



REPORT
OF
MARINE ECOLOGY RESEARCH INSTITUTE

海洋生物環境研究所研究報告

No. 92101

千葉県御宿町前面の沿岸域におけるアラメ・カジメの
鉛直分布と光エネルギー

平成4年3月

March, 1992

千葉県御宿町前面の沿岸域におけるアラメ・カジメの鉛直分布と光エネルギー

須藤 静夫

Vertical Distribution of Two Species of Seaweeds, *Eisenia bicylis* and *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyceae), and Light Energy as a Factor Limiting their Distribution in the Coastal Waters along Onjuku-mati, Chiba-Prefecture, Pacific Coast of Central Japan

Shizuo Sudoh

Sudoh, S. (1992). Vertical distribution of two species of seaweeds, *Eisenia bicylis* and *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyceae), and light energy as a factor limiting their distribution in the coastal waters along Onjuku-mati, Chiba-Prefecture, Pacific coast of central Japan. *Rep. Mar. Ecol. Res. Inst.*, No.92101 : 1- 22.

Abstract : Vertical distribution of *Eisenia bicylis* and *Ecklonia cava* was investigated in the coastal waters along Onjuku-mati, Chiba-Prefecture, Pacific coast of central Japan. Collections of the communities by divers and observations on board through an underwater television camera were made at 12 stations set on sea bottoms with various water depths, about 5, 10, 20, 30, 40 and 50m. Specimens of *E. bicylis* were collected around 5 and 10m water depth areas. On the other hand, specimens of *E. cava* were collected in all stations, but their sizes changed remarkably depending on the sea depth as follows ; i) The large size group (more than 1.0m in stem length) occurred around 10 to 30m depth areas, ii) Their size decreased sharply in areas less than 10m and more than 30m depth, iii) The small size specimens (less than 30cm in stem length) were found as far as about 50m depth areas.

Using the data, recorded continuously during the year from 1979 to 1985, on photosynthetically active radiation (395~715nm) arrived on the ground surface near the investigating waters, light energy transmitted into the sea water at various depth were calculated indirectly. For both species, the relationship between their stem lengths and light energy at each depth were examined to determine the lower limit of their vertical distribution. Although the result of *E. bicylis* was not obtained successfully due to insufficient data, it was found that full growth of *E. cava* requires light energy over $1 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ ($\approx 2.9 \mu\text{E/m}^2 \cdot \text{sec}$) in the annual mean, and that the light compensation point of the lower limit of growing needs about $5 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ ($\approx 1.5 \mu\text{E/m}^2 \cdot \text{sec}$).

keywords : *Eisenia bicylis*, *Ecklonia cava*, Light energy, Vertical distribution, Light compensation point.

須藤静夫(1992), 千葉県御宿町前面の沿岸域におけるアラメ・カジメの鉛直分布と光エネルギー, 海生研報告, No.92101 : 1-22.

要約: 千葉県御宿町の沿岸域において, アラメとカジメの鉛直分布の実態を調査した。調査海域のいろいろな水深(約5, 10, 20, 30, 40, 50m)に設定した12定点で, ダイバーによる海藻(草)の採集と, 船上からの水中テレビカメラによる観察を行った。アラメは水深5m, 10m付近の浅い水域のみから採集された。一方, カジメは全ての調査定点で採集されたが, その大きさは, 水深に依存して, 次のような顕著な変化を示した; i) 茎長 ≥ 1.0 mの大型個体は水深10~30m付近に出現した, ii) 個体の大きさは水深10m以浅および30m以深の水域から急速に小さくなった, iii) 茎長 ≤ 30 cmの小型個体は水深約50mまでの水域内で観察された。

調査海域近くの地表面に到達した光合成有効日射量(395~715nm)に関する1979~1985年までの連続観測データを用いて, 調査海域のいろいろな水深に到達する光エネルギー量を推定した。アラメとカジメの鉛直分布の下限を推定するために, 各水深における茎長と光エネルギーの関係について検討した。アラメに関しては, データが不充分であったために, 目的に適った結果を得ることができなかったが, カジメが健全に生長するために必要な年平均光エネルギーは, $1 \times 10^{-3} \text{cal/cm}^2 \cdot \text{分}$ ($\approx 2.9 \mu\text{E/m}^2 \cdot \text{秒}$)以上であり, 生育下限における光補償点は, 約 $5 \times 10^{-4} \text{cal/cm}^2 \cdot \text{分}$ ($\approx 1.5 \mu\text{E/m}^2 \cdot \text{秒}$)であると推定された。

キーワード: アラメ, カジメ, 光エネルギー, 鉛直分布, 光補償点。

目 次

I. まえがき	3	2. 海藻調査	5
II. 調査海域の概要	3	IV. 調査結果と考察	7
1. 調査海域の範囲	3	1. 光エネルギーの鉛直分布	7
2. 調査海域の特徴	4	2. アラメ, カジメの鉛直分布	11
III. 調査方法	5	3. 生育深度と光エネルギー	16
1. 光エネルギーの測定	5	引用文献	21

図 表 目 次

第1図	調査海域と日射観測地点	4
第2図	海藻調査定点位置(1~12)	6
第3図	千葉県御宿町地方における全天日射量(TR)と光合成有効日射量(PAR)の月別平均値の変化(1979~1985)	9
第4図	日射比率の月別平均値の変化(1979~1985)	11
第5図	水深別アラメ, カジメの分布状況	14
第6図	各水深ごとに採集されたアラメ, カジメの茎長	15
第7図	調査海域におけるアラメ, カジメの最大茎長と光エネルギーの関係	18
第1表	調査日時と調査定点の水深	6
第2表	調査海域の海中に入射する月平均光エネルギー ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{分}$)	10
第3表	季節別光合成有効日射比率(PAR/TR)	12
第4表	調査海域で採集された海藻・草(1983.12.28~30)	13
第5表	水温測定結果(1983.11.28~30)	13

I. まえがき

とる漁業からつくる漁業の時代と言われるようになって以来、今日までに多くの魚介類の人工的生産技術が確立されてきた。一方、多少遅れて、最近では盛んに藻場造成に関する論議が交わされるようになり、多くの研究成果も報告されている。

これらの研究成果は、その内容からおおむね海藻(草)の生理、生態、環境および造成技術に関するものに区別することができよう。また、情報量からみた場合には、生理、生態の分野に関するものが他分野に比べて圧倒的に多いのに対して、ガラモ場の物理環境を調査した坂本ら(1985)も述べているように、環境の分野に関するものは比較的少ない。人工的な藻場造成技術の確立には、どの分野における情報も欠くことのできないものであり、各分野の併行した研究と総合的な情報の集積が必要である。

筆者らはすでに環境の分野に属する研究成果として、陸上で観測した日射量から海中に入射した光合成有効日射量の推定手法を示すとともに、光エネルギーと海藻(草)の生育との関連性についても若干の指摘を行った(古川・須藤, 1983)。Dennison(1987)、石川ら(1988)もアマモについてはほぼ同様の手法を用いた報告を行っている。

その後、当中央研究所の前面海域に生育する大型褐藻類(アラメ、カジメ)に関する調査データから、海中光エネルギーと、これらの海藻の分布深度について予察的検討を加え、海藻の生育下限深度を規定する要因として光エネルギーが重要であることを示唆する知見を得たので報告する。

なお、原稿を校閲していただいた当研究所元常務理事、兼中央研究所長、現在加温飼育懇談会会長の古川厚博士に対して厚くお礼を申し上げます。また、調査に協力いただいた岩和田漁業協同組合に感謝する。

II. 調査海域の概要

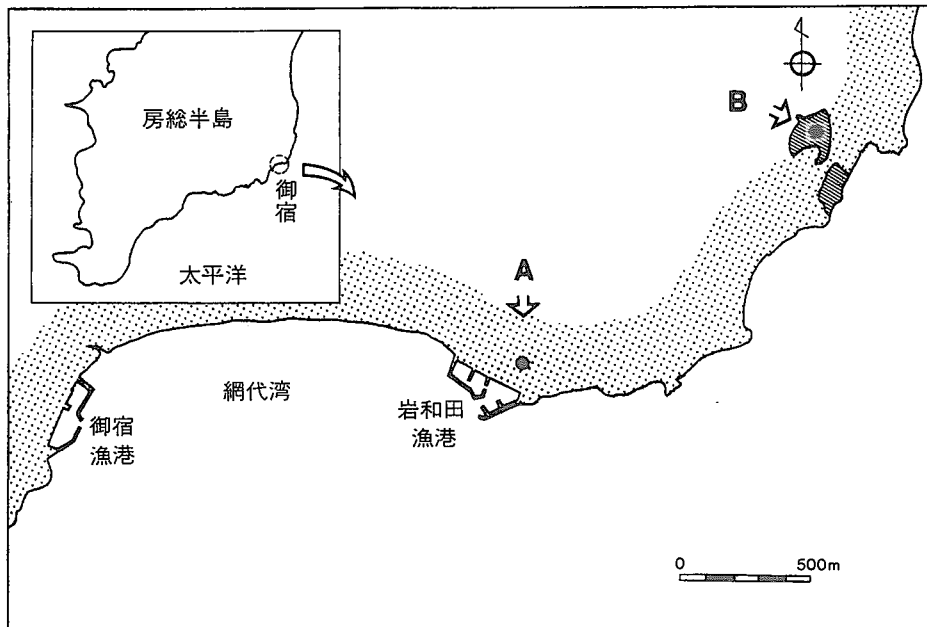
1. 調査海域の範囲

調査海域は、房総半島太平洋沿岸の千葉県夷隅郡御宿町に位置する当中央研究所の前面海域である(第1図)。調査範囲は距岸約6 km以内の水深5～50mの水域であった。

2. 調査海域の特徴

調査海域では気象要因の影響や沖合に及ぶ黒潮の消長等によって海況の変化が激しい。短時間に水温や塩分が大きく変化したり、同時に水色が急変するような現象がたびたび発生する。

当研究所が1982年に岩和田漁協と御宿漁協の共同漁業権漁場(漁業権番号-共第47号)の海底地形・地質に関する詳細な調査を実施した結果(海洋生物環境研究所, 1982)によると、海底の大半は起伏に富んだ露岩で占められており、露岩部の岩質は砂岩あるいは泥岩である。このような海底構造によると考えられるが、この海域ではアラメ、カジメなどの群落が長年にわたって存続しており、調査海域内の沿岸帯では古くからアワビ、サザエなどを採集するアマ(海士、海女)の素潜り漁が盛んである。



第1図 調査海域と日射観測地点

A地点：1979年1月～1983年3月

B地点：1983年3月以降

III. 調査方法

1. 光エネルギーの測定

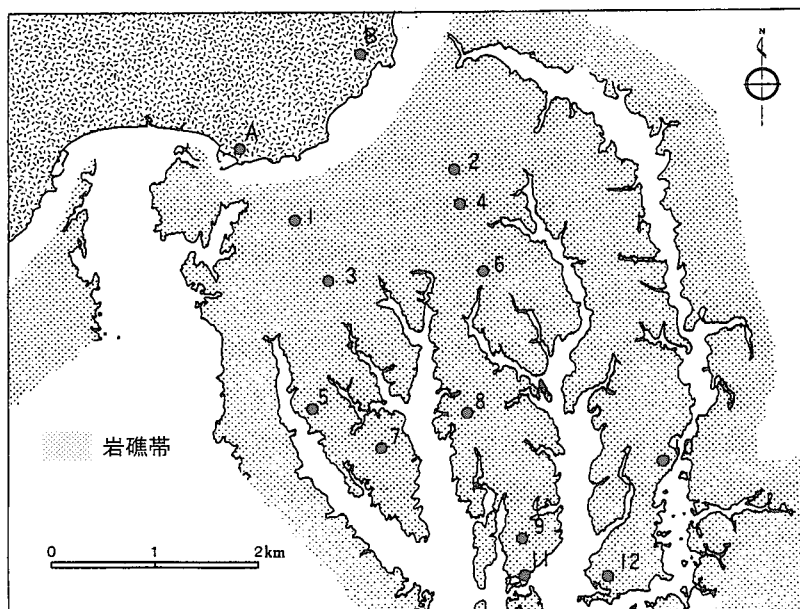
日射量観測地点(A,B)を第1図に示した。測定した光エネルギーの種類は、305~3,000 nm の全天日射量(TR), 395~715nmの光合成有効日射量(PAR)および散乱日射量(DR)である。まず、1979年1月~1983年3月まではA地点で観測したが、その後は当研究所の屋上(B地点)に測器を移し観測した。

TRの測定には全天日射計を、DRの測定には同じ全天日射計に散乱リングを装着したものを使用した。また、PARの測定には、2種のカットオフ・フィルターで受感部を被覆した2台の波長別日射計を使用した。各測器の出力定数はいずれも5mV/cal・cm²・分であり、瞬間値と一定時間内(この場合30分間)の積算値がそれぞれアナログ記録されるようにシステム化されている。

2. 海藻調査

当研究所が作成した海底状況図(海洋生物環境研究所, 1982)に基づいて、まず、水深5, 10, 20, 30, 40, 50mの水域からそれぞれ2つの調査場所を選定した。これらの設定場所、およびその周辺で調査船上から超高感度TVカメラを下して海藻の分布状況を観察し、海藻の存在が確認できた場所を調査地点とした(第2図)。したがって、実際の調査地点の水深は上記の値とは多少異なった(第1表)。

潜水作業を開始する前に、ほぼ水深と等しい長さのロープの一端に浮標物を、他端に土のうを取り付けて調査地点に投下し、固定した場所で、スキューバ潜水により海藻の分布状態や海底地形等について目視観察を行うとともに、水中スチール写真撮影を行った。さらに、観察された海藻のうち、アラメ、カジメについては大きさ別に代表的な個体を採集した。調査地点の水深は、調査時における海面から海底までの距離とし、船上から水深計を投入することによって測定した。また、同時に水温の鉛直分布測定を実施した。採集した海藻については全て研究所に持ち帰り、調査地点ごとに種名を調べ、アラメ、カジメについては解析に必要な項目を測定した。調査日時等は第1表に示したとおりである。



第2図 海藻調査定点位置 (1~12)

第1表 調査日時と調査定点の水深

調査日	St.No.	調査時間帯	水深(m)
1983年	9	10:46~11:15	39
11月28日	11	11:49~12:15	48
	12	13:12~13:32	46
	1	14:35~15:00	5
	2	15:15~15:36	5
11月29日	10	10:46~11:10	44
	8	11:45~12:15	29
	7	12:32~12:50	28
	3	13:15~13:34	13
11月30日	4	14:10~14:40	12
	5	09:46~10:12	23
	6	10:37~10:59	21

IV. 調査結果と考察

植物の生長にはその生育の場が陸上であると水中であるとを問わず共通して、光、温度、栄養素に関する環境状態の適否が最も重要な条件となっている。ここでは、海中の光エネルギー分布から、アラメ、カジメを対象とした場合の生育深度について検討した。

1. 光エネルギーの鉛直分布

海中での観測にはいろいろな障害が伴い、長期間のデータ取得が難しい項目も多い。とりわけ光学的データに関しては、測器の取り扱いの面から、長時間の観測が不可能であり、海藻等について論議する場合、これに耐えられる十分な光データを測定・収集することは極めて難しい。

ここでは陸上で測定した日射量の値から、海中に入射する光エネルギーの推定を試みた。なお、計算に必要な光エネルギーの陸上および海中における特性、ならびに推定手法についてはすでに筆者らが報告している(古川・須藤, 1983)ので、ここではそれらに関する概要について述べる。

海面に到達した光エネルギーは、次のような各種の過程にしたがって伝達される。まず海面に到達した光エネルギーのうち、その一部分は海面で反射されて大気中に戻される。残りのエネルギー(E_{00})は海中に入射して、吸収・散乱によるエネルギーの逸散現象を経ながら下層に伝播する。筆者らの測定では、下層に伝播するエネルギーの60~70%は極表層部で吸収されることがわかっている。菱田(1954)によれば、900nm以上の波長帯のエネルギーは、蒸留水中でも1m以内でほとんど吸収され、全エネルギーの1%以下になるとされている。このことから、極表層部を除くと、それより下層に伝達される光エネルギーの大部分は可視域のエネルギーに依存していると考えられる。また、海中に含まれる懸濁物質、溶存物質の光学的性状等が季節、場所によって異なることから、海中における光エネルギーの減衰度合は時間的、空間的に変化する。

海中に入射した光エネルギーの任意の深さ(Z)における上方向の値を E_u 、下方向の値を E_d とし、それぞれに対する消散係数を K_u 、 K_d とすると、これらの関係は、(1)、(2)式のように表すことができ、Lambertの法則と呼ばれる。

$$K_u = -\frac{1}{E_u} \frac{dE_u}{dZ} \dots\dots\dots(1)$$

$$K_d = -\frac{1}{E_d} \frac{dE_d}{dZ} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 K_u 、 K_d は水深(Z)がある深さ以上になると、よく混合した水中では、水深と方向には無関係なある一定の値になるという(Preisendorfer,1960)。さらに、ある深さで浅(表層水中)においては、前述のように赤色～赤外域の日射フラックスのほとんどが吸収され、また日射フラックスが太陽高度に強く依存していること等から、この水深帯での光エネルギーは急激に変化する。そのため、ここにおける光エネルギーの減衰には、Lambertの法則を適用することが難しく、表層部における光フラックスの取り扱いが極めて厄介である。陸上の日射観測値から推定する場合には、この表層部における光減衰をどのように取り扱うかが、それ以深のエネルギーに大きく影響する。

極く表層部における光の指向性については、Jerlov(1976)から、単純化した第一次近似として(3)～(6)式で表すことができる。

$$E_{d0} = E_0(1-a) \dots\dots\dots(3)$$

- E_{d0} : 海面直下における光エネルギー
- E_0 : 海面到達光エネルギー
- a : 海面の反射率

$$E_{dz} = E_{d0} e^{-c} \dots\dots\dots(4)$$

- E_{dz} : 水深 Z における光エネルギー

$$c_s = c \cdot \cos j \dots\dots\dots(5)$$

- c_s : 天頂方向の消散係数
- j : 日射の屈折角

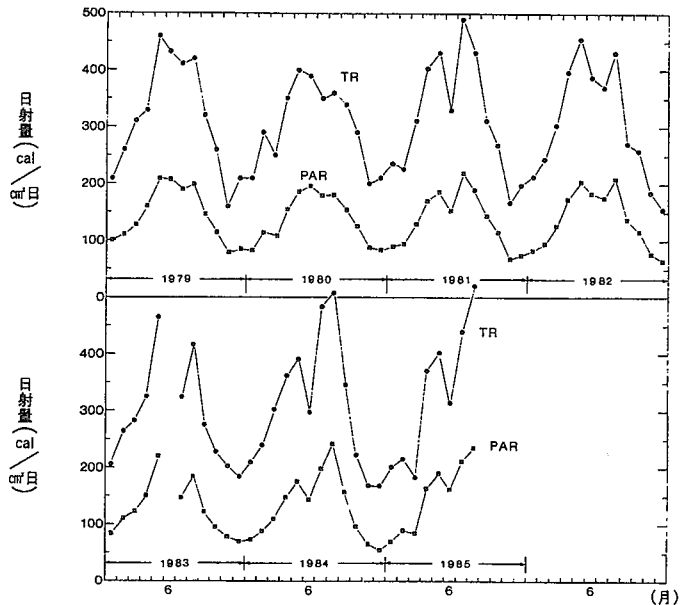
$$\cos j = (1 - 0.563 \cos^2 h_0)^{1/2} \dots\dots\dots(6)$$

- h_0 : 太陽高度

そこで、(1)～(6)式の関係より陸上で測定した395～715nmの波長域における日射量(光合成有効日射量: PAR)を用いて、このエネルギーが海中に伝達される量を水深別に推

定した。

第3図は日射量観測地点(第1図)で得た1979年1月～1985年8月までのTR, PARの測定結果である。月平均値では, PARはTRの約40～50%であり, 曇天日の多い月ほどこの比率は高くなる。夏季には大気中のエロゾル粒子が多くなり, PARの波長帯が多く含まれる散乱光(DR)の割合が増加するためである。ここでは各月の平均的なエネルギー分布を推定することにして, これに必要な諸量のうち, 太陽高度, 日照時間をそれぞれ各月の中央日における値とし, 海面に到達するPAR(E_0)には観測期間を通して30分間ごとに平均した日射量を使用した。また, 海面の反射率(a)には, 当海域で筆者らが測定した値より求めた関係式を使用した(古川・須藤, 1979, 1980)。なお, 海面から1mまでの光減衰過程については(3)～(6)式を適用し, それ以深の光エネルギーについては(3)～(6)式で求めた値を用いて(1)式の関係より近似した。計算結果を第2表に示した。これらの推定値から各日射量の比率を求めたものが第4図である。海面に到達したTRに対して, 水深1mに到達するPARの割合は, 28.7%(12月)～36.2%(6月)の間で変化し, 平均は33.3%であった。これらの値は当海域における実測値(古川・須藤, 1979, 1980)とほぼ一致した。



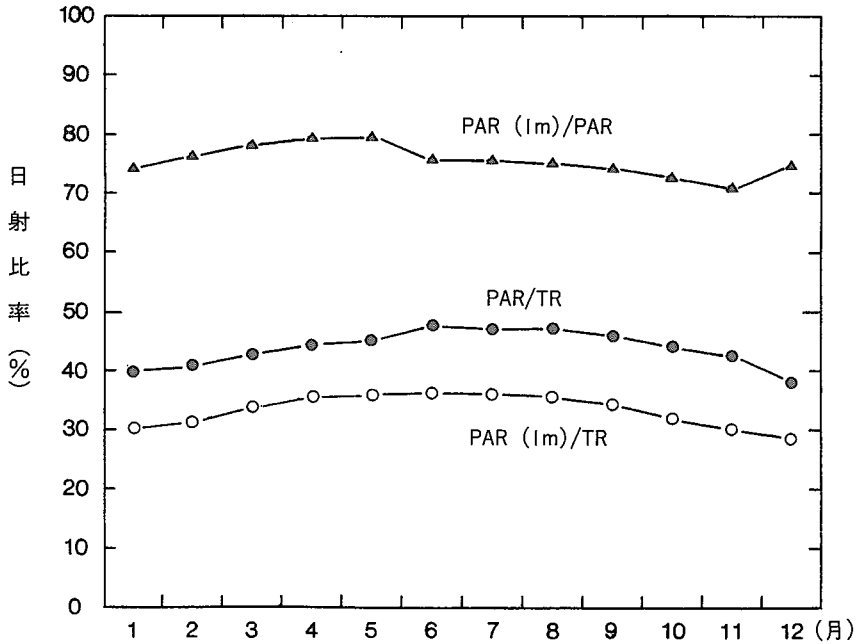
第3図 千葉県御宿地方における全天日射量(TR)と光合成有効日射量(PAR)の月別平均値の変化(1979～1985)

海面到達PARに対する水深1mのPARの割合は、70.7%(11月)~79.7%(5月)の範囲で、平均75.6%であった。石川ら(1988)は、神奈川県小田和湾における実測値をプロットして得た光エネルギーの分布から、海面直下のPAR(400~700nm)を外挿した値と、海面上の光エネルギーとの割合を求め、測定時点によってバラツキはあったが、平均79%であったとしている。

海中における光の減衰に最も強く影響する要因は懸濁物質の光学的性状であり、これは場所、季節によってかなり異なることがわかっている(古川ら, 1961; 井上, 1977; 須藤・古川, 1992など)。また、懸濁物質の濃度によって光の減衰率は大きく変化する。本報で推定した水深1mにおけるPARと海面到達PARとの平均比率(75.6%:水深1m)と石川ら(1988)が実測から外挿した平均比率(79%:水面直下)とはかなりよく一致した結果とみなし得るが、海中懸濁物質の光学的性状、濃度等との関係からこの値を検討していくことが今後の課題であろう。

第2表 調査海域の海中に入射する月平均光エネルギー (cal/cm²・分)

水深	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
海面	1.3×10 ⁻¹	1.4×10 ⁻¹	1.6×10 ⁻¹	2.0×10 ⁻¹	2.2×10 ⁻¹	2.0×10 ⁻¹	2.1×10 ⁻¹
1 m	1.1×10 ⁻¹	1.2×10 ⁻¹	1.4×10 ⁻¹	1.7×10 ⁻¹	1.9×10 ⁻¹	1.6×10 ⁻¹	1.7×10 ⁻¹
5	6.0×10 ⁻²	6.5×10 ⁻²	7.5×10 ⁻²	9.2×10 ⁻²	1.0×10 ⁻¹	7.3×10 ⁻²	7.5×10 ⁻²
10	2.9×10 ⁻²	3.1×10 ⁻²	3.5×10 ⁻²	4.3×10 ⁻²	4.8×10 ⁻²	2.7×10 ⁻²	2.8×10 ⁻²
15	1.3×10 ⁻²	1.5×10 ⁻²	1.7×10 ⁻²	2.0×10 ⁻²	2.3×10 ⁻²	9.9×10 ⁻³	1.0×10 ⁻²
20	6.4×10 ⁻³	6.9×10 ⁻³	7.9×10 ⁻³	9.6×10 ⁻³	1.1×10 ⁻²	3.6×10 ⁻³	3.7×10 ⁻³
30	1.4×10 ⁻³	1.5×10 ⁻³	1.8×10 ⁻³	2.2×10 ⁻³	2.4×10 ⁻³	4.9×10 ⁻⁴	5.1×10 ⁻⁴
40	3.2×10 ⁻⁴	3.4×10 ⁻⁴	3.9×10 ⁻⁴	4.8×10 ⁻⁴	5.4×10 ⁻⁴	6.7×10 ⁻⁵	6.9×10 ⁻⁵
50	7.1×10 ⁻⁵	7.7×10 ⁻⁵	8.8×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁴	1.2×10 ⁻⁴	9.0×10 ⁻⁶	9.2×10 ⁻⁶
水深	8月	9月	10月	11月	12月	平均	
海面	2.3×10 ⁻¹	1.8×10 ⁻¹	1.7×10 ⁻¹	1.1×10 ⁻¹	1.2×10 ⁻¹	1.7×10 ⁻¹	
1 m	1.8×10 ⁻¹	1.4×10 ⁻¹	1.3×10 ⁻¹	8.8×10 ⁻²	9.8×10 ⁻²	1.4×10 ⁻¹	
5	8.1×10 ⁻²	6.4×10 ⁻²	5.9×10 ⁻²	4.0×10 ⁻²	4.3×10 ⁻²	7.0×10 ⁻²	
10	3.0×10 ⁻²	2.4×10 ⁻²	2.2×10 ⁻²	1.5×10 ⁻²	1.6×10 ⁻²	3.0×10 ⁻²	
15	1.1×10 ⁻²	8.7×10 ⁻³	8.0×10 ⁻³	5.4×10 ⁻³	5.8×10 ⁻³	1.3×10 ⁻²	
20	4.1×10 ⁻³	3.2×10 ⁻³	2.9×10 ⁻³	2.0×10 ⁻³	2.1×10 ⁻³	5.6×10 ⁻³	
30	5.5×10 ⁻⁴	4.3×10 ⁻⁴	4.0×10 ⁻⁴	2.7×10 ⁻⁴	2.8×10 ⁻⁴	1.1×10 ⁻³	
40	7.4×10 ⁻⁵	5.9×10 ⁻⁵	5.4×10 ⁻⁵	3.6×10 ⁻⁵	3.8×10 ⁻⁵	2.3×10 ⁻⁴	
50	1.0×10 ⁻⁵	8.0×10 ⁻⁶	7.3×10 ⁻⁶	4.9×10 ⁻⁶	6.3×10 ⁻⁶	4.8×10 ⁻⁵	



第4図 日射比率の月別平均値の変化(1979~1985)
 PAR(1m)：海面下1mの光合成有効日射量(推定値)
 TR, PAR海面致達全天日射量と光合成有効日射量(実測値)

さらに、光合成有効日射比率(PAR/TR)についても、第4図に示したように、当海域の場合には年間を通じて、38.8%(12月)~47.7%(6月)まで変化した。全天日射量(TR)からPARを推定する際には、期間、場所等と対応して、使用する比率に注意することが必要である。

筆者らが陸上の2地点で連続観測した4年間にわたるTR, PARの月別平均値を用いてPAR/TRを計算し、これらの値から季節別平均値を求めた結果を第3表に示した。年による相違は比較的小さいが、場所、季節による差は無視しがたい。

2. アラメ、カジメの鉛直分布

潜水調査によって採集された海藻(草)は全部で27種類、定点別出現状況は第4表に示すとおりであった。また、同時に測定した水温の鉛直分布を第5表に示した。調査時の水温は、16~20℃の範囲にあって、当海域の特徴を反映して沖合で多少高くなる傾向にあった。

第3表 季節別光合成有効日射比率 (PAR/TR)
(古川・須藤, 1983より)

季節	年	荒崎測点 ¹⁾	岩和田測点 ²⁾
冬	1979	0.42	0.46
	1980	0.42	0.41
	1981	0.42	0.41
	1982	0.37	0.40
春	1979	0.46	0.48
	1980	0.47	0.47
	1981	0.47	0.45
	1982	0.44	0.45
夏	1979	0.53	0.49
	1980	0.53	0.52
	1981	0.49	0.45
	1982	0.50	0.48
秋	1979	0.48	0.47
	1980	0.47	0.46
	1981	0.46	0.45
	1982	0.48	0.48

1) 神奈川県横須賀市荒崎地方

2) 千葉県夷隅郡御宿地方

アラメは水深約12mのSt.4まで採集されたが、それ以深では採集されなかった。ただし、St.4で採集されたものは茎長1.7mの大型個体であったことから、さらに12m以深にも生育しているであろうと推測される。

一方、カジメは水深約5mのSt.1から水深約48mのSt.12まで、全定点で採集された。採集個体の大きさは深さによって特徴的に異なっており、水深10m以浅および30m以深では小型個体³⁾が、水深10~30mの間では小型個体と大型個体が混在していた。定点ごとに撮影したスチール写真の一部を第5図に示した。

アラメ、カジメの茎長を採集水深に対して表示したものが第6図である。アラメはカジメの場合とは分布状態が異なり、水深5m前後の浅い水域でも大型個体が生育していた。一般に、アラメの生育深度はカジメよりも多少浅いと言われている。

カジメの場合には水深20m前後のところで最大茎長の個体が出現した。この水深帯から離れるにしたがって個体の大きさは小さくなったが、その変化の度合は約10m以浅および約30m以深から急になり、これらの水域から採集された個体は茎長30cm以下のもの

第4表 調査海域で採集された海藻・草 (1983.12.28~30)

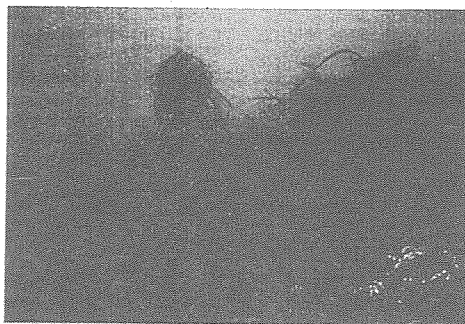
種名	調査点											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1) エビアマモ	○	○			○							
2) アラメ	○	○		○								
3) カジメ	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4) イチメガサ							○			○	○	○
5) オノアナメ										○	○	○
6) オバモク	○											
7) ノコギリモク	○	○	○	○		○						
8) ユイキリ				○								
9) ヒラクサ						○	○	○	○		○	○
10) エツキイワノカワ		○	○									
11) タンバノリ				○								
12) ホソバノトサカモドキ	○		○	○	○				○	○		
13) ユカ	○		○		○	○				○		○
14) キジノオ		○			○							
15) ヤツデガタトサカモドキ						○	○					
16) オバキントキ					○							○
17) ナガキントキ					○	○	○	○		○		○
18) ホウノオ												○
19) ベニスナゴ												○
20) アツバノリ						○	○		○	○	○	○
21) ハスジグサ						○	○	○		○	○	○
22) フタツガサ											○	
23) フサネカサネグサ										○		
24) イソシノブ						○						
25) カギウスバノリ											○	
26) ハスジギヌ					○	○				○		
27) ヒオドシグサ												○

1) 海産顕花植物 2)~7) 褐藻類 8)~27) 紅藻類

第5表 水温測定結果 (1983.11.28~30)

水深 (m)	調査点											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	17.9	—	17.9	18.2	18.3	18.3	20.0	19.6	19.0	19.7	—	19.0
5	18.1	—	17.9	18.2	17.7	18.0	20.0	19.3	19.1	19.4	—	19.0
10			18.0	18.2	16.8	17.2	19.2	18.8	19.0	19.2	—	19.0
15					16.6	16.8	18.3	18.3	18.8	18.6	—	19.0
20					16.6	16.4	18.3	18.0	18.6	17.9	—	19.0
25							18.1	18.0	18.5	17.6	—	18.5
30								18.0	17.9	17.6	—	18.3
35									16.9	17.5	—	17.9
40										16.9	—	16.4

St.1 (水深 5 m)



St.3 (水深13m)



St.5 (水深23m)



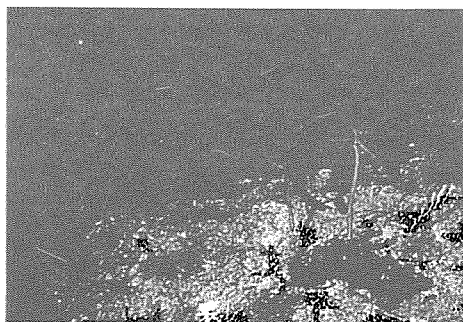
St.8 (水深29m)



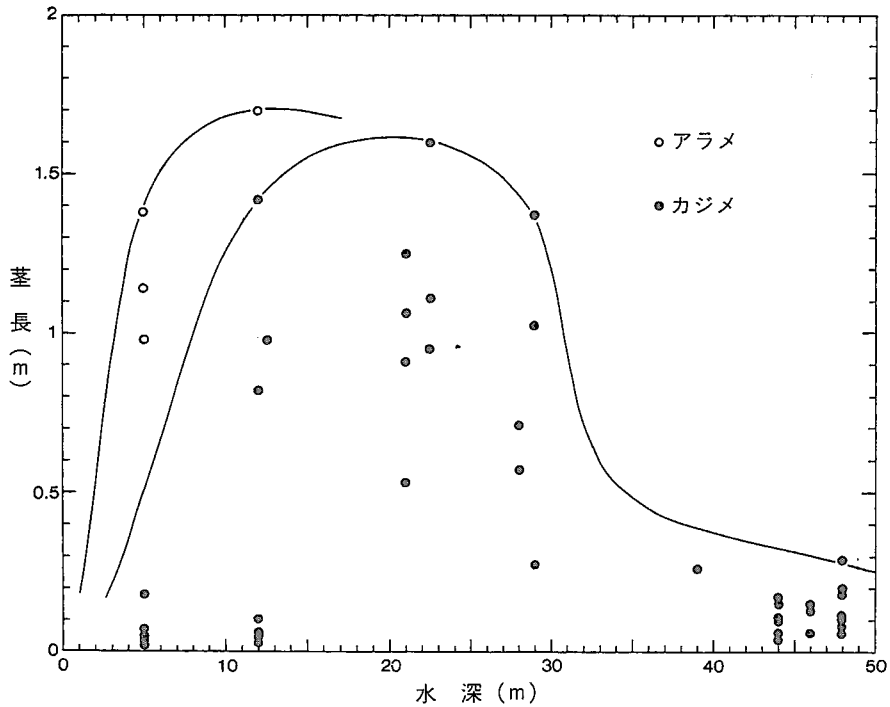
St.9 (水深39m)



St.12 (水深46m)



第5図 水深別アラメ・カジメの分布状況



第6図 各水深ごとに採集されたアラメ・カジメの茎長(—: 推定最大茎長)

であった。また、水深約50mの海域においても同程度の小型個体が採集された。これらの小型個体は幼体であると推定された。一方、大型個体には全て葉上に子嚢斑が認められ、成体であることが確認された。

大型海藻のなかでもアラメ、カジメを生態的側面から調査した報告は比較的多い。そのうち、生育深度に関する記載をいくつか取り上げてみると、例えば、今野(1978)は、当調査海域に近い千葉県安房小湊の湾内における調査結果に基づいて、大型海藻の相対被度75%以上の領域の水平・垂直分布図を作成し、この領域内では、アラメは約4m以浅に、カジメは約10m前後まで分布していたと報告している。喜田・前川(1981)は、三重県志摩半島御座岬周辺の海域では低潮面付近から水深6~7mにかけて大型(茎長40cm以上)のアラメが、水深10m前後になると大型のカジメが優占しており、水深12~15mでは小型(40cm以下)のカジメだけとなり、約30m以深ではほとんどみられなかったと述べている。大野(1983)は、高知県土佐湾で行った調査および喜田・前川(1981)らの報告に

基づいて、一般にカジメの生育帯は干潮帯から水深20mくらいまでに及んでいるが、生育の良いのは水深5～10mの範囲であるとしている。また、田中・田中(1985)は新潟県佐渡島の沿岸域で、超音波機器を利用した調査を行い、藻長2m以上の海藻は水深24m付近まで分布しており、それ以深になると急激に海藻が小型化して、26m以深では海藻の映像が記録紙上からほとんど認められなかったと報告している。

当海域における場合(第6図)も含めて比較すると、アラメ、カジメの生育深度は海域によって多少の相違はあるものの、両種の鉛直分布の傾向にはいずれも類似性のあることがわかる。なかでも喜田・前川(1981)と田中・田中(1985)による測定結果は、当調査海域におけるカジメの分布状態と極めて類似性の高いものであった。なお、場所による生育深度の相違については、海底の基質等を含めた環境要因が海域によってそれぞれ異なっていたためであろうと考えられる。藻場を造成するにあたっては、これらの環境要因と海藻(草)との定量的な関係を十分に把握しておくことが大切であり、そのためには、現在極めて少ないこれらに関連した情報の充実をはかることが必要である。

3. 生育深度と光エネルギー

光が海中を伝播する際には一般に、赤色光は早く吸収されて比較的浅い所でそのエネルギーを失い、深い所では青～緑色のエネルギーが中心になる。これに対して、アラメ、カジメ等の褐藻類は緑藻類に比べると比較的深い所に生育しており、褐藻類は緑・青色の光を、緑藻類は赤色の光を良く吸収すると言われている(新崎, 1976; 横浜, 1982)。このほかに、海底の基質、海水の動き、水温、塩分、栄養素さらには潜在的な競争者の存在や発生等が、それぞれの海藻の分布を規定していることも考えられる。各種の海藻は自然の環境によく適合して生育していると考えられるが、なかでも海中における光エネルギーは、前述のように質的に変化するとともに量的にも水深の増加に伴って減少し、その減少の度合は海域の光学的諸特性によって異なる。水深によるこの変化は、他の環境要因の変化に比べて極めて大きいことから、特に光が弱くなる深所においては、光エネルギーが海藻の分布に関して最も重要な役割りを果たしているであろうと推察される。

前項の計算結果(第2表)とアラメ、カジメの鉛直分布(第6図)から推定した最大茎長の値を用いて、各水深における両種の最大茎長と光エネルギーとの関係を示したものが第7図である。図中、横軸の光エネルギーには第2表中の年平均値を用いた。

アラメの採集個体数は不十分であったが、生長が良好である水深帯の光エネルギーは、

$1 \times 10^{-2} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}$ ($29.3 \mu \text{ E/m}^2 \cdot \text{秒}^*$)程度であろうと推定された。

一方、カジメの生長が良好であった水深帯の光エネルギーは、約 $3 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}$ ($8.79 \sim 29.3 \mu \text{ E/m}^2 \cdot \text{秒}^*$)を中心とした $1 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}$ ($2.93 \sim 87.9 \mu \text{ E/m}^2 \cdot \text{秒}^*$)の範囲で、この範囲をはずれると個体の大きさは急速に小型になった。

アラメ、カジメの生育と光エネルギーとの関係について、Maegawa et al.(1988)が、志摩半島沿岸および伊豆鍋田湾のアラメ、カジメ群落を対象にして日補償点を推定した報告がある。これによると、海面の光強度に対する相対値として表した日補償光強度は、アラメ幼体では約1.1%，カジメ幼体では約0.6%となり、これらの値は海藻生育場における測定結果とよく一致したと述べている。

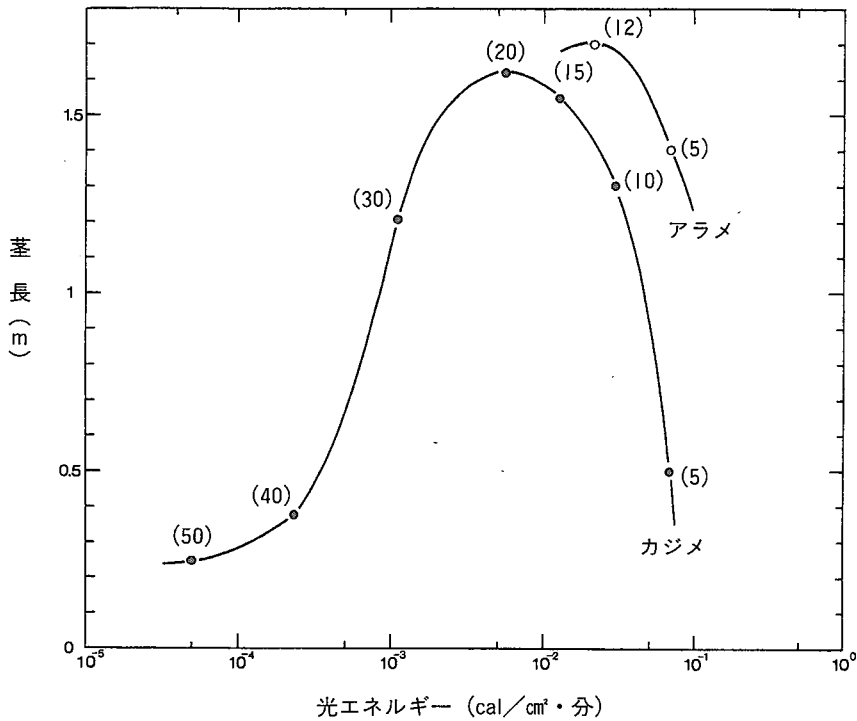
鍋田湾のアラメ、カジメ群落から採集した試料を用いて、生理的な光合成に関する実験を行った有賀(1981, 1982, 1983)によると、アラメ、カジメの光合成—光曲線は兩種ともほとんど同じで、約10Klux ($5.9 \times 10^{-2} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}^{**}$)でほぼ光飽和に達し、30Klux ($1.8 \times 10^{-1} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}^{**}$)まで光合成速度の低下はほとんど認められなかったとしている。当調査海域における年平均的な光エネルギー分布からみた場合には、これらの光強度は、約10m以浅の水域における値と対応しており、さらに生長に関して適切な光エネルギーという点では、アラメ、カジメに関する当調査結果を最大茎長のみから判断する限り、約半オーダーから1オーダー高くなっている。

また、柳瀬ら(1982)のカジメ幼体(葉長80～300mm)を用いた実験結果では、生長は7Klux ($4.1 \times 10^{-2} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}^{**}$)～15Klux ($8.8 \times 10^{-2} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}^{**}$)で良好で、90lux ($5.3 \times 10^{-1} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}^{**}$)の弱光下では1ヶ月で、60Klux ($3.5 \times 10^{-1} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}^{**}$)の強光下では2ヶ月でそれぞれ消失したと報告している。これらの値のうち、生長が良好であったとされる光強度は、成体について実験した有賀(1981, 1982, 1983)の値とほぼ同じであり、また有賀(1982)も成体と幼体はいずれも約10Kluxで光飽和に達すると述べている。

いずれの実験結果とも、アラメ、カジメの生長が良好であったとされる光強度は、第7図の関係と比較してかなり高い値である。実験では同じ強度の光を連続して照射することが³できるが、現実の海中ではこれは常時変化している。筆者がこれまでにいろいろ

* $1 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分} = 2.93 \times 10^3 \mu \text{ E/m}^2 \cdot \text{秒}$ から換算した値

** Steemann Nielsen(1975)より、380—720 nmに対する換算値を用いて計算した値



第7図 調査海域におけるアラメ・カジメの最大茎長と光エネルギーの関係
()の数字は水深:m

な海域の沿岸帯で測定したデータに基づくと、比較的清澈な海域でも水深10m以深になると、光強度は10Klux ($5.9 \times 10^{-2} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}^{**}$) 以下のレベルであった。因に、当調査海域で静穏な日の沿岸より約3 km以上沖合の水域で測定した光強度の1例（古川・須藤, 1981）では、水深10mにおける値は1~10Kluxの範囲にあり、またこの値は第7図の関係を満たすものであった。これに対して、アラメ、カジメは多くの沿岸域で、水深10m以深においても現実に生育しており、当調査海域の場合でも水深20m付近で最も大型のカジメが観察された。

同様のことが下田湾において海藻の光合成と温度の関係を調べた横浜(1982)によって述べられている。下田湾の海水温度は、冬は約13°C、夏は約25°Cであるのに対して、海藻の光合成最適温度は、夏・冬ともかなり高い。通常、海藻は光合成最適温度よりもかなり低い温度の海水中で生活しているため、光合成の最適温度に比べて10°C前後も低い冬の海中のほうが海藻はよく生長することになる。このことは、光合成の温度が生育の

適温ではなく、生長の適温は光合成の最適温度よりかなり低いところにあることを示している。こうした傾向は、少なくとも水中で生活する藻類に一般的なものであるらしいと述べている。これらの点を考慮すると、実験データを実際の場における海藻群落にそのまま適用することには問題があるように思われる。

生育深度の問題は、藻場造成を進めるにあたって、実際に水深何メートルまでの水域を対象にすればよいかという点から把握されていなければならない条件の1つである。生態学的調査に基づいた経験的な生育深度に関する記載については先に示したとおりであるが、これをさらに場所に依存しない定量的かつ普遍的な方法で推定することが望ましい。これには各種の要因を取り入れたモデルを用いて計算することも1つの方法であると考えられるが、その際には要因の決定とその関連性などに絡んだ沿岸域特有の複雑さから、逆にモデルの運用が困難になるおそれもある。このような意味から現時点では、海藻の分布水深帯に最も大きな影響を与えていると考えられる光エネルギーからある程度の推定を立て、その結果についてさらに場所の特性等を考慮した試行錯誤的修正を加えていく方法が現実的であり、より妥当な結果が得られるものと考えられる。

生育深度の上限となる水域では、気象、海象の変化によって環境条件は大きく変化する。当調査海域の場合、荒天の日には海岸線から数100m沖合までが碎波帯となり、この範囲は極度に濁った水域となる。またここでは濁りのほかに、波浪の要因が海藻の生育に影響しているものと考えられる。これらの環境変化の度合は時間的に、また地域的にも著しく異なっていると同時に、推定した海中の光エネルギーもこの水域では不正確になる可能性が高く、場所によっては波浪等の光以外の要因が生育深度の上限により強く影響していることも考えておかなければならない。これらのことから、上限を定量的な方法で推定することは極めて難しい。現状では詳細な現場調査のデータに基づいて、経験的な方式から推定するのが最も適切であろう。

一方、生育深度の下限に関しては水深が比較的深いことから、この水域では、上限となる水域ほどには大きな環境変化が生じない。そのため、ここでは理論的な方法を適用し易い。仮に、上記の方法に準じて光エネルギーとの関係から検討していく場合には、先に述べたような実験データに対する解釈を踏まえたうえで、対象となる海藻の光補償点の値を知っておくことも必要である。ただし、多くの場合このような値が得られている例は稀である。アラメ、カジメに関しても同様である。そこで、前述の柳瀬ら(1982)の実験から、幼体が消失する光強度、 90lux ($5.3 \times 10^{-4} \text{cal/cm}^2 \cdot \text{分}^{**}$)を参考にしながら

ら、第7図に示したカジメに関する調査結果についてさらに若干の考察を加える。

カジメの大きさは水深約30m付近、光エネルギーにすると $1 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}$ 程度のところから急速に小さくなっていたが、水深約50m、光エネルギーでは約 $5 \times 10^{-5} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}$ のところでも、密度は粗であったがカジメが出現していた。柳瀬ら(1982)による光強度(90lux)は、第7図では丁度、カジメの分布状態が急速に変化する領域で、水深約35m付近に当たっている。このことから、多少おおまかではあるが、ほぼこの光強度が現場海域におけるカジメの生育下限深度を推定するうえでかなり有効な値になるであろうと考えられる。

約40~50mの水深帯に生育していた小型のカジメは全て幼体であると推定されたが、これらのものが将来大型個体に生長するか否かという点が、生育下限を決めるうえで重要なポイントとなる。この点に関して論議できるデータはないが、光、水温等の条件を考慮すると、おそらく大型個体にまで生長することはないものと考えられる。

海中では各種の要因が複雑に関連し合っていることから、厳密に境界を決定することはできないが、上記の事柄を考慮して判断すると、当調査海域でカジメが生育できる下限は水深35m前後で、光エネルギーの値では $5 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{分}$ 程度であろう。

実験データと現場データとを一対一に対応させて論じることについては先に指摘したとおりであるが、これまでに述べてきた当調査結果のなかにも現場調査に伴う各種の難しい問題点が含まれている。そのなかから、今後検討していかなければならない主な事項として、次のような点をあげることができる。

①海中に入射した光エネルギーを推定する際に必要となる諸量のうち、海面到達日射量(E_0)のデータを取得することは、陸上の観測から比較的容易であるのに対して、海面の反射率(a)、消散係数(c)は、海面の状態、天候等によって異なることから、長期間にわたり条件に適った適切な値を取得することは事実上不可能である。この報告では、これらのパラメータを直接測定したいくつかの値からの推定値を使用した³が、測定が比較的容易な他項目(例えば懸濁物質濃度等)との関係から推定することも一つの方法である。また、海中に入射する光の波長は水深の増加に伴って異なるので、この点に関しても今後検討していかなければならない。

②海藻調査に際しては、できる限り広範囲に定点を設けることが望ましい。そこで田中・田中(1985)が用いたような機械的調査手法を併用すれば、さらに精確な情報を取得できることも考えられる。ただし、現状における超音波探知機には、海藻と海底との判

別，大きさに対する分解能等に関してまだ種々の問題があり(Mitson, 1983)，潜水調査との併用が必要不可欠である。当海域における調査は，まず最初の子察的なものとして実施されたもので，定点の数と位置および方法等について今後吟味を要する点も多く残されている。

以上に述べたほかにも，実際の場合には，海藻の生育に関係している要因として波浪，食害など，多くの条件が付帯している。この報告では光エネルギーの条件のみから，アラメ，カジメの生育深度を推定することに限定して，予察的に試みた結果を示したが，既存の資料との比較・検討の結果から，ここで述べた方式を用いることによって，海藻が生育できる水深帯，主として生育下限をおおむね予測することができると考えられる。なお，それには必要となるパラメータをより現実に即したのものとして測定・収集することが重要である。

引用文献

- 新崎盛敏(1976). 海藻. 海藻・ベントス(海洋科学基礎講座5), 東海大学出版会, 1-147.
- 有賀祐勝(1981). アラメ・カジメの生理特性. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランディング計画), 昭和55年度 I - 6 課題研究成績報告書. 水産庁南西海区水産研究所, 29-34.
- 有賀祐勝(1982). アラメ・カジメの生理特性. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランディング計画)プログレス・レポート, 有用海藻群落(2). 水産庁南西海区水産研究所, 19-23.
- 有賀祐勝(1983). アラメ・カジメの生理特性. 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランディング計画), 昭和57年度 I - 6 課題(有用海藻群落)研究成績報告書. 水産庁南西海区水産研究所, 19-27.
- Dennison, W. C. (1987). Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. *Aquat. Bot.*, 27: 15-26.
- 古川 厚・野上和彦・久岡 実・小笠原義光・岡本 亮・小林歌男(1961). 海中懸濁物質並びに主としてその点から見た貝類養殖場の特性に関する研究. 内海区水産研究所報告, 第14号, 151pp.
- 古川 厚・須藤静夫(1979). 昭和53年度農林水産省委託事業報告 浅沿海水内の太陽エネルギー分布に関する事業報告書. (財)海洋生物環境研究所, 70pp.
- 古川 厚・須藤静夫(1980). 昭和54年度農林水産省委託事業報告 浅沿海水内の太陽エネルギー分布に関する事業報告書. (財)海洋生物環境研究所, 49pp.
- 古川 厚・須藤静夫(1981). 昭和55年度農林水産省委託事業報告 浅沿海水内の太陽エネルギー分布に関する事業報告書. (財)海洋生物環境研究所, 61pp.
- 古川 厚・須藤静夫(1983). 昭和57年度農林水産省委託事業報告 浅沿海水内の太陽エネルギーの分布. (財)海洋生物環境研究所, 140pp.
- 菱田耕造(1954). 海水の濁りに関する研究: 特に輻射量との関係について. 日本海洋学会誌, 9 (3): 143-180.

- 石川雄介・川崎保夫・本多正樹・丸山康樹・五十嵐由雄(1988). 電源立地点の藻場造成技術の開発, 第9報 水中の光条件に基づくアマモ場造成限界深度の推定手法, 電力中央研究所報告, 20pp.
- 井上祐雄(1977). 備讃瀬戸中～東部海域における濁りとその構成. 文部省特定研究, 瀬戸内海中部海域における漁場悪化現象の解明, 香川大学農学部, 3-16.
- Jerlov, N. G.(1976). *Marine optics*. Elsevier Scientific Publishing, Company, Amsterdam. 231pp.
- 海洋生物環境研究所(1982). 千葉県御宿町地先(共同漁業権漁場)海底地形調査報告書. 38pp.
- 今野敏徳(1978). 海藻群落の構造と遷移. 水産土木, 15(1):49-52.
- 喜田和四郎・前川行幸(1981). アラメ・カジメの群落構造, 近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランチング計画), 昭和55年度I-6課題研究成績報告書, 15-28.
- Maegawa, M., Kida, W., Yokohama, Y. and Aruga, Y.(1988). Comparative studies on critical light conditions for young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*. *Jpn. J. Phycol.*, 36:166-174.
- Mitson, R. B.(1983). *Fisheries sonar*. Fishing News Books Ltd. Farnham, Surrey, England. 287pp.
- 大野正夫(1983). カジメ海中林の造成. 水産の研究, 2(5):97-102.
- Preisendorfer, R. W.(1960). Application of radiative transfer theory to light measurements in the sea. Symp. Radiant Energy in the Sea, Helsinki, 1960, *I.U.G.G. Monger.*, 10:11-29.
- Steemann Nielsen, E.(1975). *Marine photosynthesis with special emphasis on the ecological aspects*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 141pp.
- 坂本 巨・柏井 誠・小松輝久(1985). ガラ藻場における物理環境の日周変化と粒状物の捕捉機構. 文部省〔環境科学〕特別研究. 37pp.
- 須藤静夫・古川 厚(1992). 沿岸浅海域における海中懸濁物質と溶存有機物の光学的特性. 海生研報告, No.92301:1-29.
- 田中 實・田中邦三(1985). 沿岸浅海域の海藻現存量の推定, I 超音波機器による海藻類の推定. 水産土木, 21(2):17-23.
- 柳瀬良介・佐々木正・河尻正博・影山佳之(1982). カジメ群落維持に関する研究. 静岡県水産試験場伊豆分場, 1-24.
- 横浜康継(1982). 海藻の謎. 三省堂. 235pp.