

## 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

宇都正太郎<sup>1</sup>・下田春人<sup>1</sup>・泉山 耕<sup>1</sup>・牛尾収輝<sup>2</sup>・青木 茂<sup>3</sup>  
 橋田 元<sup>2</sup>・若林裕之<sup>4</sup>・西尾文彦<sup>5</sup>

### Characteristics of sea ice thickness and snow depth distributions of the land-fast ice during summer in Lützow-Holmbukta, Antarctica, revealed from ship-based observations

Shotaro Uto<sup>1</sup>, Haruhito Shimoda<sup>1</sup>, Koh Izumiyama<sup>1</sup>, Shuki Ushio<sup>2</sup>, Shigeru Aoki<sup>3</sup>,  
 Gen Hashida<sup>2</sup>, Hiroyuki Wakabayashi<sup>4</sup> and Fumihiko Nishio<sup>5</sup>

(2004年5月10日受付; 2004年7月7日受理)

**Abstract:** Sea ice observations have been conducted onboard the Antarctic Research Vessel “*Shirase*” since 1987. The authors summarize these data to investigate spatial and inter-annual variability of sea ice thickness and snow depth of the summer land-fast ice in Lützow-Holmbukta. Probability density functions of annual total thickness (ice thickness + snow depth) derived from video observations are categorized into two types, *i.e.* a thin-ice and a thick-ice type. The total thickness distributions observed by the electro-magnetic inductive method have a clear discontinuity, which reflects the past break-up of the land-fast ice. Thin first-year ice develops offshore of this location, while multi-year ice mostly develops onshore. Ice thickness and snow depth gradually decrease toward the coast within about 20 km offshore, probably due to snow drift driven by the strong northeasterly wind. It is concluded that the past breakup of the land-fast ice as well as snow depth have dominant influence on the spatial distribution of ice thickness in Lützow-Holmbukta. The extent of break-up varies significantly year by year. The smaller extent enhances the development of thick multi-year ice, while the larger extent, coupled with the influence of snow drift, enhances reduction or extinction of thick multi-year ice.

<sup>1</sup> 海上技術安全研究所. National Maritime Research Institute, 6-38-1 Shinkawa, Mitaka-shi, Tokyo 181-0004.

<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.

<sup>3</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>4</sup> 宇宙航空研究開発機構地球観測利用推進センター. Earth Observation Research and Application Center, Japan Aerospace Exploration Agency, 1-8-10 Harumi, Chuo-ku, Tokyo 104-6023.

<sup>5</sup> 千葉大学環境リモートセンシング研究センター. Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, 1-33 Yayoi, Inage, Chiba 263-8522.

**要 旨:** 南極観測船「しらせ」船上で取得された海水観測結果をもとに、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について考察した。ビデオ観測結果から求めた各年の全氷厚(氷厚+積雪深)確率密度分布は薄氷型と厚氷型に分けられることがわかった。また大陸沿岸から約 20 km 圏内では全氷厚及び積雪深は沿岸に向かって漸減する傾向を示した。これは北東方向の卓越風による積雪輸送によると考えられる。電磁誘導法によって観測された全氷厚分布には不連続的な変化が認められた。NOAA/AVHRR 画像と比較した結果、不連続の位置は定着氷流出後の再結水域における一年氷と、未流出の厚い多年氷との境界に一致することがわかった。定着氷の流出範囲は年によって大きく変動する。流出位置が沖側に後退すると厚い多年氷域の割合が多くなり厚氷型になり、沿岸に近づく積雪影響も相まって厚い多年氷域が縮小または消滅し、薄氷型になるというメカニズムが明らかになった。

## 1. はじめに

極域における海水域の年々変動を明らかにすることは、地球規模の気候形成のメカニズムを解明する上で非常に重要である。衛星リモートセンシングは北極域における海水面積の近年の減少傾向を明らかにする(例えば Comiso *et al.*, 2003) など、海水域の平面的な情報の把握には非常に有効であるが、氷厚の定量的な推定は今日でも困難である。このため中長期的な氷厚のモニタリング観測が必須となるが、観測手段及び機会が少ないため、利用可能なデータは極めて限られているのが現状である。

日本南極地域観測隊(JARE)は南極観測船「しらせ」の船上で以下に示すように海水氷厚の観測を実施してきた。ビデオを用いた氷厚及び積雪深の観測(以下、ビデオ法)は29次夏隊(1987-88)以降、44次夏隊までに9回実施されている(上村・北川, 1989; 下田ら, 1997)。また42次夏隊(2000-01)以降、電磁誘導法(以下、EM法)による氷厚観測を実施中である(Uto *et al.*, 2003)。EM法は積雪を含む氷厚(以下、全氷厚)を非接触で連続的に観測することができる数少ない手法の一つである。従来から氷上(例えば Kovacs and Morey, 1991, Worby *et al.*, 1999)及び航空機(例えば Kovacs and Holladay, 1990)観測に用いられてきたが、近年では船舶による観測にも用いられるようになった(例えば Haas, 1998, Haas *et al.*, 1999)。

このように長期間継続的に氷厚及び積雪深のモニタリング観測が実施された例は少なく、世界的にも貴重なデータと言えよう。「しらせ」の航路は隊次によって異なるが、リュツォ・ホルム湾の定着氷域では例年ほぼ同じ時期に、ほぼ同じ航路上を航行する。本報告ではビデオ法による比較的長期に渡る観測データと、EM法による高い空間分解能のデータを総合的に解析することによって、リュツォ・ホルム湾定着氷厚及び積雪深が空間及び時間的のどのような変動特性を有するか、について考察した。

## 2. 観測手法

42次夏隊以降に供されている「しらせ」船上海氷観測システムを図1に示す。船体中央部

右舷側に EM 法による計測装置を、その船尾寄りにビデオカメラをそれぞれ設置した。この他に「しらせ」艦橋上部マストに設置されたカメラの画像を記録し、海水の種類及び密接度を観測した。以下、EM 法による全氷厚観測手法について記述する。なおビデオ法による氷厚及び積雪深観測の手法は下田ら（1996）に詳しい。

EM 法による氷厚観測の原理を図 2 に示す。一般に海水の電気伝導度は海水に比べて非常に小さい。このため EM センサ (EM-31/ICE, Geonics 製) の送信コイルによる一次磁場 ( $H_p$ ) は空気中と同様に、海水中をほぼ透過し、海水の表面付近に強い誘導電流を形成する。

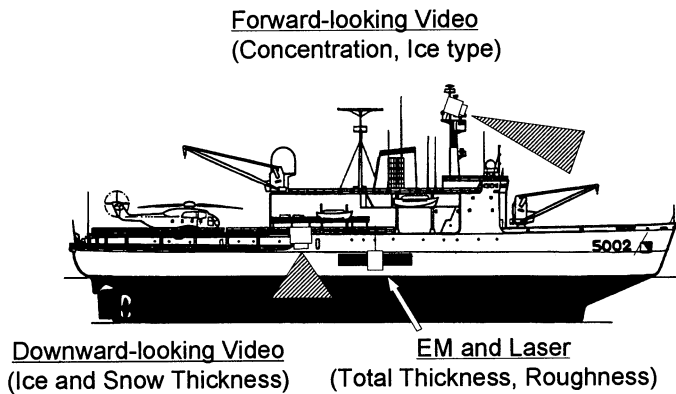


図 1 南極観測船「しらせ」船上での海水観測システム  
 Fig. 1. Sea ice monitoring system onboard the Antarctic research vessel "Shirase".

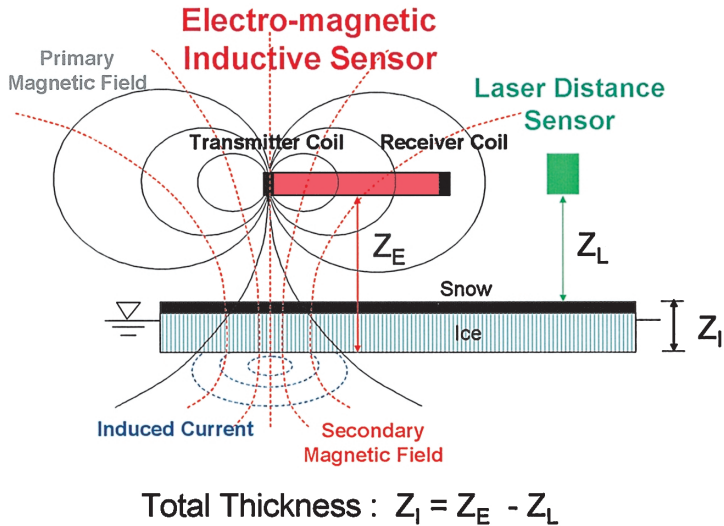


図 2 EM 法による全氷厚観測の原理  
 Fig. 2. Principle of the electro-magnetic inductive observation of total thickness of sea ice.

これによって生起された誘導磁場 ( $H_s$ ) をセンサの受信コイルで検知する。磁場強度の比の imaginary part は近似的に、センサ下部の半無限空間における見かけの電気伝導度 ( $\sigma_a$ : apparent conductivity) と次式の関係有する。

$$\sigma_a = \frac{4000}{2\pi\mu_0 f s^2} \text{Im}\left(\frac{H_s}{H_p}\right), \quad (1)$$

ただし  $\mu_0$  は真空中の透磁率を、 $f$  は交流磁場の周波数を、 $s$  は送受信コイルの間隔をそれぞれ表す。 $\sigma_a$  はセンサから氷盤底面までの距離 ( $Z_E$ ) の関数であり、その関数形は理論的もしくは実験的に定めることができる。本報告では開水面で観測されたデータを回帰分析し、以下の関係式を求めた (宇都ら 私信, 2003)。

$$\begin{aligned} Z_E &= b_0 + b_1 \ln(\sigma_a - b_2), \\ b_0 &= 10.965, b_1 = -1.6437, b_2 = 2.5617. \end{aligned} \quad (2)$$

一方、レーザ距離センサ (LD90-3100HS, Riegl 製) によって海氷表面 (積雪がある場合は積雪表面) までの距離 ( $Z_L$ ) を計測する。2つの距離の差から積雪を含む海氷の厚さ (全氷厚,  $Z_I$ ) を求める。

Haas *et al.* (1999) は北極海における船上観測の結果から、本手法による氷厚観測精度を高々  $\pm 0.2$  m 程度と報告している。Worby *et al.* (1999) は本センサを用いた氷上観測結果をドリルによる掘削結果と比較した。その結果、厚さ 0.6–0.8 m の非変形氷は  $\pm 10\%$  以内、変形氷は  $\pm 30\text{--}40\%$  以内の精度でそれぞれ一致することを報告している。リュツォ・ホルム湾定着氷は変形度の小さい海水が大半であるため、本手法による観測に適していると考えられる。

観測装置の設置状況を写真 1 に示す。船体との電磁気的な干渉を避けるため専用の鋼製ブームを設置し、長さ約 7 m のブーム先端からセンサを吊り下げた。またセンサと氷盤の接触を避けるために、センサを氷盤表面から 4–5 m の高度に保って観測を実施した。

### 3. 観測結果

#### 3.1. ビデオ法による観測結果

ビデオ法による氷厚及び積雪深観測は、29次夏隊で試行的に行われ、その後44次夏隊までの16年間のうち9回実施されている。表1にリュツォ・ホルム湾定着水域における観測結果のまとめを示す。隊次によって若干ばらつきがあるものの、往路は12月中旬から1月上旬まで、復路は1月下旬から2月中旬までの期間に観測が行われている。ただし復路は観測機会及びデータ点数が少ないため、本報告では往路観測データについて報告する。

リュツォ・ホルム湾定着水域における「しらせ」の航跡を図3に示す。ただし船位データが入手できた7航海についてプロットした。各隊次で観測された全氷厚データの確率密度分布を図4に示す。データ数及び観測区間等が異なるため厳密な比較はできないが、確率密度



写真 1 EM 観測装置の設置 EM センサ及びレーザ距離センサは保護用の木枠に収納されている  
 Photo 1. Setup of EM Instruments. The EM and the laser distance sensor are contained in the wooden frame.

表 1 リュツォ・ホルム湾定着氷の全氷厚及び積雪深観測結果のまとめ（ビデオ法）  
 Table 1. Summary of the video observations of total thickness and snow depth of land-fast ice in Lützw-Holmbukta.

JARE		Date of Observation		No. of Samples		Mean Value [m]	
		from	to	Total Thickness	Snow Depth	Total Thickness	Snow Depth
29	outward	88/01/01	88/01/01	112	41	1.03	0.19
	homeward	88/02/03	88/02/05	47	0	0.93	
30	outward	88/12/28	88/12/29	535	N.A.	1.16	N.A.
31	outward	90/01/09	90/01/10	23	1	1.42	0.19
32	outward	90/12/30	91/01/06	458	N.A.	1.58	N.A.
39	outward	97/12/13	97/12/16	70	4	1.10	0.28
41	outward	99/12/20	99/12/24	53	27	1.36	0.28
42	outward	00/12/23	00/12/30	239	23	1.33	0.39
	homeward	01/01/22	01/02/17	167	9	1.35	0.27
43	outward	01/12/16	01/12/23	397	36	0.98	0.22
	homeward	02/02/10	02/02/12	85	8	0.89	0.19
44	outward	02/12/16	02/12/26	185	84	1.41	0.24
	homeward	03/02/10	03/02/16	83	41	1.25	0.16

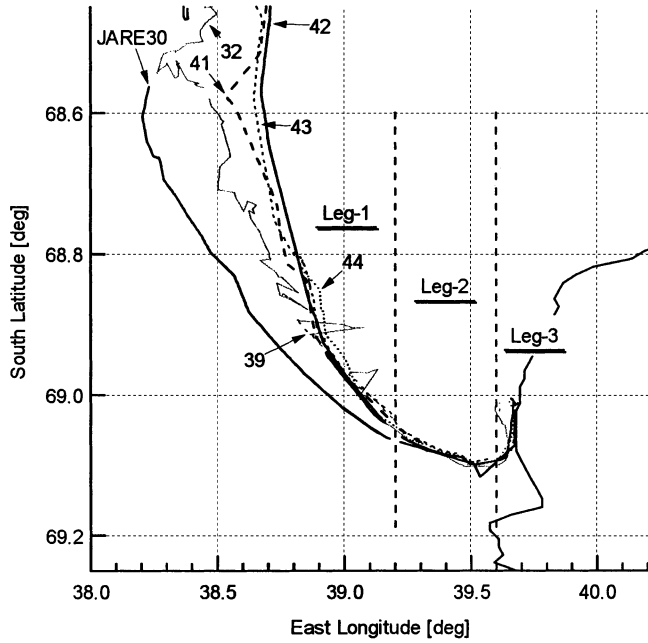


図 3 リュツォ・ホルム湾定着氷域における「しらせ」の往路航跡. 30, 32, 39, 41~44 次までの 7 回の航海についてプロットした.

Fig. 3. The outward-voyage tracks of "Shirase" in the land-fast ice in Lützow-Holmbukta. Seven tracks, for JARE30, 32, 39, 41, 42, 43 and 44, are plotted.

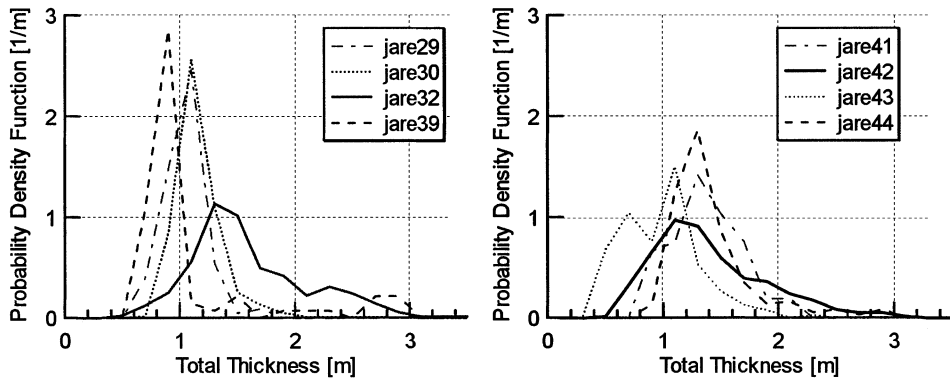
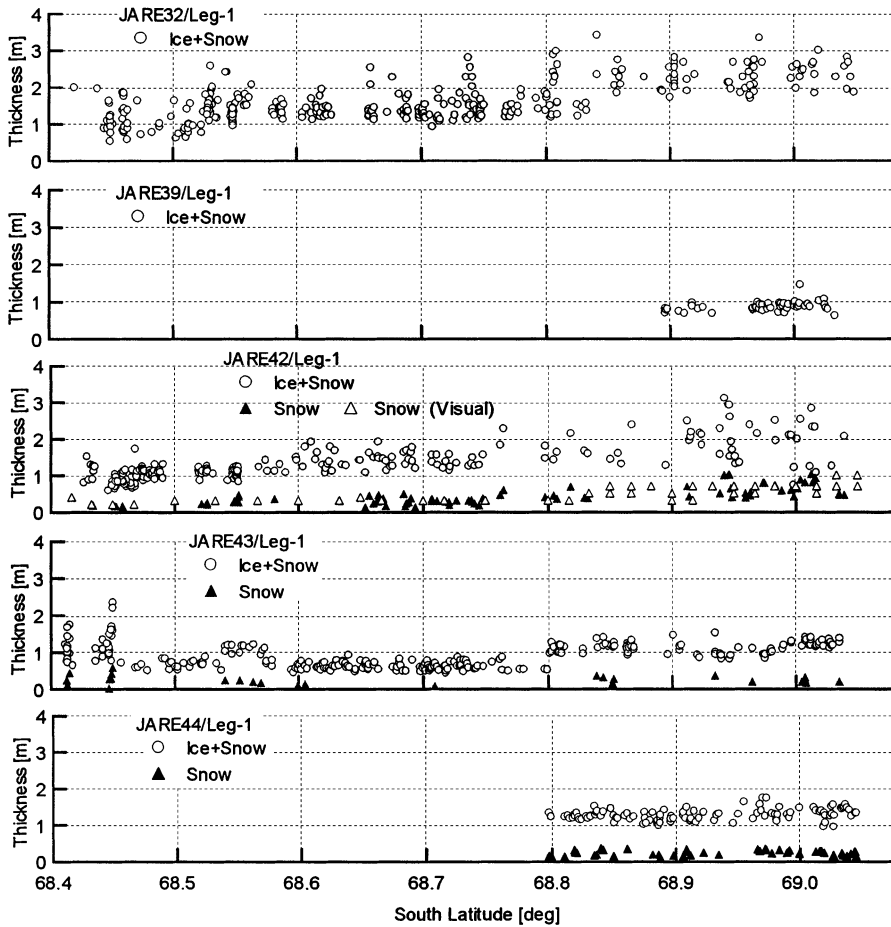


図 4 ビデオ法による往路観測データから求めたリュツォ・ホルム湾定着氷の全氷厚の確率密度分布.

Fig. 4. Probability density functions of the total thickness of land-fast ice in Lützow-Holmbukta derived from video observations during the outward voyage.



(a) Leg-1

図 5 ビデオ法による往路観測データから求めたリュツォ・ホルム湾定着氷の全氷厚及び積雪深分布

Fig. 5. Distribution of total thickness and snow depth of the land-fast ice in Lützow-Holmbukta in (a) Leg-1, (b) Leg-2 and (c) Leg-3 derived from video observations during the outward voyage.

分布は海水が薄い年 (29, 30, 39, 43 次夏隊) と厚い年 (32, 42 次夏隊) の間で明瞭にパターンが区別できることがわかる。薄氷型は全氷厚 0.8–1.2 m の範囲で最も頻度が高く、且つ分布のすそ野が短いことが特徴である。一方、厚氷型は全氷厚分布のすそ野が長い。32 次夏隊では厚さ 2.2–2.4 m の範囲に第二のピークが存在し、42 次夏隊でも厚さ 1.8–2.0 m の範囲の頻度が高い。41 次及び 44 次夏隊の氷厚分布は両者の中間にあると言えよう。4 節ではこのような確率密度分布の年々変化がどのようなメカニズムに起因するのかについて考察する。

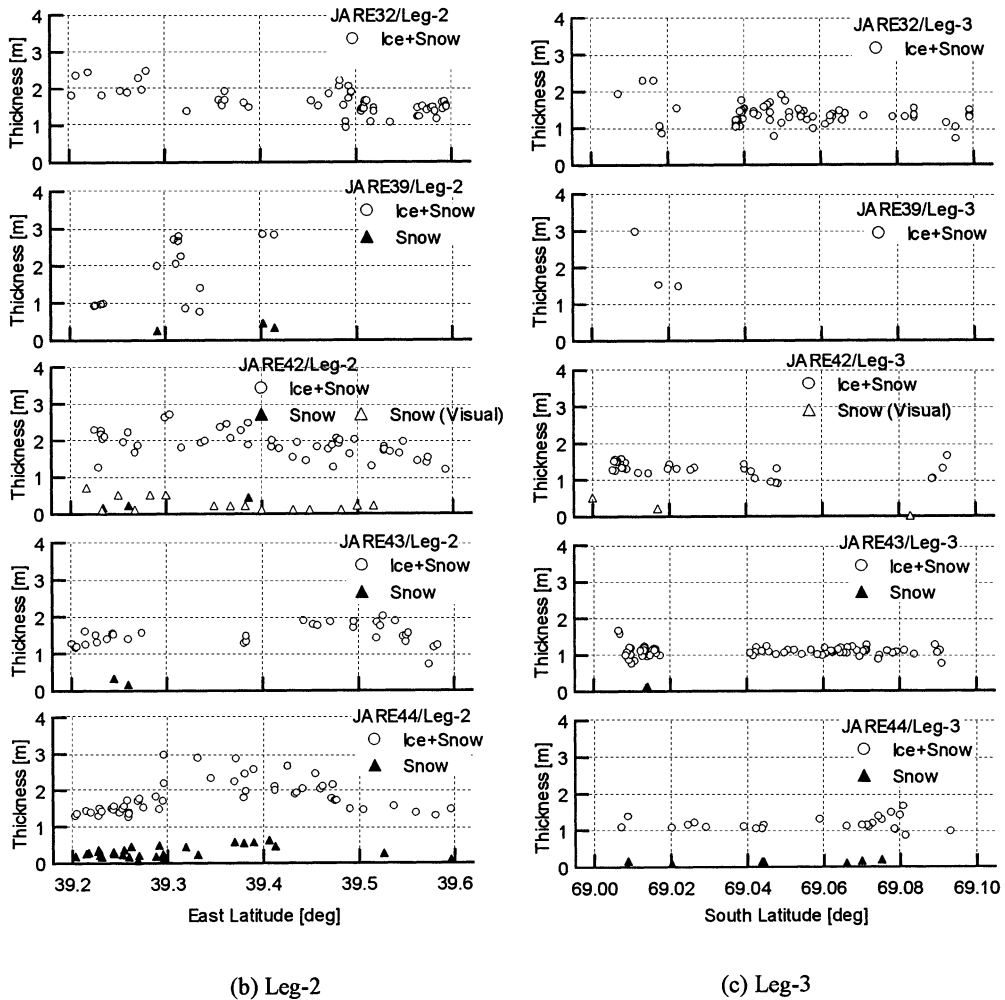


図 5 ビデオ法による往路観測データから求めたリュツォ・ホルム湾定着氷の全氷厚及び積雪深分布—続き

Fig. 5. Distribution of total thickness and snow depth of the land-fast ice in Lützow-Holmbukta in (a) Leg-1, (b) Leg-2 and (c) Leg-3 derived from video observations during the outward voyage—Continued.

全氷厚及び積雪深の分布を図 5 に示す。ただし図 3 に示すように東経 39.2 度及び 39.6 度を境界として 3 分割して表示している。なお 42 次夏隊では船上からの目視観測による積雪深データもプロットした。

Leg-1 では全氷厚及び積雪深は南下するにつれて増加する傾向を示す。この傾向は厚氷年である 32 次夏隊及び 42 次夏隊で顕著である。Leg-2 では東 (大陸沿岸) に向かうにつれて全氷厚は減少し、積雪深も同様の傾向を示す。特に 44 次夏隊では東経 39.3 度付近で氷厚分布



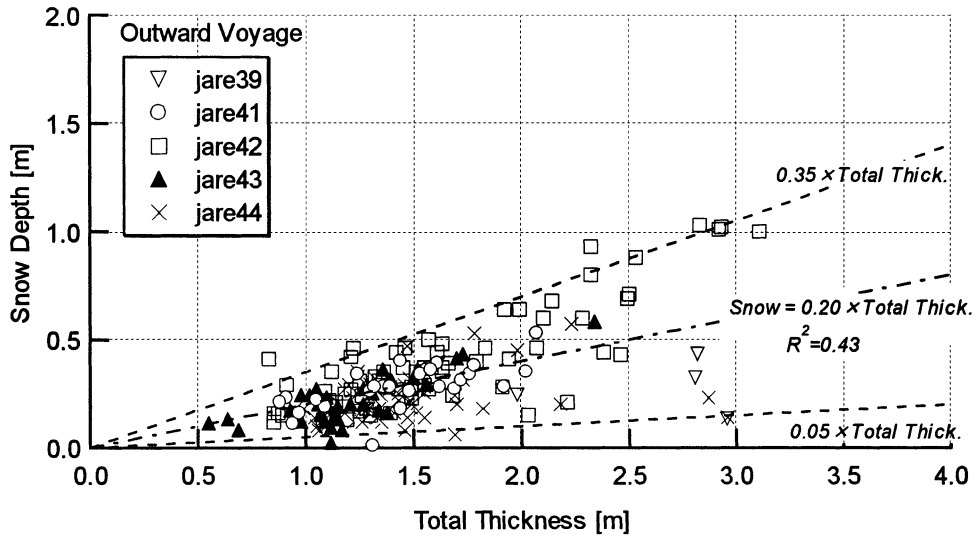


図 6 ビデオ法による往路観測データから求めたリュツォ・ホルム湾定着氷の積雪深と全氷厚の相関

Fig. 6. Scatter-plot between snow depth and total thickness of the land-fast ice in Lützow-Holmbukta derived from video observations during the outward voyage.

が不連続になっていることが注目される。大陸沿岸に沿う Leg-3 では昭和基地（南緯 69.0 度）の近くを除いて、全氷厚、積雪深ともに小さい。図 6 に積雪深と全氷厚の相関を示す。積雪深と全氷厚データを、原点を通るように回帰分析した結果を図 6 及び式 (3) に示す。

$$\text{Snow depth} = 0.20 \times \text{Total Thickness}, R^2 = 0.43. \quad (3)$$

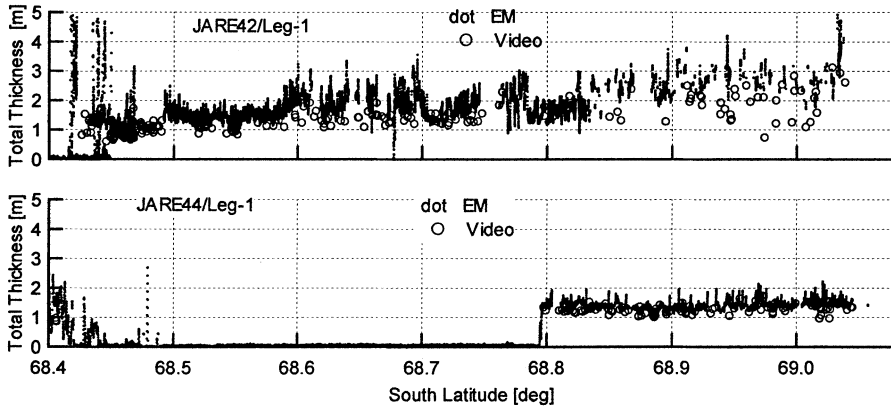
図 6 からほとんど全てのデータは式 (4) の範囲内にあることがわかる。

$$\text{Snow depth} = (0.20 \pm 0.15) \times \text{Total Thickness}. \quad (4)$$

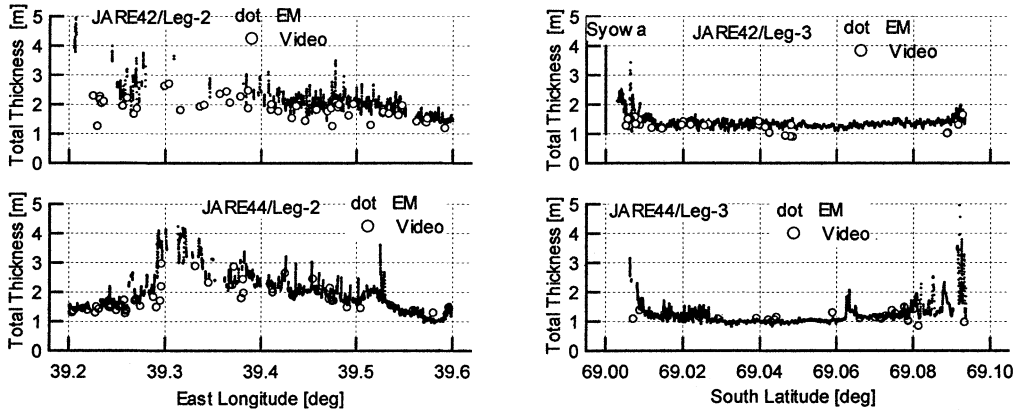
### 3.2. 電磁誘導法による観測結果

EM 法による全氷厚観測は 42 次夏隊で初めて実施され、今日まで継続されている。残念ながら 43 次夏隊ではセンサのトラブルにより観測データに大きなノイズが混入した。このため本報告では 42 次と 44 次夏隊の往路観測結果について報告する。これらは 3.1 項で述べたように厚氷年及び薄氷年にそれぞれ相当する。全氷厚分布を図 7 に示す。観測データは 0.1 秒間隔でサンプリングされているが、図 7 には 10 秒間の移動平均を施したデータを示した。また比較のためビデオ法による観測データもプロットした。

EM 法とビデオ法による観測結果を比較すると、変動の傾向は全般的に良く一致している



(a) Leg-1



(b) Leg-2

(c) Leg-3

図 7 EM 法による往路観測データから求めたリュツォ・ホルム湾定着氷の全氷厚観測結果及びビデオ法との比較

Fig. 7. Distribution of total thickness of land-fast ice in Lützow-Holmbukta in (a) Leg-1, (b) Leg-2 and (c) Leg-3 derived from EM observations during the outward voyage. Those obtained by the video method are plotted for comparison.

が、EM 法は空間分解能が高いため、より細かな変動を捉えていることがわかる。また全氷厚値は EM 法がビデオ法に比べて大きく、ビデオ法の最大値を結ぶ包絡線と EM 法の平均値が概ね一致する。図 8 では EM 法と氷上でのドリリングによる観測結果を比較した。両者は変動の傾向を含めて良く一致していることがわかる。

EM 法及びビデオ法による観測精度についてまとめると以下のようなになる。ビデオ法では船首部で破壊され、約 90 度回転した氷塊の破断面を撮影することによって氷厚を観測する(下田ら, 1996)。氷盤の回転に伴って積雪層が剥落したり、厚い多年氷では底面付近の一部

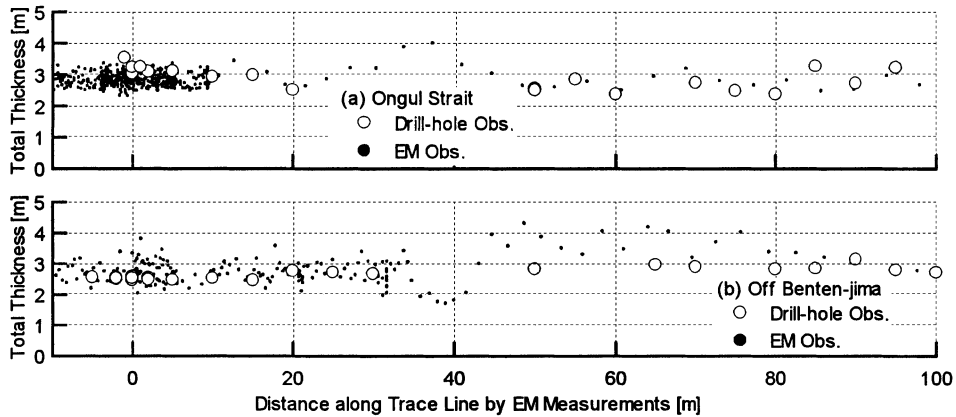


図 8 EM 法による全氷厚観測結果と (a) オンゲル海峡及び (b) 弁天島沖における氷上観測結果の比較

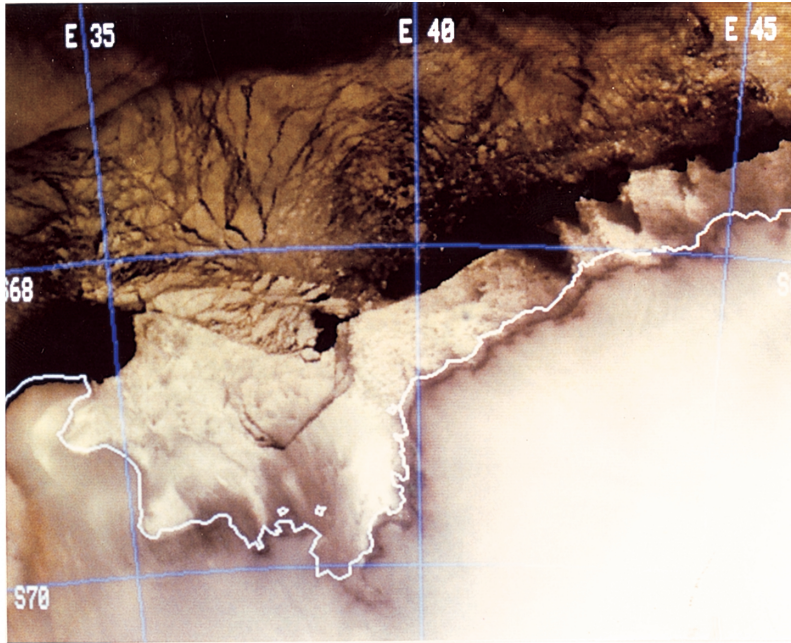
Fig. 8. Comparison of total thicknesses between EM and drill-hole observations at (a) Ongul Strait and (b) off Benten-jima.

が剥離することがあるため、ビデオ法による全氷厚値は真値に比べて小さくなる傾向がある。砕氷塊は船側及び船底に沿って移動し、やがて浮上するが、その一部は母氷盤の底面に排出される。船速、氷厚等の条件によっては EM センサ直下の氷盤底面に氷塊が排出されることも考えられ、これが EM 法による観測結果に影響を与えている可能性がある。

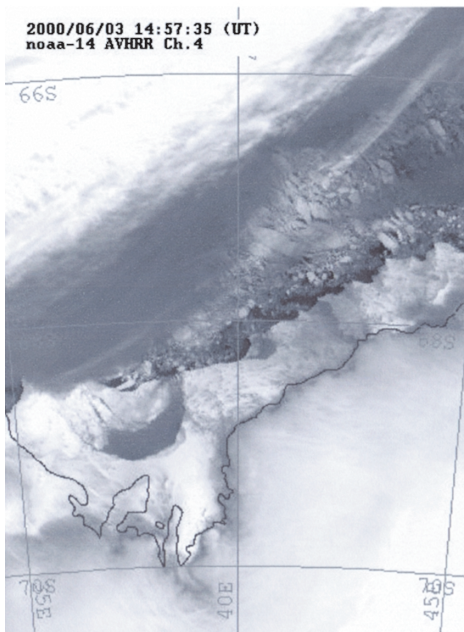
#### 4. リュツォ・ホルム湾夏季定着氷の空間分布及びその年々変動

EM 法による観測結果 (図 7) から全氷厚の分布には明瞭な不連続が存在することがわかる。ただし不連続の位置は 42 次夏隊では南緯 68.82 度、東経 38.82 度付近にあるが、44 次夏隊では南緯 69.06 度、東経 39.26 度付近まで大陸沿岸方向に接近している。またビデオ法による全氷厚分布 (図 5) からは 32 次夏隊では南緯 68.8 度 (東経 38.7 度) 付近に不連続が存在することがわかる。

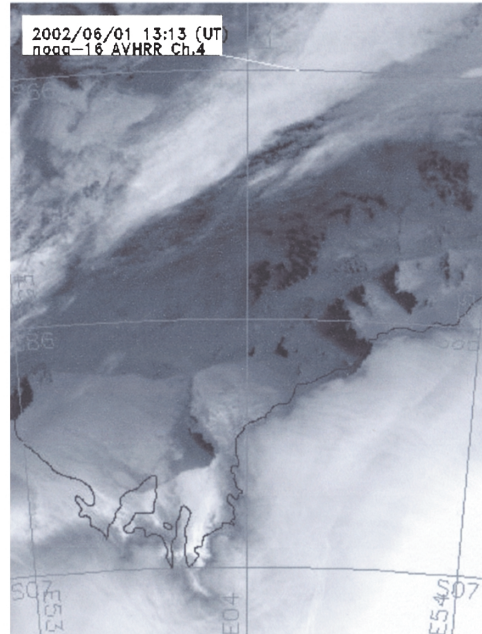
牛尾 (2003) は NOAA/AVHRR 画像を解析し、近年、リュツォ・ホルム湾の定着氷が頻繁に流出及び再結氷を繰り返していることを報告している。図 9 は (a) 1990 年 6 月、(b) 2000 年 6 月及び (c) 2002 年 6 月に得られた NOAA/AVHRR 画像である。図 9a 及び b は 32 次及び 42 次夏隊観測時の約 6 カ月前に定着氷の一部が流出していたことを示している。湾中央部に大規模なクラックが発達し、沖側の定着氷が北西方向に流出するとともに、岸側の定着氷との間にできたリードが再結氷しつつあることがわかる。その 6 カ月後に「しらせ」は一年氷である再結氷域を航行した後に多年氷域に進入し、その境界は図 5 及び図 7 で全氷厚分布が不連続に変化する位置とほぼ一致した。図 9c から 44 次夏隊についても同様の結論が導き出される。



(a)1990年6月11日



(b) 2000年6月3日



(c) 2002年6月1日

図 9 NOAA/AVHRR 画像によるリュツォ・ホルム湾定着氷の流出状況。(a) 1990年6月、(b) 2000年6月及び(c) 2002年6月に撮影されたもの。

Fig. 9. NOAA/AVHRR images which show the break-up of land-fast ice in Lützow-Holmbukta in (a) June, 1990, (b) June, 2000 and (c) June, 2002.

以上から定着氷の流出現象はリュツォ・ホルム湾氷厚分布を規定する主要なパラメータの一つであると考えられる。

リュツォ・ホルム湾定着氷の発達には積雪深が重要な役割を果たしている。一般に氷上の積雪は断熱効果により海水の夏季における融解を抑制するとともに、snow iceの形成により海水を涵養する。これらに加えてリュツォ・ホルム湾ではsuperimposed iceの形成によって海水が夏季に成長することが報告されている (Kawamura *et al.*, 1997)。従って積雪はリュツォ・ホルム湾定着氷の厚さを規定する主要なパラメータの一つと考えられる。

Kawamura *et al.* (1997) はまた、大陸沿岸に近づくにつれて積雪深は漸減すること、沿岸付近では裸氷域が観察されること、逆に沿岸から30km以上離れると積雪深は一定になることを報告している。図5b及び図7bから大陸沿岸側に発達する多年氷域の厚さは一様ではなく、沿岸に向かうにつれて積雪深とともに全氷厚が漸減する傾向を示すことがわかる。図5a及びbから42次夏隊では東経39.2度付近で積雪がほぼ一定値に達している。この位置は沿岸から約20kmであり、上述した過去の研究結果と概ね一致する。

昭和基地付近では北東方向に卓越するブリザードによって氷上の積雪が沖合に輸送される。このため沿岸近くでは島や氷山の風上にあたる場所を除いて一般に積雪が少ない。その結果、海水が薄くなることが考えられる。牛尾(2003)は積雪の多い年は海水の流出が起これにくいことを指摘している。このことは海水上の積雪深が成長及び融解を通して定着氷厚に直接影響を及ぼすばかりではなく、定着氷の安定性に関与することによって間接的に影響を及ぼす可能性を示唆している。

以上の結果をまとめ、「しらせ」航路上の夏季定着氷の厚さ及び積雪深の分布を、大陸沿岸

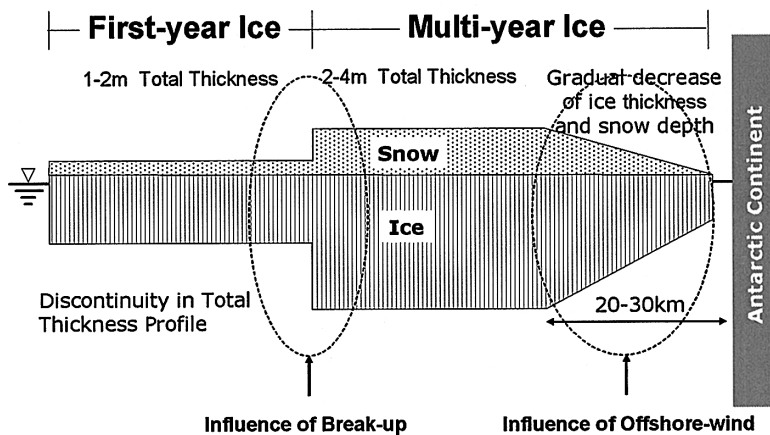


図 10 「しらせ」航路上リュツォ・ホルム湾夏季定着氷の氷厚及び積雪深分布モデル  
 Fig. 10. Schematic view of distributions of ice thickness and snow depth of the summer land-fast ice along the track of Shirase in Lützow-Holmbukta.

からの距離を横軸として模式的に表したものが図 10 である。定着氷の流出に伴う再結氷域には一年氷が発達する。一年氷の範囲は定着氷の流出位置に依存し、例えば 42 次夏隊では東経 38.8 度付近まで一年氷であったが、44 次夏隊では東経 39.3 度付近まで沿岸に近づいた。一年氷域の厚さは基本的に再結氷期間に依存する。図 7 は一年氷の全氷厚が概ね 1–2 m の範囲に、また積雪深は式 (4) より  $0.2 (\pm 0.15)$ – $0.4 (\pm 0.3)$  m の範囲にあることを示している。一方、沿岸から約 20 km 圏内は強い北東風による積雪輸送の影響圏内にあり、氷厚、積雪深は大陸に向かうにつれて漸減する。大陸沿岸付近では沿岸ポリニアが発達し、時には海水が流出することもある。

一年氷と多年氷の境界が沿岸から約 20 km 以遠にある場合は、その間に厚い多年氷が発達する。全氷厚は図 7 より 2–4 m 程度であり、積雪は式 (4) より  $0.4 (\pm 0.3)$  m– $0.8 (\pm 0.6)$  m 程度と推定される。このような年は厚氷年となる。逆に流出位置が積雪輸送の影響圏を越え沿岸近くまで及ぶと、厚い多年氷域は縮小または消滅し、薄氷年となる。

## 5. おわりに

過去に日本南極地域観測隊で実施された南極観測船「しらせ」船上での海水観測結果をとりまとめて報告した。リュツォ・ホルム湾に発達する定着氷の夏季に於ける氷厚及び積雪深分布に焦点をあて、その空間的な分布及び年々変動の特性について考察した。定着氷の一部は近年頻繁に流出及び再結氷を繰り返している。これが定着氷の拡がりだけではなく、厚さの分布にも大きな影響を与えていることが明らかになった。過去の研究により、リュツォ・ホルム湾の定着氷の発達には積雪の寄与が大きいことが明らかになっている。特に沿岸から約 20 km 圏内は氷厚及び積雪深が沿岸に向かうにつれて漸減することがわかった。これは卓越する北東風によって氷上の積雪が輸送される効果によると思われる。これらの二つの因子が相互に作用することによって氷厚の空間的な分布及びその年々変動が規定されることがわかった。

このことはリュツォ・ホルム湾定着氷の氷厚分布が海洋及び大気との相互作用のバランスによって定められることを意味している。今後、リュツォ・ホルム湾を一つのモデルエリアとして、これらの相互作用についてさらに検討を進める必要があると考えられる。また積雪深の観測データを充実させること、夏季以外の観測データを充実させることも今後の課題と考えられる。

本研究で使用した船上観測データは各隊次の観測隊及び「しらせ」乗組員のご尽力によって得られたものである。関係者の皆様に心より御礼を申し上げる。また NOAA 衛星データは日本南極観測の衛星モニタリングデータとして昭和基地で受信され、情報・システム研究機構国立極地研究所極域情報基盤センターに保存されているものを利用した。同データの利用に際しては国立極地研究所の平沢助手にご協力いただいた。本研究は国立極地研究所一般

共同研究「船上観測データに基づく海水厚の年々変動の解明に関する研究（平成14-15年度）」として実施された。

## 文 献

- Comiso, J.C., Yang, J., Honjo, S. and Krishfield, R.A. (2003): Detection of change in the Arctic using satellite and in situ data. *J. Geophys. Res.*, **108**(C12), 3384, doi: 10.1029/2002JC001347.
- Haas, C. (1998): Evaluation of ship-based electromagnetic-inductive thickness measurements of summer sea-ice in the Bellingshausen and Amundsen Seas, Antarctica. *Cold Regions Sci. Technol.*, **27**, 1-16.
- Haas, C., Rupp, K.-H. and Uuskallio, A. (1999): Comparison of along track EM ice thickness profiles with ship performance data. *Proc. the 15th Intl. Conf. Port and Ocean Eng. under Arctic Conditions*, **1**, 343-353.
- 上村 晃・北川弘光 (1989): 南極観測船「しらせ」による実船計測について. 第54回船舶技術研究所研究発表会講演集, 7-14.
- Kawamura, T., Ohshima, K.I., Takizawa, T. and Ushio, S. (1997): Physical, structural and isotopic characteristics and growth process of fast sea ice in Lützow-Holm Bay, Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **102** (C2), 3345-3355.
- Kovacs A. and Holladay J.S. (1990): Sea ice thickness measurement using a small airborne electromagnetic sounding system. *Geophysics.*, **55**, 1327-1337.
- Kovacs A. and Morey R.M. (1991): Evaluation of a portable electromagnetic induction instrument for measuring sea ice thickness. *CRREL Rep.*, **91-12**, 1-17.
- 下田春人・宇都正太郎・田村兼吉・成田秀明 (1996): 船上観測による北海道沿岸オホーツク海域の氷況について—氷厚分布の計測—. 第11回オホーツク海と流氷に関する国際シンポジウム講演要旨集, 156-160.
- 下田春人・遠藤辰雄・村本健一郎・小野延雄・滝沢隆俊・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.
- Uto, S., Shimoda, H. and Izumiya, K. (2003): "Sea ice thickness and snow depth distribution of the summer land-fast ice in Lützow-Holm Bay, East Antarctica". *Proc. the 17th Intl. Conf. Port and Ocean Eng. under Arctic Conditions*, **1**, 175-183.
- Worby, A.P., Griffin, P.W., Lytle, V.I. and Massom, R.A. (1999): On the use of electromagnetic induction sounding to determine winter and spring sea ice thickness in the Antarctic. *Cold Regions Sci. Technol.*, **29**, 49-58.