# 漁業リモートセンシング画像処理システムの開発 **Development of Image Processing System for Fishery Remote Sensing**

気象衛星NOAAからの海洋赤外画像データを受信して、漁群探索用の海面温度分 布図を作成し、漁船にファクシミリ伝送する漁業情報システムの計画が、水産庁を 中心に進められている。従来,船舶測定データに基づいて作成していた漁業者向け 温度分布図には、(1)点測定による不正確さ、(2)必要データ量を収集するまでの時間 遅れの問題があったが、衛星利用によりこれらの問題を解決できるものと期待され ている。

本システムでは、海面を覆う雲の影響の除去、画像処理の高速化が大きな課題で あった。本報で述べる画像処理技術はこれらの課題を解決するものである。ここで は、複数日データの重ね合せ、雲領域空間補間方式などによって、雲面積を平均30 %以上減少させることができた。更に、複合計算機システムの利用とパイプライン 処理化によって130分/画像の高速画像処理性能を達成した。

本間弘一"	Kôichi Homma
山縣振武*	Shimbu Yamagata
依田晴夫**	Haruo Yoda
久保 裕***	Yutaka Kubo
深畑晋作****	Shinsaku Fukaba

#### 緒 言 1

人工衛星による海洋リモートセンシング(遠隔探査)は、広 い海洋を同時かつ均一に観測し,実時間で水温・水色・波浪 などの情報を得るものであり,海洋の分野で重要な技術とな ってきている。海洋リモートセンシングに利用できる人工衛 星には、米国SEASAT, NOAAなどがあり、昭和61年には国 産衛星MOS-1(Marine Observation Satellite-1)の打上げ も予定されている。

スセンターはこれらの問題を解決するため海洋リモートセン シングの利用を考え、気象庁気象衛星センターの協力を得て、 人工衛星利用の漁業情報システムの計画を開始した。日立製 作所は,社団法人漁業情報サービスセンターの委託によって 本システムに必要な画像処理基本技術の開発を行なった。 NOAA-7号の即時データを実験用画像処理システムで処理し 衛星漁海況情報として漁船向けにファクシミリ伝送する実験 が,昭和57年9月から12月初旬まで行なわれ,漁業者から好 評を得た。

一方,従来から水産庁,社団法人漁業情報サービスセンタ ーは,漁船や調査船などからの海水温度測定値をもとに海面 温度分布図を作成し、漁群探索情報として漁船にファクシミ リ伝送を行ない,漁船の操業効率を高める役割を果たしてき た。しかし、海水温度測定値がポイントごとのものであるた め,温度分布図の精度に限界があった。また、十分な密度の データ点数を得るためには日数を要し,情報の時間遅れの原 因となっていた。そこで,水産庁,社団法人漁業情報サービ

本稿では, NOAA衛星利用漁業情報システム画像処理基本 技術の開発について述べる。

# 2 漁業情報システムの概要

計画中の漁業情報システムの概要を図1に示す。漁業情報 システムは、衛星から送信されてくる海洋観測赤外画像デー

57





\* 日立製作所システム開発研究所 \*\* 日立製作所中央研究所 \*\*\* 日立製作所大みか工場 \*\*\*\* 日立製作所システム事業部 296 日立評論 VOL. 65 No. 4 (1983-4)



図2 NOAA衛星の軌道 NOAA-7号は毎日午前(下降軌道)と午後(上昇軌 道) | 時~4時に日本付近を通過する。軌 道間隔に比べて観測幅(2,000km)が大きい ため, すべての海域を | 日に | 回以上観 測できる。上図は午前の軌道の例を示す。

タ、及び漁船・調査船からの海水温データを利用して、海面 温度分布図を作り漁船にファクシミリ伝送するものである。

漁業情報システムで利用できる赤外センサは、遠赤外10.5~ 12.5µm程度の波長帯をもつ放射計である。NOAA-7号の高 分解能放射計(AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer)のチャネル4, 5, 及び開発中の国産衛星MOS-1の可視熱赤外放射計(VTIR: Visible and Thermal Infrared Radiometer)のチャネル3,4が本条件を満たす。両センサ とも解像度は1~3km程度であるが、1日当たりの周回数に 比べ観測幅が大きく,毎日の観測が可能である。なお,静止 衛星「ひまわり」の赤外センサ<sup>1)</sup>は解像度が5kmと低く,漁業 向けには十分とはいえない。

ここで述べる画像処理システムは,現在観測画像を送り続 けているNOAA-7号のAVHRRを対象とする。AVHRRの解 像度は1.1km, 観測幅は約2,000km, 温度分解能は約0.1℃であ る。衛星は、地球観測に適した太陽同期軌道を航行し毎日午 前・午後1時~4時に日本付近を通過する。図2にNOAA-7 号の軌道の例を示す。

アンテナで受信され記録<sup>2)</sup>された画像データは、図1の画像 処理システムによって以下の処理が施される。

(1) 画像のひずみ補正処理及び強調処理

(2) 雲の影響の低減化処理

58

(3) 等温線図及び漁海況図の作成

上記(1)の出力写真はフォトプリンタによって、(3)の線図は 静電プロッタあるいは手書きによって出力される。出力図は

## 3 画像ひずみ補正方式

NOAA衛星AVHRRセンサの受信画像データは、図3に示 すようにひずんでいる。ひずみの原因は、衛星軌道、地球の 回転、衛星姿勢角などによるものであるが、特に軌道高度900 kmに対し観測幅が2,000kmと大きいことが、左右両辺のひずみ を大きいものにしている。これらの受信画像データのひずみ は、画像ごとに変化する。画像のひずみを正確に補正するこ とは、海水温情報の絶対位置精度を上げるために重要である。 また,海水温の時間変化を正確に見るために,画像の相対的 ひずみ補正精度を高くすることも重要である。



各漁港に送付されるとともに、漁船にファクシミリ伝送される。 NOAA衛星は、1日昼夜合わせて4回程度日本付近を通過 し,1軌道当たり約2,000×3,000画素の赤外画像データを送信 する。したがって、受信画像データ6×10<sup>6</sup>画素を2時間程度 で全処理完了することが、システムに対する処理速度要求と なる。以下まず衛星画像補正処理方式に触れ、次に雲の影響 の低減化方式を中心とした開発画像処理技術について述べる。

#### NOAA-7号衛星受信赤外画像 受信画像は海面温度情報を含ん 図 3 でいるが、幾何学的に大きくひずんでいる。

### 漁業リモートセンシング画像処理システムの開発 297

本パターン分類は、図5に示す特徴空間の分割に従って行な う。海水面の画像データ値の頻度分布が、狭い範囲に集中す る事実を利用し, 平均値のほかに標準偏差を特徴空間の変数 に選んでいる。

### 4.2 画像重ね合せによる雲領域補間

画像データ中の雲を識別した後, 複数日の観測画像を重ね 合わせる。すなわち,各点について海面データだけを集め,

### レベル平均に関する閾値





ひずみ補正処理済画像 × 4 衛星・地球モデル及び地上標準点を用い てひずみ形状を求め、地図座標系に合わせて行なった補正処理を示す。

衛星の画像のひずみは、一般に衛星・センサ及び地球の間 の時々刻々の幾何学的関係を明らかにし、モデルを正確に形 成することによって補正できる<sup>3),4)</sup>。衛星の姿勢角を $\theta = (\theta roll, \theta)$  $\theta$ pitch,  $\theta$ yaw), 衛星の位置を $\mathbf{x} = (\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}), \mathbf{z} + \mathbf{v} + \mathbf{v}$ の視 角をβとすると、これらの値は衛星からの送信データ、軌道情 報,打上げ前地上測定データから時間変数として知ることが できる。他に地球の形状なども既知である。したがって、 セ ンサが観測している地表の座標Gは、任意の時刻tで計算でき ることになる。

また、画像データには撮像時刻情報も付加されているため、 それぞれの画像データと地表の座標との対応がつくことにな る。更に, GCP(地上標準点)と呼ぶ, あらかじめ地球上での 真の座標が分かっている画像上の特徴的な点を用い, ひずみ の算出をより精度良く行なうこともできる。

NOAA衛星画像に対しても本補正方式を適用し, 16個の GCPを用い、平均4km以内の補正精度を達成している<sup>5)</sup>。図4 に,図3の受信画像のひずみを補正した結果を示す。

#### 雲の影響の低減化方式 4

海水面からの放射赤外線データから得られる海面温度情報 は、雲が存在するとその海域について欠落することになる。 衛星の観測画像中の雲の面積は年間で平均50%以上となり、 漁業情報システムにとって大きな課題であった。

ここでは、雲は時間とともに移動するが、それに比較して海 水の温度変化はわずかであることを利用し,連続する複数日の 観測画像を重ね合わせる時間的雲補間方式を開発した。また, それによっても残る雲を空間的に補間する方式も開発した。 4.1 雲データ自動識別<sup>6)</sup>

図5 雲識別のためのパターン分類 小領域(10×10画素)が雲か海か を, 画素値の平均と標準偏差により判別する。ただし, 雲と海面が混在する小 領域では、更に最頻値との関係で判別を行なう。



59



雲の影響を低減させるための雲補間方式では、まず雲デー タを海面データから識別することが不可欠である。一般に雲 は海水よりも温度が低く,画像データの値が小さい傾向をも つ。しかし、例外もあるため画像データ1点1点をその値だ けで判定する方式では, 雲識別精度が低下する。本システム では、雲の識別精度を向上させるため、10×10画素の微小領 域の画像頻度分布形状をパターン分類する方式を開発した。

(b) 年間雲量統計(N日間の重ね合せ)

複数日衛星画像データ重ね合せの評価 連続3日間の衛星画 义 6 像で、 | 日でも雲のない日がある確率を地点ごとの棒グラフで示すと(a)となる。 重ね合わせる日数に応じた全地点の平均快晴率を(b)に示す。

298 日立評論 VOL. 65 No. 4 (1983-4)

雲領域を減らした画像を生成する。全画像が雲である点だけ 雲として残る。2日以上海面データが存在する点については, 温度がやや低めとなる薄雲の影響を避けるため,最も高い海 面温度データを使用する。



図7 雲識別重ね合せ処理画像 3日間のデータの重ね合せによって

以上の画像重ね合せによる雲領域補間の効果を,気象庁雲 解析図から評価した。結果を図6に示す。同図(a)は,3日間 のうちで快晴が1日でもある確率を各地点ごとに年間平均で 求めたものであり,(b)は全地点の平均を重ね合せ日数に対し てプロットしたものである。3日間の重ね合せで30%の雲領 域を減少できる。図7に図4の前後3日間の画像の重ね合せ 結果を示す。

### 4.3 雲領域の空間補間<sup>7)</sup>

複数日衛星画像の重ね合せによってもわずかに残る雲領域の海面温度分布を,周辺の衛星画像データと船舶実測データから補間推定する方式を示す。補間式としては下記の多項式を選び係数を最小自乗推定するものとした。

$$T(i, j) = \sum_{P=0}^{N} \sum_{q=0}^{N-P} a_{pq} \cdot i^{p} \cdot j^{q} \cdots (2)$$

ここに T:海面温度, i:画素数, j:ライン数,

N:内挿次数,

雲領域の補間結果を図8に等温線図で示す。使用データは NOAA-7号の実際の赤外画像データである。同図(b), (d)の補 間結果は真の海面温度分布(a), (c)の傾向を正しく表わしている。

# 5 画像処理実験システムの構成とファクシミリ伝送実験<sup>6)</sup>

以上述べた漁業情報システム用に開発した画像処理ソフト ウェア構成と、実験システムのハードウェア構成を図9,10 に示す。ソフトウェアは、次のものから成る。

図3に比べ雲の領域が減少した。





19

図 8 雲補間方式の評価 実際の海面温度パターン上に 模擬的な長方形の雲域と海水 温測定用船舶を仮定し,真の 海面温度パターン(a),(c)と補 間結果(b),(d)を比較する。

60





### (1) 画像ひずみ量計算

NOAA衛星の軌道データを米国NOAA(National Oceanographic and Atmospheric Administration)からテレックスで 受け, 軌道を計算する。衛星・センサ・地球の幾何モデルによ って画像ひずみ量を求める。更に、画像上のGCP(地上標準 点)から画像ひずみ量の誤差を修正する。

(2) ひずみ補正画像処理

画像ひずみ量にのっとり、画像データ1点ごとに、入力画 像データの再サンプル処理を行ない補正画像を求める。

(3) 雲識別重ね合せ及び画像出力

雲識別アルゴリズムによって, 雲データをラベル付けし画 像を出力蓄積するとともに,処理済みの観測画像と重ね合わ せ、 実領域の補間を行なう 最後に 事前に用音した関係式

に関しては、 微小領域の平均値計算と分散値計算をパイプラ イン化している。その結果、全画像処理を目標以上の130分程 度で実行することができた。

画像処理

61

本画像処理システムを使用して作成され、実際に漁船にファ クシミリ伝送された人工衛星利用海面温度分布図の例を図11 に示す。本図は、三陸沖の漁場を対象に作成したものである。 対応するひずみ補正・強調画像を図12に示す。図11の等温線 図水温値は船舶測定データによって較正されている。同図中 のサンマ,カツオなどの漁場は、衛星データ受信と同時期の 漁船漁獲報告をもとに記入したものである。サンマ漁場が冷 水と暖水の潮境に形成され, カツオ漁場が沖合暖水渦の中に 形成されている。

本図を例とする海面温度分布図は、実験期間中10日に1回、 業無線局(JFA)の松戸から半径約3,000kmの海域にある 向けて, 周波数帯4,274kHz及び12,656kHzの短波によ アクシミリ伝送された。実験対象漁業者からは、人工 よる海面温度情報は、従来の船舶測定データに基づく 布図に比べて,詳細かつ正確であるため,黒潮の方向, 入り込み方,親潮の南下具合,潮目などが一目でわか

C, 云顾风"而间之门。 取这C, 争前C/D总UCK所以	1 D
によって画像値を水温値に変換し,画像又は等温線図を出力	中央漁業
する。	漁船に「
画素ごとの処理のため演算量が非常に多いひずみ補正処理	ってフ
と雲識別処理は、図10に示すアレイプロセッサ上で実行し高	衛星に、
速化している。ひずみ補正処理に関しては、再サンプル位置	温度分石
計算と画像データ内挿計算をパイプライン化し, 雲識別処理	冷水の

300 日立評論 VOL. 65 No. 4 (1983-4)



衛星利用海面温度分布図出力例 漁船 向けファクシミリ伝送実験で, 漁海況専門家によって作 成され伝送された海面温度分布図である。漁船からの漁

#### 図12 衛星画像写真 白い部分が水温の低い海域、黒くなるに従って高くなる。

注:三陸沿岸沖合(1982年10月14日受信)

り, 漁場の予測がつきやすく燃料の節約につながるとの評価 を受けている。

#### 6 結 言

62

人工衛星からの海洋観測赤外画像データをもとに, 漁場探 索用の海面温度分布図を作成し,漁船にファクシミリ伝送す る漁業情報システムでの画像処理技術の開発を行なった。開 発技術は、衛星画像のひずみ補正・強調処理を基本機能とし、 雲識別, 複数日データの重ね合せ, 雲域補間など, 雲の影響 を低減する機能をもつ。画像処理システムをアレイプロセッ サとミニコンピュータの複合計算機システム上で実現し、1 画像当たり130分の処理速度を達成した。

終わりに、本開発に当たり御指導をいただいた水産庁及び 社団法人漁業情報サービスセンターの関係各位に対し、厚く お礼を申し上げる。

# 参考文献

- 1) 阿部:静止気象衛星"ひまわり"による海面水温の測定,海と 空, 第55卷, 1号(1979)
- 高木,外:気象衛星データ収集システムの自動化,57年度電 2) 子通信学会総合全国大会(1982)
- 3) H. Ihara, et al. : High Precision Modelling of LANDSAT Imagery Distortion, IGU Symposium (Aug. 1980)
- 4) 本間,外:衛星画像歪補正における地上標準点選定の影響, 第3回SICEリモートセンシングシンポジウム(1977)
- なお、本画像処理実験システムを使用したNOAA-7号衛星 利用の漁業情報システム実験が,社団法人漁業情報サービス センターによって昭和57年9月から12月まで行なわれた。 本画像処理システムの入力画像データは、国産衛星MOS-1の赤外画像あるいはマイクロ波センサ画像へと拡張するこ とが可能である。
- 5) 昭和55年度人工衛星利用調查検討事業報告書, 社団法人漁業 情報サービスセンター(昭56-3)
- 6) 武田,外:適応型しきい値処理による雲領域の識別,電子通 信学会論文誌(D), J64-D, 1(昭56-1)
- 7) 昭和56年度人工衛星利用調查検討事業報告書, 社団法人漁業 情報サービスセンター(昭57-4)