

海藻類 4 種の生息場適性指数モデル

三浦正治^{*1§}・野村浩貴^{*2}・松本正喜^{*3}・道津光生^{*4}

Habitat Suitability Index Models for 4 Species of Seaweeds

Masaharu Miura^{*1§}, Hirotaka Nomura^{*2}, Masaki Matsumoto^{*3}
and Kosei Dotsu^{*4}

要約：環境影響評価における定量的な予測方法を確立するための一助として、海藻類 4 種について文献情報を整理し、それぞれの種毎に生息場適性指数 (HSI : Habitat Suitability Index) モデルを作成した。対象とした種はアラメ、アカモク、ノコギリモクおよびヤツマタモクである。HSI モデルを構成する適性指数 (SI : Suitability Index) モデルは着生基質、低温期 (2 月) 平均水温、高温期 (8 月) 平均水温、水深、透明度、波浪、塩分および COD とした。今回作成した 4 種の HSI モデルは新しい知見を取り入れ、常に更新されるべきものであり、実海域に適用する場合には、現地調査から得られるデータを用い、モデルを修正して使用する必要がある。

キーワード：アラメ、ノコギリモク、アカモク、ヤツマタモク、生息場適性指数モデル

Abstract : In order to establish a quantitative estimation method for use in environmental impact assessment, we constructed habitat suitability index (HSI) models for four species of seaweeds, *Eisenia bicyclis*, *Sargassum horneri*, *S. macrocarpum* and *S. patens*, by reviewing relevant articles. HSI models consisted of the following eight environmental factors: attachment substrates, average water temperature in the lowest temperature period (February), average water temperature in the highest temperature period (August), and seawater depth, transparency, wave forces, salinity, and COD. These HSI models should be updated as new findings are provided and also should be revised with new field data when applied to a specific sea area.

Keywords : *Eisenia bicyclis*, *Sargassum horneri*, *Sargassum macrocarpum*, *Sargassum patens*, habitat suitability index model

まえがき

平成 9 年 6 月に環境影響評価法が公布され、平成 11 年 6 月より全面施行されたことにより、環境アセスメントが法的に義務づけられることとなった。環境影響評価法においては、新たに生態系という自然環境の保全に係わる評価項目が設けられ、事業による環境影響の予測・評価にあたっては可能な限り定量的な手法を用いることが求められている。

これまでの環境影響評価においても、大気環境などの評価項目では数値シミュレーション等による定量的予測・評価が実施されてきた。しかし、動物や植物などの評価項目では、そのほとんどが定性的な予測・評価に終始してきた。この理由としては、生物に関する定量的予測モデルが少ないこと、生態系モデルなどを用いた定量的な予測手法は計算過程が解りづらく、対象となる地域ごとにモデルを構築する必要があるため膨大な時間と費用が必要となること、などが考えられる。

このような背景のもとに、財団法人海洋生物環

(2009 年 12 月 9 日受付, 2010 年 1 月 19 日受理)

*1 財団法人海洋生物環境研究所 実証試験場 (〒945-0017 新潟県柏崎市荒浜 4-7-17)

§ E-mail: miura@kaiseiken.or.jp.

*2 財団法人海洋生物環境研究所 事務局 (〒162-0801 東京都新宿区山吹町 347 藤和江戸川橋ビル 7 階)

*3 日本エヌ・ユー・エス株式会社 (〒108-0022 東京都港区海岸 3-9-15 LOOP-X ビル 8 階)

*4 財団法人海洋生物環境研究所 中央研究所 (〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田 300)

境研究所では平成9年度より平成17年度にかけて、経済産業省原子力安全・保安院委託「発電所生態系調査手法検討調査」を実施し、海域生態系を対象とした発電所アセスメントの考え方を整理した。さらに、これに基づき、藻場のある海域として長崎県の志々伎湾海域に仮想の発電所を想定して、現地調査を含む調査・予測のケーススタディを実施した。この調査において、いくつかの魚類、海藻草類を注目種としてとりあげ、生息場適性指数（Habitat Suitability Index, 以下HSIと略記）モデルを作成した。

HSIモデルは、1974年に米国の連邦野生生物局（USFWS）で開発された生息場評価手法（HEP: Habitat Evaluation Procedure）において用いられたもので、HSIという指数は、概念的には次式のように表現され、0から1までの値をとる。

$$HSI = \frac{\text{調査地の環境条件}}{\text{生息場としての最適な環境条件}}$$

実際のHSI算出においては、環境条件として複数の要因があると考えられるため、個々の要因毎に、要因と対象生物の適性との関係をモデル化した適性指数（Suitability Index, 以下SIと略記）モデルから導かれる値を統合してHSIを求める。HSIは生息場としての適性を示す指数であるが、HSIモデルは対象生物のHSIを算出する手順を示した文書である。HSIモデルでは、まず、対象生物について生態情報が示され、次に、情報を基に作成されたSIモデルが示される。さらにHSIを算出するための計算方法が示される。

HSIモデルは、定量的な予測評価が可能であること、シンプルでわかりやすいことなどの利点をもつことから、近年、我が国においても、環境影響評価のツールとして注目されるようになってきた（日本生態系協会, 2004; 田中ら, 2007）。米国では200以上のHSIモデルが開発されており、米国地質調査局（USGS）がウェブサイトで公開している。我が国においてもHSIモデルに類する調査研究は多く、久喜・田中（2006）によれば177件のHSIモデルが存在する。単一種ではなく、藻場を対象とした研究段階のモデル（北野ら, 2007; 長谷川ら, 2007）もみられる。しかし、これらモデルの幾つかについては財団法人日本生態系協会や環境アセスメント学会生態系研究部会等が公表しているものの、文書化され、利用可能な

状態となっているモデルは少ない。特に海生生物については、メバル *Sebastes inermis*（矢代ら, 2006）、カジメ *Ecklonia cava*（松本・山口, 2006a）、オオバモク *Sargassum ringgoldianum*（松本・山口, 2006b）などごくわずかである。

本報告では、前述の委託事業において作成した海藻類4種のHSIモデルを一部修正して紹介する。本報告にあるHSIモデルは、新知見の集積により、常に改良されるべきモデルである。したがって、モデルの管理者である財団法人海洋生物環境研究所は、モデルに対するユーザーからのコメントや提案を受け入れる方針であり、それはモデルの有効性を高めるために役立つものと考えられる。

方 法

アラメ *Eisenia bicyclis*、アカモク *Sargassum horneri*、ノコギリモク *S. macrocarpum*、およびヤツマタモク *S. patens* の4種の実藻類について、生態特性、環境要因と種の生育等に関する現地調査や室内実験の既往知見を収集し、それぞれの種について分布や生活史、生息条件を整理した。これらの結果から、縦軸を対象種の適性指数（0～1）、横軸を環境要因とするSIモデルを作成した。次に、それぞれの種の分布は複数の環境要因によって規定されると考えられるため、作成した個々の適性指数を統合し、HSIを算出する方法を示した。これらを対象生物種毎にまとめ、生息場適性指数（HSI）モデルとした。

結果と考察

アラメ、アカモク、ノコギリモクおよびヤツマタモクについて、それぞれ生息場適性指数（HSI）モデルを作成し、その詳細を種別に記述した。各章の構成は対象種の生態的な知見、SIモデル、HSIの算出方法となっている。なお引用文献はまとめて文末に示した。

自然界の生物は、生活史のある一段階であっても、生存できる環境がなければ世代交代して個体群を維持することはできないし、生活史の段階によって生存のための環境条件は異なると考えられるため、生活史の段階毎に、生存を左右する全ての環境要因と適性の関係が整理されることが理想的であると考えられる。しかしそれだけの知見を得ることは現実的には難しい。

これらの理由から、本報告では生活史段階に分けず、分布情報や実験結果から得られる知見を総合的に判断してモデルを作成した。そのSIモデルの環境要因は、着生基質、低温期（2月）平均水温、高温期（8月）平均水温、水深、透明度、波浪、塩分およびCODの8要因であり、このうち波浪については、定量的な情報が得られなかったため、適性の傾向を示す定性的なモデルとした。漂砂・浮泥の堆積、藻食性動物についてはSIモデルを作成できるほどの知見は得られなかったが、海藻類の生残や生育にとって重要と考えられるため、生息条件のひとつとして記載した。

HSIの算出方法は、どのSIが0となっても種は生存できないと考えられるため、相乗平均法を用いた。今後、情報の蓄積によって、生活史の段階毎のモデルが構築されれば、生活史段階毎のHSI

を相加平均して、種としてのHSIを算出するなど、算出方法を見直す必要がある。

HSIモデルは、種の分布と環境条件には関係があるという仮説を前提としており、環境要因と種の適性との関係を単純化して示すもので、対象種の密度や現存量、生産量等を説明するモデルではない。

また本報告のHSIモデルは特定地域の現場調査等により作成されたものではなく、対象種の生育条件や分布、培養実験に関する文献情報を整理することにより作成されたものである。このモデルを環境影響評価等に使用する場合には、調査・予測の対象となる地域、時期、要因等を明確に設定し、現地調査の結果等を解析して、使用する要因、要因と適性との関係などについて、モデルを修正する必要がある。

1. アラメ生息場適性指数（HSI）モデル

目 次

1) アラメに関する知見	5
(1) 概要	5
(2) 分布	5
(3) 生活史	5
(4) 生息条件	6
2) アラメのSIモデル	10
(1) 概要	10
(2) SIモデル	12
3) アラメHSIの算出方法	14

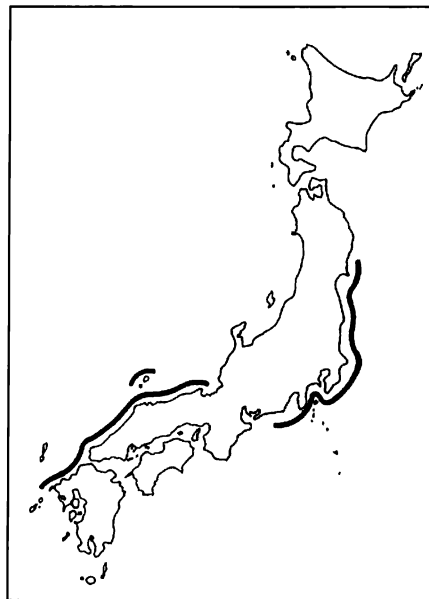
1) アラメに関する知見

(1) 概要

アラメ *Eisenia bicyclis* はコンブ目、コンブ科、アラメ属に分類される。アラメの藻体は多年生で、初年次の葉体は短い茎をもつ単葉（中央葉）であるが、成長するにしたがって、周辺部から広披針形の側葉を伸張させる。2年目になると茎は伸長し、中央葉の基部両縁が伸びだし、茎の先端が二叉した枝のようになる。アラメは、大きな群落（海中林）を形成し、アラメ場と呼ばれ、沿岸生態系の主要な一次生産者のひとつである。さらに、魚介類の産卵場や保育場、また植食性無脊椎動物の餌料として水産上有用であるほか、沿岸域の水質浄化に重要な役割を果たしている（寺脇，1993a；川嶋・松本，2003）。

(2) 分布

アラメの分布域を第1図に示す。アラメは太平洋岸では岩手県以南から静岡県相良付近まで、日本海側では長崎県以北から京都府丹後半島まで分布する（寺脇・新井，2003）。

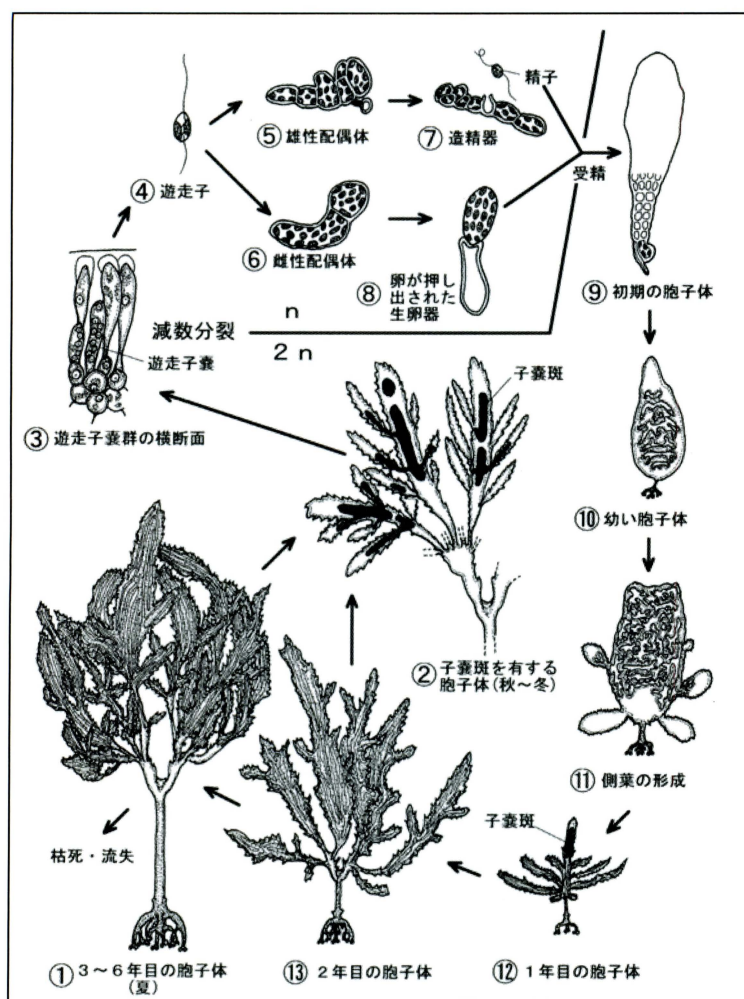


第1図 アラメ（一）の分布範囲（寺脇・新井（2003a）を一部改変）

(3) 生活史

アラメの生活史を第2図に示す（寺脇，1993a）。海中で肉眼視される藻体は、多年生の孢子体で、寿命が4～6年あり、葉長1～2mに達する。側葉は、皺の強さが季節変化し、主に秋から冬にかけて、側葉に子嚢斑が形成される（第2図②）。遊走子嚢に遊走子（第2図④）が形成され、放出されると岩などに付着して発芽し、雄性配偶体（第2図⑤）

または雌性配偶体（第2図⑥）となる。雄性配偶体から放出された精子が雌性配偶体の卵（第2図⑧）に到達し受精する。発芽した胞子体（第2図⑨）がアラメの本体に成長する。胞子体は、初期にはササの葉状で葉面が平滑であるが、次第に皺が見られるようになり（第2図⑩）、側葉を有する形態（第2図⑪）へ発達し、幼体が肉眼視されてから1年程度で、成熟して中央葉に子嚢斑を形成する（第2図⑫）。その後、中央葉が脱落することにより、茎の上部が二叉した枝状となって成体の形態に達する。



第2図 アラメの生活史（寺脇（1993a）を一部改変）

(4) 生息条件

① 着生基質

生活史を通して海底に着生して生活する海藻類にとって、着生基質は生存の可否を決定する条件である。アラメは主に外海に面した波浪にさらされる岩礁域に生育し、群落維持には物理的に安定した基盤を必要とする。房総半島内浦湾において着生基質の違いによる

海藻植生の違いを調査した今野（1985）は基質の石礫を長径によって5段階に区分し、アラメ、カジメ *Ecklonia cava* の相対被度は、基質階級Ⅲ（長径 12.5～25cm）で約5%、基質階級Ⅳ（同 25～50cm）で約20%、基質階級Ⅴ（同 50cm 以上）で約90%と報告した。

② 水温

胞子体：千葉県産のアラメを母藻とする幼胞子体を用いた室内実験では、水温 15～20℃で最も良好な成長を示し、10℃や 25℃では成長が遅くなり、28℃以上では藻体が異常を示したり、枯死したりした（太田，1988）。静岡県下田市沿岸のアラメ幼胞子体の光合成量は、光強度が 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上の条件下では5℃で最も低く、水温の上昇に従って増加したが、水温が 27.5℃以上になると急速に低下した。さらに暗い条件下では、光合成量が低下し始める温度が低くなった（倉島ら，1996）。須藤（1992）によると、アラメ分布海域で観測された水温は、8月の平均水温が 22～27℃であり、2月の平均水温が 7～14℃であるとしている。なお須藤（1992）では、和歌山県や三重県に分布するサガラメもアラメに含めるという前提であり、寺脇・新井（2003）が示した分布とは異なる。そこで、寺脇・新井（2003）のアラメ分布にしたがって、須藤（1992）が整理した8月と2月の平均水温を見直したが、結果は同じであった。

配偶体：太田（1988）によれば、アラメ配偶体の成長に適した水温は 15～25℃で、20℃以上の水温では成熟せずに、栄養的成長を行う配偶体が増加し、24～25℃では成熟する個体数は極端に減少した。谷口・秋山（1982）によれば、配偶体は 8～24℃で成長し、4℃ではほとんど成長せず、28℃では死滅した。また 24℃においては細胞分裂のみを繰り返す、有性生殖器官を形成することはなかった。倉島・前川（2003）によると、アラメ配偶体の成長は 20～25℃で速く、30℃でも配偶体全てが死滅することはないとしている。

③ 水深

アラメの分布水深に関する報告をみると、宮城県松島湾では水深 5m まで分布し（吉田，1970），神奈川県三浦半島では水深 3～4.5m の範囲に多く生育していた（高間，1979）。伊豆半島ではやや深く水深 7～10m に多く生育していた（岩橋ら，1979）。長崎県北部では水深は 2～7m であった（西川ら，1981）。千葉県天津小湊町（現鴨川市）では約 5m まで生育しており、相対被度が高い水深は約 2～4m であった（今野ら，1985）。

④ 透明度

透明度 (TR) と吸光係数 (k) との関係は式 1 で示すことができる（有賀・横浜，1979）。

$$\text{TR} \times k = 1.7 \quad (\text{式 1})$$

また、村瀬（2001）はノコギリモク *Sargassum macrocarpum* を用いて生産力モデルを検討しているが、その中で海域のタイプと吸光係数の関係について言及している。この知見と式1から、海域のタイプと吸光係数、透明度の関係を整理した結果を第1表に示す。アラメは外海に面した比較的澄んだ湾や外海に面した海域に生息することから、透明度については、11m以上であればアラメは十分生息できると仮定した。

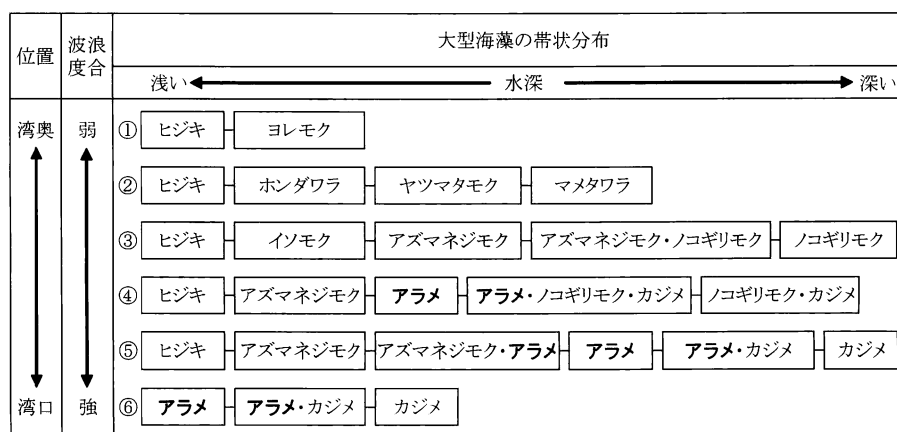
第1表 海域のタイプと吸光係数、透明度

海域のタイプ	吸光係数	透明度 (m)
外海	0.10	17.0
外海に面した比較的澄んだ湾	0.15	11.3
一般的な内湾	0.20	8.5
湾奥・懸濁物が比較的多い湾	0.25	6.8
懸濁物が多い湾	0.30	5.7

村瀬（2001）と式1から作成。

⑤ 波浪

今野ら（1985）は、千葉県天津小湊町（現鴨川市）の小湾において海藻類の植生構造を調査し、波浪の度合が小さい湾奥部から波浪度合が大きい湾口部にかけて、優占種の帯状分布を6型に識別している（第3図）。それによると大型海藻の帯状分布は波浪の影響を顕著に受けるとしており、アラメは湾口部側の最も波浪度合が強い場所に分布していた。



第3図 千葉県天津小湊町（現鴨川市）における大型海藻の分布（今野ら（1985）より作図）

アラメの流速に対する生育反応試験が行われており、20℃前後の生育適温では、低流速（5cm/s）よりも高流速条件（20cm/s）での成長が促進されることが示されている（馬場

ら, 1999)。振動流とアラメ幼胞子体の成長速度の関係を調べた実験では, NO_3^- 濃度が低い場合に, 振動流速の増加に伴い成長速度が有意に増加した(川俣, 2004)が, 振動流速と純同化率の関係については明確な結論が得られていない(川俣, 2006)。

これらのことから, アラメの生育にとっては, 波浪強度が比較的強く, ある程度の流動が必要と考えられる。なお, 神奈川県三浦市においてアラメ藻体が基質に固着する力を調査した結果によると, 固着力は予想される年最大作用流体力よりも大きいことが示されており(菅原ら, 1998, 2000, 2001), 今後, 年最大作用流体力とアラメ分布の有無との関係を明らかにすることが望まれる。

⑥ 塩分

アラメが分布する海域の平均塩分の下限值は, 30.0 (塩素濃度 16.6‰から換算)であった(須藤, 1992)。

⑦ COD

アラメが分布する海域の平均 COD の上限値は, 1.6mg/L であった(須藤, 1992)。

⑧ 漂砂・浮泥の堆積

今野(1985)は, 岩礁域の周辺部や砂質底に接する岩礁斜面の下部などでは, 漂砂による着生基質の摩擦や埋没もしくは露出という環境変化を受けると考え, 漂砂影響域の岩面の高さと海藻類の相対被度との比較によって, 生育している海藻類を次の3群に分けている。

[第1群]漂砂の影響を大きく受ける低位の岩面で相対被度が最大となる種類
オオバモク

[第2群]中位の岩面で相対被度が最大となる種類

アラメ, ヤツマタモク, マメタワラ, ノコギリモク

[第3群]漂砂の影響がほとんど及ばない高位の岩面で相対被度が最大となる種類

カジメ

川崎・山田(1991)は小田和湾のアラメを用いて, 配偶体および幼胞子体の浮泥耐性を室内実験によって調べた。それによるとアラメの海中林造成に適した条件として, 浮泥堆積量を 10 mg/cm^2 以下としている。海域における浮泥の堆積状況は, その海域の海水流動や着生基質の角度等が影響すると考えられるが, これらを検討した知見は得られていない。

⑨ 藻食性動物

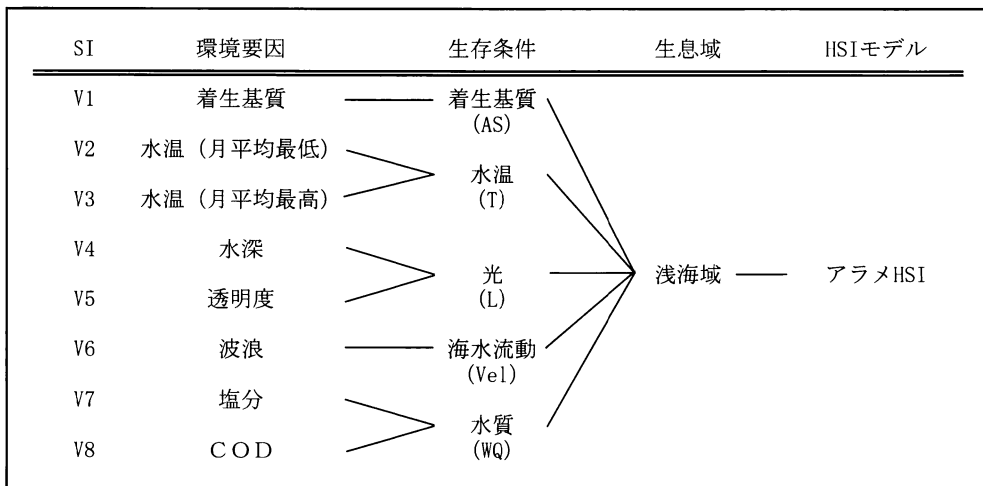
四井・前迫(1993)は, 長崎県沿岸において藻食性動物の駆除によるアラメ藻場回復実

験を実施した結果に基づき、磯焼けが発生している海域での藻食性動物の分布量を巻貝類 200～265g/m²、ウニ類（ムラサキウニ *Anthocidaris crassispina* が主要種）140～240g/m²、全体で 400～440g/m² としている。また、藻食性動物の駆除によって回復した藻場における分布量を巻貝類 22g/m²、ウニ類 26g/m² としている。佐賀県玄海海域におけるアラメを含む藻場と半磯焼け状態の場との比較では、殻径 20mm サイズのアカウニ *Pseudocentrotus depressus* 摂餌量に換算すると 20～30 個体の間に、磯焼け発生の閾値があったと考えられている（金丸，2008）。海藻類を摂餌する動物としては、ブダイ *Calotomus japonicus* やアイゴ *Siganus fuscescens* といった魚類もあり、近年、長崎県沿岸で観察されたアラメ、クロメ *Ecklonia kurome* 等の葉部欠損現象は、これら魚類によると考えられている（桐山ら，1999）。

2) アラメの SI モデル

(1) 概要

第4図に適性指数 (SI: Suitability Index) とアラメの生息に必要な条件 (生存条件)、生息域、生息場適性指数 (HSI: Habitat Suitability Index) の関係について示す。



第4図 アラメの適性指数 (SI)，環境要因，生存条件，生息域，HSI モデルの関係

文献整理の結果，得られた知見のほとんどが孢子体に関するものであり，他の生活史段階に関する知見が少なかった。そのため，生息場適性指数 (HSI) を生活史段階毎に算出することは困難と判断し，アラメの生存条件を着生基質 (AS: attachment substrate)，水温 (T: temperature)，光 (L: light)，海水流動 (Vel: velocity)，水質 (WQ: water quality)

に区分し、通年の HSI モデルとした。

着生基質 (AS) : アラメには着生基質が必要であり、知見もあることから、着生基質に関する SI モデルを作成した。

水温 (T) : アラメの生育には水温が影響すると考えられ、生育海域の水温や成長と水温の関係等が明らかにされている。ここでは生残や生育を制限すると考えられる高水温と低水温に着目し、水温 (月平均最低と月平均最高) について SI モデルを作成した。

光 (L) : アラメは植物であり、光合成によって成長する。光合成には光と二酸化炭素が必要であるが、海中において二酸化炭素が不足する状況は想定しにくいいため SI モデルは作成しなかった。一方、光については水深や濁りにより影響を受け、アラメの生育にとって重要な要因であるため、モデルを作成することとした。ただし、本モデルでは、既存の資料から透明度を算出して SI モデルを作成した。水深については既存資料から SI モデルを作成した。

海水流動 (Vel) : アラメの物質交換、藻体や基質に付着した浮泥の除去、藻食性動物による摂餌圧の低減等、アラメ群落の形成・維持に影響を及ぼすと考えられることから、海水流動の指標として波浪に関する SI モデルを作成した。しかし波浪とアラメの生育について定量的に評価した知見は不足しているため、波浪の強さを定性的に捉えたモデルとした。

水質 (WQ) : 水質はアラメの生育には重要な要因と考えられる。塩分および COD についてアラメ分布海域での限界値が示されていたため、これらを環境要因として SI モデルを作成した。

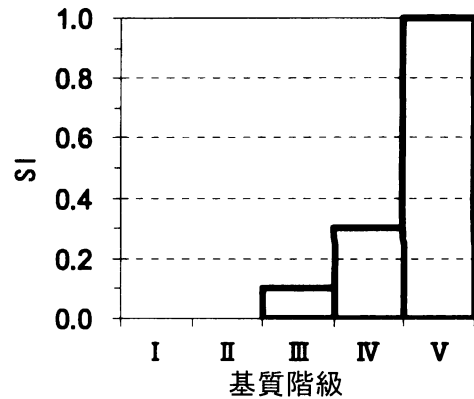
漂砂・浮泥の堆積、藻食性動物については、アラメを含む藻場の形成・維持に影響を及ぼす要因と考えられるが、現状ではモデルを作成するために十分な定量的な知見が得られておらず、SI モデルは作成できなかった。

(2) SI モデル

① 着生基質 (V1)

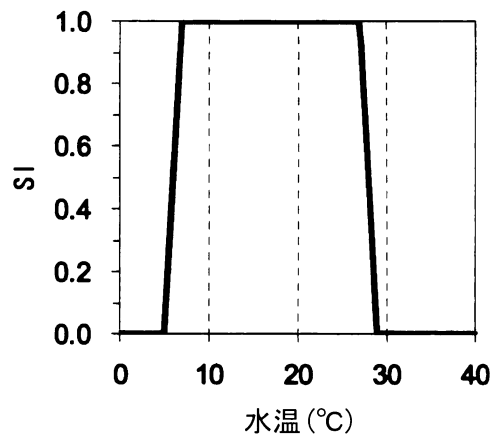
アラメの生育には安定した着生基質が必要である。着生基質については基質階級（石礫の長径）とSIを次のように定めた。

- I : 1～5cm SI=0
- II : 5～12.5cm . . . SI=0
- III : 12.5～25cm . . . SI=0.1
- IV : 25～50cm SI=0.3
- V : 50cm～ SI=1



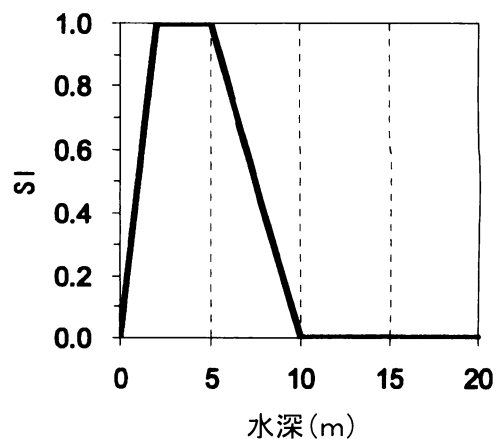
② 水温（月平均最低 (V2), 月平均最高 (V3)）

7～27℃の範囲においてアラメは生育可能であると考えられるため、7～27℃をSI=1とし、5℃以下、29℃以上ではアラメは生育できないと判断して、SI=0とした。



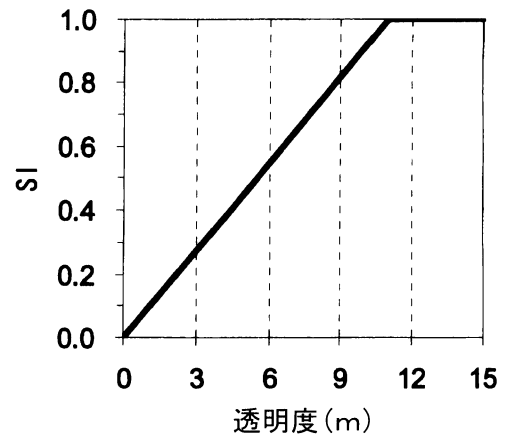
③ 水深 (V4)

日本各地のデータから、水深約2～5mでアラメの分布密度は高く、水深10mまでは分布可能と仮定し、水深2～5mでSI=1、10m以深ではSI=0とした。また水深0m以浅ではSI=0とした。



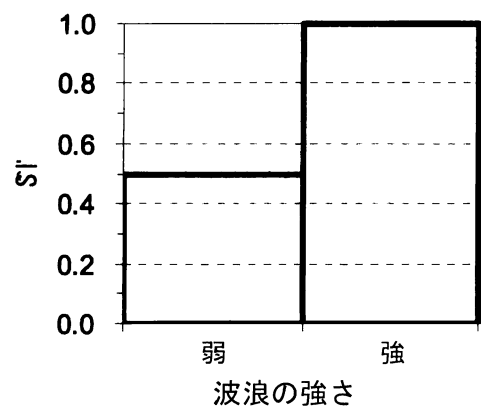
④ 透明度 (V5)

透明度が11m以上であればアラメは十分生息できると仮定した。一方、透明度が0mでは生育できないと仮定して、透明度11m以上ではSI=1、透明度0mではSI=0とした。



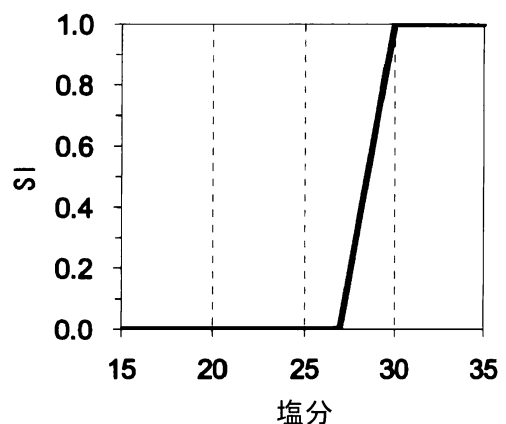
⑤ 波浪 (V6)

波浪の強さが弱よりも強の方がアラメの生育には適すると仮定し、定性的にモデルを設定した（波浪強ではSI=1、弱ではSI=0.5）が、実際にこのモデルを使用する場合には、対象海域の波高分布等とアラメの分布との関係等からSIモデルを修正する必要がある。



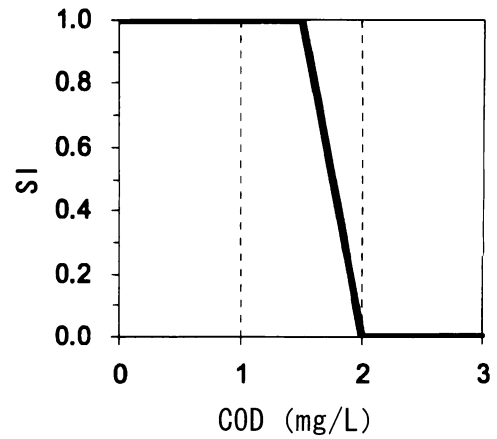
⑥ 塩分 (V7)

塩分30以上でSI=1とした。SI=0については、このモデルでは塩分27としたが、これについては、アラメの分布や生育と塩分との関係についてさらに情報を収集する必要がある。



⑦ COD (V8)

このモデルではCODについては1.6mg/L以下であればSI=1とし、2.0mg/L以上であれば0としたが、アラメの分布や生育とCODとの関係については、さらに情報を収集する必要がある。



3) アラメ HSI の算出方法

アラメの HSI を算出する方法を以下に示した。ここでは、どの変数が0となってもアラメの生息は不可能と判断して算出法を作成した。

$$\text{アラメ HSI} = (\text{AS} \times \text{T} \times \text{L} \times \text{Vel} \times \text{WQ})^{1/5}$$

ここで、AS, T, L, Vel, WQ のそれぞれについては、次のとおり。

$$\text{着生基質 (AS)} = \text{V1}$$

$$\text{水温 (T)} = (\text{V2} \times \text{V3})^{1/2}$$

$$\text{光 (L)} = (\text{V4} \times \text{V5})^{1/2}$$

$$\text{海水流動 (Vel)} = \text{V6}$$

$$\text{水質 (WQ)} = (\text{V7} \times \text{V8})^{1/2}$$

2. アカモク生息場適性指数（HSI）モデル

目 次

1) アカモクに関する知見	16
(1) 概要	16
(2) 分布	16
(3) 生活史	16
(4) 生息条件	17
2) アカモクのSIモデル	21
(1) 概要	21
(2) SIモデル	22
3) アカモクHSIの算出方法	25

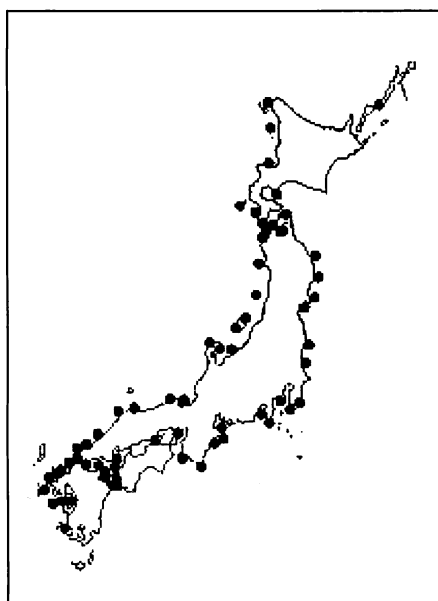
1) アカモクに関する知見

(1) 概要

アカモク *Sargassum horneri* はヒバマタ目，ホンダワラ科，ホンダワラ属に分類され，ガラモ場を構成する代表種のひとつである。本種は付着器から1本の茎を生じ，藻体長は数mになる。本種は食用ともなる（寺脇，1993b）。

(2) 分布

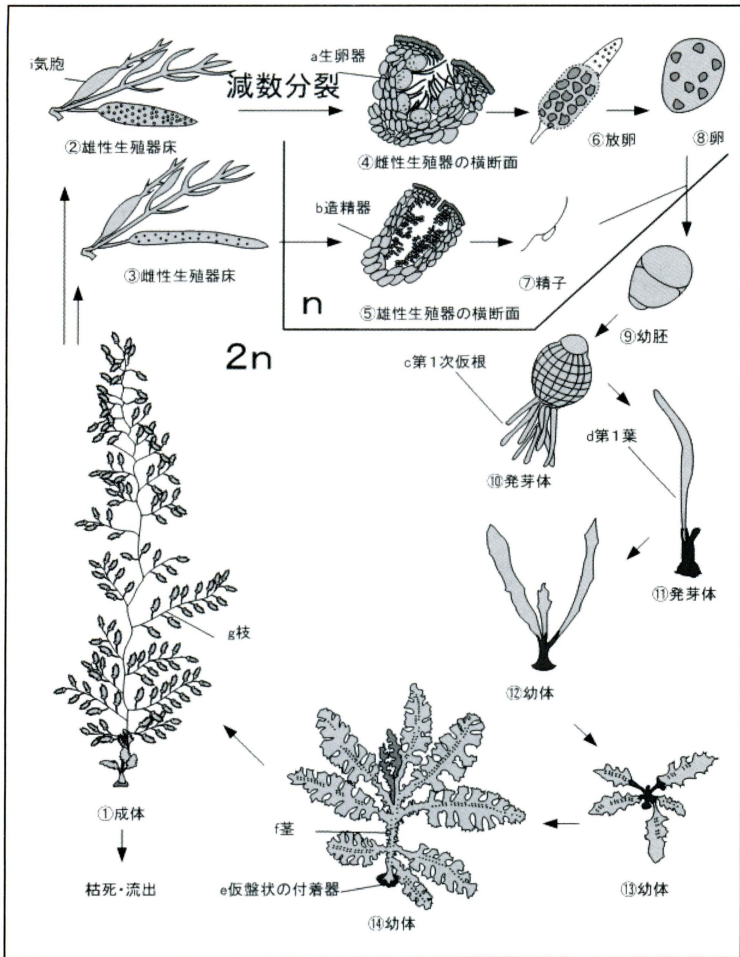
第5図にアカモクの分布を示す。日本では北海道（東部を除く），本州，四国，九州に広く分布している（寺脇，1993b）。



第5図 アカモク（●）の分布（寺脇(1993b)より）

(3) 生活史

第6図にアカモク的生活史を示す。海中で肉眼視される藻体は核相が複相の孢子体で，核相が単相の時期は卵（第6図⑧）および精子（第6図⑦）だけである。有性生殖は雄性生殖器床（第6図②）から精子（第6図⑦）が放出され，雌性生殖器床の表面に付着したままの卵（第6図⑧）と受精することにより行われる。受精卵が発生を始めた幼胚（第6図⑨）は発生後1～2日で海底に沈む。この幼胚が発芽体となり，仮根（第6図c）を発達させて岩などに付着する。その後，葉や気胞などを形成しつつ，茎（第6図f）が伸長する（寺脇，1993b）。



第6図 アカモク的生活史(寺脇(1993b)を元にして一部改変)

(4) 生息条件

① 着生基質

西川ら（1981）の長崎県沿岸での調査によると、アカモクは岩礁、大礫、巨礫、転石やこれらと砂の混在する海域に生育しており、特に巨礫、大礫、転石の部分に密生していた。

今野 (1985) は千葉県内浦湾において、着生基質を長径によって 5 階級に区分し、各階級における各種海藻類の相対被度を測定した。アカモクは階級Ⅱ (長径 5~12.5cm)、階級Ⅲ (同 12.5~25cm) で相対被度が高くなっており、階級Ⅳ (同 25~50cm) で僅かに認められている。階級Ⅴ (同 50cm 以上) では、オオバモク *Sargassum ringgoldianum*, アカモク、カジメ *Ecklonia cava* の相対被度が高くなっておりアカモクはみられなかった。

今野（1985）は千葉県内浦湾の海中にコンクリートブロックを設置し、経年的な着生海藻組成の遷移を追跡した。それによるとアカモクは設置1年目に優占種となったが、2年目以降は出現しなくなり、ヨレモク *Sargassum siliquastrum*, マメタワラ *S. piluliferum*

等が優占種となった。

これらの事例から、アカモクは攪乱を受けて他の海藻類が剥離し、着生基質が露出した場所に入り込む種類であり、着生基質がやや不安定な場所において群落を形成すると考えられる。また、安定性が高い基質では、攪乱により一時的にアカモクが生育しても、多年生の海藻類に遷移すると考えられる。

② 水温

実験によるアカモクの成長について、小河（1985）によると宮城県女川湾産アカモク幼胚では、15℃で最も成長量が大きく、次いで8，25℃の順であった。一方、吉田ら（1995）によると伊予灘産アカモク幼体では20，25℃の条件下では全葉長の増加や葉の形成枚数に差がみられなかったものの、15℃では遅れ気味であった。また、松井・大貝（1981）によると、アカモクの成長適温は幼胚で18～27℃、幼葉（1～3 cmの幼体）で18～27℃、成葉（藻体の先端30 cm）では15～21℃であった。なお、成葉では25℃で成長が低下し、30℃では成長しなかった。馬場（2007）は新潟県柏崎産のアカモクから得た発芽体を、水温10～34℃、光量10～180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件で培養し、成長に好適な水温は25℃、生育上限温度は32℃と報告した。原口ら（2005）は山口県田布施町産のアカモクから成長点を含む茎の先端約2 cmを切り出し、光量100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、水温10～35℃で培養した結果、生育適温は15，20℃、生育上限温度は27℃と報告した。

実海域における調査によると、アカモク成長期とその水温は、北海道忍路湾では5，6月で10～15℃（丸伊ら，1981），神奈川県の小田和湾では11～12月で14～18℃（寺脇，1986）であった。梅崎（1985）によると、福井県若狭湾ではアカモク群落の成長は表層水温が17℃から8℃へ下降する11～1月と、10℃から13.5℃へ上昇する3，4月の2期の急伸長期がみられた。

須藤（1992）は国内でアカモクが分布している海域で観測された水温を集計している。この結果、アカモクが分布する海域では、8月の平均水温が20～28℃、2月の平均水温が4～19℃としている。なおGao（1990）によれば、アカモクは水温39℃において呼吸量が光合成量を上回り、純生産量がマイナスとなった。

③ 水深

長崎県北部におけるアカモクの生育最大水深は10 mであり、潮間帯下部～5 m程度の水深に密生もしくは粗生した群落を形成していた。水深6 m以上では、個体が点在する程度であった（西川ら，1981）。若狭湾における調査では、アカモクの生育水深について、太

田・二宮（1990）は10m以浅としており、梅崎（1985）は潮間帯以深1～数mとした。寺脇（1986）によると、小田和湾では低潮線付近から水深4～5mにかけてアカモクが優占していた。谷口・山田（1988）によると、松島湾では水深約1～5mの範囲にアカモクの優占群落形成されていた。

④ 透明度

透明度(TR)と吸光係数(k)との関係は式1で示すことができる（有賀・横浜, 1979）。

$$TR \times k = 1.7 \quad (\text{式1})$$

また、村瀬（2001）はノコギリモクの生産力モデルを検討しているが、その中で海域のタイプと吸光係数の関係について言及している。この知見と式1から、海域のタイプと吸光係数、透明度の関係を整理して、第2表に示した。アカモクは一般的な内湾から外洋に面した海域に生育しており、第2表から、8.5m以上であれば生育が可能と仮定した。

第2表 海域のタイプと吸光係数、透明度

海域のタイプ	吸光係数	透明度 (m)
外海	0.10	17.0
外海に面した比較的澄んだ湾	0.15	11.3
一般的な内湾	0.20	8.5
湾奥・懸濁物が比較的多い湾	0.25	6.8
懸濁物が多い湾	0.30	5.7

村瀬（2001）と式1から作成。

⑤ 波浪

松島湾においては、外海側にアラメ *Eisenia bicyclis* が優占群落を形成していたが、湾口部から内湾にかけてアカモクが優占群落を形成していた（谷口・山田, 1988）。梅崎（1985）は若狭湾の内湾と外洋に面した磯に生育するアカモク主枝の伸長を比較し、主枝の日成長は内湾に生育するアカモクの方が速いことを報告している。さらに若狭湾における観察では、アカモクは波浪の影響を受ける場所ほど、深い場所にまで垂直分布の範囲を広げる傾向がみられた（太田・二宮, 1990）。

⑥ 塩分

小河（1985）は宮城県女川産アカモク幼胚を用いて、水温と塩分が成長に及ぼす影響を実験的に調べた。その結果、塩分32.0で最も高い成長を示し、次いで40.4, 24.4の順であったが、塩分16.3では成長が停滞した。またアカモク受精卵を水温4段階（10～25℃）、

塩分 11 段階（12.9～51.8）の条件で培養し、仮根の発芽率、最大仮根長、仮根数を観察したところ、いずれの水温であっても塩分 16.3 以下と 48.6 以上では仮根の発芽が認められないか、発芽率が著しく低下した。また、藻体の着生に重要な二次仮根の形成に適した塩分は、水温 10～20℃では 22.7～42.1, 水温 25℃では 22.7～38.9 であった（小河, 1986）。

須藤（1992）によれば、アカモクが分布する海域の平均的な塩分は、26.6（塩素量 14.7‰から換算）以上であった。

⑦ COD

アカモクが分布する海域における平均的な COD の上限値は、2.2 mg/L であった（須藤, 1992）。

⑧ 漂砂・浮泥の堆積

今野（1985）は、岩礁域の周辺部や砂質底に接する岩礁斜面の下部などでは、漂砂による着生基質の摩擦や埋没もしくは露出という環境変化を受けると考え、漂砂影響域の岩面の高さと海藻類の相対被度との比較によって、生育している海藻を次の3群に分けている。この分類では、アカモクは第2群に分類されているが、漂砂あるいは浮泥の影響度合いに関する定量的な知見は得られていない。

[第1群] 漂砂の影響を大きく受ける低位の岩面で相対被度が最大となる種類
オオバモク

[第2群] 中位の岩面で相対被度が最大となる種類
アラメ、ヤツマタモク、マメタワラ、ノコギリモク

[第3群] 漂砂の影響がほとんど及ばない高位の岩面で相対被度が最大となる種類
カジメ

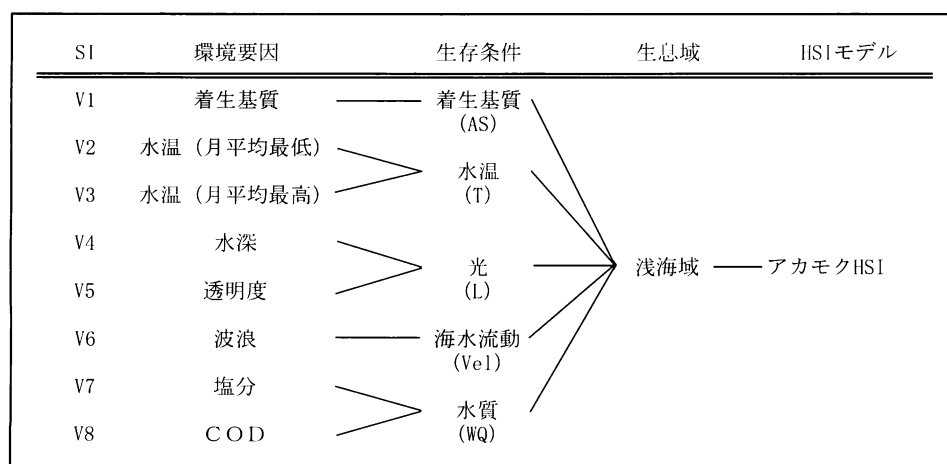
⑨ 藻食性動物

長崎県下における大型褐藻類の葉部欠損現象の原因は、主に魚類による食害によるものと推定されている。葉部欠損現象は、アラメ、クロメ *Ecklonia kurome*、カジメなどで観察され、同じ海域に分布しているアカモクを含むホンダワラ類には観察されなかった（桐山ら, 1999）。しかし、山口県蓋井島における植食性魚類アイゴの春季食性調査では、アイゴ *Siganus fuscescens* 成魚の消化管内にアカモクの生殖器床が高い比率で観察され、気包や冠葉もみられた。また消化管内容物に占めるアカモクの重量百分率組成も比較的高く、27%であった（野田ら, 2002）。

2) アカモクの SI モデル

(1) 概要

第7図に適性指数(SI:Suitability Index)とアカモクの生息に必要な条件(生存条件)、生息域、生息場適性指数(HSI:Habitat Suitability Index)の関係について示す。文献整理の結果、得られた知見のほとんどが孢子体に関するものであり、他の生活史段階に関する知見が少なかった。そのため、生息場適性指数(HSI)を生活史段階毎に算出することは困難と判断し、アカモクの生存条件を着生基質(AS: Attachment Substrate)、水温(T: temperature)、光(LI: light)、海水流動(Vel: velocity)、水質(WQ: water quality)に区分し、通年の HSI モデルとした。



第7図 アカモクの適性指数 (SI)、環境要因、生存条件、生息域、HSI モデルの関係

着生基質 (AS)：アカモクのような一年生の植物は、転石や礫など、やや不安定な着生基質に群落を形成する傾向があり、着生基質によって本種の分布が影響を受けることから、基質に関する SI モデルを作成した。

水温 (T)：培養実験や実海域において成長等と水温の関係が示されている。低水温や高水温はアカモクの成長や光合成に影響することから、水温 (月平均最低と月平均最高) について SI モデルを作成した。

光量 (L)：アカモクは植物であり、光合成によって成長する。光合成には光と二酸化炭素が必要であるが、海中において二酸化炭素が不足する状況は想定しにくいので SI モデルは作成しなかった。一方、光については水深や濁りにより影響を受け、アカモクの生育にとって重要な要因であるため、モデルを作成することとした。ただし、本モデルでは、

既存の資料から透明度を算出して SI モデルを作成した。水深については既存資料から SI モデルを作成した。

海水流動 (Vel) : アカモクの波浪に対する適応範囲は広く、内湾から外洋の影響を受ける範囲に分布しているが、アラメなどと比較すると静穏な海域に適応した海藻であり、波浪の強さを環境要因として SI モデルを作成した。ただし、波浪がアカモクに及ぼす影響を定量的に扱った事例がなかったため、定性的に取り扱うこととした。

水質 (WQ) : 水質はアカモクの生育に影響すると考えられる。塩分および COD について分布海域での限界値が示されていたため、これらを環境要因として SI モデルを作成した。

漂砂・浮泥の堆積については、十分な知見が得られておらず、SI モデルは作成しなかった。また藻食性動物の影響については、アラメやクロメなどと比較するとホンダワラ類への摂餌圧は小さいこと、摂餌圧を定量的に扱うためのデータが不足していることから、SI モデルは作成しなかった。

(2) SI モデル

① 着生基質 (V1)

アカモクは、主に不安定な着生基質で群落を形成する。安定した着生基質であっても一時的な群落を形成する。着生基質については基質階級(石礫の長径)と SI を次のように定めたが、このモデルを予測に使用する場合は、海藻類の遷移も考慮する必要がある。

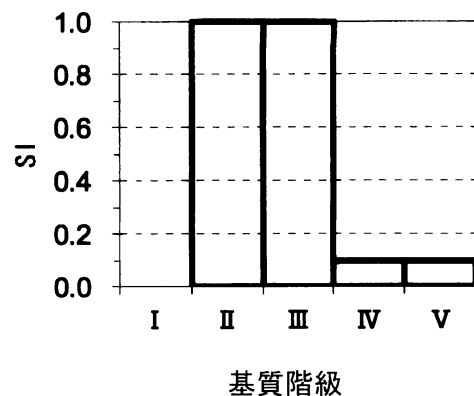
I : 1~5cm SI=0

II : 5~12.5cm SI=1

III : 12.5~25cm . . . SI=1

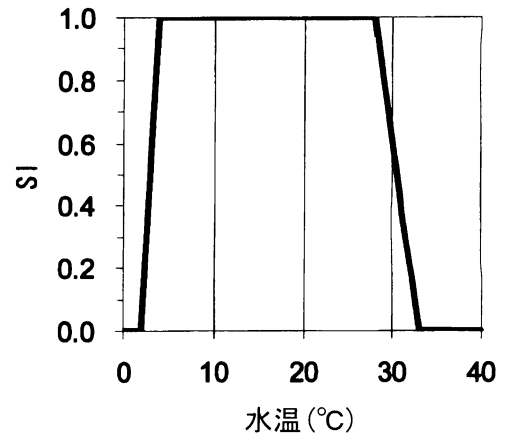
IV : 25~50cm SI=0.1

V : 50cm~ SI=0.1



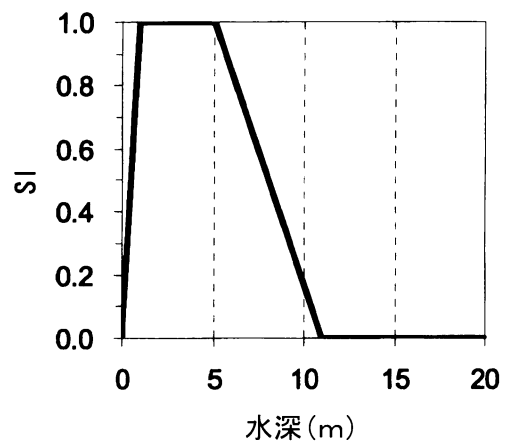
② 水温（月平均最低（V2）；月平均最高（V3））

分布域の水温から 28℃以下、4℃以上の範囲においてアカモクは生育可能であると考えられるため、この範囲で SI=1 とした。2℃以下、33℃以上では生息は不可能と判断し、SI=0 とした。



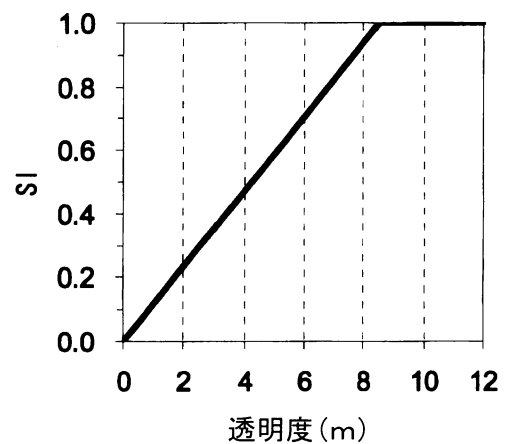
③ 水深（V4）

日本各地のアカモクの分布調査結果から、水深 1～5m までを SI=1 とし、水深 10m までは生育することから、水深 11m で SI=0 とした。また水深 0m 以浅では SI=0 とした。



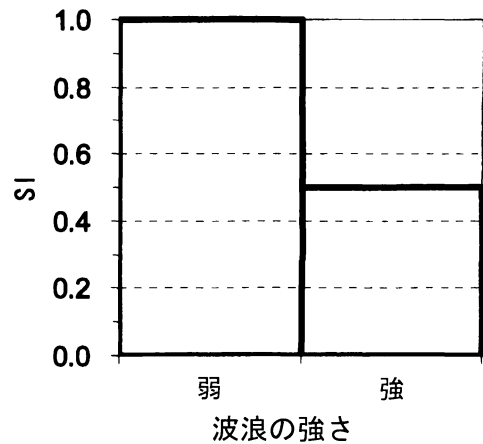
④ 透明度（V5）

透明度が 8.5m 以上であればアカモクは十分生息できると考えられる。一方、透明度が 0m では生育できないと仮定して、透明度 8.5m 以上では SI=1，透明度 0m では SI=0 とした。



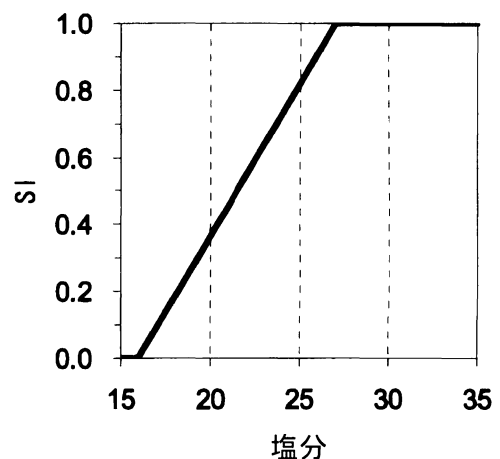
⑤ 波浪 (V7)

アカモクは波浪の影響を強く受ける場所から内湾まで広く分布しているが、波浪の強い影響を受ける海域では、分布水深が深くなることを考慮して、波浪の強さが弱で $SI=1$ 、強で $SI=0.5$ とした。これはアカモクの生育にとって波浪の強さが、強よりも弱の方が適切であろうという仮定に基づいて傾向的に示したモデルである。このモデルを実用に供する場合は、波高等の分布とアカモクの分布からモデルを修正する必要がある。



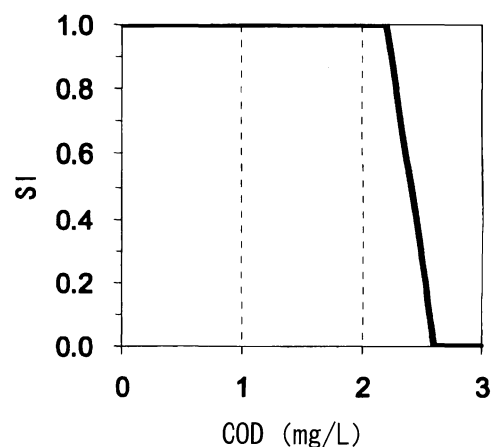
⑥ 塩分 (V8)

アカモクの分布する海域における平均的な塩分は、26.6 以上であることから、塩分 27 以上で $SI=1$ とした。また培養実験結果から塩分 16 以下で $SI=0$ とした。



⑦ COD (V9)

アカモクの分布する海域における平均的な COD の上限値が、2.2mg/L であることから、COD について 2.2mg/L 以下で $SI=1$ とした。SI=0 については、このモデルでは 2.6mg/L 以上としたが、これについてはアカモクの分布や生育と COD の関係についてさらに情報を収集する必要がある。



3) アカモク HSI の算出方法

アカモクの HSI を算出する方法を以下に示した。ここでは、どの変数が 0 となってもアカモクの生息は不可能と判断して算出法を作成した。

$$\text{アカモク HSI} = (\text{AS} \times \text{T} \times \text{L} \times \text{Vel} \times \text{WQ})^{1/5}$$

ここで、AS, T, L, Vel, WQ のそれぞれについては、次のとおり。

$$\text{着生基質 (AS)} = \text{V1}$$

$$\text{水温 (T)} = (\text{V2} \times \text{V3})^{1/2}$$

$$\text{光 (L)} = (\text{V4} \times \text{V5})^{1/2}$$

$$\text{海水流動 (Vel)} = \text{V6}$$

$$\text{水質 (WQ)} = (\text{V7} \times \text{V8})^{1/2}$$

3. ノコギリモク生息場適性指数（HSI）モデル

目 次

1) ノコギリモクに関する情報	27
(1) 概要	27
(2) 分布	27
(3) 生活史	27
(4) 生息条件	28
2) ノコギリモクのSIモデル	32
(1) 概要	32
(2) SIモデル	33
3) ノコギリモクHSIの算出方法	36

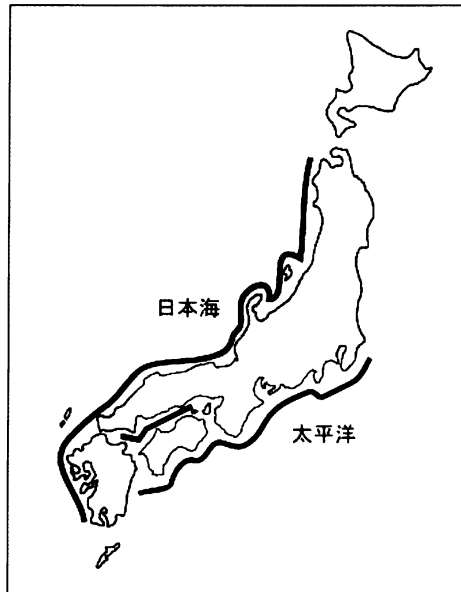
1) ノコギリモクに関する知見

(1) 概要

ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* はヒバマタ目，ホンダワラ科，ホンダワラ属に分類され，ガラモ場を構成する代表種のひとつである。本種は高さ数 m になる大形の種であり，基部は多年生で，毎年数本の主枝が茎の頂部にらせん配列に生ずる。（吉田，1998）。

(2) 分布

第8図にノコギリモクの分布を示す。ノコギリモクは太平洋沿岸の関東地方から九州まで，日本海沿岸の青森県から九州西岸を経て鹿児島県まで，および瀬戸内海に至るまでの広い範囲で分布している（村瀬，2001）。

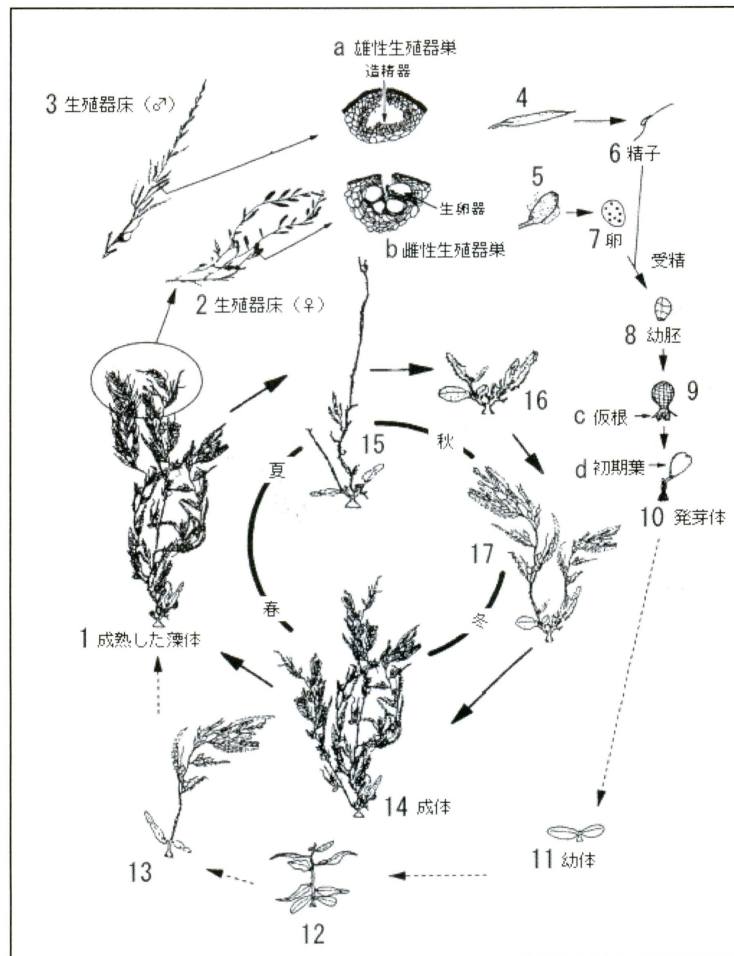


第8図 ノコギリモクの分布（村瀬(2001)を基に作図）

(3) 生活史

ノコギリモクの生活史を第9図に示す。ノコギリモクは多年生であり，付着器に形成される生長輪の数から，寿命は長い個体で9年以上と推定されている（村瀬，2001）。海中で肉眼視できる藻体は核相が複相で，卵および精子が単相である。ノコギリモクの生殖は有性生殖による。雌雄異株で，それぞれの形態の異なる生殖器床が形成される（第9図4，5）。春から夏にかけて雌株では生殖器床内で卵（第9図7）が形成され，放出されて生殖器床の表面に付着する（第9図5）。雄株では生殖器床内の造精器（第9図a）から精

子（第9図6）が放出され、それが卵と受精することにより生殖が行われる。受精卵が発生を始めた幼胚（第9図8）は仮根細胞を形成する。仮根を発達させた幼胚は海底に沈み、岩などに付着すると初期葉（第9図d）を形成し、肉眼視できる発芽体（第9図10）へと成長する。その後、幼体（第9図11～13）を経て成熟可能な藻体（第9図14）へと成長する。



第9図 ノコギリモクの生活史（村瀬(2003)を一部改変）

(4) 生息条件

① 着生基質

長崎県沿岸では、ノコギリモクは底質が岩礁、大礫、岩礁や大礫の混在する砂質・転石の海域に生育しており、特に岩礁、巨礫、大礫の上に密生していた（西川ら，1981）。京都府宮津沿岸では岩盤、転石に出現した（八谷，2005）。

今野（1985）は千葉県内浦湾において、着生基質を礫の長径によって5階級に区分し、各階級における各種藻類の藻体被度を測定した。それによるとノコギリモクは、階級Ⅱ（長径5～12.5cm）～階級Ⅴ（同50cm以上）で観察された。

今野（1985）は千葉県内浦湾の海中にコンクリートブロックを設置し、経年的な着生海藻組成の遷移を追跡した。この結果によると、コンクリートブロック設置後1年目に優占種となるのはアカモク *Sargassum horneri* であったが、2年目以降はアカモクに代わってホンダワラ *S. fulvellum*, ヨレモク *S. siliquastrum*, マメタワラ *S. piluliferum*, オオバモク *S. ringgoldianum*, ノコギリモク, アラメ *Eisenia bicyclis*, カジメ *Ecklonia cava* などの海藻が優占種となった。

② 水温

村瀬（2001）は山口県日置町においてノコギリモクの成長を調査し、1993～1999年に計測した6年間の平均底層水温について、8月が最高で25.7℃、2月が最低で13.0℃と報告した。八谷（2005）は京都府宮津においてノコギリモクの生産量を調査し、2002～2004年に月1回、水深2mの水温を計測した結果、期間中の水温は10.1～26.3℃と報告した。

原口ら（2005）は山口県下関市産のノコギリモクから成長点を含む主枝の先端約2cmを切り出し、光量 $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、水温10～35℃で培養した結果、生育適温は25℃、生育上限温度は31℃と報告した。

吉田ら（1997）は広島湾産ノコギリモクの幼胚を用いて、水温5～30℃、光量2段階（25, $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ）で培養試験を実施した。それによると、葉状部の成長に好適な水温は、光量25, $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件でそれぞれ15～30℃、25～30℃であった。付着器の成長に好適な水温は、光量25, $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件でそれぞれ15～20℃、15～25℃であった。光量の低い $25 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ において、好適水温が低下することが示された。また幼胚の成長は5, 10℃の低温側において顕著に低下した。山口県日置町のノコギリモクの幼胚を用いた実験でも、吉田ら（1997）とほぼ同様の結果が得られており、幼胚の好適水温は15～25℃であり、光量0～ $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の範囲では光量が大きいくほどよく伸長した（村瀬, 2001）。

須藤（1992）は国内でノコギリモクが分布している海域で観測された水温を集計した。その結果、ノコギリモクが分布する海域では、8月の平均水温が24～28℃、2月の平均水温が6～19℃としている。

③ 水深

吉田（1998）によれば、ノコギリモクの生育水深は、低潮線付近から水深20mであり、深所に大きな群落を形成するとされている。長崎県沿岸におけるノコギリモクの分布水深は0～14mの範囲にあった（西川ら, 1981）。山口県日置町においては、水深5～10mで

はノコギリモクで構成されるガラモ場が形成されていた（村瀬，2001）。瀬戸内海においてノコギリモクが密生する水深は，広島湾湾奥部の広島県大野町にある石積みマウンド上で，0～2m（寺脇ら，1998），広島湾湾央部では1～3m，湾口部では0～6mであった（寺脇ら，2001）。日本海側においては，福井県若狭湾では水深4～10mに密生し（太田・二宮，1990），京都府宮津沿岸では水深2.5～5.0mに優占した（八谷，2005）。石川県能登半島では4～12mにノコギリモクやヤツマタモク *Sargassum patens* がモザイク状に優占した（谷口・山田，1978）。新潟県能生町では水深5～7mにノコギリモクの純群落がみられた（寺脇・新井，2000）。

④ 透明度

透明度(TR)と吸光係数(k)との関係は式1で示すことができる（有賀・横浜，1979）。

$$TR \times k = 1.7 \quad (\text{式1})$$

また，村瀬（2001）はノコギリモクの生産力モデルを検討しているが，その中で海域のタイプと吸光係数の関係について言及している。この知見と式1から，海域のタイプと吸光係数，透明度の関係を整理した結果を第3表に示す。

第3表 海域のタイプと吸光係数，透明度

海域のタイプ	吸光係数	透明度 (m)
外海	0.10	17.0
外海に面した比較的澄んだ湾	0.15	11.3
一般的な内湾	0.20	8.5
湾奥・懸濁物が比較的多い湾	0.25	6.8
懸濁物が多い湾	0.30	5.7

村瀬（2001）と式1から作成。

村瀬（2001）が群落の生産量を推定した山口県日置町における吸光係数は，0.12～0.20の範囲で変動しており，年間平均値は0.15であった。吸光係数0.15の海域の透明度は，数式1によって換算すると約11mとなった（第3表）。

⑤ 波浪

太田・二宮（1990）は石膏球の減少から波浪による海水流動を評価し，併せて海藻類の鉛直分布を調査した。それによると水深10m以浅においては，ノコギリモクは流動の小さい深所で優占して群落を形成し，波浪による流動が小さければ浅所にまで分布域を広げる傾向を示した。またノコギリモクは多年生であり，一年目には茎がほとんど伸長しない（谷

口・山田, 1978) ことを考慮すると, 長期間に亘り, 波浪による流動が小さい場所が適していると考えられる。

⑥ 塩分

ノコギリモクが分布する海域の平均塩分の下限値は, 30.9 (塩素量 17.1‰から換算) であった (須藤, 1992)。

⑦ COD

ノコギリモクが分布する海域の平均 COD の上限値は, 1.4 mg/L であった (須藤, 1992)。

⑧ 漂砂・浮泥の堆積

今野 (1985) は, 岩礁域の周辺部や砂質底に接する岩礁斜面の下部などでは, 漂砂による着生基質の摩擦や埋没もしくは露出という環境変化を受けると考え, 漂砂影響域の岩面の高さ海藻類の相対被度との比較によって, 生育している海藻を3群に分けている。

[第1群] 漂砂の影響を大きく受ける低位の岩面で相対被度が最大となる種類

オオバモク

[第2群] 中位の岩面で相対被度が最大となる種類

アラメ, ヤツマタモク, マメタワラ, ノコギリモク

[第3群] 漂砂の影響がほとんど及ばない高位の岩面で相対被度が最大となる種類

カジメ

寺脇ら (1996) は広島湾大野瀬戸において, 海底からの高さ (比高) とホンダワラ類の鉛直分布の関連性を調査し, ノコギリモクは水深6mの比高0.2m以上の基面にみられることを示した。この海域においては水深4~5mの砂底では比高0.3~0.5mの間で, 物理的な環境の攪乱が質, 量ともに急激に変化する可能性が示唆されており, ノコギリモクは漂砂による物理的な攪乱が比較的発生しにくい環境に群落を形成すると考えられる。

⑨ 藻食性動物

長崎県下における大型褐藻類の葉部欠損現象の原因は, 主にブダイなどの魚類による食害によるものと推定されている。葉部欠損現象は, アラメ, クロメ *Ecklonia kurome*, カジメなどで観察され, 同じ海域に分布しているツルアラメ *Ecklonia stolonifera* やノコギリモクを含むホンダワラ類には観察されなかったことから, ホンダワラ類は食害を受けにくいと考えられている (桐山ら, 1999)。

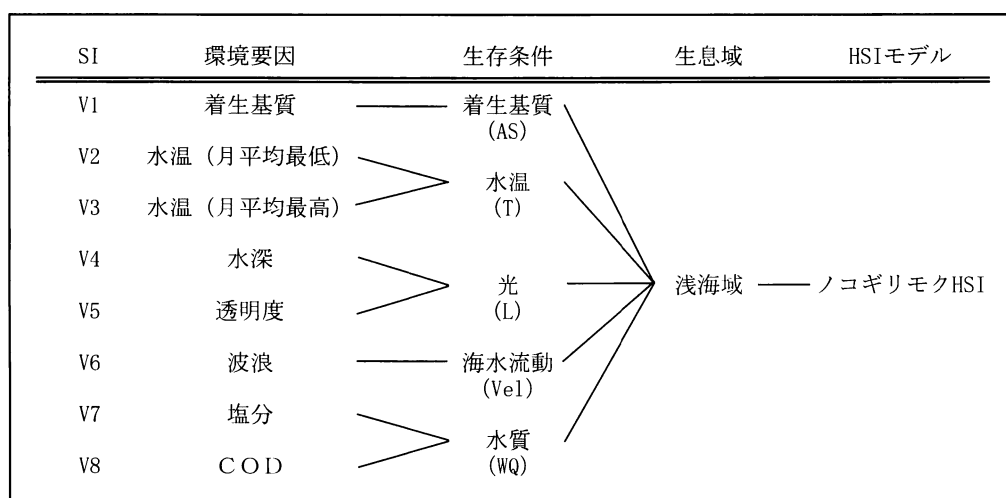
村瀬 (2001) は, ノコギリモク群落の生産量を推定する際に, 藻食性動物による摂餌量を考慮していないが, その理由として, 調査海域に分布するアワビ, ウニ, サザエなどの藻食性動物が少ないことや, 同じ海域に分布するアラメやクロメが摂餌圧を吸収し, ノコ

ギリモクの被食量は少ないことと、海藻群落における藻食性動物の摂餌量を正確に推定する方法が確立していないことを挙げている。

2) ノコギリモクの SI モデル

(1) 概要

第 10 図にノコギリモクの適性指数 (SI : Suitability Index) , 環境要因, 生存条件, 生息域および生息場適性指数 (HSI : Habitat Suitability Index) の関係について示す。本モデルでは, ノコギリモクの生存条件を着生基質 (AS : attachment substrate) , 水温 (T : temperature) , 光 (L : light) , 海水流動 (Vel : velocity) , 水質 (WQ : water quality) に区分し, 通年の HSI モデルとした。



第 10 図 ノコギリモクの適性指数 (SI) , 環境要因, 生存条件, 生息域, HSI モデルの関係

着生基質 (AS) : ノコギリモクは多年生であり, 群落を形成・維持するためには安定した着生基質を必要とすることから基質に関する SI モデルを作成した。

水温 (T) : ノコギリモクの生育には水温が影響すると考えられ, 生育海域の水温や成長と水温の関係等が明らかにされている。ここではノコギリモクの生残や生育を制限すると考えられる低水温と高水温に着目し, 水温 (月平均最低と月平均最高) について SI モデルを作成した。

光 (L) : ノコギリモクの生育と生長は光合成によって維持されている。光合成には光と二酸化炭素が必要であるが, 海中において二酸化炭素が不足する状況は想定できないことから二酸化炭素に関する SI モデルは作成しなかった。一方, 光は水深や海水中の懸濁

物量により変化し、ノコギリモクの生育に影響を与えるため、モデルを作成することとした。ただし、本モデルでは、既存の資料から透明度を算出して SI モデルを作成した。水深については既存資料から SI モデルを作成した。

海水流動 (Vel)：ノコギリモクは、内湾から外洋の影響を受ける海域にまで広い範囲で分布するが、安定した着生基質を必要とすることから、波浪の影響を受けにくい静穏な場所や深所に大きな群落を形成する。静穏な海域では浅い場所に分布範囲を拡大するなど、波浪に伴う海水流動の強さによる生育水深の変化が認められることから、SI モデルを作成したが、波浪による海水流動がノコギリモクに及ぼす影響を定量的に扱った事例がなかったため、定性的なモデルとした。

水質 (WQ)：水質はノコギリモクの生育には重要な要因と考えられる。ノコギリモクの分布範囲で観測される平均的な塩分と COD がまとめられていることから、これらを環境要因として SI モデルを作成した。

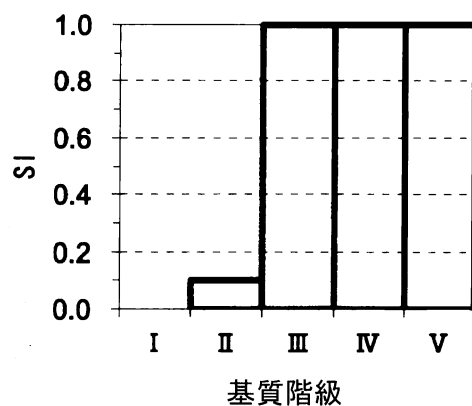
漂砂・浮泥の堆積については、十分な知見が得られておらず、SI モデルは作成しなかった。藻食性動物については、アラメやクロメなどと比較するとホンダワラ類への摂餌圧は小さいこと、摂餌圧を定量的に扱うためのデータが不足していることから、SI モデルは作成しなかった。

(2) SI モデル

① 着生基質 (V1)

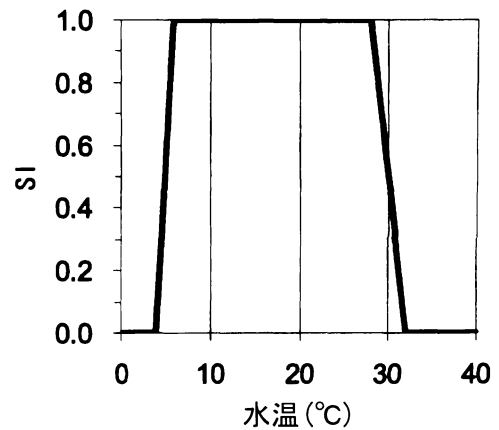
ノコギリモク群落の形成・維持には、安定した着生基質が必要と考えられる。着生基質については基質階級（石礫の長径）と SI を次のように定めた。

- I : 1~5cm SI=0
- II : 5~12.5cm SI=0.1
- III : 12.5~25cm SI=1
- IV : 25~50cm SI=1
- V : 50cm~ SI=1



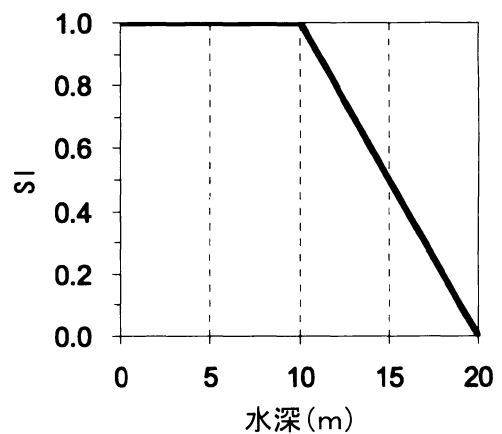
② 水温（月平均最低（V2）；月平均最高（V3））

分布域の水温から6℃以上、28℃以下の範囲においてノコギリモクは生育可能であると考えられるため、この範囲でSI=1とした。4℃以下、32℃以上では生育できないと判断し、SI=0とした。



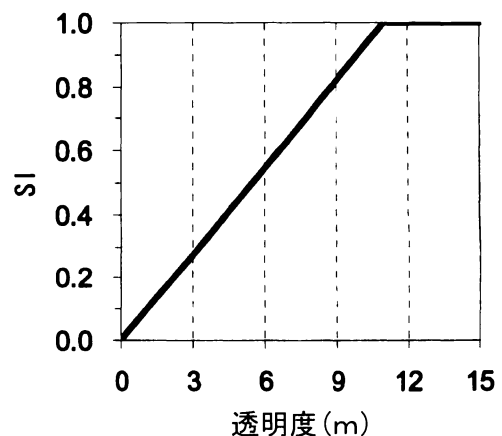
③ 水深（V4）

各地のノコギリモクの鉛直分布から水深10mまではSI=1と仮定した。水深20mまで分布するという知見から水深20mでSI=0とした。水深については海域による相違が大きいことから、このモデルを使用する場合には、対象海域の現地調査の結果を用いてSIモデルを修正する必要がある。



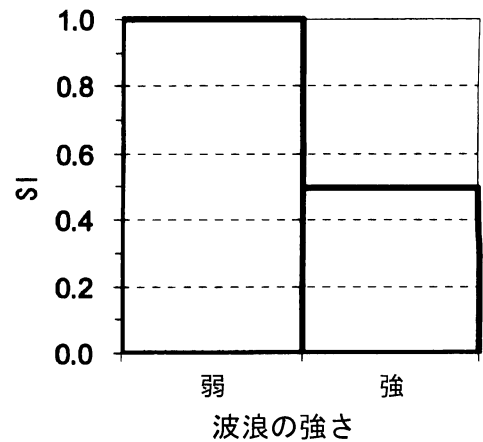
④ 透明度（V5）

ノコギリモクは、内湾から外洋の影響を受ける海域に分布する。外洋の影響を受ける海域の平均的な透明度（11m）以上であれば、ノコギリモクは十分生息できると考えられる。一方、透明度が0mでは生育できないと仮定して、透明度11m以上ではSI=1、透明度0mではSI=0とした。



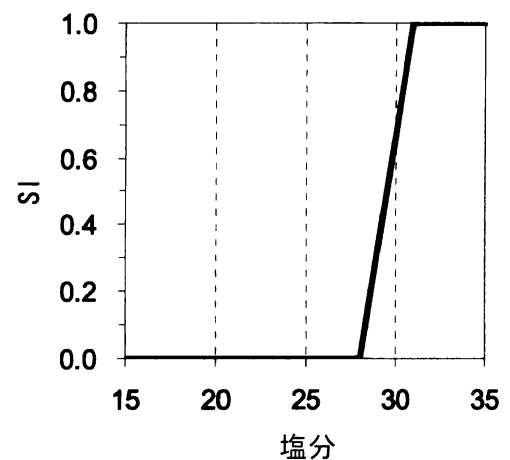
⑤ 波浪 (V6)

ノコギリモクは波浪の影響を強く受ける場所から内湾まで広く分布しているが、静穏な海域ほど分布水深が浅所にまで拡大することから、波浪の強さについては、弱の方が強よりも生育に適すると仮定し、弱で $SI=1$ 、強で $SI=0.5$ とした。



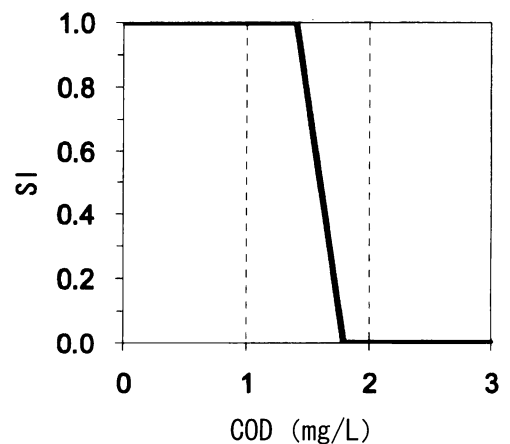
⑥ 塩分 (V7)

ノコギリモクの分布する海域における平均的な塩分は、30.9 以上であることから、塩分 31 以上で $SI=1$ とした。また、28 未満で $SI=0$ としたが、これについては、ノコギリモクの分布や生育と塩分との関係について、さらに情報を収集する必要がある。



⑦ COD (V8)

ノコギリモクの分布する海域における平均的な COD の上限値は、1.4mg/L であることから、COD については、1.4mg/L 以下で $SI=1$ 、1.8mg/L 以上で $SI=0$ としたが、これについては、ノコギリモクの分布や生育と COD の関係についてさらに情報を収集する必要がある。



3) ノコギリモク HSI の算出方法

ノコギリモクの HSI を算出する方法を以下に示した。ここでは、どの変数が 0 となってもノコギリモクの生息は不可能と判断して算出法を作成した。

$$\text{ノコギリモク HSI} = (\text{AS} \times \text{T} \times \text{L} \times \text{Ve1} \times \text{WQ})^{1/5}$$

ここで、AS, T, L, Ve1, WQ のそれぞれについては次のとおり。

$$\text{着生基質 (AS)} = \text{V1}$$

$$\text{水温 (T)} = (\text{V2} \times \text{V3})^{1/2}$$

$$\text{光 (L)} = (\text{V4} \times \text{V5})^{1/2}$$

$$\text{海水流動 (Ve1)} = \text{V6}$$

$$\text{水質 (WQ)} = (\text{V7} \times \text{V8})^{1/2}$$

4. ヤツマタモク生息場適性指数（HSI）モデル

目 次

1) ヤツマタモクに関する知見	38
(1) 概要	38
(2) 分布	38
(3) 生活史	38
(4) 生息条件	39
2) ヤツマタモクのSIモデル	43
(1) 概要	43
(2) SIモデル	45
3) ヤツマタモクHSIの算出方法	47

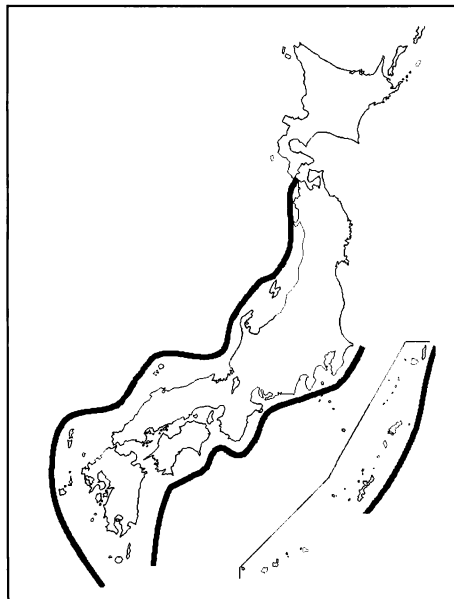
1) ヤツマタモクに関する知見

(1) 概要

ヤツマタモク *Sargassum patens* はヒバマタ目，ホンダワラ科，ホンダワラ属に分類され，ガラモ場を構成する代表的な種のひとつである。日本海沿岸では，初夏に見られる流れ藻の主要な構成種でもある。雌雄異株で主枝は成熟後脱落するが，基部は多年生である（吉田，2004）。水産上重要種であるモズクの着生基質ともなる。

(2) 分布

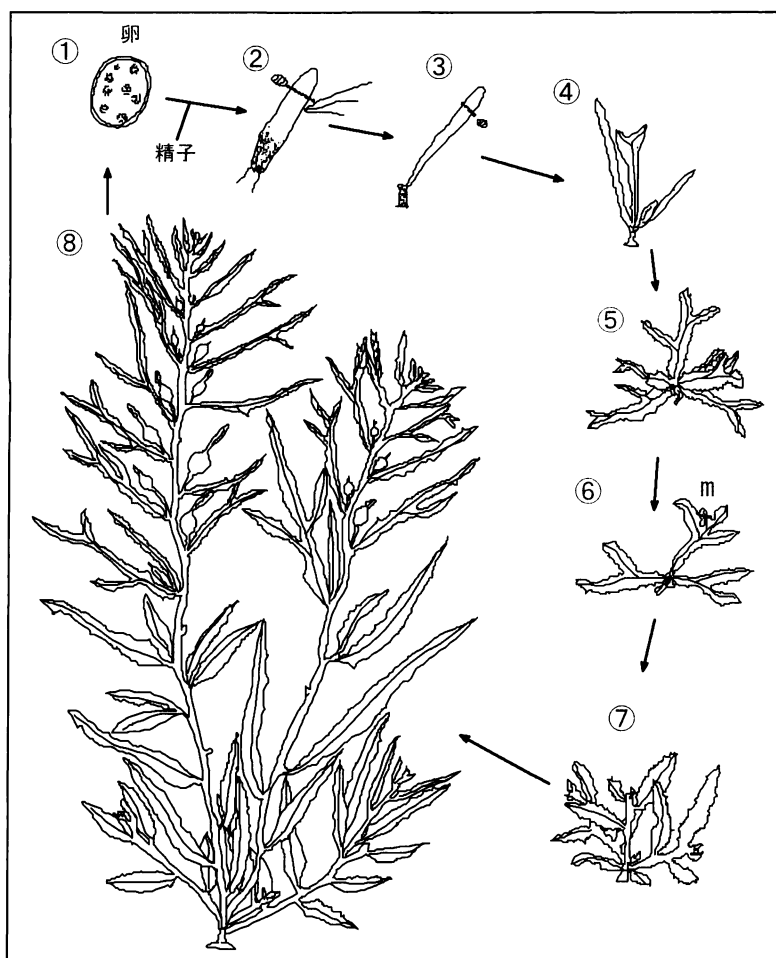
ヤツマタモクの分布図を第 11 図に示す。本種は本州・四国・九州の太平洋側，日本海側両方の沿岸に広く分布する（吉田，2004）。



第 11 図 ヤツマタモクの分布（独立行政法人水産総合研究センター(2007)を参考に作図）

(3) 生活史

第 12 図にヤツマタモク的生活史を示す。海域で目にする藻体は複相世代で，雌雄異株である。成熟すると生殖器床を形成し，雌雄それぞれの生殖器床の中に単相の卵と精子が形成される。受精した卵は発芽，成長して複相の新しい藻体となる（小河，1985）。第 1 初期葉は扁平した円柱状（第 12 図②）で，次第に葉幅が広く，分裂し，縁辺が波状ないし歯状を呈する初期葉を形成するようになる（第 12 図④，⑤）。さらに成長すると茎の先端に初期葉に代わって主枝が形成される（第 12 図 m）。その後，側枝や気胞が形成され，付着器も表面が平滑な盤状となり，成体となる（第 12 図⑧）（寺脇，1983c）。



第12図 ヤツマタモクの生活史（寺脇（1983c）を一部改変）

(4) 生息条件

① 着生基質

今野（1985）は、千葉県内浦湾において、着生基質を礫の長径によって5階級に区分し、各階級における各種藻類の被度を測定した。ヤツマタモクは階級Ⅱ（長径5～12.5cm）～階級Ⅴ（同50cm以上）で認められ、階級Ⅳ（同25～50cm）での相対被度が最も高くなった。

京都府若狭湾における観察では、直径50cm以上の転石域と岩盤域でホンダワラ藻場の密度を比較したところ、ヤツマタモク、エンドウモク *Sargassum yendoi*、ノコギリモク *S. macrocarpum* 等のホンダワラ類は岩盤域で密度が高かった（道家ら，2000）。京都府宮津沿岸では、ヤツマタモクは岩盤，転石に出現した（八谷，2005）。

長崎県沿岸の海藻植生調査の結果（西川ら，1981）をみると、ヤツマタモクは岩礁，転石，巨礫，大礫の場所や，砂・小礫と，巨礫・大礫が混在した場所にみられた。

② 水温

谷口・山田（1978）が能登半島飯田湾で調査した結果によると、ヤツマタモク主枝の伸長期は8～1月であり、水温のグラフから読み取ると、この期間水温は28℃から9℃に低下した。同様に、成長の停滞期は2，3月で水温は9℃，肥大型は4，5月で水温は10～15℃であった。また、成熟期である6，7月の水温は20～25℃であった。八谷（2005）は京都府宮津においてヤツマタモクの生産量を調査し、2002～2004年に月1回、水深2mの水温を計測した結果、期間中の水温は10.1～26.3℃と報告した。

馬場（2007）は新潟県柏崎産のヤツマタモクから得た発芽体を、水温10～34℃，光量10～180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ の条件で培養し、成長に好適な水温は25℃，生育上限温度は34℃と報告した。松井・大貝（1981）はヤツマタモクの幼胚，幼葉（長さ1～3cm），成葉（藻体の先端部30cm）を用いて、15～35℃の範囲で培養実験を実施した。それによると、ヤツマタモクの成長適温は幼胚では24～29℃，幼葉では20～29.5℃，生葉では18～30℃であった。ヤツマタモクの幼胚の成長比は27～28℃を1.0とすると15℃で0.1，21℃で0.4，30℃で0.6であった。幼葉の成長比は21～28℃を1.0とすると15℃で0.6，18℃で0.7，30℃で0.8，33℃で0.2であった。成葉の成長比は21～30℃を1.0とすると15℃で0.6，34℃で0.1であった。

月舘（1984）は、ヤツマタモクの幼体（0.5～1cm）を10～25℃の範囲で培養した結果、幼体の成長適水温を20℃とした。

須藤（1992）は、国内でヤツマタモクが分布している海域で観測された水温を集計し、ヤツマタモクが分布する海域では、8月の平均水温が24～28℃，2月の平均水温が6～20℃であった。

③ 水深

西川ら（1981）による長崎県北部における海藻類の観察では、ヤツマタモクの生育水深は0～11mであった。同文献に示された鉛直分布図では生育密度が濃生，密生，疎生，点生の4段階に分類されており，ヤツマタモクについては，濃生は水深約2m以浅に，密生は水深約4m以浅に，疎生は水深約6m以浅に，点生は水深約11m以浅に，それぞれみられた。

京都府の宮津湾では，ヤツマタモクが湾口部から湾の中央部にかけて分布しており，湾口部では水深1～5mに分布し，現存量が多い水深は3～5mであった。湾中央部では1～2mに生育し，現存量も比較的多かった（道家ら，1995）。八谷（2005）も宮津湾のホン

ダワラ藻場では、ヤツマタモクは水深 1.5～5.0m に出現し、2.5～5.0m に優占したと報告している。宮津市島陰地先では、ヤツマタモクは水深 1～7m に生育し、特に水深 3m において現存量が最も多かった（道家ら，1997）。京都府与謝郡では水深 20m までみられた（道家ら，2000）。この他、千葉県小湊町では水深 1～2m（今野，1985）に、福岡県筑前海域では水深 15m まで（大隈ら，1980），それぞれヤツマタモクの分布がみられた。

④ 透明度

透明度(TR)と吸光係数(k)との関係は式 1 で示すことができる（有賀・横浜，1979）。

$$TR \times k = 1.7 \quad (\text{式 1})$$

また、村瀬（2001）はノコギリモクを用いて生産力モデルを検討しているが、その中で海域のタイプと吸光係数の関係について言及している。この知見と式 1 から、海域のタイプと吸光係数、透明度の関係を整理した結果を第 4 表に示す。ヤツマタモクは一般的な内湾にも生育する。一般的な内湾の平均的な吸光係数は 0.2 であり、吸光係数 0.2 の海域の透明度は数式 1 によって換算すると約 8.5m となる。

第 4 表 海域のタイプと吸光係数，透明度

海域のタイプ	吸光係数	透明度 (m)
外海	0.10	17.0
外海に面した比較的澄んだ湾	0.15	11.3
一般的な内湾	0.20	8.5
湾奥・懸濁物が比較的多い湾	0.25	6.8
懸濁物が多い湾	0.30	5.7

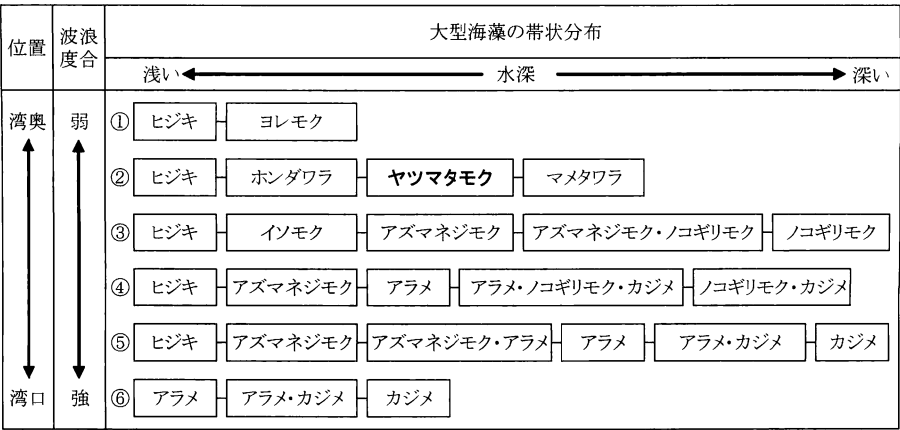
村瀬（2001）と式 1 から作成。

⑤ 波浪

太田・二宮（1990）は、福井県若狭湾において、ホンダワラ属海藻の分布と波浪による海水流動の関係を調査した。それによると、波浪の影響が弱いといえる測線においてはヤツマタモクが浅所に限定されることが示された。これは流動の度合いが小さいためにノコギリモクが浅所まで優占し、相対的にヤツマタモクがより浅所に限定される結果となったものと考えられている。

今野ら（1985）は、千葉県天津小湊町（現鴨川市）の小湾において海藻類の植生構造を調査し、波浪の度合いが小さい湾奥部から波浪度合いが大きい湾口部にかけて、優占種の帯状分布を 6 型に識別している（第 13 図）。それによると大型海藻の帯状分布は波浪の影響

を顕著に受けるとしており、ヤツマタモクは第2型に分類されている。



第 13 図 千葉県天津小湊町（現鴨川市）における大型海藻の分布（今野ら（1985）より作図）

⑥ 塩分

ヤツマタモクが分布する海域の平均塩分の下限值は、29.8（塩素濃度 16.5‰から換算）であった（須藤，1992）。培養実験による幼体の塩分適応範囲は 24.6～33（塩素濃度 13.64～18.27‰から換算）であった（月舘，1984）。

⑦ COD

ヤツマタモクが分布する海域の平均 COD の上限値は、1.3 mg/L であった（須藤，1992）。

⑧ 漂砂・浮泥の堆積

今野（1985）は、岩礁域の周辺部や砂質底に接する岩礁斜面の下部などでは、漂砂による着生基質の摩擦や埋没もしくは露出という環境変化を受けると考え、漂砂影響域の岩面の高さと海藻類の相対被度との比較によって、生育している海藻を次の3群に分けている。

- [第1群] 漂砂の影響を大きく受ける低位の岩面で相対被度が最大となる種類
オオバモク
- [第2群] 中位の岩面で相対被度が最大となる種類
アラメ，ヤツマタモク，マメタワラ，ノコギリモク
- [第3群] 漂砂の影響がほとんど及ばない高位の岩面で相対被度が最大となる種類
カジメ

道家ら（2000）は、京都府沿岸のホンダワラ群落における観察に基づき、ホンダワラ類各種について出現頻度が高くなる比高を調べたところ、イソモク *Sargassum hemiphyllum*,

ホンダワラ *S. fulvellum* は比高 30～70cm, ヨレモク *S. siliquastrum*, フシスジモク *S. confusum* は比高 50～90cm であり, ヤツマタモクは比高 90～130cm であった。

⑨ 藻食性動物

道家ら (2004) は京都府沿岸域において, 植食動物の摂食によるホンダワラ科海藻の消長を調査した。ウニ類の摂食による減耗はホンダワラ科の幼体やアカモク *S. horneri*, ヤナギモク *S. ringgoldianum* subsp. *coreanum*, ヤツマタモクの成体で大きく, ノコギリモク, ヨレモク, フシスジモクの成体で小さかった。鹿児島県南部の笠沙町沿岸で実施された藻場造成では, 投入した藻礁にウニ類や巻き貝が侵入しなければ, マメタワラ *S. piluliferum* やヤツマタモクが生育することが示された (佐々木ら, 1999)。長崎県沿岸では, アラメ *Eisenia bicyclis*, クロメ *Ecklonia kurome* など大型褐藻類の葉部欠損減少が発生し, 主にブダイ *Calotomus japonicus* など魚類の食害によるものと推定されている。葉部欠損現象によって被害を受ける海藻類はアラメ, クロメ, カジメ *Ecklonia cava* などで観察され, ヤツマタモクを含むホンダワラ類にはみられないことから, ホンダワラ類はアラメ類に比較して食害を受けにくいと考えられている (桐山ら, 1999)。

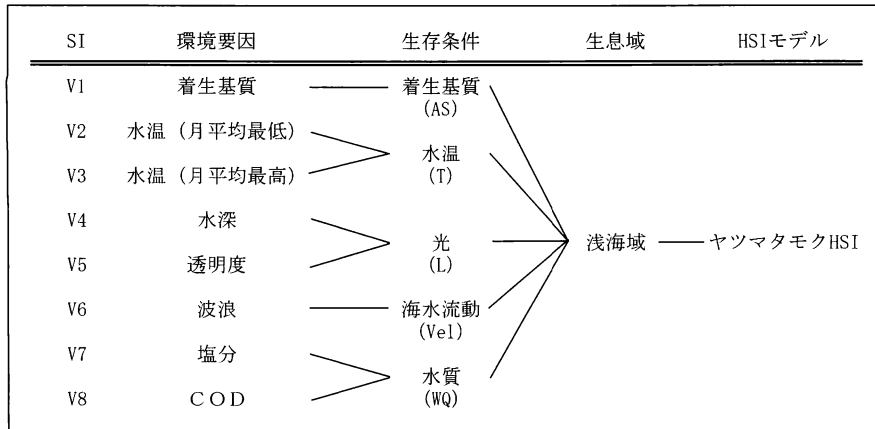
2) ヤツマタモクの SI モデル

(1) 概要

第 14 図に適性指数 (SI : Suitability Index) とヤツマタモクの生息に必要な条件 (生存条件), 生息域, 生息場適性指数 (HSI : Habitat Suitability Index) の関係について示した。本モデルではヤツマタモクの生存条件を着生基質 (AS : Attachment Substrate), 水温 (T : temperature), 光 (L : light), 海水流動 (Vel : velocity), 水質 (WQ : water quality) に区分し, 通年の HSI モデルとした。

着生基質 (AS) : 海底にはシルト状の砂泥から岩盤状の海底まであり, 基質の安定性は大きく異なる。ヤツマタモクは多年生であり, 群落を形成・維持するためには安定した着生基質を必要とすることから基質の SI モデルを作成した。

水温 (T) : 現地調査や培養実験によってヤツマタモク生育に適した水温範囲が示されている。ヤツマタモクの生残や成長は, 低水温や高水温に影響されることから, 水温 (月平均最低と月平均最高) について SI モデルを作成した。



第 14 図 ヤツマタモクの適性指数 (SI) , 環境要因, 生存条件, 生息域, HSI モデルの関係

光 (L) : ヤツマタモクの生育は光合成によって維持されている。光合成には光と二酸化炭素が必要であるが、海中において二酸化炭素が不足する状況は想定できないことから二酸化炭素に関する SI モデルは作成しなかった。一方、光は水深や海水中の懸濁物量により変化し、ノコギリモクの生育に影響を与えるため、モデルを作成することとした。ただし、本モデルでは、既存の資料から透明度を算出して SI モデルを作成した。水深については既存資料から SI モデルを作成した。

海水流動 (Vel) : ヤツマタモクは、内湾から外洋の影響を受ける海域にまで広い範囲に分布する。海水流動は他種藻類との競合の点で、ヤツマタモク群落の形成・維持に影響を及ぼすと考えられることから SI モデルを作成した。ただし、ヤツマタモクに及ぼす波浪・海水流動による影響を定量的に扱った事例がみられなかったため、波浪の強さを定性的に取り扱うこととした。

水質 (WQ) : 水質はヤツマタモクの生育に影響すると考えられる。ヤツマタモクの分布範囲で観測される平均的な塩分と COD がまとめられていることから、これらを環境要因として SI モデルを作成した。

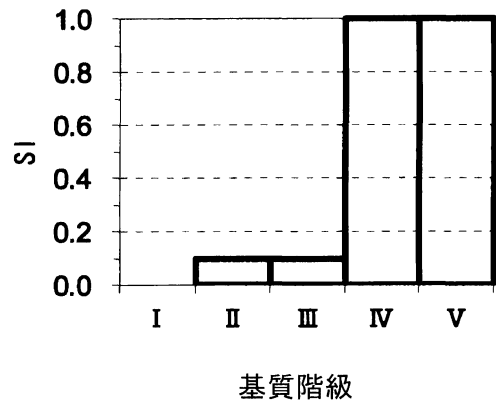
漂砂・浮泥の堆積については、十分な知見が得られておらず、SI モデルは作成しなかった。植食性動物による摂餌圧は、ヤツマタモクを含む藻場の形成・維持に大きな影響を及ぼす要因と考えられる。ヤツマタモクの幼体や成体はノコギリモク、ヨレモクに比較すると摂餌されやすいと考えられるが、アラメやクロメなどと比較すると摂餌されにくい。植食動物の摂餌圧を定量的に示したデータが不足していることから、ここでは SI モデルを作成しなかった。

(2) SI モデル

① 着生基質 (V1)

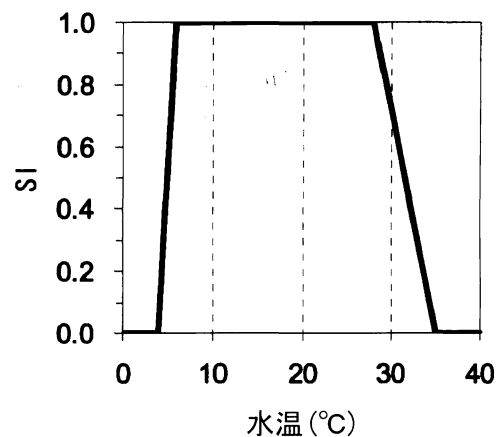
ヤツマタモクの生育には安定した付着基盤の存在が必要と考え、着生基質については基質階級（石礫の長径）とSIを次のように定めた。

- I : 1～5cm SI=0
- II : 5～12.5cm . . . SI=0.1
- III : 12.5～25cm . . . SI=0.1
- IV : 25～50cm SI=1
- V : 50cm～ SI=1



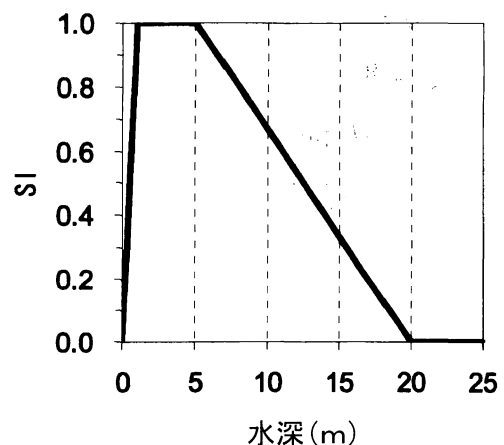
② 水温（月平均最低 (V2) ; 月平均最高 (V3)）

ヤツマタモクの分布から 6℃以上、28℃以下の範囲において SI=1 とした。また 35℃以上及び 4℃以下で SI=0 としたが、低温側については検討を要する。



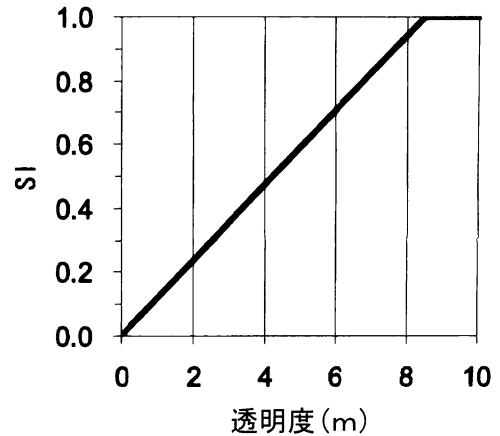
③ 水深 (V4)

各地のヤツマタモクの生育状況から、水深 1～5m で繁茂し、水深 20m まで分布すると判断した。そこで、水深 1～5m を SI=1 とし、水深 20m で SI=0 とした。また水深 0m 以浅では SI=0 とした。



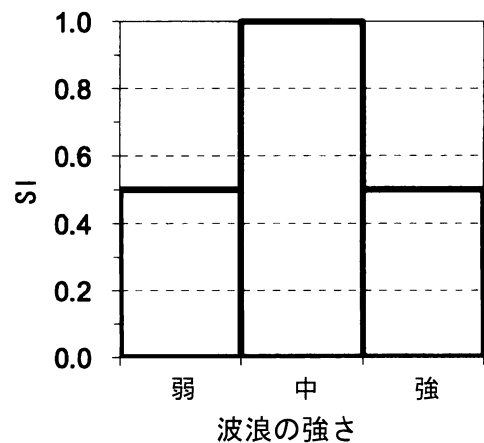
④ 透明度 (V5)

ヤツマタモクは、一般的な内湾から外洋の影響を受ける海域に分布する。一般的な内湾の平均的な透明度 8.5m 以上で $SI=1$ とし、透明度 0 m で $SI=0$ とした。



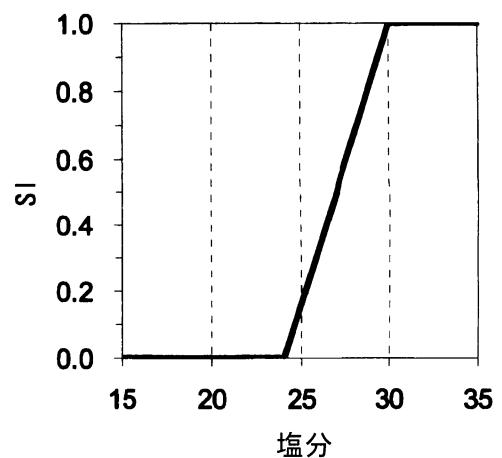
⑤ 波浪 (V6)

ヤツマタモクは波浪の影響を強く受ける場所から内湾まで広く分布しており、波浪の変化に対して広く適応した海藻と判断した。ただし、静穏な場所や流動大となる場所では、他種海藻との競合により生育水深が制限されるため、波浪の強さが中で $SI=1$ 、弱と強で $SI=0.5$ とした。



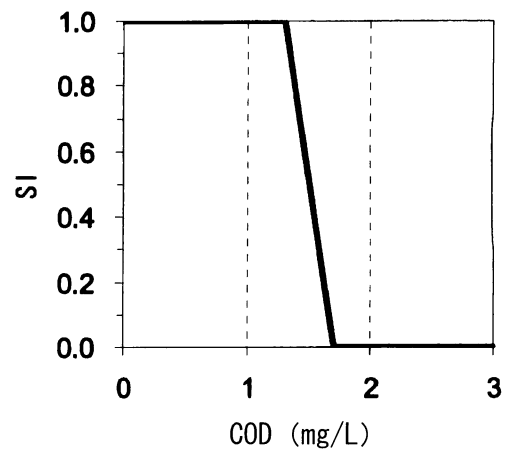
⑥ 塩分 (V7)

ヤツマタモクが分布する海域の平均塩分の下限值は 29.8 であるので、塩分 30 以上で $SI=1$ とした。また幼体の塩分適応範囲は 24.6 以上であるため、塩分 24 以下で $SI=0$ とした。



⑦ COD (V8)

ヤツマタモクの分布する海域における平均的なCODの上限値は、1.3mg/Lであることから、CODについて、1.3mg/L以下でSI=1とした。また、1.7mg/L以上でSI=0と仮定したが、これについてはヤツマタモクの分布や生育とCODとの関係についてさらに情報を収集する必要がある。



3) ヤツマタモク HSI の算出方法

ヤツマタモクの HSI を算出する方法を以下に示した。ここでは、どの変数が 0 となっても本種の生息は不可能と判断して算出法を作成した。

$$\text{ヤツマタモク HSI} = (\text{AS} \times \text{T} \times \text{L} \times \text{Vel} \times \text{WQ})^{1/5}$$

ここで、AS, T, L, Vel, WQ のそれぞれについては、次のとおり。

$$\text{着生基質 (AS)} = \text{V1}$$

$$\text{水温 (T)} = (\text{V2} \times \text{V3})^{1/2}$$

$$\text{光 (L)} = (\text{V4} \times \text{V5})^{1/2}$$

$$\text{海水流動 (Vel)} = \text{V6}$$

$$\text{水質 (WQ)} = (\text{V7} \times \text{V8})^{1/2}$$

謝 辞

本論文のとりまとめに際し、終始、懇切丁寧なご指導およびご助言を賜りました財団法人海洋生物環境研究所実証試験場長太田雅隆博士、同応用生態グループマネージャー馬場将輔博士に謹んで深謝の意を表します。また、本稿のご校閲を賜った東京大学名誉教授沖山宗雄博士、東京大学名誉教授日野明德博士、財団法人海洋生物環境研究所理事清野通康博士、同顧問城戸勝利博士に謹んで感謝致します。この論文は、経済産業省原子力安全・保安院から委託された発電所生態系調査手法検討調査の報告のうち、一部を許可を得て公表するものであり、関係各位に謝意を表します。

引用文献

- 有賀祐勝・横浜康継 (1979). 環境要因の測定光. 「藻類研究法」(西澤一俊・千原光雄 編), 共立出版, 東京, pp.436-446.
- 馬場将輔 (2007). ホンダワラ類8種の初期成長に及ぼす温度と光量の影響. 海生研報, **No. 10**, 9-20.
- 馬場将輔・渡辺幸彦・岸田智穂 (1999). 流水式回流水槽によるアラメ, カジメの水温と水流に対する生育反応. 藻類, **47**, 84.
- 独立行政法人水産総合研究センター (2007). 研究活動トピックス 地球温暖化の水産業への影響予測と将来予測. 環境報告書2007, 独立行政法人水産総合研究センター, 神奈川県, p.12.
- 道家章生・葭矢 護・井谷匡志 (2004). 植食動物の摂食によるホンダワラ科海藻の消長. 京都海洋セ研報, **No. 26**, 15-20.
- 道家章生・濱中雄一・久田哲二・熊木 豊・井谷匡志・井上太郎・辻 秀二・宗清正廣・葭矢 護・藤原正夢 (2000). 日本海中部海域のホンダワラ藻場 (京都府). 水産業関係特定研究開発促進事業 藻場の変動要因の解明に関する研究 総括報告書, 北海道・青森県・京都府・和歌山県, pp.京都・1-京都・45.
- 道家章生・宗清正廣・辻 秀二・井谷匡志 (1995). 京都府の海藻－Ⅱ－宮津湾の海藻の分布－. 京都海洋セ研報, **No. 18**, 22-27.
- 道家章生・宗清正廣・辻 秀二・井谷匡志 (1997). 京都府の海藻－Ⅳ－ホンダワラ類の採苗技術－. 京都海洋セ研報, **No. 19**, 28-34.
- Gao K. (1990). Seasonal variation of photosynthetic capacity in *Sargassum horneri*. *Jpn. J. Phycol.*, **38**, 25-33.
- 原口展子・村瀬 昇・水上 譲・野田幹雄・吉田吾郎・寺脇利信 (2005). 山口県沿岸のホンダワラ類の生育適温と上限温度. 藻類, **53**, 7-13.
- 長谷川一幸・山本正之・北野慎容・岡本 信 (2007). 藻場における大型海藻類の生育適地評価手法としてのHSIモデルの適合性の検討. 水産工学, **43**, 207-210.
- 岩橋義人・稲葉繁雄・伏見 浩・佐々木 正・大須賀穂作 (1979). 伊豆半島沿岸のアラメ・カジメの生態的研究－Ⅳ 分布と群落の性状. 静岡水試研報, **No. 13**, 75-82.
- 金丸彦一郎 (2008). 唐津周辺域／佐賀県. 「磯焼けを起こすウニ」(藤田大介・町口裕二・桑原久実 編著), 成山堂書店, 東京, pp.74-79.
- 川俣 茂 (2004). 振動流中アラメ幼胞子体の成長に及ぼす流動の影響. 平成16年度日本水産工学会学術講演会論文集, pp. 25-28.
- 川俣 茂 (2006). アラメ幼胞子体の成長に及ぼす流動の影響. 平成18年度日本水産工学会学術講演会論文集, pp. 231-234.
- 川崎保夫・山田貞夫 (1991). 海中砂漠緑化技術の開発 第5報 アラメ, カジメ, クロメの配偶体および幼胞子体に対する成長限界光量と浮泥堆積量. 電中研報告, **U91034**, 22pp.
- 川嶋之雄・松本正喜 (2003). アラメ・カジメ類の造成技術. 「藻場の海藻と造成技術」(能登谷正浩 編著), 成山堂書店, 東京, pp.217-230.
- 桐山隆哉・藤井明彦・吉村 拓・清本節夫・四井敏雄 (1999). 長崎県下で1998年秋に発生したアラメ類の葉状部欠損現象. 水産増殖, **47**, 319-323.
- 北野慎容・長谷川一幸・山本正之・石川義美 (2007). 新潟県粟島沿岸域の藻場における生息場適性指数 (HSI) による評価モデル作成に関する基礎的研究. 海生研報, **No. 10**, 21-25.
- 今野敏徳 (1985). ガラモ場・カジメ場の植生構造. 月刊海洋科学, **17**, 57-65.

- 今野敏徳・泉 伸一・竹内慎太郎 (1985). 漸深帯大型海藻の帯状分布に及ぼす波浪の影響. 東水大研報, **72**, 85-97.
- 久喜伸晃・田中 章 (2006). 日本におけるHEPの実施事例およびHSIモデルの蓄積状況に関する研究. 環境アセスメント学会 2006年度研究発表会要旨集, pp.25-29.
- 倉島 彰・前川行幸 (2003). アラメ・カジメ類. 「藻場の海藻と造成技術」(能登谷正浩 編著), 成山堂書店, 東京, pp.18-25.
- 倉島 彰・横浜康継・有賀祐勝 (1996). 褐藻アラメ・カジメの生理特性. 藻類, **44**, 87-94.
- 丸伊 満・稲井宏臣・吉田忠生 (1981). 北海道忍路湾におけるホンダワラ類の成長と成熟について. 藻類, **29**, 277-281.
- 松井敏夫・大貝政治 (1981). ホンダワラ類(ヤツマタモクとアカモク)の生長と水温. 大量温排水に対する水産環境アセスメント総合調査 昭和50~55年度総括報告書, 水産庁・東海区水産研究所, pp.213-217.
- 松本正喜・山口知子 (2006a). Habitat Suitability Index Model : カジメ *Ecklonia cava* Kjellman. 14pp. <http://www.yc.tcu.ac.jp/~tanaka-semi/HSIHP/file/kajime.pdf>
- 松本正喜・山口知子 (2006b). Habitat Suitability Index Model : オオバモク *Sargassum ringgoldianum* Harvey. 13pp. <http://www.yc.tcu.ac.jp/~tanaka-semi/HSIHP/file/obamoku.pdf>
- 村瀬 昇 (2001). 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardhの生態学的研究. 水大校研報, **49**, 131-212.
- 村瀬 昇 (2003). ノコギリモクの生態学的研究と藻場造成技術への展開. 「海藻利用への基礎研究」(能登谷正浩 編著), 成山堂書店, 東京, pp.48-69.
- 日本生態系協会 (2004). 環境アセスメントはヘップ(HEP)でいきる. ぎょうせい, 東京, 206pp.
- 西川 博・吉田範秋・四井敏雄・柿田研造 (1981). 長崎県本土側沿岸海域の藻場・干潟分布調査. 沿岸海域藻場調査 九州西岸海域藻場・干潟分布調査報告, 西海区水産研究所, 長崎, pp.113-173.
- 野田幹雄・北山和仁・新井章吾 (2002). 響灘蓋井島の秋季と春季における成魚期のアイゴの食性. 水産工学, **39**, 5-13.
- 小河久朗 (1985). ホンダワラ類の成熟・発生と環境. 月刊海洋科学, **17**, 26-31.
- 小河久朗 (1986). 海藻の初期発生に及ぼす温度と塩分濃度の影響Ⅱ. アカモクの仮根形成. 藻類, **34**, 137-141.
- 大隈 迎・小河淳一・岸本源次・渡辺一民・二島賢二・内場澄夫・山本千裕・豊福護雄 (1980). 筑前海域藻場・干潟分布調査. 昭和53年度福岡県福岡水産試験場研究業務報告, pp.123-152.
- 太田雅隆 (1988). アラメ・カジメの配偶体の生長と成熟ならびに幼孢子体の生長に及ぼす水温の影響. 海生研報, No. **88202**, 29pp.
- 太田雅隆・二宮早由子 (1990). ホンダワラ属海藻の分布と海水流動との関係. 藻類, **38**, 179-185.
- 佐々木謙介・中村章彦・瀬戸口満・稲盛重弘 (1999). 外海域藻場造成基礎試験. 平成9年度 鹿児島県水産試験場事業報告書, 生物部編, pp.71-75.
- 菅原顕人・瀬戸雅文・小松輝久 (1998). 大型藻類のゾーネーションに関する研究Ⅰ—アラメ・カジメの垂直分布と流動環境—. 海洋開発論文集, **14**, 29-34.
- 菅原顕人・小松輝久・瀬戸雅文 (2000). 大型藻類のゾーネーションに関する研究Ⅲ—アラメ・カジメ幼体に作用する流体力と流動環境—. 海洋開発論文集, **16**, 351-355.
- 菅原顕人・小松輝久・瀬戸雅文 (2001). 大型藻類のゾーネーションに関する研究Ⅳ—アラメ・カジメ1齢個体に作用する流体力と流動環境—. 海洋開発論文集, **17**, 159-164.
- 須藤俊造 (1992). 海藻・海草相とその環境条件との関連をより詰めて求める試み. 藻類, **40**, 289-305.
- 高間 浩 (1979). 三浦市沿岸におけるアラメ・カジメの現存量と群落構造について. 神奈川県水産試験場, 相模湾資源環境調査報告書, 神奈川, pp.137-151.
- 田中 章・大澤啓志・吉沢麻衣子 (2007). 環境アセスメントにおける最初のHEP適用事例. 環境アセスメント学会 2007年度研究発表会要旨集, pp.67-72.
- 谷口和也・秋山和夫 (1982). アラメ配偶体の生長および成熟に対する水温と光条件. 東北水研研報, No. **45**, 55-59.

- 谷口和也・山田秀秋 (1988). 松島湾におけるアカモク群落の周年変化と生産力. 東北水研研報, **No. 50**, 59-65.
- 谷口和也・山田悦正 (1978). 能登飯田湾の漸深帯における褐藻ヤツマタモクとノコギリモクの生態. 日水研報告, **No. 29**, 239-253.
- 寺脇利信 (1983). ホンダワラ類の初期形態形成に関する研究－Ⅱ. ヤツマタモク. 藻類, **31**, 38-43.
- 寺脇利信 (1993a). アラメ. 「藻類の生活史集成 第2巻 褐藻・紅藻類」(堀 輝三 編), 内田老鶴圃, 東京, pp.132-133.
- 寺脇利信 (1993b). アカモク. 「藻類の生活史集成 第2巻 褐藻・紅藻類」(堀 輝三 編), 内田老鶴圃, 東京, pp.160-161.
- 寺脇利信 (1986). 三浦半島小田和湾におけるアカモクの成長と成熟. 水産増殖, **33**, 177-181.
- 寺脇利信・新井章吾 (2000). シリーズ藻場の景観模式図 5. 新潟県能生町百川沿岸. 藻類, **48**, 237-239.
- 寺脇利信・新井章吾 (2003). アラメとカジメ. 「藻場の海藻と造成技術」(能登谷正浩編著), 成山堂書店, 東京, pp.100-113.
- 寺脇利信・吉田吾郎・吉川浩二・有馬郷司 (1996). 瀬戸内海西部における基面の高さ別のホンダワラ植生の観察. 南西水研研報, **No. 29**, 49-58.
- 寺脇利信・吉田吾郎・玉置 仁 (1998). 広島湾の石積み護岸マウンド沿いに成立した海藻・藻類植生. 南西水研研報, **No. 31**, 13-18.
- 寺脇利信・吉川浩二・吉田吾郎・内村真之・新井章吾 (2001). 広島湾における大型海藻類の水平・垂直分布様式. 瀬戸内水研研報, **No. 3**, 73-81.
- 月舘潤一 (1984). ヤツマタモクとヨレモクの幼体の最適成長条件について. 南西水研研報, **No. 16**, 1-9.
- 梅崎 勇 (1985). ホンダワラ群落の周年変化. 月刊海洋科学, **17**, 32-37.
- 矢代幸太郎・奥田耕司・佐藤光昭 (2006). HSIモデル (生息場適性指数モデル):メバル稚魚・幼魚 (Larval and Juvenile Black Rockfish) *Sebastes inermis* (Cuvier). 20pp. <http://www.yc.tcu.ac.jp/~tanaka-semi/HSIHP/file/mebaru.pdf>
- 八谷光介 (2005). ホンダワラ藻場の生産・流失過程に関する研究. 京都府立海洋センター, 研究論文集, **No. 7**, 1-41.
- 吉田吾郎・有馬郷司・内田卓志 (1995). 褐藻アカモクの初期発生に及ぼす日長, 照度, 水温の影響. 南西水研研報, **No. 28**, 21-32.
- 吉田吾郎・新井章吾・寺脇利信 (1997). 広島湾大野瀬戸産ノコギリモク幼体の成長に及ぼす光量・水温の影響. 南西水研研報, **No. 30**, 137-145.
- 吉田忠生 (1970). アラメの物質生産に関する2・3の知見. 東北水研研報, **No. 30**, 107-112.
- 吉田忠生 (1998). 「新日本海藻誌」. 内田老鶴圃, 東京, 1222pp.
- 吉田忠生 (2004). ヒバマタ目類. 「有用海藻誌」(大野正夫編著), 内田老鶴圃, 東京, pp.111-132.
- 四井敏雄・前迫信彦 (1993). 対馬東岸の磯焼け帯における藻場回復実験. 水産増殖, **41**, 67-70.