

■短 報■ 2004 年度神奈川大学総合理学研究所共同研究助成論文

光ファイバー分光器を用いた海中光環境の測定

柴田達矢^{1,2} 北島正治¹ 鈴木祥弘¹

Determinations of light spectrums under sea ice with fiber optics spectrometer

Tatsuya Shibata^{1,2}, Masaharu Kitashima¹ and Yoshihiro Suzuki¹

¹ Department of Biological Science, Faculty of Science, Kanagawa University, Hiratsuka-City, Kanagawa 259-1293, Japan

² To whom correspondence should be addressed. E-mail: roundrobin200@yahoo.co.jp

Abstract: A fiber optics spectrophotometer (USB2000, OceanOptics, USA) was applied to measure light conditions under sea ice at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido Japan, in February and March 2005. One end of a 10 m quartz fiber optics (QP200-2-UV-VIS, OceanOptics, USA) fixed under sea ice led light to the other end, and the spectrophotometer determined the spectrum of the light at the other end on the sea ice. Signals from the spectrophotometer were normalized with the calibration light source (DH2000CAL, OceanOptics, USA) and a program (OOIBase, OOIIrad, OceanOptics, USA) and were determined as irradiance ($\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$). Without the cosine-collector for collecting the light from 180 degrees in front, the fiber optics collected light from a narrow range and showed quite different spectrums from those determined with the cosine-collector. Spectrums with a peak at 570 nm were determined with the cosine-collector and corresponded well with the spectrums often determined at near coastal areas. Photon flux densities ($\mu \text{mol photons s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{nm}^{-1}$) were estimated from spectrums determined with the cosine-collector and correlated well ($R^2=0.98$) with those determined with the quantum sensor (LI-193, LI-COR, USA). These results showed that fiber optics spectrophotometer could determine the light conditions under sea ice both qualitatively and quantitatively.

Keywords: fiber optics spectrophotometer, light condition, spectrum, sea ice, photon flux density

序論

水界では基質である水や溶存物質、懸濁粒子の吸収により、光強度や光質が大きく変化する¹⁾。また、海域や季節により異なる溶存物質や懸濁粒子が作り出すさまざまな光環境に対応して、植物プランクトンは光合成を行っている²⁾。このため、水界の主要な一次生産者である植物プランクトンの光合成・一次生産を考える上で、光強度と光質に着目して水界の光環境を測定することが不可欠である。

水界の光強度の測定には 400 nm から 700 nm の波長範囲の光合成有効照射(PAR)に対して波長に応じた感度を持つ光量子センサーがしばしば用いられる。単純な構造を持つ光量子センサーの気密を保つことは容易であり、市販のセンサーでも水深 350 m まで測定が可能である。このセンサーを用いるこ

とで多くの測定がなされてきた³⁾。一方、光質の測定に用いられる分光器は複雑な構造を持ち、気密を保ったまま水中で測定を行うことは難しい。このため、一定の波長範囲の光を透過する干渉フィルターをつけた光量子センサーによる測定や採水された海水の光吸収特性から、間接的に海中の光質が推定されてきた⁴⁾。しかし、高い精度で光質を測定するためには、分光器を直接用いることが不可欠である。

分光器を気密し海中に投入するかわりに光ファイバーの先端を投入しそこから導かれた光を分光器で測定することができれば、より簡便に海中の光質測定に分光器を用いることができる。本研究では光ファイバー分光器を用いた新しい方法について、正確な測定が可能かどうか詳細に検討した。

方法

2005年2月16日から3月5日まで北海道サロマ湖の観測地点(44°07'41"N, 143°57'423"E)において実験を行った。海水を50 cm × 70 cm の方形に切除し(測定穴)、ここから光ファイバーと光量子センサーを海中に投入した。測定穴の周囲5 m × 5 m の氷上面は測定に影響が出ないよう厳密に保全した。孔径200 μm、全長10 m の石英ファイバー(QP200-2-UV-VIS, OceanOptics, USA)を接続した光ファイバー分光器(USB2000, OceanOptics, USA)を用いて、空気中および海水中の光強度と光質の測定を行った。分光器からの300 nm から800 nm の範囲で0.3 nm 毎に得られる出力を校正用重水素タングステンハロゲンランプ(DH2000CAL, OceanOptics, USA)とソフトウェア(OOIBase, OOIRad, OceanOptics, USA)を用いて、放射照度($W m^{-2} nm^{-1}$)に変換した。さらに、各波長の光量子のエネルギーから、放射照度を波長毎の光量子流量密度($\mu mol photons s^{-1} m^{-2} nm^{-1}$)に変換した。開口部前面180°の光を集めるコサインコレクター(CC-3, OceanOptics, USA)の効果を調べるため、コサインコレクターを装着した光ファイバー開口部を固定台に固定し、太陽方向とそこから一定の角度に向けて測定した。その結果を、コサインコレクターを装着しない場合と比較した。コサインコレクターを装着した開口部を鉛直上向きに海水下面に固定して、光強度と光質の測定を行った。同時に、光量子センサー(LI-193, LI-COR, USA)を鉛直上向きに海水下面に固定し、データロガー(LI-1400, LI-COR, USA)に記録したPARの光強度と比較した。

結果と討論

光ファイバー開口部の方向を太陽の方向から変化させて測定した(図1)。コサインコレクターを装着せずに開口部を太陽方向に向けると、光が強すぎて測定できなかった。鉛直方向に対して同じ角度を保ったまま、東西に45°角度を変化させると、500 nm の光強度($\mu mol photons s^{-1} m^{-2} nm^{-1}$)は0.034と0.026となった。さらに角度を変化させ太陽方向から90°にすると、0.022と0.019となり、180°にすると、0.020となった。コサインコレクターを装着して測定を行うと、開口部を太陽方向に向けても測定が可能であり、500 nm の光強度は6.1となった。東西に45°角度を変化させると、4.9と3.7となった。90°にすると、1.22と0.89となり、180°にすると、0.87となった。コサインコレクターを装着せずに測定すると、狭い範囲からの光しか受光できない。このため太陽方向では測定できないほどの強い光強度

を示すがそこから離れると非常に弱い光強度を示し、45°角度を変えると装着した場合のわずか0.7%となった。一方、装着して測定すると前面180°の平均した光を受光することとなる。このため、太陽方向では比較的弱い光強度を示すが、そこから離れても著しく弱まることはなかった。光合成生物の光合成には光は太陽からの直達光とともに散乱光も利用される。このため、光強度の測定には前面180°の散乱光を集めるコサインコレクターや全後面360°の散乱光を集めるコレクターが利用される⁹⁾。コサインコレクターの装着の有無により測定結果が全く異なることから、コサインコレクター無しでは、光ファイバーを利用した光強度の測定はできないことがわかった。

光ファイバー開口部を海中に沈め、1 m から湖底までの各深度の波長毎の光強度($\mu mol photons s^{-1} m^{-2} nm^{-1}$)を測定し、コサインコレクターが光質の測定に及ぼす影響を検討した(図2)。コサインコレクターを装着せずに測定すると、水深1 m で得られた570 nm のピークの強度は0.03であり、装着して測定した570 nm 強度の20%にすぎなかった。また、コサインコレクターを装着せずに測定すると、570 nm 付近のピークに加え、480 nm 付近にほぼ同じ高さのピークが認められ全く異なるスペクトルを示した。天頂方向からの光は海水、海水を透過する光路長が短く太陽光の青色成分が残りやすい。コサインコレクターを装着せずに測定すると、この透過光を反映したスペクトルを示すようである。長い光路を抜けて海水、海水中の溶存物質、懸濁粒子に青色成分を強く吸収されている上面180°からの光とは全く異なっていた。コサインコレクターを装着せずには、光質の測定も難しいことがわかった。

3月1日にコサインコレクターを装着した開口部を海水下面に鉛直上向きに固定し測定した。波長毎の光強度からPAR光強度の時間変化を算出した(図3)。光量子センサーを用いて、同時に測定した光強度と比較した。分光器の結果が瞬間値で、光量子計の結果が1分間の平均値であることから、分光器に大きな変動が認められるものの日変化はほぼ一致した。同時刻に測定した分光器と光量子計の結果を比較すると、高い相関関係($R^2=0.98$)が認められた。分光器の値が光量子計の値の6.7倍となるのは、氷上の雪の深さが異なるためである。空気中の測定結果では分光器で測定されたPARの光量子流量密度は、光量背センサーの1.3倍の値であった。光量子センサーの再校正により、この値は完全に一致すると思われる。

これらの結果は、光ファイバーの先端を海中に投

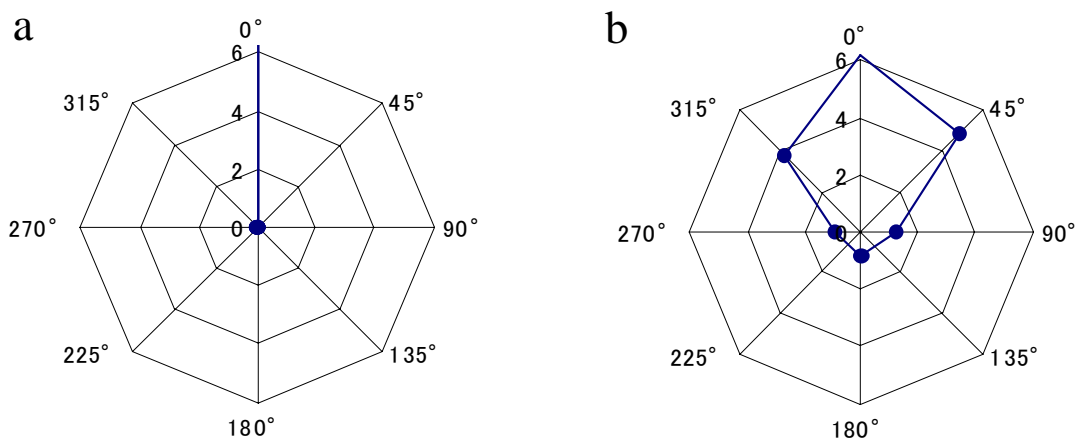


図1. 太陽方向から一定の角度に光ファイバー開口部を向けて測定した 500 nm の光強度($\mu \text{ mol photons s}^{-1}\text{m}^{-2}\text{nm}^{-1}$).

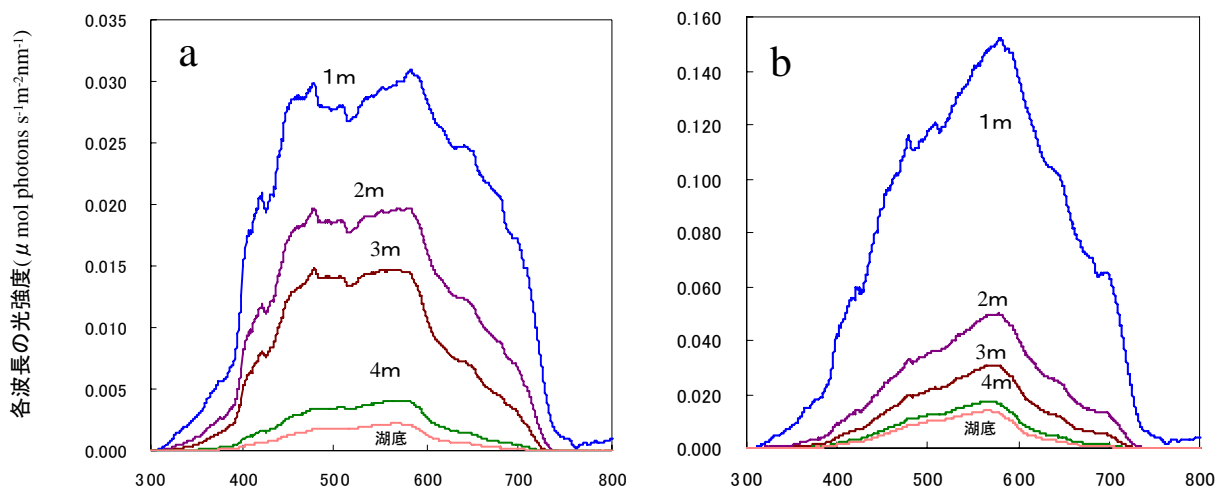


図2. 海水下で測定された鉛直上面方向からの光スペクトル. a. コサインコレクターを装着せずに校正を行い測定. b. コサインコレクターを装着して校正を行った後測定.

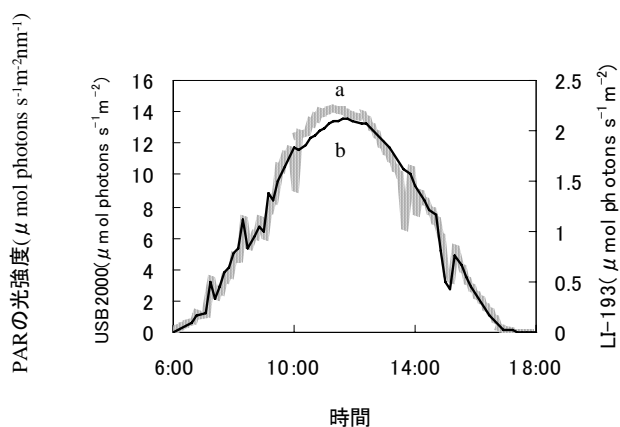


図3. 3月1日の海水下面の光合成有効照射 (PAR) の光強度の日変化. a. コサインコネクタを装着した光ファイバー分光器(USB2000,OceanOptics,USA)で測定. b. 光子センサー(LI-193, LI-COR,USA) で測定.

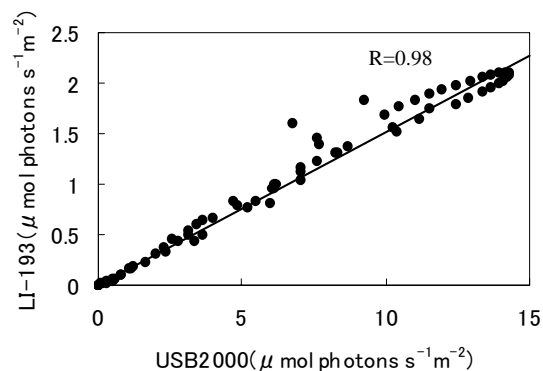


図4. 3月1日の同時刻にUSB2000とLI-193で測定された光子流量密度の比較. 1分毎のデータをプロットした.

入することで、海中の光質を高い波長分解能で直接測定できることを明らかにしている。また、光合成生物に重要な光環境を測定するためには、コサインコレクターの装着が不可欠であることが明らかになった。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご協力をいただいたサロマ湖養殖漁業協同組合の前川公彦氏、阪口耕一氏に深く感謝申し上げます。

文献

- 1) Kirk JTO (1980) Spectral absorption properties of natural waters: Contribution of the soluble and particulate fractions to light absorption in some inland waters of south-eastern Australia. *Australian J. Marine Freshwater Res.* **3**: 287-296.
- 2) Kirk JTO (1994) *Light & Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge
- 3) Kirk JTO (1977) Use of a quanta meter to measure attenuation and underwater reflectance of photosynthetically active radiation in some inland and coastal southeastern Australian waters. *Australian J. Marine Freshwater Res.* **28**: 9-21.
- 4) Hojerslev NK (1975) A spectral light absorption meter for measurements in the sea. *Limnol. Oceanography.* **20**: 1024-1034.
- 5) Booth CR (1976) The design and evaluation of a measurement system for photosynthetically active scalar irradiance. *Limnol. Oceanography.* **21**: 326-336.