

既存情報に基づく海域および陸域特性を反映させた 沖縄島のサンゴ礁区分の試み

金城孝一・仲宗根一哉

Preliminary Study of Coral Reef Classification of Okinawa Island by Terrestrial and Coastal Characteristics

Koichi KINJO and Kazuya NAKASONE

要旨：サンゴ礁海域の環境は海域のみで決定されてはならず、隣接する陸域の影響も大きい。サンゴ礁生態系への負荷は、農地等からの土砂流出、畜舎排水や下水道未整備による有機汚濁など、陸域での人間活動が起因する事項が多く、本県でも赤土等の流出や、富栄養化などの水質悪化などの原因によるサンゴ礁生態系の衰退が叫ばれている。健全なサンゴ礁生態系を保全・管理するには、サンゴ礁海域のみならず、影響を及ぼしている隣接陸域や海象・気象特性の影響を考慮し総合的に進めていく必要がある。本稿ではこれら諸情報を組み込むことにより、より多面的・総合的な観点に基づくサンゴ礁区分を試みた。総合的に分析・解析を行うために、地形、地質、土壌、土地利用などの自然環境情報や港湾、漁場、レクリエーションなどの社会環境情報などを集約し、各種環境情報を GIS（地理情報システム）データとして整備した。

収集した各情報を重ね合わせることで陸域・海域の各々で総合評価図（4 区分）を作成した。さらに陸域～海域評価を統合すると、沖縄島周辺のサンゴ礁海域は 16 タイプに区分できた。

Key words： GIS(地理情報システム), サンゴ礁区分, サンゴ礁生態系

I はじめに

サンゴ礁は大きく 3 つの形、環礁、堡礁および裾礁に分類され、このような従来のサンゴ礁区分の多くは海底地形などの海域特性のみに基づいている。しかしサンゴ礁海域の環境は海域のみで決定されてはならず、隣接する陸域の影響も大きい。サンゴ礁生態系への負荷は、農地等からの土砂流出、畜舎排水や下水道未整備による有機汚濁など、陸域での人間活動が起因する事項が多く、本県でも赤土等の流出や、富栄養化などの水質悪化などの原因によるサンゴ礁生態系の衰退が叫ばれている。

健全なサンゴ礁生態系を保全・管理するには、サンゴ礁海域のみならず、影響をおよぼしている隣接陸域や海象・気象特性の影響を考慮し総合的に進めていく必要がある。沿岸管理と自然利用規制のツールとして MPA（Marine Product Area: 海洋保護区）があるが、その MPA は世界各地で設定され、設定後も計画の改善等が行われている（GBRMPA 2003¹⁾ ほか）。

また GIS（地理情報システム）は地図を重ね合わせ、データの位置関係を視覚的に理解しやすい地図を作成することが容易であり、作成した GIS データを用いて集計やシミュレーションを行うことが可能である。

本稿ではサンゴ礁生態系を効率よく保全・管理するための

ゾーニングの基礎資料にすべく、諸情報を GIS に組み込み、GIS を活用することで海域情報のみならず、隣接する陸域情報を組み込み、より多面的・総合的な観点に基づくサンゴ礁区分の可能性を検討した。

II 方法

1. 環境データの GIS データ整備

総合的に分析・解析を行うために、基本となる自然環境情報や社会環境情報等の各種基本情報を集約した。各種基本情報を GIS（地理情報システム）データとして整備した（表 1）。

(1) 収集データ

- 1) 風向・風速：沖縄島内気象観測所における風向・風速の 1 時間データを引用した（気象庁提供データ²⁾）。
- 2) 流域界：流域情報を示すため「赤土等流出危険度予測評価システム³⁾」における調査結果を引用した。
- 3) 土壌・地質・地形分類：表層部分の地質情報を示すため、沖縄県土地分類基本調査データ⁴⁾を引用した。
- 4) 土地利用：土地利用の現況を示すため、沖縄県土地分類基本調査データ⁴⁾を引用した。
- 5) 自然環境の保全に関する指針：自然環境や社会環境情報を総合的に評価している「自然環境の保全に関する指針⁵⁾」をデジタル化し、引用した。

表 1. 収集ベクトルデータ一覧

収集情報		備考
流域図		沖縄県環境保全課
土地分類基本調査	地形分類図	沖縄県土地対策課
	土壌図	沖縄県土地対策課
	表層地質図	沖縄県土地対策課
土地利用規制現況図	自然公園地区図	沖縄県土地対策課
	海中公園地区図	沖縄県土地対策課
	農用地区域図	沖縄県土地対策課
	漁港区域図	沖縄県土地対策課
	港湾区域図	沖縄県土地対策課
自然環境の保全に関する指針		沖縄県自然保護課
赤土等堆積状況		沖縄県環境保全課
サンゴ被度		沖縄県環境保全課
レクリエーション	ビーチ	美ら島 (財)沖縄コンベンションビューロー、2007)
	キャンプ	美ら島 (財)沖縄コンベンションビューロー、2007) 沖縄の潮干狩り(ワイッシング沖縄社、2000)
	潮干狩りポイント	美ら島 (財)沖縄コンベンションビューロー、2008)
	ダイビングスポット美ら島	(財)沖縄コンベンションビューロー、2008)

6) 赤土等堆積状況：「赤土等流出実態調査⁶⁾」の底質中懸濁物質含量 (SPSS : content of Suspended Particles in Sea Sediment) 調査結果を引用した。SPSS は赤土堆積の指標として大見謝が考案し⁷⁾、行政や大学の調査研究のみならず、環境教育などにも広く活用されている。

7) サンゴ被度：「赤土等流出実態調査⁶⁾」の調査結果を引用した。

8) レクリエーション：沖縄県内のレクリエーションスポットを把握するため、キャンプ、ビーチ、潮干狩りポイント、ダイビングスポットについて情報を収集した^{8), 9)}。

(2) GIS ソフト

GIS ソフトは SuperMap Deskpro 2008 (日本スーパーマップ株式会社) および MapInfo professional version7.5 (マップインフォ社) を使用した。

2. 解析対象

沖縄島および周辺離島

3. GIS による情報解析

(1) 海域地形情報

沖縄島周辺のサンゴ礁はほとんどが裾礁に分類される。目崎の報告¹⁰⁾を参考に沖縄島周辺のサンゴ礁を I 干瀬型、II 干瀬・イノー型、III イノー型に、さらに港湾地区や内湾性の強い海域のIV内湾型・港湾を加え 4 つに細分した。

(2) 土壌 (赤土等) 流出指標 (S)

赤土等流出防止条例が施行され、開発現場からの流出は減少している一方、農地からの流出が全流出量の約 7 割を占めるようになってきている。主たる流出源を農地とし土壌流出の指

標について検討した。

1) 利用データ

- ・土壌図
- ・土地利用規制現況図
- ・流域図

2) 分析方法

土壌図は「土壌統」により土壌分類されている。この土壌統による分類を、沖縄県で代表的な土壌として紹介されている国頭マージ、島尻マージ、ジャーガル、沖積土壌の 4 種に再分類した。再分類にあたっては、「地力保全報告書¹¹⁾」も参考にした。

土壌の浸食性を示す指標として、USLE (Universal Soil Loss Equation) で用いられている土壌係数を用いた。その値は比嘉らの報告¹²⁾を参考に、国頭マージおよびジャーガルを 0.3、沖積土壌を 0.2、島尻マージを 0.1 に設定した。

分析・集計は各情報を GIS ソフト上で重ね合わせ、農用地面積 (ha) に土壌係数を掛けることで計数化し、流域ごとに集計した。

(3) 栄養塩流出指標 (N)

栄養塩流出による富栄養化もサンゴ礁衰退の原因の一つに挙げられているため、栄養塩の流出指標を検討した。

1) 利用データ

- ・平成 19 年度版統計データ¹³⁾
- ・市町村界

2) 分析方法

市町村ごとに a. 家庭排水由来および b. 家畜排泄物由来に分け、集計した。

a. 家庭排水由来

集計・計算を簡易にするため幾つかの仮定を設定した。対象を下水道に接続していない家庭排水とした。下水道に接続していない家屋であっても、し尿は汲み取り式と考えられるため、直接海域に流出せず、雑排水のみが流出すると仮定した。市町村人口と下水道普及率から未利用 (未整備) 人口を割りだし、原単位を乗じた値を指標とした。

b. 家畜排泄物由来

家畜の排泄物全てが海域に流出するケースを仮定した。市町村毎に家畜頭 (羽) 数に家畜種類毎の原単位を乗じた値を負荷量指標とした。

(4) 自然環境の保全に関する指針 (I)

1) 利用データ

- 自然環境の保全に関する指針 (陸域)
- 流域図

2) 分析方法

「自然環境の保全に関する指針」では自然環境や社会環境

情報を収集・整理し、3次メッシュ(約1km×約1km)毎に環境を評価している。この指針を流域毎に再編集した。同じ流域に複数の指針値が含まれる場合、面積比に応じて計算した。

III 結果および考察

1. 気象情報

図1に沖縄島内気象観測所における風配図を示す。

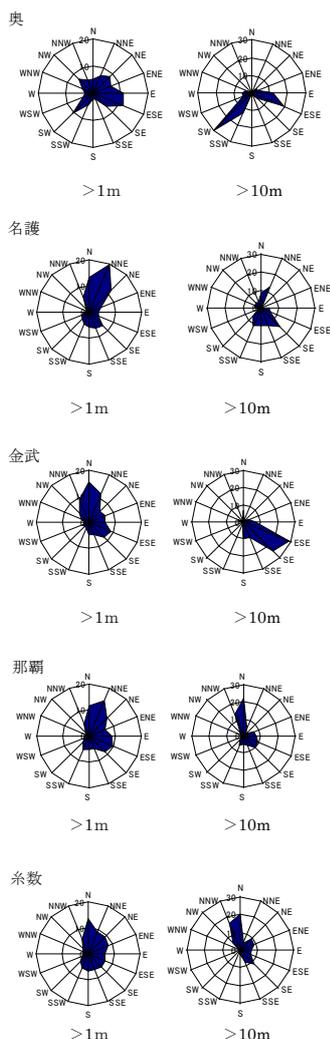


図1. 沖縄島内気象観測所における風配図

那覇 (2001~2007), その他は (1998~2007)

2. 海域地形情報

図2にサンゴ礁地形を基にした海域タイプ区分を示す。海域の分けはクチ(リーフの切れ目)を参考に海水の流れを考慮した。沖縄島周辺では冬期、北よりの風が卓越する。「赤土等汚染海域定点観測調査¹⁴⁾」や「赤土等に係る環境保全目標設定基礎調査¹⁵⁾」の調査結果からも冬期季節風による波浪の影響をうけ、堆積していた赤土が再浮上し、海域が浄化されることが確認されている。冬期季節風の影響は沖縄島

西海岸の干瀬・イノー型で顕著に表れたため、干瀬・イノー型を更に細分した。したがって海域を1干瀬型, 2干瀬・イノー型(冬期波浪の影響有), 3干瀬・イノー型(冬期波浪の影響無), 4イノー型, 5内湾型・港湾の5タイプに細分した。

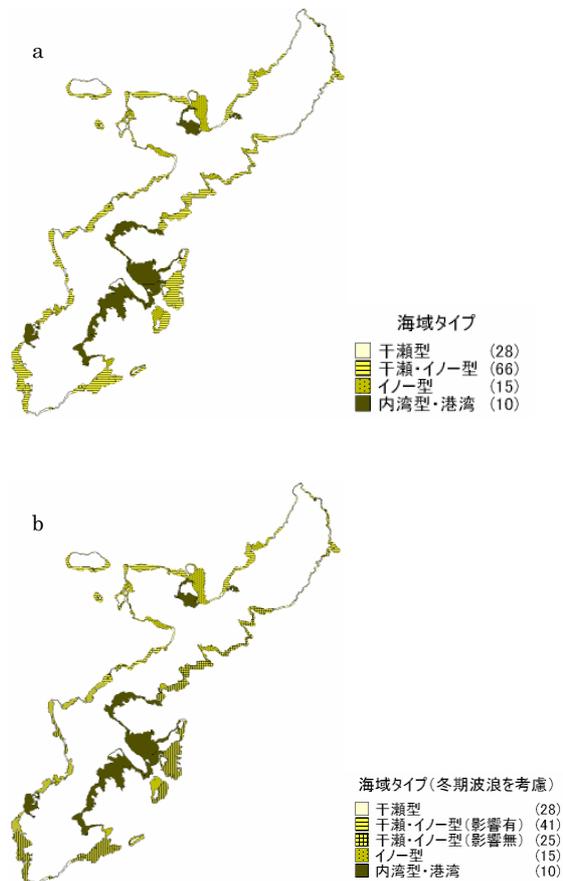


図2. 海域タイプ区分図

(a)は目崎の区分を参考に作成, (b)はさらに冬期波浪を考慮

3. 陸域情報

(1) 土壌(赤土等)流出指標(S)

式(1)により流域ごとに計算, 集計を行い, 5つのランクに区分した(表2)。計算結果が小さい, すなわち低いランクになれば, 農地面積が狭く, 赤土等の流出の危険性がより低くなり, 逆に計算結果が大きく, 高ランクになるほど農地面積が広く, 赤土等の流出の危険性がより高くなることを表す。図3に流域ごとの土壌(赤土等)流出指標を示す。

今回検討した指標では, 土壌流出量予測で通常必要な因子である傾斜や作付け等の情報を与えていない。これは本稿では正確な土壌流出量を推測することを目的としておらず, 陸域の特性, 土地利用を把握し, 簡易的な手法による評価を目的としているためである。

$$S = \text{流域内の農地面積 (ha)} \times \text{土壌係数} \quad \dots (1)$$

(2) 栄養塩流出指標 (N)

図4に市町村ごとの栄養塩流出指標を示す。窒素負荷およびリン負荷ともに、5つのランクに区分した(表3)。現地踏査をしていないことや、使用した資料が市町村単位という大きな単位になってしまったため、流域(字区)の特徴を必ずしも表していない。そのため、面積の大きな市町村は過大評価となっている可能性もある。以上のことは今後の検討課題である。

表2. 土壌(赤土等)流出指標(S)区分

計算結果	評価ランク
$S = 0$	1
$0 < S \leq 5$	2
$5 < S \leq 10$	3
$10 < S \leq 20$	4
$20 < S$	5

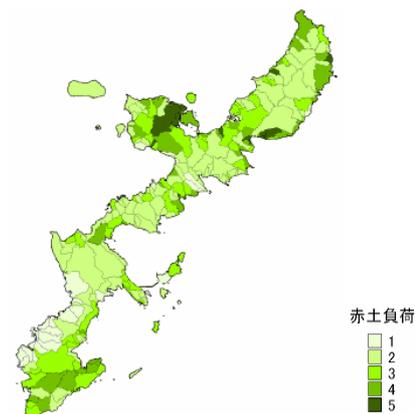


図3. 土壌(赤土等)流出指標図(S)

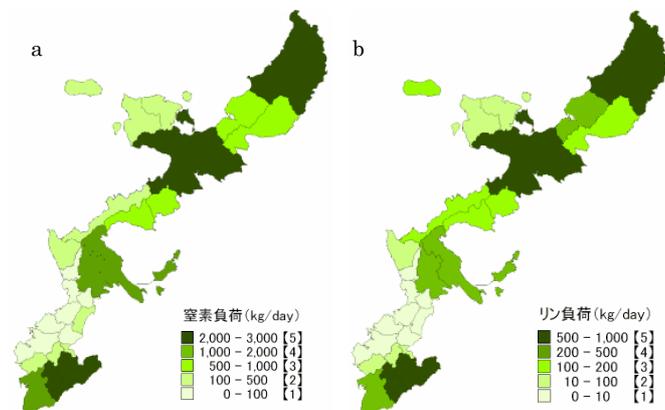


図4. 栄養塩流出指標図(N)

(a)は窒素負荷, (b)リン負荷

表3. 栄養塩流出指標(N)区分

窒素負荷(kg/day)	リン負荷(kg/day)	評価ランク
0 ~ 100	0 ~ 10	1
100 ~ 500	10 ~ 100	2
500 ~ 1,000	100 ~ 200	3
1,000 ~ 2,000	200 ~ 500	4
2,000 ~ 3,000	500 ~ 1000	5

4. 海域情報

(1) 赤土等堆積状況 (SPSS)

図5に赤土等流出実態調査報告書より沖縄島各地で測定された赤土等堆積状況(SPSS)を示す。分析結果をもとに、5つのランクに区分した(表4)。

(2) サンゴ被度

図6に赤土等流出実態調査報告書より沖縄島各地で観測されたサンゴ被度を示す。観測結果をもとに、5つのランクに区分した(表5)。

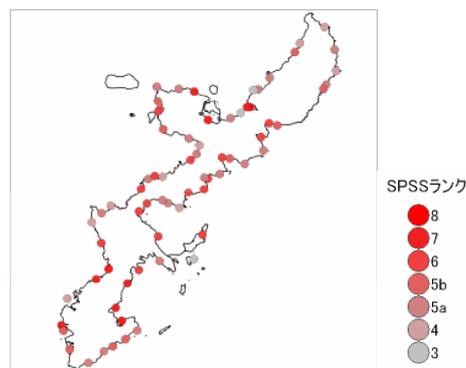


図5. 赤土等堆積状況図

表4. 赤土等堆積状況 (SPSS) 区分

SPSS(kg/m³)	SPSS ランク	評価ランク
$SPSS < 5$	1,2,3	1
$5 \leq SPSS < 30$	4,5a	2
$30 \leq SPSS < 50$	5b	3
$5 \leq SPSS < 200$	6	4
$200 \leq SPSS$	7,8	5

未調査海域は評価ランクを1とした。

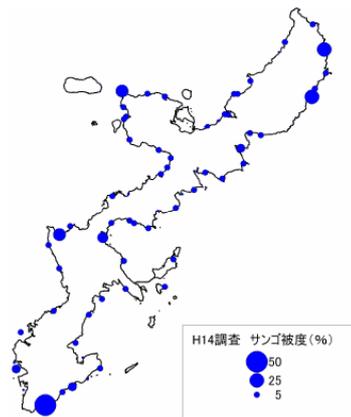


図 6. サンゴ被度状況

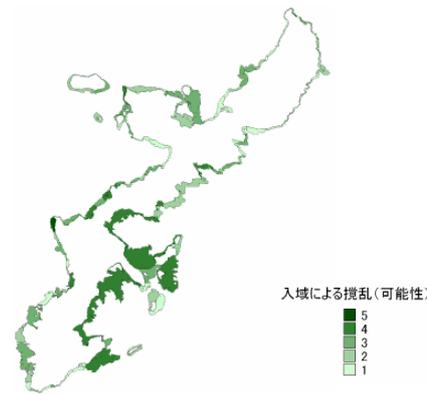


図 7. 入域による人的攪乱数

表 5. サンゴ被度状況区分

サンゴ被度	評価ランク
75% ≤ 被度	1
50% ≤ 被度 < 75	2
25% ≤ 被度 < 50	3
5% ≤ 被度 < 25	4
被度 < 5%	5

未調査海域は調査全体の最頻値であったサンゴ被度 5%を参考にし、評価ランク 4 とした。

(3) 入域による人的攪乱

サンゴ礁海域への入域による攪乱を評価するため、海域毎に各レクリエーションスポットの有無やリゾート地が隣接しているかを確認した。海域毎に攪乱可能性の要因数を合計 (0~4) し、その結果から 5 つのランクに評価した (表 6, 図 7)。

表 6. 入域による人的攪乱区分

攪乱数	評価ランク
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5

海域に各レクリエーションスポットを有しているもしくは隣接している個数をカウントしたもの。

5. 陸域評価図および海域評価図の作成

陸域・海域毎に情報を集約し、重ね合わせることで総合評価図の作成を検討した。各々の項目でのランクを用い、総合評価を行った。集計にあたってはランクに応じた係数を与えた (表 7)。陸域に関しては「自然環境の保全に関する指針」で様々な項目を評価していること、栄養塩流出指標には幾つかの検討課題が含まれることから重み付けを加えた (表 7)。また陸域評価は式 (2) により集計し、図 8 に陸域評価図を示す。海域は特に重み付けを行わず、式 (3) により集計し、図 9 に海域評価図を示す。

$$\text{陸域総合評価 (U)} =$$

$$1/3 * \Sigma (\text{各陸域情報ランク係数} \times \text{重みづけ}) \dots(2)$$

$$\text{海域総合評価 (U)} =$$

$$1/3 * \Sigma (\text{各海域情報ランク係数}) \dots(3)$$

(2)式で集計した陸域評価および (3) 式で集計した海域評価とともに、計算値が小さくなるほど自然により近く、負荷がより少ないと表現でき、逆に計算値が大きくなるほど負荷がかかっている可能性が高いと考察できる。

6. 陸域情報と海域情報の統合

前項では陸域評価と海域評価を分けて行ったが、陸域および海域総合評価図を重ね合わせ、陸域~海域を統合した総合評価図を作成について検討した。陸域の負荷は河川を介するため、陸域の情報は河川河口が接している海域と連結した。河川の無い流域は、傾斜等から表流水が流入する可能性がある海域と連結させ評価した。陸域と海域の統合的な評価は図 10 のとおりで 4 つに区分した。

図 11 に陸域および海域を統合した総合評価図を示す。

表7. 陸域評価図およびの海域評価図の作成に関する各係数

(a) 陸域情報の重みづけ

	重みづけ
①赤土流出	0.3
②栄養塩流出	0.2
③自然環境の保全に関する指針	0.5

(b) 評価ランクと係数

評価ランク	係数
1	1.00
2	0.75
3	0.50
4	0.25
5	0.00

(c) 総合評価区分

総合評価	
$0.7 \leq U$	I
$0.5 \leq U < 0.7$	II
$0.3 \leq U < 0.5$	III
$U < 0.3$	IV

海域総合評価

		海域総合評価			
		I	II	III	IV
陸域総合評価	I	A	A	B	B
	II	A	B	B	C
	III	B	B	C	C
	IV	B	C	C	D

A	B	C	D
---	---	---	---

自然により近く、
 負荷がより少ない ← 可能性が高い → 負荷がかかっている

図10. 陸域情報と海域情報を統合した総合評価区分

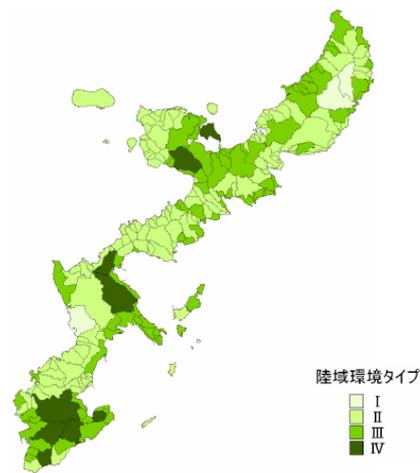


図8. 陸域評価図

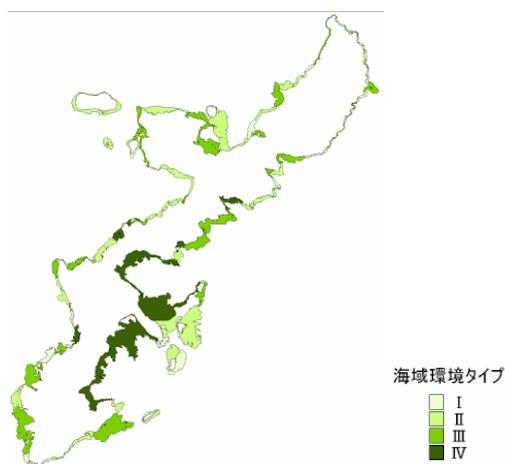


図9. 海域評価図



図11. 陸域情報と海域情報を統合した総合評価図

7. サンゴ礁区分（地形）も含めた総合評価図の作成

前項では陸域・海域の利用形態や現状の情報を利用し評価した。ここではサンゴ礁の地形による特徴を加え、サンゴ礁区分（地形）も含めた総合評価図の作成を検討した。サンゴ礁地形では5つに区分され、陸域～海域を統合した総合評価では4つに区分されている。その両者を掛け合わせると20通りになるが、沖縄島周辺では4つで該当が無く、計16タイプに分けられた（図12）。図13にサンゴ礁区分（地形）も含めた総合評価図を示す。

V 参考文献

陸域・海域統合総合評価

海域タイプ (地形)

	I	II	III	IV	V
A	1	4	7	10	13
B	2	5	8	11	14
C	3	6	9	12	15
D	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	16

図 12. 陸域情報と海域情報を統合した総合評価

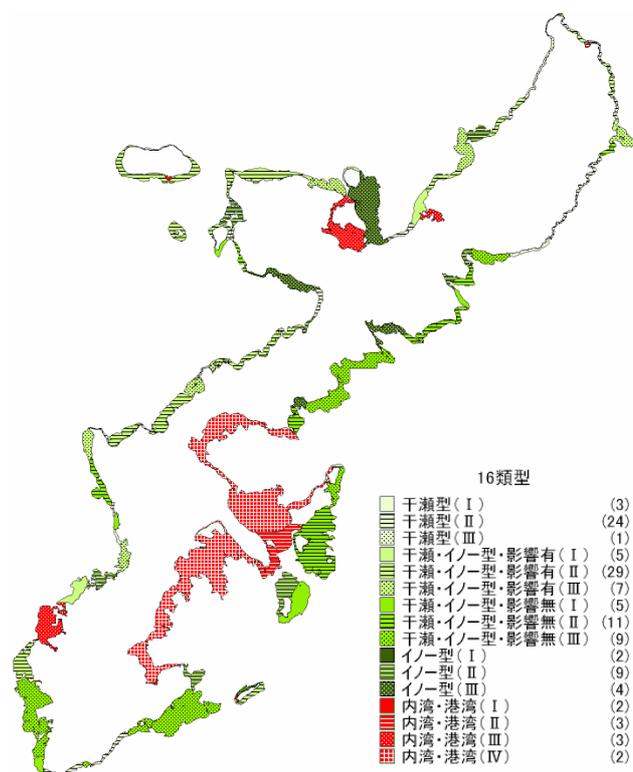


図 13. サンゴ地形を含めたサンゴ礁類型図

IV 課題とまとめ

本稿では既存情報をもとに評価を行い、沖縄島周辺のサンゴ礁海域をその地形や海象、隣接している陸域・海域の環境特性を考慮することで、多面的・総合的な観点に基づくサンゴ礁区分を試み、沖縄島周辺のサンゴ礁を 16 タイプにわけることができた。

使用した報告書の調査年が一致していない等の理由から、必ずしも現状を正確に反映しているわけでもなく、いくつかの仮定をおいて集計・区分したため、その仮定や評価の妥当性について検証が必要など検討課題も残っている。

しかしこのサンゴ礁区分の手法は、サンゴ礁生態系を効率よく保全・管理するための基礎資料として用いることが可能と考えられる。

- 1) GBRMPA (2003) report on the Great Barrier Reef marine park zoning plan 2003. Great Barrier Reef Marine Park Authority. Townsville, pp144.
- 2) 気象庁(1998～2007) 気象庁月報. CD-ROM.
- 3) 沖縄県環境保全課 (2006) 平成 17 年度流域赤土流出防止等対策調査農地における赤土等流出危険度調査報告書. 沖縄県環境保全課, 那覇, 590pp.
- 4) 沖縄県土地対策課 (1989) 土地分類基本調査. GIS データ.
- 5) 沖縄県自然保護課 (1998) 自然環境の保全に関する指針—沖縄島編—. 沖縄県自然保護課, 那覇, 880pp.
- 6) 沖縄県環境保全課 (2003) 平成 14 年度流域赤土流出防止等対策事業赤土等流出実態調査報告書. 沖縄県環境保全課, 那覇, 240pp.
- 7) 大見謝辰男 (1987) 沖縄県の赤土汚濁の調査研究(第 2 報)—赤土汚濁簡易測定法と県内各地における赤土濃度—. 沖縄県公害衛生研究所報, 20 : 100-110.
- 8) 沖縄観光コンベンションビューロー (2007) 美ら島 2007—沖縄県観光情報ファイル—. 沖縄観光コンベンションビューロー, 那覇, 779pp.
- 9) フィッシング沖縄社 (2000) 家族で楽しむ沖縄の潮干狩りとキャンプ場マップ. フィッシング沖縄社, 沖縄, 66pp.
- 10) 目崎茂和 (1980) 琉球列島における島の地形的分類とその帯状分布. 琉球列島の地質学研究, 5 : 91-101.
- 11) 沖縄県農業試験場(1979)地力保全基本調査総合成績書. 沖縄県農業試験場, 那覇, 316pp.
- 12) 比嘉榮三郎・大見謝辰男・花城可英・満本裕彰 (1995) 沖縄県における年間土砂流出量について. 沖縄県衛生環境研究所報, 29 : 83-88.
- 13) 沖縄県企画部統計課編 (2007) 沖縄県統計年鑑第 50 回 (平成 19 年度版). 沖縄県統計協会, 那覇, 494pp.
- 14) 沖縄県環境保全課 (2009) 平成 20 年度海域における赤土堆積状況等定点観測調査報告書. 沖縄県環境保全課, 那覇, 173pp.
- 15) 沖縄県環境保全課 (2009) 平成 20 年度赤土等に係る環境保全目標設定基礎調査報告書. 沖縄県環境保全課, 那覇, 427pp.