

沿岸域に生育するマコンブの生育域・生産量と 水温及び海底基質との関連性に関する研究

RELATIONSHIPS BETWEEN HABITATS, PRODUCTION OF KELP LAMINARIA
JAPONICA AND TWO FACTORS(WATER TEMPERATURE AND
SUBSTRATUM)

神谷徳成¹・和田明²・長谷川一幸³

Tokunari KAMIYA, Akira WADA, Kazuyuki HASEGAWA

¹学生会員 日本大学大学院 生産工学研究科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

²正会員 工博 日本大学大学院教授 総合科学研究科 (〒102-0073 東京都千代田区九段北4-2-1)

³正会員 博士(工学) 財団法人海洋生物環境研究所 (〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300)

Relations between kelp habitats and their water temperature and substratum, and relations between kelp production and water temperature were examined. Areas where water temperature and substratum were assumed to sustain the kelp growth broadly coincided with the actual kelp distribution areas. It was suggested that for kelp habitat formation, temperature ranges of 2 to 22°C during the sporophyte stage and 3 to 9°C in the gametophyte stage are necessary conditions. Although a direct correlation between kelp production and water temperature was not recognized, its production was suggested to be influenced by summer water temperature of the previous year.

Key Words : *Kelp Laminaria japonica, water temperature, growth stage*

1. はじめに

我が国の沿岸海域には、主に寒流海域にコンブを主体としたコンブ類藻場、暖流海域にアラム・カジメを主体とした海中林藻場、ホンダワラ類を主体としたガラモ藻場、内湾域にアマモを主体としたアマモ場が分布している¹⁾。藻場の主な機能として、①藻食動物の餌場としての役割。②稚魚の餌となるアミ類やその他の小動物が繁殖する保育場。③産卵床としての提供。④渚や海岸の保全。⑤酸素の供給、富栄養化海域の窒素、リン等の栄養塩の吸収による水質浄化機能。⑥漁場としての機能。などが挙げられ自然環境や多様な生態系を保全するとともに、地域の漁業振興等の重要な機能を担っている²⁾。

しかし、環境省の調査によって過去約 13 年間に全国の現存藻場面積の 3.2%が失われた¹⁾ことが明らかとなり、同じ速度で全国的な藻場消滅が今後進行した場合、40 年後には現在の全国藻場面積の約 10%が失われ、現状においても依然として埋立、護岸工事、水質汚濁などによって藻場は著しく減少傾向にあるため事態は大変深刻である。このうちコンブ場での消滅原因の約 43%を埋立等直接改変が占めている。この型の藻場消滅は人為的

なものであり、このように藻場消滅に人間の活動が関わっているとすれば、藻場消滅速度は年々増大する可能性がある¹⁾。

「海藻藻場の保全は、環境面のみならず、国民の健康を守るためにも、国家にとって重要課題である」³⁾。そのためには今後も積極的に海藻藻場を保守する必要がある。海藻藻場の消失した場所には人工的手段を講じて積極的に海藻藻場を造成・再生していく必要がある。

藻場造成に関する研究は、以前より水産利用上の有用性の観点から多く実施されてきている。現在日本では開発行為の実施に伴う環境保全措置として、消滅する藻場の代償措置が検討され、その代替補償として人工干潟や人工藻場を造成実施される事例が多くみられる¹⁾。しかし、代償措置として造成された海藻藻場については、長期的に持続していると判断できる例は少なく、またその措置に当たって適切さを欠く実施事例も報告されている⁴⁾。そのため、藻場保全対策では適切な造成地点の選定が重要となる。海藻藻場の生育分布域は様々な環境要因(水温、光量、塩分、栄養塩、流れ、食圧、基質など)によって決定されると考えられる。海底基質の構成によって生育する藻場の種類が概ね決定される¹⁾ことから、基質は藻場の生育域を形成する際に重要な要因とな

ると考えられる。また、広域的な分布は水温によって大きく影響を受けるものと考えられる。そこで、本研究ではマコンブの生育分布と基質との関係、さらに水温・生産量との関係を明らかにし、適切な藻場造成地点の選定に役立てる事を目的とする。

また、解析には海藻の中で特に食用とされる水産有用種のマコンブに着目して解析を行った。

2. マコンブの生活史

(1) マコンブの生育域

マコンブ (*Laminaria japonica* Areschoug) の生育域は北海道の室蘭から東北地方三陸沿岸までの太平洋および津軽海峡一帯に広く分布している(図-1)^{5)~7)}。マコンブは主に入り江や湾入した比較的波の穏やかな場所で透明度の高い海域の低潮線付近から水深 20~30m 付近までの岩盤、転石上に生育する。浅所に生育するものは体長 1.5~3m、深所のものは時には 10m にも達すると報告されている⁷⁾。

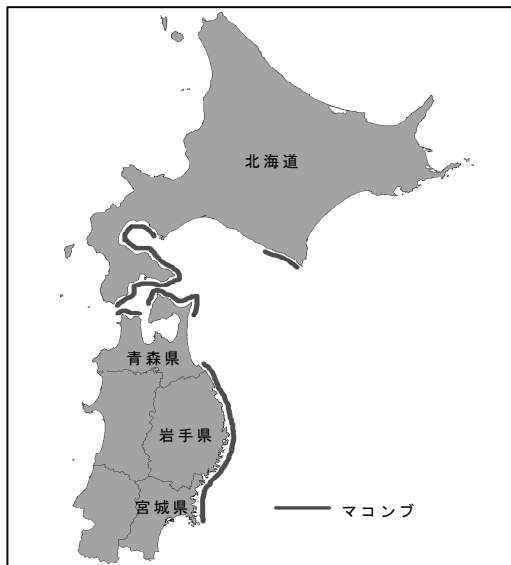


図-1 マコンブの生育域^{5)~7)}

(2) マコンブのライフサイクル

マコンブは2年生であり、葉体の発芽から1度目の生長期、成熟期、生長休止期を経て再生が始まるまでの生活が1年目(齢)、再生後に2度目の生活をもう一度繰り返すものが2年目である。マコンブの生活史には、顕微鏡的な大きさの配偶体世代(有性世代)と肉眼的な大きさの孢子体世代(無性世代)の2世代があり、これら二つの異形世代間で規則正しい世代交代を行う。図-2 にマコンブの生活史を示す⁸⁾。

マコンブのライフサイクルは、まず 8~11 月にかけて子囊斑から遊走子が放出され、付着後すぐに発芽管を出し、分裂が始まり雄雌の配偶体になる。これらは冬の

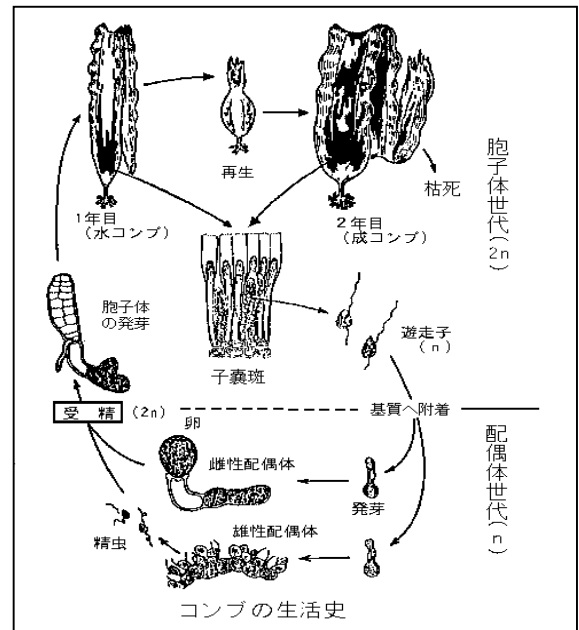


図-2 マコンブの生活史⁸⁾

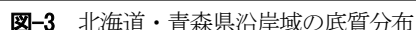
間伸長して翌春成熟し、その後受精が行われ、直ちに発芽して孢子体が形成される。主な発芽期は 12~3 月の時期である。この孢子体が形成される以前の期間を配偶体世代と呼ぶ。この配偶体の生活期間は 1~2 ヶ月程度である。ここで遊走子が付着する基質の構成は、砂泥域では遊走子の着生を困難にし、波浪によって動揺するような転石には大型藻類が着生しにくい⁹⁾とされている。底質条件によって着生場所が限られてくると推測されマコンブの生育域と生育を取り巻く地質構成の関係の解明が重要になってくると思われる。また配偶体は高温条件では栄養生長のみを行い、低温条件で成熟するといわれており¹⁰⁾、この水温の状態により生長の仕方に変化があることから水温が生長に影響するのではないかと考えられる。

その後は孢子体世代と呼び、1 月中旬~3 月にかけて幼芽が出現する。それから 5 月中旬を中心に 4~6 月までの間は伸長生長が盛んになりこの時期を特に群落形成期と呼ぶ。この時期は水温の上昇期に当たるとともに日射量や日照時間の増大する時期とよく一致する。6~7 月以降伸長生長はほとんど停止し、末枯れと称される先端部の枯死流失が著しくなるため、夏から秋にかけて葉体が短くなる。秋以降は、残った生長帯部から再び伸長生長が盛んになり、持ち上げと称される 2 年目マコンブへの再生現象が見られ、旧根(付着器)の上段から新しい根が出る。葉体が成熟期に達すると葉面上に遊走子嚢とこれを保護する側糸の集まりである子囊斑を形成し、8~11 月にかけて遊走子を放出し流失する。このような世代交代をコンブ型の世代交代と呼ぶ¹⁰⁾。

このように、マコンブの成長は各世代における水温変動によって左右されることがわかる。

マコンブが継続的に生育繁栄していくためには、ライフサイクルが正常に繰り返されていかなければならない。そこで重要となるのがライフサイクルの始まりである遊走子の生育であると考えられる。遊走子が生育するためにはまず海底基質に着生することが必要条件であると推測される。

北海道立地質研究所発行の底質分布図^{11)~13)}および、青森県庁発表の海岸保全計画書より得られた海底基質データを基に砂、礫、岩に大別し、水深10m以浅の北海道沿岸および青森県沿岸の底質分布を求めたものを図-3に示す。



また、**図-1** でマコンブが生育していない北海道は室蘭市より東側沿岸、青森県は陸奥湾沿岸・六ヶ所村から南側沿岸の海底基質はいずれも砂層となっており、マコンブが主に生育しにくいとされる底質と概ね一致していることがわかった。

マコソと水温の関係については、全国の様々な地域で研究が行われている^{8), 14) ~ 25)}が、これらの研究の多くが局所的に行われており、広域的な生育分布の評価には十分な知見が整備されているとは言えない状況である。そこで、各地で得られたマコソの適水温についての既往の知見から各世代における適水温の評価点を見積もることでマコソの適水温域の推定をおこなった。

表-1 に世代別の好適水温、最適水温、枯死水温範囲をとりまとめた結果を示す。表-1 を用いてマコブの配偶体期および胞子体期別の適水温情報による評価点を算出した結果を図-4、図-5 に示す。

[illegible]

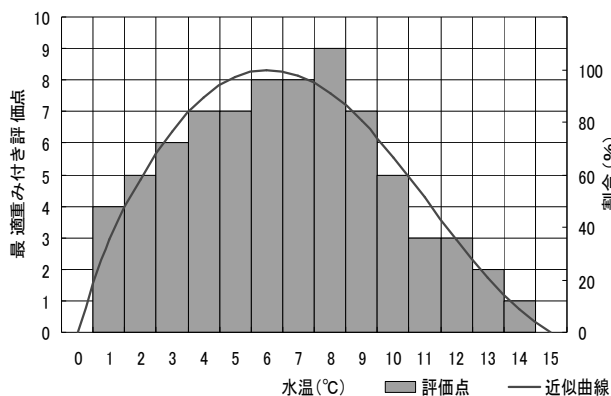


図-4 マコブ配偶体期における水温に対する最適重み付き評価点分布図

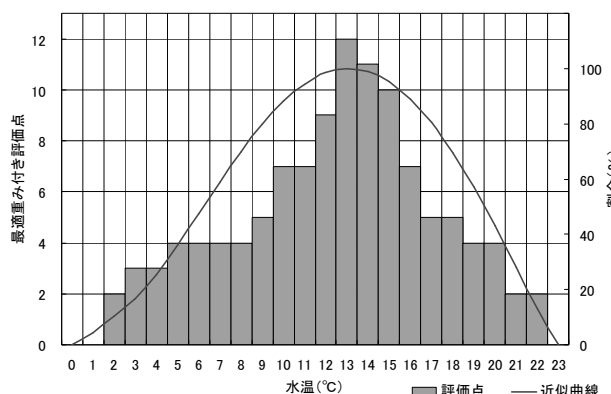


図-5 マコブ胞子体期における水温に対する最適重み付き評価点分布図

評価点の算定方法は以下に示す。

$$(\text{最適重み付き評価点}) = (\text{適域内にある環境要因の評価点}) + (\text{最適域内にある環境要因の重み付け}) \dots (1)$$

ここで、評価点の算出の条件として、好適水温値である場合、評価点1として加点する。また、適水温値と最適水温値の差を強調させるため、最適水温値である場合は重み付け1点を加点した、評価点2を加点した。これに対し、枯死水温値の場合は評価点-2として減点した。

(2) マコブ適水温の算出

図-4、図-5 の評価点分布からマコブの最適水温範囲、好適水温範囲、枯死水温範囲を推定した。

検討方法は、図-4、図-5 の評価点のヒストグラムから多項式近似曲線を求め、最大値を中心とし、表-1 で引用した文献情報等も考慮し評価点の上位8割以上に該当する水温範囲を最適水温範囲とし、それ以下の評価点が1割～7割に該当する水温範囲を好適水温範囲とした。また、評価割合が1割以下に該当する水温範囲は枯死水温範囲とした。得られたマコブの適水温範囲を表-2 に示す。

表-2 よりマコブの配偶体期の好適水温は1～14℃であり、その内最適水温は3～9℃であった。一方、胞子体期の好適水温は2～22℃であり、その内最適水温は

表-2 マコブの生育別適水温範囲

	好適水温	最適水温	枯死水温
配偶体期	1～14℃	3～9℃	15℃～
胞子体期	2～22℃	10～16℃	23℃～

10～16℃であることが推定された。

4. マコブ生育域と環境要因との関係

3章で推定された最適水温範囲、好適水温範囲、枯死水温範囲とマコブ生育域周辺の水温分布との関係を比較し、マコブの生育場の広域評価を行った。

(1) マコブ生育域と水温との関係

配偶体期にあたる1～3月の期間の海水温分布、および胞子体期にあたる海水温が最も高くなる8月の海水温分布と各生育期の適水温範囲を比較した。解析に使用した水温データは、JODC(日本海洋データセンター)所蔵の1965～2000年の観測データで、この中から北緯24度～46度、東経123度～150度の範囲内の水温データ(合計ステーション数:1238488点)を経度1度×緯度1度に整理したものを用いた。ただし、評価を行う際の水温値として、長期的に生育可能なマコブ生育域の評価が可能な平均水温値を使用した。

図-6 に日本沿岸域の1～3月の平均海水温分布、図-7 に8月の平均海水温分布をマコブの適水温範囲別に色

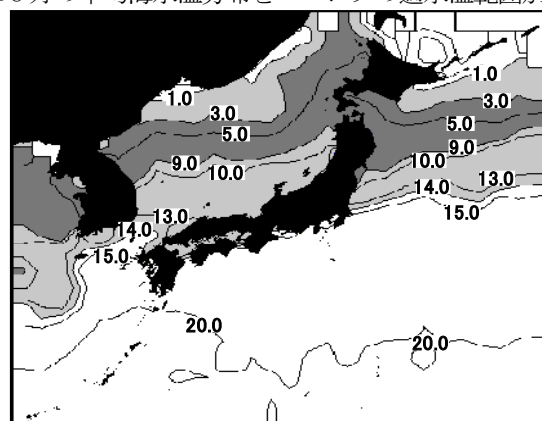


図-6 日本沿岸域1～3月の平均水温分布とマコブ生育可能範囲

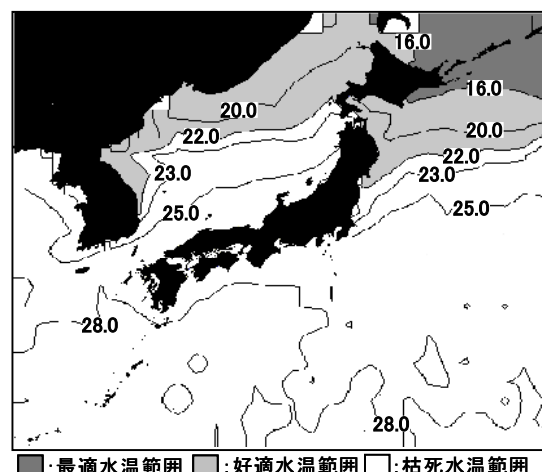


図-7 日本沿岸域8月の平均水温分布とマコブ生育可能範囲

別して示した。

既往の知見のマコンブ生育域(図-1)と評価点から得られた生育可能海域(図-6, 図-7)を比較すると、マコンブ生育域は配偶体期では最適水温範囲内にあり、孢子体期では可能水温範囲内とされた範囲と良く一致していることが明らかになった。これより評価点から得られた生育可能海域は既往の知見のマコンブ生育域と概ね一致すると推測された。しかし、実際にマコンブの生育しない北海道の日本海北部海域や太平洋西海域などでも生育可能水温範囲となっているなど一致しない海域も存在した。そこで、水温評価点より得られたマコンブの生育可能海域を補正するため、次項では海底基質を取上げマコンブの生育可能海域を推定することとした。

(2) マコンブ生育域の環境要因との関係

3章および4章第1節で行った海底基質条件(図-3)と水温条件(図-6, 図-7)を掛け合わせマコンブの生育域の評価を行った(図-8)。図-8より、浦河・様似周辺海域と主に対馬暖流による影響を受ける西南北海道海域および青森県沿岸海域について既往の知見のマコンブ生育域と概ね一致する結果となったが、積丹岬～宗谷岬の海域に関して相違した結果となった。この要因として、積丹岬～宗谷岬の海域ではマコンブの近縁種であるリシリコンブが主に生育している⁸⁾ことからマコンブ生育域の評価と実際の生育分布が一致しなかったと推測された。また、10年程前からマコンブが生育しているとの報告⁷⁾がある浦河・様似周辺海域は、図-8より生育可能海域の境界に位置していることが推察された。

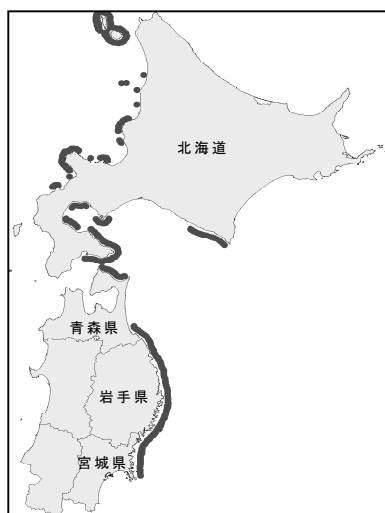


図-8 基質、水温条件より評価したマコンブ生育可能分布域

5. 水温とコンブ生産量の相関

水温変動がコンブの生産量に影響を与えるか検討するため、前章で評価した生育可能海域と実際のマコンブ生育範囲が比較的一致した①(伊達市、虻田町、室蘭市、森町)、②(松前町、函館市)、の2ブロック、計6市町の

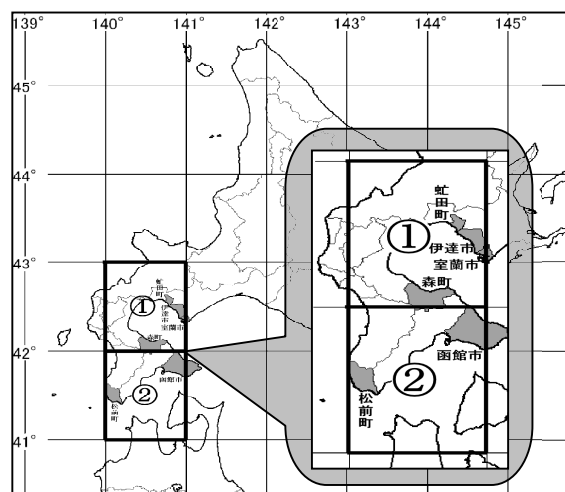


図-9 対象地点

コンブ生産量と水温との関係について検討を行った。対象海域を図-9に示す。

水温データは4章で示したJODC(日本海洋データセンター)所蔵の観測水温データを使用した。

コンブ生産量データは、北海道立水産試験場所蔵の1965～2000年の市町村別コンブ生産量データ²⁶⁾から図-9に示す6市町に該当する年間のコンブ生産量データを使用した。また、コンブ生産量データに関して、この海域は主にマコンブ地帯となっており、多少の雑種は含まれるものの、この対象地点のコンブ生産量は主にマコンブ生産量である²⁶⁾と記載されていることから、本研究では、対象地点のコンブ生産量をマコンブ生産量と判断することとした。

水温とコンブ生産量の相関係数を算出した(表-3)。ただし、コンブは2年生であるため、コンブ生産量と同年の月別平均水温値および前年の月別平均水温値の2ケースについて相関係数を算出し、比較検討を行った。

表-3より、いずれの地点でも水温とコンブ生産量に高い相関は得られなかった(相関係数そのものは危険率5%以下で有意な相関有)。しかしながら、月別に相関係数をみると前年の夏期(7～9月)は全地点で負の相関を示し、その内松前町を除く5地点(計9点)で有意な負の相関が認められた。これより前年の夏期の水温とコンブ生産量との間に関連性があると推察され、前年夏期の高水温がコンブ生産量を減少させると推測された。また、当年の夏期水温においても4地点(計4点)で有意な負の相関が認められたことから、当年夏期の水温もコンブ生産量に影響を与えると推察された。そして、前年および当年のどちらの夏期水温がよりコンブ生産量に影響するのかを相関が得られた地点数、および夏期の相関を得た月数より比較検討した結果、主に前年夏期のほうが生産量に影響を与えると推測された。一方、前章で生育可能適水温範囲と既往の知見のマコンブ生育域と良く一致した冬期の水温とコンブ生産量の間には前年に多少の負の相関はあるものの関連性があるとは認められない結果と

表-3 各市町のコンブ生産量と月平均水温との相関係数

伊達市	当年	前年	虻田町	当年	前年	室蘭市	当年	前年
1月	0.223	-0.486	1月	0.435	-0.554	1月	0.249	-0.237
2月	0.010	-0.236	2月	0.174	-0.127	2月	0.032	-0.236
3月	0.148	0.294	3月	0.359	0.272	3月	0.090	0.018
4月	0.009	0.127	4月	0.042	0.185	4月	-0.335	0.035
5月	0.083	0.219	5月	0.115	0.159	5月	0.013	0.338
6月	-0.525	-0.166	6月	-0.492	0.045	6月	-0.429	-0.168
7月	-0.170	-0.346	7月	-0.372	-0.498	7月	-0.203	-0.128
8月	-0.250	-0.373	8月	-0.170	-0.129	8月	-0.246	-0.437
9月	-0.499	-0.537	9月	-0.552	-0.583	9月	-0.428	-0.434
10月	-0.132	0.172	10月	-0.210	0.129	10月	-0.009	0.159
11月	-0.166	0.002	11月	0.073	0.201	11月	-0.422	-0.228
12月	0.117	0.074	12月	0.295	0.115	12月	0.151	-0.061

森町	当年	前年	松前町	当年	前年	函館市	当年	前年
1月	0.070	0.103	1月	-0.157	-0.357	1月	-0.190	0.167
2月	-0.212	-0.005	2月	-0.220	-0.334	2月	-0.230	0.109
3月	0.059	0.183	3月	-0.271	0.071	3月	-0.097	-0.208
4月	0.014	0.243	4月	-0.227	-0.126	4月	-0.139	-0.170
5月	-0.053	0.078	5月	-0.241	-0.144	5月	-0.101	0.103
6月	-0.277	-0.444	6月	-0.314	0.104	6月	-0.293	-0.099
7月	-0.155	-0.021	7月	-0.084	-0.265	7月	-0.242	-0.413
8月	-0.632	-0.341	8月	-0.170	-0.015	8月	-0.081	0.062
9月	-0.306	-0.266	9月	-0.164	-0.001	9月	-0.100	0.035
10月	-0.089	-0.032	10月	-0.317	-0.226	10月	-0.034	-0.201
11月	-0.246	0.043	11月	-0.051	-0.151	11月	0.219	-0.374
12月	-0.081	0.247	12月	0.131	-0.073	12月	0.268	0.007

□：危険率5%以下で有意

なった。この要因として冬期の水温が上昇しても生育可能水温範囲内での変動であり、そのためコンブ生産量にはあまり影響しないと推測された。以上の事から、コンブ生産量には主に前年の夏期の水温に着目する必要があると推察された。

6. 結論

本研究では、マコンブ生育域と水温・海底基質の関係および、水温変動とコンブ生産量の関係について検討を行った。本研究より得られた成果は以下のとおりである。

- 1) マコンブの生育域の水温分布は文献から得た生育可能水温範囲とほぼ一致した。また、今回作成した海底基質・水温より評価したマコンブ生育可能海域と既往の知見のマコンブ生育域がほぼ一致することが確認された。この評価手法結果より、広域的に見ると、マコンブの生育には孢子体期では生育可能水温範囲内で、かつ配偶体期では最適水温内にあることが必要条件であると示唆された。
- 2) 水温とコンブの生産量には高い相関は得られなかったものの、コンブ生産量には主に前年の夏期8月の水温変動による影響を受けることが推察された。これは、前年の夏期水温が上昇すると生産量が減少し、反対に水温が下降すると生産量が増加することを示し、コンブ生産にはこれら前年の夏期の水温変動に着目する必要があると示唆された。

参考文献

- 1) 環境省：日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況，第2巻，藻場，1994。
- 2) 福井県水産試験場：藻場について，浜へのたより，第139

号，pp1-4，2003。

- 3) 京都府立海洋センター：藻場の回復，造成に向けて，1. 京都府沿岸の磯焼けの現状，季報第65号，1999。
- 4) 環境省：藻場の復元に関する配慮事項について，2003。
- 5) 能登谷正浩：藻場の海藻と造成技術，成山堂，pp.10-11，90-100，2003。
- 6) 大野正夫：海藻の資源開発と利用に向けて，有用海藻誌，pp.67-71，2004。
- 7) 川嶋昭二：マコンブの新分布，藻類，pp67，1996
- 8) 川嶋昭二：日本産コンブ類図鑑，北日本海洋センター，pp18-27，1989。
- 9) 桑原伸司ほか：藻類の成長に影響する環境要因の研究，海洋開発論文集，pp285-290，1997。
- 10) 堀輝三：藻類の生活史集成第2巻 pp127，1993。
- 11) 北海道立地下資源調査所：北海道沿岸域の地質・底質環境，第1巻，太平洋西海域，1997。
- 12) 北海道立地質研究所：北海道沿岸域の地質・底質環境，第2巻，西南北海道海域，2000。
- 13) 北海道立地質研究所：北海道沿岸域の地質・底質環境，第3巻，日本海北部海域，2003。
- 14) 日本生産資源保護協会：環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理，pp254-290，1983。
- 15) 坂井英世：佐渡沿海におけるマコンブ養殖の研究，水産増殖，pp33-37，1968。
- 16) 殖田三郎・岩本康三・三浦昭雄：水産植物学(水産学全集10)，恒星社厚生閣，pp497-526，1963。
- 17) 吉本義則：天草周辺海域におけるマコンブに関する試験-IV，熊本水試事報，pp308-313，1969。
- 18) 吉本義則・田畑重行・尾脇満雄・千々波定雄：天草周辺におけるマコンブの養殖に関する試験-I，熊本試報，pp344-360，1968。
- 19) 四井敏雄・西川博：有明海におけるマコンブの成長について，水産増殖，pp23-32，1985。
- 20) 岡田行親・三本管善昭：コンブ類の雌性配偶体の生長と成熟に及ぼす温度の影響，北水研報，pp51-56，1980。
- 21) 坂井英世：佐渡沿海におけるマコンブ養殖の研究，新潟水試研報3巻，pp211-218，1974。
- 22) 木下虎一郎，渋谷三五郎：マコンブの発生適温，北水試旬報第348号，pp19-20，1937。
- 23) 桐原慎二・藤川義一・能登谷正浩：水槽中で培養したマコンブ孢子体の子嚢斑形成と生長におよぼす水温及び光周期の影響，青森水研報，pp385-390，2003。
- 24) 日本水資源保護協会：水産生物と温排水，水産研究叢書25，pp82-92，1973。
- 25) 坂井英世：海藻類増殖試験，新潟水試報，pp555-569，1963。
- 26) 鳥居茂樹：北海道におけるコンブ生産量について，北水試月報，pp275-334，1987。

(2005.9.30 受付)