

磯焼け対策総合調査

桐原 慎二・藤川 義一

調査目的

マコンブは青森県津軽海況沿岸で、重要な水産資源のひとつとして漁獲される。しかし、天然海域におけるその発生量は時に著しく減少し、漁獲量の減少やウニ、アワビの生長や身入りの低下などの影響を及ぼすことがある。そこで、天然海域におけるマコンブの発生や変動状況を把握し、効果的な対策を検討するために、大間沿岸で主要なコンブ目植物群落について季節的消長を調べ、海水温変化などとの関連を検討した。

なお、本調査の一部は国庫委託事業である特別研究『磯焼けの発生機構の解明と予測技術開発—津軽暖流域におけるコンブ群落の消長と水温変動との関連解明』として行った。

調査方法

大間沿岸で広範な群落を形成するコンブ目植物である、ツルアラメ、マコンブ、ガゴメについて、季節的消長、生長量を求めるとともに、その生育に及ぼす水温の影響を検討した。

調査は、1991年11月8日に、大間沿岸水深5mのツルアラメ群落、14mのマコンブ群落、23mのガゴメ群落の各々約25個体に個体標識を付し、葉長、葉幅を測定した後、生長量の指標とするため葉基部から上方10cmに穿孔を付した。1992年1月8日から1993年12月20日にかけておおむね毎月、計23回、各標識個体の葉長、葉幅、穿孔の移動距離を求めるとともに、新たに葉基部上方10cmの位置に穿孔を付した。標識個体が流出した場合は、他の個体に標識して補充した。なお、マコンブは1992年には1年目藻体が観察されなかったため2年目藻体に標識を付したが、1993年にはそれらがすべて流出したため、1993年4月5日以降新たに漁場に発生した1年目藻体に標識して生長量を測定した。同時に、各群落の50cm四方を採取し、海藻の現存量を求めた。

1993年6月30日に水深23mのガゴメ群落、水深14mのマコンブ群落において、各々の藻体の生育密度が異なる3つの試験区(1m×1m)を設置し、そのなかに生育する藻体に個体標識した。なお、各試験区に生育した藻体は、ガゴメでは24個体、12個体及び0個体、マコンブでは1年目藻体の101個体、73個体及び0個体であった。その後、1993年9月23日、12月21日及び1994年3月20日に生育状況を観察するとともに、新たに発生した藻体には標識を付した。

各調査地点で水深5mごとにバンドン式採水器で海水を採取し水温を測定するとともに、400mlの海水をろ過した目合い0.45 μ mのセルロースフィルター(Millipore HA)を、100mlのGrund改変培地中に移し、10℃、20 μ mol m⁻² s⁻¹、14L:10D条件下で2か月静置培養し、フィルター上に生育する海藻を観察した。

調査結果

① 調査地点の海藻生育状況

各調査地点の水温のうち海藻が生育する底層の値は、図1に変化を示したとおり、1992年は水深23、14、5mの地点で各々9.3~21.3℃、8.8~21.2℃、9.0~21.3℃の範囲に、1993年は各々9.6~20.2℃、9.6~20.4℃、9.3~20.4℃の範囲にあった。調査地点間の水温差はおおむね1℃以内にとどまったことから、各地点の水温環境に著しい差異がないと思われた。

しかし、植相は調査地点によって大きく異なった。水深23mの調査地点では図2に海藻現存量を示したとおり、626 g/m²から7.8kg/m²の範囲にあって、平均値が3.6kg/m²と調査地点間で最も高い値を示した。ここに生育した海藻は、いずれの調査時においても90%以上がガゴメ、マコンブ、アオワカメなどのコンブ目植物で占められ、紅藻はツノマタ、ヒラキントキ、マクサ及び無節石灰藻など計12種、緑藻はナガミル、キヌイトシオクサ、アナアオサの3種が観察されたに留まった。ことに、ガゴメは周年卓越し、一見してガゴメ場の様相を呈したため、ここでの植相は他の調査地点に比べ単純で変化に乏しかった。

水深14mの調査地点の海藻現存量は図3に示したとおり、246 g/m²—13kg/m²の範囲で平均値が2.4kg/m²と、

他の調査地点に比べ激しい変動を示した。ここでも水深23mの調査地点と同様に、コンブ目植物が卓越し、ことにマコンブが現存量の主体をなすものの、その地点に比べ植相はやや複雑となった。即ち、アカモク、ヨレモク、トゲモク、フシスジモクなどのホンダワラ類やジョロモクがよく観察され、これにエゴノリ、アミクサなどの紅藻の付着がみられたほか、ナガミル、ミル、ハイミルなどの緑藻も散見された。

水深5mの調査地点の海藻現存量は図4に示したとおり、 $854\text{ g/m}^2 - 5\text{ kg/m}^2$ の範囲にあって平均値が 2.2 kg/m^2 と調査地点間で最も低い値となったが、出現した海藻の種は最も多かった。ここでは、コンブ目植物やホンダワラ類の他にアミグサ目のアミグサ、イトアミジ、フクリンアミジなどの褐藻が観察されたのに加えて、マクサ、ツノマタ、タンバノリ、ヤハズシコロ、イソキリ、ハイウスバノリなどの多様な紅藻が生育し、さらに、海産種子植物であるスガモが周年観察されたため、深所にある調査地点に比べ際立って複雑な植相を示した。ここで採取されたコンブ目植物は、ツルアラメ、マコンブ、スジメ、ワカメ、ガゴメの5種あったが、現存量全体に占めるコンブ目植物の割合は、より深所の調査地点の値に比べ低かった。ここに生育したコンブ目植物のなかでは、ツルアラメがもっと多く観察され、栄養繁殖によって形成されたパッチ状の群落が枠取りによって周年採取された。

以上のとおり、調査地点によって植相は異なり、特に、水深が深くなるに従いコンブ目植物を中心に単純となる特徴がみられた。

② ガゴメ、マコンブ、ツルアラメの現存量変化

各々の水深で卓越したコンブ目植物群落、即ち、水深23mのガゴメ、水深14mのマコンブ、水深5mのツルアラメの現存量を図5に示した。

3種の現存量は、いずれも春期に増加、秋期に低下した。このうち、ツルアラメは現存量が $63.4 - 1413\text{ g/m}^2$ の範囲にあって、浅所に生育するコンブ目植物の中では卓越し、周年、生育が認められた。しかし、その現存量の平均値は 412 g/m^2 と深所で広範な群落を形成したガゴメ、マコンブに比べ低い値に留まった。これは、後述のとおり、葉状体のサイズが小さいためと推察される。

マコンブは、調査開始時に葉状部に再生部分（突き出し）を持つ1年目マコンブが 3 kg/m^2 生育していた。これらは、こののち生長して2年目のマコンブとなって濃密な群落として観察されるようになり、1992年5月には 9 kg/m^2 と、3種の中で最も高い現存量を示した。これらの2年目マコンブは、1993年1月までにすべて仮根部から流出した。一方、1年目マコンブは1992年の調査を通じて3個体が採取されたにとまり、その生育はまれで、1993年には2年目マコンブへと再生した藻体はまったく観察ず、1993年には4月5日の調査で1年目マコンブが観察されるまで、調査場所周辺ではマコンブの生育は認められなかった。このため、マコンブの現存量は2年目マコンブが主体をなした1992年には $366 - 9022\text{ g/m}^2$ （平均 2590 g/m^2 ）の範囲にあったが、その流出に伴い一旦皆無となり、その後、1993年4月以降1年目マコンブが $13.9 - 1310\text{ g/m}^2$ （同 957 g/m^2 ）の範囲で認められた。マコンブ現存量がこのような大きな変動を示した理由には、2年目マコンブが濃密な群落を形成して大きな現存量を示したこと、1992年に天然漁場でのマコンブの発生が著しく少なかったこと、藻体の寿命が2年と短いことが考えられた。

ガゴメは現存量が $600 - 7600\text{ g/m}^2$ にあって、それが比較的低い値を示す冬期間においても 2 kg/m^2 前後とマコンブに比べ変動が少なく安定した。また、現存量の平均値は 3442 g/m^2 となり、ツルアラメや1、2年目マコンブのそれに比べ高い値を示した。ガゴメの現存量が、周年、安定した理由のひとつには、藻体の寿命が数年から十年（川嶋 1989）と2年目のマコンブより十分に長いことがあげられるが、さらに、以下のとおり、天然海域における発生期間が長いことも推察された。

③ ガゴメ、マコンブの発生時期

マコンブ群落に設置した試験区のうち、設置時に101個体及び73個体の1年目マコンブが生育した試験区では、9月にはそのうちの各々58個体、47個体が、12月にはさらに各々13個体、10個体が流出した。この間、試験区では藻体は流出するのみで、新規の発生は観察されなかった。3月にはさらに各々25個体、12個体流出したため、調査開始時に標識した藻体は、各々5個体、4個体のみが、葉状体が再生した2年目藻体となって残った。しかし、3月には新たに試験区内に発生した藻体が各々14個体、23個体観察された。また、藻体が生育しない場に設定した試験区では9月までは変化が無く、裸地のままであったが、3月には新たに39個体の藻体が発生した（図6）。これ

から、大間沿岸のマコンブ発生時期は冬期から春期にかけての期間と推察された。

これに対してガゴメは、設置時に24個体及び12個体生育した試験区では、9月に各々11個体、7個体が流出したものの、同時に、各々で1個体、9個体の新規発生藻体が観察された。藻体が生育しない場に設定した試験区においても、9月には、その中に9個体の藻体が新たに発生した。各試験区で新規に発生した藻体の数は、図6に示したとおり、9月に0-11個体、3月に5-11個体であった。ガゴメは調査を通じて新規発生が観察されたことから、その、天然海域における発生期間はマコンブに比べ長いといえた。ガゴメの成熟藻体は、図6に採取採取された個体に占める成熟藻体の割合を示したとおり、1993年5月～9月までの期間には、観察されることはなかった。したがって、試験区内で9月に新たに発生が認められたガゴメは、遊走子から直ちに発生したものではなく、越冬した配偶体が微小な幼孢子体が生長したものと考えられた。

以上の結果から、藻体の持つ寿命の長さに加えて、天然海域での発生時期が長いことが、マコンブに比べガゴメの現存量が安定した理由として推察された。

④ ガゴメ、マコンブ、ツルアラメの生長

個体標識を付した藻体のサイズは、図7に水深23mのガゴメ、14mのマコンブ、5mのツルアラメの葉長変化を示したとおりである。葉長の平均値は、ガゴメが調査開始時に30.3cmあったが、それから6か月後の1992年5月に137cmで最大となった。この後、末枯れのため減少したが、11月以降葉体に突き出しが認められ再生し、1993年5月には116cmとなった。ツルアラメの葉長はおおむねガゴメと同様に变化した。即ち、葉長の平均値は、調査開始時に15cmあって、1992年5月に30cmと増加後末枯れのため減少したが、冬期以降再生したため1993年4月34cmで最大となった。これに対して、マコンブは調査開始時に葉長平均値が67cmの突き出しを持つ藻体に標識を付したため、1992年の調査では2年目藻体の葉長を測定した。この葉長平均値は、5月に182cmで最大となり、同じ時期のガゴメ、ツルアラメに比べ各々45cm、152cm大きい値となった。しかし、それ以降、末枯れのため減少しつづけ、12月には39cmとなった後、すべて枯死・流出した。一方、1993年には4月5日以降1年目藻体が観察されるようになったため、新たに平均葉長36cmの個体に標識して葉長を測定した結果、藻体は生長し6月30日に葉長の平均値が75cmとなった。この後、葉長の平均値は末枯れのため減少したものの1993年12月においても38cmあって、標識個体の大半に突き出しによる葉体の再生が観察されている。

以上のとおり、葉長の変化は現存量の季節変化とおおむね一致し、また、葉長の平均値から葉状体のサイズは、2年目マコンブ、ガゴメ、1年目マコンブ、ツルアラメの順に大きいと言えた。

生長量は、葉状体に付した穿孔の移動量の総和から算出したが、その量は藻体のサイズの順とは必ずしも一致しなかった。2年目マコンブは、調査開始時の1991年11月から枯死流出した1992年12月までの約1年間に180cm生長したと計算された。同期間のガゴメは141cmと算出され、その量は2年目マコンブの約3/4の値にとまった。この後ガゴメの葉状体は再生したが、1993年の生長量は108cmと算出された。一方、1年目マコンブは1993年4月に生育が観察され、5月以降に穿孔移動量を測定したが、その生長量は、穿孔移動量の総和である121.8cmに4月調査時の葉長平均値である38.1cmを加え159.9cmと見積もられた。従って、1年目マコンブは、より藻体の大きいガゴメより、生長量が大きいといえた。ツルアラメの生長量は、調査開始時から1992年12月までの約1年間に26cm、1993年の調査を通じて31.6cmと計算され、ガゴメ、マコンブに比べ生長量が小さかった。

生長速度の季節変化を求めるため、穿孔の移動量をその間の調査間日数で割り、日間生長量を算出した。日間生長量は、図8に変化を示したとおり、3種とも冬期から春期にかけて高く、夏期には著しく減少した後、秋期にはほとんど0となった。最も早い生長速度を示したのは、マコンブで2年目藻体では調査開始後増加して1992年2-4月にかけて15.4mm/dayで最大となとなった。また、1年目藻体では、1993年4-5月にかけて15.9mm/dayで最大となり、藻体のサイズがより大型な2年目藻体のものとはほぼ一致した。1年目マコンブは、その後も13.1mm/dayの比較的高い値を維持し、2年目マコンブに比べ夏期でも順調な生長がみられた。ガゴメの生長速度は1992年には4月に8.60mm/day、1993年には3月に9.67mm/dayで各々最大となり、同じ時期の2年目及び1年目マコンブに比べ生長速度の最大値が低かった。また、ツルアラメの生長速度は1992年には3月に2.06mm/day、1993年には4月に2.91mm/dayで各々最大となるものの、その値は葉長や現存量と同様に3種の中で最も小さい値を示した。

⑤ 水温と生長速度の関係

藻体の生長には水温の影響が予想されるので、図9に示したとおり、両者の関係を検討した。この結果、3種とも生長速度と水温には負の関係が認められた。その関係は種によって異なり、即ち、ガゴメでは、水温15℃以下で生長が認められ、その温度範囲では1℃水温が低下することにおおむね1.5mm/dayの割合で生長速度が増した。また、マコンブでは2年目藻体が、ガゴメと同様に水温15℃以下で生長がみられ、水温が1℃低下することにより約2mm/dayの割合で生長速度が増した。一方、1年目藻体は2年目藻体と同様に2mm/dayの割合で生長速度が増したが、水温15.8℃で5.3mm/day、19.0℃においても2.5mm/dayの生長が認められた。このため、水温と生長速度の関係は2年目藻体に比べ約5℃高温側にずれており、これから、1年目藻体は2年目藻体に比べより高い水温環境下でも生長できると推察された。ツルアラメはガゴメや2年目マコンブと同様に水温15℃以下で生長が認められたものの、生長速度の増加割合は水温1℃低下することにより約0.5mm/dayと他の2種に比べ緩やかであった。以上とおり、3種とも水温の低い時期によく生長すると考えられた。

⑥ 海水中をろ過したろ紙上に発生したコンブ目植物

調査に先立ち、ろ過操作が海水中の遊走子に及ぼす影響を検討した。成熟したマコンブ、ガゴメの子嚢斑部分から遊走子を滅菌海水中に放出させた後、それを十進希釈して遊走子液を得た。各濃度の遊走子液の1mlをろ過した、目合い0.45μmのセルロースフィルターを、50mlのGrund改変培地に容れるとともに、同じ濃度の遊走子液を同様の培地を含む3組のマイクロプレートに移して、10℃、 $20\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、14L:10D条件下で1か月静置培養し、生育する胞子体の数を数えた。この結果、表1に示したとおり、ろ紙上に発生した幼胞子体の数は、マイクロプレート中で発生したものに比べ、マコンブでは47.7%、ガゴメでは48.2%となった。従って、ろ過の操作によっても約半数の遊走子が生存できると推察され、本法で海水中の遊走子を検出できるものと考えられた。

水深23m、14m、5mの各調査地点で、水深5mごとに採取した海水をろ過したろ紙を培養した結果、表2に示すとおりコンブ目植物が発生した。即ち、1993年12月に水深23mの地点で採取された海水にのみ、コンブ目植物が認められ、水深5mの海水では4個体、水深10m及び15mでは5個体ずつ、また、水深20mでは6個体が発生した。発生した幼胞子体を500mlのGrund改変培地中でさらに1か月間培養した結果、それらのすべての葉状体に特徴的な凹凸が形成されたことから、ガゴメと同定された。ガゴメの成熟藻体は、表2に採取された個体のうち子嚢斑を形成した割合を示したとおり、10月以降観察されている。また、11月以降は全てのガゴメが成熟している。従って、これらの海水中にガゴメの遊走子が含まれていた可能性が推察された。

本法によって天然海水中のコンブ目植物の遊走子を検出できたので、今後、同様の調査を継続し、大間沿岸においてマコンブ、ガゴメ、ツルアラメの遊走子放出時期とその環境、また、遊走子の濃度と漁場における幼胞子体発生量の関係について検討する予定である。

考 察

大間沿岸では、図10に模式図を示したとおり、ツルアラメ、マコンブ、ガゴメの順に浅所から深所にかけて比較的広範な群落は垂直分布した。このなかで、マコンブは、1992年に漁場での発生が少なかったこと、寿命が2年と短いことから、その現存量は大きく変化し、時に群落の消失が観察された(図10)。大間沿岸ではマコンブが最も高い価値を持つため、このようなマコンブ群落の消失は、地元漁業者によって『磯焼け』と呼ばれ、経済的な影響がある。このような時期でも、ガゴメは、寿命が長く、漁場での発生期間も長い安定した現存量を維持した。調査地点に限らず1993年には大間沿岸水深10-15mの海底に生育するマコンブが少なく、一部では裸地化した海底にキタムラサキウニの蛸集が観察された。しかし、そこから漁獲されるキタムラサキウニの『身入り』は必ずしも悪化しなかった。漁獲物の胃内容物には、ガゴメが認められたことから、深所において安定した現存量を保ったガゴメやその流れ藻を捕食したと考えられる。従って、大間沿岸では、特に、マコンブ群落の衰退時期には、キタムラサキウニの餌料としてガゴメが重要な役割を持つ可能性が考えられた。

しかし、ガゴメの生長量や最大現存量はマコンブに比べ劣った。大間沿岸において、海域の生産力を高めるためには、生長量が大いいうえ、水温が高い夏期においても生長する1年目マコンブを継続的に漁場に発生させることが有利といえる。コンブ属植物の発生促進については、これまでスポアバックや漁場への施肥が試みられている。しか

し、青森県沿岸では、これまで、マコンブの発生促進技術の検討がなされなかったことがないため、今後、遊走子や栄養塩を漁場に供給し、マコンブ幼孢子体発生へ及ぼす影響を検討する必要があると考えられる。

ツルアラメは浅所に群落を形成したが、その生長量や現存量は他の2種に比べ著しく低い値を示した。ツルアラメは多年生でかつ栄養繁殖するため、大間沿岸において極相を形成するものと思われる。従って、海域の生産力の向上には、ツルアラメを漁場から排除し、マコンブ群落へ移行させることが望ましい。その排除には、ウォータージェットや船上からの刈り取りなどが、現在実施されているが、多くの経費と労力を要している。キタムラサキウニに対するツルアラメの餌料価値は、マコンブと同等であることが知られており、そこに移植されたウニは身入りの向上が期待できる。さらに、水深15m前後のマコンブ漁場に棲息するウニを移植によって除去することにより、その水深帯に、生産力が高いマコンブの増殖を図ることが可能と考えられる。このため、今後、大間沿岸においてツルアラメ場に移植したキタムラサキウニの身入り変化を検討する予定である。

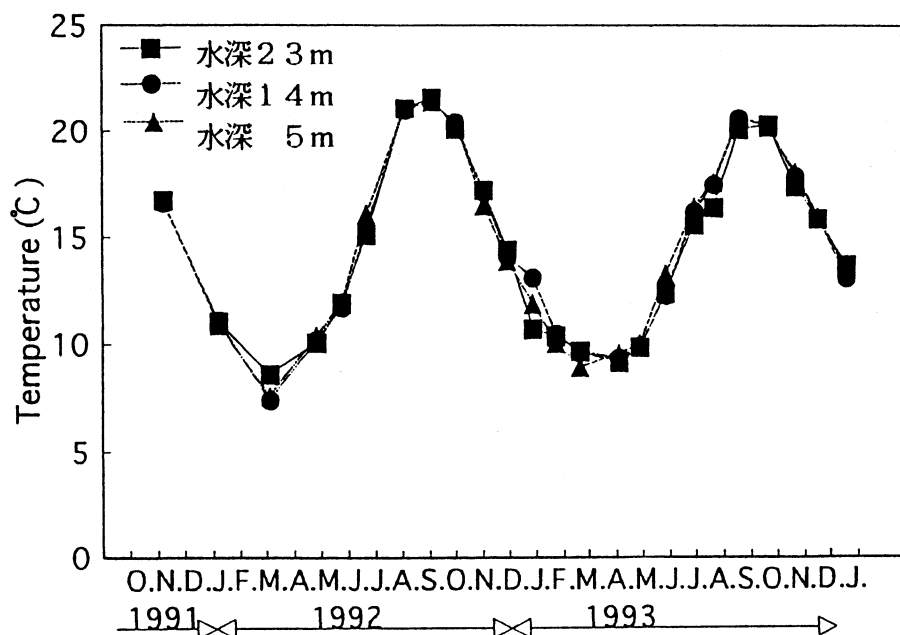


図1 調査地点の水温変化

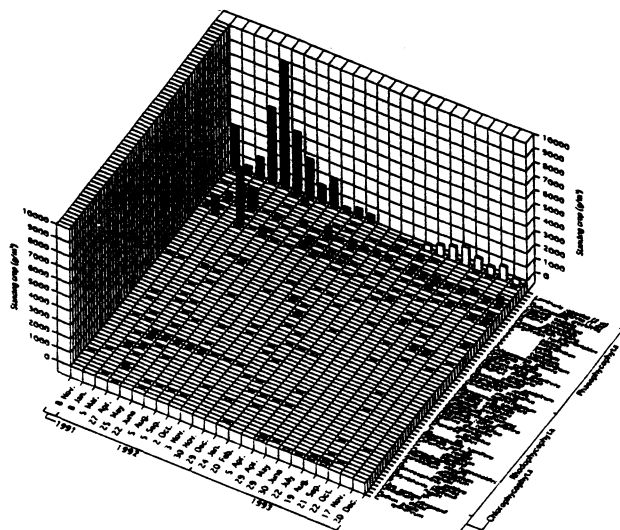


図3 水深14mの調査地点の植生

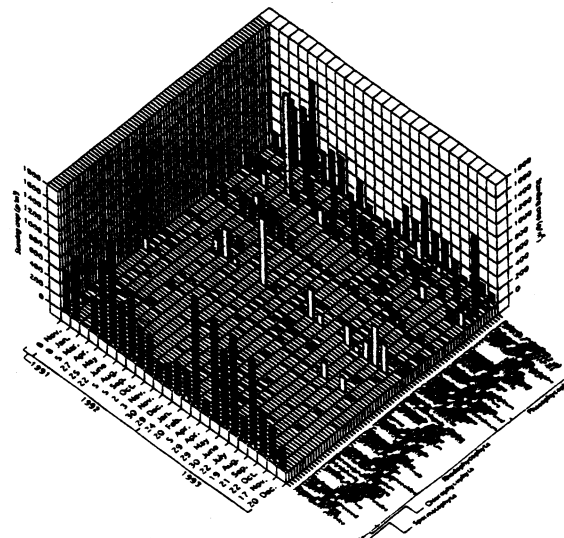


図4 水深5mの調査地点の植生

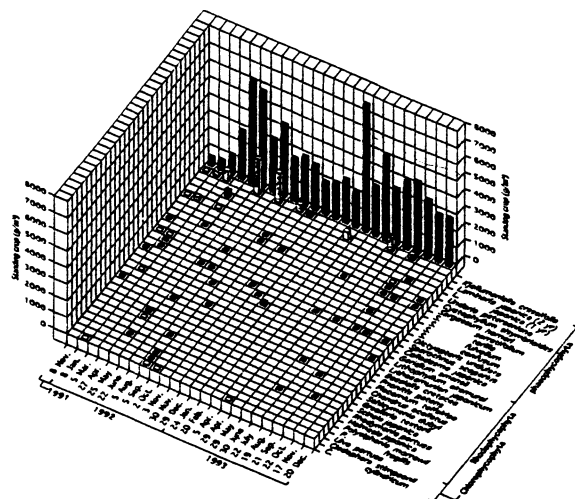


図2 水深23mの調査地点の植生

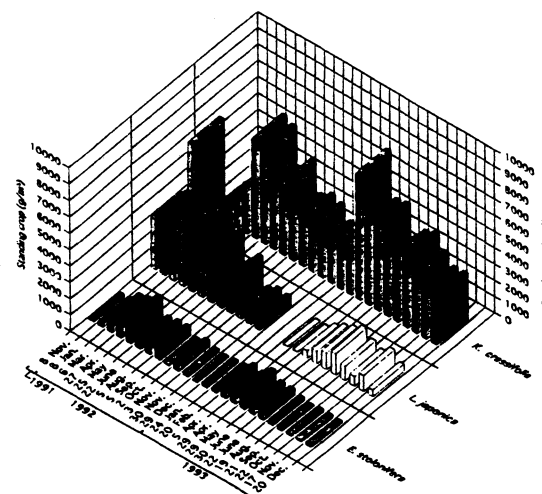


図5 調査地点におけるカゴメ、マコンブ、ツルアラメの現存量

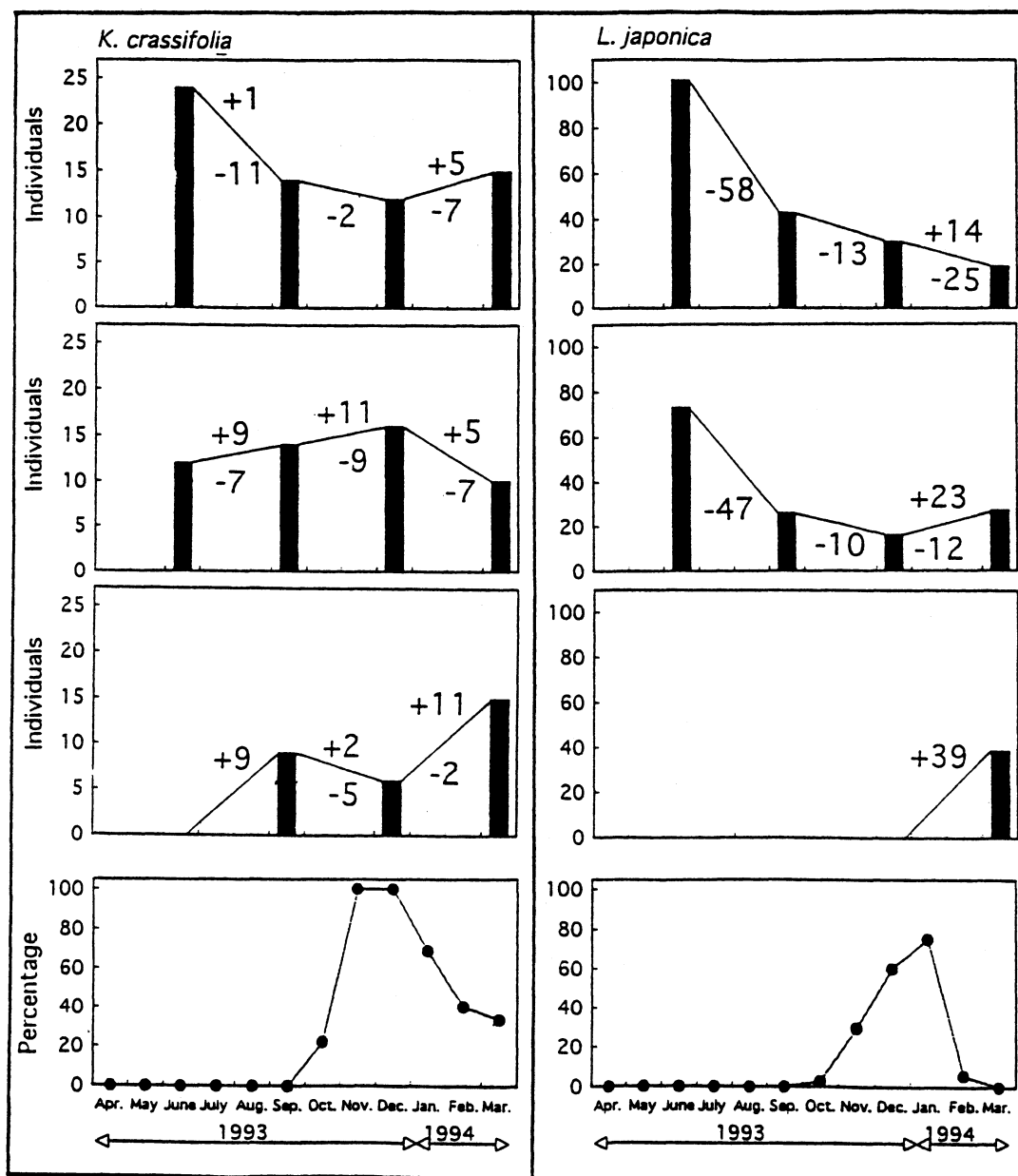


図6 水深23m、14mの地点に設置したコドラートに生育したマコンブ、カゴメの
個体数、及び、り採取された藻体に占める成熟藻体の割合
数字は調査期間における加入と脱落を表す

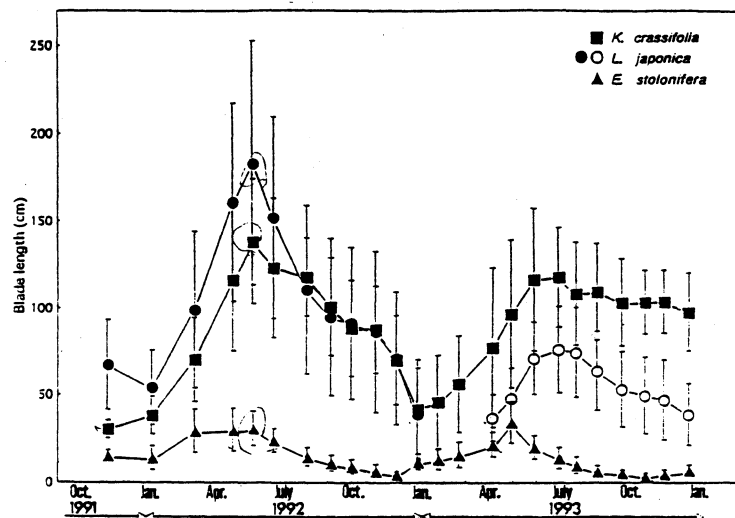


図7 標識藻体の葉長変化

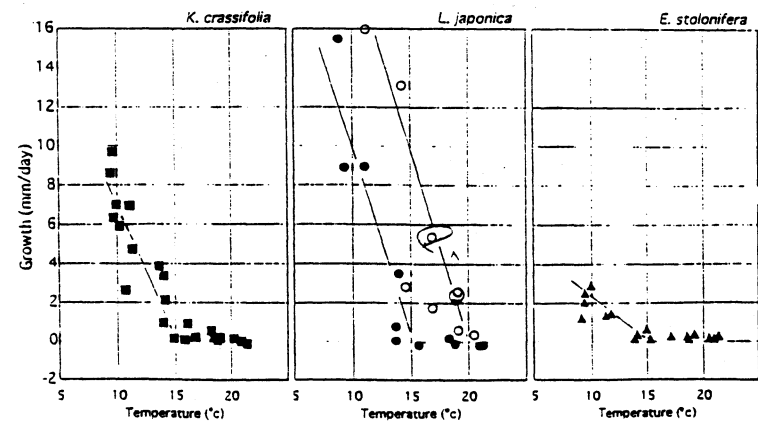


図9 水温と標識藻体の日間生長量の関係

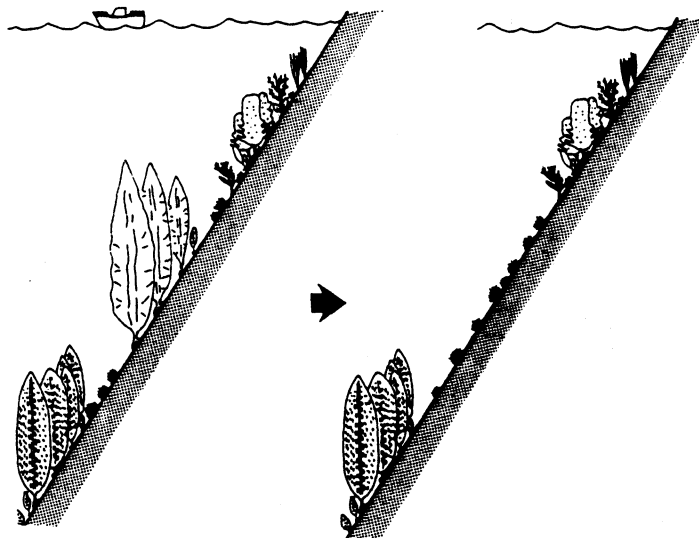


図10 大間会館の磯焼けの模式図

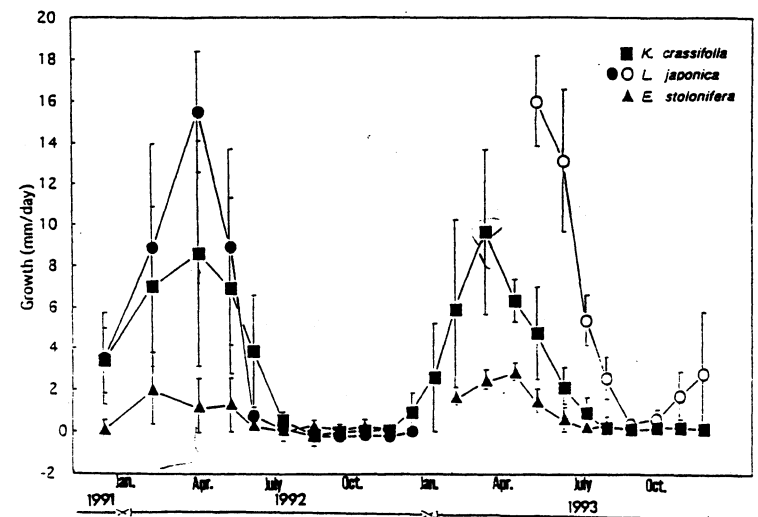


図8 標識藻体の日間生長量変化

表1 マコンブ、カゴメ遊走子のろ過操作による生存割合.

希釈濃度	マイクロプレート中					ろ紙上		生存割合 (b/a)
	発生個体数			平均値	a 密度	発生個体数	b 密度	
マコンブ								
10 ¹	o.c.	o.c.	o.c.	-	-	o.c.	-	
10 ⁻⁰	o.c.	o.c.	o.c.	-	-	o.c.	-	
10 ⁻¹	o.c.	o.c.	o.c.	-	-	4249	4.2×10 ⁴ /m	
10 ⁻²	393	408	711	504.0	5.0×10 ⁴ /ml	146	1.5×10 ⁴ /ml	
10 ⁻³	0	2	2	-	-	15	1.5×10 ⁴ /ml	
10 ⁻⁴	0	0	0	-	-	0	-	
平均値					5.0×10 ⁴ /ml		2.4×10 ⁴ /ml	47.7%
カゴメ								
10 ¹	o.c.	o.c.	o.c.	-	-	o.c.	-	
10 ⁻⁰	o.c.	o.c.	o.c.	-	-	o.c.	-	
10 ⁻¹	o.c.	o.c.	o.c.	-	-	546	5.5×10 ³ /ml	
10 ⁻²	71	81	188	113.3	1.1×10 ⁴ /ml	0	-	
10 ⁻³	2	3	4		-	0	-	
10 ⁻⁴	0	0	0		-	0	-	
平均値					1.1×10 ⁴ /ml		5.5×10 ³ /ml	48.2%

o.c. : 計数不能

表2 大間海岸の3調査地点において400mlの海水をろ過したろ紙上に発生したコンブ目植物の個体数と各地点で採取り採取された藻体に占める成熟個体の割合.

時	カゴメ マコンブ ツ										ルアラメ			
	20m 1 m 5 m				10m 15m 1 m 5				m		1m 5m 10m 15m			
	期													
水深23m地	点													
水深14m地	点													
水深5m地	点													
採水地点と藻体の成熟	水深割合													
1993年4月	0	0	0	0%0	0	0	0	0	0	0	0	0%	0%	
5月	0	0	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6月	0	0	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7月	0	0	0	0 0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	