

人工衛星データによる浅海水深図作成に関する研究(1)

Oshima, Taichi / RIKIMARU, Atsushi / YO, Kiyoshi / 大嶋,
太市 / 力丸, 厚 / 与, 清 / TSUCHIYA, Manabu / 土谷, 学

(出版者 / Publisher)

法政大学工学部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報

(巻 / Volume)

19

(開始ページ / Start Page)

73

(終了ページ / End Page)

83

(発行年 / Year)

1983-03

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00004091>

人工衛星データによる浅海水深図 作成に関する研究（その1）

力丸 厚*・大嶋 太市**・
与 清**・土谷 学**

A Study of Depth Mapping in Shallow Sea Area Using LANDSAT Satellite Data

Atsushi RIKIMARU, Taichi ŌSHIMA, Kiyoshi YO
and Manabu TSUCHIYA

Abstract

This paper discusses on making "Depth map of shallow sea area" from "LANDSAT-MSS-DATA". Nowadays, marine-development holds a public attention for exploration of minerals and energy resources.

At the actual development phase, it needs depth-map of the area, but usually it does not exist. Then a depth-mapping must be an urgent problem, and it takes a lot of time and manpower with traditional method.

The authors propose one of the means of solving these problems with remote sensing technology of spacecraft observation data.

§1. 諸 論

近年、海洋開発が着目されるなかで、浅海域の海洋資源開発が多く手がけられている。この開発の実施にあたっては、それに先立つ予備調査が必ず実施されているが、その調査成果がプロジェクト全体の成否を左右することが多い。予備調査とは、本格的なボーリング等の調査に先立って開発可能性の有無、採算の度合、適地の絞り込みをする段階の調査のことをいう。この調査を実施する段階においては、対象となる開発途上国では、基本的調査の立遅れから、予備調査に活用できる水深図は、存在しないのが通例である。しかしながら、特に浅海域では調査船の座礁等の危険も抱えており、予備調査段階で対象海域の的確な水深図を効率良く作成することが、工学的に要求されている。この作業が、現地に入らずに、あるいは入る前に、日本国内で実施できれば、その経済的な効果は多大である。

* パシフィック航業株式会社

** 土木工学科

そこで、本研究は全世界を限り無く観測している人工衛星ランドサット(LANDSAT)のデータに着目し、この衛星により観測されたマルチスペクトルスキャナーデータ(Multi Spectral Scanner data; 以下MSSデータと略す)を利用し、水深推定図の作成を試みたものである。今回は、研究その1として、単時期のMSSデータと特定区域の水深データを与えて、水深推定モデルを作成し、未知の全体領域の水深推定を、MSSデータにより実施した。なお、今回は精度の検証が行えるフィールドとして、有明海を実施海域として利用した。

§2. 衛星による水深推定の基礎概念

2.1 ランドサット衛星の諸元

ランドサット(LANDSAT)シリーズは、米国NASAによって、1972年7月に1号(当初

表1 ランドサットの諸元

	項 目	LANDSAT-1, 2, 3	LANDSAT-4
	打ち上げ年月日	1972. 7. 23 (1号) 1975. 1. 22 (2号) 1978. 3. 15 (3号)	1982. 7
プラットフォーム諸元	大 き さ	953kg(高さ3m, 半径1.5m)	
	高 度	910km(赤道上), 930km(日本上空)	705km
	軌 道	太陽同時準回帰軌道 軌道傾斜角99.1度	99度
	地球を一周する時間	103分(1日に地球を14周)	100分(1日に地球を14周)
	繰返し周期	18日 (251回転毎に同一地点を同一時刻通過)	16日
撮影諸元	撮 影 時 刻	9:30 AM(赤道上・現地時間)	9:45 AM
	コ ー ス 間 隔	2,780km(赤道上), 2,280km(35°N)	
	撮 影 間 隔	159km(赤道上), 130km(35°N)	169.1km(赤道上)
	走 査 巾	185km	
	画像画枠・面積	185×185km(3.2万km ²)	
	オーバーラップ	10%	
	サイドラップ	14%(赤道上), 30%(35°N)	
	日本全土をカバーするに要する枚数	10コース, 38枚	
マルチスナベクトルス(MSS)	観 測 帯 幅	4バンド ④ 0.5~0.6 μm ⑤ 0.6~0.7 ⑥ 0.7~0.8 ⑦ 0.8~1.1	4バンド 0.5~0.6 μm 0.6~0.7 0.7~0.8 0.8~1.1
	地 上 分 解 能	80m(実57×79m=0.45ha) (LANDSAT-3の⑦は240m)	
	1枚の画枠を含む	3,240画素×2,340ライン	

ERTS-1 と呼ばれた), 1975年1月に2号, 1978年3月に3号, 更に1982年(本年)7月に4号が打ち上げられ, 現在3号と4号が運用されている。この衛星の目的は, 地球上の資源管理, 環境保全等に人工衛星による観測データを収集し, 有効に利用することにある。表1は, ランドサットの諸元を示してあるが, 主要な観測機器は, 多重スペクトル走査計(MSS)とリターンビームビジョンカメラ(RBV)である。

ランドサットの軌道は, 高度約900kmの太陽同期準回帰軌道で, ある地域を, 特定の時刻に一定周期(1, 2, 3号は18日間, 4号は16日間)で繰り返し観測することができる。

MSSの波長域は, 表1に示されているが, 海洋情報の利用には, バンド4又はバンド5が適していると, 考えられている。というのは, バンド6, バンド7は近赤外線の領域であるため, 海水による電磁波の吸収率が高く, 海底の分光情報が衛星まで届かないためである。

2.2 ランドサットデータによる水深の推定モデルの考え方

水の澄んだ海やプールを, 高い所から見おろすと, 深くなるにつれて青味が増してくる。これは, 水深が増すにつれて水中に吸収される太陽光の量が増加するからである。この現象を, 人工衛星が観測する際の要因をモデル化すると, (式-1)の関係にあると仮定した。これを模式化すると図1のようになる。

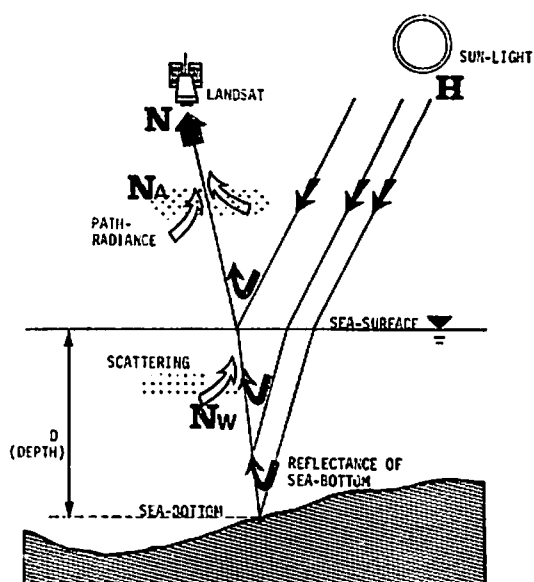


図1 センサによる海底観測の模式図

$$N(\theta, \lambda) = \frac{1}{\pi} H(\theta, \lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot \tau_A(\lambda) \cdot \tau_W^{2d}(\lambda) + N_{AW}(\theta, \lambda) \quad (\text{式-1})$$

$N(\theta, \lambda)$: ランドサット MSS センサで観測する分光放射輝度

$H(\theta, \lambda)$: 太陽照明光の分光放射照度

θ : 太陽高度

λ : 電磁波の波長 (バンド4: 0.5~0.6 μm , バンド5: 0.6~0.7 μm , バンド6: 0.7~0.8 μm , バンド7: 0.8~1.1 μm)

$\rho(\theta)$: 海底面の分光反射率

$\tau_A(\lambda)$: 大気分光透過率

$\tau_W(\lambda)$: 海水の単位距離当たりの分光透過率

d : 水深 (2d で水中の往復光路長)

N_{AW} : 大気及び水中の散乱成分

このうち、一時期の MSS データの中では、ほぼ一定であるとみなせるものと、定数項 K とすると、

$$N(\theta, \lambda) = K_{\lambda} \cdot \rho(\lambda) \cdot \tau_w^{2d}(\lambda) + N_{AW}(\theta, \lambda) \quad (\text{式-2})$$

また、対象海域内で、水底面の反射率が、ほぼ均等であり、また海水の光学的な特性が、ほぼ一定であるとみなせる場合には、(式-2)を変形することにより、

$$d = K_{\lambda 1} \log(N(\theta, \lambda) - K_{\lambda 2}) - K_{\lambda 3} \quad K_{\lambda 1}, K_{\lambda 2}, K_{\lambda 3} \text{ は定数} \quad (\text{式-3})$$

となる。本研究は、初歩段階であることから、(式-3)が成立つ仮定のもとに、研究を実施した。

§3. デジタル画像処理による水深推定

3.1 使用データ

本研究においては、以下のランドサット MSS データの使用が、データ検索の結果最適であると考えられたので、コンピュータ用磁気テープ(CCT)の形態で、宇宙開発事業団より入手した。

地区名	PATH	ROW	雲星%	データ品質	シーン番号
北九州	121	37	10	優	8J30655010850
北九州	121	37	0	優	8J30744010640
北九州	121	37	0	優	8J22234011020

区地名	観測月日	観測時刻	衛星名
北九州	1979年12月20日	午前10時08分	LANDSAT-2
北九州	1980年3月19日	午前10時06分	LANDSAT-2
北九州	1981年3月5日	午前10時02分	LANDSAT-2

また、海上保安庁水路部発行の海図「島原湾」(No. 169, 1:100,000, 1972年5月発行)を使用した。

3.2 解析手順

実際の解析作業は、図2に示す手順で実施した。作業は、大別して「データの前処理」「海図データのコンピュータ入力」「水深推定モデルの作成」「推定画像の出力及び図面作成」の工程から、構成されている。

(1) データの前処理

データの前処理工程は、主題の解析を実施するための下準備であり、この処理のできばえが、解析精度に大きく影響する。図2の①～④を前処理として実施し

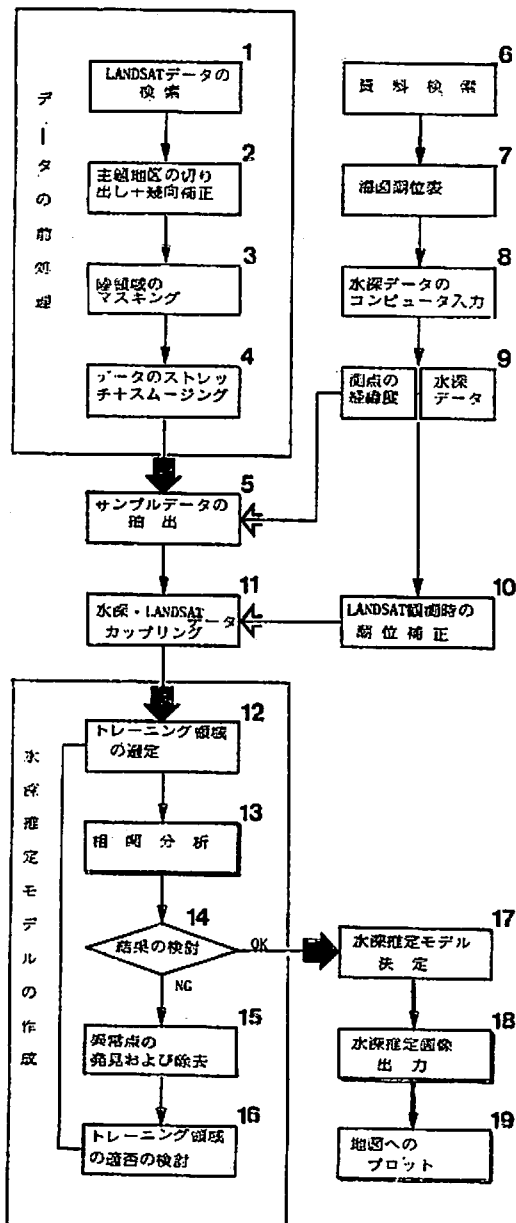


図2 作業の流れ図

た。ランドサットのデータ検索は、(財)リモートセンシング技術センターのランドサット画像検索システムを利用して、雲が少なく対象とする有明海が、鮮明に観測されているものを選択した。その結果 3-1 に示すデータを選択し、CCT で入手した。次に、入手した CCT のデータ配列は、一応 UTM 座標系となるように地理補正されたものではあるが、精度において 1 ~ 2 ピクセル以上の誤差がある。また、データの配列方向が、衛星の軌道方向を向いており、データの行と列が緯度経度と一致していない。これらの欠点を改良するために、主題地区を、緯度経度で区分した長形状にデータを再配列した。この工程を、歪に着目していうと幾何補正あるいは地理補正という。また、利用領域に着目して述べると、主題地区の切り出しと称する。実際に切り出した範囲は、図 3 の区画 A に相当する領域で、その緯経度は表 2 の A に示すと

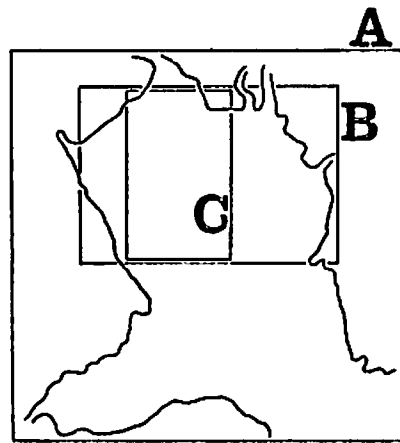


図 3 相関データのサンプル抽出領域区分図

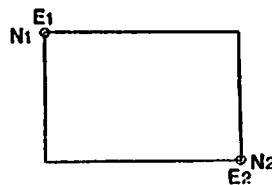


表 2 領域区分座標

	N1 : 経度	E1 : 経度	N2 : 経度	E2 : 経度
A	32°50'	130°07'	33°10'	130°30'
B	33°10'	130°09'	33°00'	130°26'
C	33°10'	130°12'	33°00'	130°19'

おりである。③のステップは陸域のマスキングである。解析に必要とされるデータは水域のみであるので、必要外の陸域は、マスキングにより除去した。その方法は赤外線領域の 7 バンドデータに「しきい値」を設定して実施した。水域は、赤外線の吸収率が大き、ほとんど反射光はゼロに近い。これに対し、陸上は赤外線を反射している、この差を利用して、海と陸を分離したのである。④はストレッチとスムージングである。水域のデータは反射のレベルが低い。したがって S/N 比が低くなっている。そこで、空間分散能を粗くして、輝度情報の S/N を向上させるためにスムージング等のフィルター処理が必要となる。この際、単純な平均化では、データを整数で取り扱うために割り込み誤差が大きく出るので、ストレッチをかけながらスムージングを実施した。そのデジタル空間フィルターの形状は、図 4 のとおりである。南北方向に 7 ピクセルとしたのには、理由がある。ランドサットの MSS は、同時に 6 ラインを並列に配したディテクタで走査している。このため 6 ライン周期の測定偏差が発生している。ところが地理補正の再配列操作で、この周期が約 7 ラインに拡大する。このため、7 ラインという寸法を選んでいる。東西方向は、偏差が少ないので、空間分解能をさほど粗くしないように、3 ピクセルにとどめてい

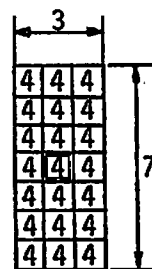


図 4 ストレッチ・スムージング・フィルター

る。これらの作業を、解析への下準備とした。

(2) 海図データのコンピュータ入力

水深モデルを作成するための教師データとして、海図データをコンピュータ入力する必要がある。そこで、海図に示された水深データと、その測点の緯経度及び測点番号をセットにしたものを、約700地点分作成し、コンピュータ入力した。またその後、潮位の補正を加えて、教師データのセットとした。

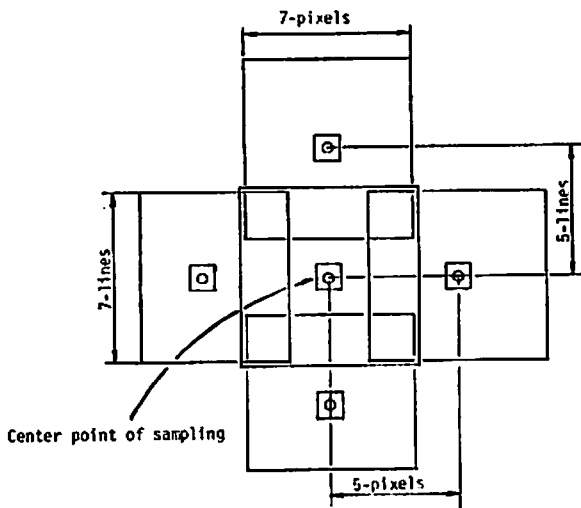


図5 相関分析用画像データの抽出方法

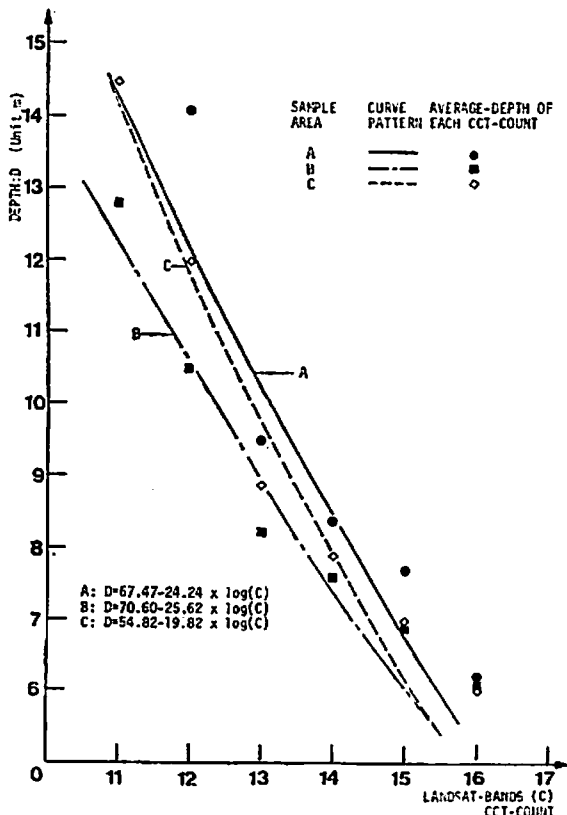


図6 水深 CCT カウント回帰特性

(3) 水深推定モデルの作成

図2の⑤, ⑩の過程で、ランドサット MSS データと、水深の教師データをセットにした。この際、水深データの経年変化や、海岸線際の陸域(マスク部)の混入などを避けるため、図5に示すように、MSS 画像上の標定点以外にも、前後左右のデータも、同時に抽出し、相関分析の最適化が行えるようにした。

相関分析は(式-3)のモデルを作成するために、MSS の各バンドと、水深データとの単相関で行った。しかしながら、教師とした水深データの値そのものが、現状では変化している可能性があるため、変化の少ない地区及び測点を捜し出す作業を、図2の⑫⇒⑯の繰り返しによりより相関のよい領域が、より信頼性の高い領域であるという仮定のもとに実施した。異常測点の検定法としては、初回の回帰誤差が $\pm 1.5 \sigma$ 以上のものを、異常点であるとみなして、除去し、相関をとりなおすようにした。

(4) 推定画像の出力および図面作成

(3)により得られた推定モデルをもとに、全領域に対しての推定計算を実施し、この結果を画像出力装置により、カラーハードコピーを作成した。また、そのハードコピーを、ズームトランスファースコープにより、従来の海図の上にコンタマップとして、移写した。

§4. 解析結果及びまとめ

図2の⑫⇒⑬の過程から、最適トレーニングエリアをA→B→C（図3参照）と絞り込んだ。表3、表4は、その過程における相関係数の変化を示すものである。また、この際に水深データの範囲を0～15mとした場合と、0～10mまでとした場合にかけて算出した。これは、水深により底面の反射率が多少変化することが予想されたからである。しかしながら、結果は0～15mの範囲で相関をとった方が、成果は良好であった。これは、 ρ の変化量よりも、広域レンジのデータによる相関の数学的な効率の方が、大きかったためと考えられる。波長の選択に関しては、BAND-4よりもBAND-5の方が、全体として良い結果をもたらしている。この理由は、水底、水中の分光特性の差というよりはむしろ大気の影響の差が起因していると考えられる。画像-1はMSS画像のフォーカスカラー合成画像である。画像-2は、BAND-4による水深推定画像、画像-3はBAND-5による同画像である。画像からも、BAND-5の方が、S/Nで良好であることが、伺える。図7は、推定画像のカラーステップのエッジを、海図に等深線として、プロットし

表3 相関係数算出結果 (1981-3-5 L-2 データ)

領域区分		A	A	B	B	C	C	
相 関 係 数	BAND 4	-0.521	-0.424	-0.577	-0.482	-0.784	-0.719	
	5	-0.119	-0.539	-0.591	-0.521	-0.768	-0.715	
	6	-0.588	-0.533	-0.579	-0.532	-0.728	-0.689	
	7	-0.377	-0.307	-0.392	-0.300	-0.464	-0.363	
	log(B4)	-0.519	-0.422	-0.579	-0.481	-0.789	-0.725	
	(B5)	-0.626	-0.543	-0.560	-0.525	-0.799	-0.725	
	(B6)	-0.605	-0.549	-0.591	-0.543	-0.743	-0.703	
	(B7)	-0.015	-0.021	-0.039	-0.086	-0.033	-0.201	
	水深範囲		0～15m	0～10m	0～15m	0～10m	0～15m	0～10m
	サンプル数		493	374	228	224	131	111

表4 相関係数算出結果 (1980-3-19 L-2 データ)

領域区分		A	A	B	B	C	C	
相 関 係 数	BAND 4	-0.513	-0.419	-0.191	-0.189	-0.461	-0.346	
	5	-0.636	-0.580	-0.439	-0.407	-0.810	-0.764	
	6	-0.577	-0.544	-0.469	-0.445	-0.802	-0.765	
	7	-0.342	-0.346	-0.360	-0.362	-0.617	-0.610	
	log(B4)	-0.512	-0.416	-0.189	-0.189	-0.461	-0.350	
	(B5)	-0.638	-0.575	-0.424	-0.393	-0.806	-0.758	
	(B6)	-0.601	-0.561	-0.466	-0.442	-0.811	-0.770	
	(B7)	-0.386	-0.404	-0.408	-0.413	-0.632	-0.621	
	水深範囲		0～15m	0～10m	0～15m	0～10m	0～15m	0～10m

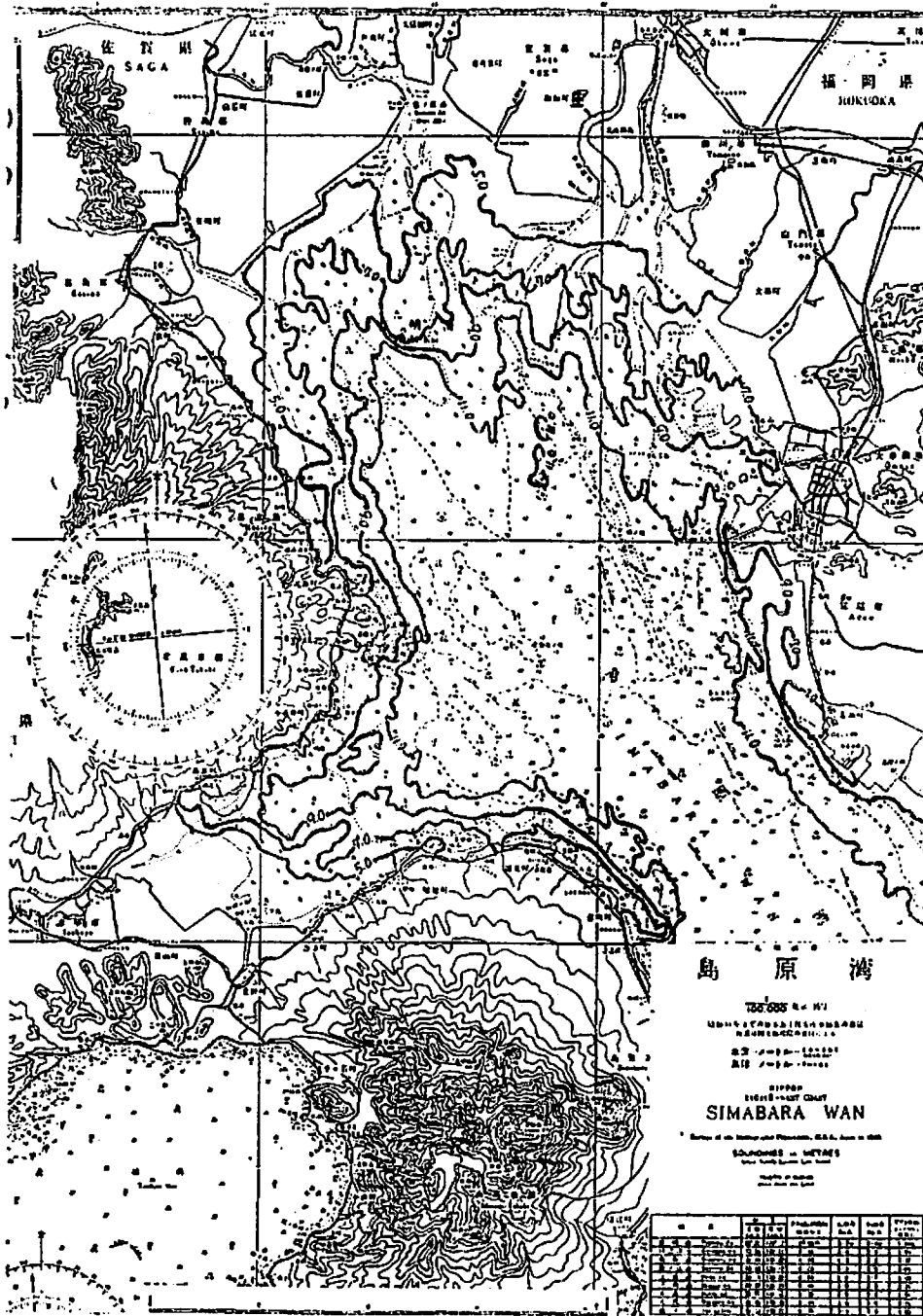
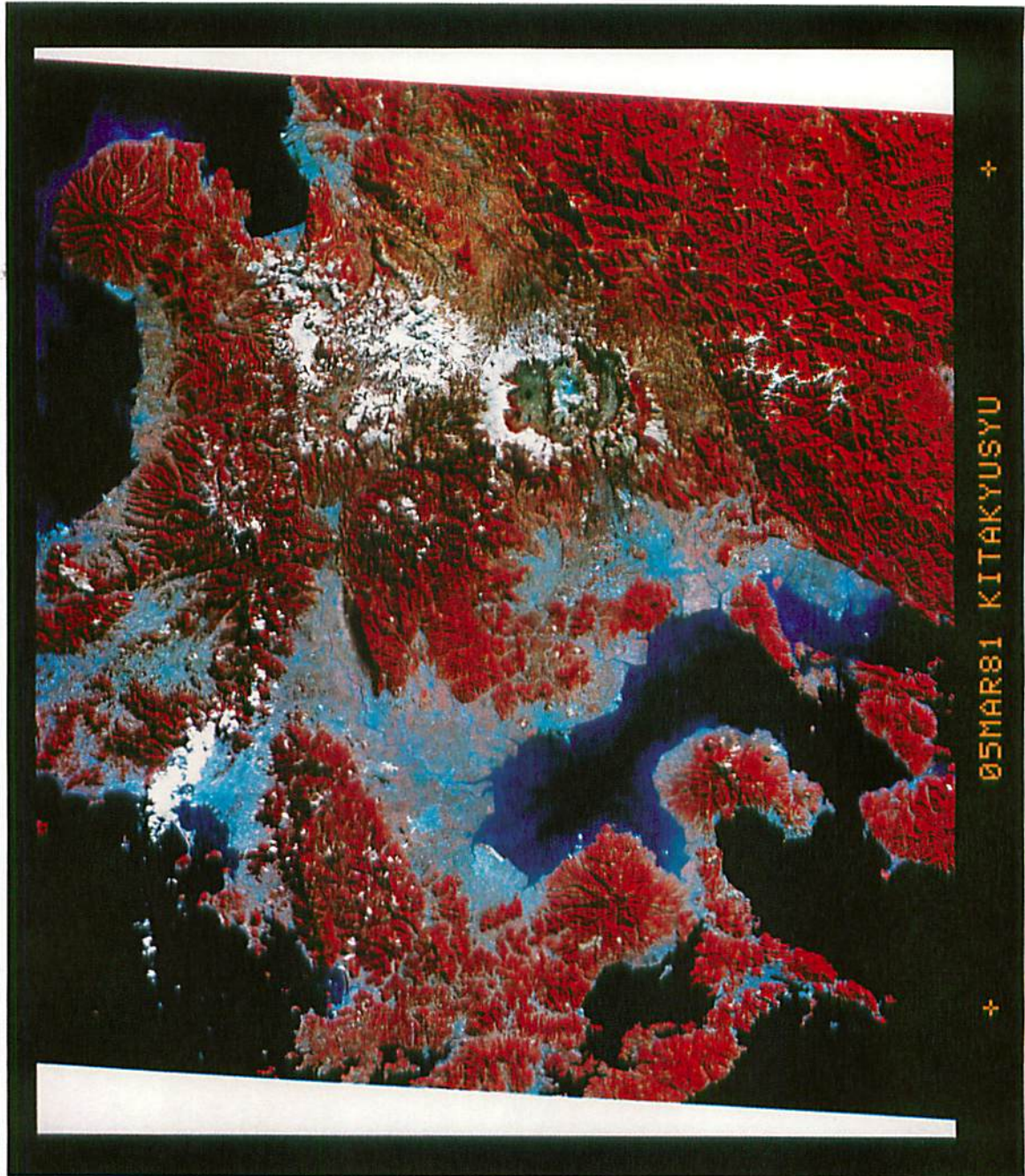


図7 LANDSAT データによる有明海深浅図(1981年3月5日 L-2 データより)

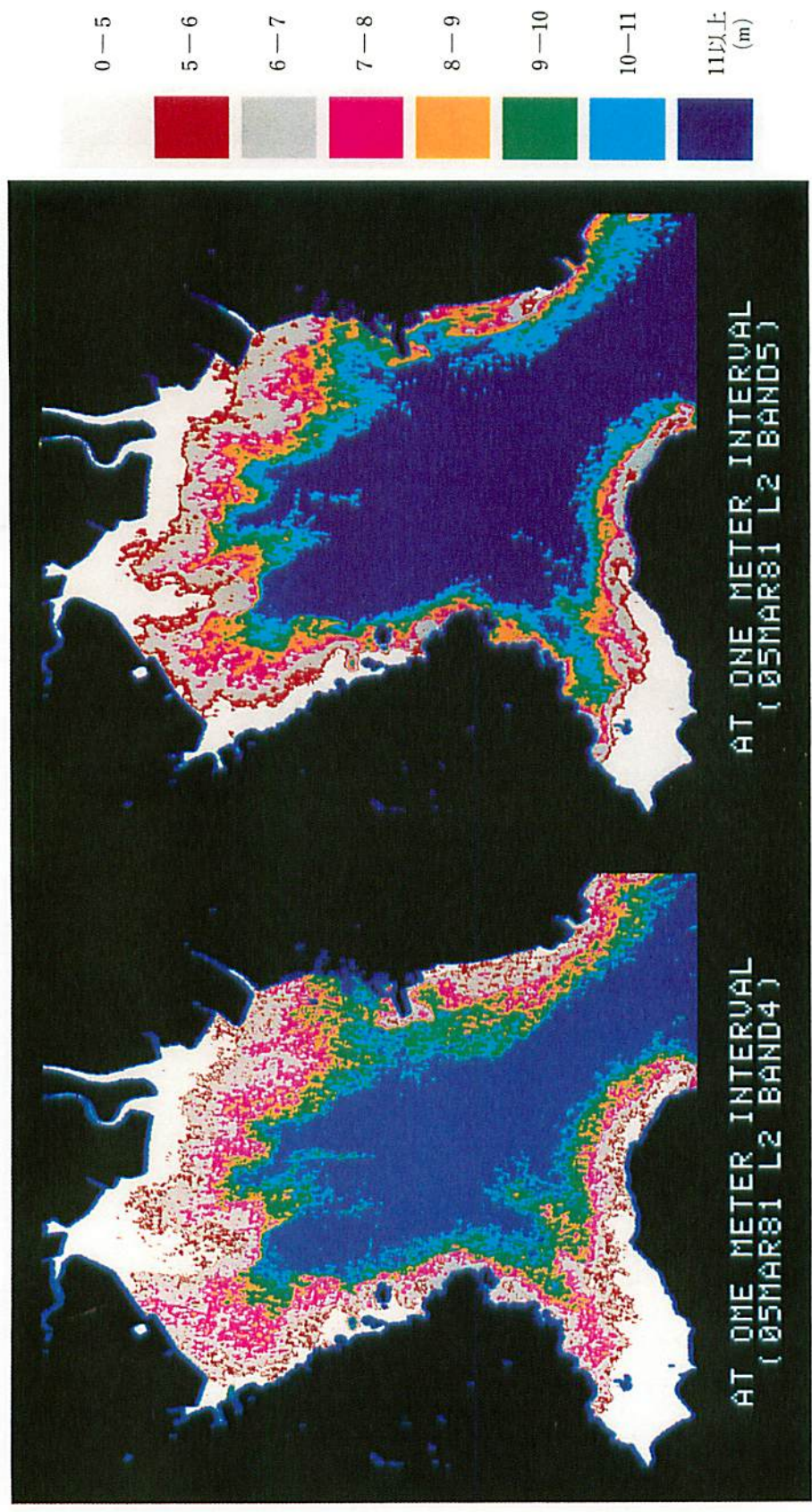
表5 平均推定誤差 (単位:m)

データソース	領域区分	A	B	C
'81.3.5 L-2	log(BAND 4)	3.62	3.00	2.35
	(BAND 5)	3.30	2.95	2.40
'80.3.19 L-2	log(BAND 5)	3.32	3.20	2.21
水深範囲		0~15	0~15	0~15

たものである。湾の中央で、従来の等深線(破線)との大きなずれが確認できる。MSSデータの平面位置精度は、±50m程度であり、縮尺に比べて十分に高い。これは約10年間における海底地形の変化あるいは、現地実測の際の位置測定の誤差ではないかと考えら



画像-1



れる。こういった点の検証に、本研究データは、早速利用できるのではないかと、期待される。なお、水深の平均推定誤差は、表5に示す程度であった。そこで、3 m以上のコンタであれば、ひとまず実用にできるのではないかと考えられるので、既略水深図の作成という目的は、ほぼ達せられるものと思われる。今後は、多時期データの組み合わせや、バンド間の水中分光透過率の差等を利用して、より精度の安定化および向上を図るつもりである。

謝 辞

なお、本研究に御助言下さった日本 BIM 飯坂譲二主任研究員、千葉大学天然色工学施設江森康文先生、安田嘉純先生に、心から感謝いたします。