

## 北海道根室半島沿岸の水中光量子量 —コンブ目藻類の生育限界水深との関係—

坂西芳彦<sup>1</sup>・飯泉 仁<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人水産総合研究センター・北海道区水産研究所  
(085-0802 北海道釧路市桂恋 116)

<sup>2</sup> 現所属：独立行政法人水産総合研究センター・日本海区水産研究所  
(951-8121 新潟県新潟市水道町 1-5939-22)

Yoshihiko Sakanishi<sup>1</sup> and Hitoshi Iizumi<sup>1,2</sup> : Underwater quantum irradiance at the Pacific coast of Nemuro Peninsula, Hokkaido : relationship between underwater light level and lower depth limit of laminariales plants. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 52: 141-148, Nov. 10, 2004

By using data logger for underwater quantum irradiance, incident PAR was measured at intervals of 10 min. throughout a year in the subtidal zone at the Pacific coast of Nemuro Peninsula, Hokkaido. The monthly average of daily PAR at the depth of 6.0m (below mean sea level) showed the minimal value of 0.3 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> in March, and increased to reach the maximal value of 4.5 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> in July. Incident PAR showed a similar seasonal change in PAR on land, except for the period from March to April. Extremely lower value of incident PAR in March may be partly attributed to shading by sea ice cover at the measuring site. On the basis of the data for underwater radiation, productivity of *Laminaria coriacea* Miyabe under *in situ* light condition were discussed. The growing depth limits of individuals of a kelp (*Agarum cribrosum* Bory) near the study site was 16 m. At this depth annual incident PAR was 0.2% of surface irradiance, which is lower than the annual PAR (0.4-1.4% of surface irradiance) received at growing depth limits of laminariales plants in several different geographical coastal waters. The data obtained in the present study will contribute important ecological information on productivity and depth limits of marine macroalgae including the Laminariales.

Key index words : *Agarum cribrosum*, *attenuation coefficient*, *Lambert-Beer's law*, *Laminaria coriacea*, *depth limits*, *PAR*, *photosynthesis*

<sup>1</sup>Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 116 Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido 085-0802, Japan

<sup>2</sup>Present address : Japan Sea National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 1-5939-22 Suido-cho, Niigata, Niigata 951-8121, Japan

光は漸深帯に生育する海藻の分布を制限する物理化学的要因の中で最も重要な制限要因の一つである。Lüning & Dring (1979) は、北海のヘルゴランド島沿岸の水中光量子量の測定結果をもとに、同島沿岸のコンブ目の生育限界や無節石灰藻(紅藻)で代表される多細胞藻類の生育限界まで到達する光量(水面上の値に対する相対値)が地理的に異なる海域のそれとほぼ同じレベルであることを明らかにし、水中光量子量による多細胞藻類の生育限界推定の可能性を論じている。一方、本邦産のコンブ目及びヒバマタ目藻類では、水中の光環境と光合成—光特性との関係を解析することにより、天然で観察される垂直分布に理論的根拠が示されるとともに、光環境からの群落成立の限界水深推定の可能性が示されている(Maegawa *et al.* 1987, 1988, 倉島 1996, 村瀬 2001, Murase *et al.* 2000, 坂西ら 2001a)。また、種々の光条件での光合成—温度特性の解析結果から、温度に関する生理生態特性を理解する上でも現場の光環境を考慮する必要があることがコンブ目藻類で明らかになってきた(倉島ら 1996, 坂西ら 2001b)。このように、大型藻類の生態現象を理解する上での重要性が認識されているにもかかわらず、海藻群落が形成されるような沿岸浅海域において長期にわたり高い頻度でまたは連続的に測定された水中光量子量に関するデータは極めて少ないのが現状である(Lüning & Dring 1979, 坂西ら 2001b)。

そこで、本研究ではメモリー式水中光量子計を使った連続測定により、ナガコンブ *Laminaria longissima* Miyabe およびガッガラコンブ *L. coriacea* Miyabe の漁場である北海道根室半島太平洋岸の浅海域における水中光量子量の周年変動を明らかにするとともに、得られたデータを用いて現場の光環境下でのガッガラコンブの生産力及びコンブ目藻類の生育限界水深についての考察を行なった。

### 材料と方法

水中の光量子束密度は、1999年10月1日から2000年9月30日までの間、北海道根室市歯舞地先の海域(北緯43°19′, 東経145°43′)(Fig. 1)の水深6.0m(平均水面からの水深)の海底に設置したメモリー式光量子計(MPQ-I, 三洋測器, 60 φ × 270 mm)とメモリー式照度計(MDS-L, アレック電子, 18 φ × 127 mm)を用いて測定した。MDS-LはMPQ-Iに搭載されているコサイン型の光量子センサー(QCP-200, Biospherical Instruments)で更正を行い使用した。光量子計は1ヶ月ごとに交換した。海水の吸収係数を計算するために、潮汐の影響を受けて変動する光量子計の設置水深と地上の光量子束密度も同時に測定した。水深は、光量子計のセンサー部分の水深が測定できるように、メモリー水温・水深計(MDS-TD, アレック電子)を光量子計と同じ場所に設置して測定した。水中光

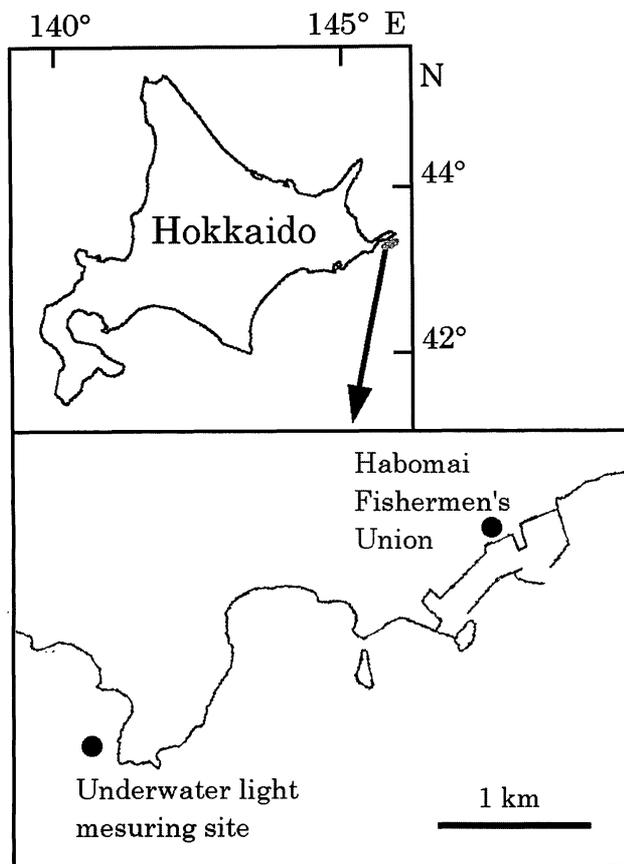


Fig. 1. Maps showing the study sites at the Pacific coast of Nemuro Peninsula, Hokkaido.

量子計の正確な設置水深（平均水面からの水深）は、測定海域に近い花咲港の改正数と非調和定数で更正した満潮・干潮時の潮高（海上保安庁水路部 1999, 2000）と同時刻の水深計の測定値から求めた（Fig. 2）。地上の光量子束密度は北海道根室市歯舞の歯舞漁業協同組合（北緯43°20′，東経145°45′）（Fig. 1）の屋上に設置したコサイン型のセンサー（LI-190SA, LI-COR）を接続したデータロガー（LI-1000, LI-COR）を用いて測定した。地上及び水中の光量子束密度と水深は10分間隔で連続測定した。

日本海洋学会（1979）、Kirk（1994）に従って、海水の吸光係数は以下の式を用いて求めた。

$$k_w = \{ \ln E_d(0) - \ln E_d(z) \} / z$$

$k_w$ は海水の吸光係数、 $E_d(0)$ は水面直下の光強度、 $E_d(z)$ は水深  $z$  (m) における光強度を示す。1日あたりの海表面のアルベド（albedo, 反射率）は40°N付近の中緯度海域では4-11%と報告されているので（Campbell & Aarup 1989）、平均値をとって7.5%とし、1日あたりの地上の光量子束密度の積算値に0.93を乗じた値を $E_d(0)$ に、1日あたりの水中の光量子束密度の積算値を $E_d(z)$ に、実測した水深の昼間の平均値を $z$ に代入して、 $k_w$ を求めた。但し、3月は流氷が接岸している期間があり、海表面の氷による光の反射・吸収が不明であることから吸光係数を算出できなかった。

2000年5月に測定した種々の天候下での地上の光強度、海水の吸光係数（月平均値）、群落の葉面積指数をもとに群落内の藻体表面に到達する光強度を計算し（大山 1998, 倉島 2003, Sakanishi *et al.* 2004）、これらの日周変動データと光合成-光曲線（5月）のモデル式から種々の天候条件下でのガッガラコブの群落の純生産量（5月）を推定した。光合成-光曲線のモデル式は、2000年5月に水中光を測定した海域周辺の水深3mの岩礁地帯から採集したガッガラコブを材料に用い、坂西・飯泉（2001）、Sakanishi *et al.*（2004）の方法により種々の光条件下での現場水温（5℃）における光合成速度を測定し、その結果をGallegos & Platt（1981）の式に曲線近似させて求めた。

水中光量子量を測定した海域の周辺では、底質が安定した6m以浅の水深帯でコブ目の生育が確認されている（阿部 1998a, 1998b, 釧路水試・歯舞漁協 1999）が、10m以上の水深帯については植生に関する情報がない。そこで、水中光量子量とコブ目の生育限界との関係を明らかにするために、2003年8月27日と9月27日に、水中光量子量を測定した海域の沖側（北緯43°19′，東経145°43′）、水深11m, 16m（平均水面からの水深）の海底において、SCUBA潜水による植生の目視観察、ビデオ撮影、50cm×50cmの方形枠を用いた計測及び採集を行った。

## 結果

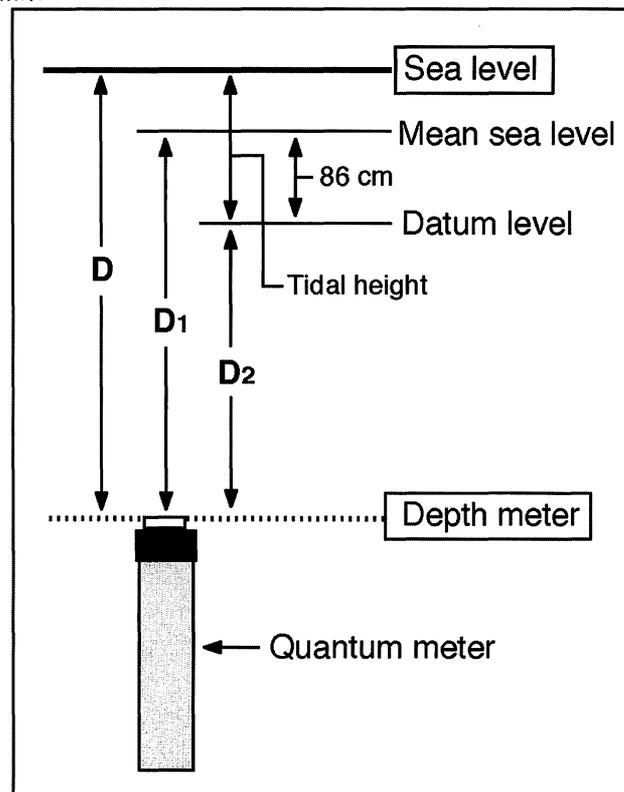


Fig. 2. Schematic illustration of measurements of underwater quantum irradiance and water depth.  $D$ , actual depth (measured by depth meter);  $D_1$ , depth from mean sea level;  $D_2$ , depth from datum level; Tidal height, value in Tidal Tables (Japan coast guard).  $D_1$  (m) =  $D$  - tidal height + 0.86

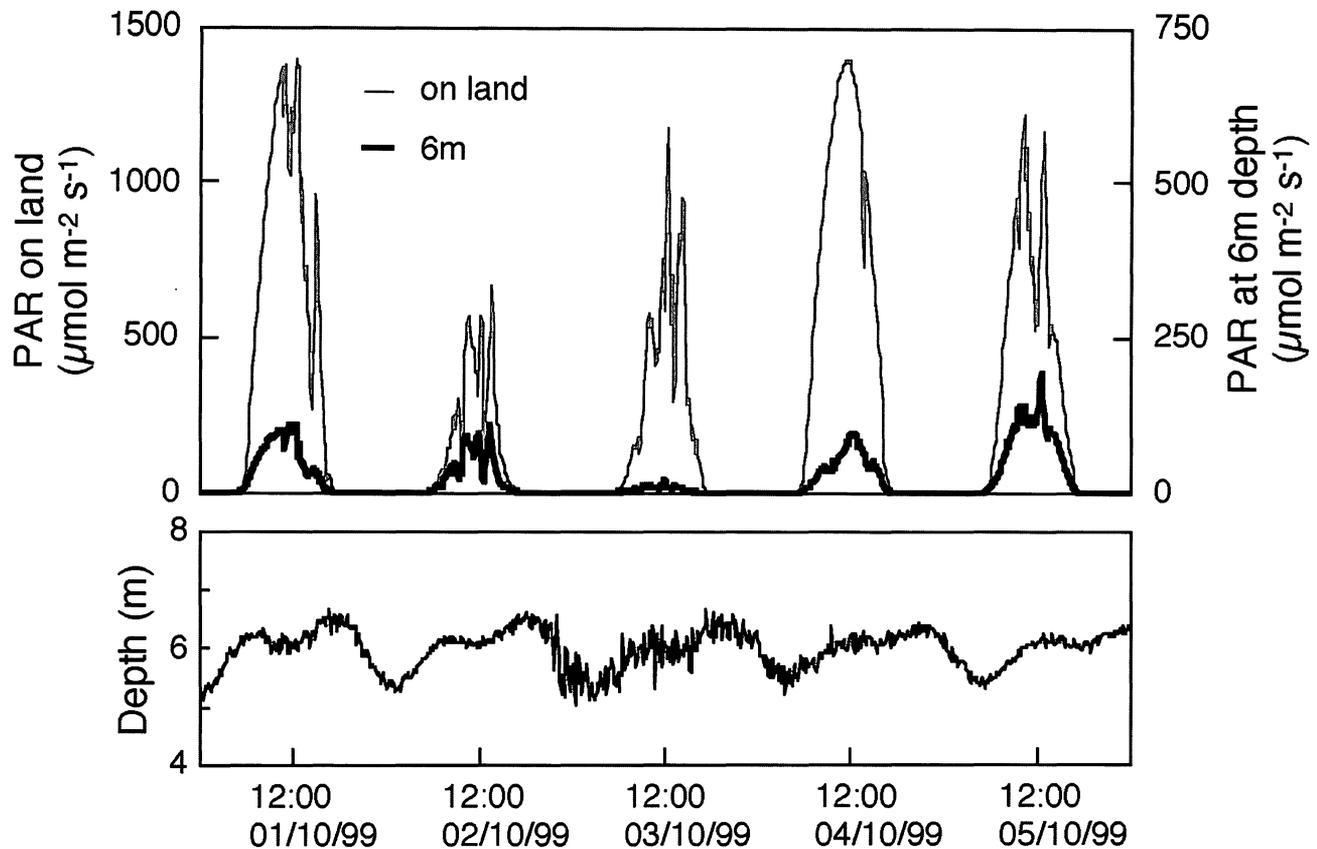


Fig. 3. Diurnal changes in PAR (photosynthetically active radiation) on land and at 6m depth (from mean sea level) and water depth, which were simultaneously measured at intervals of 10 minutes by using datalogger.

周年にわたり10分間隔で連続測定された根室市歯舞の地上および水深6m (平均水面からの水深) の海底における光量子束密度と潮汐により変動する海表面から水中光量子センサーまでの水深データの一部 (1999年10月1-5日) をFig. 3に示す。10月3日の水深データの振幅が大きいの、いわゆる時化による波浪の影響を受けて海表面の上下動が大きくなっている状態を表している。また、同日は前日 (10月2日) に比べて地上の光量子束密度が大きいかかわらず、水中の光量子束密度は著しく低い値を示している。これも波浪の影響を受けた堆積物の再懸濁による濁りの増大によるものである。

根室市歯舞の地上および歯舞地先の海域の水深6mにおいて連続測定した光量子束密度 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) を1日ごとに積算して求めた日積算光量子量 ( $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) の周年変化をFig. 4Aに示す。地上の光量子量 (日別値) は日毎の変動が大きいものの、概ね冬至付近で低く、夏至付近で高い値を示した。測定期間における最大値 ( $57.8 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) は7月10日に、最小値 ( $1.7 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) は1月7日に記録された。また、水深6mにおける光量子量 (日別値) は5月18日に最大値 ( $11.0 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) を示した。月平均値で見ると、地上の光量子量は9-12月 ( $11.4 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) にかけて減少した後、1-3月にかけて増大し、その後8月まで高い値を保ち (最大値:  $33.0 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , 6月), 9月に低下した。また、水深6mにおける光量子量は観測を始めた10-11月にかけて減少し、そ

の後2月まで増大, 3月 (最小:  $0.3 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) に再び低下した。その後5月にかけて著しく増大し, 7月に最大値 ( $4.5 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) を示し, 9月にかけて低下した (Fig. 4 B)。地上及び水中の1日あたりの積算光量子量と昼間の平均水深から計算した日別の海水の吸光係数の月平均値は4月に最大値 (0.64), 2月に最小値 (0.37) を示したが, 明瞭な季節変化の傾向を示さなかった (Fig. 4C)。

室内実験の結果をもとに作成した5月の現場水温におけるガッガラコンブ *L. coriacea* の光合成-光曲線, 同じく5月の水深3m (平均水面からの水深) における群落 (LAI=4.6) 内の藻体が捕集できる光強度の日周変動データをモデル式に代入して計算したガッガラコンブ群落の純生産 (推定値) をそれぞれFig. 5A, Bに示す。5月の晴れの日の純生産の推定値は  $8.6 \text{ gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$  であり, 曇りおよび雨の日の純生産は晴れの日のその44% ( $3.8 \text{ gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) および12% ( $1.0 \text{ gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) であった。また, 5月のガッガラコンブ群落の純生産の平均値は  $4.6 \text{ gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$  であった。

水中光量子量を測定した海域周辺で行ったSCUBA潜水による観察結果をもとに海藻の生育状況をTable 1に示す。水深11mでは, 底質は主に転石 (直径が25cm以上1m未満), 大転石 (直径が1m以上) であった。アナメ *Agarum cribrosum* Bory (生育密度:  $20 \text{ indiv. m}^{-2}$ ) が優占種であり, その他にガッガラコンブ *L. coriacea* Miyabe, ゴヘイコンブ *L. yezoensis* Miyabe, ネプトモク *Cystoseira crassipes* (Mertens ex

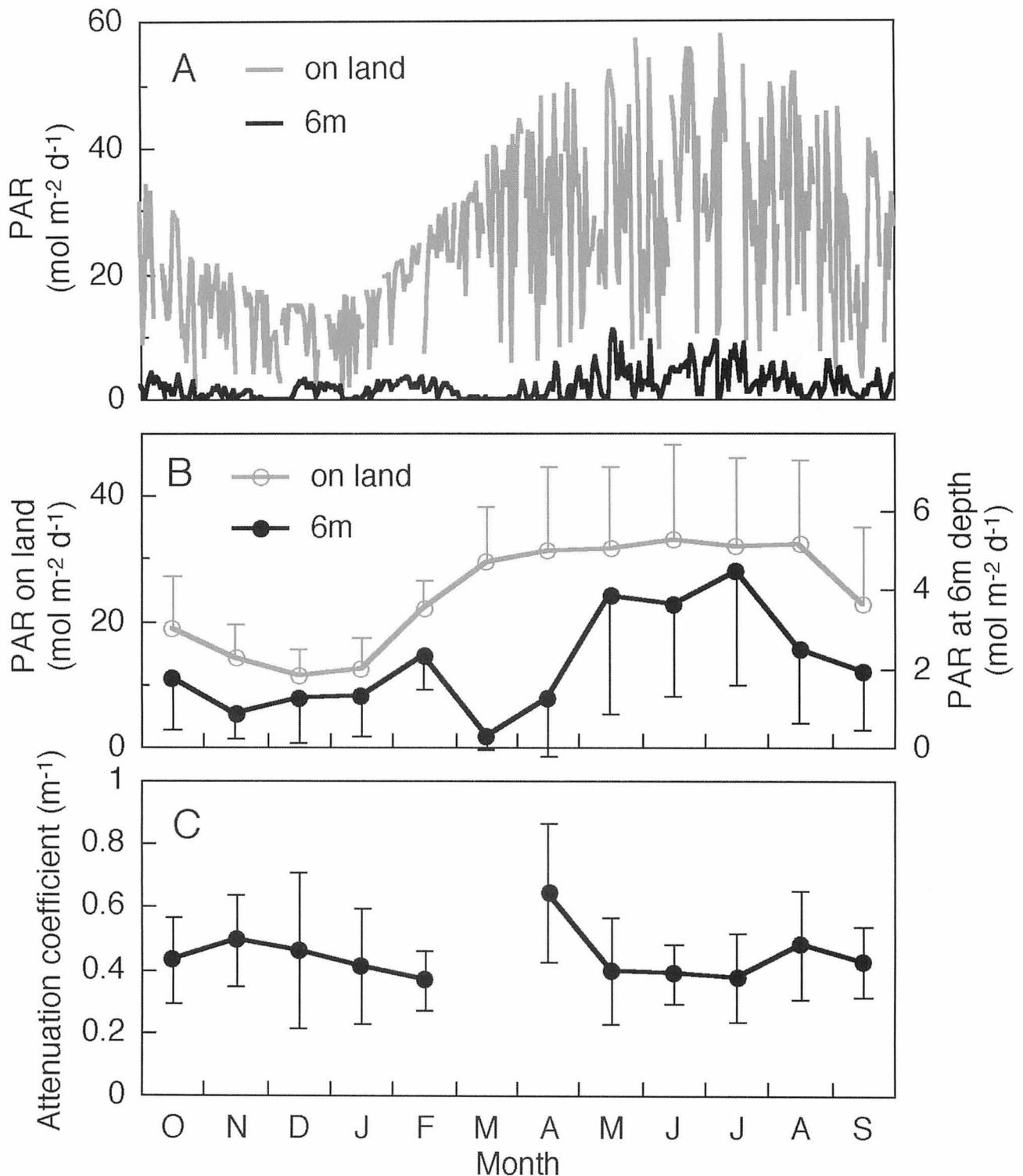


Fig. 4. Seasonal changes in PAR on land and at 6m depth and attenuation coefficient of seawater at Habomai, the Pacific coast of Nemuro Peninsula, Hokkaido from October 1999 to September 2000. A, daily PAR on land and at 6m depth; B, monthly averages of daily PAR on land and at 6m depth; C, monthly average of attenuation coefficient of seawater, which were calculated from the data for daily PAR on land and at 6m depth and daily average of water depth for daytime at Habomai, the Pacific coast of Nemuro Peninsula, Hokkaido from October 1999 to September 2000. Vertical bars denote SD of means in B and C.

Turner) C. Agardh, イソキリ *Bossiella cretacea* (Postels et Ruprecht) Johansen, ヒメトサカモドキ *Callophyllis rhynchocarpa* Ruprecht, コノハノリ *Congregatocarpus pacificus* (Yamada) Mikami, オオバオキツバラ *Constantinea*

*subulifera* Setchell, ピリヒバ *Corallina pilulifera* Postels et Ruprecht, エゾイシゴロモ *Lithophyllum yessoense* Foslie, イワノカワ *Peyssonnelia dubyi* Crouan frat., クシベニヒバ *Ptilota filicina* J. Agardh, エゾナメシ

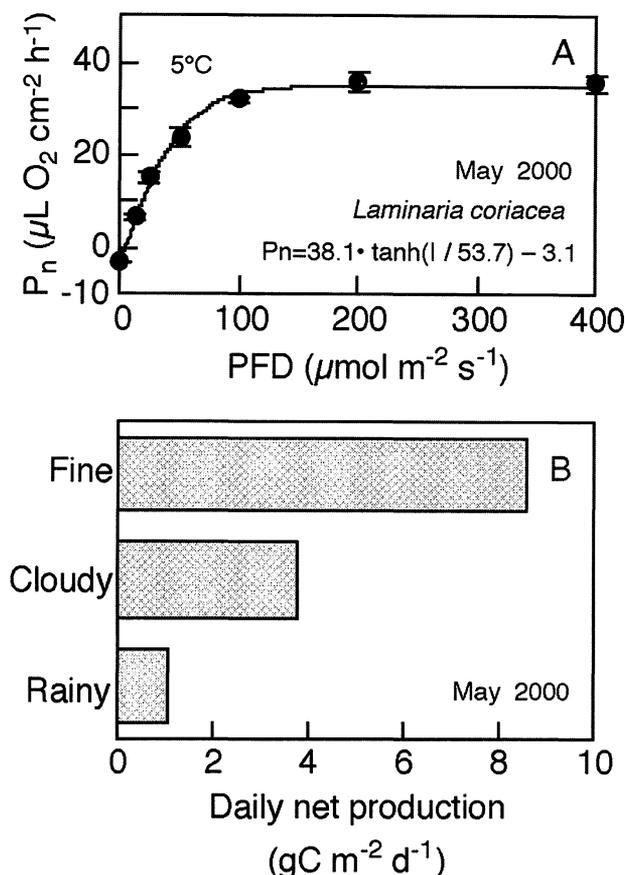


Fig. 5. A, photosynthesis-light response curve at 5°C for sporophytes of *Laminaria coriacea* growing at 3m depth (below mean sea level) in May; B, daily net production of *L. coriacea* community (LAI=4.6) at 3m depth under different weather conditions in May, whose values were calculated from by using P-I curve equation. Vertical bars denote SD of means in A.

*Turnerella mertensiana* (Postels et Ruprecht) Schmitzの生育を確認することができた。

水深16mでは、底質は主に転石(直径が25cm以上1m未満)、大転石(直径が1m以上)であり、コンブ目としてはアナメのみが極めて低い密度( $< 1 \text{ indiv. m}^{-2}$ )で生育していた。この水深帯では、アナメのほかに、イソキリ、ヒメトサカモドキ、ピリヒバ、エゾイシゴロモ、イワノカワ、エゾナメシの生育が確認された。さらに深い水深帯では、底質は同様であったが、アナメの生育は確認できなかった。また、植生観察を行った水深帯では、grazingにより植生に影響を与える可能性があるエゾバフンウニ *Strongylocentrotus inetermedius* (A. Agassiz) はほとんど観察されなかった。

また、Fig. 4Bの値(月平均値)から求めた地上および水中の1年間の積算光量子量と昼間の水深の年間平均値を用いて、年間積算光量子量と水深との関係をLambert-Beerの式に近似して、アナメの生育限界付近である水深16mに到達する年間積算光量子量(相対値)を計算したところ、地上のその0.18%であった(Fig. 6)。

#### 考察

海水の吸光係数は、低緯度海域の外洋水では0.1以下、時として純水のそれに近い値を示す場合があるが、沿岸水では概ね0.1-0.3の範囲にある(有賀 1973, 有賀・横浜 1979)ことが知られている。これらの値に比べると、本研究で得られた年平均値(Fig. 4Cの月平均値をさらに平均した値=0.44)は高かった。坂西ら(2001b)は、同じ北海道東部太平洋岸の釧路沿岸において、地上と水中の光量子束密度を同時に測定し、0-3mまでの0.5mおきの水深と相対光強度との関係をLambert-Beerの式に曲線近似して海水の吸光係数を求め、歯舞沿岸で得られた値よりもさらに高い値(年間の平均値=0.67, 坂西ら 2001b)を得ている。これらの値は、主に植物プランクトンの豊富さに起因する吸光係数の高さで特徴づけられる親潮沿岸水(Taguchi *et al.* 1992, Kasai *et al.* 1998)の性質を反映しているものと考えられる。

本研究では、現場での連続測定が困難なことから、海面直下の光強度を実測した海面上(地上)の光強度と理論的に求めた反射率(Campbell & Aarup 1989)から計算したが、基本的には日本海洋学会(1979), Kirk(1994)の方法にしたがって、海水の吸光係数を計算した。1日あたりの反射率を計算に用いるため、地上および水中の光強度は1日あたりの積算値、水深は昼間の平均値を用いて吸光係数を計算したが、10分ごとに実測した瞬間値(Fig. 3)を用いて計算した吸光係数との差は2%未満であった。また、海洋観測指針(気象庁1985)に掲載されている常用対数を用いた計算式で計算した吸光係数との差は0.1%未満であった。したがって、本研究で得られたデータは、今までに報告されてきたデータと十分に比較し得るものといえる。

現場設置型の水中光量子計の場合、付着生物などによるセンサーの汚れに伴う測定値の誤差を検討する必要がある。本調査海域の近隣海域において、本研究で使用したのと同じ水中光量子計(MPQ-I)に間歇式ワイパーを取り付けたもの(1時間おきにシリコンゴム製のワイパーがセンサー上を2往復する)とワイパーをつけないものを用いて、1ヶ月に1回の

Table 1. Species found at the depths of 11 and 16m at Habomai, the Pacific coast of Nemuro Peninsula, Hokkaido.

species	Depth	
	11m	16m
Phaeophyta	<i>Agarum cribrosum</i>	○
	<i>Laminaria coriacea</i>	○
	<i>Laminaria yezoensis</i>	○
	<i>Cystoseira crassipes</i>	○
Rhodophyta	<i>Bossiella cretacea</i>	○
	<i>Callophyllis rhynchocarpa</i>	○
	<i>Congregatocarpus pacificus</i>	○
	<i>Constantinea subulifera</i>	○
	<i>Corallina pilulifera</i>	○
	<i>Lithophyllum yessoense</i>	○
	<i>Peyssonnelia dubyi</i>	○
	<i>Ptilota filicina</i>	○
<i>Turnerella mertensiana</i>	○	

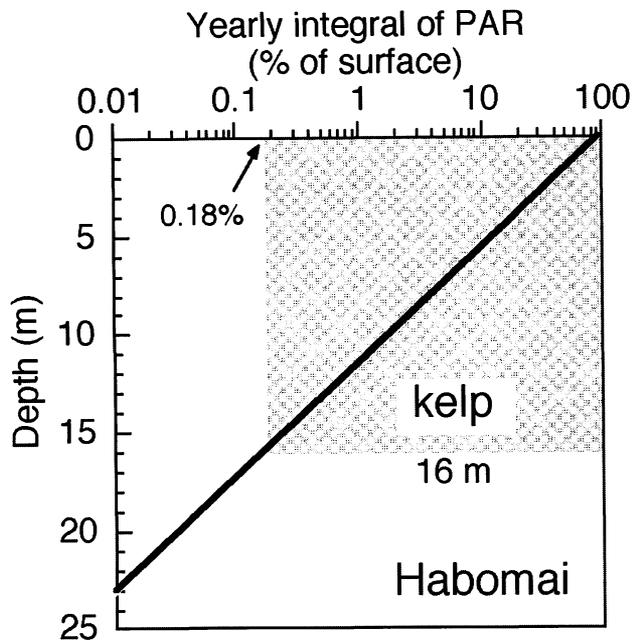


Fig. 6. Attenuation of light as yearly integral of PAR (solid line) which were calculated from the data on PAR on land and at 6m depth (Fig. 4B), and vertical distribution of kelps (shaded area) in the subtidal zone at Habomai, the Pacific coast of Nemuro Peninsula, Hokkaido.

交換頻度で周年にわたり水中光量子量を測定し、両者の測定値を比較検討した。その結果、測定開始から終了までの1ヶ月間の測定値の減少は1–11% (年間平均5%) (坂西ら 未発表) であることから、本調査における測定値の誤差も同程度のもので推察される。

リシリコンブ *L. ochotensis* Miyabe では、実入り期の全天日射量と製品中の等級の高いコンブ (藻体長、藻体重量などを基準に判断される) の割合との間に相関がみとめられているが (瀧谷 1998)、今回のガツガラコンブの純生産の推定結果 (Fig. 5B) も、ナガコンブの場合 (Sakanishi *et al.* 2004) と同様、そのような現象を物質生産に関わる生理生態学的観点から裏付けられるものと言える。今後、さらに群落構造を含む水中の光環境に関する知見を集積することにより、有用コンブ目藻類の物質生産に及ぼす光条件の影響を明らかにすることが可能になると考える。また、様々な条件が異なるので厳密な比較はできないが、本研究で得られた5月のガツガラコンブ群落の純生産の推定値 (雨、曇、晴れの日の値、1.0

–8.6  $\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ; 月平均値、4.6  $\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) は、コンブ属 (*Laminaria* sp., *L. longissima*) で報告されている純生産の値、3.0–8.0  $\text{gC m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (有賀 1986, Sakanishi *et al.* 2004) とほぼ同じレベルとみなすことができる。

Lüning & Dring (1979) は、北海のヘルゴランド島沿岸 (大西洋) で1年にわたり連続測定した水中光量子量をもとに年間の積算光量子量と水深との関係を求め、同島沿岸域のコンブ目を含む大型 (多細胞) 藻類の生育限界水深と積算光量子量との関係について論じている。かれらは、*L. hyperborea* (Gunn.) Fosl. の濃密な群落の成立限界水深は地上の4%の光量が到達する4m、個体としての生育限界は地上の0.7%の光量が到達する8mであることを明らかにし、透明度が異なる他の海域での報告も含めて、この種の個体としての生育限界は地上の0.7–1.4%前後の光量が到達する水深 (8–26m) であると結論づけている。また、北米大陸東部のメイン湾 (大西洋) では、最も深い水深帯に生育するコンブ目 (*Agarum cribrosum* (Mertens) Bory) の個体レベルでの生育限界が40m、そこに達する光量は水面上の0.44% (Vadas & Steneck 1988)、同西部の中部カリフォルニア沿岸 (太平洋) では、最も深い水深帯に生育するコンブ目 (*Pleurophycus gardneri* Setchell & Gardner) の個体レベルでの生育限界が45mであり、その深さに到達する光量は水面直下のその約0.9%であることが明らかになっている (Spalding *et al.* 2003)。

SCUBA 潜水による植生観察の結果、本調査海域のコンブ目 (*Agarum cribrosum* Bory) の個体レベルでの生育限界水深は16m付近と判断された。調査した水深帯では、底質は主に転石または大転石であり、コンブ目の生育に影響を与えるエゾバフンウニがほとんど観察されなかったことから、コンブ目の生育は光量によって制限されている可能性が高いと考えられる。この海域のコンブ目の生育限界水深における相対光強度は0.18%であり、3月の水中光量子量が部分的に海表面の氷の影響を受けているので、若干過小評価の可能性があるので、従来、報告されてきた地球上の様々な海域のコンブ目の生育限界水深における相対光強度 (0.44–1.4%) (Fredj 1972, Lüning 1990, Lüning & Dring 1979, Spalding *et al.* 2003, Vadas & Steneck 1988) に比べると低い値であった (Table 2)。メイン湾 (大西洋) では、アナメは、他のコンブ目 (*L. longicruris* de la Pylaie) に比べて、深い水深帯まで生育している (Vadas & Steneck 1988) ことが確認され

Table 2. Light levels as percent of surface irradiance at the depth limits of kelps in different geographical coastal waters.

Species	Locality	Lower limit (m)	Light level (% of surface)	Origin
<i>Agarum cribrosum</i>	Maine	40	0.4	Vadas & Steneck (1988)
<i>Laminaria hyperborea</i>	Helgoland	8	0.7	Lüning & Dring (1979)
<i>L. hyperborea</i>	Roscoff	25	1.2	Lüning & Dring (1979)
<i>L. hyperborea</i>	Aran Island	32	1.2	Lüning (1990)
<i>Laminaria rodriguezii</i>	Corsica	95	0.6	Fredj (1972)
<i>Pleurophycus gardneri</i>	California	45	0.8	Spalding <i>et al.</i> (2003)
<i>A. cribrosum</i>	Habomai	16	0.2	Present study

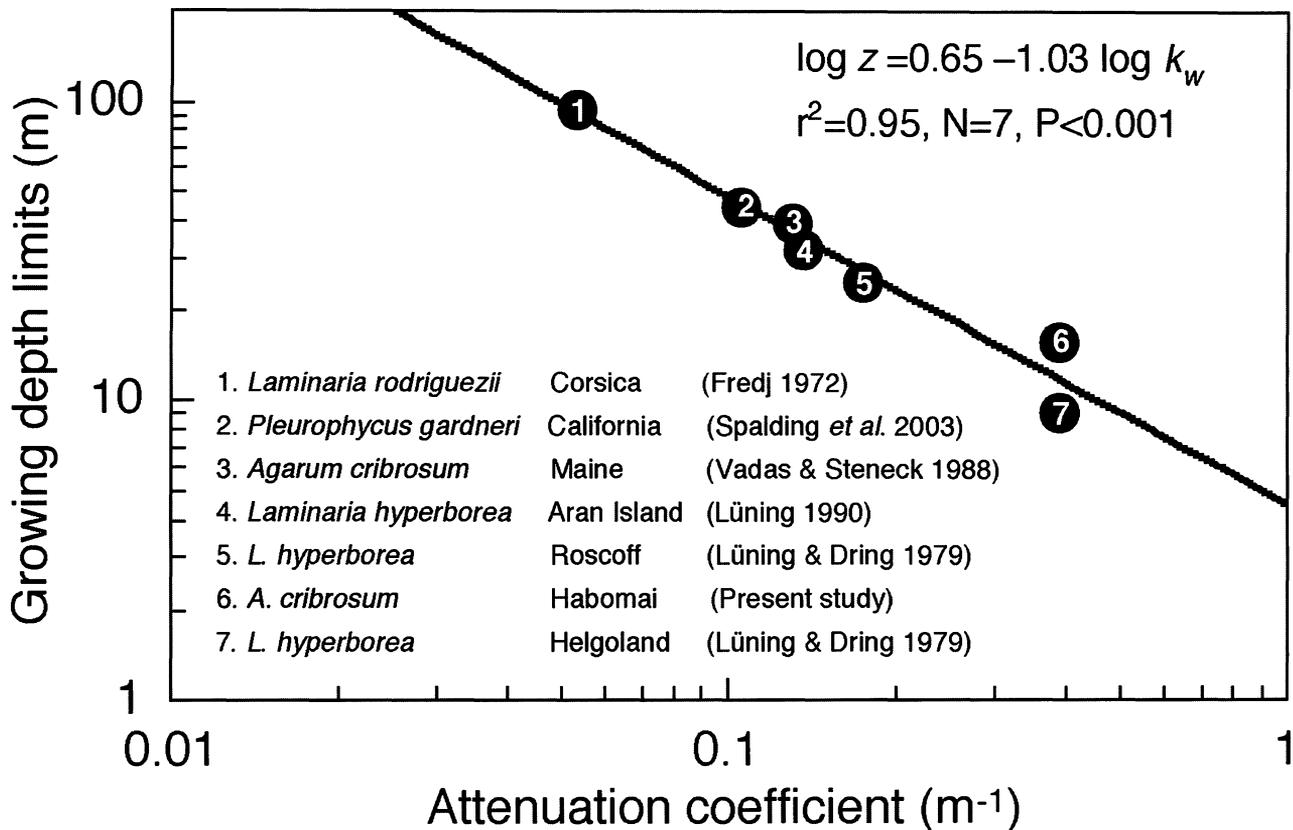


Fig. 7. The relationship between the growing depth limits of kelps ( $z$ ) and the light attenuation coefficients ( $k_w$ ) of the overlying seawater in different geographical coastal waters.

ているが、本調査（太平洋）の結果も同様であった。アナメは、北海道東部太平洋岸に生育するコンブ目の中でも、より弱光に適応した光合成特性を持っており (Sakanishi *et al.* 2004), このことがより深い水深帯の生育を可能にする要因の一つと考えられる。

本研究の結果も含めて様々な海域におけるコンブ目の生育限界水深での相対光強度を比べてみると、ある程度の幅がみられるが、その原因について詳細な議論をするためには、今後、さらに様々な海域の限界深度付近に生育する種の生理生態的特性や水中光に関するデータを集積する必要がある。

Table 2の各海域のコンブ目の生育限界における水深と相対光強度の値と水面直下の相対光強度 (93%とした) をもとに、材料と方法で示した式から海水の吸光係数を求め、様々な海域のコンブ目の生育限界水深と海水の吸光係数との関係をプロットすると、Fig. 7のような関係式が求められる。この関係式は、生育に対する grazing や底質の影響がないか又は極めて小さいと判断される海域では、8–95m (Fredj 1972, Lüning 1990, Lüning & Dring 1979, Spalding *et al.* 2003, Vadas & Steneck 1988) と幅広いコンブ目の生育限界水深の違いが、生育海域の海水の吸光係数を介した水中の光環境の違いによって、概ね説明できることを示している。また、言い換えれば、Fig. 7の直線から下側に大きくはずれたプロットを示す海域は、光から判断されるコンブ目藻類の潜在的な生育限界水深まで分布を広げられない何らかの制限要因 (例

えば北海道南西部沿岸の磯焼け海域の grazing など) を抱える海域であると解釈できる (Duarte 1991 参照)。

コンブ目藻類で報告されているように、一般に海藻の補償光量は水温上昇に伴って増大する (倉島1996, 坂西1998) ことから、光環境が変化しなければ、今後、温暖化に伴う水温上昇によって、漸深帯に生育する海藻の生育限界水深は上昇し、海底の傾斜が緩やかな浅海域では、その生育範囲は水平方向にも大きく減少することが予想される。このような漸深帯に生育する海藻の生育限界水深の上昇を予測するためには、海藻の生理生態的特性とともに、対象海域における水中光と水深との関係すなわち海水の吸光係数に関する情報は必要不可欠なものである。今後、様々な海域で海藻の生理生態研究の一環として行われるべき水中の光環境に関する調査研究は、基礎研究への貢献はもちろん、解決が急がれるいくつかの応用的課題に対しても一定の貢献が期待できる。

#### 謝辞

本研究は、農林水産省のプロジェクト研究「森林、海洋等におけるCO<sub>2</sub>収支の評価の高度化」、「地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響の評価」および北海道区水産研究所の経常研究課題「亜寒帯藻場の環境と生物生産構造との関係把握」の一環として行われた。地上および水中光量子量の測定を含む現地調査、時系列データの処理、採集した藻類の同定、有益な議論を通じて本研究に協力して下さった東京海洋大学の田

中次郎教授、歯舞漁業協同組合の職員の皆様、根室市友知の漁業者の皆様（歯舞漁業協同組合友知地区昆布部会所属）、（株）橋本潜水サービスの橋本 優氏、（独）水産総合研究センター水産工学研究所水産土木工学部の川俣 茂主任研究官、同北海道区水産研究所亜寒帯海洋環境部の葛西広海主任研究官に感謝する。

## 文献

- 阿部英治 1998a. 歯舞地域コンブ漁場の類型化に関する研究. 平成8年度事業報告書: 173-180. 北海道立釧路水産試験場.
- 阿部英治 1998b. 歯舞地域コンブ漁場の類型化に関する研究. 平成9年度事業報告書: 231-236. 北海道立釧路水産試験場.
- 有賀祐勝 1973. 水界植物群落の物質生産 II 植物プランクトン. 共立出版, 東京.
- 有賀祐勝 1986. 水界生態系における藻類の役割. p. 1-13. 秋山 優他 (編) 藻類の生態. 内田老鶴園, 東京.
- 有賀祐勝・横浜康継 1979. 環境要因の測定. 光. p. 436-446. 西澤一俊・千原光雄 (編) 藻類研究法. 共立出版, 東京.
- Campbell, J. W. & Aarup, T. 1989. Photosynthetically available radiation at high latitudes. *Limnol. Oceanogr.* 34: 1490-1499.
- Duarte, C. M. 1991. Seagrass depth limits. *Aquatic Botany* 40: 363-377.
- Fredj, G. 1972. Compte rendu de plongée en S.P. 300 sur les fonds à *Laminaria rodriguezii* Bornet de la pointe de Revellata (Corse). *Bull. Inst. Océanogr., Monaco* 71: 1-42.
- Gallegos, C. L. & Platt, T. 1981. Photosynthesis measurements on natural populations of phytoplankton: Numerical analysis. *Can. Bull. Fish. Aquatic Sci.* 210: 103-112.
- 北海道立釧路水産試験場・歯舞漁業協同組合 1999. 歯舞地域コンブ漁場の類型化に関する研究.
- 海上保安庁水路部 1999. 平成11年度 潮汐表 第一巻.
- 海上保安庁水路部 2000. 平成12年度 潮汐表 第一巻.
- Kasai, H., Saito, H. & Tsuda, A. 1998. Estimation of standing stock of chlorophyll *a* and primary production from remote-sensed ocean color in the Oyashio region, the western subarctic Pacific, during the spring bloom in 1997. *J. Oceanogr.* 54: 527-537.
- Kirk, J. T. O. 1994. Characterizing the underwater light field. p. 112-128. *Light & photosynthesis in aquatic ecosystems*. 2nd. ed. Cambridge Univ. Press., Cambridge.
- 気象庁 1985. 第4章 海水の透明度・水色および消衰係数の測定. p. 85-89. 海洋観測指針. 日本海洋学会, 東京.
- 倉島 彰 1996. 褐藻アラメ及びカジメの光合成と生育に関する生理生態学的研究. 132pp., 東京水産大学博士学位論文.
- 倉島 彰 2003. 現場における光強度の測定. p. 955-957. 竹内均 (編) 地球環境調査辞典 第3巻 沿岸域編. フジテクノシステム, 東京.
- 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.
- Lüning, K. 1990. Light. p. 277-320. *Seaweeds. Their environment, biogeography, and ecophysiology*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Lüning, K. & Dring, M. J. 1979. Continuous underwater light measurement near Helgoland (North Sea) and its significance for characteristics light limits in the sublittoral region. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 32: 403-424.
- Maegawa, M., Yokohama, Y. & Aruga, Y. 1987. Critical light conditions for young *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* with reference to photosynthesis. *Hydrobiologia* 151/152: 447-455.
- Maegawa, M., Yokohama, Y. & Aruga, Y. 1988. Comparative studies on critical light condition for young *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* with reference to photosynthesis. *Jpn. J. Phycol.* 36: 166-174.
- 村瀬 昇 2001. 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardh の生態学的研究. 水産大学校研究報告 49: 131-212.
- Murase, N., Kito, H., Mizukami, Y. & Maegawa, M. 2000. Relationships between critical photon irradiance for growth and daily compensation point of juvenile *Sargassum macrocarpum*. *Fish. Sci.* 66: 1032-1038.
- 日本海洋学会 1979. 水中光の測定. p. 114-127. 海洋環境調査法. 恒星社厚生閣, 東京.
- 大山温美 1998. 三重県錦湾におけるカジメ群落の構造と生産力. 40pp., 三重大学生物資源学部修士学位論文.
- 坂西芳彦 1998. 寒海および暖海産コンブ目の光合成特性. 170pp., 東京水産大学博士学位論文.
- 坂西芳彦・飯泉 仁 2001. 北海道東部沿岸に生育する寒海産コンブ目数種の夏季の光合成-光特性. *藻類* 49: 1-6.
- 坂西芳彦・鈴木健吾・宇田川 徹・飯泉 仁・山本正昭 2001a. 釧路市沿岸における夏季のナガコンブの日補償深度. 北海道区水産研究所研究報告 65: 45-54.
- 坂西芳彦・鈴木健吾・宇田川 徹・飯泉 仁・山本正昭 2001b. ナガコンブの光合成及び生産力と関連した水中の光環境について. *藻類* 49: 117-123.
- Sakanishi, Y., Ito, H. & Iizumi, H. 2004. Photosynthetic light-response curves in cold water species of Laminariales at the eastern Pacific coast of Hokkaido. *Jpn. J. Phycol.* 52 (Suppl.): 33-39.
- Spalding, H., Foster, M. S. & Heine, J. N. 2003. Composition, distribution, and abundance of deep-water (>30m) macroalgae in central California. *J. Phycol.* 39: 273-284.
- Taguchi, S., Saito, H., Kasai, H., Kono, T. & Kawasaki, Y. 1992. Hydrography and spatial variability in the size distribution of phytoplankton along the Kurile Islands in the western subarctic Pacific Ocean. *Fish. Oceanogr.* 1: 227-237.
- 瀧谷明朗 1998. リシリコンブの品質に関する要因. 北水試だより 41: 5-8.
- Vadas, R. L. & Steneck, R. S. 1988. Zonation of deep water benthic algae in the Gulf of Maine. *J. Phycol.* 24: 338-346.

(Received 20 May. 2004; Accepted 14 Oct. 2004)