

(3) 衛星画像によるサンゴのリモートセンシング調査

広い海域を対象としてサンゴの白化・死滅の状況やそのプロセスを理解するためには、ミクロからマクロまでの総観的な観測を行なうことが重要と考えられる。例えばダイバーによる潜水調査によってサンゴ礁海域の全域に関する全調査を行うには、時間とコストがかかり過ぎる。このため、サンゴ礁海域の全域に関するマクロ的視点からの観測が求められており、最も大きな広い視点としては衛星リモートセンシング技術の活用が適している。

近年、衛星画像による観測では、QuickBird や IKONOS などの高分解能衛星がサンゴ礁海域の観測にも広く利用され、大きな成果を上げている。このような成果を基に打ち上げられた WorldView-2 衛星が、2010 年 1 月からデータ提供を開始した。この衛星では、従来利用されていた可視から近赤外域の 4 つの観測チャンネルに加えて、Coastal バンドと呼ばれる 400-450nm 波長帯の観測チャンネルなどが加えられ、8 バンドでの観測機能を持つようになって、多チャンネル観測による新たな成果が期待されている。

このような背景の下、WorldView-2 衛星の画像情報を主として用いて浅海域の底質状況を判別することを目的とした解析手法の開発から解析の実施までを行った。多チャンネル情報が得られることを活用した多変量解析（クラスター分析）を実施し、GIS 情報の導入によって、位置情報や海図、等深線情報などとの重畳による多面的な利用手法の開発や検討、評価を行った。

① 高解像度衛星画像入手

入手した衛星画像の仕様を表に示す。QuickBird や IKONOS 衛星は、これまで陸上を対象としたリモートセンシング研究に広く一般的に利用されてきたが、陸上にとどまらず、サンゴ研究にも様々に利用された実績を持っている。これらの衛星に比較して、WorldView-2 衛星²⁵⁾²⁶⁾は新しい衛星であり、観測波長帯が増えていることに大きな特徴を持っている。新しい衛星であることを換言するならば、価格的に入手し易いアーカイブ画像としては蓄積が少ないことにデメリットもある。しかし、新たに採用された観測バンドとして Coastal バンドと呼ばれる短い波長帯の観測センサを持っていることは、水中のサンゴ研究においては有効な要素であると考えられ、また販促のためのデイスカウニングの実施など、価格的にも有利であったことから、本調査研究においては、これを解析対象として選択・採用した。

表 8 主な観測衛星と画像情報の仕様比較

衛星	QuickBird	IKONOS	WorldView-2
分解能	2.5 m	3.3 m	2.0 m
観測波長帯	B、G、R、NIR	B、G、R、NIR	B、G、R、Coastal、Yellow、RedEdge、NIR1、NIR2
運用	2001 年～	1999 年～	2009 年～
単価	3,400 円/km ²	6,000 円/km ²	5,800 円/km ²

注) 価格は標準仕様のアーカイブ画像を対象

取得した画像は、基本的に竹富島・石西礁湖海域を主対象としており、これはダイバー調査による観測、及び船舶搭載型蛍光ライダー装置による観測海域と一致している。

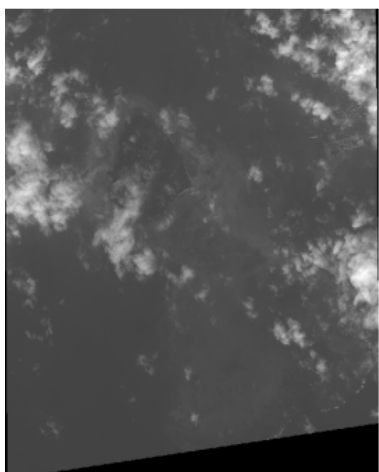
表 9 収集済み衛星観測画像情報の概要

観測衛星	観測日	海域情報	データ概要
QuickBird	2009.06.01	石西礁湖海域 (石垣島南西海域)	マルチスペクトル標準画像 Blue 450-520nm
QuickBird	2009.07.15	石西礁湖海域 (竹富島周辺海域)	Green 520-600nm Red 630-690nm NIR 760-900nm 地上分解能 約 2.4 m
IKONOS	2004.05.13	石西礁湖海域 (竹富島南東海域)	マルチスペクトル標準画像 Blue 445-516nm
IKONOS	2007.07.21	石西礁湖海域 (西表島東海域)	Green 506-595nm Red 632-698nm
IKONOS	2007.01.26	瀬底島海域	NIR 757-853nm 地上分解能 約 3.3 m
WorldView-2	2010.01.16	館山洲崎沖海域	マルチスペクトル標準画像 Coastal 400-450 nm
WorldView-2	2010.08.14	石西礁湖海域 (竹富島周辺海域)	Blue 450-510 nm Green 510-580 nm
WorldView-2	2010.10.02	石西礁湖海域 (竹富島周辺海域)	Yellow 585-625 nm Red 630-690 nm
WorldView-2	2011.01.23	石西礁湖海域 (竹富島周辺海域)	RedEdge 705-745 nm NIR1 770-895 nm
WorldView-2	2011.08.24	石西礁湖海域 (竹富島周辺海域)	NIR2 860-1,040 nm 地上分解能 約 2.0 m

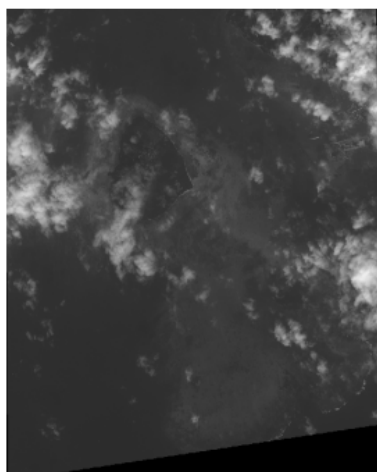
WorldView-2 衛星は、最新の観測センサを搭載した衛星であることから、QuickBird や IKONOS などの衛星にない新たな波長帯を含み、8 バンドによる多波長観測が実現されている。図に各波長の画像の状況を示す。これらの画像の撮影時期は、潜水調査及び船舶ライダー観測の実施時期や季節の条件を考慮して選択した。実際には、天候による雲量の条件により完全な一致を取ることは困難であったが、連携モニタリングの実現を考慮して選定し、ほぼ近い時期での画像を得ることができている。

画像処理²⁷⁾において解析対象とする画素とそれ以外を区別することは、特に多変量解析の手法を導入する場合、処理の精度や信頼度に大きく関わってくる問題である。これまでの知見により、WV2 衛星画像では、2つある近赤外バンドの値を手かがりとして、解析対象である海面部分とそれ以外である陸域を分離することが有効であると明らかになった。具体的には、2バンドの AND 処理によって植生のある陸域と無い海面部分を分離するマスク処理によって確実に分離できることが明らかとなっている。今回取得した冬期画像は雲量が多いことから、この雲部分について、その性状と処理方法を検討する。

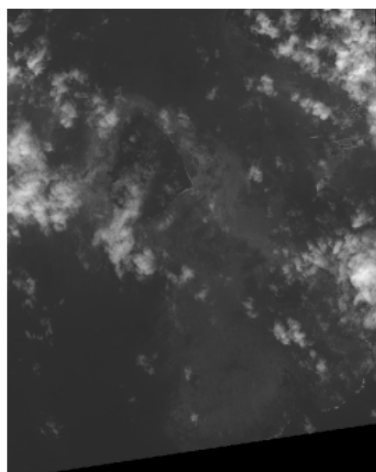
雲量の多い画像例として、冬期観測 (2011.01.23) 画像を分解し、図に波長帯毎の画像をそれぞれに示す。



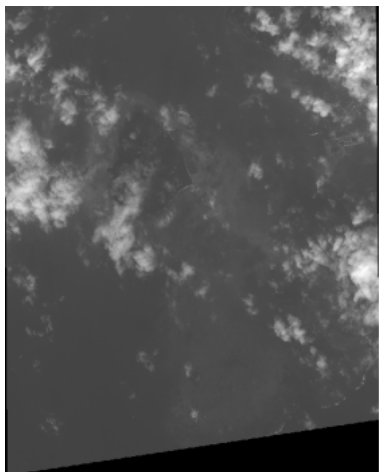
Band 1 画像



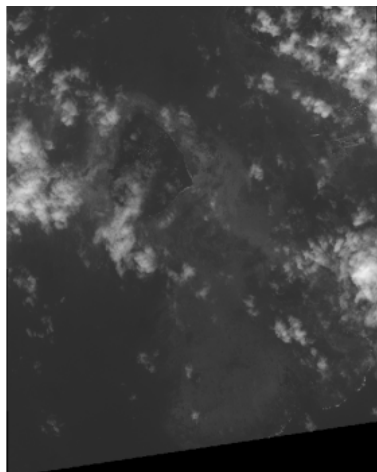
Band 2 画像



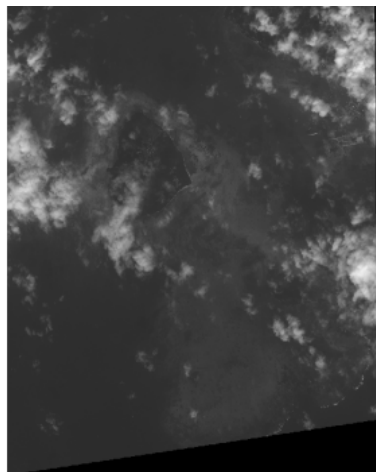
Band 3 画像



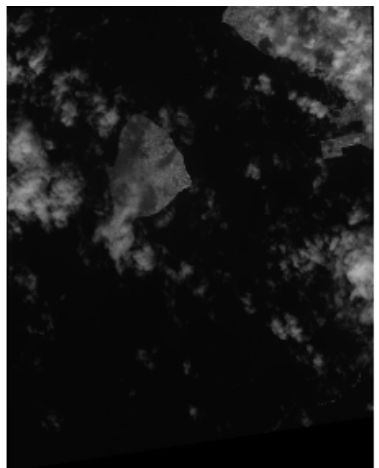
Band4 画像



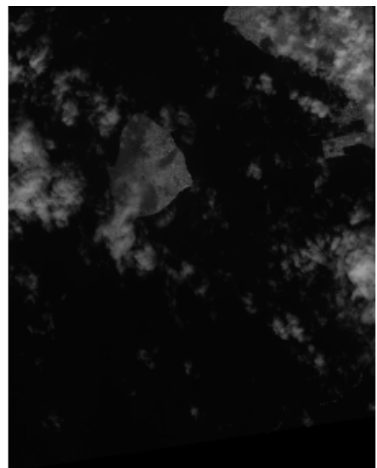
Band 5 画像



Band 6 画像



Band 7 画像



Band 8 画像

図 35 WV2 衛星画像のバンド別基本特性（雲量の多い冬期画像）

雲部分には、植生と海水の差異が近赤外波長に見られるような観測波長に強く依存した傾向は明らかではない。そこで、画像内の右端上の雲部分（100*100画素）に注目して、その輝度値（8ビット変換値）をRGB3バンド別にヒストグラムとして、図に示す。True Color画像上では白色から灰色系の反応となる。このようなバンド毎に雲が持つ条件を複数バンドでのAND処理として導入することによって、雲部分のマスク処理が可能になると考えられるが、海上の白波などを同等のものとして判別する可能性もある。

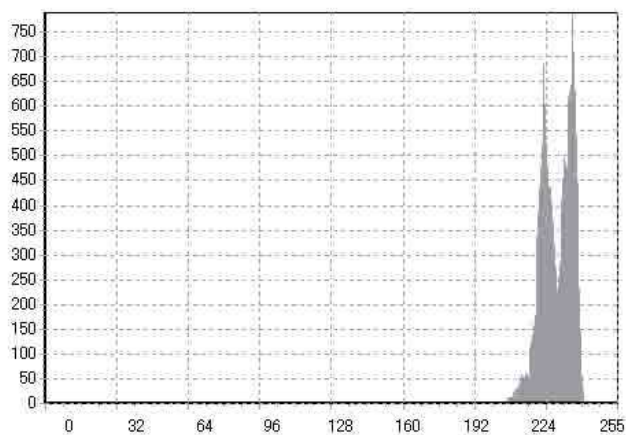


図 36 雲部分の輝度値の状況 (Band2 : Blue)

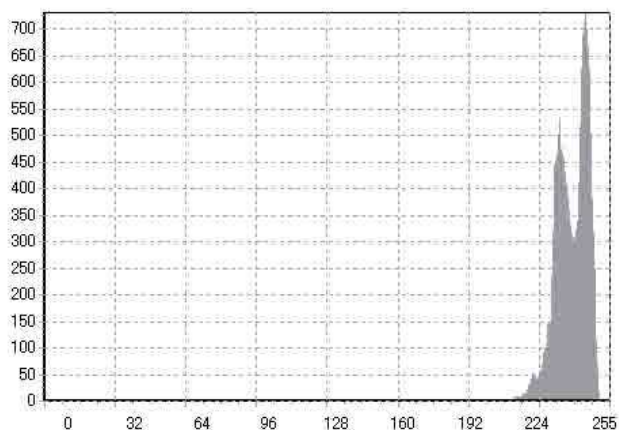


図 37 雲部分の輝度値の状況 (Band3 : Green)

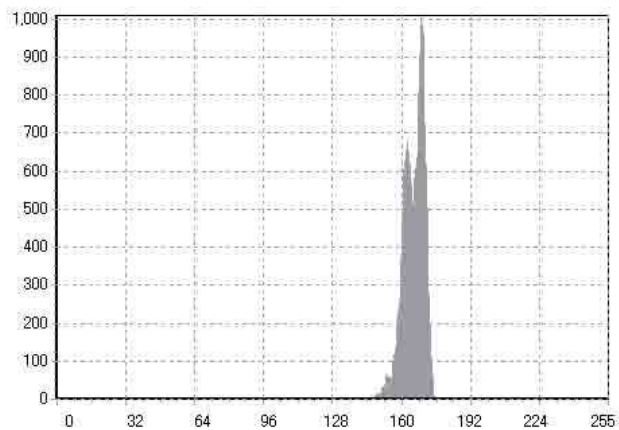


図 38 雲部分の輝度値の状況 (Band5 : Red)

②底質クラスター分類法

H23 年度において取得した衛星画像情報 2 件に加え、同海域を対象として観測された WorldView-2 衛星画像情報を用いて、ダイバー調査による観測及び船舶搭載型蛍光ライダー装置による観測海域と一致する竹富島北東沿岸海域を図に示す。この海域を解析対象として、多変量解析²⁸⁾であるクラスター分析²⁹⁾³⁰⁾によって底質の状況判別を実施した。



図 39 解析対象海域（竹富島北東沿岸海域）

対象海域画像の画像とクラスター分析の解析結果を図に示す。クラスター分析は、k-means 法により実施しており、8 チャンネルの 11 ビット情報を使用して求めたものである。

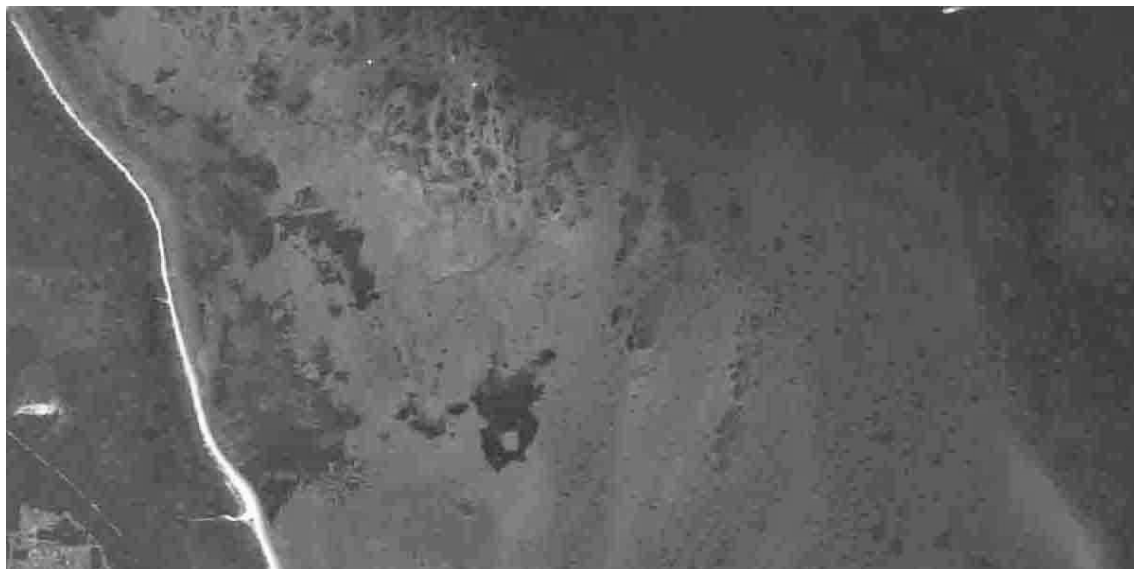


図 40 解析対象海域 (WorldView-2、2010.08.14 撮影)

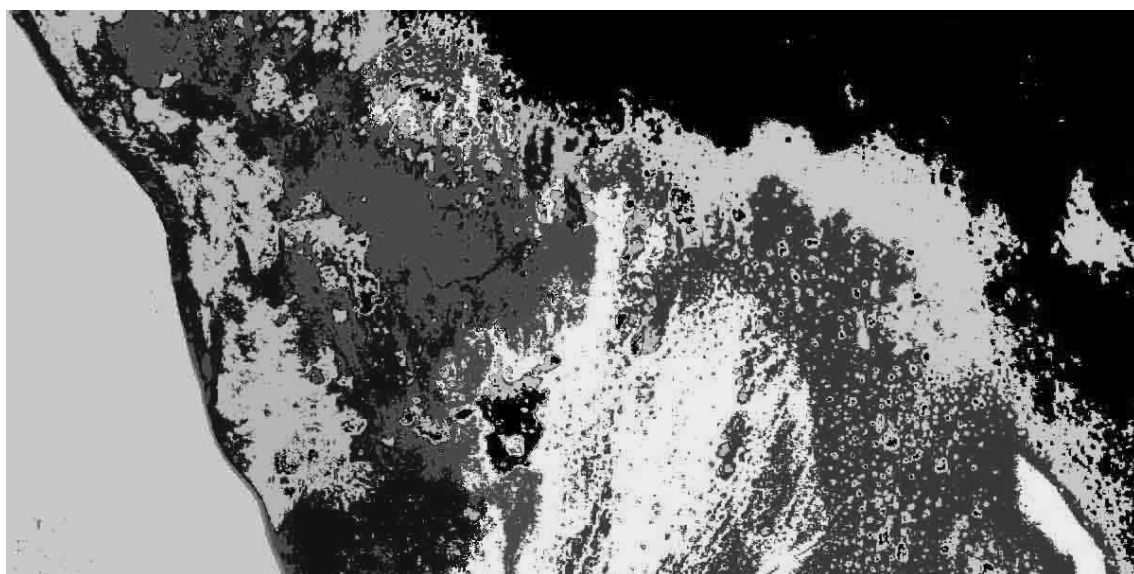


図 41 クラスター分析結果 (WorldView-2、2010.08.14 撮影画像)

2010.10.02 に撮影された WorldView-2 衛星画像とクラスター分析結果を図に示す。基本的な底質構成のパターンは上図で示された 2010.08.14 のクラスター分析結果と同様となっており、クラスター分析の安定性が確認できる。



図 42 解析対象海域 (WorldView-2、2010.10.02 撮影、True Color 画像)

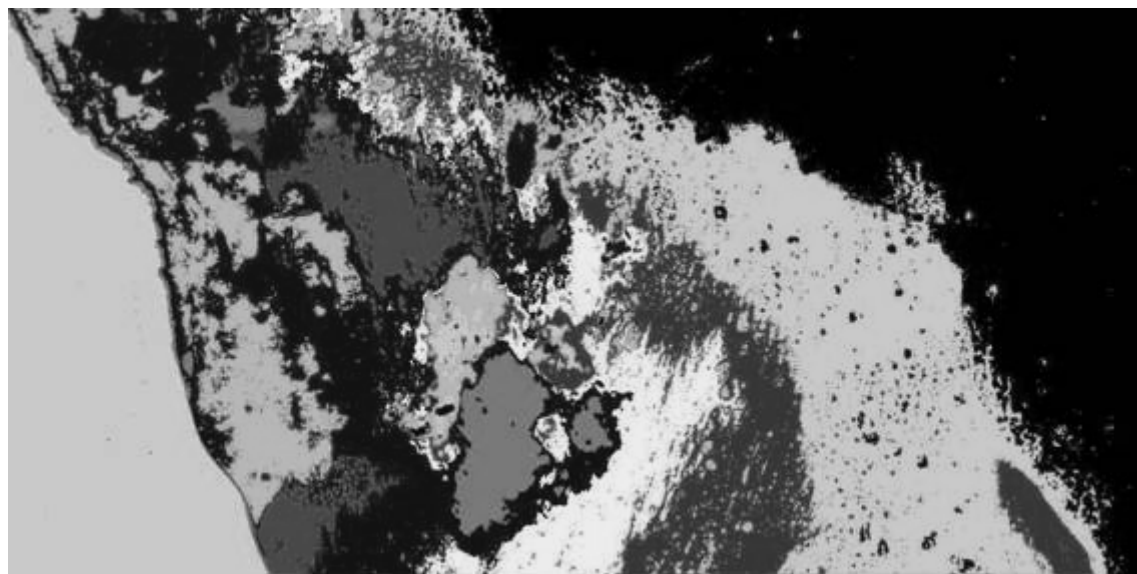


図 43 クラスタ分析結果 (WorldView-2、2010.10.02 撮影画像)

2011.01.23 に撮影された WorldView-2 衛星画像とクラスター分析結果を図に示す。これは冬期の画像であり、雲が多く存在する画像例となっている。基本的な底質構成のクラスター形成パターンはこれまでと大きな差異は現れていない。



図 44 解析対象海域（WorldView-2、2011.1.23 撮影、True Color 画像）

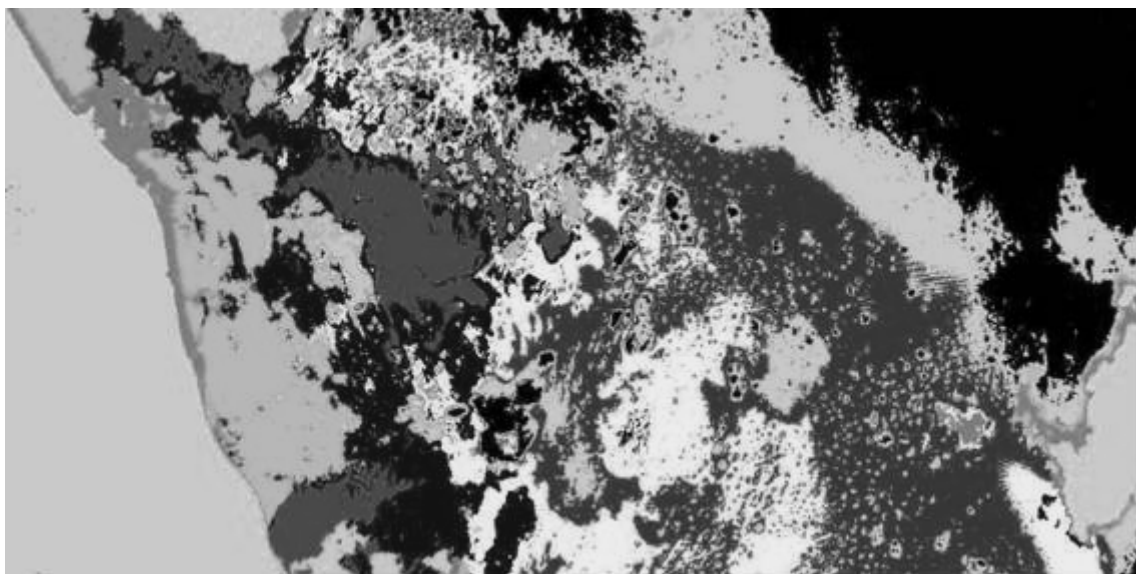


図 45 クラスター分析結果（WorldView-2、2011.1.23 撮影画像）

2011.08.24 に撮影された衛星画像とクラスター分析結果を示す。この衛星画像は、2010.08.14 に撮影された衛星画像からほぼ1年間の時間経過を持っている。

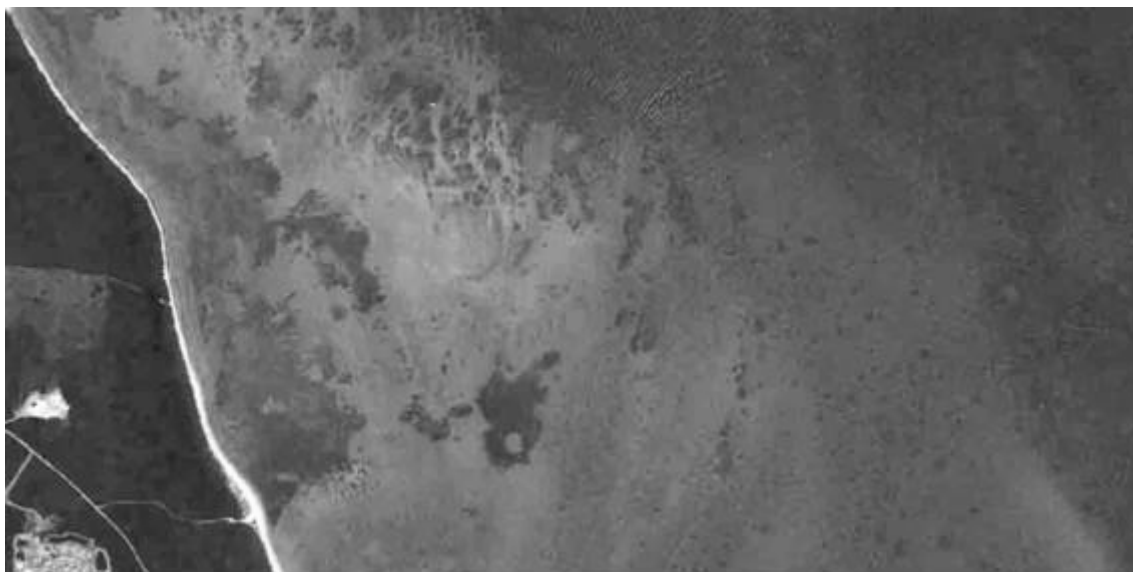


図 46 解析対象海域（WorldView-2、2011.08.24 撮影、True Color 画像）

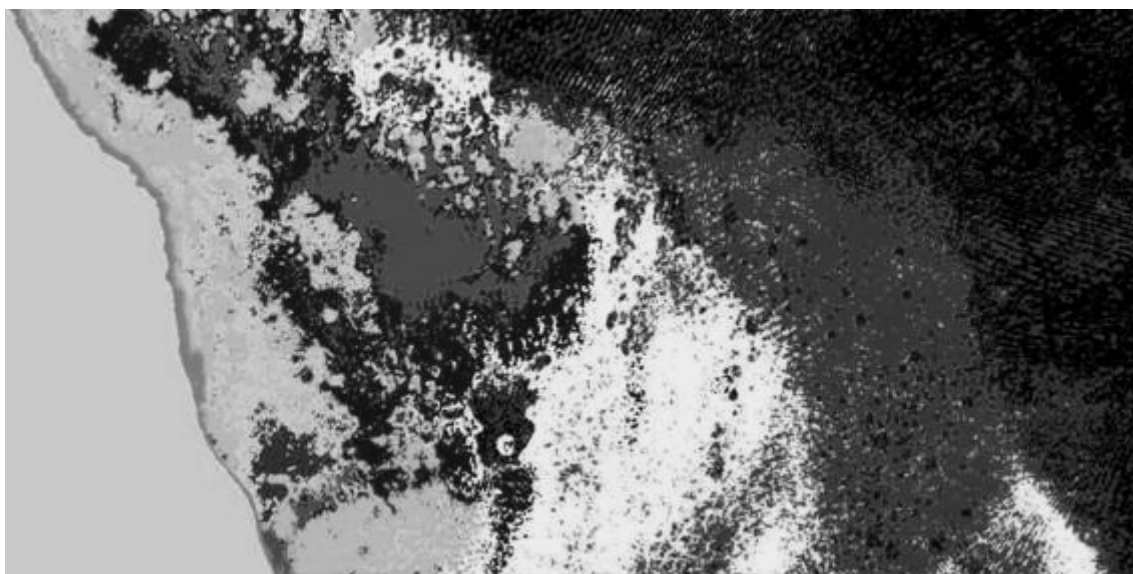


図 47 クラスター分析結果（WorldView-2、2011.08.24 撮影画像）

2010.8.14 と 2011.8.24 の2つの衛星画像のクラスター解析結果の変化を比較すると、2010年の衛星画像には見られていた海岸沿いの砂地底質海域から沖合への変化で現れていたクラスターが、2011年の衛星画像では、他のクラスターと一体化していることが確認される。原画像を詳細に検討すると沖合海域での波浪が大きく、白波も視認できることから、底質の変化の反映とは考え難い状況である。クラスター分析では、海水表面の状況や透明度に大きな影響を受けることが考えられる。

③サンゴ分布推定結果

多変量解析であるクラスター分析によって衛星画像情報から底質の状況を判別・推定する手法の開発を実施した。その手順を整理して図に示す。WorldView-2 衛星画像情報の特徴を活用して解析することを目的とするならば、これまで一般的に行われていた 8 ビット (0~255 の量子化) 情報の処理から 11 ビット (0~2047 の量子化) 情報処理へ移行と最大 8 バンドへの対応が必要になる。また、GIS ツールとの親和性を保つためには GEO-TIFF 形式で提供される衛星画像情報の地理情報を評価できる機能が重要でもある。そこで、本調査研究ではより強力で高性能な多変量解析ソフトウェアの利用を前提として、インターフェースとなるシステム開発を実施した。GEO-TIFF 情報は前処理として開発されたプログラムによって地理情報の評価を実行し、各バンド毎に基本統計特性を明らかにして、より適切に多変量解析を実行するために、解析対象として除外する画素情報を決定するためのマスク処理の手順を確立した。この結果、クラスター分析では不要とするべき陸上や雲などの画素が事前に解析対象外とされることから、より高度な解析結果が得られるようになった。

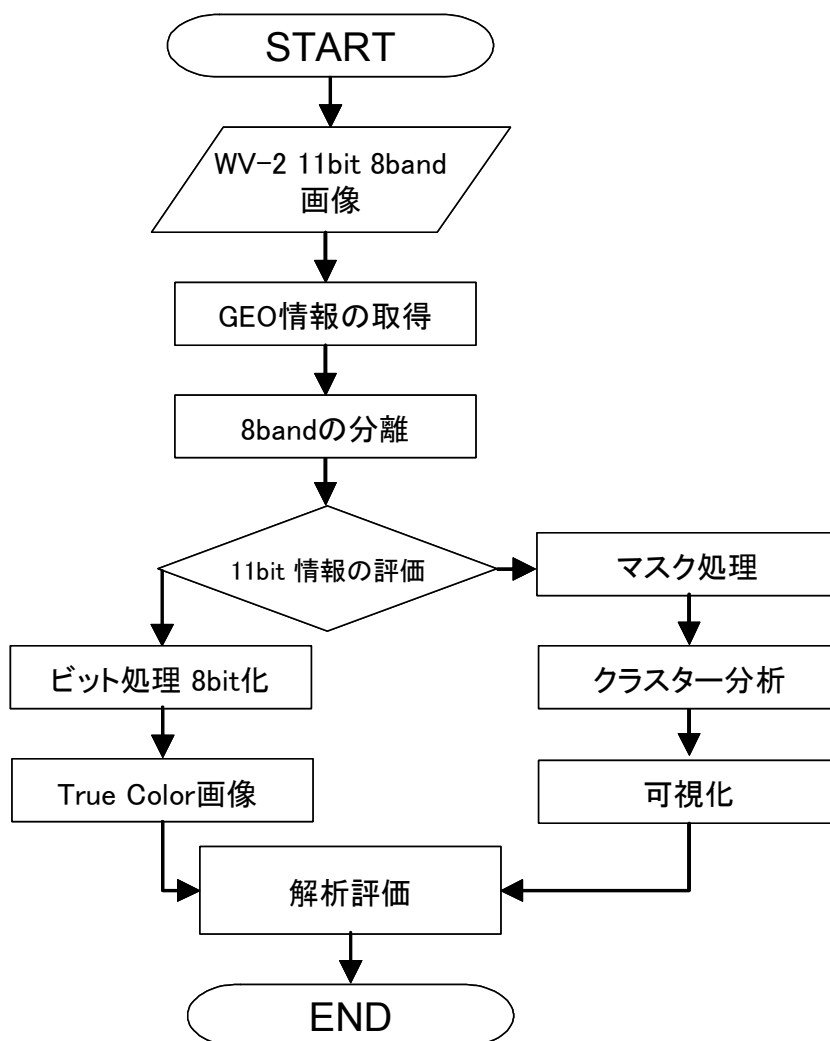


図 48 11 ビット 8 バンド衛星画像情報の処理手順

2010.8.14の衛星画像クラスター分析を、さらに広い海域に対して実施した結果を示す。底質の判別や推定などを目的とした海面に対するクラスター分析では、海表面の波浪や海水の透明度など環境要因の制限を強く受けることは事実であるが、観測条件が整えば、水深条件による制限はあるものの広範囲の海域を一度に評価することが可能であり、マクロ的な観測手法としての価値を持つものである。比較のため、環境省国際サンゴ礁研究モニタリングセンターによって公表されているサンゴ礁分布図データを示す。今回得られた解析結果と完全な整合を見ることは困難であるが、クラスター形成においてはほぼ同様の傾向が得られている。

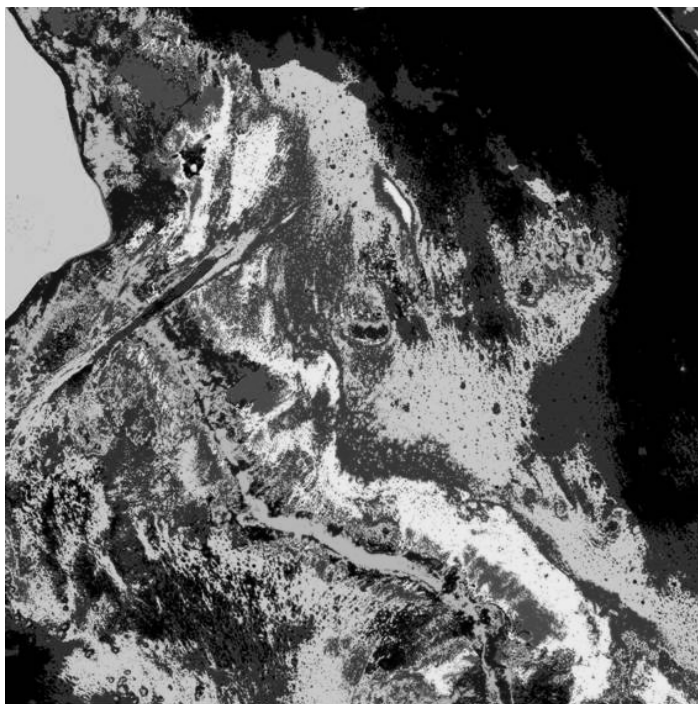


図 49 クラスタ分析結果 (WorldView-2、2010.08.14 撮影画像)



図 50 サンゴ礁分布図データ (環境省国際サンゴ礁研究モニタリングセンター)