

クビレミドロ生育干潟の設計条件の検討

Design Conditions of Artificial Tidal Flat for the Growth of *Pseudodichotomosiphon constrictus*

津田修一¹・國場幸恒²・與那覇健次³・池田義紀⁴・小野信幸⁵・片野明良⁶・久留島暢之⁷

Syuichi TSUDA, Yukitsune KOKUBA, Kenji YONAHARA, Yoshinori IKEDA,
Nobuyuki ONO, Akiyoshi KATANO and Nobuyuki KURUSHIMA

Kubiremidoro, the botanical name of which is *Pseudodichotomosiphon constrictus*, is an endangered species which grows only in Okinawa, Japan. One of the rare habitats of Kubiremidoro is Awase tidal flat in Nakagusuku bay, where many observation data have been collected to conserve the species. This study intends to clarify the growth conditions of Kubiremidoro, focusing on the relation between the habitats and the forcing conditions such as wave and current. Discriminant analysis has been conducted to obtain dominant parameters. As the result, the bed shear stress in the condition of normal wave and the wave-induced current speed in storm were obtained as the dominant parameters to discriminate if Kubiremidoro can grow or not.

1. はじめに

沖縄県の中城湾奥に位置する泡瀬地区では、現在、人工島整備事業が進められている。泡瀬地区の干潟には図-1に示す範囲に、環境省のレッドリストの絶滅危惧Ⅰ類に指定されているクビレミドロが生育しており、埋立事業における保全策として、クビレミドロが生育可能な人工干潟の造成が検討されている。このような希少種を保全するための人工干潟の造成には、種特有の生育条件を明らかにし、より慎重に整備を進めていく必要がある。人工島整備事業においては、2000年度より環境監視調査が継続して実施されており、クビレミドロについても多くの監視データが蓄積されてきている（那覇港湾・空港整備事務所 中城湾港出張所）。

本研究は、環境監視調査により得られたクビレミドロの生育条件に関する知見を整理し、特に、クビレミドロが生育可能となる外力条件について検討する。

2. クビレミドロの生育環境

クビレミドロは黄緑藻類に属する海産種であり、現在では、図-2に示す沖縄本島の4箇所においてのみ生育が確認されている日本固有種である。これらの4箇所の地形の特徴は、島等による波の遮蔽効果が高い場所（屋慶名地区、太田地区）か、広い浅瀬の奥で波の減勢効果が高い場所（泡瀬地区、知念岬）である。



図-1 泡瀬地区の人工島建設予定地とクビレミドロの生育域

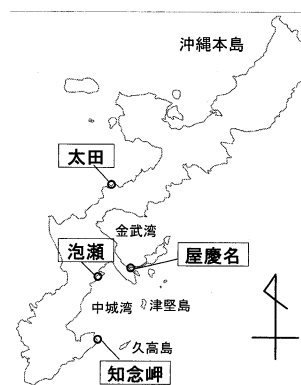
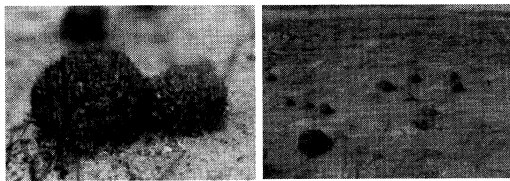


図-2 クビレミドロの生育地

クビレミドロの生態としては、図-3に示すように、夏場は卵として海底で休眠し、水温の低下する秋～冬季に発芽し、春先（3月中旬～4月上旬）に最盛期となる（那覇港湾・空港整備事務所中城湾港出張所, 2007）。

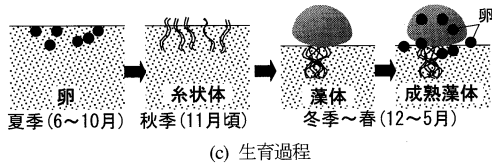
図-4は、環境監視調査で確認されたクビレミドロの生育範囲の分布から、生育の基礎的条件となる地盤高の範囲を読み取ったものである。図は、2004～2007年の各年

1 那覇港湾事務所
2 那覇港湾事務所 中城湾港出張所
3 那覇港湾事務所 中城湾港出張所
4 (財) 港湾空港高度化環境研究センター
5 正会員 博(工) (株) エコー 調査・解析部
6 正会員 修(工) (株) エコー 調査・解析部
7 正会員 修(工) (株) エコー 調査・解析部



(a) クビレミドロの藻体

(b) 密生した群生域



(c) 生育過程

図-3 クビレミドロの写真と生育過程

3月（クビレミドロの生育のピーク）の生育域外縁部を重ね合わせたものと、海底地形の格子データ上で生育域となる箇所について、地盤高ランク別に格子数を集計した結果である。地形格子データは、20m メッシュで作成したものであり、生育域はクビレミドロの藻体を確認された範囲と濃生域（20藻体/m²以上）の2段階で集計した。図より、クビレミドロの生育範囲には多少の変動があるものの、毎年ほぼ同じ場所に生育していることがわかる。潮位との関係では、泡瀬地区の潮位は、H.W.L.は+2.1m、M.W.L.は+1.2m、L.W.L.は+0.1mであるので、クビレミドロの生息域は潮間帯に位置する。また、表-1に他地区の生育域の地盤高と底質粒径を示す。いずれの場所でも生育域の地盤高は潮間帯であり、底質は細砂・中砂質である。

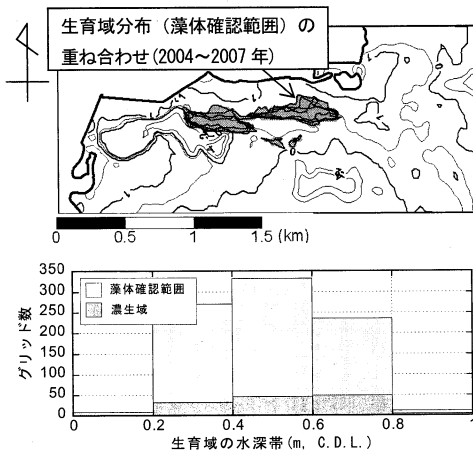


図-4 泡瀬地区における生育域と地盤高の範囲

表-1 生育地の地盤高と底質粒径

	地盤(m.C.D.L.)	主な底質(中央粒径, mm)
泡瀬地区	+0.2~+0.8	細砂・中砂が主体(0.2)
屋敷名地区	+0.6~+0.8	礫まじり砂泥(0.4~0.7)
太田地区	+0.8~+0.9	砂泥(0.4~0.7)

3. 外力条件の検討

(1) 台風の影響

沖縄県は、台風の常襲地域であるため、台風による擾乱がクビレミドロの生育に影響を与えていることが考えられる。泡瀬地区のクビレミドロ生育に及ぼす外力の影響を検討するため、まず、台風との関連について調べた。

図-5は、1999年4月～2006年4月のクビレミドロの濃生域の面積、津堅島沖のNOWPHAS有義波高及び風速の時系列データである。2005年3月の濃生域面積が最も小さくなっており、その前年の2004年は多数の台風が来襲した年である。そこで、前年の卵期（6月～10月）の高波浪の出現回数と最盛期（各年3月）の濃生域面積の関係を調べた。図-6はその結果であり、有義波高4m以上の出現回数及び風速10m/s以上の強風の出現回数と生育域面積の関係をそれぞれプロットしたものである。

図より、高波浪及び強風が多く出現した年は生育面積が減少する関係が見られ、台風により生じる高波浪による擾乱がクビレミドロの生育に影響を及ぼすことが確認された。図-7は、波高4m以上の高波浪と風速10m/s以上の強風の出現要因について台風経路図により確認した結果であり、高波浪では99％、強風では93％が台風の接近によるものであった。また、高波浪と強風では、強風の方が生育面積との相関係数が高いが、クビレミドロの

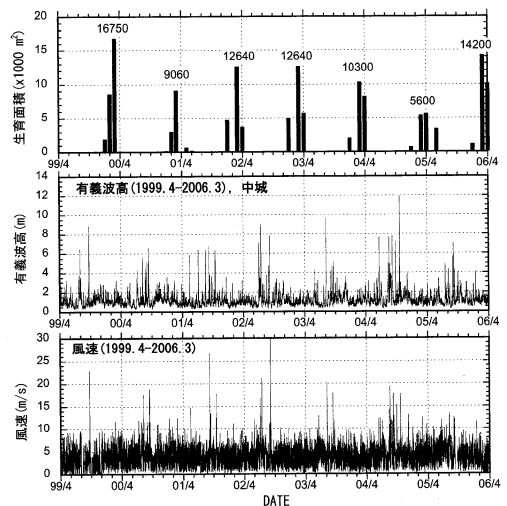


図-5 濃生域面積、有義波高、風速の時系列データ

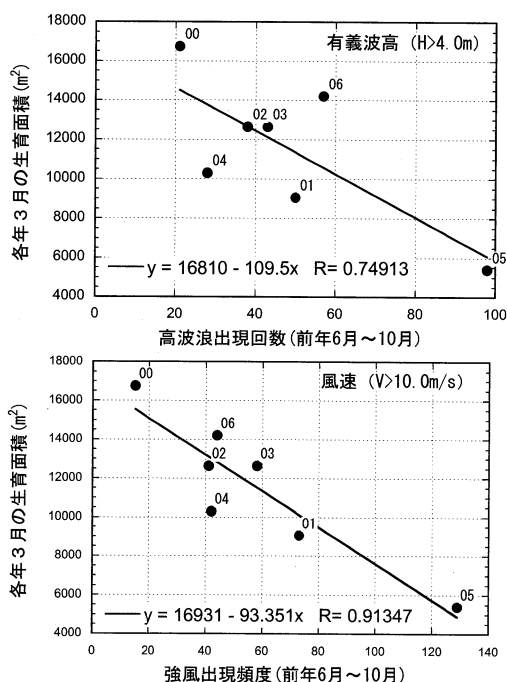


図-6 高波浪及び強風の出現回数と濃生域面積の相関

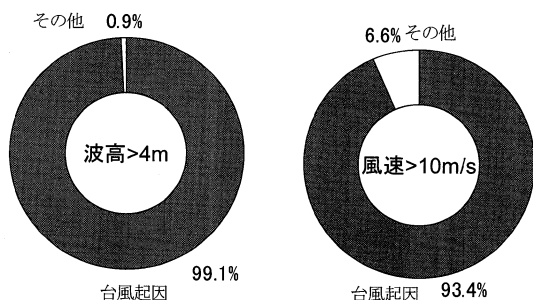


図-7 高波浪と強風の出現要因

生育域は M.W.L.以下でほぼ没水しているため、台風時の高波浪によって海底の卵が巻き上げられ移動することが、生育面積の減少に関連していると考えられる。

(2) 判別分析による外力指標の検討

クビレミドロが生育可能な人工干潟を造成するためには、現状のクビレミドロ生育地の外力条件と同程度にすることが、生育に適した環境を設計する上で望ましいと考えられる。生育条件の主要因子を検討した例として、高橋ら (2005) の重回帰分析による方法もみられるが、ここでは、判別分析を用いて生育域と非生育域を判別する外力指標について検討する。

判別分析は、事前に与えられているデータが異なるグループに分かれることが明らかな場合に、どちらのグループに入るのかを判別するための基準となる判別関数を得

るための統計的手法である。本研究では、クビレミドロの生育と非生育の2つのグループを判別するための外力条件の抽出をおこなった。

a) 分析の前提条件

分析に用いるデータには、図-8に示すような泡瀬地区の干潟上でクビレミドロが生育可能な地盤高である C.D.L.+0.2m~+0.8m の範囲とした。この範囲において、2004~2007年の生育域分布の外延で囲まれる範囲を生育域とし、それ以外を非生育とする。説明変数となる外力条件は、波高、海浜流速および底面せん断応力とし、これらを数値計算により求めるものとした。なお、底質条件は、現生育域の平均粒径である0.2mmの細砂が検討範囲に様に分布しているものと仮定した。

外力条件の算定には、エネルギー平衡方程式による波浪変形を計算し、radiation stress を介して海浜流を計算して波と流れの場を評価する。波と流れの計算結果より、Soulsby (1997) による方法で底面せん断応力を評価する。

外力の計算は、表-2に示すように、高波浪時の代表波として年数回波 (未超過出現確率99.7%) と通常波浪時としてエネルギー平均波と平均波の計3種類に対しておこなった。以上より、3種類の外力指標を3種類の入射波条件に対してそれぞれ求めた計9種類のパラメータを用いて判別分析をおこなった。なお、表-2の波浪諸元は、津堅島沖の波浪観測データを解析し得られたものである。

b) 判別分析

判別分析の第1ステップとして、ステップワイズ法による変数選択をおこなった。ステップワイズ法は、回帰

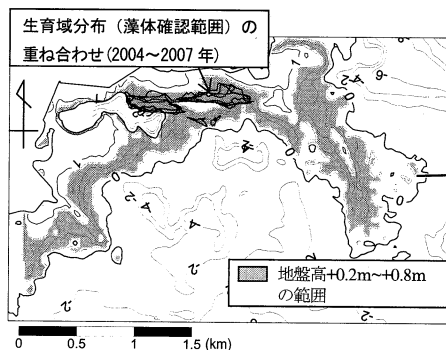


図-8 判別分析に用いるデータを抽出する領域

表-2 判別分析に用いた波浪条件

	波高	周期	波向	潮位
年数回波	5.2	9.8	SE	H.W.L.
エネルギー平均波	1.6	7.4	ESE	M.W.L.
平均波	1.2	7.4	ESE	M.W.L.

分析, 判別分析の変数選択手法の一つであり, 独立変数を徐々に加えて最適式を導き出す方法である. 一般に, 個々の説明変数に対する単回帰分析の結果がよい変数から順に選択される.

表-3はステップワイズ法による判別分析の結果であり, 選択された変数順に判別係数, 単回帰分析時の決定係数を示している. 表より, 上位に選択された変数は, エネルギー平均波に対する底面せん断応力 (τ_2) と年数回波作用時の海浜流速 (U_1) であった. 3番目以降に選定された変数は, 基本的に τ_2 との相関が高い変数でありかつ判別係数の符号が反転しているため, 多重共線性の影響があると考えられる. そこで, 上位2つの変数を用いて, 再度判別分析をおこなった.

表-3 ステップワイズ法による判別分析の結果

変数	判別係数	決定係数 R^2 (単回帰)	R^2 の大きい 順
τ_2	1.85	0.16538	1
U_1	19.08	0.15674	2
τ_3	-2.55	0.15604	3
H_1	-17.75	0.124	9
τ_1	1.87	0.15004	4
H_2	160.7	0.14538	5
H_3	-159.2	0.14089	6
定数項	1.46		

※ H は波高, U は海浜流速, τ は底面せん断応力を表す.
添え字の1,2,3はそれぞれ, 年数回波, エネルギー平均波, 平均波による値であることを示す.

図-9はその結果であり, エネルギー平均波の時の底面せん断力と高波浪時の海浜流速の2つのパラメータにより, クビレミドロの生育・非生育を判別する判別式がえられた. また, 図-4より, クビレミドロの生育条件として, 底面せん断力と海浜流速がともに小さい必要があることが確認された.

c) 分析結果の検証

図-10と図-11は, 判別分析により選定された2つの指標について, 地盤高+0.2~0.8mの範囲のみを色づけして表示したものである. これらの図に見られる底面せん断応力及び海浜流速の分布の特徴からA~Cの3領域に分類される. 領域Aは生育域であり, Bは非生育域で底面せん断応力が 0.8 N/m^2 より大きい場所, Cも非生育域でAと底面せん断応力は同等であるが, 海浜流速が 0.1 m/s より大きい場所となっている. 底面せん断応力 0.8 N/m^2 以下と海浜流速 0.1 m/s 以下の領域で囲まれる範囲は, 図-9において生育条件のデータ点の密度が大きい範囲である. このように, 判別分析により抽出された2つのパラメータより, クビレミドロの生育・非生育域が良

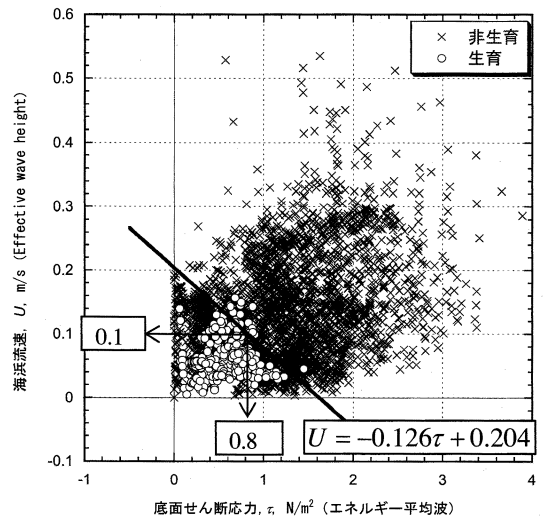


図-9 判別分析結果

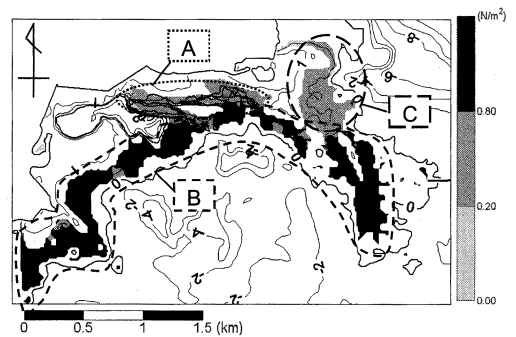


図-10 エネルギー平均波作用時の底面せん断力分布

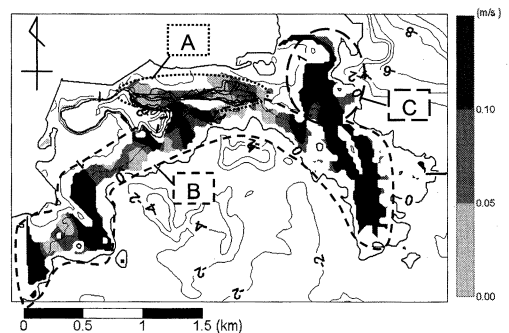


図-11 年数回波作用時の海浜流速の分布

好に判別されていることが確認される。

2つのパラメータより、その物理的意味あいを考察すると以下ようになる。クビレミドロの生育には、①通常時波浪に対する底面せん断応力が小さく静穏であること、②高波浪時においても海浜流速が十分小さく、高波浪時に底面せん断応力が増大し底面のかく乱により卵が浮遊状態となってもあまり遠くまで運ばれないこと、の2点が特に重要である。

4. 人工干潟配置案の検討

外力条件の検討で得られた指標に基づいて、図-11に示す範囲に人工干潟を造成する場合の防波堤の配置方法について、基礎的な検討をおこなった。検討は、人工干潟の地盤高を+0.5m, C.D.L., 底質を現状の生育域と同じ0.2mmとして干潟を造成した場合を想定した。

図-12は、人工干潟上の底面せん断応力と海浜流速が、共に生育条件を満足する場合の防波堤の配置案である。

図-12の案Aに示すように、造成予定場所には南側から波が入射するため、生育条件を満足するには南側に防波堤を配置して波を遮蔽する必要性が確認された。案Bは、案Aでは後背地からのシルト・粘土分の流入が懸念されること、現状の生息域は海に面しているため、生育条件を満足する範囲で波の入射を許容する場合の配置案である。今後は、このような検討結果を元にして、より詳細な検討を加えていく予定である。

5. まとめ

本研究では、沖縄県の中城湾奥に生育する希少種であるクビレミドロを対象に、生育条件となる外力指標の検討をおこなった。現状の生育場所がある程度特定されていることから、生育域の地盤高と同一の水深条件に着目し、生育と非生育を判別する外力パラメータを判別分析により抽出した。分析結果は、現状の生育域と非生育域を良好に判別しており、外力条件と生育条件の関係が明瞭となった。

参 考 文 献

- 高橋由浩・溝口忠弘・先岡良宏・高尾敏幸・三宅光一・小早川弘 (2005) : 熱帯性大型海草のハビタット適性指数 (HSI) モデルの構築, 海洋開発論文集, 第21巻, pp. 695-700.
- 那覇港湾・空港整備事務所 中城湾港出張所: 委員会資料 (オンライン), <http://www.dc.ogb.go.jp/nakagusukuwankou/shiryou02.html>
- 那覇港湾・空港整備事務所 中城湾港出張所 (2007) : 中城湾港泡瀬地区生物ハンドブッカー海辺の生きものたち, pp. 10-11.
- Soulsby, D. H. (1997) : Dynamics of marine sands. A manual for practical applications, Thomas Telford Publications, London, England, 249 p.

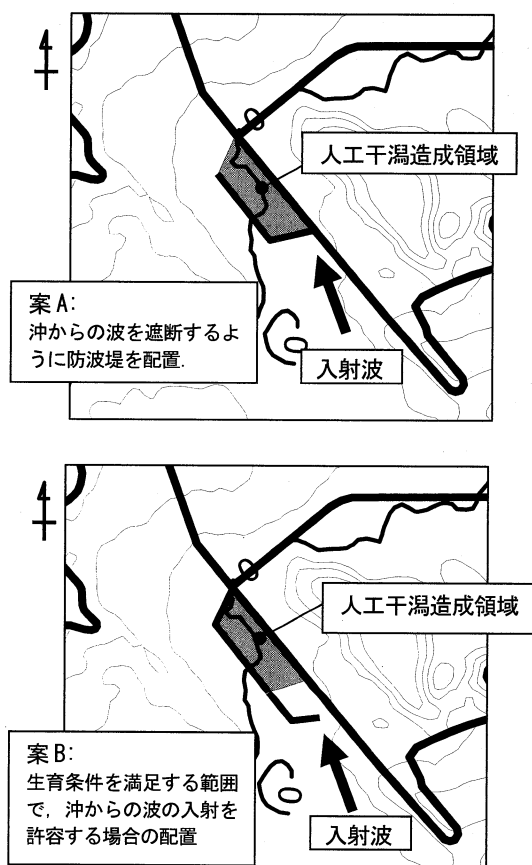


図-12 人工干潟を造成した場合の防波堤の配置案