枚数など。

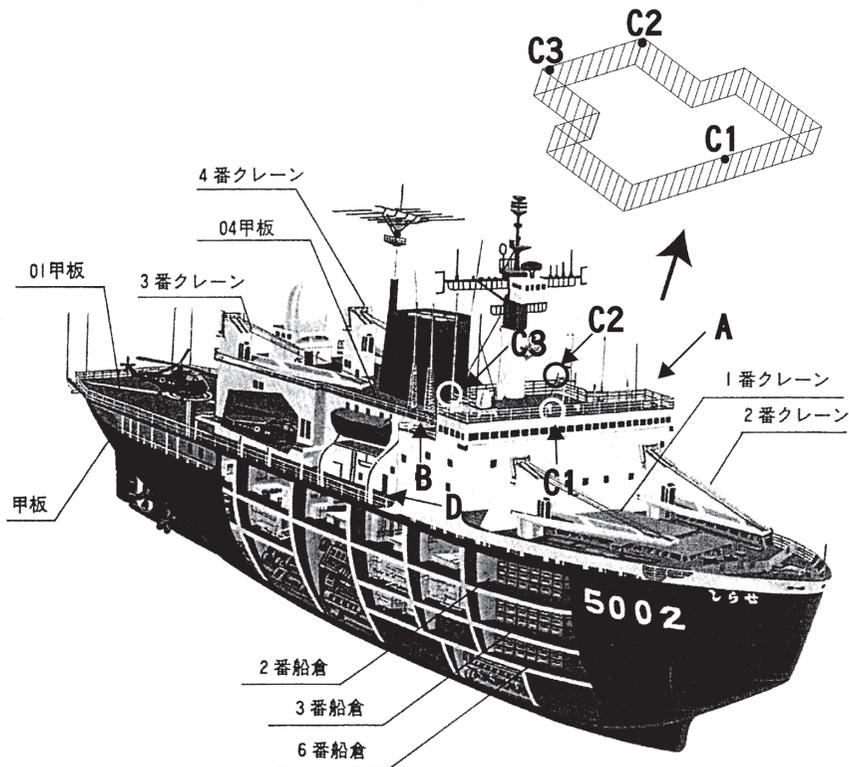
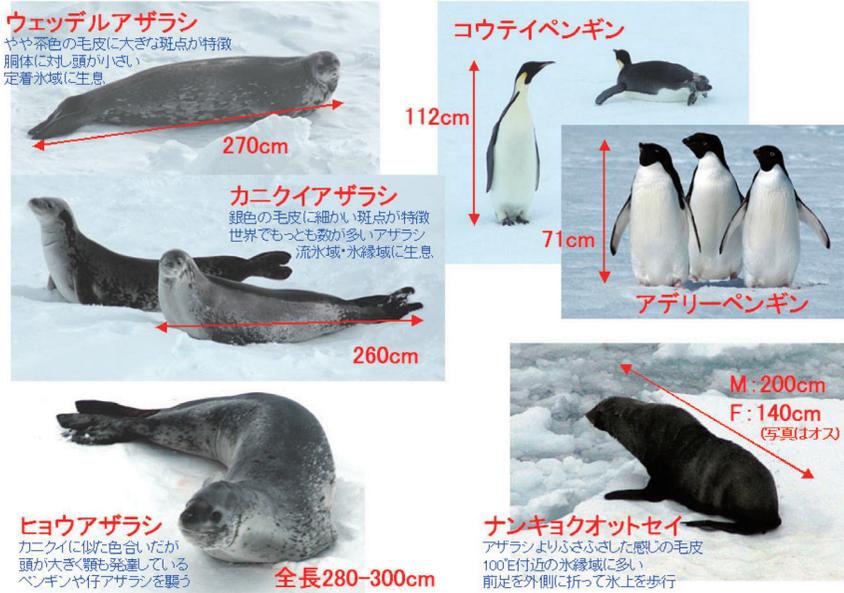


図 A1:「しらせ」の概観と海水目視観測の観測場所。「南極への輸送の手引 2002 年版（国立極地研究所編）」に加筆。

**海氷上に出現する動物たちの大きさ（哺乳類・ペンギン）**



**海氷上に出現する動物たちの大きさ（海鳥）**



図 A2 : 目視観測のための動物スケール。氷の厚さや sail height、氷盤の大きさなどの推定の際にスケールとして参考にする。