

なかばやし のぶやす

氏名（本籍地） 中 林 信 康

学 位 の 種 類 博士（農学）

学 位 記 番 号 農第 744 号

学位授与年月日 平成 21 年 4 月 9 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 2 項

論 文 題 目 ヒバマタ目褐藻群落の遷移相とウニの成長および生殖巣の発達に関する生態  
学的研究

博士論文審査委員 （主査）准教授 吾 妻 行 雄  
教授 清 和 研 二  
教授 谷 口 和 也  
准教授 池 田 実

# 論文内容要旨

## 1. 緒言

沿岸の潮下帯岩礁域では、浅所の海中林と深所の無節サンゴモ群落とによる带状構造が認められる。海況条件によって海中林が拡大あるいは縮小すると無節サンゴモ群落も縮小あるいは拡大する。このような海藻群落の変動は動物群集の変動をもたらすので、その動態を的確に把握することは、沿岸の漁業生産にとって極めて重要な課題である。コンブ目褐藻海中林と無節サンゴモ群落との相互の変動過程はサイクリック遷移モデルとして提案されており、磯焼けはその一過程と理解されている。これに基づけば、漁場の磯焼けの程度は遷移相がサイクリック遷移のどの段階にあるのかによって診断できると考えられる。

一方、時として破壊的な摂食圧で磯焼けを持続させるウニの成長と生殖巣の量的な発達、主要な食物となる海藻の種類と量によって決定される。ウニの成長速度と生殖巣指数が漁場の遷移相を反映するならば、それらを磯焼け診断の指標にできる。そこで本研究は、これらの考えに基づいて、まず、極相をなすヒバマタ目褐藻海中林の中で主要な構成種であるスギモクの生活年周期と年間純生産量を明らかにした。次いで、ヒバマタ目褐藻海中林における遷移の進行系列とウニの年齢と殻径との関係および生殖巣指数との対応関係を明らかにして磯焼けを診断する技術を提案する。

## 2. スギモクの生活年周期と生産力

秋田県沿岸におけるヒバマタ目褐藻海中林の中でスギモクはハタハタの産卵場、アワビやウニの生息場として重要である。したがって、沿岸漁業生産を高く維持するには、本種の生活年周期や生産力を明らかにする必要がある。そこで、秋田県男鹿半島沿岸で1993年8月～1994年8月まで、1～2か月に1回の割合で50cm×50cm方形枠4枠を用いてスギモクを採集し、成長と成熟の季節変化を調べるとともに、層別刈り取り法によって年間純生産量を推定した。

1993年9月に発芽が確認された1993年級群が糸状の葉を持つ当歳群の年周期を、1992年級群が越年して鱗片状の葉に形態変化し、生殖器床を形成する満1歳群の年周期を、さらに1991年級群は満1歳群の成熟後の枯死脱落過程をそれぞれ現すことが分かり、2年で更新するスギモク直立体の生活内容の詳細が初めて明らかになった(図1)。さらに、2002年7月～2004年7月まで1m×1m永久方形枠により直立体の密度を1～4か月に1回の割合で追跡した結果、1歳の生殖器床の形成後残存した直立体が枝を再生して越年し、満2歳となり再び生殖器床を形成することが明らかになった。すなわち、スギモクは水深3m以浅の安定した基質上で優占し、水温が8℃前後となる4月に受精卵を放出、6月頃から付着器から糸状葉を持った茎を発芽させる。茎は翌年4月～6月まで伸長し(0歳)、9月～12月に鱗片葉を持つ枝を形成する(1歳)。翌1月から枝の先端に生殖器床を形成、4月に卵を放出後、11月までに枯死脱落する(2歳)。ここで一部残存する茎は、さらに越年し成熟

する（3歳）。また、年間純生産量は熱帯雨林の約2倍の10.4kg/m<sup>2</sup>/年と計算された。

### 3. ヒバマタ目褐藻海中林における海藻群落の遷移と漂砂の影響

サイクリック遷移に基づき汎用性の高い磯焼け診断技術とするには、海中林の構成海藻が異なる場合でも適用できるか否かを明らかにする必要がある。特に、日本海沿岸に優占するヒバマタ目褐藻海中林では遷移の進行系列が明らかではなかった。そこで、秋田県八森町沿岸において、裸地からの経過時間による優占生活形群の交代過程から、ヒバマタ目褐藻を極相とする遷移の進行系列を明らかにするため、水深3~5mの範囲に1995年3月(A)、同年10月(B)、1997年10月(C)、1998年10月(D)にそれぞれ設置した海藻礁4基を対象に、1999年4月から2000年10月まで1~3か月に1回の割合で50cm×50cm方形枠を各礁3枠用いて、海藻の被度をブラウン-ブランケの被度階級で測定した。また、1993年12月設置の海藻礁11基に対する漂砂の影響を明らかにするため、1995年1月~1996年1月まで計6回、測量用鉄筋棒で各礁での砂層厚を測定し、礁毎に砂表面から礁上面までの高さの変動係数を求め、設置2年10か月後の1996年10月に測定した海藻被度との対応関係を求めた。

小形1年生海藻は裸地から6か月~1年8か月(海藻礁A、B)の期間で優占した。同様に殻状海藻は小形1年生海藻の減少に伴う1年~1年3か月(礁A)、小形多年生海藻は1年10か月~4年(礁B、C)、大形多年生海藻は4年1か月~5年7か月(礁C、D)の期間でそれぞれ優占した(図2)。このような設置からの経過時間に伴う生活形組成の明瞭な変化から、ヒバマタ目褐藻を極相とする遷移系列は、既往のコンブ目褐藻を極相とする系列に一致し、小形1年生海藻と無節サンゴモの優占による始相、小形1年生海藻の減少と無節サンゴモの優占による途中相前期、小形多年生海藻の入植と優占による途中相後期、大形多年生海藻の入植と優占による極相に至る系列が一般的に認められることが分かった。したがって、海域や構成種が異なっても出現海藻の生活形分類により漁場の遷移相が把握できる。さらに、優占生活形は、漂砂の影響度合が大きくなるにつれ大形から小形海藻へ、長命から短命海藻へと変化した(図3)。すなわち、遷移の進行速度に及ぼす漂砂の影響度合が、砂表面から海藻礁上面までの高さの変動係数によって定量的に評価できるとともに、影響度合がもっとも強い変動係数が101以上の場合、遷移は始相から途中相前期に、51~100では途中相後期から極相の間に、0~50では極相に至ると結論された。

### 4. 遷移系列とウニの成長および生殖巣の量的発達との関係

秋田県男鹿半島の西黒沢、湯の尻、北浦の3地区および八森町のチゴキ崎、岩館、滝の潤の3地区の各沿岸で、1998年6月および7月に、水深1m毎に男鹿では水深10m、八森では水深6mまで、

海藻の垂直分布を 50cm×50 cm 方形枠 4 枠による採集で、ウニの分布を 1m×1m 方形枠 4 枠による個体数測定で調べた。キタムラサキウニの年齢と殻径との関係を知るため、同年 9 月および 10 月に各沿岸で水深 1m 毎に 30 個体を目安に採集し、殻径を測定した後、Jensen (1969) と川村 (1973) の方法に従い、加熱した生殖板中に形成される輪紋 (黒色帯) により年齢を査定し、産卵期を 9 月とする満年齢を求めた。また、第 5 生殖板の最大横幅と各輪紋の最大横幅を接眼マイクロメーターにより測定し、殻径と第 5 生殖板の最大横幅との相関の有無を Pearson の相関係数により検定した。そして、最小 2 乗法により一次回帰式を求め、各輪紋の最大横幅を代入し年齢毎の殻径を算出した (川村 1973)。さらに、海藻植生と生殖巣の量的発達および消化管内容物とを把握するため、2000 年 7 月に西黒沢、チゴキ崎、滝の澗において 1998 年と同様に水深 1m 毎に海藻とウニの分布を調べるとともに、30 個体を目安に採集し生殖巣指数 (生殖巣湿重量×100/体重、湿重) と、3 個体の消化管内容物を精査して分類群を同定し、分類群毎に乾燥重量 (90℃、4 時間) を求めた。

各沿岸は優占海藻の生活形分類によってヒバマタ目褐藻の極相 (男鹿) と小形多年生海藻による途中相後期 (八森) に大別された。さらに、途中相は植食動物の摂食を阻害するテルペン化合物を生産するアミジグサ科褐藻やソゾ属紅藻が優占するか (チゴキ崎、岩館)、同物質を生産しないツノマタ等 (滝の澗) が優占するかでさらに 2 つに区別された (図 4、5)。そして、各沿岸によってキタムラサキウニの年齢と殻径との関係は明瞭に異なっていた (図 6)。

キタムラサキウニは、極相においては生育するヒバマタ目褐藻を直接摂食するとともに、それらが生育していない途中相では流れ藻として供給されるヒバマタ目褐藻を摂食していると考えられた。また、いずれの遷移相においても深所の無節サンゴモ群落では、無節サンゴモと海藻以外の底棲動物を摂食していた (図 7)。生殖巣指数は、基本的にいずれの遷移相においても浅所の葉状海藻群落で有意に高く、深所の無節サンゴモ群落で低かった (図 8)。また、浅所の葉状海藻群落ではヒバマタ目褐藻群落でもっとも高く (15.4)、次いでツノマタ群落 (14.1)、ソゾ属紅藻群落 (13.8) でもっとも低かったが有意な差は認められなかった (図 8)。これは途中相においても量的な摂食により極相と同様な生殖巣の量的発達がもたらされたと考えられた。

他海域の既往の知見を含め各漁場の遷移相とキタムラサキウニが殻径 5 cm に達する年齢とを整理すると、それらには明瞭な対応関係が認められた。すなわち、始相の無節サンゴモ群落で満 7~8 歳、途中相後期をなし摂食阻害物質を生産するアミジグサ科褐藻やソゾ属紅藻などの優占群落で満 7 歳以上、途中相後期でも同物質を生産しない紅藻ツノマタなどの優占群落で満 5~6 歳、極相のヒバマタ目褐藻で満 3~4 歳およびコンブ目褐藻では満 2~4 歳であり、生殖巣も基本的に始相から極相に向かってより量的に発達した (表 1)。すなわち、キタムラサキウニの成長と生殖巣の量的発達は、基本的に始相から極相へ向かうに従い良好になり、同じ極相であってもヒバマタ目褐藻ではコ

ンブ目褐藻より劣る。また、同じ途中相群落であっても摂食阻害物質を生産する海藻では、それを生産しない海藻より成長が劣り、始相とほぼ同等となる。このような対応関係はバフンウニにも認められた。

## 5. 総括

本研究により、海域や構成種が異なっても出現海藻の生活形分類により漁場の遷移相を把握できることが明らかとなった。そして、ウニの年齢と殻径との関係および生殖巣指数は、漁場の遷移相を反映することから、磯焼けの発生、持続、回復の過程を診断する指標になると結論される。そこで、潮下帯上部から海中林分布最大下限水深の範囲で、海中林と無節サンゴモ群落とがどの水深帯で交替しているかを調べることで磯焼け度合を診断することが可能である。また、水深毎に海藻現存量を生活形および摂食阻害物質の有無に区別して調べ、ウニ類の年齢と殻径との関係を整理すれば、磯焼け度合の過去から現在にいたる履歴や漁場の生産性を評価できると考えられる。秋田県では最重要資源であるハタハタの漁業への影響をもって磯焼けとする。すなわち、ハタハタの産卵場は水深1.5~2.5mのスギモクを主体とするヒバマタ目褐藻海中林であり、同水深以浅へ海中林が縮小すると、ハタハタの再生産と漁業生産に著しい影響を及ぼす磯焼けとなる(図9)。また、ウニの年間摂食量が海中林の年間純生産量の1/3から1/4を上回ると海中林の形成が阻害されることが知られているので、本研究によって明らかとなったスギモク海中林の年間純生産量10.4kg/m<sup>2</sup>/年は、ハタハタの産卵場やアワビとウニの生息場を安定的に維持するための基準に活用できる。

表1. キタムラサキウニの成長および生殖巣指数と海藻群落

優占海藻	調査海域	成長 (殻径5cmに達する年齢)	生殖巣指数	消化管内容物	文献
無節サンゴモ	北海道 寿都	満7歳	周年 10未満	—	吾妻 (1997)
	〃 奥尻	満7歳	—	—	〃
	〃 熊石	満7歳	—	—	〃
	〃 松前	満8歳	—	—	〃
	宮城県歌津・唐島	満4歳	7月 8.4	—	Agatsuma <i>et al.</i> (2005)
	〃 ・バザネ	満3~5歳	7月 8.5	—	〃
	宮城県牡鹿半島・泊浜	満2歳	8月 約14	無節サンゴモ, 小形海藻	Sano <i>et al.</i> (2001)
	秋田県男鹿・西黒沢	—	7月 約13	アミジグサ科, 無節サンゴモ, 動物	本研究
	秋田県八森・滝の瀨	—	7月 約10	無節サンゴモ, 動物, 砂	〃
	〃 ・チゴキ崎	—	7月 約11	無節サンゴモ, 動物, 砂	〃
秋田県男鹿・椿	—	10月 13.7	固着動物, 無節サンゴモ	Endo <i>et al.</i> (2007)	
小形海藻					
アミジグサ科褐藻	秋田県八森・岩館	満7~8歳	—	—	本研究
ソノ属紅藻	〃 ・チゴキ崎	満7歳	7月 13.8	その他の海藻	〃
ツノマタ	〃 ・滝の瀨	満5~6歳	7月 14.1	無節サンゴモ, その他の海藻	〃
大形海藻					
ヒバマタ目褐藻					
スギモク, マメタワラ, ヤツマタモク	秋田県男鹿・西黒沢	満3~4歳	7月 15.4	ヒバマタ目褐藻, 動物, 砂	本研究
スギモク, マメタワラ, ヤツマタモク	〃 ・満の尻	満4歳	—	—	〃
スギモク, マメタワラ, ヤツマタモク	〃 ・北浦	満4歳	—	—	〃
ジョロモク, マメタワラ, ヤツマタモク	秋田県男鹿・椿	—	6月 17.3	無節サンゴモ, 動物, ヒバマタ目褐藻	Endo <i>et al.</i> (2007)
コンブ目褐藻					
ホソメコンブ, エソノネジモク	北海道 乙部	—	7~8月 20以上	—	吾妻 (1997)
マコンブ	北海道 知内	—	7~8月 20以上	—	〃
チガイソ, ガゴメ, マコンブ	北海道 恵山	—	7~8月 20以上	—	〃
マコンブ	北海道 福島	満2歳	—	—	〃
マコンブ, ガゴメ, チガイソ, フシスジモク	〃 敏法華	満3歳	—	—	〃
ミツイシコンブ	〃 三石	満4歳	—	—	〃
アラメ	宮城県塩釜・浦戸寒風沢	満2歳	7月 30.7	—	Agatsuma <i>et al.</i> (2005)
アラメ	〃 ・唐島	満2歳	—	—	〃
アラメ	宮城県歌津・石浜	—	7月 24.1	—	〃
アラメ	〃 ・唐島	—	7月 23.2	—	〃
アラメ	宮城県牡鹿半島・泊浜	満2歳	—	アラメ, ホンダワラ属褐藻	Sano <i>et al.</i> (2001)

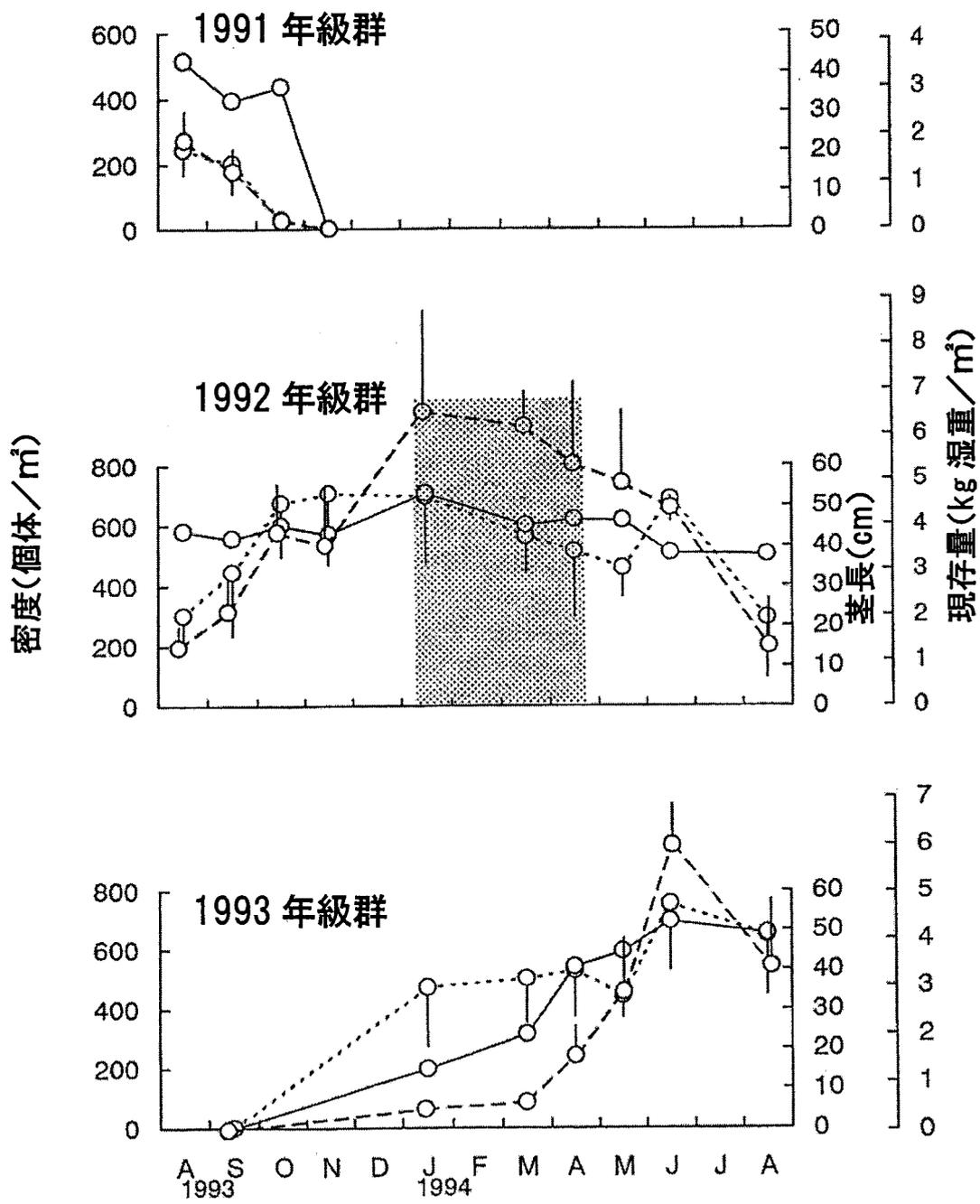


図1. スギモクの茎長(—○—)、現存量(-○-)および密度(---○---)の季節的変化  
 1992年級群における暗部は、生殖器床の形成が観察された期間を示す。

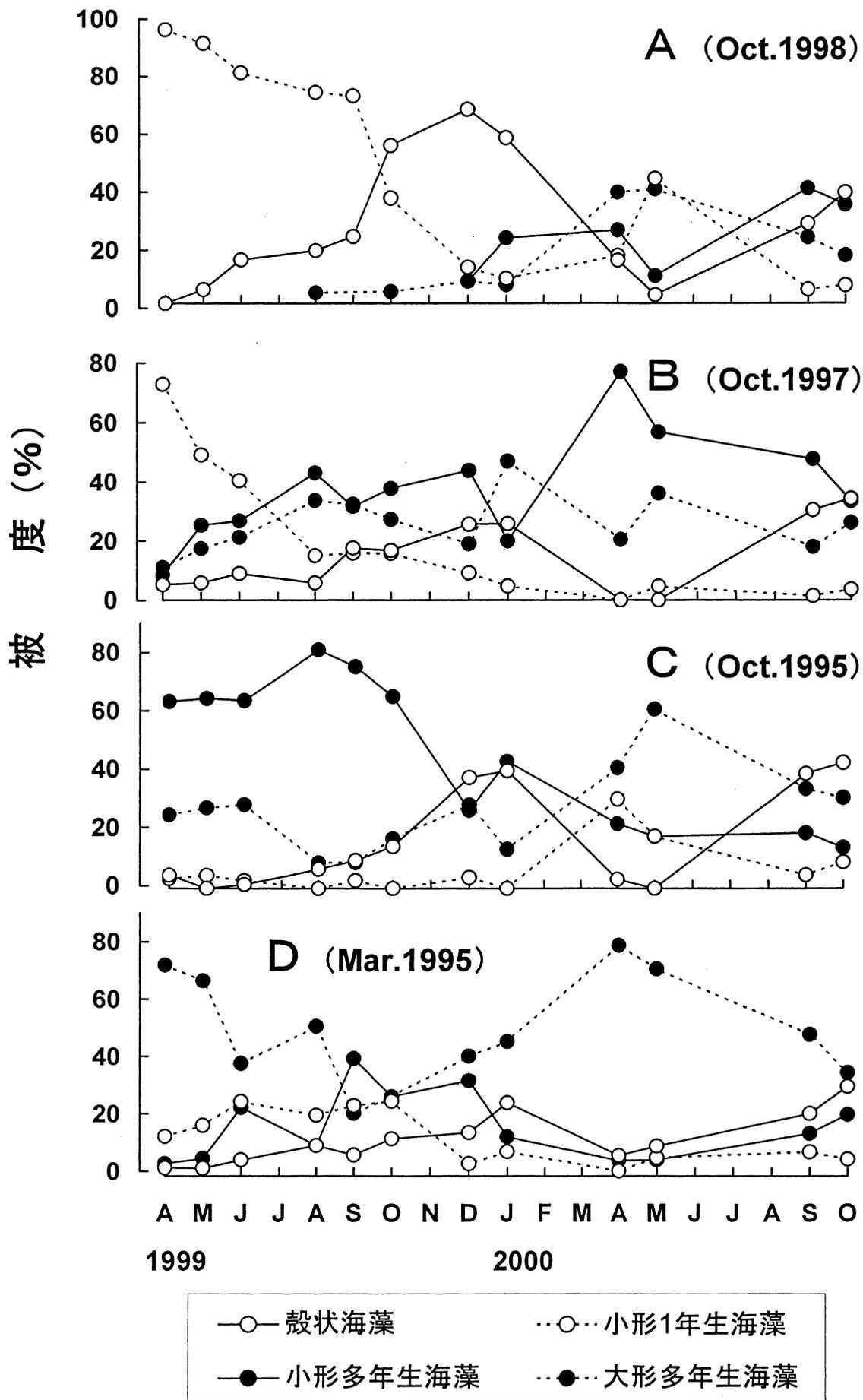


図2. 設置年度の異なる海藻礁上における生活形群別被度の変化

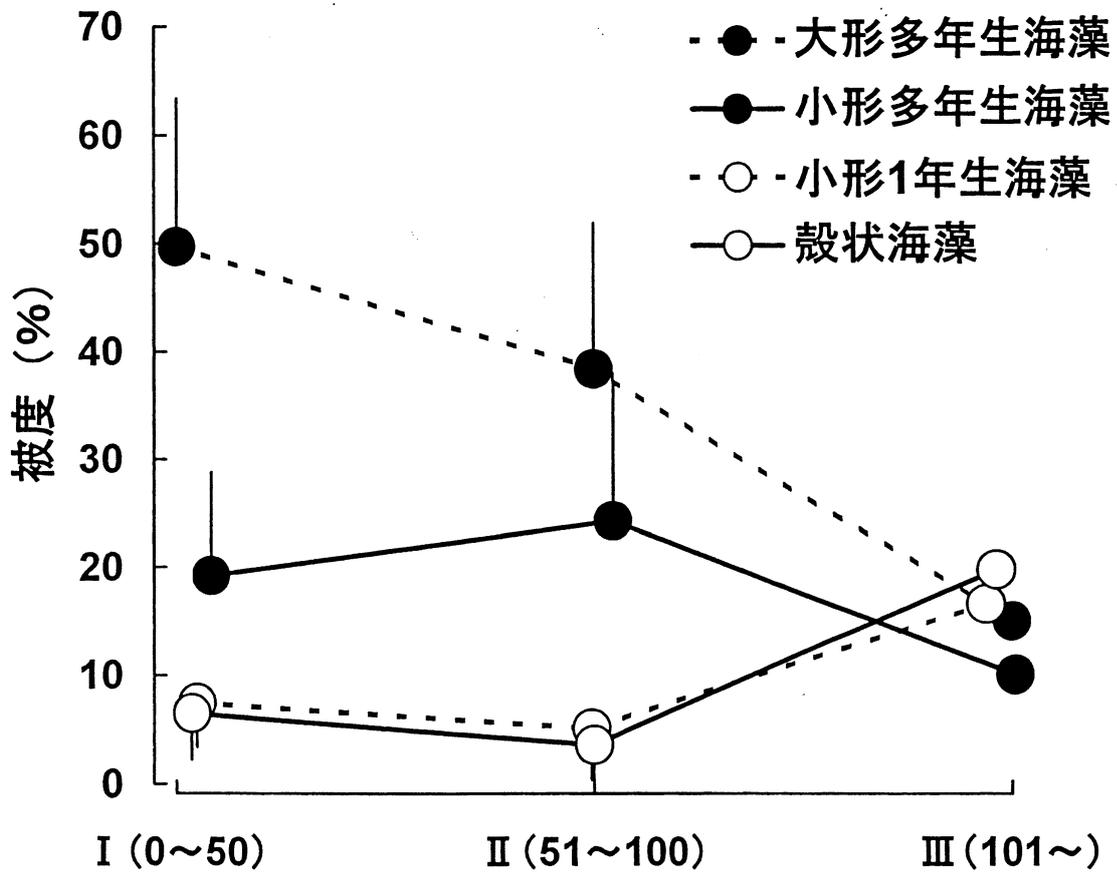


図3. 砂表面から礁上面までの高さの変動係数と生活形群別被度との関係

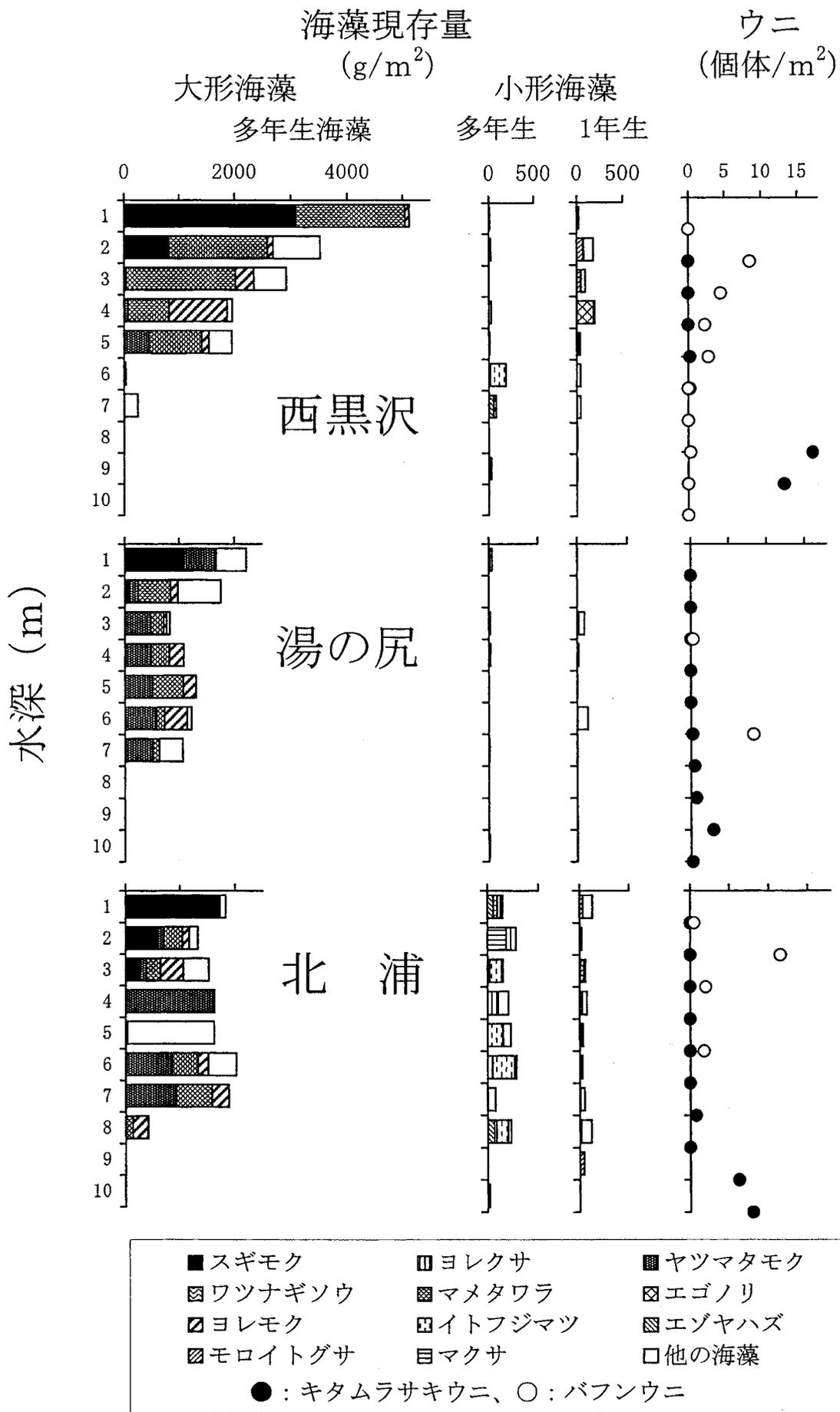


図4. 男鹿における水深別・生活形群別海藻現存量とウニの密度

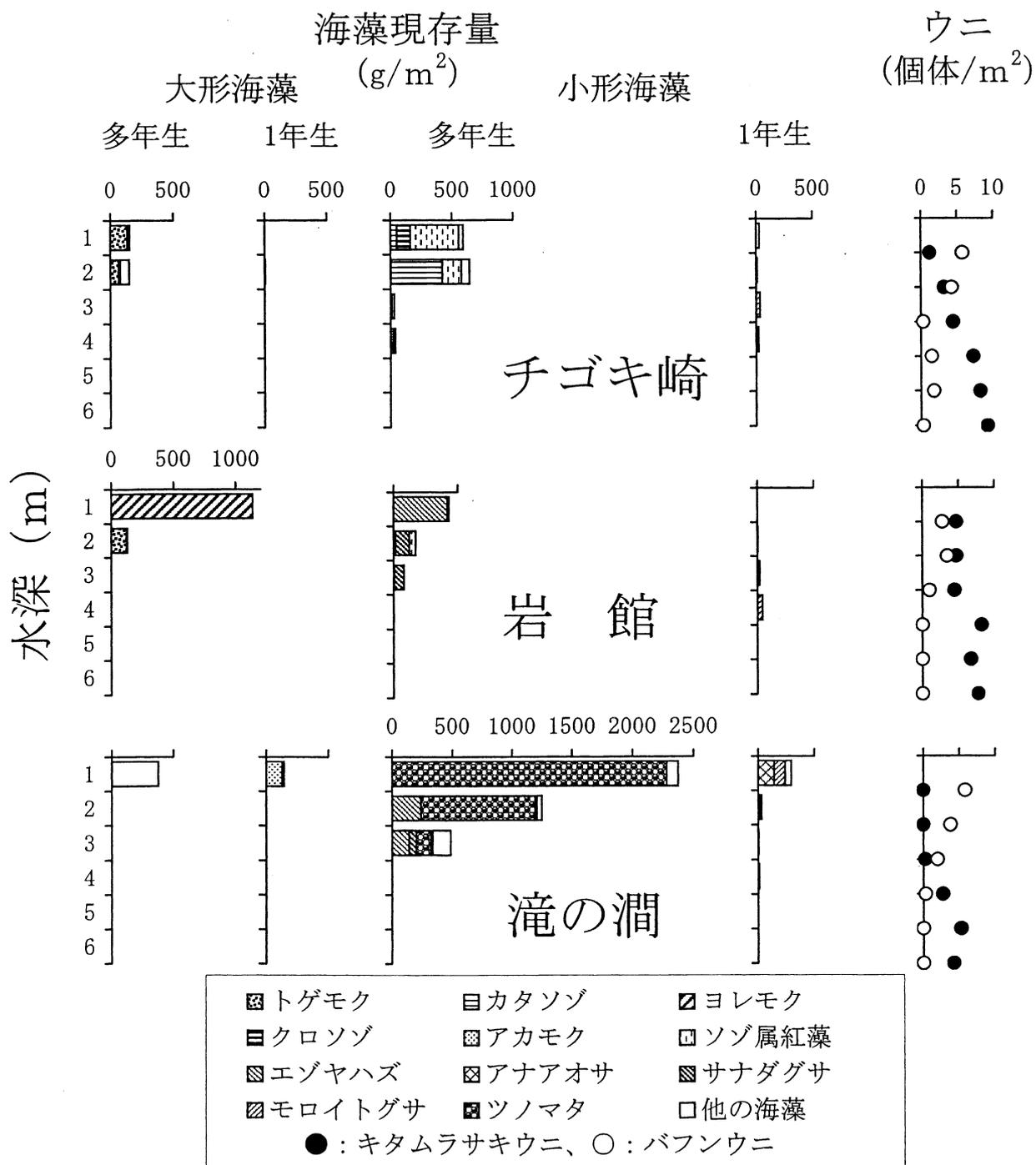


図5. 八森における水深別・生活形群別海藻現存量とウニの密度

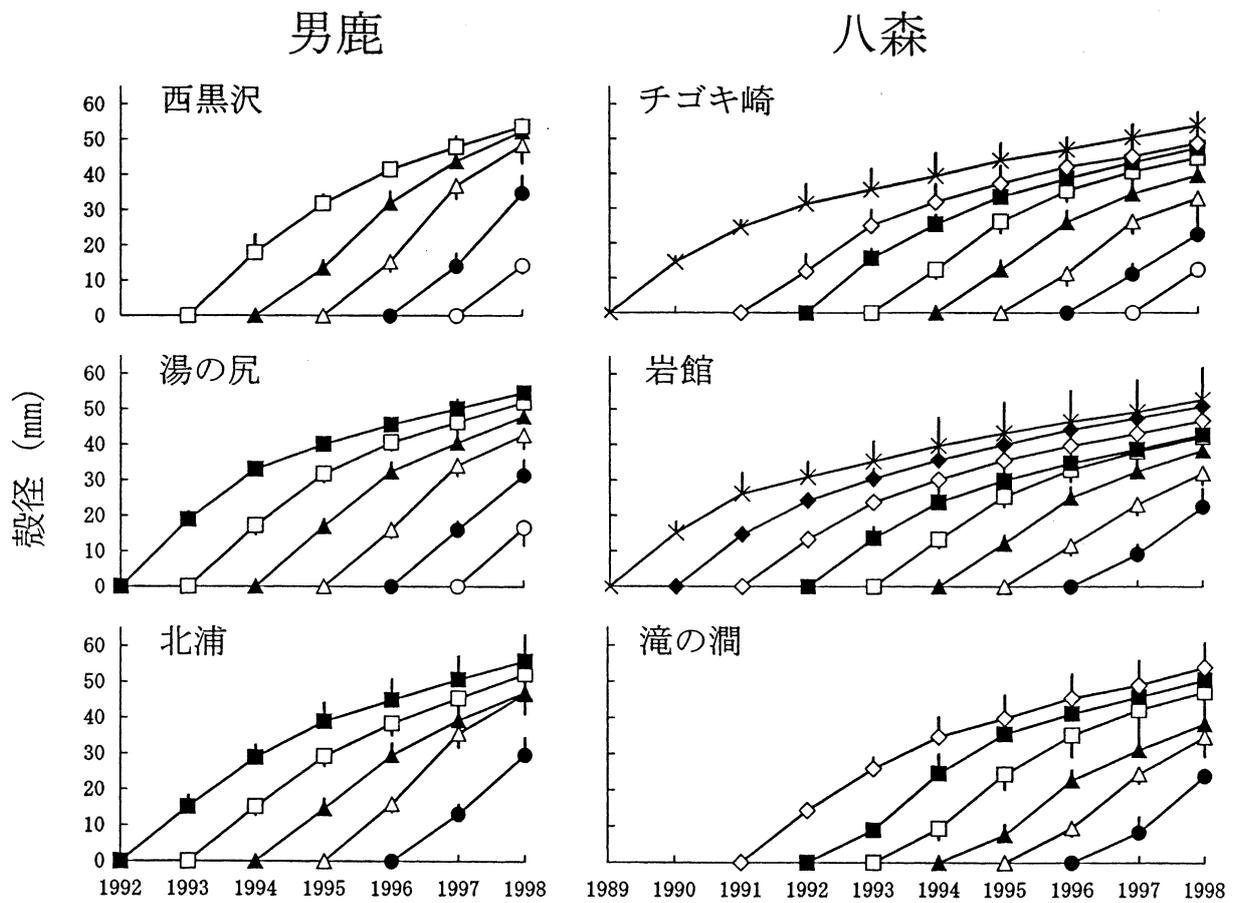


図6. 男鹿および八森におけるキタムラサキウニの年齢と殻径との関係  
 値は平均値と標準偏差

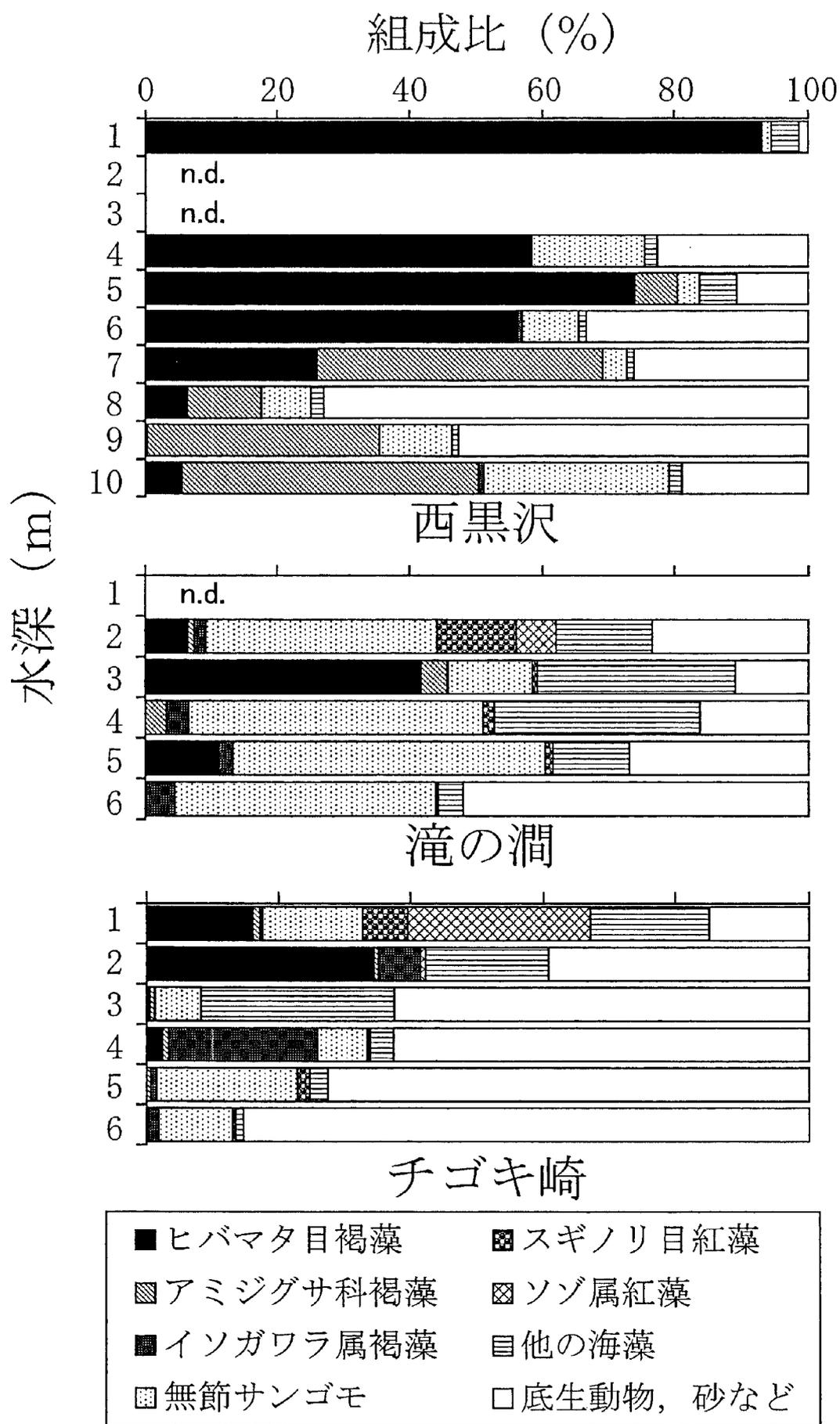


図 7. キタムラサキウニの消化管内容物の重量組成

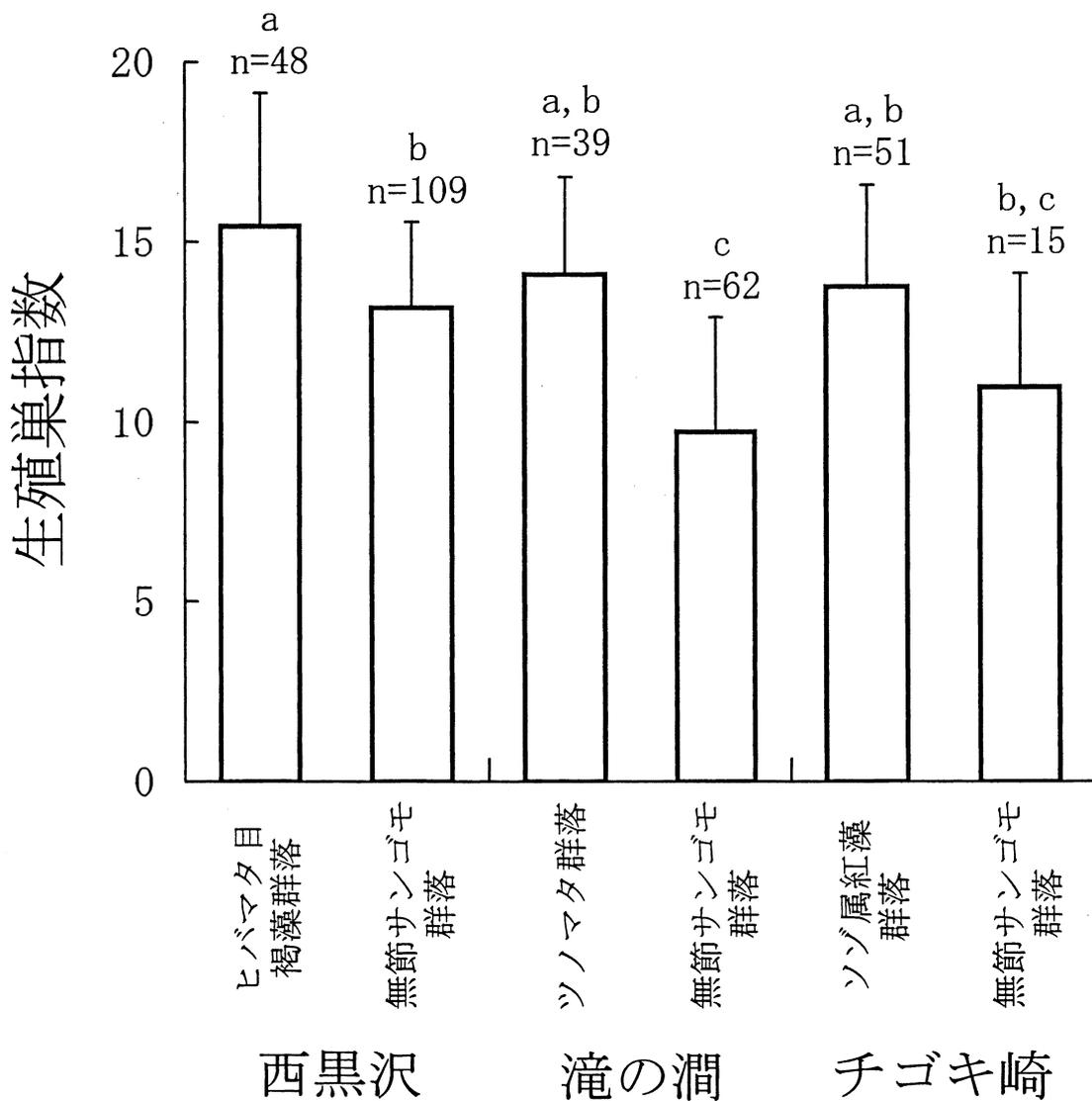


図 8. 各地区の葉状海藻群落と無節サンゴモ群落におけるキタムラサキウニの生殖巣指数

値は平均値と標準偏差。異なるアルファベットは生殖巣指数に有意差があることを示す (Schefféの多重比較法、 $P < 0.05$ )

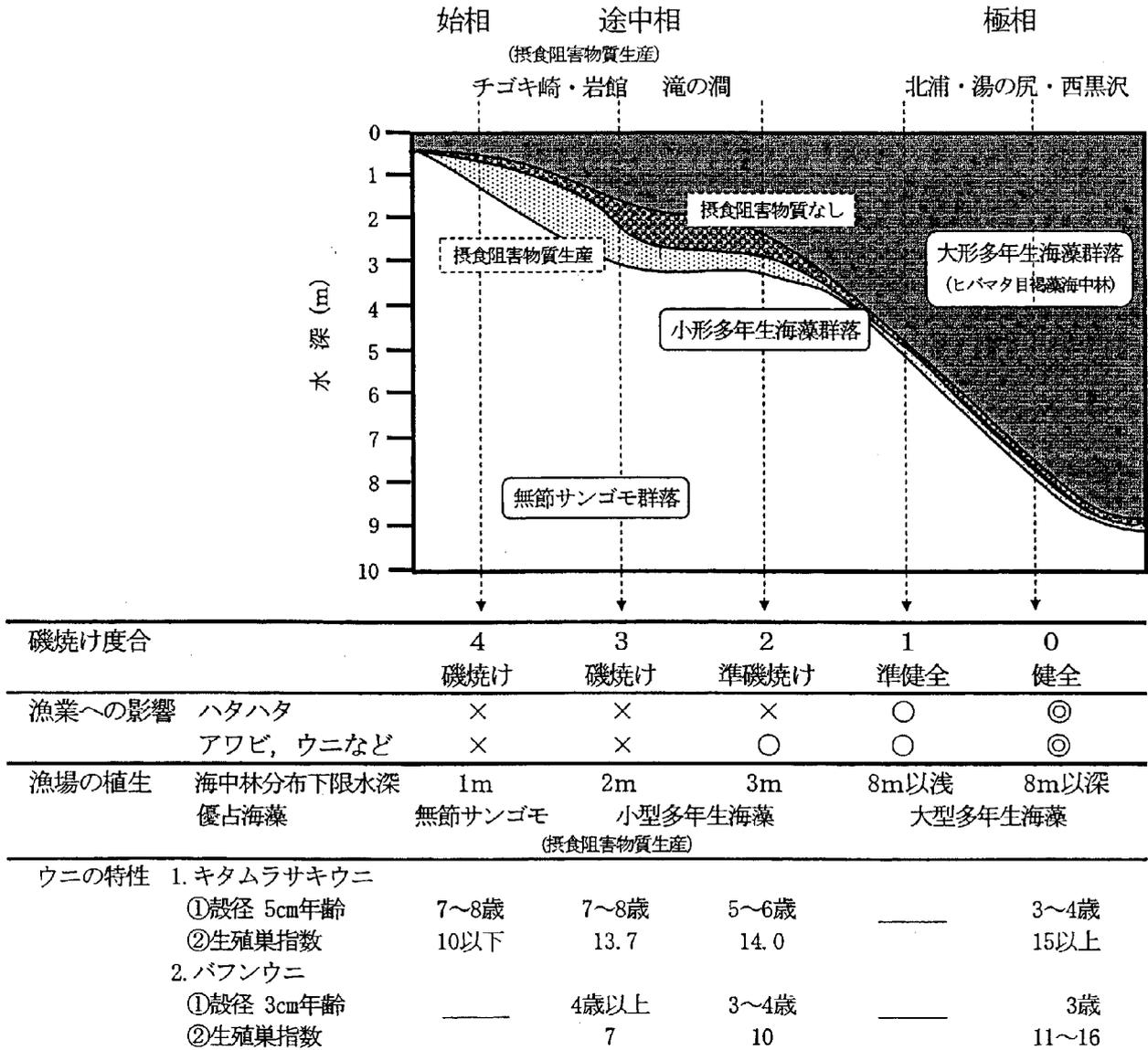


図9. 秋田県における磯焼け診断指針

## 論文審査結果要旨

沿岸漁業に多大な被害を及ぼす磯焼けは、潮下帯岩礁域における主要な生産者である海中林と無節サンゴモ群落とを対極とするサイクリック遷移の一過程にある。現在の漁場がサイクリック遷移のどの過程にあるのかを的確に診断できれば、海中林修復技術の導入や、ウニ、アワビなどの一次消費者の漁業生産に向けての柔軟な対応策を講じることができると考えられる。

本研究では、はじめに男鹿半島北浦沿岸において、ハタハタの再生産あるいはアワビやウニの成長または生殖巣の量的な発達を保障し、漁業生産を高く維持するために重要なスギモクの生活年周期、生産力および直立体の寿命を調べた。その結果、2~3年で更新するスギモク直立体の詳細な生活内容と、年間純生産量が10.4kg/m<sup>2</sup>/年であり、熱帯雨林の約2倍に相当することを初めて明らかにした。

次いで、八森沿岸の設置年度の異なる海藻礁を用いて、裸地からの経過時間毎に海藻の優占生活形群の交代過程を調べ、ヒバマタ目褐藻を極相とする遷移の進行系列を初めて明らかにした。すなわち、海域や構成種が異なってもコンブ目海中林の形成と同様に、始相（小形1年生と殻状海藻）から途中相前期（殻状海藻）、途中相後期（小形多年生海藻）を経て極相（大形多年生海藻）に至る系列が認められることが明らかになった。また、遷移の進行速度に及ぼす漂砂の影響を、海底の砂表面から海藻礁上面までの季節的な高さの変動係数によって定量的に評価できることを初めて明らかにした。

そして、秋田県の6地区の沿岸で、優占海藻の生活形分類による漁場の遷移相とウニの年齢と殻径との関係、生殖巣指数および消化管内容物を調べ、それらの対応関係を既往の知見も含めて整理した。その結果、漁場の遷移相とキタムラサキウニが殻径5cmに達する年齢には明瞭な対応関係があることを認めた。すなわち、始相の無節サンゴモ群落で満7~8歳、摂食阻害物質を生産しない種が優占する途中相後期で満5~6歳、極相のヒバマタ目褐藻で満3~4歳およびコンブ目褐藻では満2~4歳であった。生殖巣も基本的に始相から極相に向かって量的に発達したことから、出現海藻の生活形分類、ウニの年齢と殻径との関係および生殖巣指数は、磯焼けの発生、持続、回復の各過程を反映する指標になると結論された。このような対応関係は、日本で最も広域に分布するバフンウニにも認められ、漁場を診断する技術として汎用性が高いと結論された。

さらに、ウニの成長履歴は漁場の磯焼け度合の過去から現在に至る履歴と、それを反映する漁場の生産性をも評価できる。また、沿岸漁業生産を高く維持するための管理基準としての活用が期待できるなど、本研究によって得られた成果は生態学的に優れているのみならず、水産業への貢献度が極めて高いことから、学位を授与する資格を有すると判断した。