

サンゴ礁における底質環境観測 への活用可能性について

陸域観測技術衛星ALOSデータ利用シンポジウム2003

2003年2月20日 東京国際フォーラム

(財)亜熱帯総合研究所 池間健晴
宇宙開発事業団 森山隆、萩原明早香、富井 直弥
国立環境研究所 松永恒雄、山野博哉

1. サンゴ礁研究の背景

- (1) 高い生物多様性
- (2) 白化現象
- (3) どこを保全するか
- (4) NASDAとの共同研究

2. サンゴ礁リモートセンシング研究

- (1) 解析原理
- (2) LANDSAT/TMの解析
- (3) シミュレーション
- (4) まとめ

1. サンゴ礁研究の背景

(1) 高い生物多様性

世界で最も多くのサンゴの種類が生息

Science, 2002 February 15, vol.295, pp.1280-1284

Marine Biodiversity Hotspots and Conservation Priorities for
Tropical Reefs, Callum M. et al.



1. サンゴ礁研究の背景

(2) 白化現象

1998年世界規模の白化現象



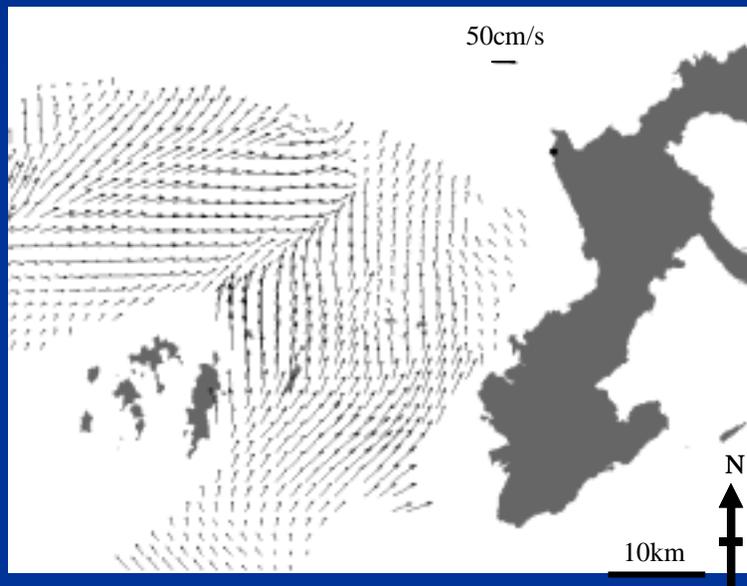
1998年9月12日

1. サンゴ礁研究の背景

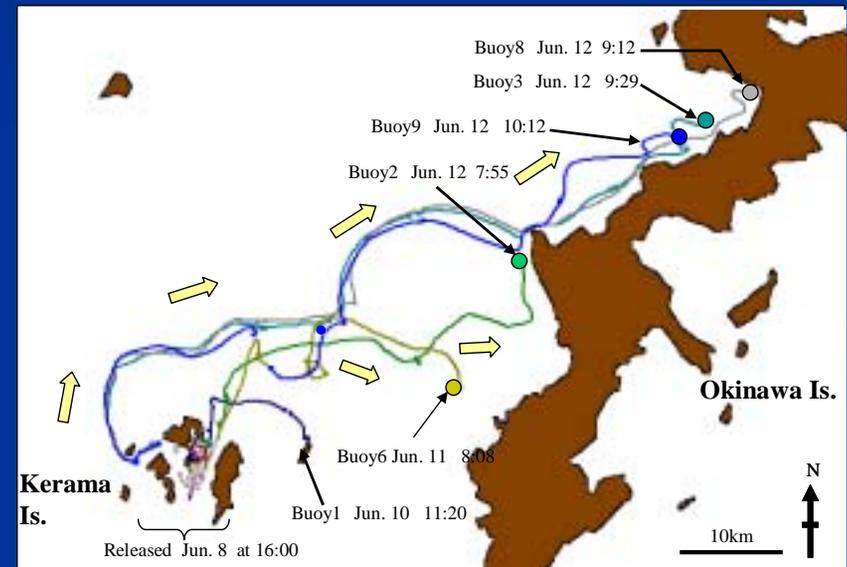
(3) どこを保全するか

沖縄本島周辺のサンゴ礁を保全しなければならない地域は？

- サンゴの供給源の調査研究(東京工業大学 灘岡ら) -



サンゴの産卵時期(5~7月)の海面表層の流れをHFレーダにより観測(2001年6月9日午前8時)



サンゴ産卵翌日から漂流ブイを投入し、数日間その軌跡を観測

1. サンゴ礁研究の背景 (4) NASDAとの共同研究

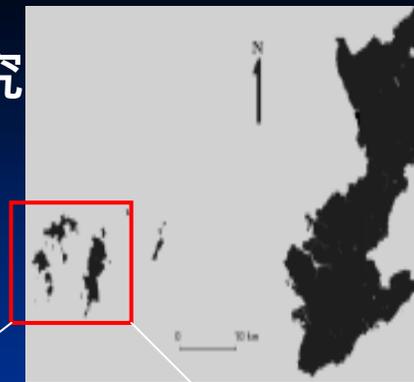
NASDAとの共同研究

2000(平成12)年～2002(平成14)年

「地球観測衛星データを利用した沖縄県周域におけるサンゴ礁モニタリングのための手法開発及び利用実証に関する研究」

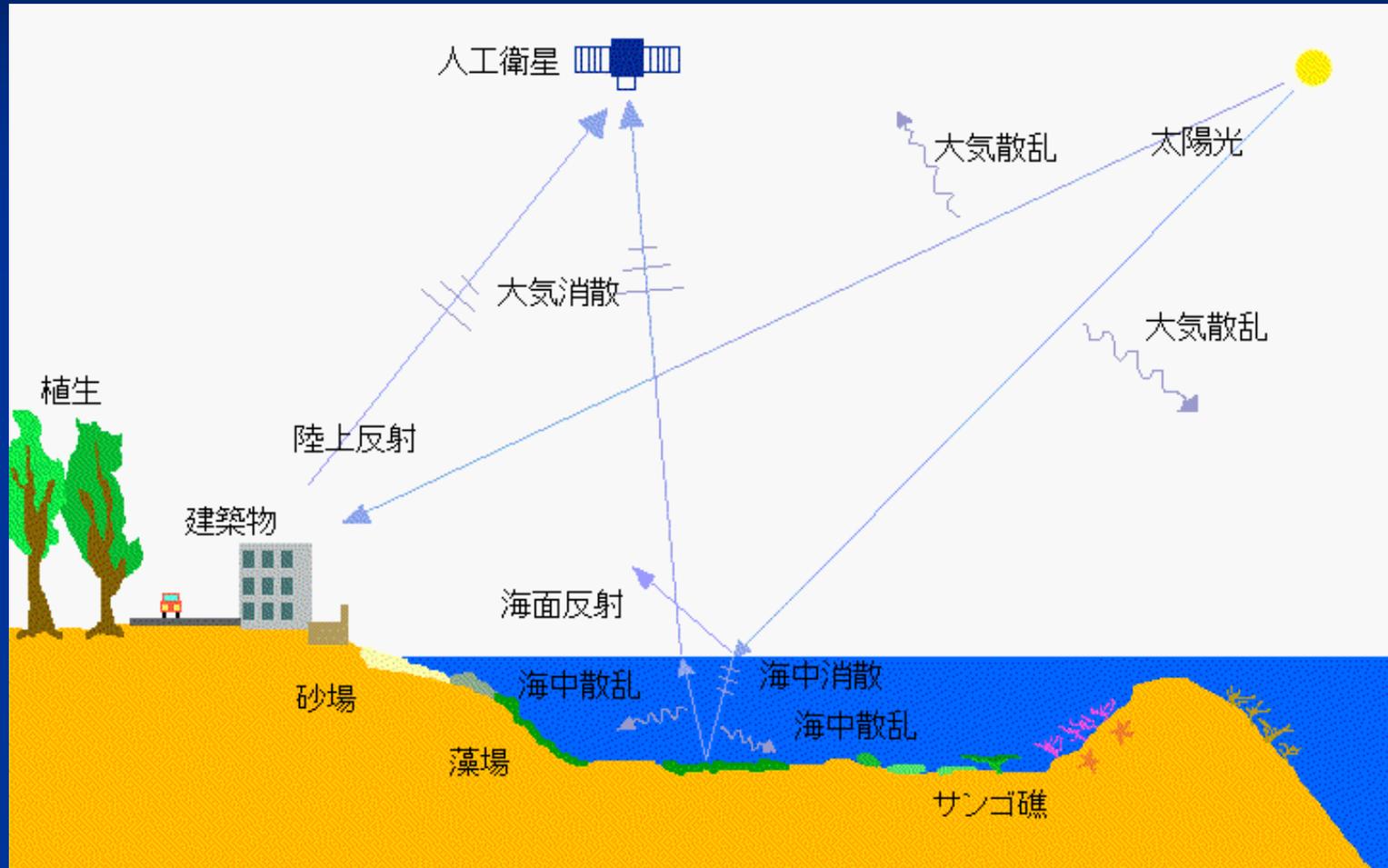
- (1) 現地調査によるサンゴのスペクトル調査
- (2) LANDSAT/TMデータ、高解像度衛星データ等の解析
- (3) 航空写真、マルチスペクトルセンサによる解析

等を実施



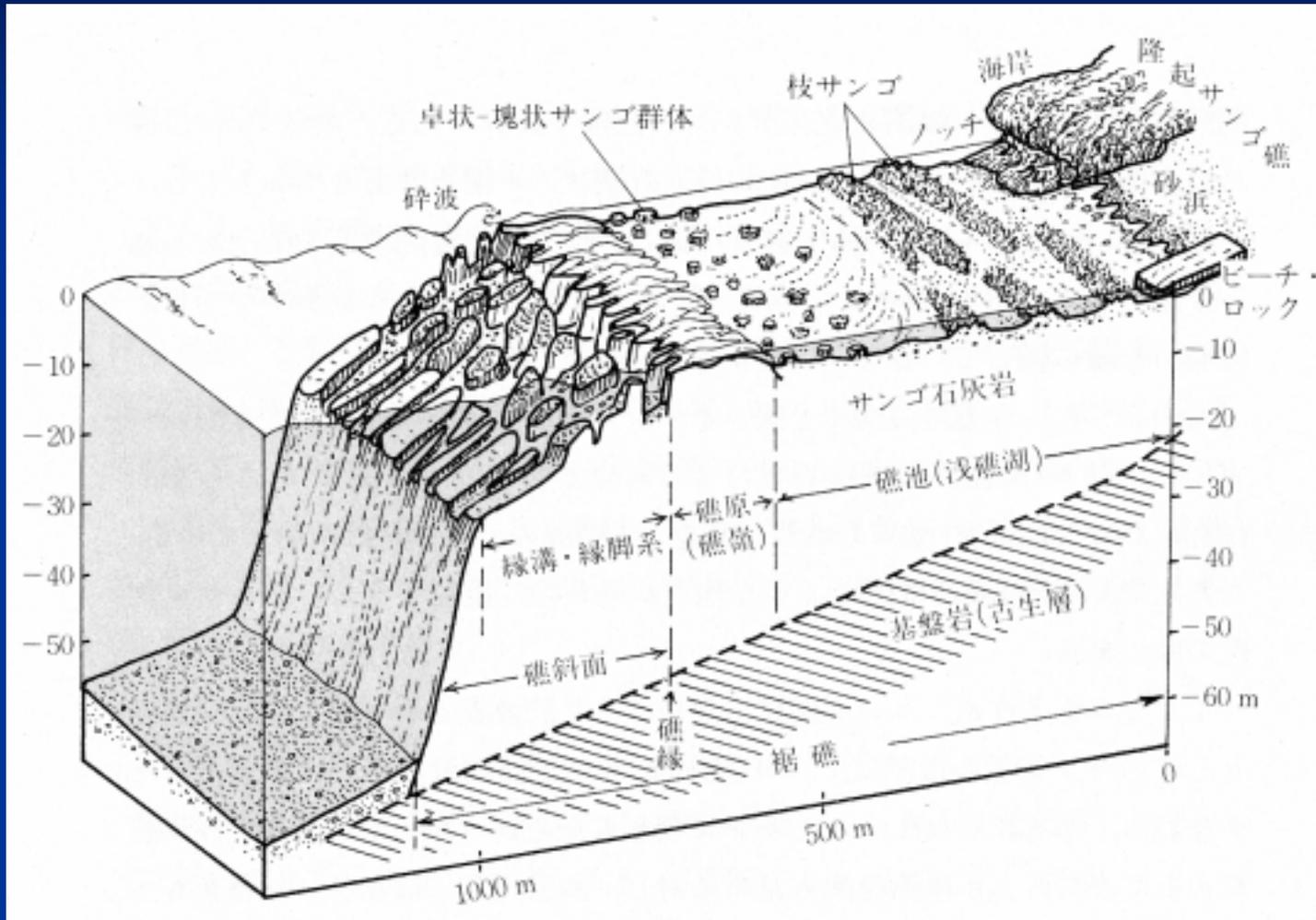
慶良間列島

2. サンゴ礁リモートセンシング (1) 解析原理



サンゴ礁リモートセンシングの概要

2. サンゴ礁リモートセンシング (1) 解析原理



サンゴ礁地形模式図

2. サンゴ礁リモートセンシング (1) 解析原理

Lyzenagaの式

底質が同じならばバンド*i*、*j*のデジタル出力値*DN_i*、*DN_j*の対数値は水深に関わらず傾きが一定になる(Lyzenaga、1978)。この原理を用いて、水深の影響を除去した底質指標として式(1)を導入する。*B_{ij}*は2バンド間の反射率の比に対して水深の影響を補正したものであり、画素内における砂の割合を示す。

$$\begin{aligned} B_{ij} &= \log(DN_i - DN_{\text{deep } i}) - k_{ij} \log(DN_j - DN_{\text{deep } j}) \\ &= \log\left\{ \frac{DN_i - DN_{\text{deep } i}}{\log(DN_j - DN_{\text{deep } j})} k_{ij} \right\} \quad (1) \end{aligned}$$

B_{ij} : バンド*i*、*j*から導出される底質指標、*DN_i* : バンド*i*のDN値

DN_{deep i} : バンド*i*の深海でのDN値、*k_{ij}* : バンド*i*、*j*の水中消散係数比

式(1)は、水深のパラメータを含む海底反射率の式をバンド*i*、*j*について連立方程式を立て、水深のパラメータを消去することから得られるものであり、したがって*B_{ij}*は2バンド間の反射率の比に対して水深の影響を補正したものである。

それぞれのDN値からオフセット値として深海でのDN値を差し引いているが、これを補正されたDN値として扱い、以後DN値という場合はオフセット値をひいた値としてのものである。

2. サンゴ礁リモートセンシング (1) 解析原理

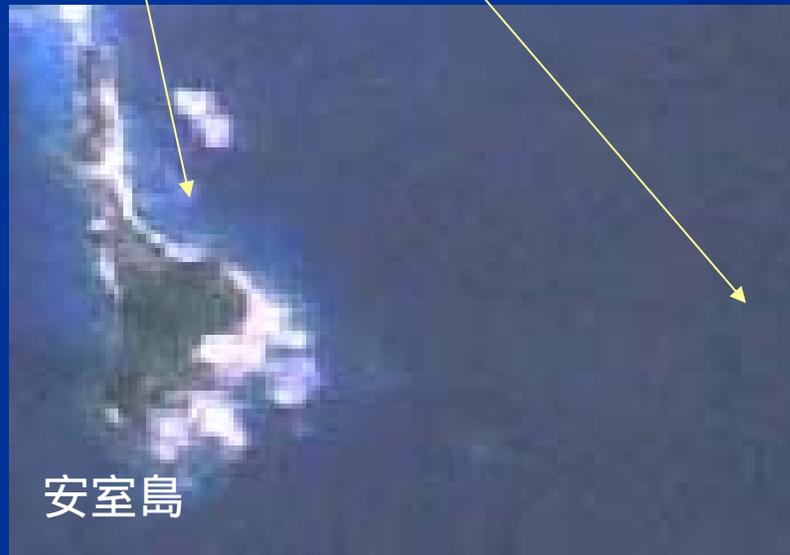
底質指標

$$BI = \log\left\{\frac{DN_i - DN_{\text{deep},i}}{DN_j - DN_{\text{deep},j}}\right\}^{k_{ij}}$$

解析対象底質のBand i のDN値

十分深い海洋Band i のDN値

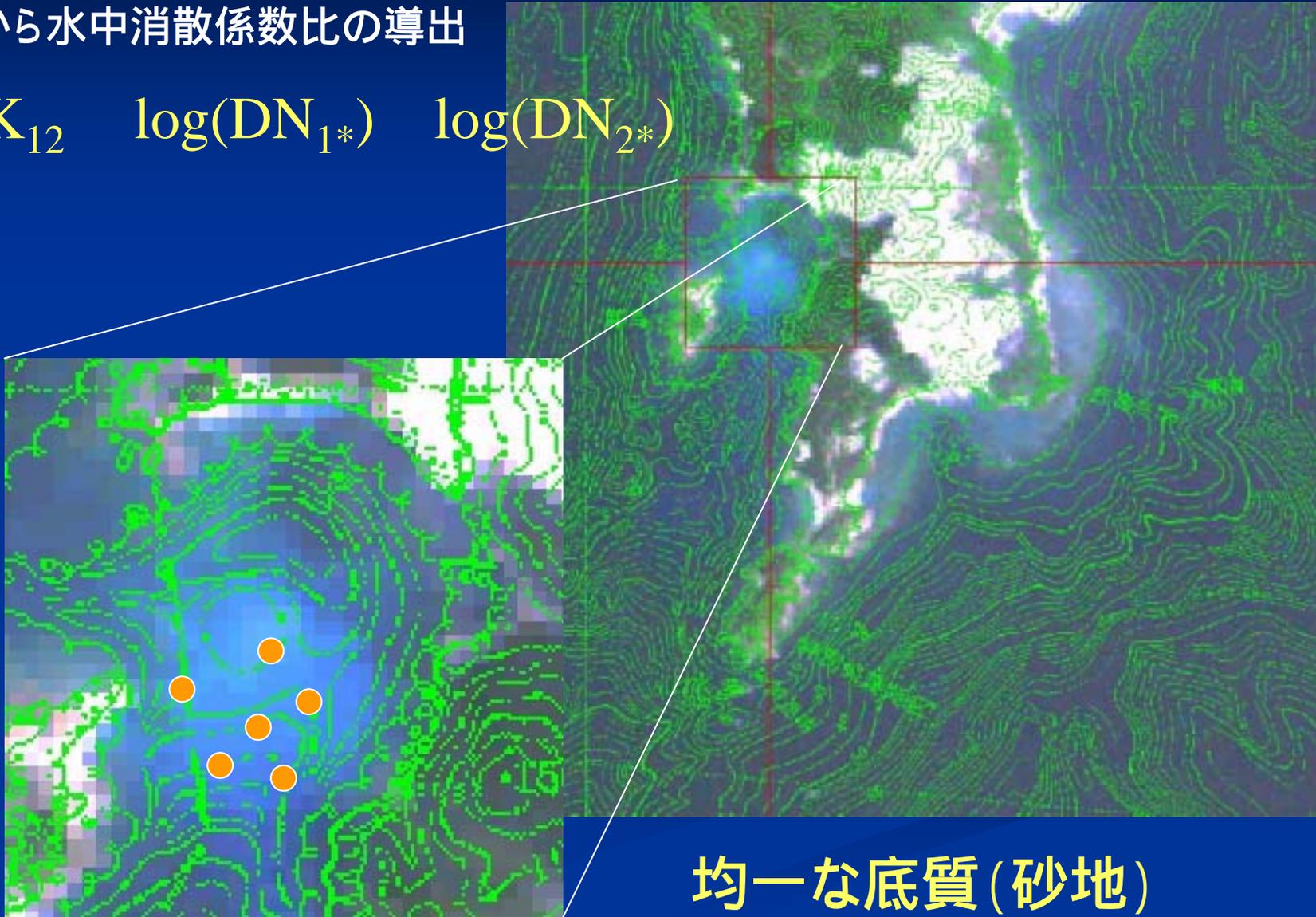
水中消散係数比



2. サンゴ礁リモートセンシング (1) 解析原理

画像から水中消散係数比の導出

$$K_{12} = \frac{\log(DN_{1*})}{\log(DN_{2*})}$$



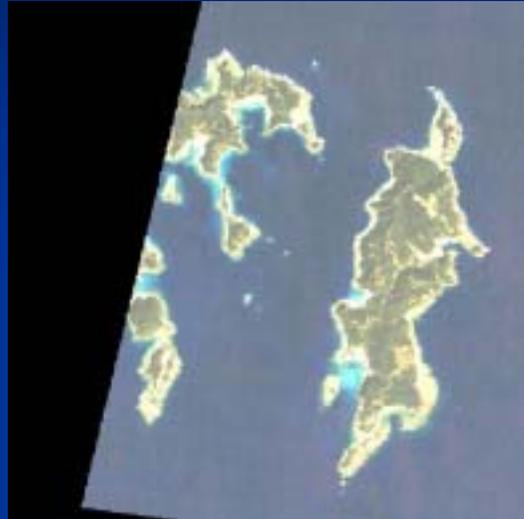
2. サンゴ礁リモートセンシング

(2) LANDSAT/TMの解析



2000/10/1

Landsat7 / ETM



1998/9/18

Landsat5 / TM



1995/9/15

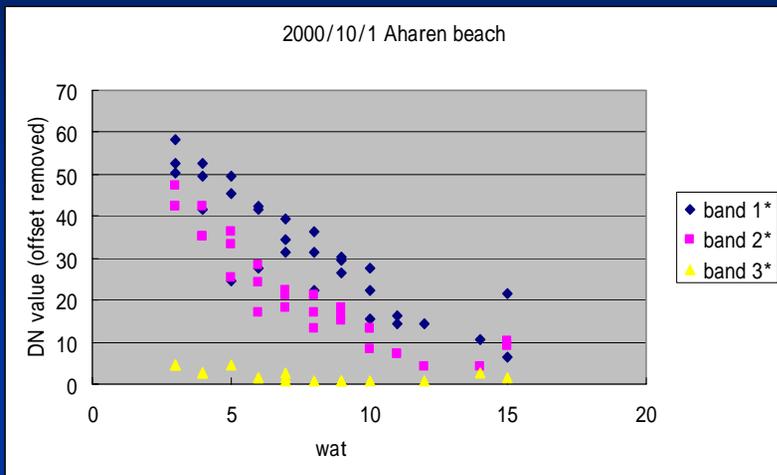
Landsat5 / TM

*All Satellite Image Data
were provided by NASDA*

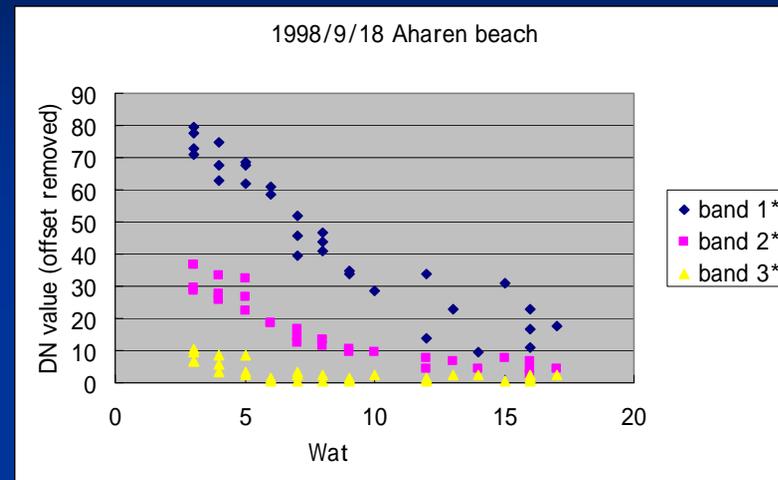
2. サンゴ礁リモートセンシング

(2) LANDSAT/TMの解析

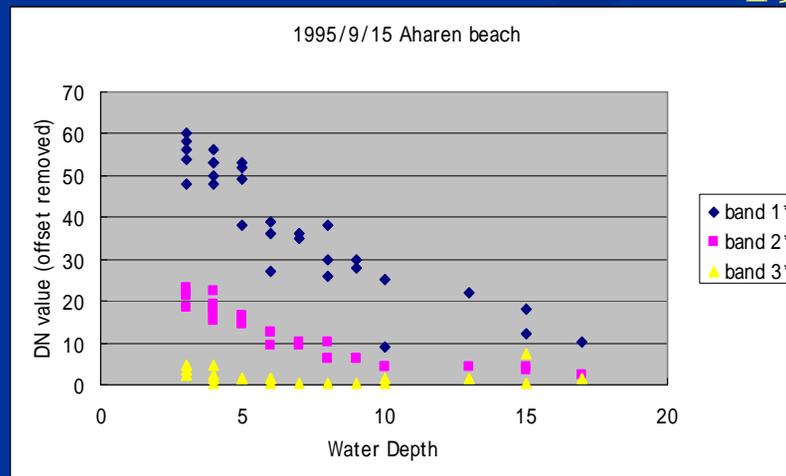
砂地のDN値



2000/10/1



1998/9/18



1995/9/15

2. サンゴ礁リモートセンシング

(2) LANDSAT/TMの解析

水中消散係数比

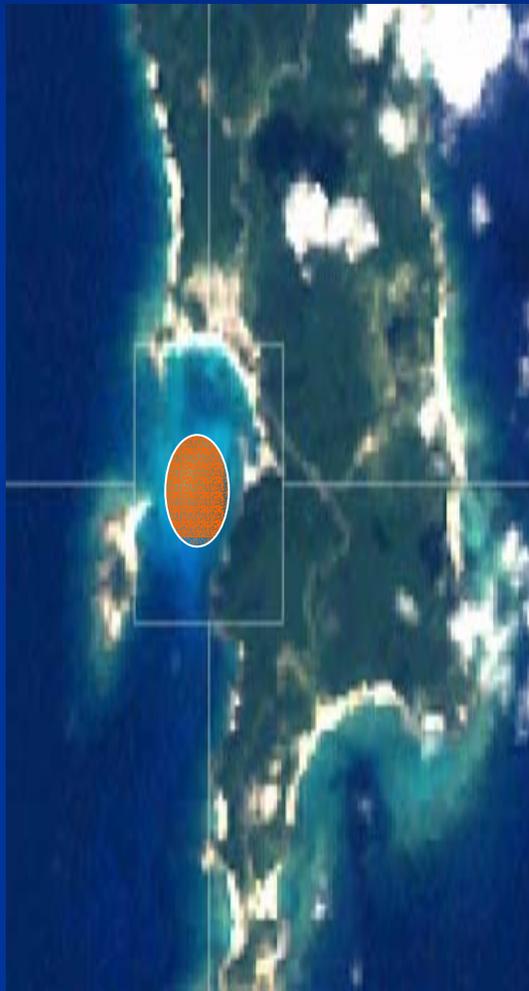
k_{12}	2000/10/1 (Correlation)	1998/9/18 (Correlation)	1995/9/15 (Correlation)
阿波連	0.640 (0.900)	0.787 (0.968)	0.639 (0.829)
阿護	N/A (cloud)	0.737 (0.829)	0.734 (0.880)

Ref.: 石垣島 k_{12} 0.746, 石西礁湖 k_{12} 0.45

2. サンゴ礁リモートセンシング

(2) LANDSAT/TMの解析

砂地と生物群集の底質の決定



砂地のDN値

2000/10/1

Mean = 1.582, SD = 0.101

1998/9/18

Mean = 2.106, SD = 0.061

1998/9/18

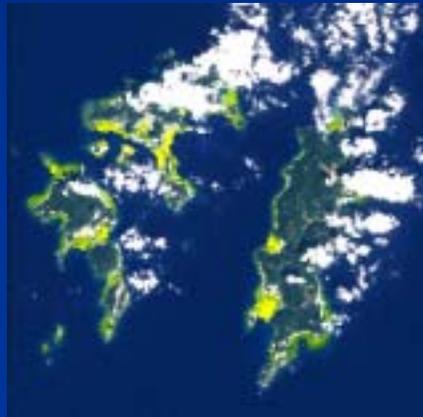
Mean = 1.615, SD = 0.067

2. サンゴ礁リモートセンシング

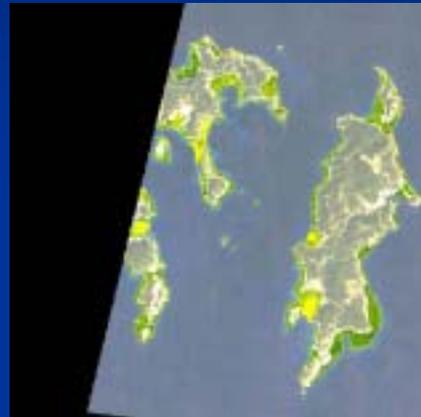
(2) LANDSAT/TMの解析

解析結果

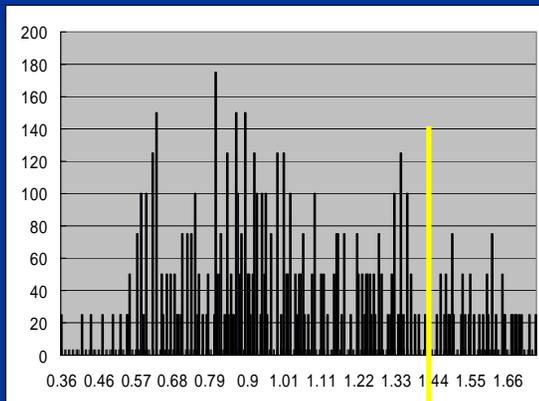
2000/10/1



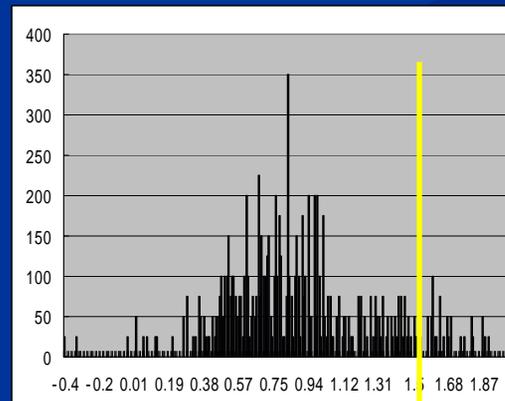
1998/9/18



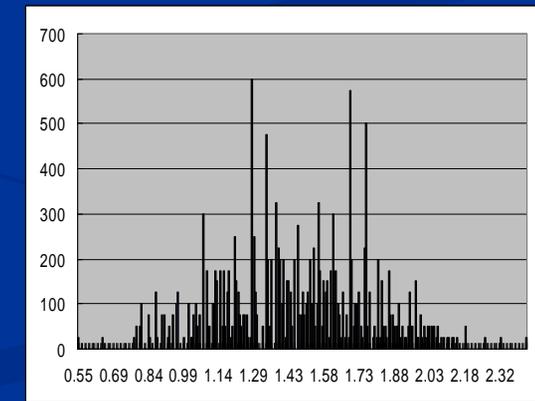
1995/9/15



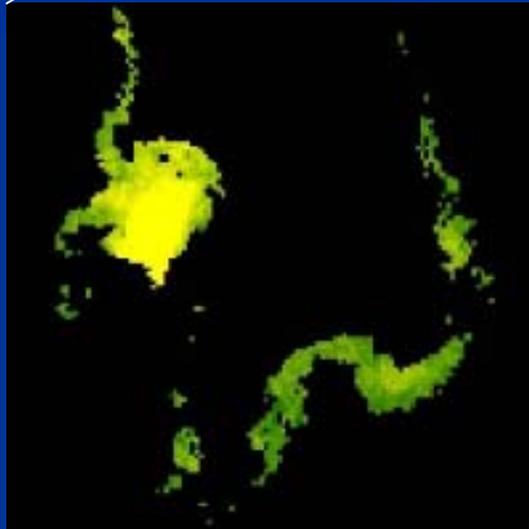
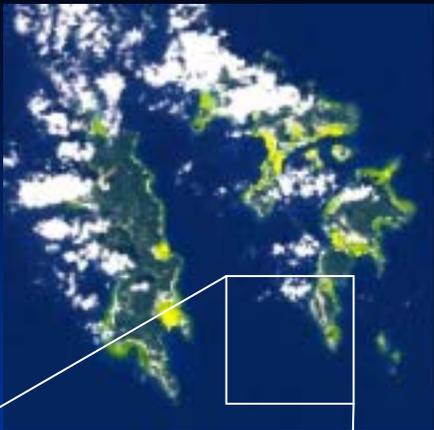
Histogram



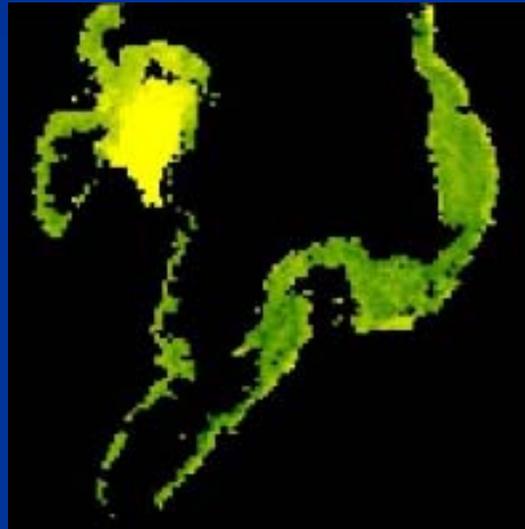
生物群集



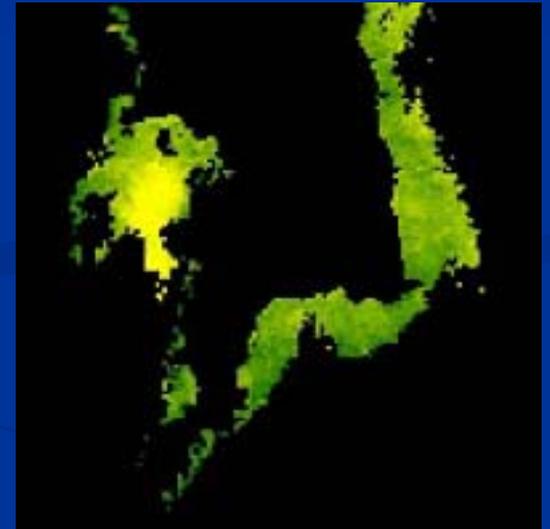
砂地



2000/10/1



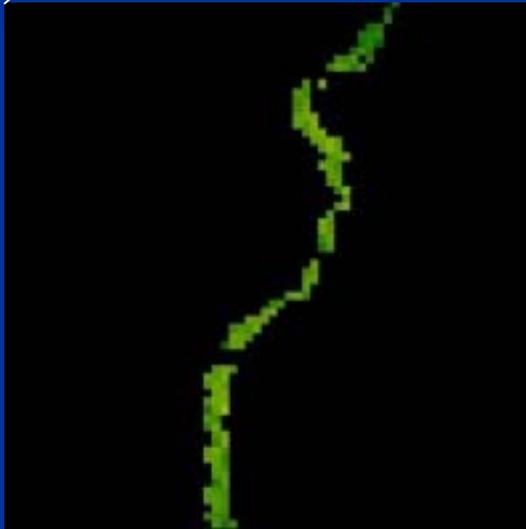
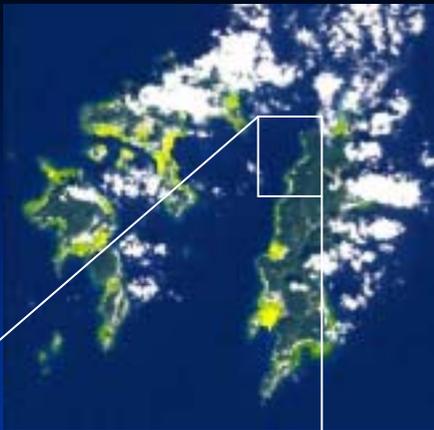
1998/9/18



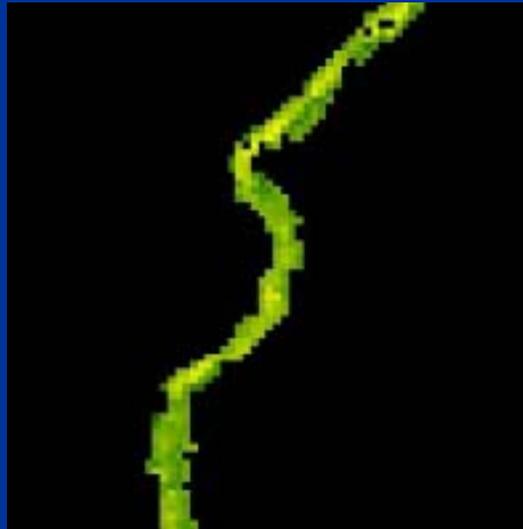
1995/9/15

Coral/ Algae/ Sea grass/ etc.

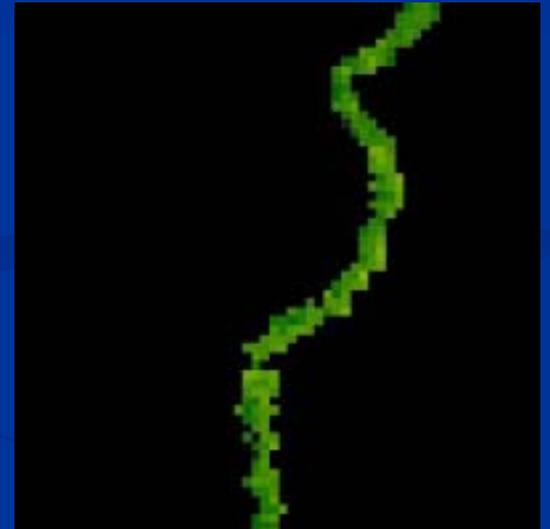
SAND



2000/10/1



1998/9/18



1995/9/15



Coral/ Algae/ Sea grass/ etc.

SAND

2. サンゴ礁リモートセンシング (2) LANDSAT/TMの解析

まとめ

砂地とサンゴを含む生物群集底質の分類は可能である。

サンゴと藻類等の分類は困難である。

慶良間において底質解析が可能な水深はおよそ7mである。

2. サンゴ礁リモートセンシング (3) シミュレーション

リモートセンシングによるサンゴ礁観測では、センサにより空間分解能と波長分解能が異なるため、サンゴの被覆度などの観測精度が変化する。

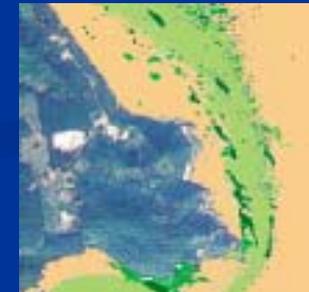
この変化を把握するには、観測対象物の被覆度が、観測するセンサによる精度の違いを知る必要がある。

そのため、実測によるサンゴなどのスペクトルデータを基に、空間分解能と波長分解能を変化させ、サンゴ礁観測のシミュレーションを行った。



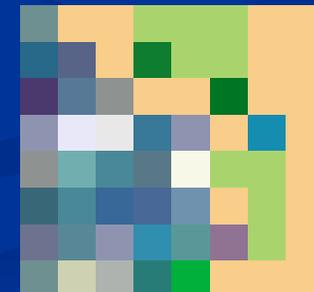
空中写真

空間分解能: 高
波長分解能: 低



ハイパースペクトル観測

空間分解能: 中
波長分解能: 高



空間分解能: 低
波長分解能: 低

2. サンゴ礁リモートセンシング (3) シミュレーション

スペクトル測定



Acropora hyacinthus



Dead *Acropora*
covered by algae

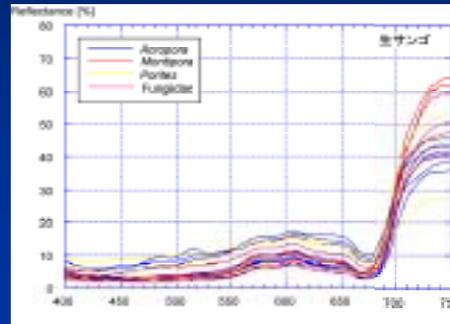


Acropora nobilis

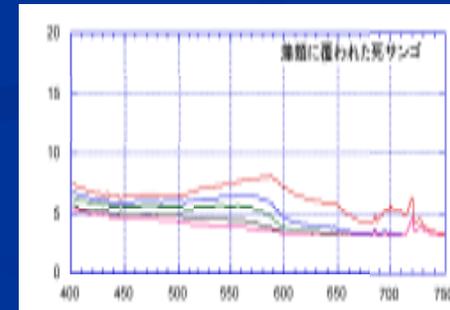
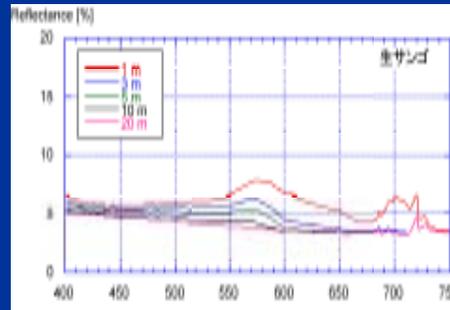
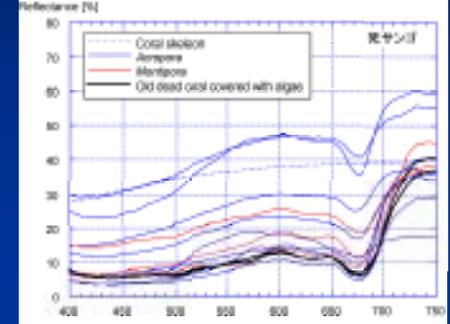


Dead *Acropora*
Bleached

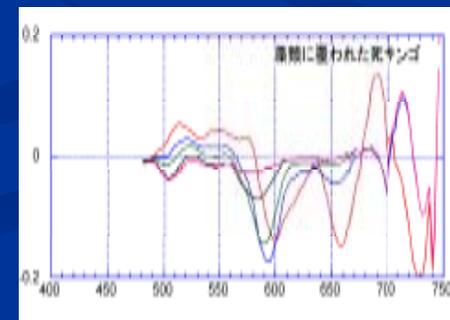
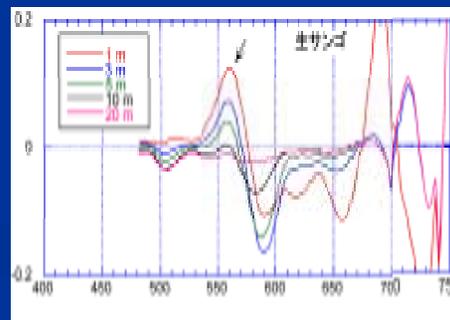
Live Coral



Dead Coral



Simulated Reflectance



First Differentiation of Simulated Reflectance

2. サンゴ礁リモートセンシング (3) シミュレーション

航空機からのスペクトル測定



使用した機体: セスナC206P型(エアードルフィン株式会社)



機体の床面にある開口部

デジタルビデオカメラ2台と分光計(Field Spec FR:ビデオカメラとの切り替え装置付き)1台を開口部に設置した。ビデオカメラのうち1台(A)はそのまま鉛直下方を常時撮影し、もう1台(B)は可視近赤外分光計視野切替装置に接続、分光計の視野と同じ範囲を数回撮影する。2台のビデオカメラの画像の比較により、可視近赤外分光計の実際の視野を推定。



ビデオカメラA、Bの比較と分光計の視野。傾いている画像がビデオB。ビデオカメラA画像において、半径209画素(65m)の円内であることが分かる。

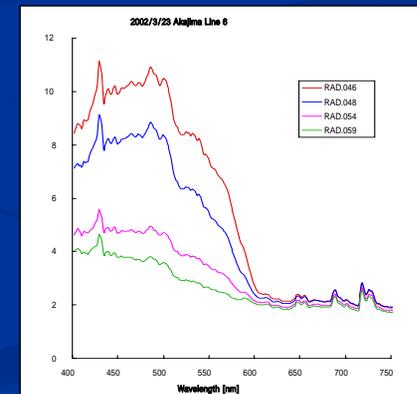
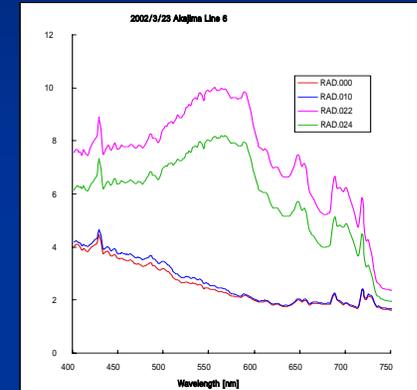
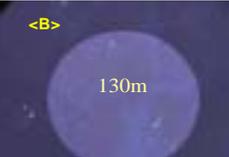
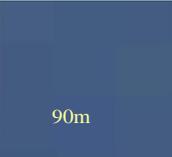


図8 航空機分光計反射率計算値(2002/3/23 阿嘉島ニシハマ沿岸沿い)

航空機による画像、TM画像とシミュレーション値

	測線 6 における 航空機ビデオ画像 (2002年3月23日撮影)	ビデオ画像円形内の LANDSAT/TM 画像 (2001年7月16日取得)	TM 画像の平均 DN 値		
			band1	band2	band3
N			9.44	5.78	3.44
			スペクトル番号 : 10 深いサンゴ大型パッチ		
			18.89	10.11	2.22
			スペクトル番号 : 22 やや深いサンゴ大型パッチ		
			26.22	38.78	2.00
			スペクトル番号 : 24 礁嶺の沖側		
			42.11	56.33	34.11
			スペクトル番号 : 46 岸近くのサンゴ		
			49.11	43.56	7.89
			スペクトル番号 : 48 浅い砂 90%		
			38.22	23.89	1.22
			スペクトル番号 : 54 やや深い砂 90%		
			19.78	11.00	0.56
			スペクトル番号 : 59 やや深い砂 40%		

2. サンゴ礁リモートセンシング (3)シミュレーション

結果 - LANDSAT/TM

シミュレーション条件

センサの条件	
センサ	LANDSAT/TM band1 ~ 3
太陽天頂角	30度
衛星天頂角	0度
大気の種類	
大気タイプ	中緯度夏の標準大気
エアロゾルタイプ	海
海面の種類	
高度	0m
海上風	0 m/sec
底質	
生サンゴ	25 %
藻類に覆われた死サンゴ	50 %
変数	
水深[m]	1, 3, 5, 10, 20
底質	生サンゴ、藻類に覆われた死サンゴ、砂地
海水の種類	
海水タイプ	Case 1
クロロフィル量	0.5mg/m ³

底質が均一、大気補正後のLANDSAT/TMのDN値(シミュレーション結果)

Depth[m]	Healthy coral			Dead coral			Sand		
	band1	band2	band3	band1	band2	band3	band1	band2	band3
1	34	20	17	37	22	18	75	49	37
3	31	16	12	34	18	12	61	34	16
5	30	14	11	32	15	11	51	26	12
10	27	12	11	28	12	11	37	16	11
20	25	11	11	25	11	11	27	12	11

底質が不均一、大気補正後のLANDSAT/TMのDN値(シミュレーション結果)

Depth[m]	Healthy coral 25%, Sand 75%			Healthy coral 50%, Sand 50%		
	band1	band2	band3	band1	band2	band3
1	65	42	32	54	35	27
3	54	30	15	46	25	14
5	46	23	12	40	20	12
10	35	15	11	32	14	11
20	27	12	11	26	11	11

Depth[m]	Healthy coral 25%, Dead coral 75%			Healthy coral 50%, Dead coral 50%		
	band1	band2	band3	band1	band2	band3
1	36	21	17	36	21	17
3	33	17	12	33	17	12
5	31	15	11	31	15	11
10	28	12	11	27	12	11
20	25	11	11	25	11	11

2. サンゴ礁リモートセンシング (3)シミュレーション

結果 - ALOS/AVNIR2 -

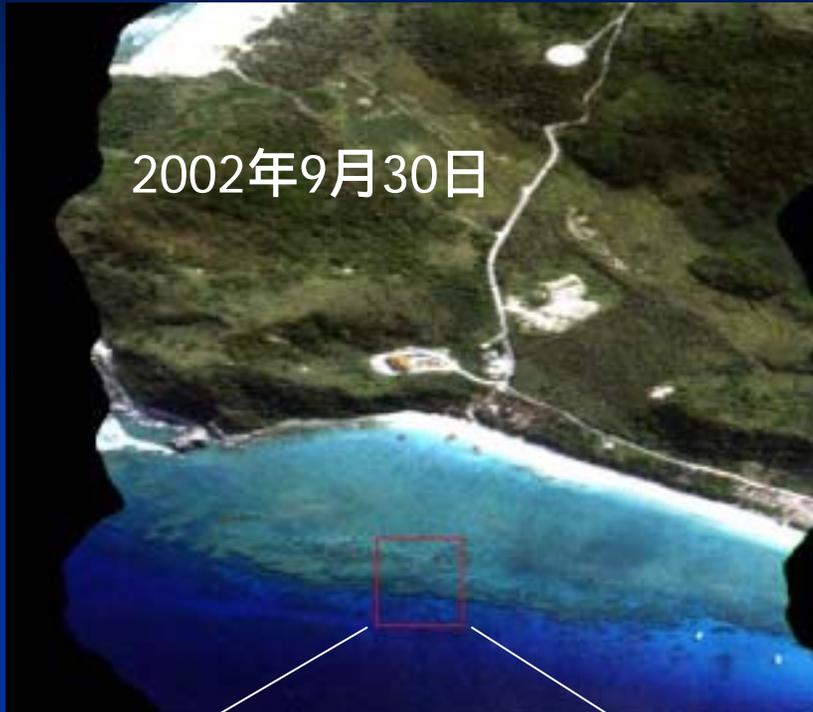
底質が均一、大気補正後のALOS/AVNIR2の輝度値(シミュレーション結果) 単位： $Wm^{-2}sr^{-1} \mu m^{-1}$

Depth[m]	Healthy coral			Dead coral			Sand		
	band1	band2	band3	band1	band2	band3	band1	band2	band3
1	27.5	30.4	20.5	30.6	33.4	21.3	59.3	75.7	45.3
3	25.8	25.2	14.6	28.1	27.1	14.7	48.9	52.7	19.2
5	24.6	22.1	13.4	26.3	23.4	13.4	41.5	39.9	14.4
10	22.6	18.6	13.0	23.4	19.1	13.0	30.6	25.1	13.1
20	21.3	16.9	13.0	21.5	17.0	13.0	23.1	17.9	13.0

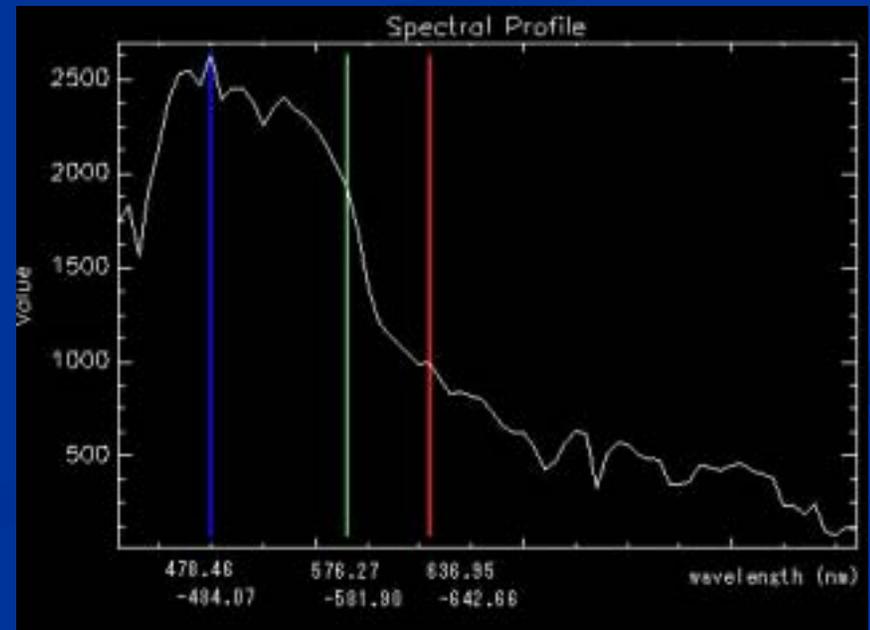
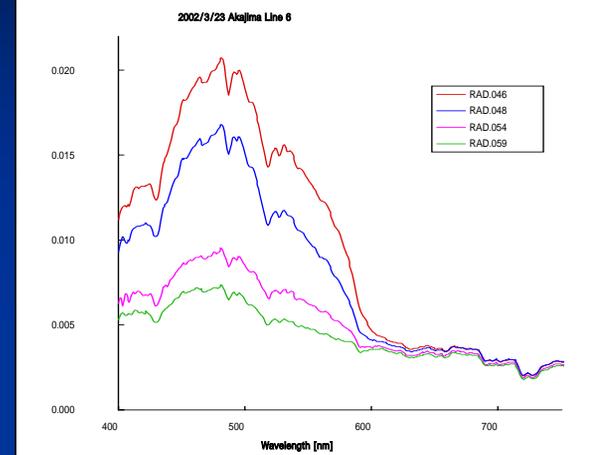
底質が不均一、大気補正後のALOS/AVNIR2の輝度値(シミュレーション結果) 単位： $Wm^{-2}sr^{-1} \mu m^{-1}$

Depth[m]	Healthy coral 25%, Sand 75%			Healthy coral 50%, Sand 50%		
	band1	band2	band3	band1	band2	band3
1	51.4	64.4	34.7	43.4	53.1	29.2
3	43.1	45.8	16.0	37.3	38.9	15.0
5	37.2	35.4	12.5	33.0	31.0	12.3
10	28.6	23.5	11.6	26.6	21.8	11.6
20	22.6	17.7	11.6	22.2	17.4	11.6

マルチスペクトルセンサCASIによる航空機観測



航空機からのスペクトル測定(輝度値)



2. サンゴ礁リモートセンシング (4)まとめ

サンゴと藻類等の分類は衛星データでは困難であるが、CASIでは生サンゴ、藻類に覆われた死サンゴの区別は可能であることが示唆された。

慶良間において底質解析が可能な水深はおよそ7mである。シミュレーションでは10m。

ALOS/AVNIR2の空間解像度はLANDSAT/TMより高い分類精度が期待できる。