

厚岸町周辺の岩礁潮間帯海藻群集におけるマツモとフクロフノリの分布パターン決定要因の解明

奥田 武弘, 萩野 友聡、辻野昌広、深谷肇一、田中友之
北海道大学大学院 環境科学院

【研究の背景及び目的】

岩礁潮間帯には有用種として古くから利用されている海藻が多数生息している。厚岸町とその周辺の沿岸域の岩礁潮間帯においても、フクロフノリ、マツモ、クロバギンナンソウ、ウップルイノリ、コンブ類などの有用海藻が生息している。昨年度の厚岸町研究助成金を利用した研究の結果から、東西方向でマツモとフクロフノリの分布パターンの切り替わりが起こっていることが明らかとなった。この明瞭なパターンの形成には、東西方向で変化している環境要因の影響が強く働いていることが予想される。このパターンの決定要因を明らかにすることは、水産学上の有益な情報となるだけでなく、生態学においても貴重な知見となるだろう。そこで本研究では、マツモとフクロフノリの分布パターンの決定要因を明らかにするために、各環境要因で両種の分布パターンがどの程度説明できるのかを明らかにする。

【調査方法】

厚岸町の門静、愛冠、末広、釧路町の入境学、浜中町の藻散布の5海岸を調査地に選定した (Fig. 1)。各海岸に5箇所の岩礁を選定し、その岩礁の垂直に近い角度の斜面に調査プロット(縦1m×横50cm)を設置した (Fig. 1)。各調査プロットの中央の高さは平均潮位に統一した。各調査プロットを縦に10等分し (Fig. 1)、縦10cm×横50cmの点格子板を用いて潮位毎の海藻の被度を2006年と2007年の5月、8月、10月に記録した。また、環境要因として植食者密度、堆積物量、海水中の栄養塩 (NO_3 、 NO_2 、 NH_4 、 SiO_4 、 PO_4)、海水中のクロロフィル量、波当たりの強さ、水温、岩表面の温度、岩礁面の方角、岩礁面の角度、岩表面の凹凸、攪乱頻度、各調査プロットの

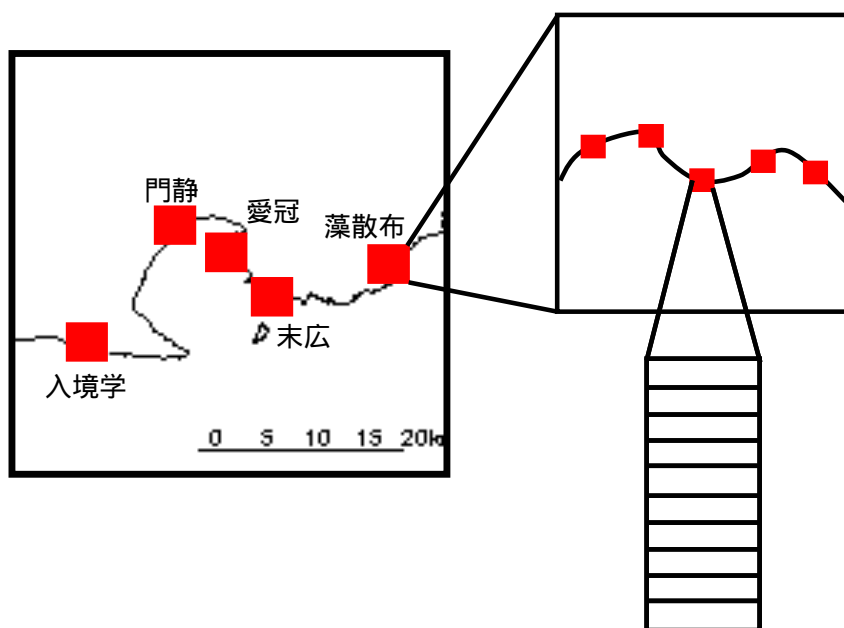


Fig. 1

厚岸町とその周辺における調査海岸の配置。5海岸を選定し、各海岸に5箇所の調査プロットを作成した。また、各調査プロットは縦方向に10等分し、各潮位において海藻の被度を測定した。

緯度経度座標を計測した。

【環境要因の測定】

植食者密度

方形枠（横 50cm × 縦 50cm）を用いて、各調査プロットにおける植食者（カサガイ類、タマキビ類など）の個体数を計測した。

堆積物量

各岩礁における堆積物量を測定するために、プラスチックチップ（#116 101-1000ul PipetTip, Quality Scientific Plastic, USA）を用いた堆積物トラップを各岩礁の平均潮位に設置した。堆積物がチップ内に溜まる様に、プラスチックチップの先端を溶かして閉じた。約一ヶ月設置し、チップ内の堆積物量を設置日数で割ることで、堆積速度を算出した。

海水中の栄養塩量

各調査期間において、各海岸で柄杓を使って海水を汲み、あらかじめ塩素消毒したプラスチック容器を 2-3 回共洗いした後 100ml 採水した。採水後は速やかに冷却し、栄養塩分析が行われるまでの間、-20 度で冷凍保存した。解凍後、自動化学分析機（AACS4, BL TEC, Japan）を用いて、海水中の NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 、 SiO_4 、 PO_4 を定量化した。

海水中のクロロフィル量

各調査期間において、各海岸で柄杓を使って海水を汲み、あらかじめ塩素消毒したプラスチック容器を 2-3 回共洗いした後 114ml 採水した。動物プランクトンによる植物プランクトンの捕食を防ぐために、採水後すみやかに孔径 25mm のグラスファイバーフィルター（Whatman GF/F）を通して 0.2 気圧以下で濾過した。その後 NN-ジメチルホルムアミド（DMF）に濾過フィルターを浸してクロロフィル *a* を抽出し、遮光して持ち帰り分析まで -20 度で保存した。クロロフィル *a* は青色光（波長 430nm）の照射により、赤色（波長 664nm）の蛍光を励起する。これを専用に測定するための蛍光光度計（Turner Designs, Fluorometer AU10-005）を用いて吸光度からクロロフィル *a* 濃度を定量した。

波当たりの強さ

波当たりの強さの測定単位は各調査プロットとし、平均潮位に波圧計を設置し、一ヶ月間の最大波圧を測定した。プロット環境としては各調査期間で測定した波当たりの強さの値を年平均したものを解析に用いた。海岸環境としての並当たりの強さは、各調査プロットの波当たりの強さの年平均値を海岸単位で平均した値を解析に用いた。

温度

現地において水温、岩表面の温度を測定した。水温は各海岸を測定単位としてデジタル温度計（Custom CT-220）を用いて、岩表面の温度は各調査プロットを測定単位として放射温度計（Horiba IT-540NH）を用いて測定した。これらの計測を各調査期間に行い、水温は年平均値を、岩表面の温度は最高値を解析に用いた。

岩礁面の方角と角度

方位磁石で各岩礁面の方角を、斜度計で各岩礁面の角度を測定した。

岩表面の凹凸度

各調査プロットの平均甲殻状の上 50cm × 50cm の範囲、下 50cm × 50cm の範囲で型取りゲージを用いて直線距離 15cm にある 2 地点間の基質の表面に沿った距離を求め、直線距離との商を求めた。これを岩表面の凹凸度と定義し、この値を解析に用いた。

攪乱頻度

点格子を用いて測定した各種の被度データを用いて、各岩礁における生物の死亡率を算出した。この死亡率を、各岩礁における攪乱頻度の尺度として用いた。

【解析方法】

マツモとフクロフリの被度の空間変異が各環境要因によってそれぞれどの程度説明できるかを明らかにするために、両者の被度を応答変数、各環境要因を固定効果、調査した季節（2006 年春・夏・秋、2007 年春・夏・秋）、調査プロット及び調査海岸をランダム効果とした GLMM のモデル選択を行った。現存量に対する影響の強さを変数間で比較するために、環境パラメータの標準化を行った。解析を行う前に多重共線性の確認を行い、共線性が見られた海水温、NO₂、SiO₄、PO₄ を解析に用いる説明変数から除外した。選択基準として AIC を用いたステップワイズ法を行って、最節約モデルを選択した。

【結果】

2006 年と 2007 年の調査期間を通して、西方の海岸ではマツモが、東方の海岸ではフクロフリが優占して分布していた (Fig. 2)。各プロットのエラーバーの重なりは非常に小さい、あるいは全く見られなかった。

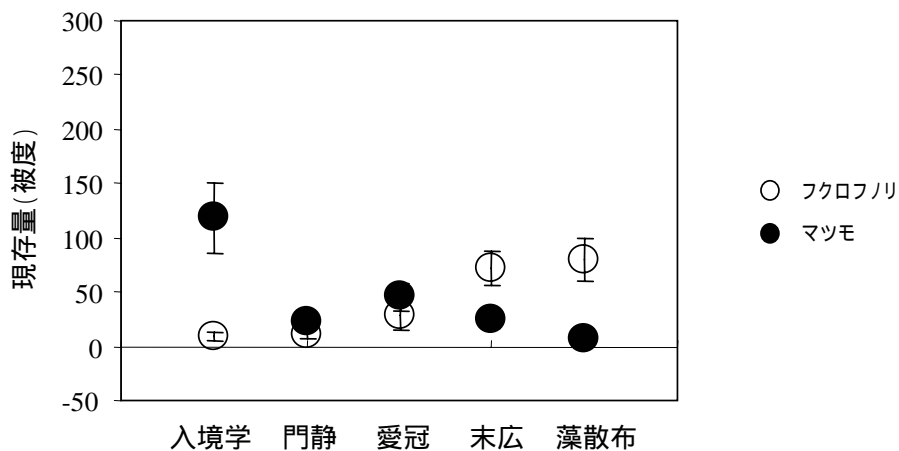


Fig. 2

厚岸町とその周辺におけるマツモとフクロフリの空間分布。グラフ内のプロットは、各岩礁における両種の現存量の海岸平均の年平均値を表している。エラーバーは季節間の変動の大きさ (SD) を表している。

マツモとフクロフノリの間で、異なるモデルが現存量を説明する最節約モデルとして選択された。マツモの現存量を説明するモデルでは、経度、海水中のクロロフィル量、岩礁面の角度が採択されたモデルが最節約モデルとして選択された (Table 1)。また、最節約モデル以外で波当たりの強さやNH₄がマツモの現存量に対して影響力の強い説明変数として採択された。これらの説明変数の係数は、NH₄以外で負の値を示した。

一方、フクロフノリの現存量を説明するモデルでは、植食者密度、経度、波当たりの強さ、岩表面の温度、岩礁面の方角、岩表面の凹凸度が採択されたモデルが最節約モデルとして選択された (Table 2)。また、最節約モデル以外で攪乱頻度やNO₃がフクロフノリの現存量に対して影響力の強い説明変数として採択された。植食者密度、波当たりの強さ、岩表面の凹凸度、攪乱頻度、NO₃で負の値の係数を示した。経度、岩表面の温度、岩礁面の方角で正の値の係数を示した。

【考察】

各プロットのエラーバーの重なり程度は非常に小さい、あるいは全く見られなかった。また、両者の分布を説明する要因として、「季節の違い」としてのランダム効果は大きな値を示さなかった。これらの結果は、2006年から2007年の間ではマツモとフクロフノリの現存量は季節変化をほとんどしていないことを示している。両者の分布パターンに季節変化が見られなかった理由として、次の2点が考えられる。1点目は、マツモとフクロフノリは多年生であるために寿命が長く、季節の違いという時間スケールでは環境の変化に応じた種入れ替わりがあまり起こっていないことがあげられる。2点目として、両者の分布パターンが季節とともに変化する環境要因の影響をあまり受けていないと考えられる。モデル選択の結果では、岩表面の温度・クロロフィル量、NH₄、NO₃などの季節とともに大きく変化する環境が示された。しかしながら、これらの環境要因を含む岩礁潮間帯の生息環境は、季節間の変化よりも調査地点間の変化の方が大きいため (未発表) 環境要因の季節間変化がマツモとフクロフノリの分布パターンに影響が小さかったと考えられる。このことは、「岩礁間の違い」を表すランダム効果の方が、「季節間の違い」を表すランダム効果よりも大きかったことによって支持される。

Table 1

AICを基準に選択された、マツモの現存量を説明するGLMMの上位3モデル。選択された各説明変数の係数(モデルにおける傾き)は、各環境要因が与える影響の強さを示す。マツモの現存量に対して正の効果を与える場合は正の係数、負の効果を与える場合を負の係数を示す。ランダム効果の項は、各要因によるばらつきを大きさを表す。

AIC	選択された説明変数	ランダム効果		
		季節	海岸	岩礁
1081.449	経度 (-0.951) クロロフィル (-0.495) 岩礁面の角度 (-0.608)	0.251	<0.001	0.788
1082.284	経度 (-1.046) クロロフィル (-0.620) 波当たりの強さ (-0.240) 岩礁面の角度 (-0.583)	0.205	<0.001	0.771
1082.770	経度 (-1.241) クロロフィル (-0.804) NH ₄ (0.291) 波当たりの強さ (-0.342) 岩礁面の角度 (-0.565)	0.250	<0.001	0.759

モデル選択の結果、マツモとフクロフノリでそれぞれ異なる環境要因が最節約モデルの説明変数として選択された (Table 1、2)。しかしながら、両者ともに経度が最も現存量の空間変異に影響を与えていることが示された。これらの結果は、マツモとフクロフノリの分布には波当たりの強さや海水中の栄養塩量などの様々な環境の影響を受けているが、海岸間のスケールで東西方向に一方向的に変化するが本研究では計測されていない環境の影響を大きく受けていることを示唆している。厚岸町周辺の地域においてこのようなスケールで変化する環境要因として、1) 霧の発生頻度、2) 流氷の接岸頻度、3) 地層の傾きによる岩の硬さの違い、の3点が考えられる。

Table 2

AIC を基準に選択された、フクロフノリの現存量を説明する GLMM の上位 3 モデル。選択された各説明変数の係数 (モデルにおける傾き) は、各環境要因が与える影響の強さを示す。フクロフノリの現存量に対して正の効果を与える場合は正の係数、負の効果を与える場合を負の係数を示す。ランダム効果の項は、各要因によるばらつきを表す。

AIC	選択された説明変数	ランダム効果		
		季節	海岸	岩礁
1491.719	植食者密度 (-0.081) 経度 (0.892) 波当たりの強さ (-0.297) 岩表面の温度 (0.512) 岩礁面の方角 (0.355) 岩表面の凹凸度 (-0.459)	0.225	<0.001	0.625
1491.915	植食者密度 (-0.080) 経度 (0.927) 波当たりの強さ (-0.258) 岩表面の温度 (0.472) 岩礁面の方角 (0.374) 岩表面の凹凸度 (-0.423) 攪乱頻度 (-0.179)	0.224	<0.001	0.601
1492.120	植食者密度 (-0.081) 経度 (0.886) NO ₃ (-0.167) 波当たりの強さ (-0.308) 岩表面の温度 (0.568) 岩礁面の方角 (0.377) 岩表面の凹凸度 (-0.461)	0.224	<0.001	0.603