

熱帯性大型海草のハビタット適性指数 (HSI) モデルの構築

DEVELOPMENT OF HABITAT SUITABILITY INDEX MODEL FOR TROPICAL SEAGRASS IN AWASE TIDAL FLAT REAGION

高橋由浩¹・溝口忠弘²・先岡良宏³・高尾敏幸⁴・三宅光一⁵・小早川弘⁶
Yoshihiro TAKAHASHI, Tadahiro MIZOGUCHI, Yoshihiro SAKIOKA, Toshiyuki TAKAO
Koichi MIYAKE and Hiromu KOBAYAKAWA

¹財団法人 港湾空間高度化環境研究センター 港湾・海域環境研究所
(〒108-0022 東京都港区海岸三丁目26-1 パーク芝浦6F)

²正会員 株式会社 エコー 沿岸デザイン本部 技術管理部
(〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

³株式会社 エコー 沿岸デザイン本部 沿岸環境部

⁴正会員 工修 株式会社 エコー 沿岸デザイン本部 沿岸環境部

⁵工修 内閣府 沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所
(〒900-0001 沖縄県那覇市港町3-6-11)

⁶内閣府 沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所

This paper presents the study on the development of HSI (Habitat Suitability Index) model having been designed for tropical seagrass species inhabiting Awase Tidal Flat in the Island of Okinawa. The primary parameters employed for formulating the HSI model were water depth, diameter of sediment grains, shear-stress along the seabeds and Shields parameter. These parameters were selected among factors governing habitat conditions by conducting multiple regression analysis. The results of modeling showed that the distribution of HSI values, which was illustrated using the minimum SI (Suitability Index) value for each parameter (Limiting Factor Method), corresponded well with the seagrass coverage by visual observation.

Key Words : *Habitat Suitability Index, Tropical seagrass, growth environment, Nakagusuku Bay*

1. はじめに

近年, 開発計画が生息生物に及ぼす影響 (インパクト レスポンス) をできるだけ定量的に予測評価することが求められている。また, 自然再生や環境保全・創造事業の効果を定量的に予測評価し, モニタリングを通じて管理手法にフィードバックすることの重要性が高まりつつある。このようなミチゲーション的対応のための定量的な環境評価を行う手法のひとつとしてHEP (Habitat Evaluation Procedures)がある¹⁾。HEPは対象領域を代表する生物 (評価対象種) について, HSI (Habitat

Suitability Index) と呼ばれるその生息・生育環境の適性を表す0~1の数値で環境を評価し, HSIに面積と時間を累積することで各種施策に対する影響評価を行う手法である。

本研究では, HEPによる環境予測評価を用いて環境保全・創造事業の定量的効果の算出につなげることを目的として, 沖縄県中城湾港泡瀬海域に生育する熱帯性大型海草を対象にHSIモデルの構築を試みた。

熱帯性大型海草は, 対象海域である泡瀬海域に広く生育しており (図-1), 同地区の干潟・浅場を代表する典型的な生物種である。

本来、HSIモデルは、個々の生物に対して構築・設定するものであるが、本研究では同海域に生育するリュウキュウスガモ、リュウキュウアマモ、ベニアマモ、ボウバアマモの熱帯性大型海草4種が混成群落を呈し、生育環境条件が同一と考えられたことから、これら4種をひとくくりとして設定した。

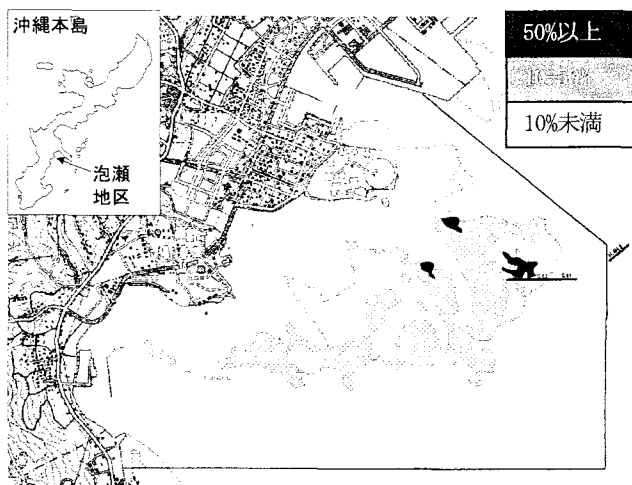


図-1 泡瀬地区の熱帯性大型海草の分布図(2003年11月)

2. HSIモデルの構築

(1) 熱帯性大型海草の生育環境条件

海草の生育を支配する重要な各要因としては、水深、光量、水質、外力、底質などが一般的に挙げられる²⁾。

熱帯性大型海草の生育環境条件については、川上ら³⁾により、水深、外力(底面せん断力)、シールズ数、底質粒径、底質の貫入深度があげられており、次のように整理している。

1) 生育する水深条件はCDL+0.5m~4.0mの範囲であり、CDL±0.0m~-2.0mの水深帯に集中している。2) 外力に伴う底面せん断力やそれに伴うシールズ数の関係から、底質基盤の安定性が重要な環境条件となる。3) 生育している底質は砂質(中央粒径値は0.23mm~1.15mm)であり、根の伸張がしやすい環境(底質の貫入深度が10cm以上のところ)に多く生育している。

以上のような既往知見を踏まえ、泡瀬地区の地形(水深)、外力、底質、水質等の既往資料を収集し、熱帯性大型海草の分布との関連について整理を行い、HSIモデルの構築を行った。

(2) 主要因子の選定

本研究では、重回帰分析を用いて熱帯性大型海草の生育環境条件の選定を行った。重回帰分析に当たっては、目的変数として、「海草が生えているか」、「生えていないか」、の判定だけでなく、被度の値について、50%以上、10~50%未満、0~10%未満、被度無し(0)の区分で分析した。これは、熱帯性大型海草の経年的な分布特性によると^{4), 5), 6)}、生育年数が長いほど海草の被度が高くなる傾向があり、被度が高いほど熱帯性大型海草の生育環

境条件は良好と判断できるためである。

そこで、被度毎に0~1の数値で与えられる熱帯性大型海草の生育地としての適性値(SI値: Suitability Index)を設定した。具体的には、被度50%以上の領域を熱帯性大型海草の生育に最適な環境と判断しSI=1.0、被度10~50%未満の領域をSI=0.5、被度0~10%未満の領域をSI=0.1とそれぞれ設定し、熱帯性大型海草の被度のSIを目的変数に、水深、中央粒径、砂厚、底面せん断力、シールズ数、水質(水温、塩分、SS、COD、T-N、T-P)を説明変数として実施した。なお、当該地区の海草藻場の底質粒径は、砂質~礫成分と多様な底質条件を示し、場所的にも差があり均一性が無い。このため、底質粒径の影響が小さい底面せん断力と、底質粒径の依存度が高いシールズ数の両パラメータを含めた。また、これらの各種データは、各観測データを20m格子上にスプライン補間を施し、重回帰分析を行った。

分析した結果、水質の各環境条件については有意確率(棄却確率)が大きな値を示し棄却され、水深、底質中央粒径、底面せん断力、シールズ数の各環境条件が採択された。なお、砂厚も重要な因子と考えられたが、データ量の不足により選択されなかった。

(3) SIの設定

SIの設定は、一般的には生物の個体数と生物生息環境の相関から設定する。ここでは、重回帰分析により選択された水深、底質中央粒径、底面せん断力、シールズ数の各データセットと熱帯性大型海草との相関からSIグラフを作成した。なお、相関式の設定に当たっては、既往の知見に基づくもの(タイプ1)と、被度の区分毎のSI値を用いて、各区分毎の平均値に対する標準偏差を考慮したもの(タイプ2)の2種類について作成した(図-2参照)。

既往知見に基づくSIグラフと平均値に対する標準偏差を考慮したSIグラフについては、HSIモデルの構築を図った後、現地データとの適用性の検討を行い、HSIモデルの検証を行った。

以下にSIグラフの例として、タイプ1の熱帯性大型海草と各種環境因子のSIグラフ(図-3~図-6)とSI値の設定式を示す。

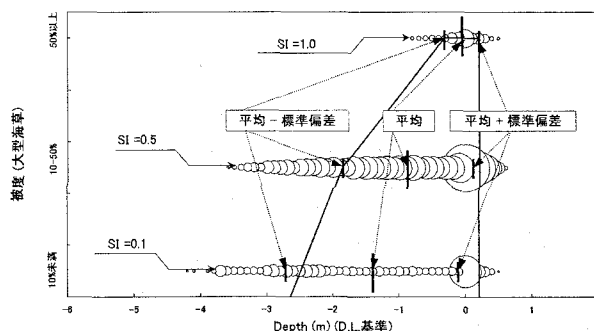


図-2 標準偏差を考慮したSIグラフ(タイプ2)

a) 水深

$$\begin{cases} SI_{Dep} = 0.0 & (-3.70 > Dep) \\ SI_{Dep} = 1.25 \cdot Dep + 4.63 & (-3.30 > Dep \geq -3.70) \\ SI_{Dep} = 0.161 \cdot Dep + 1.03 & (-0.20 > Dep \geq -3.30) \\ SI_{Dep} = 1.0 & (+0.20 > Dep \geq -0.20) \\ SI_{Dep} = -1.67 \cdot Dep + 1.33 & (+0.50 > Dep \geq +0.20) \\ SI_{Dep} = 0.0 & (Dep > +0.50) \end{cases} \quad (1)$$

ここで、 SI_{Dep} ：水深に対するSI値、 Dep ：水深 (m; DL基準) をそれぞれ示す。

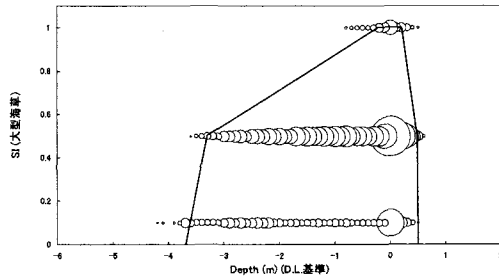


図-3 水深に対するSIグラフ

b) 中央粒径

$$\begin{cases} SI_{d50} = 0.0 & (0.3 > d50) \\ SI_{d50} = 0.83 \cdot d50 + 0.25 & (0.9 > d50 \geq 0.3) \\ SI_{d50} = -0.46 \cdot d50 + 1.41 & (2.0 > d50 \geq 0.9) \\ SI_{d50} = -0.25 \cdot d50 + 1.00 & (4.0 > d50 \geq 2.0) \\ SI_{d50} = 0.0 & (d50 \geq 4.0) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 SI_{d50} ：中央粒径に対するSI値、 $d50$ ：中央粒径 (mm) をそれぞれ示す。

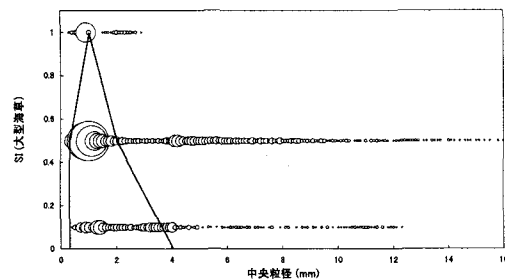


図-4 中央粒径に対するSIグラフ

c) 底面せん断力

$$\begin{cases} SI_{\tau} = 0.0 & (1.0 > \tau) \\ SI_{\tau} = 0.5 \cdot \tau - 0.5 & (3.0 > \tau \geq 1.0) \\ SI_{\tau} = 1.0 & (4.0 > \tau \geq 3.0) \\ SI_{\tau} = -0.05 \cdot \tau + 1.2 & (14.0 > \tau \geq 4.0) \\ SI_{\tau} = -0.50 \cdot \tau + 7.5 & (15.0 > \tau \geq 14.0) \\ SI_{\tau} = 0.0 & (\tau \geq 15.0) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 SI_{τ} ：底面せん断力に対するSI値、 τ ：底面せん断力 (N/m²) をそれぞれ示す。

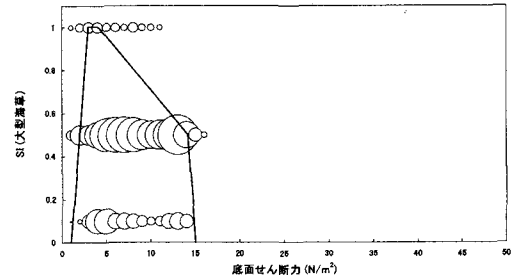


図-5 底面せん断力に対するSIグラフ

d) シールズ数

$$\begin{cases} SI_{\psi} = 0.0 & (0.08 > \psi) \\ SI_{\psi} = 7.14 \cdot \psi - 0.57 & (0.22 > \psi \geq 0.08) \\ SI_{\psi} = 1.0 & (0.30 > \psi \geq 0.22) \\ SI_{\psi} = -1.00 \cdot \psi + 1.30 & (0.80 > \psi \geq 0.30) \\ SI_{\psi} = 0.0 & (\psi \geq 0.80) \end{cases} \quad (4)$$

ここで、 SI_{ψ} ：シールズ数に対するSI値、 ψ ：シールズ数をそれぞれ示す。

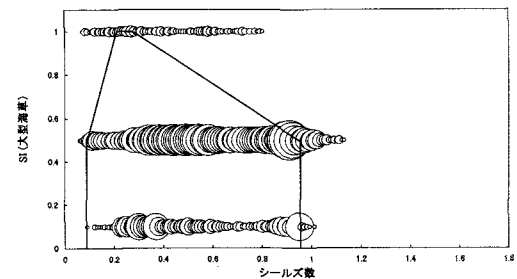


図-6 シールズ数に対するSIグラフ

(4) HSIモデルの構築

SIグラフをもとにHSIモデルの構築を行った。SIからHSIモデルへの構築手法には算術平均法、幾何平均法、限定要因法、加算要因法などの手法があげられる。それぞれの手法については次式(5)、(6)、(7)、(8)で示すとおりである。

$$\text{算術平均法} \quad HSI = (SI_{Dep} + SI_{d50} + SI_{\tau} + SI_{\psi}) / 4 \quad (5)$$

$$\text{幾何平均法} \quad HSI = (SI_{Dep} \times SI_{d50} \times SI_{\tau} \times SI_{\psi})^{1/4} \quad (6)$$

$$\text{限定要因法} \quad HSI = \min(SI_{Dep}, SI_{d50}, SI_{\tau}, SI_{\psi}) \quad (7)$$

$$\text{加算要因法} \quad HSI = SI_{Dep} + SI_{d50} + SI_{\tau} + SI_{\psi} \quad \text{if}(HSI > 1.0) \quad HSI = 1.0 \quad (8)$$

ここでは、これら4種の手法によりHSIモデルを構築し、感度解析を行った。

図-7に現地の熱帯性大型海草の被度分布を示すとともに、図-8～図-11には上記の式(5), (6), (7), (8)から算出したタイプ1の熱帯性大型海草のHSI分布を示す。

これらを比較すると、算術平均法と加算要因法のHSI分布は、現地観測による大型海草の被度分布より広くなり、分布形状が異なる。また、加算要因法により算出されるHSIは分布域のほぼ全てで1.0となり、現地観測値の被度に対し、数値が大きくなる。

一方、幾何平均法と限定要因法により得られたHSI分布は、現地観測値の被度分布と同程度となった。なお、幾何平均法により算出されるHSIと限定要因法で算出されるHSIの値を比較すると、幾何平均法により算出されるHSIの方が高い傾向を示した。

3. HSIモデルの検証

構築した熱帯性大型海草のHSIモデルについて検証を行うため、実測値と計算値の比較を行った。

図-12～図-15は、横軸に構築したHSIの値をとり、縦軸に熱帯性大型海草の被度のSIをとったものである。

これらによると、算術平均法により算出されたHSIは、実測値の被度SIに比べて、全体的に高くなる傾向を示した。

幾何平均法により算出されたHSIは、実測値の被度SIが1.0に近い領域で計算値も1.0に近い値を示すものの、実測値の被度のSIが小さい領域で計算値が高くなる傾向を示した。

限定要因法により算出されたHSIは、実測値の被度SIが1.0に近い領域で計算値は1.0に近い値を示し、実測値の被度SIが小さい領域においては、他の3手法よりも計算値は小さい傾向を示した。

加算要因法により算出されたHSIは、実測値の被度SIに係わらず1.0を示した。

以上の結果から、限定要因法による算出手法が他の3手法に比べより良い方法と判断し、同手法によるHSI値を採用することとした。

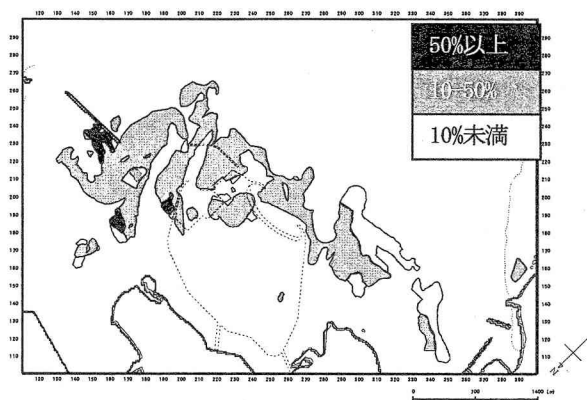


図-7 熱帯性大型海草の被度の分布

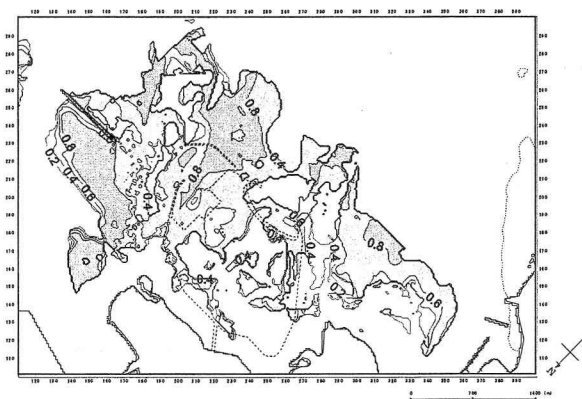


図-8 算術平均法による熱帯性大型海草のHSIの分布

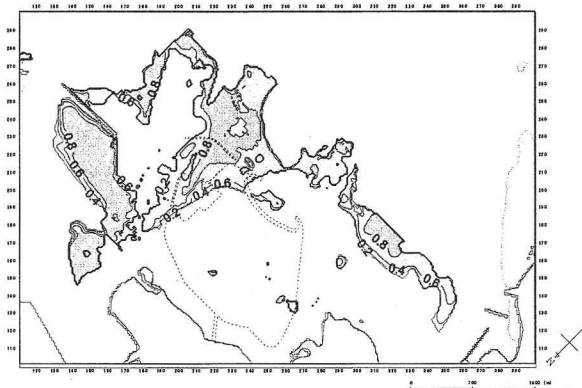


図-9 幾何平均法による熱帯性大型海草のHSIの分布

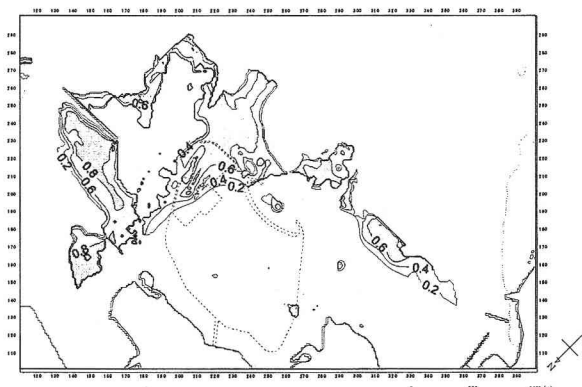


図-10 限定要因法による熱帯性大型海草のHSIの分布

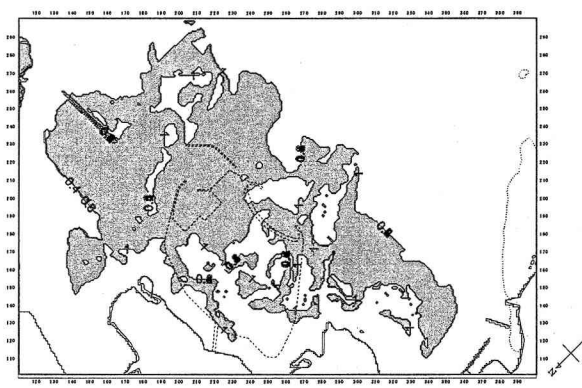
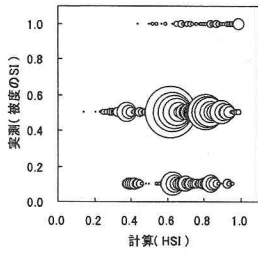


図-11 加算要因法による熱帯性大型海草のHSIの分布

タイプ1



タイプ2

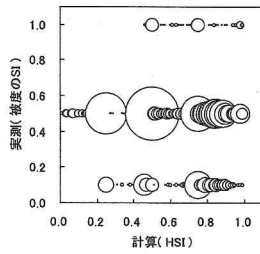


図-12 算術平均法のHSI値と実測値（被度のSI）の比較
タイプ1 タイプ2

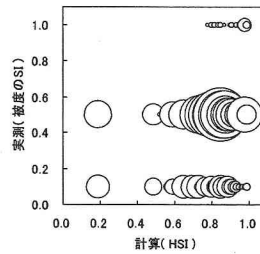
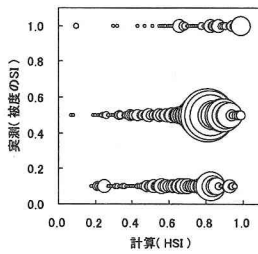


図-13 幾何平均法のHSI値と実測値（被度のSI）の比較
タイプ1 タイプ2

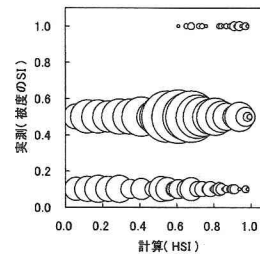
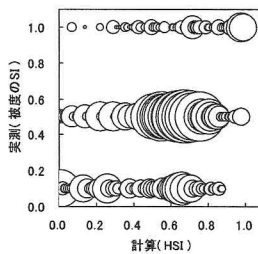


図-14 限定要因法のHSI値と実測値（被度のSI）の比較
タイプ1 タイプ2

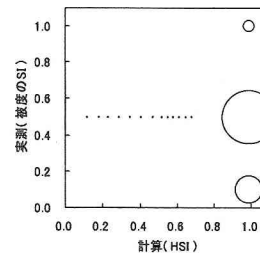
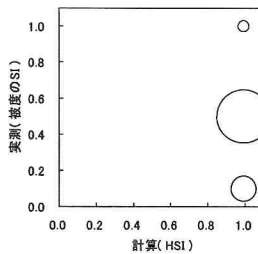


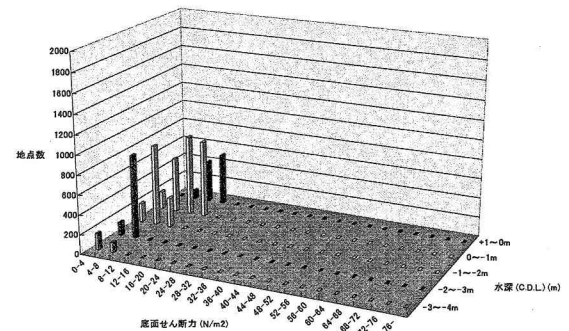
図-15 加算要因法のHSI値と実測値（被度のSI）の比較

次に、20mメッシュ上での水深別・底面せん断力別に整理した熱帯性大型海草の生育域のメッシュ数と、限定要因法により算出されたHSI値の領域のメッシュ数を比較検討を行った。図-16に検討結果を示す。

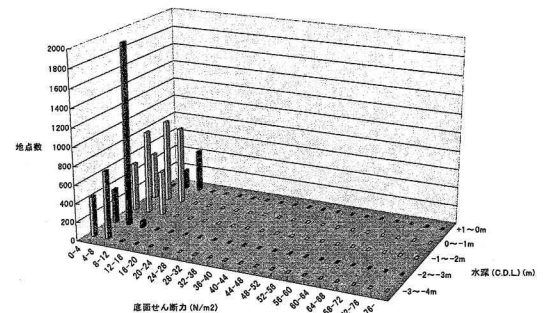
同図によれば、実測値の大型海草の被度分布は、底面せん断力で $0\text{N}/\text{m}^2 \sim 16\text{N}/\text{m}^2$ に、水深で $\text{CDL}-4\text{m} \sim +1\text{m}$ に分布している。タイプ1のSIグラフから得られたHSIの分布は、実測値とよく対応した分布を示している。一方、被度毎に平均値に対する標準偏差を考慮して算出したタイ

プ2のSIグラフから得られたHSIの分布は、実測値よりも狭い範囲に分布する傾向を示した。また、 $\text{HSI} > 0.0$ となる領域の面積を格子数に格子面積（ $20\text{m} \times 20\text{m}$ ）を乗じて算出した結果と、平成15年11月の熱帯性大型海草の生育分布面積との面積比で示すと、タイプ1で1.30、タイプ2で1.18となり、いずれのタイプも実測値の分布面積より大きい結果を示した。タイプ別では、タイプ1よりタイプ2の方が、面積の適合率は良好であったが、水深別の分布形状はタイプ1の方が適合している結果となった。

実測値



計算値（タイプ1）



計算値（タイプ2）

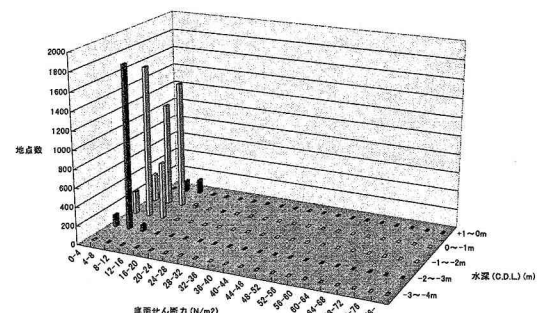
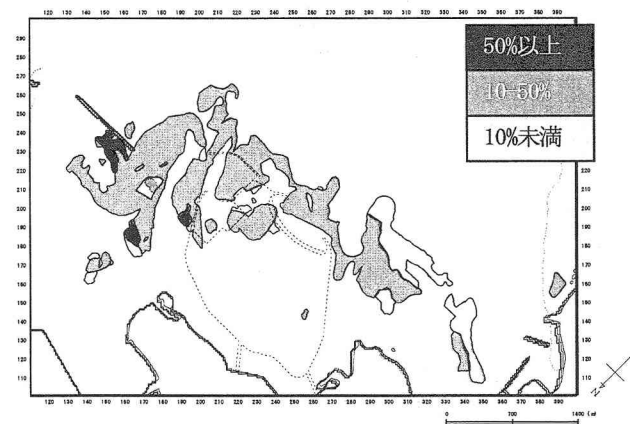


図-16 水深別・底面せん断力別の熱帯性大型海草の生育域のメッシュ数と限定要因法により算出したHSI値の領域メッシュ数

以上の結果から、タイプ1のSIグラフを用いた限定要因法によるHSIモデルは、生育面積、HSIの値ともに熱帯性大型海草の全体的な分布特性を捉えることが可能であると判断できる。

観測値（被度の分布）



計算値（HSIの分布）

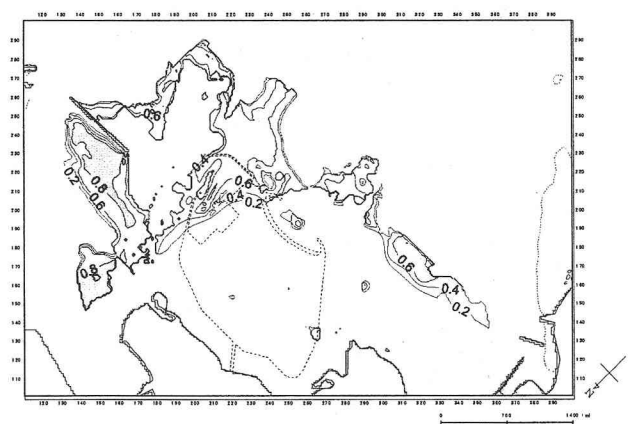


図-17 熱帯性大型海草の被度の分布とHSIの分布

4. おわりに

本研究では、泡瀬地区の熱帯性大型海草の分布データを用いて、熱帯性大型海草のHSIモデルを構築した。SI値の設定に際しては、重回帰分析によって水深、底質中央粒径、底面せん断力、シールズ数の4つが生育環境条件として採択された。設定したSIグラフは、既往知見に基づくSIグラフ（タイプ1）と平均値に対する標準偏差を考慮したSIグラフ（タイプ2）の2種類とし、HSIモデルの構築では算術平均法、幾何平均法、限定要因法、加算要因法の4種について検討を行った。その結果、タイプ1のSIグラフを用いた限定要因法によるHSIモデルが、全体的な分布特性を現すモデルとなった（図-17）。しかしながら、より詳細な観点から見ると、精度の問題が残っている。特に、面的なデータを精度良く整えることが必要である。

今後は、さらに長期的な面的データを蓄積しつつ、モデルの精度向上を図り、将来的には環境保全・創造事業の評価や方策検討に結びつけていく予定である。

参考文献

- 1) (財)日本生態系協会：環境アセスメントはヘップ(HEP)でいきるーその考え方と具体例ー，株式会社ぎょうせい，2004.
- 2) 国土交通省港湾局監修／海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブック（第3巻藻場編），2003.
- 3) 川上泰司・小早川弘・溝口忠弘・三島京子・小島大典：熱帯性藻場生育条件の把握の試み，海洋開発論文集，Vol.20，pp.431-436，2004.
- 4) 沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所，（財）港湾空間高度化環境研究センター 港湾・海域環境研究所：平成13年度中城湾港泡瀬地区環境整備計画調査業務報告書，2002.
- 5) 沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所，（財）港湾空間高度化環境研究センター 港湾・海域環境研究所：平成14年度中城湾港泡瀬地区環境整備計画調査業務報告書，2003.
- 6) 沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所，（財）港湾空間高度化環境研究センター 港湾・海域環境研究所：平成15年度中城湾港泡瀬地区環境整備計画調査業務報告書，2004.