

衛星データに基づく八重山諸島における土地利用・植生被覆の 長期的変遷と周辺サンゴ礁域の海底被覆状態変化の関係解析

Maria Cecilia D. Rubio*・Enrico C. Paringit**・灘岡和夫***・Ariel C. Blanco*

本研究では、わが国で最大規模のサンゴ礁であり、その貴重な役割にもかかわらず近年生態系劣化の懸念が大きくなってきている石西礁湖を対象として、衛星リモートセンシング解析に基づいて、陸域における土地利用や植生被覆の長期的な変遷を分析し、それによって陸域からの環境負荷（特に表層土壌流入）の経年変化特性を明らかにするとともに、隣接するサンゴ礁域での海底被覆状態の経年変化を同時に解析することによって、両者の関係を解明することを試みた。その結果、石西礁湖のサンゴ被覆率は長期的な低減傾向を示しているものの海域ごとの変遷パターンに違いがあること、陸域における土地被覆状態やそれに伴う赤土流出指標の変遷パターンも石西礁湖内陸域と石垣島南部とは異なり、前者の変遷パターンのほうがサンゴ被度変化の傾向に対応していることなどが明らかにされた。

1. はじめに

サンゴ礁は、熱帯・亜熱帯の沿岸浅海生態系において基盤的な役割を有しているが、近年、世界各地でサンゴ礁生態系の劣化が報告されており、琉球列島のサンゴ礁も例外ではない。サンゴ礁の劣化原因のほとんどは、何らかの直接的・間接的な人間影響によるものであるが、過剰漁業やダイビング等の直接的な人為影響の他には、隣接する流域からの表層土壌（赤土）流入による sedimentation や外洋域からの高温水流入によるサンゴ白化などが典型的な環境ストレス要因になっている。今後のサンゴ礁生態系の保全や再生に向けて合理的な方策を立案して行くには、このようなサンゴ礁生態系に関わるさまざまなストレス要因をできるだけ定量的かつ多角的に把握するとともに、環境ストレスの大きさとそれに対するサンゴ礁生態系の応答関係を具体的に把握する必要がある。

本研究では、広域かつ多時点での環境モニタリング手法として優れている衛星リモートセンシング解析に基づいて、陸域における土地利用や植生被覆の長期的な変遷を分析し、それによって陸域からの環境負荷（特に表層土壌流入）の経年変化特性を明らかにするとともに、隣接するサンゴ礁域での海底被覆状態の経年変化を同時に解析することによって、両者の関係を解明することを試みた。

2. 解析対象領域及び衛星データ・解析手法

本研究で対象とするサンゴ礁海域は、石垣島と西表島の間に広がる東西20 km 南北15 km に及ぶ石西礁湖で、日本最大のサンゴ礁海域である。沖縄・琉球列島のサンゴ礁は、近年、オニヒトデによる食害や赤土汚染、高水温によるサンゴの白化などによって生態系の劣化が著しいが、その中であって、石西礁湖海域はサンゴがまとまった規模で生息しており、琉球列島の他のサンゴ礁海域に対するサンゴ幼生供給源としての役割も期待されていることから、自然再生推進マスタープラン策定など、その適切な保全策のあり方が具体的に検討されてきている。

ここでの解析対象領域は、図-1 に示すように、この石西礁湖とその中のいくつかの小島、ならびに石西礁湖を挟むように位置する石垣島と西表島である。このうち石垣島は相対的に開発が進んだ島で、特にその南側は市街地や農地が広がっている。これに対して西表島は東側海岸の一部を除くかなりの範囲が自然状態で残されている。石西礁湖内的小浜島や黒島などでは民家や農地等の開発が進んできている。このようなことから、ここでは、対象とする全領域を図-1 に示すような4つの領域に分けて解析することとした。

解析対象期間は1984年から2003年までの20年間で、この間の26時点での衛星画像を解析した。対象とした衛星データはLANDSAT-TM（もしくはETM+）データである。本論文で示す、海域における海底被覆状態の解析結果は、このうちの1986、2002年の冬期、1989の秋期、そして1997、2000年の夏期の画像データによるものである。これらは、雲量が少ないこと及び海水の濁りが少ないことという2つの判断基準により選出したものである。海底被覆状態の解析手法としては、linear spectral unmixing 法（Paringit, Nadaoka, 2004）をベースとして用いている。

* 東京工業大学 大学院情報理工学研究科
情報環境学専攻

** 博(工) Assistant Professor, Department of Geodetic
Engineering, University of the Philippines, Diliman

*** フェロー工博 東京工業大学教授 大学院情報理工学研究科情報
環境学専攻 博士課程

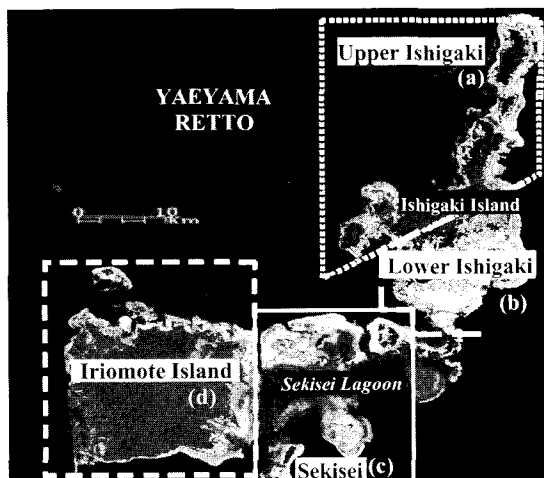


図-1 解析対象領域および4ゾーンへの分割

一方、陸域に関しては、1984, 1985, 1992, 1993年の夏期, 1987, 1989, 1994, 1998, 2001年の秋期, 1986, 1996, 2001, 2002, 2003年の冬期の画像をデータ解析の対象にしている。陸域からの赤土流出には、降雨量や土壌の種類、地形傾斜、植生被覆など様々な要因が関与するが、ここでは、経時的な土地利用や植生被覆状態の変化の解析に主眼を置いているので、その効果に伴う赤土流出量の変化を概略評価するべく、USLE 式中の作物係数（もしくは erodability index あるいは *C-factor*）を用いて、それに各被覆要素の面積割合を乗じて算出される次式によって指標化して評価した。

$$QI = \sum_i (C\text{-factor}_i \times \text{percentage area}_i) \cdots (1)$$

ここに、*QI*：赤土流出指標値、*i*：解析対象陸域内の *i* 番目の土地利用・被覆要素、*C-factor* の具体的な値については比嘉ら(1997)を参照して表-1 のように与えた。

陸域についての被覆分類解析では、やはり linear spectral unmixing 法 (Paringit and Nadaoka, 2003) に

表-1 設定した erodability index (*C-factor*)

Land Cover	Erodability index
Forest	0.001*
Grass	0.005
mature sugarcane	0.01
young sugarcane	0.2
wet paddy	0.2*
Mulch	0.3*
Bare	1

*assumed

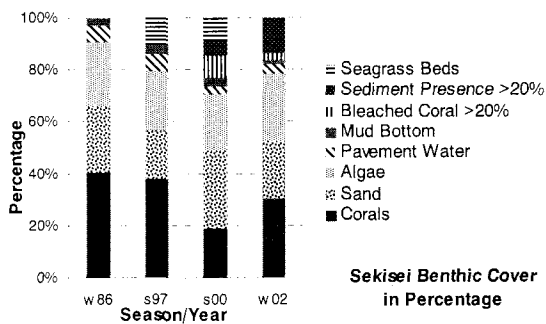


図-2 石西礁湖海域における海底被覆要素の経年変化 (横軸の s : summer, w : winter)

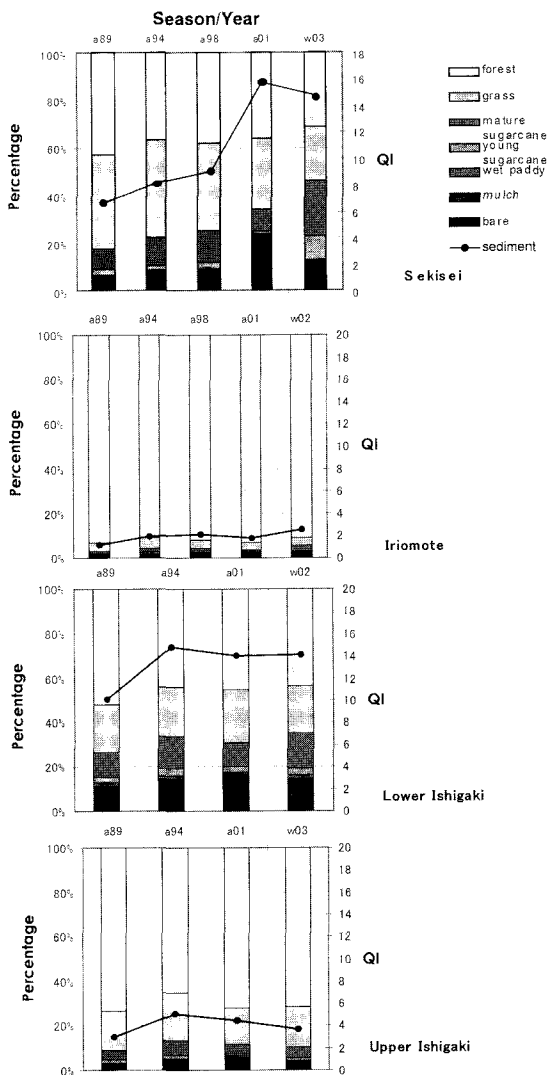


図-3 石西礁湖内陸域および周辺陸域の土地利用・植生被覆状態の経年変化

基づいて、7つのカテゴリー、すなわち、forest, grass, mature sugarcane, young sugarcane (and other crops), wet paddy, mulch/dry vegetation, bare soil に分類している。

3. 解析結果と考察

(1) 石西礁湖の全体的な海底被覆状態の経年変化

図-2は、石西礁湖内の海底被覆状態について、図中の4時点での各被覆要素の被覆率を算定した結果を示したものである。これから、サンゴ被覆率は1986から長期的に減少傾向を示しており、特に2000年にはサンゴ被覆率が大きく落ち込んでいることがわかる。この2000年の落ち込みは1998年に大規模に発生したサンゴ白化の影響と考えられるが、後で示すように、より長期的な減少トレンドには陸域からの表層土壌流入が少なからず関与しているものと考えられる。

(2) 石西礁湖内陸域および周辺陸域の全体的な土地利用・植生被覆状態の経年変化

石西礁湖内陸域および石垣島、西表島の全体的な土地利用・植生被覆状態の経年変化について見てみるために、先の図-1に示した4ブロックごとに解析した結果を図-3に示す。

まず、全体的な状況について見てみると、西表島には90%程度が森林であって、その経年変化もごくわずかである。また、石垣島北側領域においても経年変動がやや大きいものの森林の割合が70%を占めている。これに対して石垣島南側領域では森林面積割合が40-50%程度で、大局的に見ると減少傾向にある。石西礁湖内陸域は、他の3ブロックに比べると森林面積割合が30-40%と一番低く、しかも長期的な低減傾向を示している。石西礁湖内陸域は草地の割合が大きい、森林よりももっと顕著な低減傾向が表れている。石西礁湖内陸域でのこのような森林や草地の長期的な低減傾向に連動して逆に増加傾向を示しているのは図中“bare”と記している部分で、これには裸地だけでなく住宅地や人工構造物等の植生以外の土地被覆部分を含んでいる。この“bare”部分の経年的増加は、石西礁湖内の小浜島のリゾート開発や黒島の農地開発等によるものと考えられる。

図中の折れ線は、先に示した赤土流出指標 QI である。これをみると、4ブロック間で QI の経年変動パターンに大きな違いがあることがわかる。すなわち、石垣島では、北側、南側領域とも QI は1989年から1994年にかけて大きく増加した後、漸減ないしはほぼ一定の傾向にあるのに対し、西表島での QI はほぼ横ばいで最近微増傾向にあり、石西礁湖内陸域では明瞭な増加傾向を示している。

このようなことから、先に述べた石西礁湖内のサンゴ

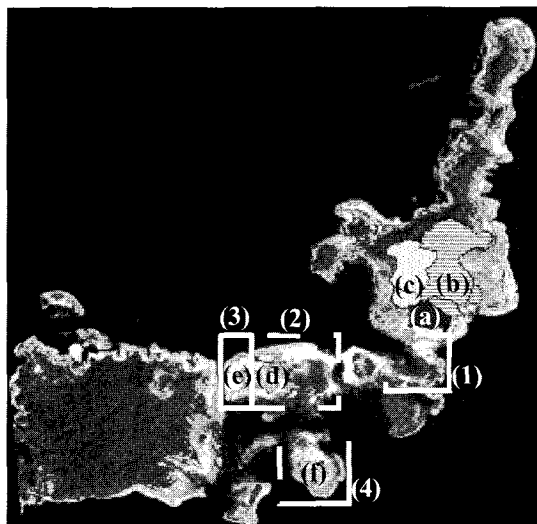


図-4 部分小領域区分図； 海域-(1)石垣島南沿岸域、(2)小浜島東沿岸域、(3)小浜島西沿岸域、(4)黒島周辺沿岸域、陸域-(a)新川川流域、(b)宮良川流域、(c)名蔵川流域、(d)小浜島東部、(e)小浜島西部、(f)黒島

被覆率の減少傾向には、石西礁湖内陸域からの赤土流入が関与している可能性が高いが、近年一定ないし漸減傾向にあるとはいえ、もともと赤土流出レベルが高く石西礁湖の近くに位置する石西礁湖南側領域からの赤土流入の効果も考慮しておく必要がある。

(3) 石西礁湖および石垣島南側領域内の部分小領域ごとの陸域・海域被覆状況の解析

そこで、これらの可能性をより詳細に検討するために、石西礁湖の小浜島や黒島、そして石垣島南側領域内のいくつかの流域ごとに土地被覆状態の変遷について調べ、それと石西礁湖内の区分的な海域での海底被覆状態の変遷との対応関係について検討してみた結果をつぎに示す。

図-4は、この目的のために設定した石西礁湖内の4つの部分海域、すなわち、(1)石垣島南沿岸域、(2)小浜島東沿岸域、(3)小浜島西沿岸域、(4)黒島周辺沿岸域と、石西礁湖内および石垣島南側流域内の6つの部分陸域、すなわち、(a)新川川流域、(b)宮良川流域、(c)名蔵川流域、(d)小浜島東部、(e)小浜島西部、(f)黒島、を示したものである。

図-5は、4つの部分海域に関して、海底被覆状態の経年変化を示したものである。これから、4海域ともに、サンゴ被覆率は1997年にピークを示し、その後の2000年に大きく落ち込んでいる、これは、先にも述べたように、1998年に大規模に発生したサンゴ白化の影響と考えられる。4海域を比較すると、小浜島西側沿岸域ではサンゴ被覆率が単調減少傾向にあるのに対して、他の3海域では、2002年に若干の回復傾向を示している。

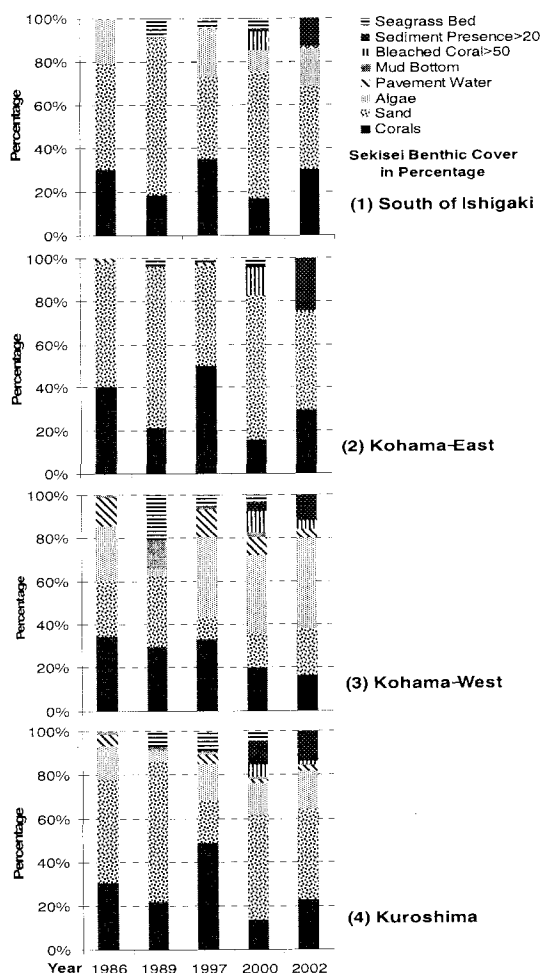


図-5 石西礁湖内の部分小領域における海底被覆状態の経年変化

図-6 は、上記の6つの部分陸域に関して、土地被覆状態の経年変化とそれに伴う QI 値の変化を示したものである。この場合の“bare land”は市街地部分を除去した値である。まず、石垣島南側領域内の新川流域、宮良川流域、名蔵川流域の結果を見ると、3流域とも QI 値は概して90年代前半に増加していることがわかる。また、新川流域は、他の2流域に比べて“bare land”の割合が高くなっている。

一方、石西礁湖内の小浜島東部、小浜島西部、黒島の結果を見ると、小浜島東部では2003年冬に QI 値が下がっているものの全体的に QI 値が増加傾向にあり、小浜島西部と黒島では、2000年以降、増加傾向が顕著になっている。

4. おわりに

本研究では、わが国で最大規模のサンゴ礁であり、そ

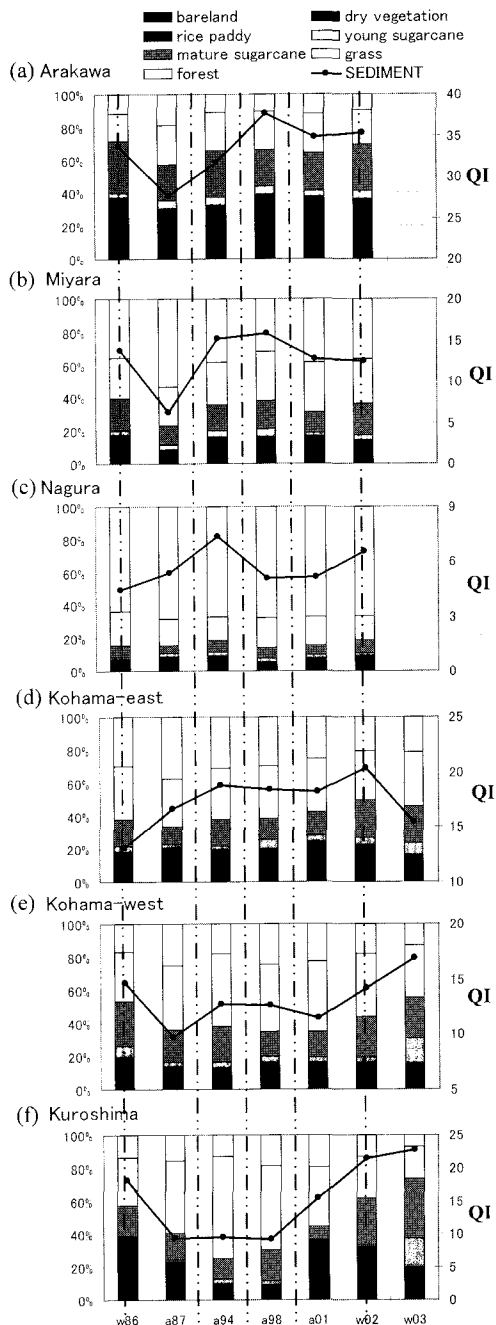


図-6 部分小領域ごとの土地被覆状況ならびに QI 値の変遷

の貴重な役割にもかかわらず、近年生態系劣化の懸念が大きくなってきている石西礁湖の保全・再生策立案に寄与するべく、これまでの約20年間に及ぶ期間の LANDSAT 画像の解析から、石西礁湖内の海底被覆状態の変遷と、石西礁湖内及び周辺陸域における土地被覆状態の変遷を調べ、両者の関係について検討した。

その結果、石西礁湖内の海底被覆状態、特にサンゴ被覆率が近年減少傾向にあることが示された。そして、石西礁湖内のいくつかの部分海域ごとに詳しく調べた結果から、サンゴ被覆率が1997年頃にはいったん回復していたものの、1998年のサンゴ白化によってその後大きく落ち込み、最近では若干回復傾向にあるけれども、海域によっては減少が続いていること、等が明らかにされた。

一方、陸域の解析から、石西礁湖内陸域での土地被覆状態およびそれに伴う赤土流出指標の経年変化は石垣島南部領域のそれとかなり異なり、前者のほうが赤土流出指標の近年の増加傾向が顕著であることがわかった。また部分陸域ごとに調べてみた結果から、特に小浜島西部や黒島での赤土流出指標値の近年の増加傾向が顕著であることが示された。

概していうと、石西礁湖内陸域の土地被覆状態の変化に伴う赤土流出指標の近年の増加パターンの方が石垣島南部領域のさまざまな流域での変化よりも石西礁湖内のサンゴ被覆率の経年変化パターンに対応している。しかし、経年的な変化パターンの類似性だけで石西礁湖海域への影響度の大きさを論じることには限界があると考えなければいけない。赤土流出の量的な規模は、やはり石垣島南部領域の方がかなり大きいので、その意味で、陸域と海域をつなぐ輸送プロセスの内容を明らかにして行く努力を並行して行っていく必要がある（田村ら、2005）。

また、ここで示した土地被覆状態のリモートセンシング画像解析では、グリーンベルト設置や沈砂池改善などの赤土防止策の効果を評価することは出来ない。これについては別途検討が必要である。

謝辞：本研究は、環境省平成16年度石西礁湖自然再生調査による調査研究委託および日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 A(1)(一般)(研究代表者：灘岡和夫、課題番号：14205071)、同基盤研究 A(1)(海外学術調査)(研究代表者：灘岡和夫、課題番号：15254002)を得て行ったものであることを付記する。

参 考 文 献

- 田村仁・灘岡和夫・鈴木庸孝・宮澤泰正・三井順（2005）：沖縄・石西礁湖自然再生計画立案のための熱・物質輸送数値シミュレーション，海岸工学論文集，第52巻，（印刷中）
- 比嘉榮三郎・大見謝辰男・仲宗根一哉・橋本裕彰（1997）：沖縄県における各種作物の作物係数，沖縄県衛生環境研究所報，第31号，pp. 147-151.
- Paringit, E. C., and Nadaoka, K. (2003): Sediment yield modelling for small agricultural catchments: land-cover parameterization based on remote sensing data analysis, *Hydrological Processes*, 17, pp 1845-1866.
- Paringit, E.C., and K. Nadaoka (2004): Deriving relationships between reef sedimentation and inland erosion characteristics based on field observation data, hydrologic modeling and remote sensing analysis, *Proc. Asia-Pacific Coasts (APAC) 2003*, Japan, pp. 286-287.