

HSI モデル整理票

記入日 2006年 8月 29日

票 A には、本 HSI モデルに関する基本情報が記されています。また票 B には、本 HSI モデルにおける各項目の記載の有無が記されています。 の記してある項目がモデルに記載されている項目です。

票 A					
基本情報	評価種名	標準和名：カジメ			
		学名： <i>Ecklonia cava</i> Kjellman			
	HSI モデルの作成者名	松本正喜（日本エヌ・ユー・エス株式会社） 山口知子（武蔵工業大学）			
HSI モデル作成者の連絡先 （自宅 or 会社） 一般公開しても良い範囲でご記入ください	住所：〒224-0015 神奈川県横浜市都筑区牛久保西 3 丁目 3 番 1 号 武蔵工業大学 田中章（ランドスケープ・エコシステムズ）研究室 山口知子 E-mail：g0331214@yc.musashi-tech.ac.jp				
票 B					
HSI モデルの記載内容	評価種に関する情報	1	評価種の希少性、規制等に関する記載		
		2	評価種の垂直・水平分布に関する記載		
		3	評価種の生活史に関する記載		
		4	評価種のハビタットに関する情報の記載		
	構築された HSI モデルに関する情報	5	HSI モデルの構築手段に関する情報の記載	(1)	文献調査
				(2)	フィールド調査
				(3)	専門家へのインタビュー調査
				(4)	サンプルデータによる検証
		6	フィールドにおける各変数の測定方法の記載		
		7	各変数に関する SI モデル（グラフ、文章等）の記載		
	8	HSI 結合式もしくはそれに相当する文章の記載			
	9	HSI モデルの適用範囲（評価種のライフステージ、カバータイプ、地理的範囲、季節、最小ハビタット面積等）の記載			
その他	10	引用文献リストの記載			

作成日：2006/08/26

Habitat Suitability Index Model：
カジメ
Ecklonia cava Kjellman

作成者：松本 正喜（日本エヌ・ユー・エス株式会社）
山口 知子（武蔵工業大学）

目次

1. はじめに	2
1.1 作成目的	2
1.2 作成方法	2
1.3 他文献への記載	2
1.4 引用の記載方法	2
1.5 コメント送付先	2
2. ハビタット利用情報	2
2.1 概要	2
2.2 希少性、規制	3
2.3 分布	3
2.4 生活史	3
2.5 生存必須条件	3
2.5.1 着生基質	3
2.5.2 水温	4
2.5.3 光	4
2.5.4 海水流動	5
2.5.5 水質	5
3. モデルの解説	7
3.1 概要	7
3.2 SIモデル	8
3.2.1 着生基質	8
3.2.2 水温	8
3.2.3 光	10
3.2.4 海水流動	11
3.2.5 水質	11
3.3 HSI 結合式	12
3.4 測定方法	12
3.5 モデルの適用範囲	13
3.5.1 カバータイプ	13
3.5.2 地理的範囲	13
3.5.3 季節	13
4. 謝辞	13
5. 引用文献	13

1. はじめに

1.1 作成目的

本モデルは、海域環境に対する各種インパクトが藻場に及ぼす影響を、カジメの生育に適した環境条件の変化として予測、評価することを目的として作成した。カジメの生育条件に関する文献などの情報に基づき変数を選択しているため、実際の海域において測定が容易でない変数も含まれていることをご了承頂きたい。

1.2 作成方法

本モデルは、既存のカジメに関する文献を基に作成した。なお、作成にあたって、現場海域での調査や専門家へのインタビューによる検証を行っていない。

1.3 他文献への記載

現段階で、本モデルの他文献への記載はない。

1.4 引用の記載方法

本モデルを引用する際の記載例を以下に示す。

例) 松本正喜、山口知子 (2006) Habitat Suitability Index Model : カジメ . 14pp .

1.5 コメント送付先

今後もさらにモデルの精度を向上させるため、新たな知見やご意見等があれば以下の連絡先までコメントをお寄せ頂きたい。

〒224-0015 神奈川県横浜市都筑区牛久保西3丁目3番1号
田中 章 (ランドスケープ・エコシステムズ) 研究室
山口 知子

E-mail: g0331214@yc.musashi-tech.ac.jp

2. ハビタット利用情報

2.1 概要

カジメは大型の多年生褐藻で、岩礁帯に大きな群落を形成する。このような大型植物の密生した「藻場」は、海中林とも呼ばれている。海中林は、安定した水温環境、かくれ場を提供するとともに、葉上の付着微細藻類が豊富であり小動物が多いため、魚介類の産卵場や幼稚魚・ウニ類・貝類の餌料供給の場となっている (徳田ら, 1987)。

2.2 希少性、規制

近年、わが国の沿岸には大型海藻が消失する磯焼け現象が広く見られるようになった。これは海流の影響や土木工事の影響とも考えられているが、早急な回復が望まれている。(徳田ら, 1987)。しかし、カジメに関する希少性や規制等についての情報は確認できなかった。

2.3 分布

本州太平洋沿岸中部、九州、本州日本海沿岸南部に分布する。低潮線下 20m までの岩上に生育して大きな海中林を作る(吉田, 1998)。

2.4 生活史

海中で肉眼視される藻体は、核相が複相(2n)の多年生の孢子体で、寿命が3~4年あり、藻長2~3mに達する。主に、夏から秋にかけて、側葉に子嚢斑が形成される。遊走子嚢内での減数分裂により、核相が単相(n)となった遊走子(数 μm)が形成され、放出されると岩などに付着して発芽し、雄性配偶体または雌性配偶体となる。発達した雄性配偶体の造精器から放出された精子が雌性配偶体の生卵器から半分抜けかけた卵に到達し、受精することで有性生殖を行う(寺脇, 1993)。カジメは伸長が速く、春に発芽した幼体は8月には20~30cmあまりの藻体になる(徳田ら, 1987)。はじめ短い茎にササの葉状の葉部を持ち、生長するとともにその両縁の下端部から櫛の歯状の側葉を生ずる(吉田, 1998)。1年目の藻体は、数10cmの体長で成熟し、葉状部は先端部から徐々に枯死し流出する。同時に、茎葉移行部から押し上げるように、新しい主葉が伸び側葉も現れ肥大していく(徳田ら, 1987)。2年目以降のよく生長した葉体の根は数層輪生し、太く硬く数回叉状に分岐して円錐状の大きな付着器となる(吉田, 1998)。

2.5 生存必須条件

2.5.1 着生基質

カジメの生残には、いずれの生長段階でも基部が接している基質あるいは基質表面の状態に大きく左右される(菅原, 2001)。砂や小礫のように波、流れによって移動し易い基質の場合、これらに付着した大型海藻の孢子は発芽生長しても基質が安定していないため、物理的な力で基質が動かされたり、転がされたりする間に藻体が損傷を受けたり、あるいは砂や礫の間に埋まったりすることが考えられるため、その場所で繁茂、成熟するまでの期間、生育し続けることは難しい(徳田ら, 1987)。

カジメ場は、岩礁域や転石域でつくられる(財団法人港湾空間高度化センター, 1996)。和歌山県沿岸域におけるカジメ類の生息調査においても、カジメ類は主に岩盤や転石に生息していた(山内ら, 1999)。中部太平洋岸の漸深帯での基質階級(底質を構成する石や礫、岩盤などをその直径に従って区分した階級)の違いに伴う植生の相対被度の調査では、

カジメの相対被度は基質の直径が 12.5~25cm で約 10%、25~50cm で約 30%、50cm 以上で約 100%となり、カジメは直径 50cm 以上の大型基質で優占し、傾斜度の少ない不動岩が基質として優れているといえる（今野，1985）。

2.5.2 水温

山内ら（1999）や和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場（2000）の和歌山県における調査、佐藤ら（2000）の神奈川県における調査によるカジメの分布状況をみると、カジメは年平均水温が 20 を下回る所では安定して群落を形成するが、20 以上になるとほとんど生息しなくなった。和歌山県沿岸で磯焼けが発生した年はいずれも年平均水温は 20 を超えていた（和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場，2000）。

菅原（2001）によると、11~12 月の水温は翌年の幼体の萌出数との関係が大きく、翌年の幼体の萌出に適した 11~12 月の水温帯は 18.5~21.0 であるとされている。海域による水温変動の違いが種の分布、植生の差に現れているので、水温条件としては少なくとも最低期と最高期水温をともにとることが必要である（須藤，1992）。そこで、この水温帯を、年間で最も低水温となる 2 月期の水温帯に置き換えると、おおよそ 10~16 にあたると考えた。須藤（1992）は、カジメが分布する海域において、年間で最も低水温となる 2 月期と、最も高水温となる 8 月期の水温を調査した。その結果、カジメが分布する海域における 2 月期の水温は、上限が 16 であった。しかし、幼体の成長速度が最大となる温度は 15 なので（倉島ら，1996）2 月の水温は 15 より低いことが望ましいと考えた。一方、8 月期の水温は 23~27 であった（須藤，1992）。また、山内ら（1999）の和歌山の調査では、年間水温の変化が 28 まで達すると生育が不安定になった。したがって、8 月期のカジメが生息できなくなる水温は 28 であると考えた。

2.5.3 光

カジメはより多くの光量を必要とするため、光条件が変わらずに高水温となったり、温度条件が変わらずに光強度が低くなることは、カジメ群落の生産力の低下さらには衰退につながるものといえる（倉島ら，1996）。濁水による光量の減少は、海藻の光合成活性を抑制し、光量の減少が著しい場合には群落の消滅にまでつながる（前川ら，2001）。

海水の吸光係数に注目し、光量の減少が藻場の生産力に及ぼす影響を考察すると、カジメ群落の生産力は海の濁り具合に大きく影響され、吸光係数の増加に伴い生産力は急速に低下する。吸光係数が 0.4 を越えると生産力は極端に低下し、カジメ群落として成立できなくなる。吸光係数 0.4~0.5 という値は、外海に面した沿岸域では通常は赤潮時以外ほとんど観測されることはないが、濁水が流入した場合、0.5 を超えることがある（前川ら，2001）。吸光係数は消散係数とも呼ばれ、 $1.7 \div \text{吸光係数}$ （消散係数）で透明度に換算することができる。

また、カジメの配偶体と孢子体の 20 における純光合成-光曲線では、孢子体では約 200

$\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ で光飽和に達する（倉島ら，1996）。一日の照射時間を 12 時間として、一日あたりの光量に換算すると、カジメ胞子体の光飽和量となる光量 $200\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ は $8.64\text{mol/m}^2/\text{day}$ ($=200\mu\text{mol/m}^2/\text{s} \times 60^2 \times 12 \times 10^{-6}$) となる。さらに、カジメの生育に最も適した水深の下限を 15m とし、水深 15m において $8.64\text{mol/m}^2/\text{day}$ の光量を得るために必要な透明度を求めると約 21m となる。このとき、海面直下の日積算光量子量を $29\text{mol/m}^2/\text{day}$ として求めた。この日積算光量子量の値は、名古屋の年間全天日射量を 13.8MJ （理化学年表 2002 年度版）とし、可視光の比率を 50%、海表面での反射率を 0.066 とそれぞれ仮定して求めた。

この他に、光条件を左右する要因として水深が挙げられる。

寺脇ら（1991）と和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場（2000）と喜田ら（1982，1983）の調査結果から、各地のカジメの分布範囲をみると、水深 2~20m 前後を分布範囲としている所が多い。特に、水深 5~15m で分布密度が高い所が多い。しかし、場所によっては、水深 30m 近くまで分布が確認されている所もある。喜田ら（1982）は、カジメが生育できる水深の上限は、外海域か内湾域かによっても異なるが、5~7m であるとしている。一方で、実際には、5m 以浅でもカジメの分布が確認されている。菅原（2001）は、春季の大潮時に葉部が干出するような 1.0~1.5m 深では、カジメは分布しなくなるとしている。

2.5.4 海水流動

カジメは波浪が強い所に生息する（今野，1985）。

今野ら（1985）は、千葉県の小湾において漸深帯大型海藻の分布をトランセクト法によって調査し、藻類の波浪による影響を検討した。トランセクトは、漸深帯大型海藻の分布帯上限から岩盤斜面の下端に至るまで計 6 つを設けた。波浪は湾奥部から湾口部にいくにつれて強まると考えられるので、湾奥部からの距離を波浪の強さの指標とし、湾奥部は波浪が弱い、中央部は中程度、湾口部は強いと定義した。その結果、カジメは波浪が強い湾口部ほど被度が高いことがわかった。

2.4.5 水質

カジメ群落の生産力は海の濁り具合に大きく影響される（前川ら，2001）。海藻の生育深度に影響を与える透明度は海水の濁りとの密接な関係がある。濁りが増大すると海中での光量が減少するだけでなく光合成に利用できる波長の光も吸収されるために海藻の生理機能が低下してしまう。さらに、濁りの原因となる懸濁物質は沈降して海底の岩礁の表面に堆積するため、海藻の付着基盤の減少あるいは藻体への堆積物の付着による海藻の死滅などが生じる（徳田ら，1987）。

須藤（1992）は、カジメが分布する海域において、浅海定線観測などから測定の全年塩分（1または2ヶ月に1回の測定）の5~20年平均値を求めた。その結果、カジメが生育

できる塩分の下限を 30.9 とした。一方、佐藤ら（2000）の神奈川県における調査では、塩分が 26 の所でもカジメの分布が確認された。

COD によって示される海域の汚濁の程度とオオバモクの関連性をみると、須藤（1992）は、オオバモクが生育できる COD の上限は 1.3mg/l であるとしている。

3. モデルの解説

3.1 概要

前項より、既存文献を基に SI モデルを作成することが可能な環境要因を本モデルの変数として選定した。HSI と変数の関係は以下の通りである。

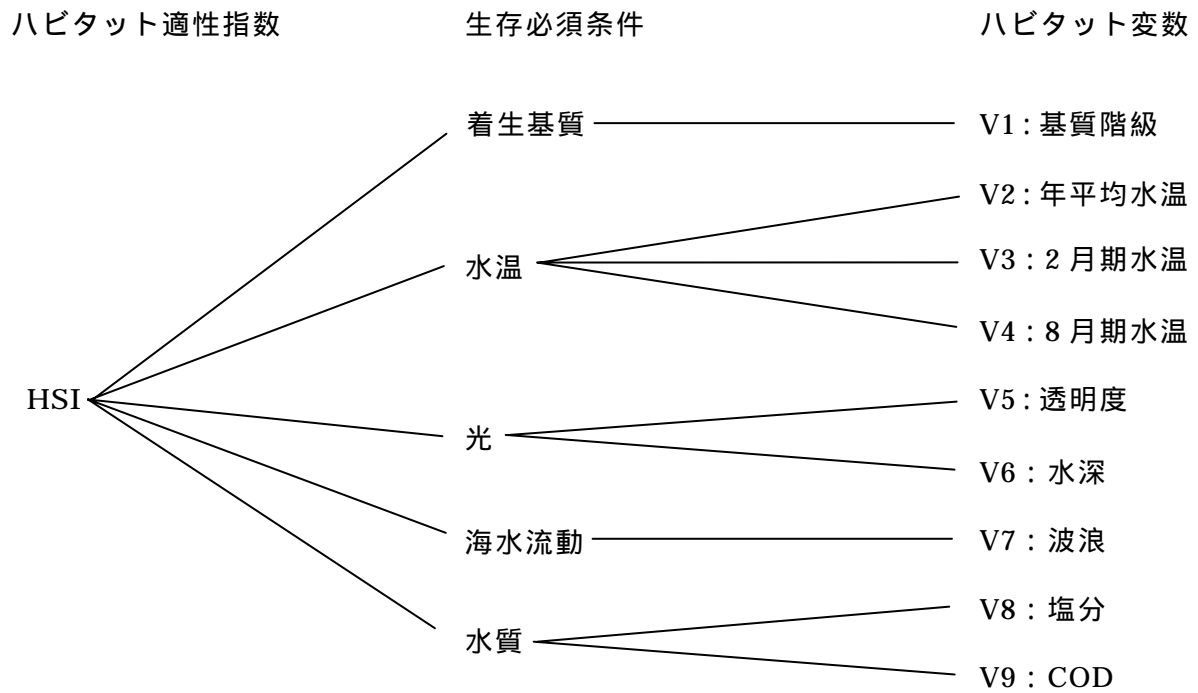


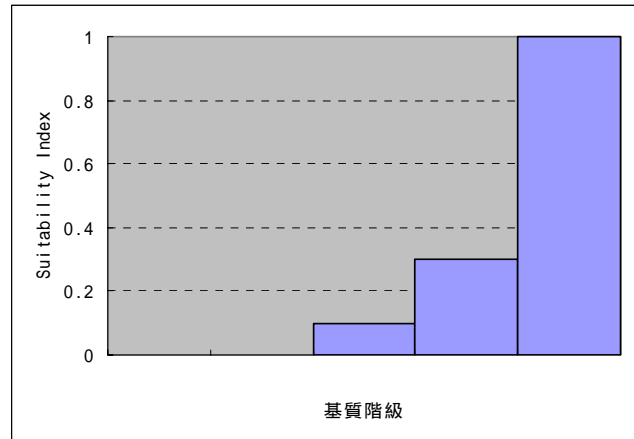
図 3.1 カジメのハビタット変数と生存必須条件との関係

3.2 SIモデル

3.2.1 着生基質

V1：基質階級

ここでいう基質階級とは、底質を構成する石や礫、岩盤などをその直径に従って区分した階級である。今野（1985）の中部太平洋岸の漸深帯での基質階級の違いに伴う植生の相対被度の調査より、カジメの相対被度が最大となる階級 V で $SI=1$ とし、被度がほぼ 0%となる階級、 で $SI=0$ とした。



階級区分

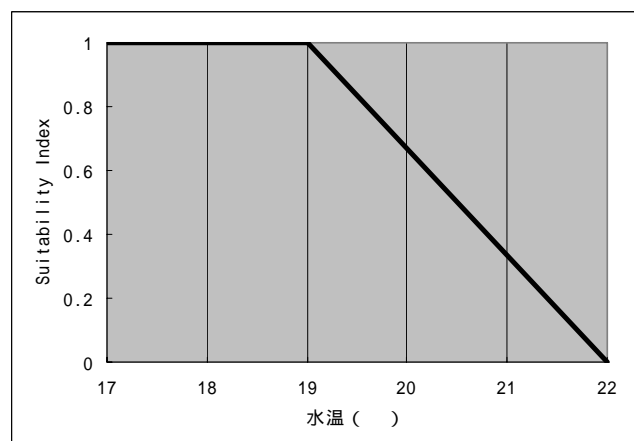
- :1 ~ 5cm
- :5 ~ 12.5cm
- :12.5 ~ 25cm
- :25 ~ 50cm
- :50cm 以上

3.2.2 水温

V2：年平均水温

山内ら（1999）、和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場（2000）、佐藤ら（2000）の調査より、カジメは年平均水温が 20 を下回る所では安定して群落を形成するが、20 以上になるとほとんど生息しなくなった。

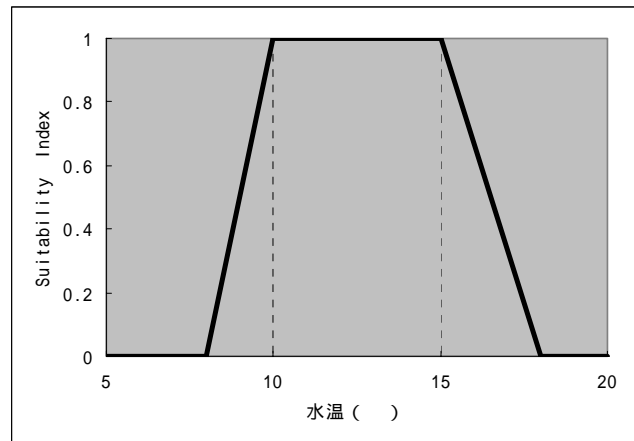
よって、カジメの生育環境をより厳しく考えて、19 以下で $SI=1$ 、22 以上で $SI=0$ とした。



V3 : 2 月期水温

菅原 (2001) より、翌年の幼体の萌出に適した 11~12 月の水温帯は 18.5 ~ 21.0 であり、それを 2 月期の水温帯に置き換えると、おおよそ 10~16 にあたると考えた。また、須藤 (1992) より、カジメが分布する海域における 2 月期の水温は、上限が 16 であった。しかし、倉島ら (1996) より、幼体の成長速度が最大となる温度は 15 なので、2 月の水温は 15 より低いことが望ましいと考えた。よって、10~15 で SI=1 とし、8 以下、18 以上で SI=0 とした。

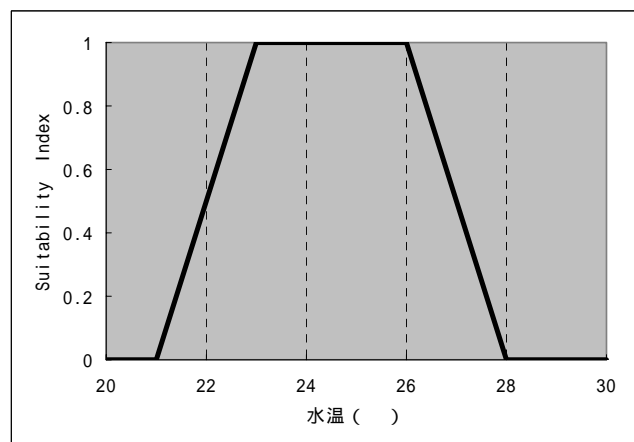
SI=0 と SI=1 の水温差を ± 2 とした理由は、水温の年変動を考慮した結果である。



V4 : 8 月期水温

須藤 (1992) より、カジメが分布する海域における 8 月期の水温は 23~27 であった。また、山内ら (1999) より、年間水温の変化が 28 まで達するとカジメの生育が不安定になるので、23~26 で SI=1 とし、21 以下、28 以上で SI=0 とした。

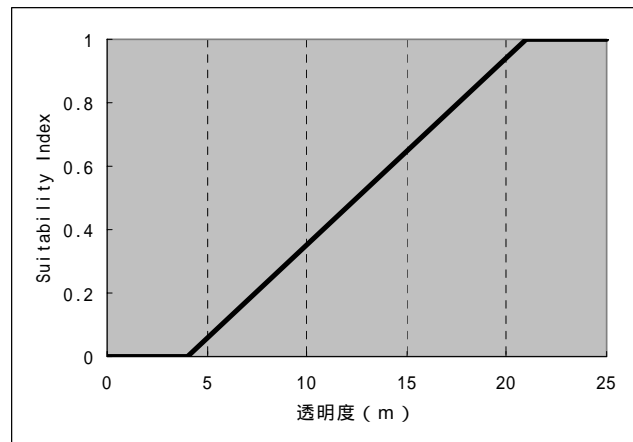
SI=0 と SI=1 の水温差を ± 2 とした理由は、水温の年変動を考慮した結果である。



3.2.3 光

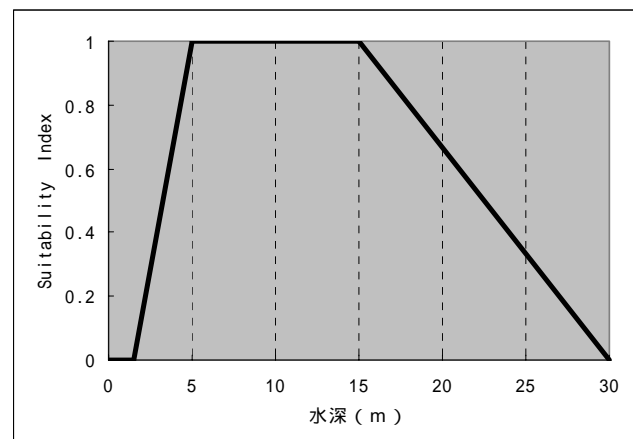
V5：透明度

前川ら（2001）より、透明度が4mでカジメ群落が成立できなくなるので、透明度が4m以下でSI=0とした。また、倉島ら（1996）より、カジメ胞子体の光飽和量は $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ である。この $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ という値を、一日の照射時間を12時間として、一日あたりの光量に換算すると $8.64 \text{mol}/\text{m}^2/\text{day}$ となる。さらに水深15mでこの光量を得るために必要な透明度を求めると約21mとなる。よって、透明度が21m以上でSI=1とした。



V6：水深

寺脇ら（1991）、和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場（2000）、喜田ら（1982, 1983）より、カジメは水深2~20m前後を分布範囲としている所が多かった。特に、水深5~15mで分布密度が高い所が多かった。したがって、水深5~15mでSI=1とした。場所によっては水深30m近くまで分布が確認された所もあるので、カジメが生育できる水深の下限を30mと考え、水深30m以深でSI=0とした。また、菅原（2001）より、干出のために生育が不可能になる水深が1.5mであるので、水深1.5m以浅でSI=0とした。

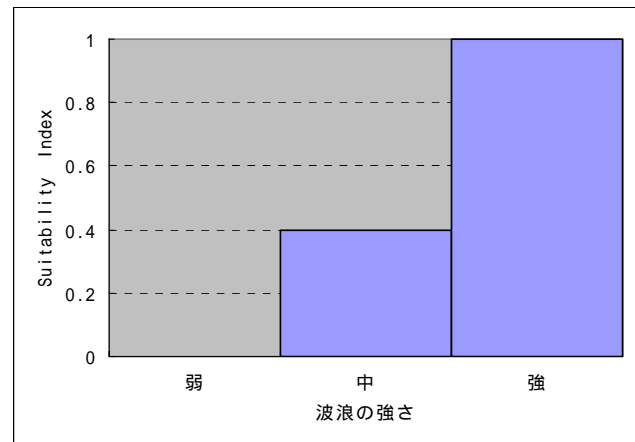


3.2.4 海水流動

V7：波浪

波浪の強さは、湾奥部からの距離を指標とし、湾奥部は波浪が弱い、中央部は中程度、湾口部は強いと定義した（今野ら，1985）。

今野ら（1985）より、カジメは波浪が弱い所では被度が 0%であり、波浪が強くなる所ほど被度が高くなった。よって、波浪が弱で SI=0、中で SI=0.4、強で SI=1 とした。

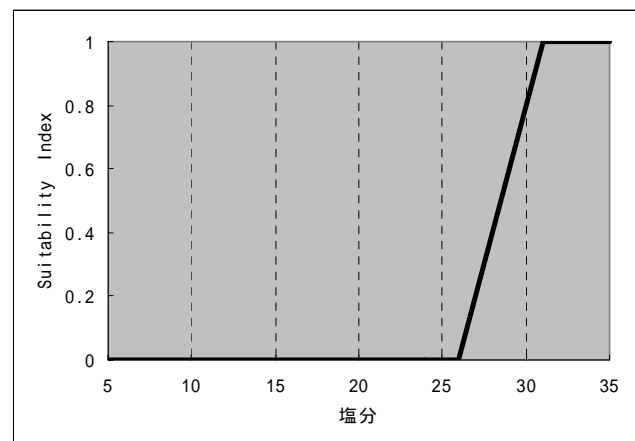


3.2.5 水質

V8：塩分

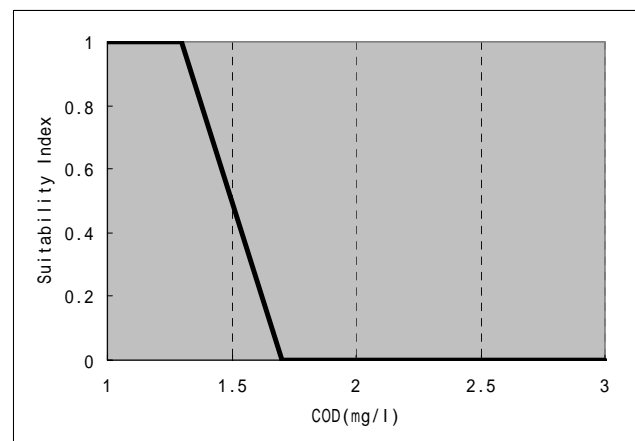
須藤（1992）より、カジメが生育できる塩分の下限が 30.9 であるので、塩分 31 以上で SI=1 とした。また、佐藤ら（2000）より、塩分 26 の所でも分布が確認されたので、26 未満で SI=0 とした。

なお、通常は外海域においてカジメが生育できなくなるほど高塩分になることはないため、塩分の上限值は求めなかった。



V9：COD

須藤（1992）より、カジメが生育できる COD の上限が 1.3mg/l であるので、COD が 1.3mg/l 以下で SI=1 とし、1.7mg/l 以上で SI=0 とした。



3.3 HSI 結合式

通常の場合では、HSI 結合式は以下のようになる。

$$HSI = \sqrt[5]{AS \times T \times LI \times Vel \times WQ}$$

ただし、着生基質：AS = V1

水温：T = $\sqrt[3]{V2 \times V3 \times V4}$

光：LI = $\sqrt[2]{V5 \times V6}$

海水流動：Vel = V7

水質：WQ = $\sqrt[2]{V8 \times V9}$

3.4 測定方法

本モデルで使用する各変数の現地での測定方法を以下の表に示す。

表 3.4 変数の測定方法

変数	測定方法
V1	対象海域において、潜水もしくは船上からの目視観察を行い底質の基質の大きさと混在状況を記録する。
V2	対象海域において、測定された過去の水温統計値から、年平均水温を求める。現地における調査を実施する際には、STD などを用いて、最低でも月 1 回の頻度で表層および底層の水温を測定する。
V3	対象海域において、測定された過去の水温統計値から、年間の水温を参照し、2 月の水温を求める。調査を実施する際には、最も低水温となる月とその前後の月に調査を実施することを奨励する。水温測定の際には STD などを用いて表層および底層の水温を測定する。
V4	対象海域において、測定された過去の水温統計値から、年間の水温を参照し、8 月の水温を求める。調査を実施する際には、最も高水温となる月とその前後の月に調査を実施することを奨励する。水温測定の際には STD などを用いて表層および底層の水温を測定する。
V5	対象海域において、セッキ透明度板を用いて透明度を測定する。
V6	対象海域の信頼できる海図から、水深を求める。対象海域において、新たに調査を実施する必要があるときには、魚群探知機などを用いて水深を測定する。

V7	対象海域の海岸線を目視観察し、(1) 外洋の影響を受け、強い波浪を受ける (2) 中程度の波浪を受ける (3) 内湾的で波浪を受けない、という 3 段階に区分する。必要に応じて波高計による定量的な観測や、海底に一定期間設置した石膏球の減耗量によって相対的な波浪の影響を比較する観測を実施する。
V8	対象海域において、測定された過去の塩分統計値があれば、年間の塩分測定値を参照し平均値を求める。新たに測定する場合には、STD 等を用いて行う。
V9	対象海域において、測定された過去の COD 統計値があれば、年間の COD 測定値を参照し平均値を求める。COD を新たに測定する際には、バンドーン式採水器等にて表面および海底付近で採水し、これを分析することにより測定する。

3.5 モデルの適用範囲

3.5.1 カバータイプ

本モデルは、海域において適用することができる。

3.5.2 地理的範囲

本モデルは、太平洋沿岸中部において適用することができる。

3.5.3 季節

本モデルは、通年において適用することができる。

4. 謝辞

最後に、本モデルの作成にあたり、参考資料とさせて頂いた書誌の編集者の方々に感謝の意を表す。

5. 引用文献

- 喜田和四郎, 前川行幸 (1982) アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究 - 志摩半島御座岬周辺における群落の分布と構造. 三重大水実研報、No.3, 41-54 .
- 喜田和四郎, 前川行幸 (1983) アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究 - 熊野灘沿岸各地域における群落の分布と構造. 三重大水実研報、No.10, 57-69 .
- 倉島彰, 有賀祐勝, 横浜康継 (1996) 褐藻アラメ・カジメの生理特性. 藻類, 44(2), 87-94 .
- 今野敏徳 (1985) ガラモ場・カジメ場の植生構造. 海洋科学, 17(1), 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. Journal of the Tokyo University of Fisheries, 72(2), 85-97 .
- 財団法人港湾空間高度化センター (1996) 港湾における海域環境を考える 8 つの視点. 財団法人港湾空間高度化センター, 東京, 62pp .
- 佐藤博雄, 佐々木律子, 菅原顕人, 小松輝久 (2000) 藻場造成に関する基礎的研究 アラメ・カジメ群落の環境と生態. 日本水産学会大会講演要旨集, Vol.2000, 49p .
- 菅原顕人 (2001) 褐藻アラメ・カジメの生育と物理環境に関する生態学的研究 .

- 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 (3), 289-305．
- 千原光雄 (1970) 標準原色図鑑全集 15 海藻・海浜植物．保育社，大阪府，173pp．
- 寺脇利信 (1993) *Ecklonia cava* Kjellman in Kjellman et Petersen, 128-129, 堀輝三，藻類の生活史集成 第2巻 褐藻・紅藻類．内田老鶴園，東京都，354pp．
- 寺脇利信，川崎保夫，本多正樹，山田貞夫，丸山康樹，五十嵐由雄 (1991) 海中林造成技術の実証 第2報 三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性．電力中央研究所我孫子研究所報告，No.U91022, 66．
- 徳田廣，大野正夫，小河久朗 (1987) 海藻資源養殖学．緑書房，東京都，354pp．
- 前川行幸，栗藤和治 (2001) 沿岸藻場生態系に及ぼす濁水等の影響．水産海洋研究、65 (4), 166-168．
- 山内信，濱地寿生，難波武雄 (1999) 磯根漁場機能回復試験 生物調査．和歌山県水産試験場事業報告，Vol.1997, 90-101．
- 吉田忠生 (1998) 新日本海藻誌 日本産海藻総覧．内田老鶴園，東京都，354pp．
- 和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場 (2000) 太平洋中部域のカジメ藻場 (和歌山県)．藻場の変動要因の解明に関する研究 総括報告書 平成7～11年度．