

## 市民参加による沖縄の海草藻場のモニタリング調査

吉田 正人<sup>1\*</sup>・河内 直子<sup>2</sup>・仲岡 雅裕<sup>3</sup><sup>1</sup> 日本自然保護協会・<sup>2</sup> 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター厚岸臨海実験所<sup>3</sup> 千葉大学大学院自然科学研究科

Citizens' involvement for seagrass watch survey in Okinawa Island

Masahito YOSHIDA<sup>1\*</sup>, Naoko KOUCHI<sup>2</sup> and Masahiro NAKAOKA<sup>3</sup><sup>1</sup>Nature Conservation Society of Japan, <sup>2</sup>Akkeshi Marine Station, Hokkaido University,<sup>3</sup>Graduate School of Science and Technology, Chiba University

要旨：沖縄島の最大の海草藻場は名護市辺野古沖の173 ha、第二の海草藻場は沖縄市泡瀬沖の112 haであるが、いずれも米軍普天間飛行場の移設や埋め立て計画によって消失の危機にある。これらの開発活動に先立つ環境影響評価には問題点も指摘されており、その監視のためには、開発サイドから独立した市民による科学的な調査が有効であると考えられる。そこで、日本自然保護協会は、2002年5月より、沖縄県名護市において、市民参加による海草藻場モニタリング調査「沖縄ジャングサウォッチ」を実施した。調査では、まず、ボランティアとして参加した一般市民を対象に、海草の識別方法や調査方法の講習を行ったうえで、スノーケル潜水を利用して、実際の海草藻場において被度調査を行った。得られた調査データについては、目視による被度判定の個人差を補正し、海草各種の分布および被度を解析した。海草は、海岸線からの距離に応じて、種ごとに特徴的な分布を示した。また、辺野古の海草藻場については、空中写真による分布域の読みとりでは、実際の分布面積を過小評価していることが判明した。したがって、米軍飛行場移設にともなう環境影響評価においては、空中写真に基づいた予測では不十分であり、現地調査から得られる海草の種ごとの分布および被度の変異も考慮したうえで環境保全措置をとる必要が示唆された。今後の市民参加のモニタリング活動においては、特定事業の監視のためだけでなく、赤土流出等の局所的な環境汚染、および温暖化問題等に代表される地球規模の環境変動の影響などを視野に入れた、より広域かつ長期的な調査体制を整えることが望まれる。

キーワード：海草藻場、市民参加調査、空間分布、被度

Abstract: The largest seagrass bed along the coast of Okinawa Island, southwestern Japan, is located offshore from Henoko and covers 173 ha; the second largest is offshore from Awase and covers 112 ha. Both of these seagrass beds are threatened by the proposed construction of a U.S. military airport and by reclamation. To ensure that the environmental impact assessment compiled before development is fair and correct, an independent scientific survey conducted by citizens should be effective to monitor the development. Given these facts, the Nature Conservation Society of Japan decided to launch a community-based Seagrass-Watch monitoring program called "Okinawa Jangusa-Watch". In this program, volunteers were first trained to identify seagrasses and in the survey method; then, they measured the coverage of each seagrass species by snorkeling at two sites (Kayo and Henoko). After calibrating each observer's error, the distribution and abundance of seagrass were analyzed for each site. Each seagrass species had a specific distribution pattern, based on the distance from the shore.

At Henoko, the seagrass coverage determined from the analysis of aerial photos was underestimated, as compared to the

\* 吉田正人 Masahito Yoshida

〒102-0075 東京都千代田区三番町5-24 山路三番町ビル3F 日本自然保護協会

Nature Conservation Society of Japan, 3F Yamaji-Sanbancho Bld. 5-24 Sanbancho, Chiyoda, Tokyo 102-0075, Japan

e-mail: myoshida@nacsj.or.jp

2003年8月29日受付, 2003年10月9日受理

coverage measured in the ground survey. A mitigation plan that considers the variation in species composition and seagrass coverage obtained using the ground survey is needed to assess the effects of relocating the U.S. military airport. Wide-range, long-term monitoring of seagrass beds by citizens should be effective with regard to monitoring the impact of red soil erosion and global environment change on seagrass beds, and in monitoring specific development projects.

Key Words: Seagrass bed, Citizens' monitoring, Spatial distribution, Coverage

## 序

アマモなど海産種子植物である海草（うみくさ）を主体として構成される藻場は、海草藻場（seagrass bed）と呼ばれる。海草藻場は高い一次生産量を持つと共に、魚類、甲殻類などの水産有用種や、ジュゴン（*Dugong dugon*）、ウミガメ類など絶滅が心配される希少種などの多くの動物の生息場所となっていることから、沿岸海洋生態系において重要な役割を担っている（相生 2000）。海草は世界に約 60 種類生育しており、これまで日本ではそのうち 16 種が記録されている（大森 2000）。沖縄県では、アマモ科のコアマモ（*Zostera japonica* Ascherson and Graebner）、トチカガミ科のウミシヨウブ（*Enhalus acoroides* (L. f.) Royle）、ウミヒルモ（*Halophila ovalis* (R. Brown) Hooker）、ヒメウミヒルモ（またはトゲウミヒルモ *Halophila decipiens* Ostenfeld）、リュウキュウスガモ（*Thalassia hemprichii* (Ehrenberg) Ascherson）、シオニラ科のボウバアマモ（*Syringodium isoetifolium* (Ascherson) Dandy）、リュウキュウアマモ（*Cymodocea serrulata* (R. Brown) Ascherson and Magnus）、ベニアマモ（*Cymodocea rotundata* Ehrenberg and Hemprich ex Ascherson）、ウミジグサ（*Halodule uninervis* (Forsskal) Ascherson）、マツバウミジグサ（*Halodule pinifolia* (Miki) den Hartog）の 10 種が確認されている（当真 1999）。このうち、沖縄島東海岸には、ウミシヨウブを除く 9 種が分布している（当真 1999）。

海草は、この地域に生息するジュゴンの餌となるため、沖縄ではジャングサ（ジュゴン草）と呼ばれる。海草藻場は、干潟、マングローブ林とともにイノー（サンゴ礁池）内部の生態系を構成する重要な要素であるが、沖縄の海草藻場は、埋め立てや赤土流出などによって危機に瀕している。環境庁の第 4 回自然環境保全基礎調査（環境庁 1994）によれば、沖縄島の最大の海草藻場は名護市辺野古沖の 173 ha、第二は沖縄市泡瀬沖の 112 ha であるが、いずれも米軍飛行場の移設や埋め立て計画によって消失の危機にある。これらの開発活動に際しては、事業主である政府および地方自治体により、環境影響評価

法に基づく環境アセスメントが行われる。しかし実際には、辺野古サンゴ礁池内における海草藻場面積を過小評価していることや、泡瀬干潟における代償措置としての海草藻場移植が移植地および採取地において海草に大きな影響を与えていることなど、多くの問題点が指摘されている（日本自然保護協会 2002, 2003）。事業者による環境影響評価が正当であるかを評価するには、事業と直接利害関係のない市民が自らの手で科学的調査を行うことが有効であると考えられる。

このような市民参加型の海草藻場の調査および保護活動の代表としては、オーストラリアにおけるシーグラスウォッチ調査が知られている（仲岡 2000）。シーグラスウォッチでは、約 300 人のボランティアが、クイーンズランド州の約 60 定点において、海草藻場の分布や現存量などを調査している（McKenzie *et al.* 2001）。ボランティア参加者に対して、専門家が組織的に調査方法の講習を実施した結果、多数の人員による広域かつ科学的な海草藻場調査が可能になり、その成果は保全海域の選定や周辺海域の開発計画に対する基礎資料として活用されている（仲岡 2000）。このような市民ボランティアによる科学調査を、日本においても実施できる体制を整えることは、海草藻場のみならず様々な生態系の保全を進める上でも有意義であると考えられる。

そこで、日本自然保護協会は、名護市辺野古沖を含む沖縄島北部東海岸一帯の海草藻場を対象に、市民参加型の海草モニタリング調査を企画し、「沖縄ジャングサウォッチ」という名のもと、2002 年 5 月から活動を開始した。本論文では、その調査概要について紹介するとともに、2002 年夏から秋の調査結果を報告する。また、得られた結果をもとに、本活動が今後の海草藻場保全に果たす役割について考察する。

## 方法

### 調査地と調査時期

沖縄島北部東海岸には、金武湾から国頭村沿岸にかけて大小の海草藻場が点在する（当真 1999）。ジャングサ

## 市民参加による沖縄の海草藻場のモニタリング調査

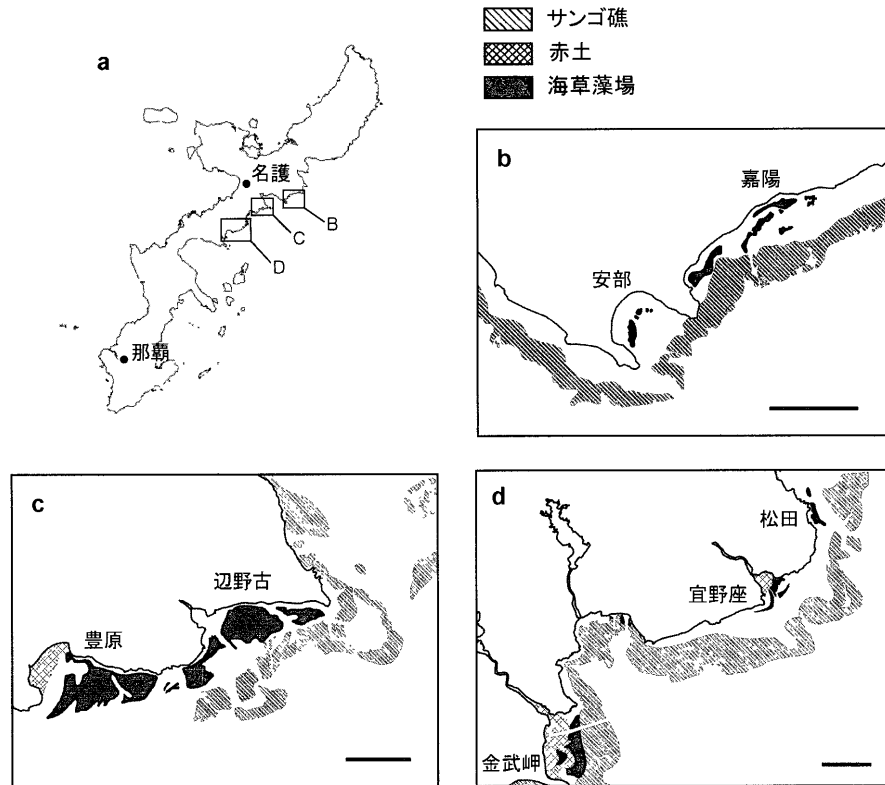


図1. 空中写真から読み取った沖縄島北東部におけるサンゴ礁・海草藻場・赤土の分布図. a: 調査地点位置図, b: 名護市嘉陽・安部, c: 名護市辺野古・豊原・久志, d: 金武町松田・宜野座・漢那・億首川. スケールバーは1 kmを示す.

ウォッチの調査地の選定にあたり、まず空中写真から海草藻場の分布の読みとりを行った。市販されている空中写真（日本地図センター）をもとに、名護市天仁屋岬から金武町金武岬までの藻場を目視で判別し、25,000分の1の地図上にプロットした（図1）。2002年5月には、名護市嘉陽から宜野座村松田までの海岸線沿いに予備調査を行い、各海草藻場の種構成を定性的に調査するとともに、現地へのアクセス方法などの確認を行った。以上の結果をもとに、沖縄県名護市嘉陽（北緯26度33分，東経128度07分）および辺野古（北緯26度30分，東経128度01分）の2ヶ所を定期調査地として選定した（図1b, c）。いずれもサンゴ礁のイノー（礁池）内に広がる海草藻場である。選定理由として、嘉陽は海岸から徒歩で直接アクセスできるため、初心者講習会などの活動に適していること、またジュゴンの摂食痕が多く観察されており、ジュゴンの主要な餌場と考えられることを考慮した。一方、辺野古については、沖縄島最大の海草藻場であること、また前述の米軍飛行場移設予定地であり、生物群集・生態系に関する早急かつ定量的な情報が求め

られていることが選定理由である。

2002年7月20日～21日に第1回沖縄ジャングサウォッチ調査を嘉陽で、2002年9月22日～23日に第2回調査を嘉陽および辺野古で、2002年11月3日～4日に第2回補足調査を辺野古および辺野古東部の豊原で、2003年2月1日～2日に第3回調査を嘉陽および辺野古で実施した。本稿では、主に嘉陽の第1回調査と辺野古の第2回調査の結果を報告する。

## 調査方法

ジャングサウォッチの調査員は、日本自然保護協会の会報やホームページなどを通じて募集した。募集にあたっては、スノーケル潜水に習熟していることを前提としたが、海草および調査方法に関する予備知識は求めず、毎回の調査初日に初心者講習会を行うことにより、必要な知識・技術を習得し、2日目以降に実際の調査に参加するという体制を採用した。講習会においては、海草藻場調査の専門家（河内および仲岡）が、調査域に出現す

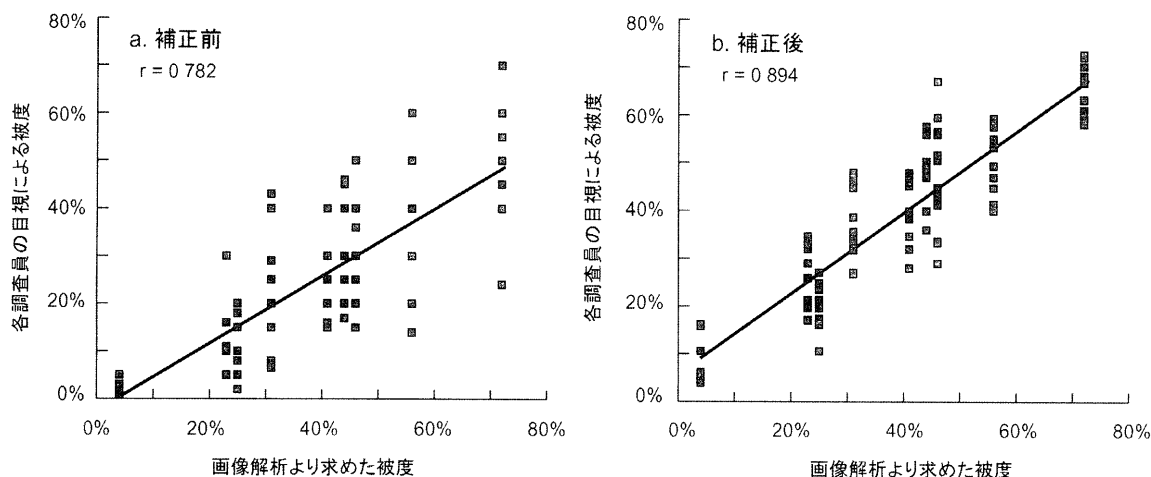


図2. 2002年7月の嘉陽でのキャリブレーションによる調査員の目視被度と実測被度との相関. 計10点のコドラートにおける全データについて, ロジスティック回帰式で補正する前後における相関関係の変化を比較した.

る海草類の識別方法および下記に述べる定量調査法を指導した.

定量調査は, 嘉陽, 辺野古いずれにおいても, 海岸線に対して水平・垂直方向に一定間隔でグリッド調査線を設定し, その交点を調査点とすることにより実施した. 嘉陽においては, 全地球測地システム (GPS) で定位した位置を基準として, 200 m × 200 m の範囲内に 50 m 間隔のグリッドを, 巻尺を用いて設定した (合計 25 点の調査点: 図3参照). また, 辺野古においては, 辺野古港近くの飛小 (トングワァー) 島とリーフ上の麻乱 (マナス) 岩を結ぶラインを基準として, その東西に 200 m 間隔で合計 12 本のグリッド調査線を海岸線と垂直方向に引いた. また, 海岸線と平行に海側に 200 m 間隔で 5 本のグリッド調査線を設定し, 両者の交点を調査点とした (図4参照). 調査には船を利用し, GPS を用いて調査点に接近した. 岸やリーフに近すぎて船を近づけることができなかつた地点を除く 46 点において調査を行った.

いずれの調査地においても, 被度調査はスノーケル潜水により行った. 各調査点から半径約 5 m の範囲内に, 50 cm × 50 cm の方形枠を無作為に 5 個設置し, (1) 時刻, (2) 水深, (3) 底質, (4) 海草全体の被度, (5) 海草の種ごとの被度を記録した. 被度は, 各調査員にあらかじめ配布された標準被度写真を参考にし, 葉が直立している状態で, コドラートの直上より観察して記録した.

複数の観察者による被度調査において生ずる推定誤差には, 系統的誤差 (例えば, ある観察者は被度を全体的に過大評価する傾向があるなどの理由により, 観察者ご

とに一定の方向に生ずる誤差) と, 非系統的誤差 (上記以外に生ずる偶然的な誤差) が存在する. そのうち, 前者に相当する調査員による被度判定基準の個人差を修正するために, キャリブレーション (補正) を実施した. 全調査点の調査終了後, 藻場内の 1 地点において, 方形枠を 10 個設置し, 調査員全員が全方形枠それぞれの被度を記録した. 補正用に設置した 10 方形枠内の海草被度の正確な定量には, デジタル写真で記録した画像を用いた. コンピューター画面上で, 5 cm 間隔で設置した格子点計 100 点における海草の有無を計数することにより, 正確な被度を求めた. 画像から求めた被度に対し, 各調査員の目視による被度データをロジスティック方程式

$$\log \left\{ \frac{y}{100} / \left( 1 - \frac{y}{100} \right) \right\} = a \log \left\{ \frac{x}{100} / \left( 1 - \frac{x}{100} \right) \right\} + b$$

$y$  は写真から求めた被度 (%)

$x$  は各調査員の目視判定による被度 (%)

を用いて回帰することにより, 調査員間の被度推定の系統的誤差を補正した. 各調査点における種数は 5 個の方形枠の出現種の総数で, 被度は 5 方形枠の平均値で表した.

## 結 果

### 空中写真および予備調査による海草藻場の分布の解析

空中写真から沖縄島北東部の海草藻場の分布を読みとった結果, 最大の海草藻場は, 名護市辺野古から豊原・久志の海岸に広がる海草藻場であった (図1). この海

## 市民参加による沖縄の海草藻場のモニタリング調査

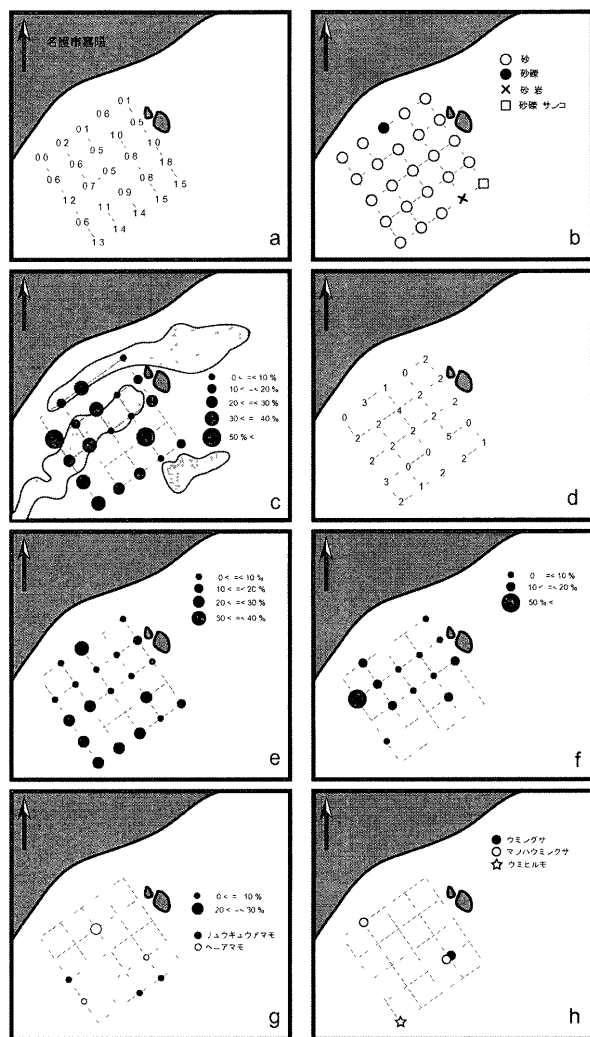


図3. 2002年7月の嘉陽における海草類の分布. 50 m間隔のグリッド調査線を設定し, その交点を調査点とした. a: 水深, b: 底質, c: 海草全体の被度 (黒丸) および空中写真から読み取った海草の分布域 (薄い灰色の部分), d: 種数, e: リュウキュウスガモ (*Thalassia hemprichu*) の被度, f: ボウバアマモ (*Syringodium isoetifolium*) の被度, g: リュウキュウアマモ (*Cymodocea serrulata*) とベニアマモ (*C. rotundata*) の被度, h: ウミジグサ (*Halodule uninervis*), マツバウミジグサ (*H. pinifolia*), およびウミヒルモ (*Halophila ovalis*) の分布域.

域では, 海岸線に平行して約4.5 km, 海岸線から垂直に約0.5 kmの範囲にかけて海草の分布が判別された. このほか, 名護市嘉陽, 安部, 宜野座村松田, 漢那, 金武町億首川河口から金武岬にかけて, まとまった海草藻場が確認された. 空中写真からは, 宜野座村の渦原 (かたばる) を中心に, 名護市久志, 宜野座村松田にかけて赤土の広がりが読みとれた.

2002年5月に実施した名護市嘉陽, 辺野古, 豊原, 宜野座村松田における予備調査の結果, 嘉陽, 辺野古, 豊原の海草藻場では, 沖縄島北東沿岸に生育する7種の海草すべてが確認された. 一方, 赤土が広がっている松田の海草藻場では, 観察された海草はボウバアマモとリュウキュウスガモの2種にとどまった.

## 調査体制, 調査効率, 調査精度

第1回から第3回の沖縄ジャングサウォッチの参加者および調査測点数を表1に示す. 参加者のうち, 初参加者および再度講習会参加を希望する者を初心者, 講習会に参加せずに直ちに定量調査を行える者を習熟者に分類した. 調査参加者は, 初回の8名から第3回辺野古の15名まで微増した. 初回を除くと毎回数名の新規参加者があり, 習熟者の占める割合は, 38%から92%であった.

一日の野外調査の所要時間は, 講習を含めて約2時間から6時間であった. 調査効率を, 調査所要時間あたりの調査測点数として表すと, 嘉陽では調査回数と共に上昇しているのに対し, 辺野古では逆に減少した (表1).

海草の被度測定における調査員間の推定誤差を明らかにするため, キャリブレーション用方形枠における海草の被度について, 画像解析により求めた値と各調査員の値の関係を回帰分析により解析した (表2). 嘉陽における2002年7月の調査に参加した10名が推定した被度は, 調査員1, 5, 10を除いて実際の被度と高い正の相関を示し, ロジスティック回帰の決定係数 $R^2$ の値は0.7以上であった. 調査員1, 5, 10については, 1つのコドラートの値が, 実測値や他の調査員の値から大きく外れており, 記録ミスの可能性が高い. これらデータを除いて解析すると, それぞれの調査員の決定係数は改善された (表2). 辺野古におけるキャリブレーション (2001年9月23日, 11月3日, 4日の各日に実施) においても, 画像解析による被度と各調査員の値の間には高い相関が見られた (9月23日 $R^2 > 0.735$ ; 11月3日 $R^2 > 0.716$ ; 11月4日 $R^2 > 0.909$ ).

キャリブレーションによる被度推定の誤差の変化を知るため, 補正前の調査員の被度の測定値 (欠測値および上記の外れ値を除いた全データ), およびそのデータを回帰式により補正した値と, 画像解析により求めた実際の被度の値との相関を解析した (図2). 嘉陽7月においては, 実際の被度の値に対する調査員の目視被度の推定誤差は, 低い被度の部分を除き, データ補正後は補正前より減少した (図2). 同様の傾向は辺野古における計3回のキャリブレーションでも認められた. Pearsonの相

表1 沖縄ジャングサウォノチの参加者と調査測点数

回	月日	場所	参加者			調査測点数	所要時間 <sup>a</sup> (時間)	調査効率 (測点数/時間)
			初心者	習熟者	計			
第1回	2002年7月20-21日	嘉陽	7	1	8	25	40	6.3
第2回	2002年9月22日	嘉陽	8	5	13	25	3.5	7.1
	2002年9月23日	辺野古	1	12	13	15	5.0	3
第2回補足	2002年11月3-4日	辺野古	2	6	8	13	6.0	2.2
第3回	2003年2月1日	嘉陽	6	9	15	25	2.5	10
	2003年2月2日	辺野古	3	11	14	8	2.0	4

<sup>a</sup>所要時間には初心者講習の時間も含む

表2 被度推定の調査員による誤差を補正する回帰分析の結果  
果 2002年7月の嘉陽におけるキャリブレーションコードラート10個の海草被度について、各調査員の測定被度(%)値をx、画像解析により求めた被度をyとして、ロジスティック回帰

$$\log\left\{\frac{y}{100} / \left(1 - \frac{y}{100}\right)\right\} = a \log\left\{\frac{x}{100} / \left(1 - \frac{x}{100}\right)\right\} + b \text{ を行った}$$

調査員	直線回帰の結果		
	a	b	R2
1	0.540	0.188	0.534
2	1.017	0.283	0.874
3	0.975	0.056	0.839
4	0.769	0.372	0.745
5	0.654	0.155	0.515
6	1.027	0.657	0.867
7	0.963	0.304	0.931
8	0.876	0.269	0.893
9	0.879	0.003	0.932
10	0.169	-0.051	0.065
調査員1,5,10の外れ値を削除			
1	1.034	0.491	0.721
5	0.797	0.303	0.836
10	1.121	0.161	0.574

関係数rは計4回のキャリブレーションのいずれにおいても、補正後が補正前より高かった(表3)。

### 海草藻場の種構成および被度の空間変異

#### 1) 嘉陽

嘉陽の調査点は、平均潮位からの水深が0.0 mから1.6 mの範囲に分布した(図3a)。水深は一般に、海岸線から離れるほど深くなる傾向が認められた。底質についてはほとんどの点が砂底であったが、砂礫およびサンゴを

含む点の一部あった(図3b)。

2002年7月の嘉陽における調査では、合計7種の海草が観察された。海草は、海岸線付近から200 m沖合にかけて広く分布していた。全体の被度は調査域の西側の調査点で高い傾向がみられた(図3c)。地点ごとの種数は最低0種、最高5種、平均1.4種であり、海岸線から50 - 100 m付近で最も種数が多かった(図3d)。

種ごとに分布を見ると、リュウキュウスガモが全域に広く分布していたのに対して(図3e)、ボウバアマモは海岸線から50 - 100 m付近の水深の浅い場所に主に分布していた(図3f)。リュウキュウアマモ、ベニアマモ、ウミジグサ、マツバウミジグサ、ウミヒルモの分布は局所的で、少数の調査点(1-3点)のみで観察された(図3g, h)。ウミヒルモは海岸線から水平距離200 mの1点のみで記録された。

#### 2) 辺野古

辺野古の調査点は、平均潮位からの水深1.0 mから4.6 mの範囲に分布した(図4a)。礁池内の複雑な地形のため、水平距離と水深の間には明確な傾向はみられなかった。底質については砂底および砂礫地の地点が多かったが、一部でサンゴや岩礁を含む点も存在した(図4b)。

2002年9 - 11月の辺野古の調査においても、嘉陽と同じく7種の海草が確認された。海草は、海岸線から1 km沖合いの範囲まで広く分布しており、海草全体の被度は、海岸線に近い部分、特に辺野古漁港東側で高かった(図4c)。地点ごとの種数は最低0種、最高4種、平均1.3種で、海岸から400 - 600 mのラインが最も種数が多かった(図4d)。

各種の分布を比較すると、リュウキュウスガモは海岸から400 - 1000 mの沖合いを中心に分布するのに対し

## 市民参加による沖縄の海草藻場のモニタリング調査

表3. キャリブレーションによる調査員の目視被度と実測被度とのPearsonの相関係数の変化. 各回のキャリブレーションコードラートにおける全データについて, ロジスティック回帰式で補正する前後における相関係数の変化を比較した.

回	月日	場所	補正前の相関係数 $r$	補正後の相関係数 $r$	データ数 $n$
第1回	7月21日	嘉陽	0.782	0.894	92
第2回	9月23日	辺野古	0.907	0.952	130
第2回補足	11月3日	辺野古	0.866	0.913	70
第2回補足	11月4日	辺野古	0.919	0.981	50

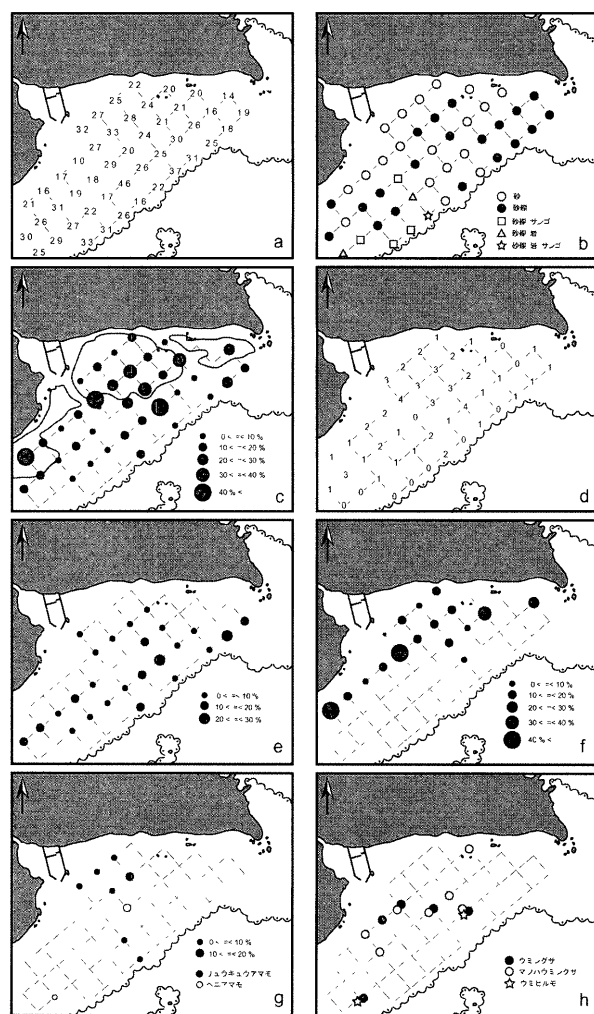


図4. 2002年9～11月の辺野古における環境条件および海草類の分布. 200 m間隔のグリッド調査線を設定し, その交点を調査点とした. a: 水深, b: 底質, c: 海草全体の被度 (黒丸) および空中写真から読み取った海草の分布域 (薄い灰色の部分), d: 種数, e: リュウキュウスガモ (*Thalassia hemprichii*) の被度, f: ボウバアママモ (*Syringodium isoetifolium*) の被度, g: リュウキュウアママモ (*Cymodocea serrulata*) とベニアママモ (*C. rotundata*) の被度, h: ウミジグサ (*Halodule uninervis*), マツバウミジグサ (*H. pinifolia*), およびウミヒルモ (*Halophila ovalis*) の分布域.

(図4e), ボウバアママモは海岸線から200 - 400 m付近の水深が浅い場所に密生した群落を形成していた (図4f). リュウキュウアママモは, ボウバアママモと同様に, 海岸線から200 - 400 m付近の水深の浅い地点を中心に分布していたが, 海岸線から800 - 1,000 m沖合いの地点でも観察された (図4g). ベニアママモ, ウミジグサ, マツバウミジグサは, 海岸線から400 - 600 m付近のボウバアママモの密生群落の周辺部に出現する傾向があった (図4g, h). ウミヒルモは, 海岸線から800 m沖合いの2点で記録され, 被度はいずれも1%未満であった (図4h).

## 考察

## 調査体制, 調査効率, 調査精度

沖縄ジャングサウォッチは, 市民にボランティア参加を呼びかけて調査員を募集するが, 参加者は回数を追うごとに増加した. 初心者として参加した者も, それ以降の調査において習熟者として再び参加する割合が高い. このような調査参加体制は, 調査効率を上げると共に, 毎回の新規参加者に対する講習や教育の効率・効果にも反映されることが期待される. 実際に, 嘉陽においては, 調査効率が調査回数と共に増加した. 辺野古では調査効率は増加していないが, これは調査に利用する船の数 (1～2艘) が調査効率の制限要因になっているためであり, 今後の調査体制およびその支援に関する改善が望まれる.

なお, オーストラリアにおけるシーグラスウォッチ調査は, 潮間帯の海草藻場で干潮時に徒歩により実施されているのに対して, 沖縄におけるジャングサウォッチは礁池内の潮下帯における調査のため, スノーケリングなどの技術を必要とする. このような条件下で長期的なモニタリング調査を継続するにあたっては, 一般市民に呼びかけて調査員を募るだけでなく, 県内の大学, 高校等における臨海実習, 体験学習などのカリキュラムの利用や, ダイビングインストラクターやエコツアーガイドなど連携などによるサポート体制を整えることが有

効であると思われる。

本調査においては、海草の被度判定における個人差を補正する方法を取り入れることにより、調査員間の被度判定誤差を定量的に評価することが可能になった。調査員が目視で求めた被度と実際の値との間の相関は、ロジスティック回帰による補正により改善された。ロジスティック回帰は0%および100%付近の誤差に敏感になるという問題点があり、本解析でも0%付近のデータの誤差は補正後が補正前より上回っている場合もあった。しかし、全体としては回帰による補正により、調査員の違いにより生ずる誤差は小さくなり、推定精度が向上した(図2, 表3)。このように、調査員の個人差に基づく誤差をあらかじめ考慮した上で、それを補正する統計的解析を行うことは、専門家ではない一般市民主体の調査を継続するにあたり、調査結果の科学的信頼性を高める点で、価値が高いと考えられる。

### 海草藻場の分布特性

嘉陽、辺野古ともに、海草は調査域全域に広く分布していたが、海草各種の分布および被度は、種ごとに異なった空間変異のパターンを示した。

嘉陽、辺野古ともに、リュウキュウスガモとボウバアマモが優占種であり、前者が藻場全体に広く分布するのに対し、後者は藻場の浅い部分に密生した群落を形成していた(図2および図3)。その他の5種の分布は局所的で、優占種2種の周辺に低被度で記録されることが多かった。

熱帯の海草藻場における海草各種の空間分布については、これまで、フィリピン、タイ、マレーシアなどの東南アジアから八重山諸島にかけて定量的調査が行われている(Terrados *et al.* 1998; Tanaka 1999; Nakaoka & Supanwanid 2000; 金本 2001)。いずれの調査地域でも、潮下帯の海草藻場ではリュウキュウスガモが優占するケースが多く、嘉陽および辺野古の海草藻場もこの点では一致している。一方、ボウバアマモが優占する藻場は、他の海草種が存在しないフィジーなどの大洋島を除くと報告例が少なく、沖縄島北部東海岸の海草藻場の特異的な点であると思われる。

本調査で確認された海草7種のうち、ウミヒルモは、底質が攪乱を受けて裸地(ギャップ)になった場合に最初に出現する先駆種(pioneer species)であり、特にジュゴンが好んで摂食することが知られている(Preen 1995; Mukai *et al.* 2000)。本調査におけるウミヒルモの分布は、嘉陽、辺野古の海草藻場とも非常に局所的かつ

被度が低く、特に嘉陽では、台風などにより海草群落が失われ砂が露出しているような場所で多く観察された。また嘉陽では、ジュゴンによるウミヒルモの食痕が、今回の調査期間中、およびその前後にも定期的に確認されている(細川太郎, 私信)。ウミヒルモの分布は局所的で被度も低いことから、絶滅が危惧されている沖縄島のジュゴンの分布や動態に大きな影響を与えていることが予想される。

### 航空写真と現地調査による海草の分布の比較

辺野古においては、空中写真では海岸から500 mまでの範囲しか海草の分布が確認できなかったのに対し、ジャングサウォッチによる現地調査では、海草の分布は海岸から1000 mの沖合まで達することが判明した(図4c)。空中写真から読み取られた海草の分布域は、ボウバアマモを中心とする被度の高い部分に対応した。しかし、現地調査で確認されたボウバアマモ密生地の周辺に分布するウミジグサやマツバウミジグサ、水深の深い地点でパッチを形成するリュウキュウスガモ、およびギャップに生育するウミヒルモは、空中写真からは読み取れないことが明らかになった。嘉陽においても、航空写真から読み取れるのはボウバアマモを中心とする被度の高い部分であった(図3f)。このことは、航空写真から得られる海草分布域の情報のみでは、藻場面積を過小評価するだけでなく、種構成や被度の推定ができないことを示している。

防衛施設庁(2001)は、普天間飛行場移設予定地の自然環境に関する資料として、被度が25%以上の海草の分布図を示している。しかし、実際にはその外側にも海草藻場が広がっており、被度25%未満の部分を含めると、海草の分布範囲は防衛施設庁の報告よりもはるかに広い。特に、前述のジュゴンが好むウミヒルモは、沖合の被度の低い部分に分布しており、ジュゴンのエサ場としては低密度の植生も重要である可能性が高い。被度25%未満の部分を含めた海草藻場分布域は、普天間飛行場移設予定地と重なっている(図5)。

本調査で確認された海草は、種ごとに空間分布が異なったが、その動態に影響を与えるさまざまな環境要因の相対的重要性も、種によって異なることが知られている。例えば、リュウキュウスガモは貧栄養条件下で他種よりも生存率が高い一方、弱光条件に弱いこと、また、リュウキュウアマモは堆積物の沈降や弱光条件には強い反面、乾燥には弱いことなどが知られている(Agawin *et al.* 1996; Duarte *et al.*, 1997; Bach *et al.*, 1998; Terrados *et*



## 市民参加による沖縄の海草藻場のモニタリング調査

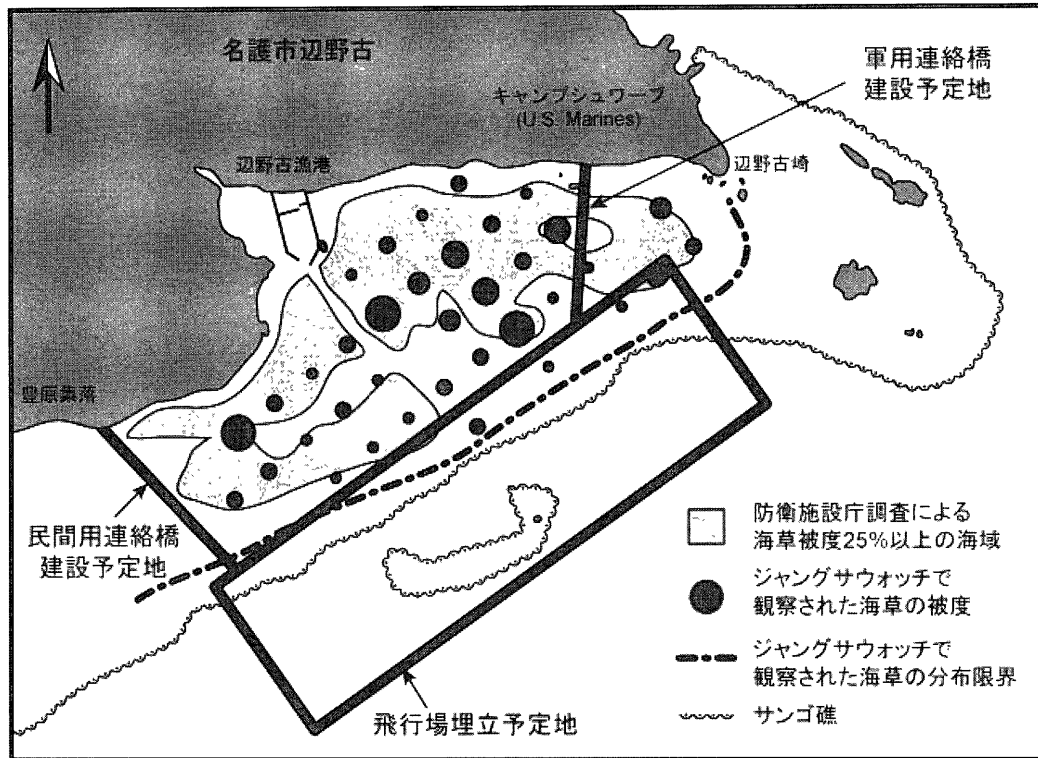


図5. ジャングサウオッチ調査による海草分布と防衛施設庁調査による海草分布、および飛行場埋立予定地の地図

al., 1998). 従って、飛行場建設などの開発に伴う海草藻場の環境影響評価を行う際には、海草全体の被度に基づいた評価では不十分である。海草の種ごとの分布および特性を考慮した上で、開発に伴う潮流や水質、底質などの環境条件の変化が、ウミヒルモ等の比較的水深の深い場所に生育する海草群落の分布、および辺野古サンゴ礁池内における海草の種組成等に与える影響を、可能な限り正確に予測する必要がある。

#### 今後の展望

一般市民参加型の調査活動を効率的に組織することにより、海草藻場の広域かつ長期的なモニタリング調査を継続することが可能である。本論文で紹介した2002年夏季から秋季の調査以降に行われたジャングサウオッチのデータから、海草各種の分布が時間的にも大きく変動することが明らかになりつつある（日本自然保護協会、未発表）。このような時間的変化の要因として、2002年秋の台風による攪乱の影響が予測されているが、周期的な季節変動の可能性もあり、その判断には、今後の継続調査が必要である。

本活動の予備調査の結果からは、赤土の影響が大きい

と思われる松田などの海草藻場における海草の種数が、嘉陽や辺野古より少ないことが確認された。このことは、陸域からの赤土の流入が海草藻場の分布や多様性に大きな影響を与えていることを示唆している。今後、嘉陽および辺野古においてジャングサウオッチを継続するとともに、沖縄島の他の海草藻場にも調査を拡大していくことにより、特定の開発事業に対する監視目的だけでなく、赤土流出などの沖縄島の一般的な環境問題に対応できる広域モニタリング体制の整備が期待される。

エルニーニョなどに代表される長期的な気候変動、および人間活動に伴う地球規模での温暖化は、サンゴ礁の白化現象に代表されるように、熱帯・亜熱帯の沿岸生態系に多大な影響を与えており、海草藻場もその例外ではない。調査員の継続的な確保、および調査方法の講習に関する効率的な教育体制が確立すれば、市民参加型のモニタリング調査により、比較的少ない経費で長期的な継続調査を行うことが可能である。今後深刻になることが予想される、開発や気候変動に伴う大規模な環境変動の監視活動として、海草藻場だけでなく各地に存在するさまざまな生態系においても、同様の活動の企画、実施が期待される。

## 謝 辞

沖縄ジャングサウォッチを準備するにあたり、青山学院大学女子短期大学の相生啓子氏、島根大学の國井秀伸氏から、日本、タイ、オーストラリアの海草調査に関してさまざまな資料とアドバイスを頂戴した。オーストラリアのシーグラスウォッチに関しては、クイーンズランド州北部水産研究所のレン・マッケンジー氏、ハービーベイジュゴン&シーグラスモニタリングプログラムのジェリー・コマンス氏から、オーストラリアの調査法を教えていただいた。千葉大学の石橋知佳氏には作図を手伝っていただいた。最後に、シーグラスウォッチに参加した24名の市民に深く感謝申し上げる。

## 引用文献

- Agawin N. S. R., Duarte C. M. & Fortes M. D. (1996) Nitrogen limitation of Philippine seagrasses (Cape Bolinao, NW Philippines): *in situ* experimental evidence. *Marine Ecology Progress Series* **138**: 233-243.
- 相生啓子 (2000) アマモ場研究の夜明け. 海洋と生物 **22**: 516-523.
- Bach S. S., Borum J., Fortes M. D. & Duarte C. M. (1998) Species composition and plant performance of mixed seagrass beds along a siltation gradient at Cape Bolinao, The Philippines. *Marine Ecology Progress Series* **174**: 247-256.
- 防衛施設庁 (2001) ジュゴンの生息状況に係る予備的調査報告書.
- Duarte C. M., Terrados J., Agawin N. S. R., Fortes M. D., Bach S. & Kenworthy W. J. (1997) Response of a mixed Philippine seagrass meadow to experimental burial. *Marine Ecology Progress Series* **147**: 285-294.
- 金本自由生 (2001) 石垣島名蔵湾の海草藻場における海草の分布パターンと季節変動. *Otsuchi Marine Science* **26**: 28-39.
- 環境庁 (1994) 第4回自然環境保全基礎調査, 海域生物環境調査 (サンゴ礁・藻場・干潟) 報告書.
- McKenzie L. J., Campbell S. J. & Rober C. A. (2001) Seagrass-Watch: Manual for Mapping & Monitoring Seagrass Resources by Community (citizen) Volunteers. Northern Fisheries Center, Department of Primary Industries, Queensland, Australia.
- Mukai H., Aioi K., Lewmanomont K., Matsumasa M., Nakaoka M., Nojima S. Supanwanid C., Suzuki T., and Toyohara T. (2000) Dugong grazing on *Halophila* beds in Haad Chao Mai National Park. *Biologia Marina Mediterranea* **7**: 268-270.
- 仲岡雅裕 (2000) 海草の保全に向けた世界的な取り組み: 地域規模および地球規模のネットワークの構築について. 海洋と生物 **22**: 566-569.
- Nakaoka, M., Supanwanid C (2000) Quantitative estimation of the distribution and biomass of seagrass at Haad Chao Mai National Park, Trang Province, Thailand. *Kasetsart University Fishery Research Bulletin* **22**: 10-22.
- 日本自然保護協会 (2002) 沖縄ジャングサウォッチ報告書 No.1.
- 日本自然保護協会 (2003) 泡瀬干潟海草移植藻場調査報告書. 泡瀬干潟シンポジウム報告書・世界の宝泡瀬干潟を未来の子どもたちにひきつぐために. (日本自然保護協会他編), pp. 155-187. 日本自然保護協会・世界自然保護基金ジャパン・日本野鳥の会, 東京.
- 大森雄治 (2000) 日本の海草—分布と形態— 海洋と生物 **22**: 524-532.
- Preen A. (1995) Impacts of dugong foraging on seagrass habitats: observational and experimental evidence for cultivation grazing. *Marine Ecology Progress Series* **124**: 201-213.
- Tanaka Y. (1999) Distribution of seagrasses in Ishigaki Island and its regulating factors. MSc thesis, Faculty of Science, The University of Tokyo.
- Terrados J., Duarte C. M., Fortes M. D., Borum J., Agawin N. S. R., Bach S., Thampanya U., Kamp-Nielsen L., Kenworthy W. J., Geertz-Hansen O. & Vermaat J. (1998) Changes in community structure and biomass of seagrass communities along gradients of siltation in SE Asia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **46**: 757-768.
- 当真武 (1999) 琉球列島の海草-I. 種類と分布. 沖縄生物学会誌 **37**: 75-92.