

## 海水状況観測映像の画像処理

## Image Processing of Antarctic Ice Condition

村本健一郎\* 松浦弘毅\* 小杉正貴\*  
Ken-ichiro MURAMOTO Kohki MATSUURA Masataka KOSUGI

遠藤辰雄\*\* 下田春人\*\*\* 小野延雄\*\*\*\*  
Tatsuo ENDOH Haruhito SHIMODA Nobuo ONO

\* 金沢大学工学部  
Kanazawa University

\*\* 北海道大学低温科学研究所  
Hokkaido University

\*\*\* 船舶技術研究所  
Ship Research Institute

\*\*\*\* 国立極地研究所  
National Institute of Polar Research

**Abstract** Variations in sea ice extent especially Antarctic sea ice condition have long been considered to influence global climate of the earth. Hence the investigation of the inter annual variations of Antarctic sea ice condition is important.

A method to analyze the sea ice condition by image processing technique is proposed. The sea ice images were photographed by video camera on board the R/V "SHIRASE". The results of Antarctic ice concentration and floe size are also reported.

## 1. まえがき

第28次南極地域観測隊（1987年）以来、「南極域における気象変動に関する総合研究計画」が開始されている<sup>(1)</sup>。この計画は全地球規模の気候に対する南極域の気候が果たす役割を解明することを目的として、南極域の大気および海水の実態を調べるものである。

海水域の観測はこれまでも船舶および航空機によるレーダや人工衛星からのリモートセンシングにより観測されていた<sup>(2)(3)</sup>。しかし、これらはいずれも間接的な観測であり、実際の海水観測データとの対比が不可欠であった<sup>(4)</sup>。一方、これまでの海水の直接観測のほとんどは目視による定性的観測であり<sup>(4)(5)</sup>、定量的な観測は行われていない。

より精度の高い海水観測を目的として、南極観測船"しらせ"によって氷海航行中の海水状況を船上からビデオ撮影し記録することが第29次観測隊から始められた。これは船上で斜め下向きに取り付けられたビデオカメラを使い海水を連続的に撮影するものである。この映像記録は、斜映像でありしかも膨大な量であるので、これらの記録を活用するためには効率的な解析方法が必要であるが、これまでほとんど解析さ

れていない。

ここでは第30次夏隊の遠藤隊員により撮影された海水映像を画像処理して、氷板の大きさ分布および氷密接度（海面の内、氷の占める面積割合）を定量的に解析する手法を開発したので報告する。

## 2. 観測方法

第30次隊では4台のビデオカメラを船上に配置して海水を撮影した。本研究では図1に示すように上部操舵室に俯角約10度で取り付けられたモノクロCCDカメラを船の進行方向へ向けて撮影した海水映像を解析した。カメラには4.8mmオートアイリス広角レンズおよびUVフィルタを取り付け、ビデオタイマにより撮影時刻も同時に録画してある。

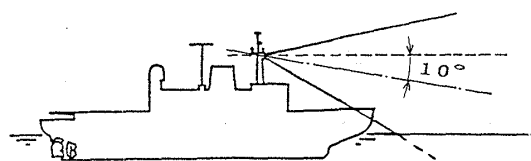


図1 海水撮影カメラの設置図

### 3. 幾何変換と濃度補間

ビデオカメラは斜め下向きに撮影しており斜映像となっているので、まず初めに真上方向から見た映像に幾何変換する。次に、そのままでは遠方にある氷の形状がモザイク状となり、不正確であるので、濃度値の内挿補間を行った。すなわち、次の手順で解析した。

(I) 幾何変換後の座標系における点に対応する変換前の座標系における点の座標を計算する。

(II) 一般に (I) によって求められた座標は整数値とはならない (非格子点) ため、求めたい点の濃度値をその周囲点の濃度値から内挿によって求める。

(III) 変換後の座標系の全ての点に関して上記の操作を行う。

#### 3. 1 幾何変換の計算法

図2に示すように、モニタには海水状況が映し出される。既知の値から、各画素に映し出される映像の実際の長さを計算した。モニタカメラの撮影系は正射影系とする。まず、奥行き方向の計算は、図3でW点がモニタに映し出される位置Wとモニタの中心点の位置Tとのなす角度から1画素当たりの角度 $\theta_0$ を求めた。これより各画素の鉛直線PRとのなす角度が分かるので、n番目の画素の奥行き方向の長さ $l_n$ を計算できる。次に映像の横方向の広がり

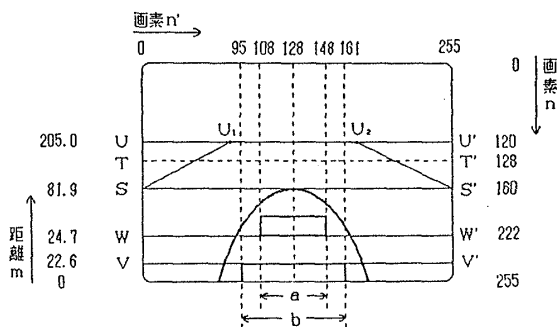


図2 モニタ映像

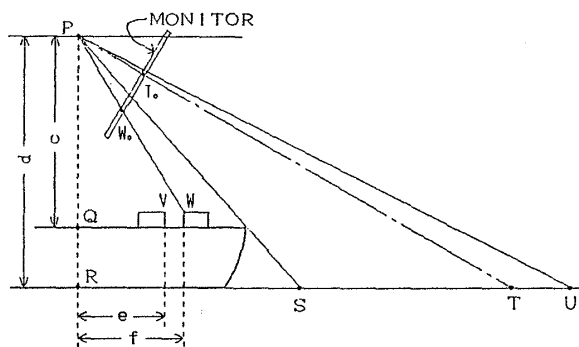


図3 斜撮影ビデオの主鉛直断面

は、図2のハッチカバーの長さ $a, b$ より $WW', VV'$ の実際の長さを求め、奥行き方向の横幅の広がり角 $\alpha$ を計算した。表1は幾何変換に使用した既知の値および計算式である。図2の台形 $SS'U_2U_1$ が解析した領域である。この解析領域内の奥行き方向では手前側 ( $SS'$ 上) に対して遠方側 ( $U_1U_2$ 上) では1/2.4倍に精度が下がり、横方向では中心線上の画像に対して左右縁 ( $SU_1$ および $S'U_2$ 上) では1/2.3倍に精度が下がる。

既知の値 $a, b, c, d, e, f, \theta_T$	
$\theta_w = \tan^{-1} \frac{f}{c}$	$\theta_0 = \frac{\theta_T - \theta_w}{222 - 128}$
$\theta_n = \theta_T + \theta_0(128 - n)$	
$l_n = d \times \tan(\theta_n - \theta_{n+1})$	
$WW'_i = \frac{256}{161 - 95} \cdot b$	$WW'_i = \frac{256}{148 - 108} \cdot a$
$\tan \alpha = \frac{0.5 \times (WW'_i - VV'_i)}{f - e}$	

表1 解析に使用した値および計算式

#### 3. 2 内挿法

非格子点の濃度値の補間法として次に述べる3種類の方法について比較、検討した。

##### 3.2.1 最近傍法

図4に示すように、内挿する点に最も近い観測点の濃度値を用いて内挿する<sup>(6)</sup>。このアルゴリズムは簡単であるという利点がある。

##### 3.2.2 双1次内挿法

求める濃度値は、内挿点の周囲の観測点4点の濃度値を用いて(1)式で内挿する<sup>(6)</sup> (図5)。この方法には平均化によるスムーズ

$$P = (1-\alpha)(1-\beta)P_{i,j} + \alpha(1-\beta)P_{i+1,j} + (1-\alpha)\beta P_{i,j+1} + \alpha\beta P_{i+1,j+1} \quad (1)$$

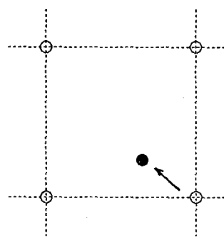


図4 最近傍法

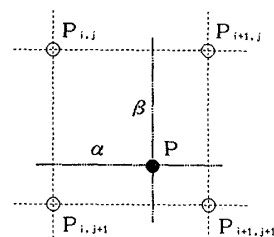


図5 双1次内挿法

ング効果が得られるという利点がある。

### 3.2.3 3次たたみ込み内挿法

Sinc関数を用いた内挿法で、サンプリング定理にあるように「帯域制限された信号は、等間隔にサンプリングされた値によって完全に復元できる」というもので、最良の復元法といえる<sup>(6)</sup>。実際はたたみ込みを全画素に対して行うが、今回は計算時間を短縮するため、内挿点の周囲16点の濃度値を用い、さらにSinc関数を次の(2)式のような3次の多項式で近似して計算した。

$$f(t) = \frac{\sin \pi t}{\pi t}$$

$$\approx \begin{cases} 1 - 2|t|^2 + |t|^3 & (0 \leq |t| < 1) \\ 4 - 8|t| + 5|t|^2 - |t|^3 & (1 \leq |t| < 2) \\ 0 & (2 \leq |t|) \end{cases} \quad (2)$$

## 4. 氷板と海面との分離

氷板の面積や個数を計測するためには氷板と海面を分離する必要がある。一般に明るさや色、領域の形状などの局所的な特徴が一様となるように領域を分割するが、海水の画像では氷部分は常に海にくらべ明るいので、今回は明るさ(濃度差)のみを特徴として氷板と海面を分離した。

氷板と海面の領域分離を濃度差で行う場合には、ビデオ画像の不鮮明さやノイズの混入などがあって、濃度値にあいまいさが存在すると、うまく分離できないことが生ずる。特に氷板が接近している場合や、1つのピークしか存在しない単峰性濃度ヒストグラムをもつ画像の場合には、よい分離結果が得られない。

これらのあいまい性とノイズを除去するためには、ここでは確率的弛緩法を適用した。この方法は、画像上で1つの領域を構成する画素の濃度値に関してあいまいさが存在する場合、このあいまいさを近傍の画素の濃度値との関係からより矛盾が小さくなるように反復的に修正するものである<sup>(7)</sup>。以下に具体的な手順を述べる。

まず最初に、画像の全ての画素に対して値域[0, 1]をもつ初期ラベル確率を与える。解析画像の*i*番目の画素が氷板である確率 $P_i(\lambda_1)$ を次のように表すことにする。

$$P_i(\lambda) = \frac{f_i}{255} \quad (3)$$

ただし、

$$\begin{aligned} f_i & : \text{対象画像} \\ \lambda & : \text{クラス} \\ \lambda & = \{ \lambda_1, \lambda_2 \} \\ & (\lambda_1 : \text{氷板}, \lambda_2 : \text{海面}) \\ P_i(\lambda) & : i \text{番目の画素がクラス} \\ & \lambda \text{であるラベル確率} \end{aligned}$$

である。

次に、各画素のラベル確率は近傍の画素のラベル確率と比較して、より矛盾が小さくなるように更新する。たとえば、氷板( $\lambda_1$ )が優勢な局所領域に海面( $\lambda_2$ )であるという大きな確率 $P_i(\lambda_2)$ を持つ画素が孤立して存在している場合、この状態は矛盾している可能性が高いので、 $P_i(\lambda_2)$ をより小さくする。*i*番目の画素のクラス $\lambda_k$ のラベル確率 $P_i(\lambda_k)$ の更新は(4)式で行う。

$$P_i'(\lambda_k) = \frac{P_i(\lambda_k)Q_i(\lambda_k)}{P_i(\lambda_1)Q_i(\lambda_1) + P_i(\lambda_2)Q_i(\lambda_2)} \quad (4)$$

$$k=1, 2 \quad i=1, 2, \dots, N$$

(*N* : 対象画像の画素数)

ここで、 $Q_i(\lambda_k)$ ,  $P_j$ は

$$Q_i(\lambda_k) = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 P_j(\lambda_k) \quad (5)$$

$P_j$  : *i*番目の画素の近傍画素  
のラベル確率

を表し、 $Q_i(\lambda_k)$ は近傍画素における $\lambda_k$ に関する平均的なラベル確率を意味する。ただし、近傍の画素は8近傍とした。

この(4)式によるラベル確率の更新操作を0か1のいずれかに収束するまで行った後、濃度値を次の(6)式により求める。

$$f_i' = 255 \times P_i(\lambda_1) \quad (6)$$

以上が確率的弛緩法である。この方法を適用することによって、画像上に存在するノイズが除去されると同時に、ラベル確率は2つのクラスのいずれかに収束、すなわち単峰性の濃度

ヒストグラムの形状を双峰性へと変化させることができるので、しきい値処理により、容易に領域を分割できる。

5. 解析例

以上、述べてきた方法により、実際に海水画像を解析した結果を以下に示す。

5. 1 解析した海水域内の航路

第30次夏隊のビデオ撮影は、フリーマントル～ブライド湾、ブライド湾～昭和基地、昭和基地～シドニーまでの各航路で実施した。今回の解析では、1988年12月26日のブライド湾から昭和基地への回航時について行った。図6は解析した航路で□は1時間ごとの船の位置を示している。

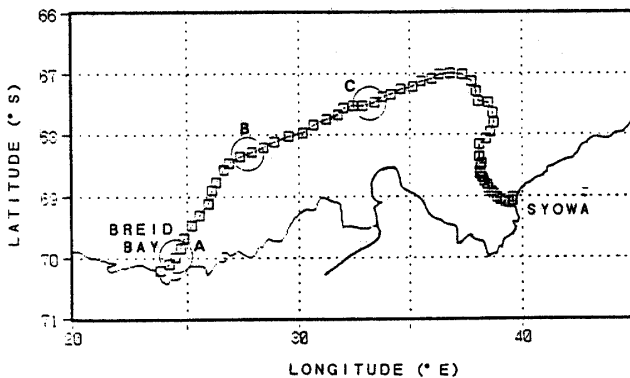


図6 "しらせ"の航路図

5. 2 幾何変換の結果

まず、幾何変換結果について示す。図7は1988年12月26日15時25分、ブライド湾から昭和

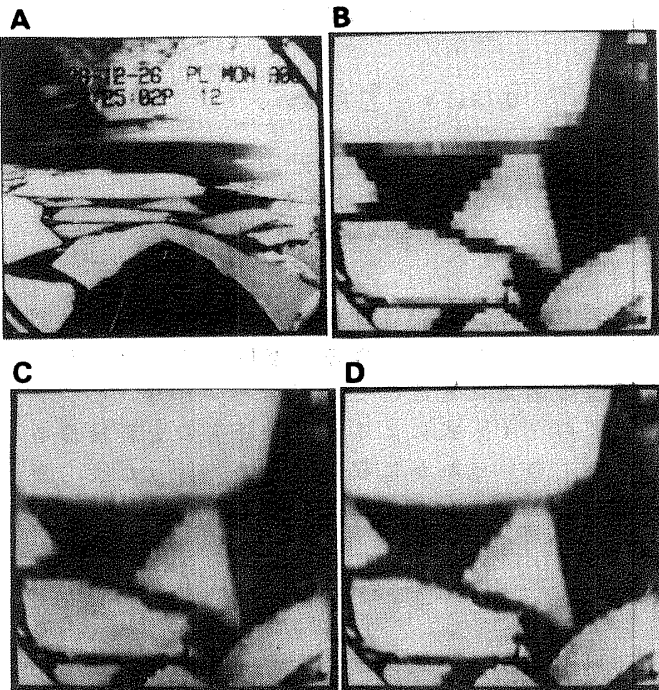


図7 海水面の形状解析

基地に向かっている途中の東経23.5度、南緯70.1度付近の海水映像を画像解析した例である。Aはモニタに映し出された映像で、Bが最近傍法、Cが双1次内挿法、Dが3次たたみ込み内挿法による結果である。Bは明らかに不自然さが感じられ、カメラから遠方になるに従って、その傾向がひどく見受けられる。Cにはそのような傾向がなく、輪郭が滑らかにつながっているが、境界がぼけている。DはCと比較するとエッジが際立ち、よりシャープな画像となる鮮鋭化効果が得られることがわかる。これはシミュレーション結果からも明らかである。すなわち、図8に、あるサンプリングされた濃度値から双1次内挿法による結果を点線で、3次たたみ込み内挿法による結果を実線で示す。この結果からSinc関数を用いた場合には、どの座標間においても双1次内挿法によるものと比べて傾きがより急になっていることが分かり、そのため鮮鋭化効果が得られるのである。

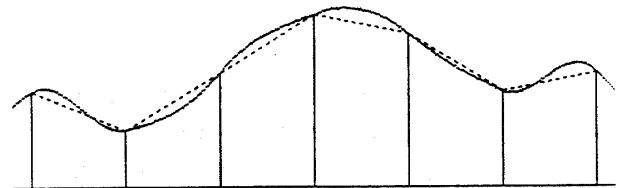


図8 双1次内挿法と3次たたみ込み内挿法

5. 3 氷板と海面との分離結果

3次たたみ込み内挿法による幾何変換後の画像(図7D)に対し、単に固定2値化処理した画像を図9A、確率的弛緩法を5回適用し、その後固定2値化処理をした画像を図9Bに示す。単に2値化処理のみの場合には、ノイズと思わ

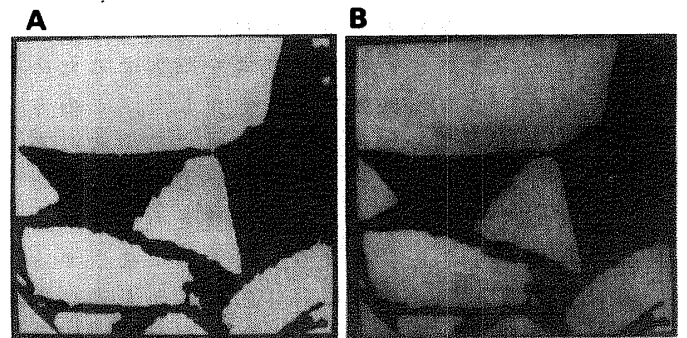


図9 確率的弛緩法

れる箇所や、2つ以上の氷の過併合が見られる。一方、確率的弛緩法を施した結果はノイズも消え、近接した氷板でも分離されていることが分かる。この解析では氷密接度は65.6%であった。

#### 5. 4 氷板面積分布の計測

5. 2と5. 3の処理をいろいろな海域での画像に適用し、氷板の面積分布を計測した。図6のA～Cに示す位置の海域について調べた。結果を図10に示す。これより氷密接度は約75%とほとんど同程度であっても(A, C)、面積が大きい氷板で占めている場合(A)と、逆に多数の小さい氷板で占めている場合(C)とが見られることがわかる。

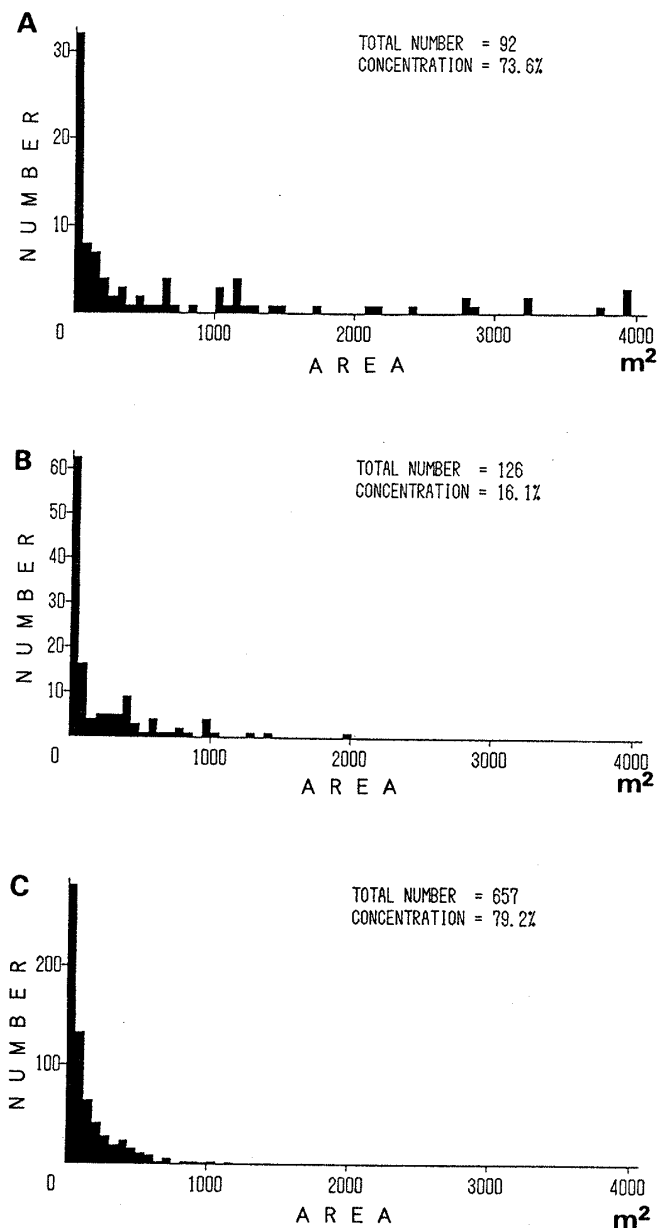


図10 氷板の面積分布例

#### 6. あとがき

本解析法は幾何変換にSinc関数による内挿法を適用して氷板の形状をより正確に測定できるようにした。さらに濃度値分布に確率的弛緩法を適用して、氷板の分離精度を高めることができた。

これまでの海水解析には多くの労力を要していたが、本解析法により海水ビデオ映像からより高精度に氷密接度並びに氷板面積分布を計算できるようになった。更にディスクにデータを格納することにより長期間のデータ記録が可能となり、海水状況の年変動を調べるための貴重なデータとなる。

#### 参考文献

- (1) 山内恭, 高部広昭: "第28次南極地域観測隊による南極地域変動研究(ACR)観測報告", 南極資料, 33, pp. 53-72 (1989).
- (2) K. Okamoto: "Step frequency radar for the measurement of sea ice thickness", Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 45, pp. 56-65 (1986). 1986.
- (3) 小平信彦編: "気象", 朝倉出版 (1980).
- (4) T. H. Jacka, I. Allison, R. Thwaites and J. C. Wilson: "Characteristics of the seasonal sea ice of east Antarctica and comparisons with satellite", Annals of Glaciology, 9, pp. 85-91 (1987).
- (5) A. Ian: "The east Antarctic sea ice Zone: ice characteristics and drift", GeoJournal, 18. 1, pp. 103-115 (1989).
- (6) 高木幹雄, 下田陽久: "画像解析ハンドブック", pp. 441-444, 東京大学出版会 (1991).
- (7) 高木幹雄, 下田陽久: "画像解析ハンドブック", pp. 695-702, 東京大学出版会 (1991).