

衛星データと GIS による西表島の生態系評価

小林 弘幸* 小川 進**

キーワード：イリオモテヤマネコ、サンゴ、底質指標、HEP

1. はじめに

地球上には、地域の気候や土壌等の条件に応じて、熱帯から寒帯、海洋・沿岸地域から高地帯まで、様々な生態系や生物の生息・生育環境が広がっている。そこには300万から3,000万またはそれ以上の生物種が存在するといわれている^[1]。日本は南北に長い国であるため温帯域に生息する生物と熱帯域の生物の境界が日本列島上に位置している。そのため、動物相は両者が混ざり合った豊かなものになっており、島という孤立した環境で多くの特産種が認められる。この境界は琉球列島上にある。特に、琉球列島には分布が狭い特産種が多く、全域に分布するものであっても亜種化が著しい。これは島嶼という閉ざされた環境で地史的年代が経過した結果と考えられている^[2]。こうした生物多様性は地球に生物が誕生して以来、40億年の歴史を通じて形成されたものであり、人類の生存基盤をなすとともに、様々な価値を有する重要なものである。したがって、将来の世代のために生物多様性を保全し、その利用を持続可能なものとする必要がある。しかし、今日、温室効果ガスによる地球温暖化や、熱帯雨林の森林伐採による環境変化に伴ない生態系が破壊され、多くの野生生物が減少、絶滅の危機に瀕している。

そのため、野生生物の保護には、その生態を明らかにし、現在の状況を把握しておく必要がある。特に、環境省のレッドデータブックに掲載されている種はモニタリング調査の間隔が長いと、突然の環境変動により突発的に絶滅があるため、頻度の高いモニタリングは重要である。しかし、現地に赴いてのモニタリングには人手と時間がかかる。そこで、現在では、衛星データや GIS 技術を用いたモニタリングの研究が進められている。これにより、従来の現地調査よりも広域で、高頻度のモニタリングを可能とし、人手と時間の軽減に繋がると考えら

れる。

本研究では衛星データと GIS を用いて、西表島に生息するイリオモテヤマネコの生息モデルを作成し、生息地推定を行った。また、底質指標による水深補正アルゴリズムを用いてサンゴ礁の被度を評価した。これにより、生態系の総合的モニタリングを試みた。

1. 1 研究対象地

対象地は沖縄県、西表島周辺である (図 1)。西表島は北緯24度15~25分、東経123度40~55分にあり、石垣島やその他の小島とともに八重山諸島を構成している。八重山諸島は西南端に位置し、沖縄本島や本州より台湾に近い。島の周囲は約75.5km、面積は属島を含めて約292.5km²で、島の人口は2000人ほどである。島民の居住地は海岸線沿いのわずかな土地に限られる。沖縄県では沖縄本島に次ぐ大きな島である。島の面積の8割は国有林、同34.3%は西表石垣国立公園 (特別地域)、同8%は国設特別鳥獣保護区に指定されている。河口部にはマングローブ林が広がっている地形は複雑で標高470mの古見岳を最高峰として、標高300mの尾根が幾重にも重なっている。また、島の周辺にはサンゴ礁が広がっている。特に、西表島と石垣島の間にある石西礁湖と呼ばれる地域は、我が国を代表するサンゴ礁生態系を有している。島内には固有種のイリオモテヤマネコやカムリワシなどをはじめとする希少な生物が数多く生息している。生物多様性に富んでおり「東洋のガラパゴス」や「東洋のアマゾン」と例えられている。かつてはマalariaの発生地でもあった歴史を持つ。

1. 2 対象生物

1. 2. 1 イリオモテヤマネコ

イリオモテヤマネコ (*Felis iriomotensis*) は、1967年に新種記載されたベンガルヤマネコ (*F. bengalensis*)

* 横浜国立大学大学院環境情報学府環境リスクマネジメント専攻

** 東京大学空間情報科学センター



図1 研究対象地周辺図

に近縁な野生ネコで、沖縄県西表島のみに分布している。生息数は1985年および1994年に100頭前後と推定され、大きな変化は認められていない。生息地の改変、交通事故などが存続を脅かす要因と考えられている。種の保存法による国内希少野生動植物種に指定され、保護増殖事業が進められている^[4]。

1. 2. 2 サンゴ

サンゴ礁とは、サンゴをはじめとする多くの石灰質を作る生物たちが、海面近くまで積み重なって形成して、できた防波構造物である。そこは、多様な生物の生活場所となり、サンゴ礁生態系の生物多様性は非常に高い。しかし、サンゴの白化現象や赤土汚染、オニヒトデの食害により攪乱され、減少の傾向が見られている。

2. 解析方法

2. 1 イリオモテヤマネコの生息地推定

2. 1. 1 生息地推定に使用したデータ

使用した衛星データは、ASTERである。ASTERは可視近赤外域(1~3バンド)、短波長赤外域(4~9バンド)、熱赤外域(10~14バンド)の合計14波長域で地球が観測できるように設計されている。空間分解能は可視近赤外域が15m、短波長赤外域が30m、熱赤外域が90mである^[7]。

この他に国土地理院が刊行している、数値地図25000(空間データ基盤)、数値地図50mメッシュ(標高)。沖縄県自然環境情報図^[9]、イリオモテヤマネコの目撃情報図^[10]を使用した。

2. 1. 2 生息地の推定方法

2. 1. 2. 1 土地被覆分類

幾何補正した衛星画像を教師なし分類によって土地被覆分類を行った(図2)。分類項目は森林、水域、市街地、裸地、サンゴ礁の6つに分類である

2. 1. 2. 2 メッシュの作成

GISソフトを使用し、対象地である西表島全域を網羅するような1.4km×1.4kmのメッシュを作成した。

このメッシュサイズはイリオモテヤマネコの行動圏の大きさである。イリオモテヤマネコの行動圏は地域や季節、個体によって諸説があるようだが、今回は一般的な行動圏である2km²(1.4km×1.4km)を採用した^{[3][4]}。

2. 1. 2. 3 ハビタット適正指数の算出

イリオモテヤマネコの生息域を推定には、ハビタット適正指数(Habitat Suitability Index, *HSI*、以下*HSI*と記す)を使用した。*HSI*とは繁殖条件、餌条件、カバー(隠れ場所や休息場所など)条件、水場の条件といった、その動物種が存続する上で不可欠な条件が評価対象地区においてどの程度満たされているかという観点から、その動物種によってのハビタット適正の度合いを示すものである0(ハビタット適正ゼロ)から1(最適ハビタット)の間の値をとる^[11]。

今回は*HSI*の条件として標高、河川の有無、裸地の割合、森林の割合を選択し、適正指数(Suitability Index, *SI*、以下*SI*と記す)モデルを作成した。これは、生息情報は標高200m以下の低地部に偏り、山間部には少なく^[4]、原則としてイリオモテヤマネコは森林に生

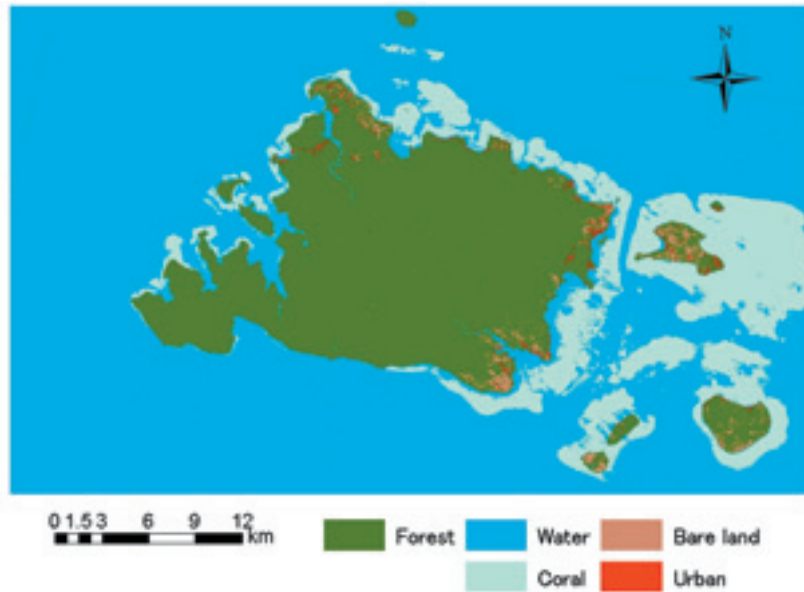


図2 土地被覆分類図

息しており、主要な行動圏は森林であること、狩場としては低地の湿地のほか、川沿いの湿地、マングローブ林、密生したススキの群落や裸地を含む乾いた草原^[3]に起因する。

作成した SI モデルは式(1)と図3～5として示した。モデルの条件は全て作成した各メッシュ内のものである。

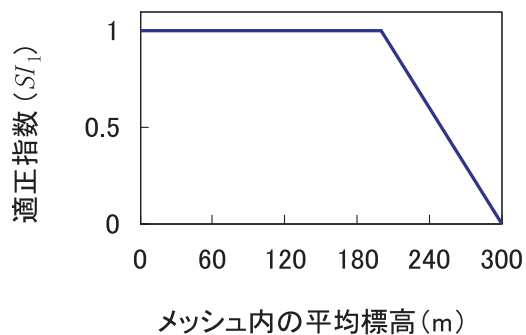


図3 適正指数 (SI_1)

$SI_2 = 0$ (河川なし)
 $= 1$ (河川あり)

$$(1) \quad HSI = \frac{SI_1 + SI_2 + SI_3}{3} \times SI_4 \quad (2)$$

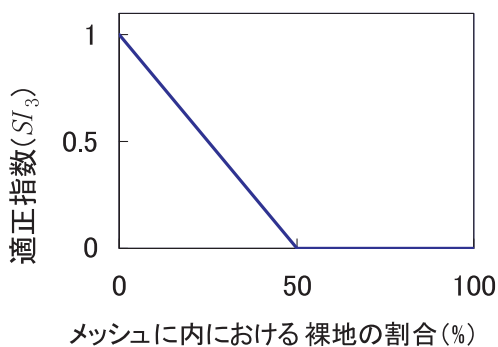


図4 適正指数 (SI_3)

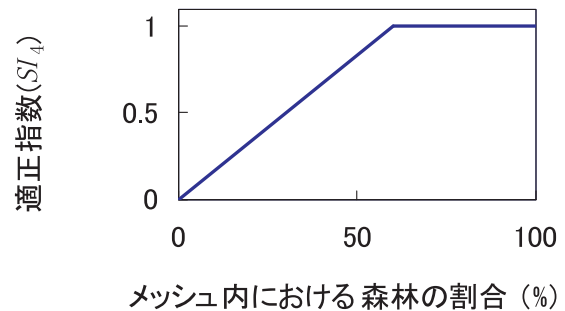


図5 適正指数 (SI_4)

土地被覆分類図から森林と裸地の割合、数値地図25000 (空間データ基盤) から河川、内挿した数値地図50mメッシュ (標高) のデータから標高を算出し、モデルに当てはめた。そこで得られた $SI_1 \sim SI_4$ の値を用いて、式(2)から HSI を算出した。

HSI : ハビタット適正指数

SI_1, SI_2, SI_3, SI_4 : 適正変数

算出された HSI の値を GIS ソフト上でメッシュに結合し、生息の可能性の度合いを5段階で色分けを行い、推定生息地として表示した。

2. 1. 2. 4 目撃情報のプロット

作成した推定生息地とイリオモテヤマネコを目撃情報^[10]を GIS ソフト上で比較するため、目撃情報をスキャ

ナーで読み込んだ。読み込んだ画像に地理情報を与え、目撃情報地点のみをプロットし、ベクトルデータで保存、推定生息地上にオーバーレイした。

2. 1. 3 サンゴ礁の底質分類

2. 1. 3. 1 底質分類に使用したデータ

衛星データは、空間分解能が10mである、ALOS/AVNIR-2を使用した。空間分解能はAVNIR-2が10mである。また、ALOS/AVNIR-2は、JERS-1やASTERよりも高分解能かつ海水中の透過率の高い青色のバンドを持つことが特徴的である。

この他に、自然環境情報図^[9]、サンゴ礁調査報告書^[11]を使用した。

2. 1. 3. 2 水深補正アルゴリズムの適用

スペクトル特性を利用したサンゴ礁の識別では海水による消散の影響が、水深(潮位)及び波長に強く依存することが問題となっている^[19]。そのため、今回、サンゴ礁の底質分類には水深補正アルゴリズムを適用した。

水深補正アルゴリズムとは、1画素内の底質が同じならばバンド*i*、*j*のDN値である、 DN_i 、 DN_j の自然対数値は水深に関わらず傾きが一定となる^[20]。この原理を利用して水深の影響を除去した底質指標(Bottom Index)として式(3)を導入する。

$$BI_{ij} = 1n(DN_i - DN_{deepi}) - k_{ij} \times 1n(DN_j - DN_{deepj}) \quad (3)$$

$$= 1n \{ (DN_i - DN_{deepi}) / (DN_j - DN_{deepj})^{k_{ij}} \}$$

BI_{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_{deepi} : バンド*i*の深海でのDN値

K_{ij} : バンド*i*、*j*の消散係数比。

各バンドの消散係数比がわかれば、水深の影響のない底質の底質指標が求められる。 BI_{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、画素内における砂の割合を示す。

2. 1. 3. 3 消散係数比の設定

水深補正の前処理として消散係数比の設定を行った。

まず、ALOSの可視バンド1、2を用いて、底質が均質な砂地である仮定した30画素を目視により選定した。次に、そのDN値の自然対数をプロットし、回帰直線と相関係数を求めた(図6)。この回帰直線の傾きが消散係数比に対応している^[21]。求めた回帰直線より消散

係数比は0.76であった。

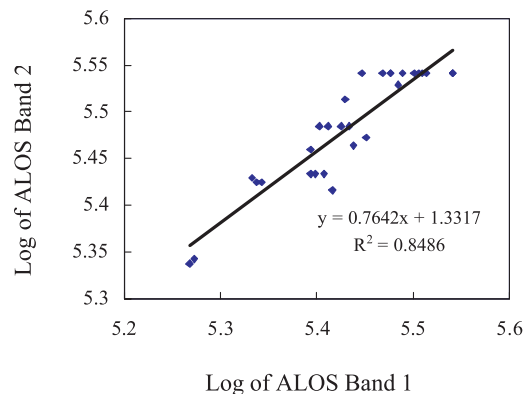


図6 砂地におけるバンド1、2のDN値の自然対数の回帰式

また、バンド*i*の深海でのDN値は、水深が十分にあると考えられる西表島沖のDN値を適用した。

ここで求めた消散係数比と深海でのDN値、バンド1、2のDN値を式(3)に適用して底質指標を求めた。

2. 1. 3. 4 画像の判読

求められた底質指標から画像の分類を行った。分類には自然環境情報図等^{[5]、[9]}を用いて底質指標から砂底、サンゴ、藻場、泥底に分類した。

3. 結果

3. 1 イリオモテヤマネコの生息域推定

イリオモテヤマネコの生息域を推定した結果を図7に示した。 HSI の値が高い地域、すなわちイリオモテヤマネコ生息の可能性が高い地域は島の外縁部に多く見られた。逆に、 HSI の値が低い地域は島の中央部に集中して見られた。

また、イリオモテヤマネコの目撃情報と照らし合わせた結果、 HSI の高い地域と目撃情報はおおむね一致していると言える。

3. 2 サンゴ礁の底質分類

サンゴ礁の底質分類図の結果を図8に示した。島や雲、海洋は黒でマスク処理をして表示した。自然環境情報図等(図9)^{[5]、[9]}と照合した結果、サンゴ礁は底質指標が0.23から1.16の間に分布していた。サンゴ礁の輪郭は正確に抽出できた。

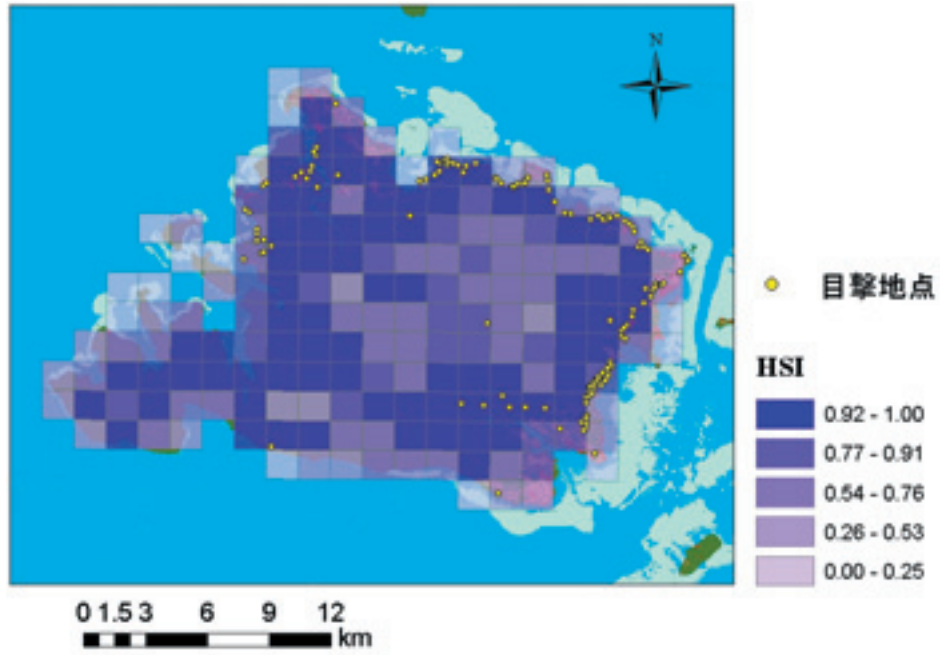


図7 推定されたイリオモテヤマネコの生息域

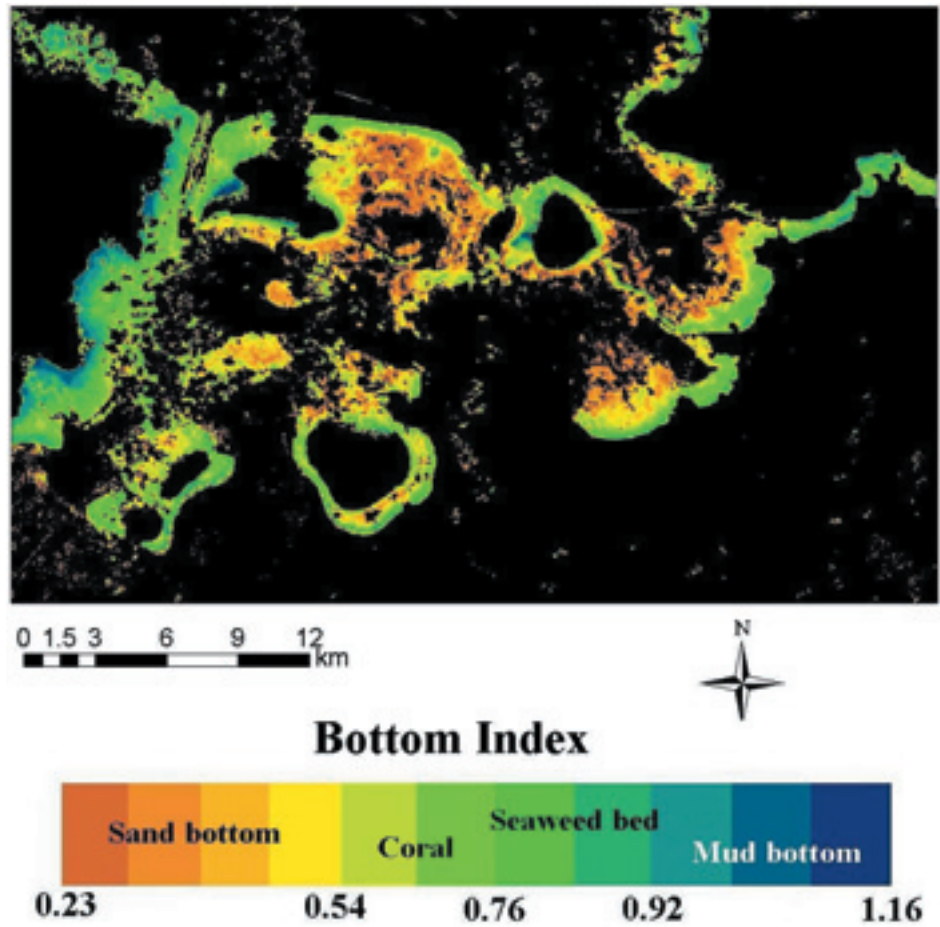


図8 サンゴ礁の底質分類図

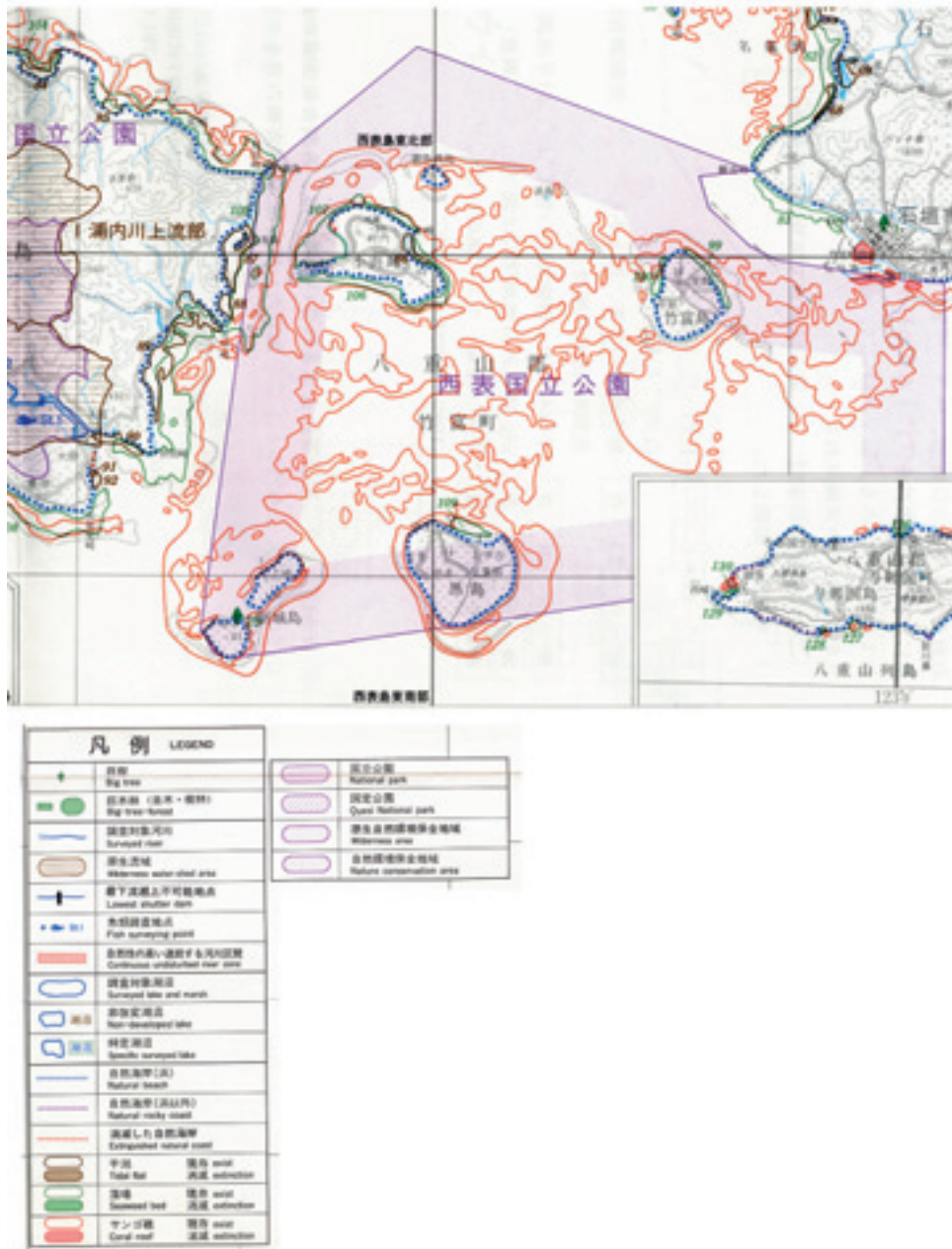


図9 沖縄県自然環境情報図^[9]

4. 考察

4.1 イリオモテヤマネコの生息域推定

イリオモテヤマネコの生息に適正な場所は島の外縁部に多く見られ、内陸部は *HSI* も低く生息に向いていないと推定された。これは、内陸部は標高が高いため、低地を好むイリオモテヤマネコの生息域としては適正が低いと判断されたと考えられる。この *HSI* が低い地域は西表国立公園に含まれており、実際にイリオモテヤマネコの生息が多い北部と東部が含まれていない。したがって、イリオモテヤマネコの保護には国立公園の指定区域の見直しが早急な問題である。

また、本研究では衛星画像より *HSI* を算出した。そのため、生息域だけでなく個体数の推定が可能である。

さらに、衛星画像から推定を行うことで、人の進入が困難な地域における評価も行うことができる。

4.2 サンゴ礁の底質分類

サンゴ礁の底質分類図は、環境庁のサンゴ礁調査報告書の被度とも一致しており、衛星画像からその推定が行えた。サンゴ礁の分類には解像度の高いALOS画像を用いたため細部における推定もできたと考えられる。

さらに、ALOSはASTERやJERS-1と異なり、海中の透過率が高い青色のバンドを備えている。今回はそ

の青色のバンドを用いて解析を行ったため、ASTER で行われた分類よりも水深の深い地域の分類もできたと考えられる。

また、サンゴ礁の分布は広域であり、現地調査では多くの時間を必要とする。しかし、衛星からの推定では画像の範囲内すべての領域を一度に解析できるため、時間・コストの大幅な削減に繋がる。

5. 結論

衛星データと GIS を用いて西表島の生息環境の評価をした結果、以下のような結論に達した。

- (1) 衛星画像を用いることで、現地調査できない地域において、イリオモテヤマネコの生息域推定を行うことができた。この結果は2年間の目撃情報と一致した。また、この結果より指定区域の見直しが必要であることが判明した。
- (2) 水深補正アルゴリズムを用いて、衛星画像よりサンゴ礁の被度の分布を推定できた。この結果は現地の3年間のサンゴ礁調査とも一致した。
- (3) GIS と衛星画像により、陸域と水域の生態系評価を短時間かつ低コストで行うことができた。時間・コスト両面で衛星データを用いることは生態系のモニタリングにとってきわめて有用である。

謝辞

本研究を行うにあたり、環境省那覇自然環境事務所の方にはデータを提供いただきました。さらに、立正大学地球環境科学部宇宙技術応用研究室の学生の方々にも協力をいただきました。ここに心より謝意を表したい。

参考文献

- [1] 環境庁, 多様な生物との共生をめざして 生物多様性国家戦略, 1996.
- [2] 安間繁樹, 琉球列島 生物の多様性と列島のおいたち, 東海大学出版会, 2001.
- [3] 今泉忠明, イリオモテヤマネコの百科, データハウス, 1994.
- [4] 環境省, 改訂・日本の絶滅のおそれのある野生生物 - レッドデータブック - 1 哺乳類, 自然環境センター, p.82 - 83, 2002.
- [5] 環境省, 日本のサンゴ礁, 自然環境研究センター, p.218 - 219, 2004.
- [6] 環境庁自然環境計画課 サンゴ礁確保の取り組み <http://www.env.go.jp/nature/biodic/coralreefs/>, 2007.

- [7] 大林成行, 人工衛星から得られる地球観測データの使い方, 日本建築情報総合センター, 2002.
- [8] 日本地図センタ, <http://www.jmc.or.jp/data/gsi.html>, 2007.
- [9] 環境庁, 沖縄県自然環境情報図, 1995.
- [10] 環境省, イリオモテヤマネコ保護増進事業実施報告書, 2003.
- [11] 日本生態系協会, 環境アセスメントはヘッブ (HEP) でいきる, ぎょうせい, 2004.
- [12] 渡辺伸一, 中西希, 坂口法明ほか, 衛星リモートセンシングによる土地被覆の時系列変化とイリオモテヤマネコの生息状況の時空間解析, 国際景观生態学会日本支部会報7(2), p.25 - 34, 2002.
- [13] 渡嘉敷信司, 中西希, 伊澤雅子ほか, 西表島におけるイネコ *Felis catus* の生態学的研究 在来動物種への影響, 琉球大学卒業論文, 2003.
- [14] 渡辺伸一, 中西希, 伊澤雅子ほか, 数値標高モデル (DEM) を用いたイリオモテヤマネコの行動圏利用様式の三次元空間解析の試み, 日本生態学会誌, p.259 - 263, 2002.
- [15] Krzysztof Schmidt, Nozomi Nakanishi, Maki Okamura, Movements and use of home range in the Iriomote cat, The Zoological Society of London, p.261 - 283, 2003.
- [16] 岡村麻生, 土肥昭夫, 伊澤雅子ほか, イリオモテヤマネコ・メスの育仔中の行動圏解析, 日本生態学会誌, p.253 - 258, 2002.
- [17] 伊澤雅子, 中西希, 渡辺伸一, イリオモテヤマネコ *Felis iriomotensis* による環境利用に関する研究, マングローブに関する調査研究報告書 (平成13年度内閣府委託調査研究), p.5 - 18, 2002.
- [18] リモート・センシング技術センター, <http://www.restec.or.jp/>, 2007.
- [19] 松永恒雄, 梅干野晃, 水上陽誠, 石垣島サンゴ礁の多角的 Landsat TM データを用いた礁内水深補正アルゴリズムの検証, 日本リモートセンシング学会第27回学術講演会論文集, 1999.
- [20] 茅根創, 松永恒雄ほか, ASTER データによるサンゴ礁分布図作成手法の開発, 日本リモートセンシング学会第25回学術講演会論文集, p.217 - 218, 1998.
- [21] 松永恒雄, 梅干野晃, 水上陽誠, 消散係数比の空間・時間変化と底質指標によるサンゴ礁内経時変化の検出, 日本リモートセンシング学会第28回学術講演会論文集, p.281 - 282, 2000.
- [22] 松永恒雄, 梅干野晃ほか, 石西礁湖の多周期 Landsat TM データへの底質指標アルゴリズムの適応, 日本リモートセンシング学会第29回学術講演論文集, p.303 - 304, 2001.
- [23] 斎藤智慧, 衛星データを利用するサンゴ礁底質分類図の作成, 立正大学卒業論文, 2004.

要 旨

一般に、野生生物の保護調査には、多大な人手と時間がかかり、頻度の高いモニタリングが困難である。そこで、そのような問題解決のため、リモートセンシングやGIS技術を用いたモニタリングの研究が進められている。本研究ではリモートセンシングとGISにより、西表島の生態系の生息地評価を行った。対象とした生物はイリオモテヤマネコおよびサンゴ礁である。イリオモテヤマネコの生息域推定にはHEPの概念を使用し、その値を西表島全域に示した。また、サンゴ礁の被度評価には底質指標の水深補正アルゴリズムを用いてサンゴ礁の底質分類図の作成を行った。この結果はイリオモテヤマネコの2年間の目撃情報と一致を示した。また、イリオモテヤマネコの生息地は島の外縁部に多いことがわかった。一方、サンゴ礁の被度も3年間の現地調査と一致した。これらの結果より、イリオモテヤマネコの生息地域として適正が高い地域は、国立公園に指定されている地域と一致していないことがわかった。さらに、*HSI*を使用することにより生息数の推定も行えると考えられる。また、サンゴ礁の評価には解像度が高く、海水への透過率が高い青色のバンドを有しているALOSを使用したため、JERS-1やASTERよりも精度の高い分類評価が行えたと考えられる。

以上より、GISと衛星画像により、陸域と水域の生態系評価を短時間かつ低コストで行うことができた。時間・コスト両面で、衛星データを用いることは生態系のモニタリングにとってきわめて有用である。

Evaluation Ecosystem in Iriomote Island with Satellite Data and GIS

Hiroyuki KOBAYASHI*, Susumu OGAWA**

*Yokohama National University

**Rissho University

Generally, investigation for protection of the wildlife is difficult, because it takes much work and time, and frequent monitoring. Therefore, studies of monitoring with remote sensing and GIS were carried out for solving such a problem. In this study, habitat of ecosystem was estimated by remote sensing and GIS in Iriomote Island. The objective creatures were an Iriomote cat and a coral reef. The habitat estimate for an Iriomote cat was carried out with *HSI*, the values of which were showed in all areas of Iriomote Island. Moreover, the coral reef mapping for its cover evaluation was made with a depth correction algorithm. This result coincided with the sighting points of the Iriomote cat for two years. Additionally, the habitat areas of the Iriomote cat were shown mostly in the outside edge of the island. In these results, the habitat areas of the Iriomote cat did not coincide with the National Park areas. Also, the estimate of the number of the Iriomote cat would be carried out with *HSI*. In addition, the classification with ALOS would be carried out more exactly than JERS-1 and ASTER, because of ALOS with high resolution and higher transmissivity to the seawater. From the above, the ecosystem evaluation of the land and sea was carried out in a short time and with low cost by GIS and a satellite image. Remote sensing was considered valuable for monitoring of an ecosystem. This study would be contributed for monitoring and protecting the Iriomote Island ecosystem.

Keywords: ALOS, ASTER, Bottom Index, Coral reef, GIS, HSI, Iriomote cat