外力再現計算を用いた 西表島北西部海域における ウミショウブ群落分布域の物理条件解析

中瀬 浩太¹・村上 智一²・鵜飼 亮行³
水谷 晃⁴・下川 信也⁵・河野 裕美⁶

¹正会員 五洋建設株式会社 環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)
E-mail: Kouta.Nakase@mail.penta-ocean.co.jp

²正会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究ユニット
(〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)
E-mail: tmurakami@bosai.go.jp

³正会員 五洋建設株式会社 環境事業部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)
E-mail: Akiyuki.Ukai@mail.penta-ocean.co.jp

⁴東海大学 沖縄地域研究センター (〒907-1541 沖縄県八重山郡竹富町上原870-277)
E-mail: amizu@yoyogi.ycc.u-tokai.ac.jp

⁵正会員 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究ユニット
(〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1)
E-mail: simokawa@bosai.go.jp

⁶東海大学 沖縄地域研究センター (〒907-1541 沖縄県八重山郡竹富町上原870-277)
E-mail: hkohno@scc.u-tokai.ac.jp

八重山諸島周辺海域を分布北限とする熱帯性海草ウミショウブは環境省 RDB に絶滅危惧 類として掲載されているが、本種の分布・群落状態および生育環境の定量的条件に関する情報は乏しい。そこで西表島北西部のウミショウブ分布範囲について当該海域の通常の高波浪条件を用いた外力分布再現計算を行い、この結果と、同海域のウミショウブ分布の調査結果とを直接比較し、ウミショウブの密生かつ草丈の長い群落は、D.L.-0.76m までの水深で、通常の冬季高波浪時の平均有義波高 25 ~ 32 cm、平均底面流速 11 ~ 19 cm/s、大潮時平均残差流速 0.1 ~ 0.3 cm/s を中心とする範囲に分布していることが明らかになった。この条件を物理環境の再現計算結果に当てはめると、おおむね現状の群落分布が再現され、ウミショウブの群落分布には物理条件が大きく影響することが明らかになった。

Key Words : *Enhalus acoroides, Iriomote island, Distribution, Outer forces, Numerical simulation*

1. はじめに

熱帯性海草群落は干潟やマングローブ、サンゴ礁と同様に生物資源涵養の場かつまた生物多様性が豊かな場であり、沿岸海洋生態系でも重要な役割を持つことが知られている¹⁾。一方で、埋立や赤土流出等の急激な環境変化により、熱帯性海草群落は分布が急減している²⁾。

日本に分布する熱帯性海草のうち、ウミショウブ *Enhalus acoroides*(図-1)は、石垣島や西表島など八重山諸島周辺海域が分布北限で、環境省RDBでは絶滅危惧 類に分類されている。西表島北西部の網取湾等では、かつて大規模なウミショウブ群落が形成されていた場所で衰退・消失の報告があり³⁾、さらに西表島各地でも本種群落の衰退が一部のダイバー等から指摘されている。

図-1 ウミショウブ (崎山湾の密生群落・東海大学提供)

村上ら⁴⁾によればウミショウブ種子の分散力はきわめて小さく、流況再現計算を用いて評価した種子の平均移動距離は、その群落サイズとほぼ同等と考えられた。このことは、中島ら⁶⁾のフィリピン北西海域におけるマ

イクロサテライトマーカーを用いた集団遺伝学的解析で、15kmスケール内の地点間での遺伝的分化が大きいことから、本種の種子・果実等の長距離分散の頻度が低いと指摘されたことから裏付けられる。

本種の群落の保全を考えるためには、現在の分布状況や生育環境条件について明らかにする必要がある。しかし、本種の分布に係わる物理的条件に関しては、光条件や堆積条件についての調査報告はみられるが、波・流れといった外力条件と比較検討した例は少ない。たとえばRene⁶⁾によるフィリピンのウミシヨウブ群落において浮遊物を漂流させて流速を測定した事例や、Komatsu⁷⁾によるタイの群落で石膏球を用いた流速測定を行った事例が見られる程度である。これらの結果は植物体への粒子堆積状況と関連して論じられているが、分布範囲を明確にする目的で味で外力を評価しているものではない。

竹山⁸⁾は本種の群落分布の現地調査結果と、波・流れの数値再現計算結果による平面分布とを定性的に比較して本種の密生群落分布条件は、冬季の典型的条件の有義波高分布との比較ででは、湾奥部あるいは島やリーフ背後等で外洋からの波浪が遮蔽された場所に見られ、冬季大潮時の潮汐残差流速からは群落は潮汐残差流速の比較的大きい場所に見られるとした。しかし、これらは分布状況と再現計算の数値を直接対比するまでには至っていない。

本研究では西表島北西部のウミシヨウブ群落分布調査による群落の有無や群落状況と、分布調査範囲を対象に行った波高、底面流速、潮汐残差流の再現計算結果について直接比較を行ない、ウミシヨウブの群落分布場所の物理的条件を定量的に抽出することを試みた。

2. 調査方法

(1) 調査地概要

西表島は図-2に示す沖縄県八重山諸島内に位置する離島である。西表島北西部の地形は北東部や南部の地域と比較して、水深の大きな湾入部が多く複雑なことが特徴

図-2 調査地点位置図

図-3 調査範囲の深浅図および密生群落観察地点

である。また、図-3に示すように陸地の周囲は水深D.L.-10m以浅にリーフが発達している。

ウミシヨウブの分布は、2013年度に西表島北西部の浦内湾から崎山湾にいたる延長45kmにわたる海岸線を対象に調査が実施された。分布の有無はすでに確認され、その一部は竹山⁸⁾にも示されている。

(2) 検討に用いたウミシヨウブ分布調査結果

ウミシヨウブの分布は2013年7月～10月に実施した群落状況調査結果を用いて検討した。

汀線から沖合に約50m離れた位置を岸沿いに観測者を船舶で曳航するマンタ法を用いたライントランセクト調査で、ウミシヨウブの分布の有無および分布状況を表-1に示す基準を用いて目視観察した。調査の軌跡と群落状況調査地点はGPSにて記録した。密生群落が確認された場所では、群落外周を遊泳あるいは小型船舶で航走して、その分布範囲外周をGPSで記録されている。

これらの群落分布に関するデータは、物理条件再現計算と比較検討するために外力再現計算に用いるものと同じ、50m×50mの計算メッシュ上に表現した。この方法用いたライントランセクト記録の一例を図-3に示す。図中には密生群落の外周範囲も示した。

これらの群落分布に関するデータは、物理条件再現計

表-1 群落状況の評価基準

	密度	小群落点在	株点在
密度	密生	疎生	点生
葉長	50cm以上 長い	20～50cm 短い	20cm以下 極端に短い

図-4 ウミシヨウブ調査結果記載の一例

算結果と比較検討するため、外力再現計算に用いる50m×50mのメッシュ上に表現した。

(3) 分布場所の外力再現計算

ウミシヨウブは沿岸浅海域の砂礫、サンゴ礫、および砂泥域に分布しているため、波浪による底質安定性や、陸域等からの土砂流入や堆積によって、その群落分布が影響されることが考えられる。

波・流れなどの物理的外力によるウミシヨウブの分布の影響は、台風などの一時的なイベント以上に、毎年かつ日常的に作用する高波浪等の影響が大きいと考えた。

竹山ら⁸⁾は、気象庁のGPV(24°42'N, 123°36'E)の2008年7月～2009年10月の約1年間の沖波、およびアメダス(西表島)の風向のデータより、西表島北西部では年間を通じてNNE～NEの沖波及び風向が卓越するが、特に冬季は北東季節風の影響でほとんどがNNE～NE方向からの波向・風向となつた。

そこで連続的に長時間作用する大きな外力を冬季の季節風が影響する条件として、上記の情報を入力条件として、波高分布、潮汐残差流、および底面流速について実施した。波高はウミシヨウブ草体に直接的に働く物理力、底面流速はウミシヨウブ分布場所の底質安定性に影響する物理力と考えた。

また、潮汐残差流は、その場所の流れが停滞的か一方向的か(潮通しが良いか)を表し、間接的に粒子の堆積性を評価しうる外力と考えた。

波高分布および底面流速の再現計算には、浅海域波浪推算モデルSWAN⁹⁾を用いた。計算期間は、典型的な冬季の気象条件であった2013年1月14日～1月18日とした。ウミシヨウブ分布との比較のため、各計算メッシュに計算期間中の平均有義波高および平均底面流速を表した。平均底面流速は振動流速振幅の二乗平均平方根で、期間中の実質的振幅最大値を示す。また、大潮時に当たる2012年12月30日～2013年1月4日の潮汐条件を用いて、海洋モデルCCM¹⁰⁾により潮汐残差流を計算した。各計算メッシュに計算期間中の潮汐残差流速の平均値を表した。

5. 結果

(1) 再現計算結果

西表島北西岸で冬季に典型的に見られる高波浪条件における波高・底面流速および大潮時の潮汐残差流の計算による計算期間中の平均値の平面分布を図-5に示す。

冬季の通常の高波浪時の平均有義波高分布では、沖合からの高波浪は水深10m以下のサンゴ礁縁部分より陸地側には見られず、リーフの存在が波浪低減に役立っていることが明らかであった。また平均底面流速は、これらのサンゴ礁縁にあたる部分の水深10m程度の場所で大きい傾向があり、高波浪が急激に減衰するときに流れに変化することがうかがわれ、平均潮汐残差流は離島間の海峡部や岬先端の沖側で大きくなる傾向が見られた。

(2) ウミシヨウブ分布と外力との比較

前述の通り、ウミシヨウブの分布状況を外力再現計算に用いた計算メッシュにあわせて表記し、各メッシュごとに、再現計算による波高・底面流速・残差流速の各階層別出現頻度を評価した。この状況を図-6のヒストグラムに示す。これより、ウミシヨウブは調査地点ごとに密生群落を形成する物理条件の中心的分布範囲が異なる傾向が見られた。

平均有義波高(cm)

平均底面流速(cm/s)

平均残差流速(cm/s)

図-5 物理条件再現計算結果

図-6 外力条件別ウミシヨウ分布状況ヒストグラム

全区域の外力条件別の平均値をt検定にて差を比較したところ、差が見られた ($p < 0.01$) のは、水深では白浜 (深い) と崎山湾 (浅い)、平均有義波高では内離 (高い) と崎山湾 (低い)、平均潮汐残差流速では美田良 (小さい) とハヤサカ水路 (大きい)、平均底面流速は全体の平均値と各地点別分布条件平均値は全ての地点で相違があった。

図-7に示す地点を識別した水深・平均有義波高別の群落分布場所の散布図からも、白浜地区は水深が深い側にプロットが広がっているが、崎山湾では浅い場所にプロ

ットが集中していることが示されている。

また、図-8に示す潮汐残差流と底面流速による調査地点別に群落分布場所を表した散布図では、地点別に平均底面流速が異なる範囲に分布していることが明らかになっている。

ヒストグラムの分布傾向より見ると、a) 祖納干立・祖納漁港・美田良・内離と b) 白浜港南部・北部、および、c) ハヤサカ水路・崎山湾の3つのグループがあるように思われる。

a) は底面流速が大きく残差流速が小さいため、波浪

図-7 地点別水深・有義波高別分布散布図

図-8 地点状況別・残差流速・底面流速別分布散布図

による海水移動が大きいと考えられる。b) は底面流速は小さいが残差流速が大きい部分が多く、潮汐による海水交換の影響が大きいと思われる。c) はその中間的状況であると考えられた。

(4) ウミショウブ群落状態別物理条件

ライントランセクト調査では、西表島北西部全体の離岸距離約 50m 部分のウミショウブが分布する 268 メッシュの被度・草丈の状況が記載されている。これよりウミショウブ分布場所の被度および草丈別に物理条件を抽出して評価した。表-1 に示したウミショウブの被度、草丈別に各物理条件別の分布状況散布図を図-11,12 に示す。

ウミショウブの密度が高く草丈も長い部分はプロットが集中して見られた。また、その中心からプロットの部分外縁に向かうと、ウミショウブの密度が低下し、草丈が短いものが多い傾向がみられた。また水深1.0m以深は草丈が長い群落数が急減していることが明らかであった。

このことから、被度が密生かつ草丈が 20 cm以上の部分が本海域におけるウミショウブ分布の外力からみた「分布中心域」であると考えた。これらのプロットの大部分は各物理条件の平均値±標準偏差の範囲内に入っている。図-9,10 より判断したウミショウブの分布中心域

の条件を「適合範囲」とした。この条件を以下に示す。

- ・水深：0.41±0.35m (上端は 0.06m を 0m とした)
- ・平均有義波高：28.4±3.82cm
- ・平均潮汐残差流速：0.186±0.082cm/s
- ・平均底面流速：15.26±3.44cm/s

図-5 の再現計算結果を用いて、水深・平均有義波高・平均底面流速・平均潮汐残差流速が上述の範囲に該当する部分を抽出した。この部分の状況を図-11 に示す。群落状況が密生かつ草丈 20 cm以上の範囲は、図-3 に示した現状におけるウミショウブ密生群落分布場所によく類似している。

しかし、現在分布が見られない外離島南側や船浮湾の湾口部南岸側にも適合範囲が見られ、また、過去に分布が確認されたが、現在は群落が消滅している網取湾奥部³⁾も適合範囲とされた。

一方、水深 2~4m の深い部分にも群落が確認された白浜港南側は適合範囲とされなかった。この部分は水深が適合範囲より外れているので除外されてしまったためである。

6. 考察およびまとめ

ウミショウブの分布場所を西表島北西部の通常時における代表的な高波浪条件、および大潮時の条件を数値計算によりその分布を再現し、ウミショウブの分布調査結果と直接対比させた。この検討では物理的条件のうち、水深と波と流れにのみ着目しており、底質状況は考慮していない。また、他種の海草やサンゴとの競合も検討対象としていない。また、濁りや透明度も評価されていない。

しかし、ウミショウブが密生かつ草丈20cm以上の物理条件で物理条件再現計算の場をフィルタリングしたところ、現状の分布をほぼ再現できた。このことから、ウミ

図-9 群落状態別・水深有義波高別分布散布図

図-10 群落状態別・残差流速・底面流速別分布散布図

図-11 物理条件より評価した群落分布適合範囲

ショウブ分布を規定する条件のうち水深・波・流れの影響が大きいものと考えられた。

もちろん底質条件や濁りや透明度, および細粒分の堆積等の要因もウミショウブ分布に大きく影響される。造礁サンゴ群集との競合や, 食害生物による影響も考えられる場合もある。また, 過去の分布が現在消滅したことが確認されている網取湾奥部では, 物理条件からはウミショウブが分布可能とされた。ウミショウブの伝播力がきわめて乏しい事から考えると, 過去の何らかのイベントにより群落が消滅し, その後群落が回復していないことが考えられる。再現計算に用いた条件は, 長時間継続すると考えられる高波浪条件を用いており, 台風等のイベントは除いている。過去の巨大な攪乱がどのように影響したかを評価するのは今後の課題である。

さらに, 河川等からの濁りの拡散や他生物との競合, も評価すべき項目として残されている。深い部分にウミショウブ群落が確認された白浜港南側は, 潮汐残差流速が比較的大きく, 粒子堆積量が少ないことや透明度が高いことも推測された今後追加すべき要素と思われる。

気象的イベントを含め, これらのインパクトがウミショウブ分布に対してどの程度の寄与があるかを評価し, より正確な分布条件を把握したいと考えている。

謝辞: 本研究の実施にあたり船舶運航や現地調査指導を頂いた東海大学沖縄地域研究センターの崎原健氏, および同センターでウミショウブの調査研究に携わり多大な努力によりデータを取得した東海大学海洋学部海洋生物科学士の蔵持登士江氏・岩崎彩加氏, 東海大学大学院海洋学研究科の玉本満氏(当時)に深く御礼申し上げる。なお, 本研究は東海大学・五洋建設株式会社・国立研究開発法人防災科学技術研究所の共同研究の成果である。

参考文献

- 1) 独立行政法人水産総合研究センター: 熱帯性海草藻場の再生に関する検討, pp.2-4, 2008.

- 2) 仲岡雅裕, 河内直子, 吉田正人, 小林愛: ジャングサウオッチ-市民参加型モニタリングによる海草藻場調査, 日本自然保護協会報告書, 第97号, pp.31, 2007.
- 3) 中村洋平: ウミショウブ藻場の消失に伴う魚類群集構造の変化, 西表島研究 2009, pp.18-22, 2010
- 4) 村上智一, 河野裕美, 岩崎彩加, 蔵持登士江, 下川信也, 木村賢史: 生態調査に基づく西表島網取湾におけるウミショウブ種子の分散力の数値解析, 土木学会論文集B3(海洋開発), 第70巻, pp.I-1074-I-1079, 2014.
- 5) 中島祐一, 松木悠, Dan Arriesgado, 練春蘭, Miguel Fortes, Wilfredo Uy, Wilfredo Campos, 仲岡雅裕, 灘岡和夫: 遺伝マーカーを用いた熱帯性海草ウミショウブの地域個体群維持機構の解明, 日本生態学会第60回全国大会(2013年3月, 静岡)講演要旨
- 6) Rene Nadal Rollon: Spatial Variation and Seasonality in Growth and Reproduction of *Enhalus acoroides* (L.f.) Royle Populations in the Coastal Waters off Cape Bolinao, NW Philippines, pp.9-35, A.A. BALKEMA, Rotterdam, 1998.
- 7) Teruhisa Komatsu, Yu Umezawa, Masahiro Nakaoka, Chatchree Supanwanid, Ziyusei Kanamoto: Water flow and sediment in *Enhalus acoroides* and other seagrass beds in the Andaman Sea, off Khao Bae Na, Thailand, Coral Marine Science, 29(1), pp.63-68, 2004.
- 8) 竹山佳奈・河野裕美・蔵持登士江・岩崎彩加・村上智一・木村賢史・鶴飼亮行・中瀬浩太: 西表島北西部における熱帯性海草ウミショウブの広域分布および生育環境条件について, 土木学会論文集B3(海洋開発), 第70巻, pp.I-1068-I-1073, 2014
- 9) Booij, N., Holthuijsen, L.H. and Ris, R.C.: The SWAN wave model for shallow water, Proc. 25th Int. Conf. Coastal Engng., Vol. 1, pp.668-676, 1996.
- 10) 村上智一, 安田孝志, 大澤輝夫: 気象場と結合させた湾内海水流動計算のための多重σ座標モデルの開発, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.366-370, 2004

DISTRIBUTION ANALYSIS OF *ENHALUS ACROIDES* VEGETATION, USING HYDRAULIC MODEL, IN THE NORTHWEST SEA AREA OF IRIOMOTE ISLAND, OKINAWA, JAPAN

Kota NAKASE, Tomokazu MURAKAMI, Akiyuki UKAI,
Akira MIZUTANI, Shinya SHIMOKAWA and Hiroyoshi KOHNO

An areawide research result of *Enhalus acoroides*, subtropical seagrass and the endangered species, distributions and growing conditions and the simulated area wide distributions of wave and current, using hydraulic model of SWAN and CCM for typical winter high wave and spring tide conditions. The suitable condition of the wave and current have been extracted that, D.L. -0.76 m in depth, 25-32 cm in $H_{1/3}$, 11-19 cm/s in bottom flow, and 0.1-0.3 m/s in residual current. The numerical simulations with these conditions can reproduce the present state of the distribution of *E.a.* phytocenosis, and reveal that the physical conditions affect strongly the distribution.