

サンゴ礁地形判読のための LANDSATカラー合成画像の検討

長 谷 川 均

I はじめに

LANDSAT (ランドサット) に代表される衛星リモートセンシングの歴史は、すでに20年になろうとしている。サンゴ礁地域の浅海域では、リモートセンシングによってサンゴ礁の分布や地形の特徴を、広範囲にわたる画像でとらえることができるようになった。また、画像を強調して視覚的な手段でサンゴ礁地形を抽出するだけでなく、取得されたデジタルデータの解析に関する検討 (Claassen, D. van R. ed. 1986) も積極的に試みられた。そして、分光反射特性に基づく水深図の作成 (Pirazzoli, P. A. 1985), サンゴや底質分布図の作成 (Jupp, D.L.B. *et al.*, 1985, Quinn, N.J. *et al.*, 1985, Kuchler, D.A. *et al.*, 1986) がおこなわれた。さらにこれらの成果は、サイクロンに伴う海浜や浅海底の環境変化を抽出する研究 (Loubersac, L. *et al.*, 1988) などに応用された。また、日本でもサンゴ礁浅海域における水深推定アルゴリズムの開発 (中森亨らのグループによる、菅井, 1989) などの試みがなされている。

このような研究例があるとはいえ、サンゴ礁域でのリモートセンシングは、陸域での事例にくらべて少ない。この理由のひとつに、観測される波長が海域の情報をも十分表現するものではないことがあげられる。すなわち、陸域で植生分類や植物の活性度を評価する赤外線領域の波長が、海域では水によって吸収されてしまいこの波長領域の情報量が少なくなるからである。また、日本のサンゴ礁地域ではサンゴ礁を構成する地形の規模が小さく、30mの分解能しかないランドサットデータではこれらを十分表現できないということも理由のひとつである。

以上のようなことから、衛星リモートセンシングが発達した今日でも、生サンゴの分布域の把握やサンゴ礁地形分類に関して、最も有力な方法は大縮尺カラー空中写真の目視による判読である。この方法で多数枚のカラー空中写真を用いれば、広い範囲でサンゴの分布や地形を高い精度で分類できる。しかし、一枚の空中写真がカバーする範囲は一般に非常に狭く (日本では1970年代に撮影された1/10,000写真があり、1枚のカバーする範囲は約2.5km×2.5km)、広範囲にわたるサンゴ礁地形分類図を作成する場合、経費や労力に大きな負担を強いることになる。

ランドサットなどの衛星データを使えば、広範囲を一度に観測できる (広域性、同時性) だけでなく、一定の周期で繰り返して観測 (反復性) することができる。

現在使われているセンサーの解像力は、ランドサットの場合 MSS が80m, TM が30mで、礁原における生サンゴ域と死サンゴ域の判別はほとんど不可能である。しかし、将来新しいセンサーが開発され分解能や波長領域が細分されれば、リモートセンシングの特徴である広域性、同時性、反復性という特徴を生かし、サンゴの「活性度」の変化、サンゴの分布域の変化や陸から流出する赤土による海洋汚染などの環境監査ができる可能性が高い。また、空中写真という可視情報をもとに作成した地形分類図とは質的に異なる、衛星画像によるサンゴ礁地形分類図が作成できる可能性もある。そのためにも、現段階で基礎的な資料を集積しておく必要がある。このような意図で解析作業を始め、MSSデータの解析結果や、TMデータを使ったサンゴ礁地形判読の試みについて一部は既に発表した（長谷川：1988, 1989）。

ランドサットデータは、可視域から近赤外域までを複数の光の波長域に分けて観測したものである。波長の異なる複数のバンドに割り当てる色を変えることで、色調の異なる複数の画像を合成することができる（後述、Ⅲ章）。本報告の目的である海域の判読に適するカラー合成画像の作成は、三輪ほか（1986, 1988a, b）の研究で既に十分検討されたことがある。しかし、この研究では、海域画像の例として瀬戸内海沿岸や銚子付近の太平洋沿岸が対象になった。このため、この研究で検討された「海部の情報」や「海域のパターン」の多くは、懸濁物の濃度、拡散パターンなどに対応していると推定され、沿岸域や浅海底の地形を直接示すものではない。海岸線に沿って分布するサンゴ礁のような、浅海域の地形判読に適するカラー合成画像作成の検討はこれまで報告されていない。

現在、衛星リモートセンシングはスポット衛星のような解像度の高い（10m）データの利用に移行しつつあり、サンゴ礁地域でも生サンゴと死サンゴの判別ができる可能性が示されている（例えば Bour, W., 1988）。本報告のテーマはこれら最近のサンゴ礁リモートセンシングの研究とは性格の異なる問題を取り上げた。本稿で筆者は、これまでにサンゴ礁海岸でおこなってきたランドサットデータのカラー合成実験の結果を示し、資料の提供とすることとした。カラー合成画像の作成にあたっては、後述するようにサンゴ礁地形のタイプの異なる2地域を中心に、MSS データと TM データで比較した。本報告の目的をまとめると次のようになる。

- 1 各波長域（単バンド画像）で判読できるサンゴ礁地形を比較すること。
- 2 サンゴ礁地形の判読に適するカラー合成の組合せ（複数のバンド（異なる波長域）と各々のバンドに割り付ける色の組合せ）を、サンゴ礁地形のタイプの異なる地域を例にパソコンを使った実験をもとに明らかにすること である。

Ⅱ カラー合成実験に使用したランドサットデータと調査地域

沖縄島周辺のサンゴ礁のタイプ（目崎ほか, 1977）を参考に、琉球列島で見られるサンゴ礁から代表的な地域を選び、7地域9種類の画像データ（表1, 図1）

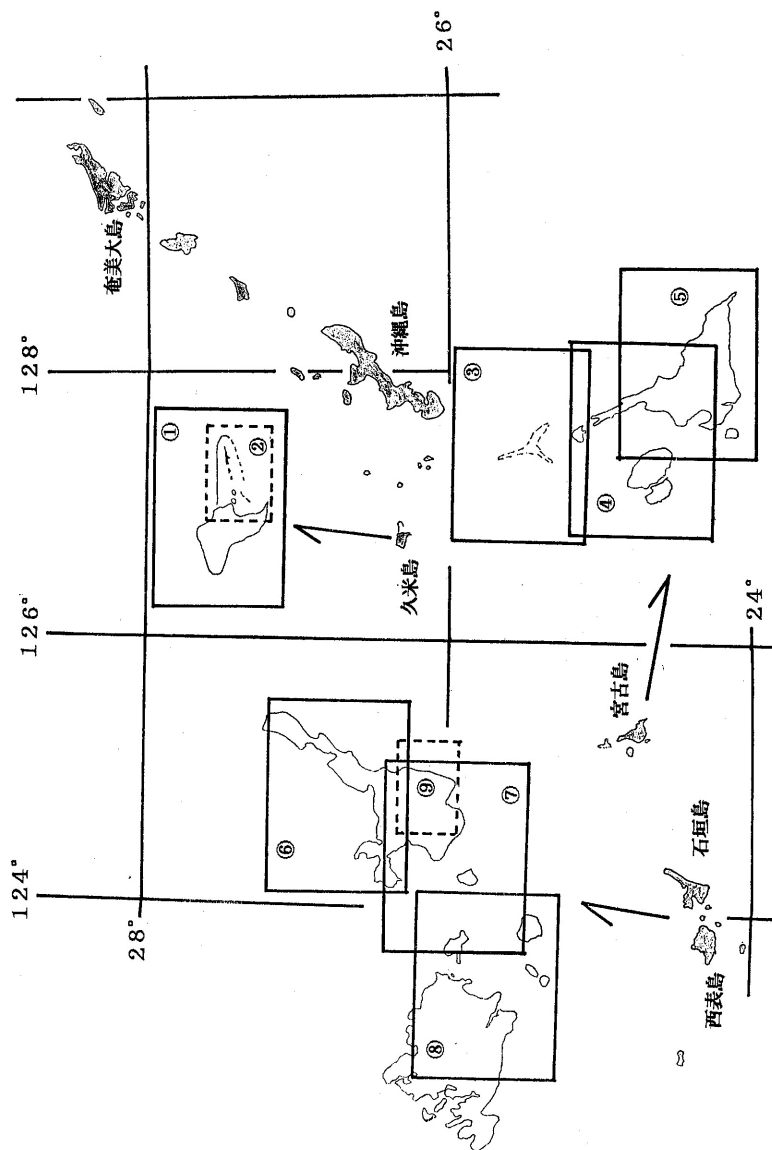


図1 調査地域と各シーンの範囲
数字 (①～⑨) は表1に対応する

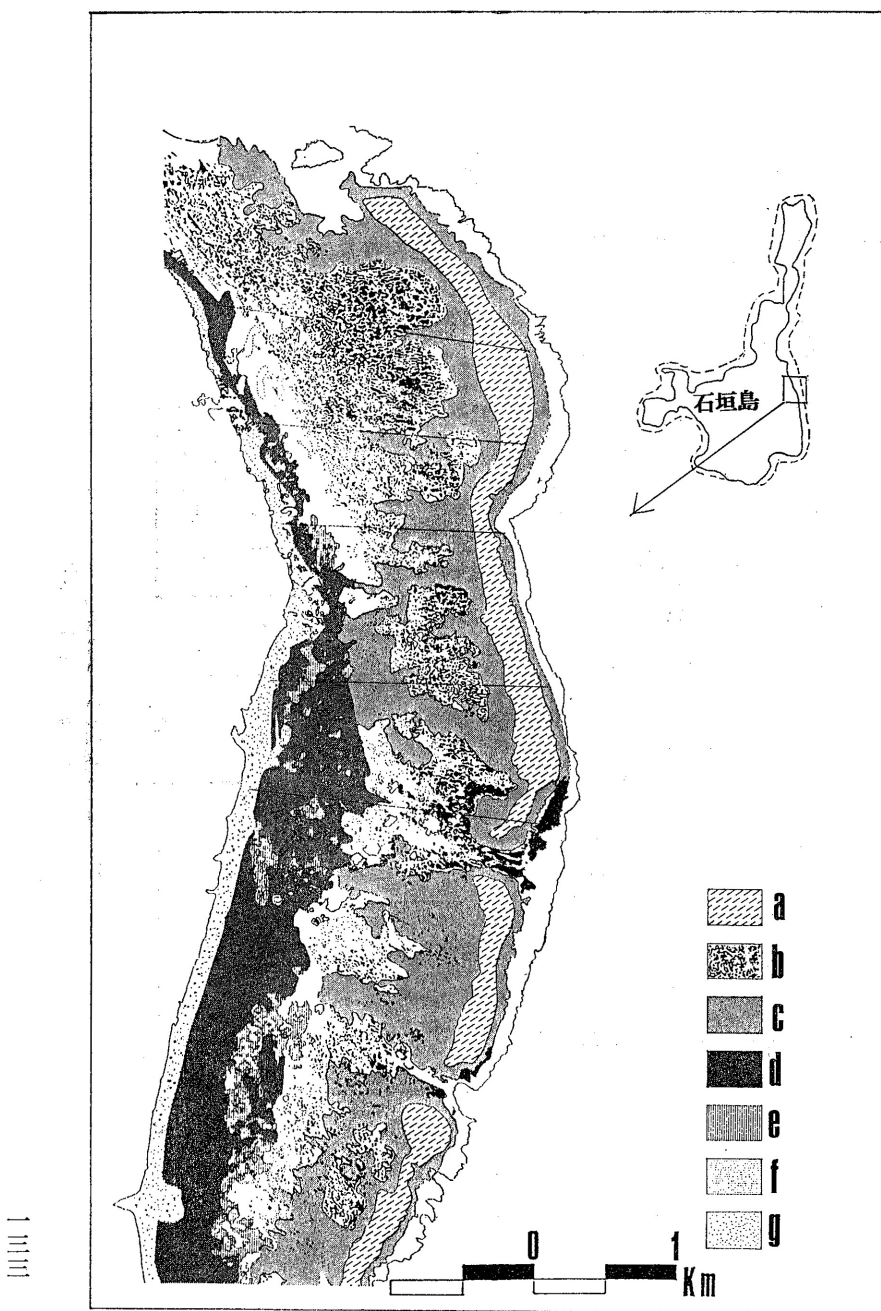


図2 石垣島東部カラ岳東海域のサンゴ礁地形分類図
a: 礁嶺 b: 礁池 (黒は主に生サンゴ, 白は砂床) c: 前方礁原
d: 後方礁原 e: 藻場 f: 基盤岩 g: 砂浜
(この図は図1、表1に示した⑨の範囲内の北部、長谷川(1990a)より簡略引用)

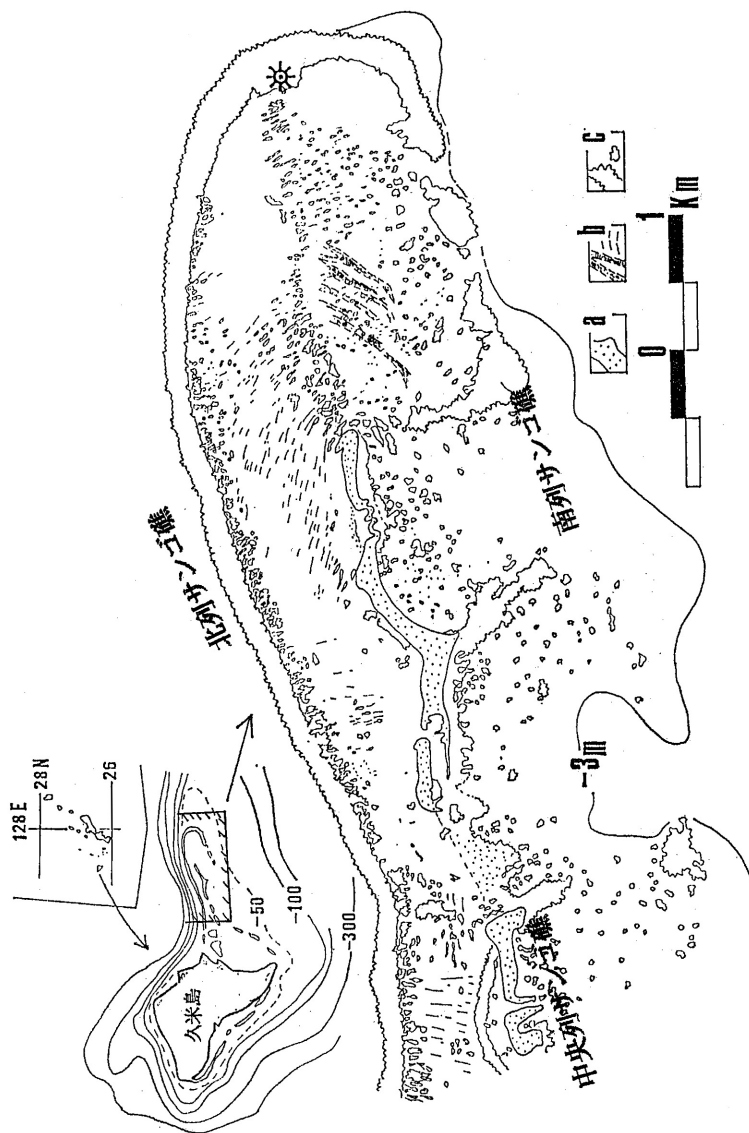


図3 久米島東海岸ハデノハマ洲島周辺のサンゴ地形分類図
 a: サンゴ洲島 b: 砂浪 (ジャイアントリッパー) c: 離礁など
 (この図は図1、表1に示した②の範囲内の東部、長谷川 (1990b, pp.127))

表1 カラー合成に使用したランドサットデータ

PATH-ROW		観 測 日	センサー	シーン（地域）	サンゴ礁地形のタイプ	
①	114	42	1981.07.28	MSS	久米島	裾礁・堡礁・洲島
②	114	42	1984.08.01	TM	久米島東海岸	洲島・礁池・堡礁
③	115	43	1983.07.02	MSS	八重干瀬	台礁
④	115	43	1983.07.02	MSS	宮古島北部・伊良部島	裾礁・
⑤	115	43	1983.07.02	MSS	宮古島南部	裾礁
⑥	115	43	1983.07.29	MSS	石垣島北部	裾礁
⑦	115	43	1983.07.29	MSS	石垣島南部～竹富島	裾礁・堡礁
⑧	115	43	1983.07.29	MSS	西表島東部～黒島	堡礁・干瀬（礁嶺）
⑨	115	43	1984.12.14	TM	石垣島南東部	裾礁

を使ってカラー合成実験をおこなった。このうち、石垣島南東部(裾礁タイプのサンゴ礁)と久米島東部(サンゴ洲島・礁池など)の2地域では、MSSとTMの2種類のセンサーで得た画像を比較した(表1・図1の①②と⑦⑨)。

石垣島南東部のサンゴ礁は典型的な裾礁タイプのサンゴ礁で、海岸線から幅数百～1kmにわたって水深1～3m程度の礁池が広がっている(図2)。礁池底にはサンゴ砂からなる砂床がひろがり、生サンゴの群落がみられる。また、生サンゴ、死サンゴからなる礁原、藻場などが形成されている。

久米島東海岸には北東から南西に伸びる3列のサンゴ礁が形成されている(図3)。北側のサンゴ礁は釣針状の平面形をなす隆起サンゴ礁で、満潮時でも離水している。また、湾曲した部分は方向を変えて南西に伸び、南列のサンゴ礁とつながっている。この南列サンゴ礁は断続的で、多くの離礁がつながってできておりそのほとんどが海面下に位置する。北列と南列の間に中央列サンゴ礁があり、大部分は沈水しているがその頂面は+1m位から水深1～2mの間にあり南列より浅い。北列と中央列の間は水深2～3mの礁池があり、底質は生物起源のサンゴ砂(サンゴ碎屑物、有孔虫殻など)である。また、中央列の高まりにはサンゴ砂からなるサンゴ洲島が断続的に数kmにわたって形成されている。また、この南西にある湾入部(島尻湾)は水深20m以上で、堡礁を形成している(図3の範囲外。写真2を参照)。

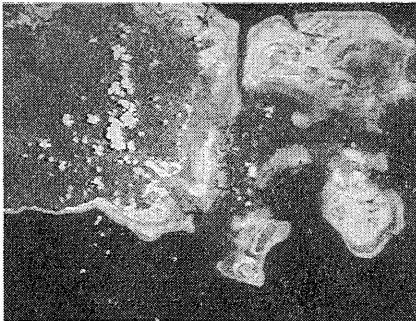
ランドサットデータを使ってサンゴ礁を比較する場合、サンゴ礁地形のタイプに応じてバンドと色の組合せを変えると、サンゴ礁の特徴が強調されることがある(長谷川, 1989)。そこで、様々なタイプのサンゴ礁地形がみられる久米島と石垣島周辺を例に判読に適する色・バンドの組合せを選定できれば、琉球列島全域のサンゴ礁に応用できると考え実験をおこなった。

なお、今回使用したランドサットデータは185×170km(横×縦)の範囲を記録した磁気テープから、フロッピーディスク上に切り出したものである。この場合データの範囲は、MSSデータで29×23km、TMデータで14×11kmとなる。

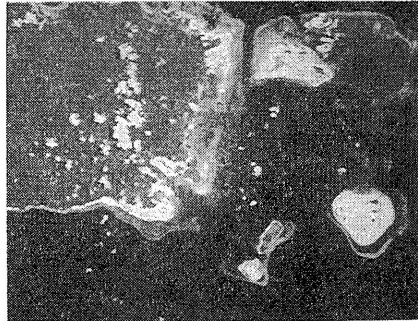
Ⅲ ランドサット画像でみられるサンゴ礁地形とDN値の特徴

Ⅲ-1. MSS 単バンド画像でみたサンゴ礁地形

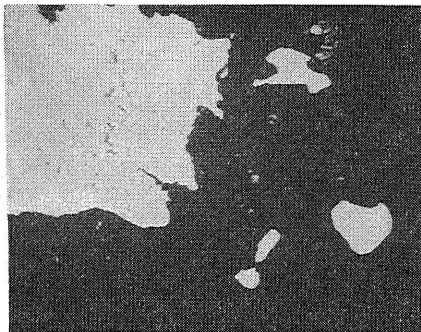
西表島東部～黒島のサンゴ礁地形を例に、MSS 単バンド画像を比較する。写真 1a～1d は MSS 単バンドモノクロ画像を示している。これらの写真を例に、各々のバンドの海域に関する特徴を記載する。なお、西表島東部～黒島は石西礁湖と呼ばれる地域の一部にあたり、数百mの広がりをもつサンゴ礁地形が多く見られ、解像度の劣る MSS データでも浅海域の特徴が比較的良く表現される。



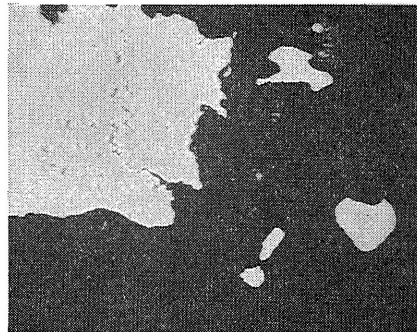
1a 西表島東部～黒島 MSS バンド 4



1b 西表島東部～黒島 MSS バンド 5



1c 西表島東部～黒島 MSS バンド 6



1d 西表島東部～黒島 MSS バンド 7

① バンド 4 (波長 $0.5\sim0.6\mu\text{m}$) 写真 1a

このバンドは他バンドより波長が短く水中へ透過しやすい。したがってこのバンドには浅海底の情報や水中の懸濁物質に関する情報が多い。写真 1a に示した画像でも他バンドに比較して小浜島(写真上方中央右)の東側に見られる浅海底の円状の構造や、島の周辺に広がるサンゴ礁の分布がよくうつしだされている。しかし、陸域と海域の境界はきわめて不鮮明である。

② バンド 5 (波長 $0.6\sim0.7\mu\text{m}$) 写真 1b

バンド 5 は可視域の画像である。バンド 4 に比べ水中の情報が少ないが、これは波長が長くなるにつれて水面での反射率が低くなるためである。このバンドに

見られる浅海底，水中の情報はバンド4より浅い部分に関するものである。

③ バンド6（波長 $0.7\sim0.8\mu\text{m}$ ） 写真 1c

④ バンド7（波長 $0.8\sim1.1\mu\text{m}$ ） 写真 1d

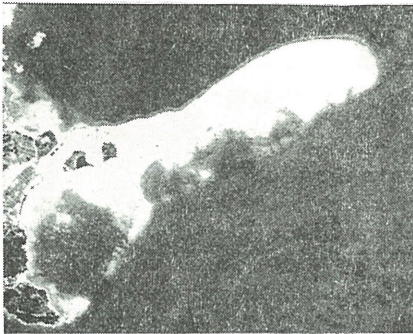
バンド6と7は近赤外線波長域のバンドで，人間の眼では見ることができない波長で観測している。海面は反射率が低いので暗く見え，海中の情報はほとんど含まれていない。しかし，陸域と海域の境界はきわめて明瞭であるためこのバンドを他バンドの画像と組み合わせれば陸・海域の境界線の抽出が容易になる。

以上のことから，MSS ではバンド4がサンゴ礁の情報を豊富に持っていることがわかる。

Ⅲ－2．TM 単バンド画像でみたサンゴ礁地形

久米島東海岸と石垣島南東部を例にTM単バンド画像でみられるサンゴ礁地形について比較する。

写真2～3はTM単バンドモノクロ画像を示してる。いこれらの写真を例に，各々のバンドの海域に関する特徴を記載する。画像の例とした2地域は，前述のようにサンゴ礁地形のタイプが異なる地域である。これら2地域では，短波長域で得られる浅海底の画像が大きな相違をみせる。



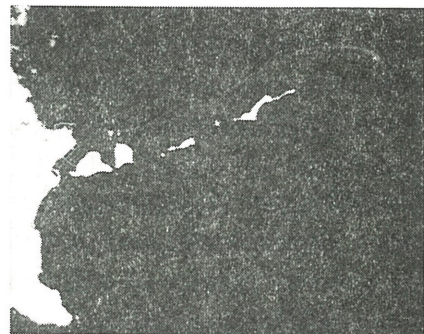
2a 久米島東海岸 TM バンド1



2b 久米島東海岸 TM バンド2



2c 久米島東海岸 TM バンド3



2d 久米島東海岸 TM バンド4

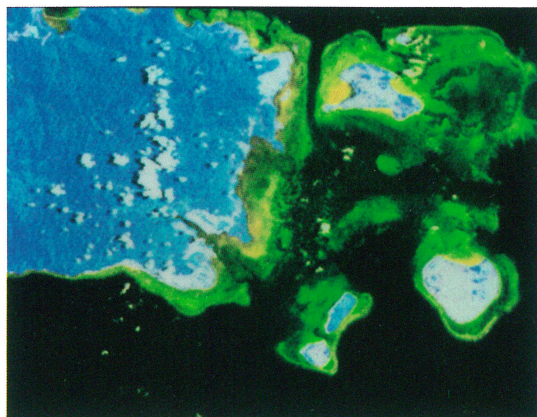


写真4 西表島東部～黒島MSS合成画像
(R,G,B)に(5,4,6)を割り当てた

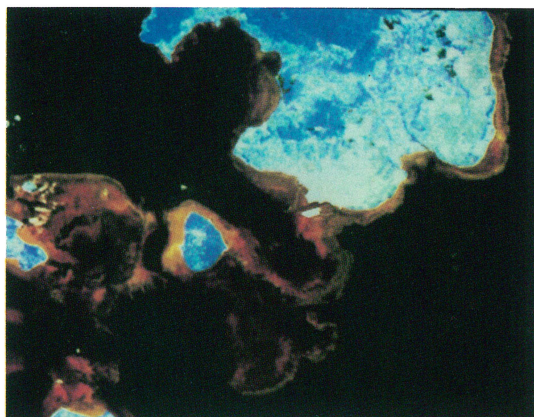


写真5 石垣島南部～竹富島MSS合成画像
(R,G,B)に(4,5,6)を割り当てた

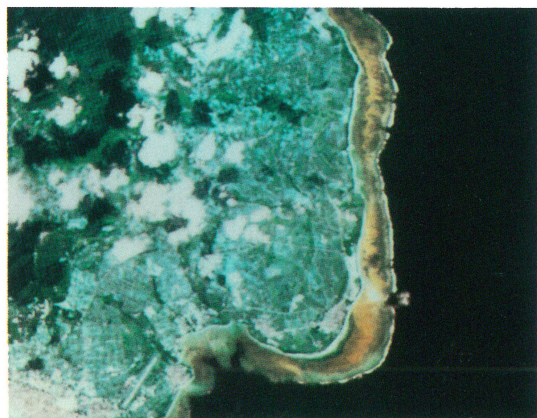


写真6 石垣島南東部TM合成画像
(R,G,B)に(1,2,3)を割り当てた



写真7 石垣島南東部TM合成画像
(R,G,B)に(3,2,1)を割り当てた

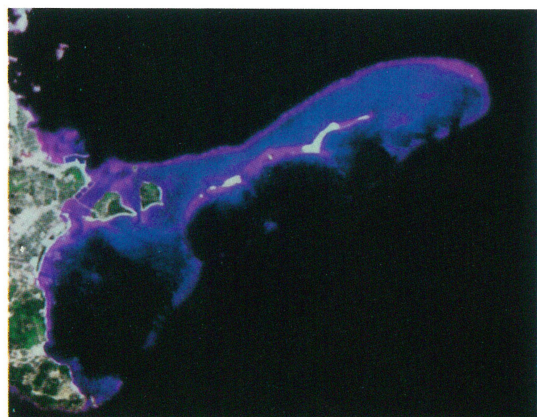


写真8 久米島東部TM合成画像
(R,G,B)に(3,5,2)を割り当てた

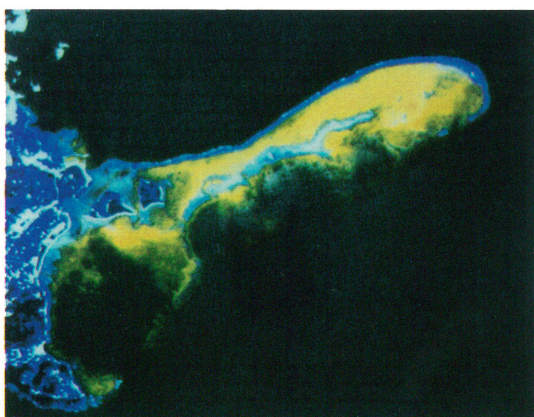
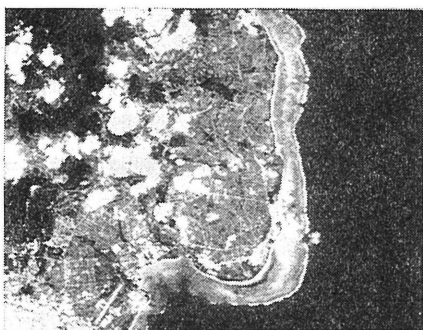


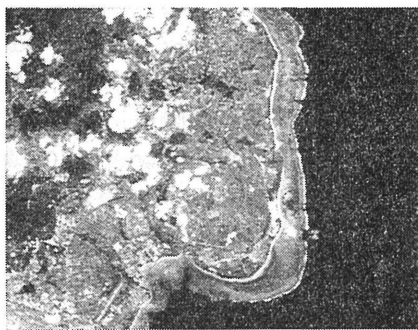
写真9 久米島東部のHSV-RGB変換画像
(R,G,B)に(TM2(S), TM2(S), TM1(H))
を割り当てた2チャンネルカラー合成画像

① バンド1 (波長 $0.45\sim0.52\mu\text{m}$) 写真2a, 写真3a

MSS のバンド4よりさらに短い波長域の画像である。このバンドで得られる浅海底の情報は、ランドサットで得られるデータのなかではいちばん多く、MSS データに比べ水域での情報量が増加している。しかし、久米島の画像(写真2a)では、サンゴ洲島と周辺(図3)の水深2~3mの礁池の部分が白一色で表され浅海域の情報がまったく判読できない。これは、サンゴ洲島や礁池底全域がいわゆる「サンゴ砂」と呼ばれる生物起源の白色の碎屑物で被われており、陸域(洲



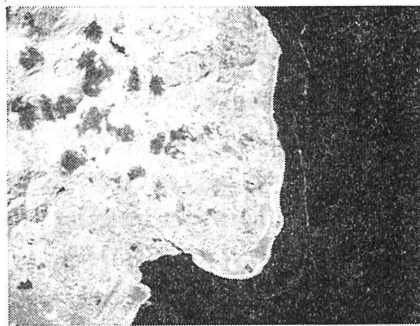
3a 石垣島南東部 TM バンド1



3b 石垣島南東部 TM バンド2



3c 石垣島南東部 TM バンド3



3d 石垣島南東部 TM バンド4

島)と浅海底の反射が大きいからである。一方、石垣島南東部の画像(写真3a)では、海岸線から1km程の幅で広がる礁池(図2)の様子が、何段階もの濃淡で表現されサンゴ礁域での情報量が多い。礁池内の白色の部分は、久米島と同様に礁池底の砂床である。また、礁嶺とその外側の碎波帯が白く表されている。

② バンド2 (波長 $0.52\sim0.60\mu\text{m}$) 写真2b, 写真3b

MSS バンド4に相当する波長域である。久米島の画像(写真2b)では、浅海底の情報は読み取れない。しかし、石垣島の画像(写真3b)ではバンド1に比べ全体に浅海域での輝度が下がるが情報量は豊富である。

③ バンド3 (波長 $0.63\sim0.69\mu\text{m}$) 写真2c, 写真3c

MSS バンド5に相当する波長域である。久米島の画像(写真2c)では、本来

なら水中の情報が減ってしまうこのバンドではじめて、浅海域の情報が判読できるようになる。この画像では、サンゴ洲島の輪郭は不鮮明であるがその東側の礁池底にみられるジャイアントリップル（砂浪地形；図2参照）などが判読できる。しかし、サンゴ洲島の南側ではバンド1, 2でみられた浅海域の不定形な模様（複数の離礁などがつくるパターンと思われる）が読み取れない。

一方、石垣島の画像（写真3c）では礁池底の情報はバンド1, 2に比べ少なくなるが砂浜と礁池、砂床と礁原の境界線などは明瞭である。

④ バンド4（波長0.76～0.90 μ m）写真2d, 写真3d

MSSのバンド6, 7に対応する近赤外域の波長である。陸域と海域など、輝度の違いが大きいものの境界が明瞭である。久米島の画像（写真2d）では、サンゴ洲島と周辺の礁池底がはっきり区別できる。しかし、海域の情報はほとんど得られなくなる。石垣島の画像（写真3d）でも、このバンドで得られるサンゴ礁の情報は、離水した礁嶺の分布だけである。

⑤ バンド5（波長1.55～1.75 μ m）

⑥ バンド7（波長2.08～2.35 μ m）

バンド5と7は中間赤外域の波長である。サンゴ礁の情報はまったく得られない（画像写真は省略した）。

⑦ バンド6（波長10.4～12.5 μ m）

遠赤外域の波長である。地表の熱分布を観測する目的で開発されたセンサーで、サンゴ礁の情報は画像上で認められない（画像写真は省略した）。

琉球列島でみられるサンゴ礁は、石垣島の例で示した裾礁タイプのサンゴ礁が多い。このようなサンゴ礁では、バンド1, 2で浅海底の情報が豊富に得られる。一方、サンゴ砂で被われた浅く広い礁池がある久米島東部では、バンド1, 2では浅海底での反射が大きくサンゴ礁地形の判読はむしろ不適当である。

このようにサンゴ砂などDN値（後述）が大きいものが広い範囲を占める場合や、反射特性が大きく異なるサンゴ礁地形が混在している時は、TMバンドのうちの1バンドだけでこれらを同時に表現することはできない。

Ⅲ-2. サンゴ礁地形のDN値

画像上でみられるサンゴ礁地形に関してDN値(Digital Number)を比較した。磁気テープやフロッピーディスクに記録されたDN値は、対象物の反射率をそのまま表しているわけではない。したがってDN値が何を表しているかが、しばしば問題になる。DN値は、同じ対象物であっても、大気の状態、季節や太陽高度などによって変化する。したがってサンゴの礁様々な地形のDN値そのものを議論することはほとんど意味が無い。物体の識別のためには現地で反射率を測定し、DN値を反射率へ変換する方法を示したほうがよい。今後、ランドサットの観測と同期したシートゥルースを予定しているので、本節では画像合成に使用したデータから石垣島南東海岸を例に、サンゴ礁を構成する様々な地形のDN値の相対

表2 石垣島南東海岸におけるサンゴ礁の TM デジタル値

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
礁嶺 ¹⁾	67・74・80	25・33・38	21・28・35	8・12・18	2・4・7	0・2・5
前方礁原 ²⁾	71・78・84	27・33・40	18・27・35	6・8・16	3・4・5	1・2・5
礁原 ³⁾	69・75・89	26・29・35	16・21・28	6・7・8	2・4・6	0・2・5
礁池 ⁴⁾	86・93・105	32・40・50	16・24・38	6・7・9	3・4・6	1・2・4
後方礁原 ⁵⁾	63・73・85	25・31・39	18・24・33	6・8・10	4・6・10	1・3・4
海浜 ⁶⁾	68・103・153	27・55・88	23・68・117	7・84・117	5・85・146	3・32・117

1)～6)は、各々の地形の表面を構成するものを示す

1)礁岩 2)礁岩・生サンゴ・藻(ホンダワラなど) 3)生サンゴ 4)砂 5)藻(アマモ、スガモなど)・礁岩 6)砂 使用した TM データは表1の⑨である。表中の数字は、最小値・平均値・最大値(測定数は各々20)を示す

的な比較を示すにとどめる(表2)。

一般に波長の短い TM1～TM3 の領域で、各地形の DN 値は互いに離れた値をとる。したがって、例えばこの海域でオリジナルなデータを用いてカラー合成画像を作成する時、色を割り当てる3つのバンドのうち少なくとも1つのバンドに TM1～TM3 のいずれかを割り当てれば画像上でサンゴ礁地形を区別できる可能性が高いことになる。

IV カラー合成と画像評価の方法

IV-1. カラー合成の方法

ランドサットは、地表で反射した太陽光の可視域から近外赤域までを複数の光の波長域に分けて観測する。この結果、MSSでは4チャンネル(4波長域;バンド4, 5, 6, 7)4種類(写真1a～b), TMでは7チャンネル(バンド1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)7種類の画像が得られる(写真2a～d, 3a～d)。人の視覚は、光の3原色(赤・緑・青)とそれらを組み合わせたものを感知できる。ランドサットのカラー画像は、4つまたは7つのバンドのなかから3つを選び、3原色を組み合わせる1種類の合成画像をつくる。すなわち、3チャンネルの情報を1種類の画像で表現している。したがって、画像作成の過程で組合せを変えれば、色調の異なる複数の画像を作成することができる。

今回は、表1に示したデータから、1シーンあたり3バンドデータを使ったカラー画像を作成した。画像の作成は写真処理によらず、パソコンにフルカラーフレームボード(1677万色)を付け、ディスプレイに表示させた。画像の評価は、ディスプレイ上の画像とフィルムレコーダーに出力させたプリント画像を比較しながらおこなった。また、デジタルデータをディスプレイ上に画像として表現する際には、データ値の頻度分布の5%～95%までを8等分し各領域の閾値間にカラーコードを割り当てる方法をとった。これら、一連の画像解析は沢潟電子製の画像解析ソフト(OM-SAT)を使用した。

カラー合成の仕方、組合せは三輪ほか(1986)と基本的に同じである。カラー合成に使用したバンドと3原色の割り当ては表4, 5のようにし、1シーンあたり

MSS データで24種類、TM データで60種類の画像を作成した。また、TM データでは、後に示すようにオリジナルデータを HSI—RGB 変換したデータを作成し、これを使ったカラー合成画像を作成した。

これらの方法で作成した画像をもとに、カラー合成画像を作成する際の問題を検討した。また、カラー合成画像を作成するための3バンドの選択と3原色の割り当てによってできるすべての画像を視覚的に検討し、サンゴ礁地形分類に適した組合せを選択した。

次節以降、MSS 画像の例として表1、図1の⑧：西表島東部～黒島、TM 画像として②：久米島東海岸、⑨：石垣島南東部を例にカラー合成画像の作成について述べる。いずれの画像もサンゴ礁地形を構成する様々なタイプのサンゴ礁が含まれている。

IV－2 MSS データによるカラー合成画像

MSS バンド4,5,6,7 の4バンドの中から3種類のバンドを選ぶと(4,5,6), (4,5,7), (4,6,7), (5,6,7)の4種類になる。また、赤(R), 緑(B), 青(G)の3原色の割り当て方は、a:(R,B,G), b:(R,G,B), c:(B,G,R), d:(B,R,G), e:(G,R,B), f:(G,B,R)の6通りがあるから、1シーン当り24種類のカラー合成画像が作成できる。これら3種類のバンドと3原色の割り当て方を、(R,G,B,)の順にあわせて配列しなすと表4のようになる。

IV－3 TM データによるカラー合成画像

TM データでは、a:TM の5つのバンド(バンド1～5)と3原色を組み合わせる方法(オリジナルデータを使う方法)、b:TM のバンド1, 2, 3をHSV 変換し強調処理したデータを用いて3原色と組み合わせる方法(後述)という2つの方法でカラー合成画像を作成した。

a：オリジナルデータを使う方法

TM の7バンドの中からサンゴ礁の情報を含む5バンド(バンド1～5)を選び、このなかから3種類のバンドを選ぶと表3の10種類になる。バンド4, 5は、Ⅲ－2で述べたようにサンゴ礁の情報をほとんど持っていないが、このバンドを緑色に組み合わせると陸域の植生が緑で表示され、視覚的な効果が大きいため使

表3 TM デー5バンドの組合せ方

グループ	バンドの組合せ		
1	(123)	(124)	(125)
2	(134)	(135)	
3	(145)		
4	(234)	(235)	
5	(245)		
6	(345)		

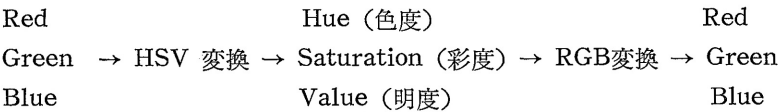
用した。
また、赤(R), 緑(B), 青(G)の3原色の割り当て方は、a:(R,B,G), b:(R,G,B), c:(B,G,R), d:(B,R,G), e:(G,R,B), f:(G,B,R)の6通りがあるから、1シーン当り60種類のカラー合成画像が作成できる。これらの組合せを(R,G,B)の順に並び変えて

一二五

整理すると表 5 のようになる。

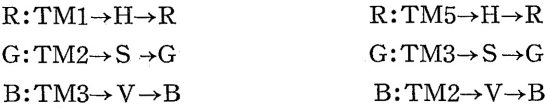
b: RGB—HSV 変換データを使う方法

カラーモニターに表示される色は、人間には直感的に分かりにくい RGB という指定方法で表示される。人間向きの色相、彩度、明度と RGB 間の相互変換をおこなうソフトウェアインターフェイスが HSI カラーモデルと呼ばれる 3 種類 (HSI, HSV, HSL モデル) のカラーモデルである (福江ほか1986, 吉村ほか1989)。これら 3 モデルのうち、一般には HSV モデルが使いやすいといわれている。この方法は、RGB—HSV 変換によって HSV (H:色相, S:彩度, V:明度) を求め、この値に強調処理を施した後、再び HSV—RGB 変換によってカラー画像に戻すという 2 つの変換から成り立っている。この過程を示す次のようになる。



HSV 変換は明暗、濃淡などの微妙な調整をおこないたいときに使うと効果がある。例えば RGB—HSV 変換後、V を 2 倍に強調し HSV—RGB 変換すると明るさが 2 倍に強調された画像になる。今回の実験では、TM1, 2, 3 と TM2, 3, 5 バンドを使って RGB—HSV 変換を試みた。

実験で使用したシステムではこの変換に長時間の計算を要し時間的制約が大きい。そこで HSV 変換画像作成の目的を、久米島東部海岸で洲島と洲島がのる中央列サンゴ礁の平面形を明らかにすることにおき、彩度に対する処理を考えた。そして次の 2 つの組合せで RGB—HSV 変換をおこなった。



変換の結果、オリジナルデータにくらべ彩度が強調されることがわかったので (後述 V—2), このデータを使ってカラー合成画像を作成した。

V 結果

V—1. サンゴ礁地形の判読に適する MSS カラー合成画像

MSS データでは IV—2 で述べたように 1 シーン当り 24 種類のカラー合成画像を作成し、7 シーンで合計 168 枚の画像を作成した。組合せと結果は表 4 に示した。

合成画像では海域とサンゴ礁の色は、赤、青、緑系のいずれかの色をとる。この色は、3 バンドのなかでより短波長の 2 つのバンドに割り当てた色で決まる。久米島以外のシーンでは、(R,G,B) の G (緑) にバンド 4 また 5 を割り当てたものの判読結果が良好であった。写真 4 では、サンゴ礁が黄緑～黄色で示されているが (R,G,B) にバンド 5, 4, 6 を割り当てた結果である。(R,G,B) にバンド 4,

一
二
四

5, 6 を割り当てるとサンゴ礁は赤系統の色になる (写真 5)。サンゴ礁の判読には、バンド 4 と 5 が有効なので (前述 III-1) バンド 6 の代わりにバンド 7 を割り当てても判読結果は大差ない。また、このことから表では示していないが例えば (R,G,B) にバンド 5, 4, 4 を割り当てた 2 バンド フォールスカラー (三輪ほか 1988b) でもサンゴ礁地形の判読は良好であった。

海域やサンゴ礁を、青色系統で示すと人間の感覚的習慣になじむ。このことを考慮すれば (R,G,B) にバンド 5, 6, 4 や 6, 5, 4 を割り当てれば良いことになる。しかし、このようにして海域、サンゴ礁を青系統で表示しても久米島以外では判読結果は良くない (表 4)。これは、ディスプレイ上で濃い青は一般に暗く表示され、サンゴ礁の判読がしにくくなるからである。B (青) に割り当てるバンドは、短波長域のバンド 4 や 5 より、長波長域のバンド 6 や 7 の方が判読結果は良好になる。

表 4 MSS カラー合成画像でサンゴ礁地形判読に有効な組合せ

(R, G, B)	(R, G, B)	(R, G, B)	(R, G, B)	(R, G, B)	(R, G, B)
(4, 5, 6)	(4, 5, 7)	(4, 6, 7)	(4, 6, 5)	(4, 7, 5)	(4, 7, 6)
(5, 4, 6)	(5, 4, 7)	(5, 6, 4)	(5, 6, 7)	(5, 7, 4)	(5, 7, 6)
(6, 4, 5)	(6, 4, 7)	(6, 5, 4)	(6, 5, 7)	(6, 7, 4)	(6, 7, 5)
(7, 4, 5)	(7, 4, 6)	(7, 5, 4)	(7, 5, 6)	(7, 6, 4)	(7, 6, 5)

網部：2 シーン以上の地域でサンゴ礁地形の判読に適すると判断した組合せ

下線：久米島のハテナハマ洲島周辺の礁池と砂床の分布・形状の判読に適する組合せ

ところで、表 4 の結果では久米島とそれ以外のシーンでサンゴ礁地形の判読に適する組合せに相違がみられる。久米島以外のシーンでみられるサンゴ礁地形の多くは裾礁タイプのサンゴ礁であることから、裾礁と洲島ではサンゴ礁地形の判読に適する組合せが異なることがわかる。

洲島と周辺の礁池 (水深 2 ~ 3 m) の判読に適する組合せは、(R,G,B) の B (青) にバンド 4 を割り当てたものである。このように割り当てると、洲島は白、洲島周辺の礁池は水色 ~ 淡い青のグラデーションで表示される。これは、礁池底や洲島周辺の水深の変化に対応する色の変化で、感覚的習慣に適う画像となる。洲島周辺の底質は、DN 値の高いサンゴ砂である。このため水域の情報を豊富に持つ短波長領域のバンド 4 を R (赤) に割り当てると、礁池全体が濃い赤系統の色で表示される。地形判読結果に違いは生じないが、海域がこの色で表示されると人間の感覚にそぐわないという心理的な影響で前者より評価が下がる。

また、礁池では DN 値が大きい部分が広いので、バンド 4 ではこの値に影響されて浅海底の細かい水深の変化に対応したパターンが表現されない (TM データによる写真 2a と同様)。本来水域の情報に乏しいはずの長波長域のバンド 6 や 7 は、深い部分の情報が無いかわりに浅い部分の情報を持っているので、DN 値のこの部分を細分し色相の大きい赤を割り当てると礁池の判読に適する画像が得られる。

二二三

MSS データで判読できるサンゴ礁地形の水深限界を、石西礁湖周辺の海図と比較して求めると水深 5 m 程度である。

V-2. サンゴ礁地形の判読に適する TM カラー合成画像

a: オリジナルデータを使う方法

石垣島南東部と久米島東海岸の TM データを使用した。海域とサンゴ礁の色は、赤、青、緑系のいずれかの色をとる。この色は、MSS データと同様に 3 バンドのなかでより短波長の 2 つのバンドに割り当てた色で決まる。

石垣島南東部では、60 組の組合せのうちサンゴ礁地形の判読に適し人間の感覚的習慣に適う組合せは非常に少ない。表 5 に判読に適する 5 つの組合せを示した。サンゴ礁の色は、(R,G,B) に割り当てたバンドが (1, 2, 3), (1, 2, 4), (1, 2, 5) の時、オレンジ色～黄土色になる (写真 6)。また、(3, 2, 1), (4, 2, 1) の時は薄い青～水色になるが (写真 7) コントラストにとぼしく、前 3 者の割り当ての方が地形の判読に向いている。

表 5 TM カラー合成画像でサンゴ礁地形判読に有効な組合せ

(R, G, B)	(R, G, B)	(R, G, B)	(R, G, B)	(R, G, B)
(1, 3, 2)	(1, 4, 2)	(1, 5, 2)	(1, 4, 3)	(1, 5, 3)
(1, 5, 4)	(2, 4, 3)	(2, 5, 3)	(2, 5, 4)	(3, 5, 4)
(1, 2, 3)	(1, 2, 4)	(1, 2, 5)	(1, 3, 4)	(1, 3, 5)
(1, 4, 5)	(2, 3, 4)	(2, 3, 5)	(2, 4, 5)	(3, 4, 5)
(3, 2, 1)	(4, 2, 1)	(5, 2, 1)	(4, 3, 1)	(5, 3, 1)
(5, 4, 1)	(4, 3, 2)	(5, 3, 2)	(5, 4, 2)	(5, 4, 3)
(2, 3, 1)	(2, 4, 1)	(2, 5, 1)	(3, 4, 1)	(3, 5, 1)
(4, 5, 1)	(3, 4, 2)	(3, 5, 2)	(4, 5, 2)	(4, 5, 3)
(2, 1, 3)	(2, 1, 4)	(2, 1, 5)	(3, 1, 4)	(3, 1, 5)
(4, 1, 5)	(3, 2, 4)	(3, 2, 5)	(4, 2, 5)	(4, 3, 5)
(3, 1, 2)	(4, 1, 2)	(5, 1, 2)	(4, 1, 3)	(5, 1, 3)
(5, 1, 4)	(4, 2, 3)	(5, 2, 3)	(5, 2, 4)	(5, 3, 4)

網部：石垣島南東海岸のサンゴ礁地形の判読に適する組合せ

下線：久米島東海岸のサンゴ礁地形の判読に適する組合せ (ただし、様々なサンゴ礁地形を同時にあらわすことができるものは (3, 5, 2) の一例だけである。本文参照)

地形の判読には、短波長のバンド 1, 2, 3 が有効である。したがって表 5 の (1, 2, 4) や (1, 2, 5) の組合せでは、長波長側のバンド 4 や 5 は地形判読には貢献していない。バンド 3 はバンド 1, 2 にくらべ情報が少ないが、より浅いサンゴ礁の海域の判読に貢献している。

久米島東部のサンゴ礁では、様々なタイプのサンゴ礁地形がみられ、水深、DN 値がそれぞれ異なっている。これらすべてを同一の画像上であらわす組合せは (R,G,B) にバンド (3, 5, 2) を割り当てた場合だけである (写真 8)。ただし、この場合でも南列の沈水した離礁などはほとんど表現されない。

表5（下線部）には礁池底の砂の分布状態、サンゴ洲島の平面形、隆起サンゴ礁、沈水したサンゴ礁の分布などを別々に判読するためのバンド、色の組合せもあわせて示した。これらに関して簡単に説明する。

サンゴ洲島の平面形を判別したい場合は(R,G,B)にバンド(4, 2, 1), (5, 2, 1), (4, 3, 1), (5, 3, 1)を割り当てると良い。洲島の輪郭、平面形は長波長域のバンドによく表現されている(写真2a)のでこのバンドを赤(R)に割り当てると判読結果は良好になる。ただし、これらを青(B)に割り当てると洲島は周辺の中央列サンゴ礁と判別できなくなり判読結果は不良となる。同様に中央列サンゴ礁、沈水している南列サンゴ礁などの判読を検討し、色とバンドの組合せに関しては次のようにまとめられることがわかった。

礁池底の砂の分布と中央列の平面形など、水深1～2 m位までの地形判読を目的とする場合、バンド3を赤(R)に割り当てると判読結果がよい。南列の離礁の分布などある程度の水深を持つ部分の判読には、バンド1や2の短波長領域のバンドに赤を割り当てる。しかし、この時はバンド1, 2で得られる礁池底の砂の分布など、浅い部分の情報は犠牲になる。

いずれにしても、目的とする地形の判別に適するバンドを単バンド画像から選択し、このバンドに赤(R)を割り当てることで他の地形から独立して画像上に表現できる。

TM データで判読できるサンゴ礁地形の水深限界を久米島東部の海図と比較して求めると、水深5～7 m程度と思われる。

b : RCB—HSV 変換データを使う方法

写真9は、変換後に得られた画像である。写真8と比較すると、彩度が強調され南列の沈水したサンゴ礁の判読に効果があることがわかる。また、この画像では、中央列サンゴ礁の平面形や洲島の輪郭が鮮明である。また、島尻湾内の離礁の分布や水深の変化に対応すると思われる変化も鮮明になった。しかし、裾礁タイプの石垣島南東部の画像では変換の効果はほとんど認められなかった。

TM オリジナルデータだけを使う方法では、DN 値や水深の異なるものどうしの地形的な特徴を同一の画像で表示しにくかった。しかし、変換後の画像ではこれらの表現がより適切におこなえる可能性が示された。

VI まとめ

二 ランドサット MSS, TM データを使いパソコン(1677万色表示)のディスプレイ上にカラー合成画像を作成し、バンドと割り当てる色の組合せ実験をおこなった。この結果は次のようにまとめることができる。

MSS 画像ではバンド4, 5がサンゴ礁域の情報を豊富にもっている。一方TM 画像ではバンド1と2にサンゴ礁の情報が多。バンドと色の組合せ実験では、MSS データで7シーン、TM データで2シーンを取り上げ、MSS で1シーン

あたり24種類、TMで60種類の画像を作成した。

画像上のサンゴ礁と海域の色は、組み合わせる3バンドのうち短波長の2つのバンドに割り当てた色で決まる。MSSデータでは、(R,C,B)のG(緑)にバンド4 また5を割り当てた画像が判読に適する。この時、サンゴ礁や海域は緑色系になる。またTMデータでは、3バンドのなかのより短波長の2バンドを(R,G,B)の(R,G)に割り当てるとサンゴ礁や海域はオレンジ色～黄土色に、(G,R)に割り当てると青～水色になる。人間の感覚的習慣では、海域が青色で表示された方が違和感が無い。しかし、サンゴ礁地形の判読にはコントラストのある前者の割り当ての方が優れている。

久米島東海岸には、サンゴ洲島をはじめ様々なタイプのサンゴ礁地形がみられ、分布する水深、DN 値の範囲が広い。TM データでこれらすべてを同一の画像上であわす組合せは(R,G,B)にバンド(3, 5, 2)を割り当てた場合だけである。ただし、この場合でも南列の沈水した離礁などはほとんど表現されない。

このようなサンゴ礁では、目的とする地形の判別に適するバンドを単バンド画像から選択し、このバンドに赤(R)を割り当ててことで他の地形から独立して画像上に表現できる。

RGB—HSV 変換をした TM データでは、彩度が強調され DN 値や水深の異なるものどうしの画像表示がより適切におこなえる可能性が示された。

本研究は平成2年度、文部省科学研究費重点領域研究「近代化と環境変化」、03 班関係；「サンゴ礁環境のデータベース化と時空間分析」(研究代表者：目崎茂和 三重大学教授、課題番号02243105)の成果の一部である。

VII 文献

菅井由理子(1990)：リモートセンシングによるサンゴ礁に関する情報の解析。

東北大学理学部地質学古生物学教室卒業論文。61p.

長谷川均(1988)：ランドサット・MSS データによるサンゴ礁の画像解析。

日本地理学会予稿集, 33, 64～65.

長谷川均(1989)：サンゴ礁地形の判読に適するランドサットカラー合成画像の作成。サンゴ礁研究会第1回研究集会講演要旨集。

長谷川均(1990a)：カラ岳東海域のサンゴ礁地形，目崎茂和・長谷川均『石垣島サンゴ礁の全ぼう明らかに』。野生生物，1990年 No.6—7, 1～9. に所収

長谷川均(1990b)：サンゴ礁の白い島 サンゴ洲島とその地形変化。サンゴ礁地域研究グループ編『熱い自然 サンゴ礁の環境誌』。古今書院，372p.に所収

福江潔也・下田陽久・坂田俊文(1986)：各種 HSI カラーモデルの特性評価。

日本写真測量学会秋季学術講演会発表論文集。63～68.

三輪卓司・栗原荘太郎・旭 洋一・島 芳也・土屋 清(1986)：ランドサット TM データのカラー合成画像に関する検討。日本リモートセンシング学会

誌, Vol.6.275~296.

三輪卓司・植原茂次・池田 卓・旭 洋一(1988a) : ランドサットTMデータのカラー合成画像に関する検討. (Ⅱ) 判読におよぼすバンドの組合せと色の割当方の影響. 日本リモートセンシング学会誌, Vol.8.113~131.

三輪卓司・池田 卓・旭 洋一 (1988b) : ランドサットTMデータのカラー合成画像に関する検討. (Ⅲ) 2バンド合成画像の目視判読. 日本リモートセンシング学会誌, Vol.8.279~291。

目崎茂和・渡久地健・中村倫子 (1977) : 沖縄島のサンゴ礁地形. 琉球列島の地質学的研究, 2.139~149.

吉村充則・竹内章司・大嶋太市 (1989) : 複合 HSI 変換を用いた画像強調. 法政大学工学部研究集報, 第25号. 1~8.

Bour,W.(1988) : Spot images for coral reef mapping in New Caledonia. *Proceedings of 6th International Coral Reef Symposium*, Vol.2.445~448.

Claasen, D.van R. ed (1986) : The application of digital remote sensing techniques in coral reef, oceanographic and estuarine studies. *Unesco reports in marine science*. no. 42, Unesco, 151p.

Jupp, D.L.B., Mayo, K.K., Kuchler, D.A., Heggen, S. J., Kendall, S.W., Radke, B. M. and Ayling, T. (1985) : Landsat based interpretation of the Cairns section of the Great Barrier Reef Marine Park. *Csiro division of water and land resources series*. no. 4, Canberra, 51p.

Kuchler, D.A., Maguire, C., McKenna,a., Priest, R. and Mellor, J.R. (1986) : Coral reef survey method for verification of Landsat MSS image data. *ITC Jouenal*, 1986-3,217~223.

Loubersac, L., Dahl, A.L., Collotte, P., Lemaire,0., D'ozouville, L. and Grotte,a.(1988) : Impact assessment of cyclone Sally on the almost atoll of Aitutaki (Cook Island) by remote sensing. *Proceedings of the 6th International Coral Reef symposium*, Vol. 2,455-462.

Pirazzoli,P.A. (1985) : Bathmetric mapping of coral reef and atolls from satellite. *Proceedings of the 5th International Coral Reef Congress*, Vol. 4,539~544.

二 Quinn, N. J., Dalzell,P., and Kojis, B.L. (1985) : Landsat as a manage-
九 ment tool for mapping shallow water habitats in Papua New Guinea.

Proceedings of the 5th International Coral Reef Congress, Vol.1, 545~550.

(本学専任講師・地理学)