

小型・低消費電力マルチゲートカメラを用いた燐光の寿命測定装置の開発  
—海底における二次元酸素濃度分布の現場観測にむけて—

小栗 一将、北里 洋

海洋研究開発機構 地球内部変動研究センター

海底における酸素濃度のプロファイルは、水中から堆積物—水境界に到達した有機物の好気分解過程や、これらを餌にして、海底で生息する生物の活動を示す指標として利用される<sup>(1,2)</sup>。また、酸素濃度プロファイルから求められる酸素消費速度、そして、植物プランクトンの平均元素組成(レッドフィールド比)から計算される有機物の消費速度は、海底環境の健全性の評価<sup>(3)</sup>や、海洋における炭素循環のなかで、海底や底生生物が担う役割<sup>(4,5)</sup>を理解する上で不可欠なデータとなる。

近年では、より正確な海底の酸素濃度分布や、その時間変動を明らかにするために、生物地球化学分野においても、燐光の消光を利用した二次元酸素濃度測定法が適用されつつある<sup>(6)</sup>。ただし海底における正確な酸素濃度分布を測定するためには、現場観測を行う必要があるため、海洋研究開発機構では、カメラやコンピュータ、周辺機器を耐圧容器に組み込んだ、現場観測型二次元酸素濃度測定装置を開発中である。この装置には、独 PCO 社製のマルチゲートカメラ「SensiMod」を採用し(図 1)、励起光の照射やシャッタータイミングを制御するトリガボードには、機能を限定することで小型化したボードを新たに開発した(図 2、図 3)。また、酸素センサには、低酸素濃度領域で発光寿命の変化が大きい、白金オクタエチルポルフィリン(PtOEP)を用いたセンサホイルを適用した<sup>(7)</sup>。PtOEP は市販の UV-LED で励起できるが、今回は光源に高輝度緑色 LED アレイを用いた。これは、UV-LED 光源を現場観測に用いる耐圧容器内に組み込んだ場合、紫外線がアクリル製の耐圧窓を通らず、PtOEP の励起が出来ないことが確認されたためである(図 4)。

製作した装置は、現場観測時に耐圧容器に組み込まれる。そして、耐圧窓の前方には、センサホイルを貼ったプリズムが付く。堆積物—水境界における酸素濃度測定は、このプリズム部分を海底に突き刺すことで行われる(詳細は(8)に詳しい)。今回は、まず装置単体の基本性能を評価するため、実験室に設置した水槽内の酸素濃度分布測定を試みた(図 5)。この結果から、製作した装置は、海底の二次元酸素濃度プロファイルを測定するのに十分な性能を有することが確認された(図 6)。

#### 参考文献

- (1) Rasmussen, H., and Jørgensen, B.B. “Microelectrode studies of seasonal oxygen uptake in a coastal sediment: role of molecular diffusion” Marine Ecology Progress Series, 1992, 81, pp289–303.
- (2) Jørgensen, B.B, et al., “Oxygen distribution and bioirrigation in Arctic fjord sediments (Svalbard, Barents Sea)” Marine Ecology Progress Series, 2005, 292, pp85–95.
- (3) Fossing, H., Berg, P., Thandrup, B., Rysgaard, S., Sørensen, H. M. And Nielsen, K. “A model set-up for an oxygen and nutrient flux model for Aarhus Bay (Denmark)” NERI Technical Report, 2004, 483, p70, ISBN 87-7772-793-2.
- (4) Wenzhöfer, F and Glud, R.N. “Benthic carbon mineralization in the Atlantic: A synthesis based on in situ data from the last decade” Deep-Sea Research, 2002, 49, pp1255–1279.
- (5) Kitazato, H. et al., “Long-term monitoring of the sedimentary processes in the central part of Sagami Bay, Japan: rationale, logistics and overview of results” Progress in Oceanography, 2003, 57, vol1, pp3–16.
- (6) Glud, R.N., et al., “Planar optodes: a new tool for fine scale measurements of two-dimensional O<sub>2</sub> distribution in benthic communities” Marine Ecology Progress Series 1996, 140, pp217–226.

- (7) Oguri, K. et al., "Platinum octaethylporphyrin based planar optodes combined with an UV-LED excitation light source: An ideal tool for high-resolution O<sub>2</sub> imaging in O<sub>2</sub> depleted environments" *Marine Chemistry*, 2006, 100, pp95-107.
- (8) Glud, R.N., et al., "An *in situ* instrument for planar O<sub>2</sub> optode measurements at benthic interfaces" *Limnology and Oceanography*, 2001, 46, vol8, pp2073-2080.



図1 マルチゲートカメラ SensiMod (PCO 社カタログより引用)。本体に 12bit A/D コンバータが内蔵されているため小型である。CCD 冷却中、冷却後の消費電力は、それぞれ 36W、22W であった。データは光ファイバを経由して、専用の PCI ボードに転送される。



図2 PtOEP を用いた燐光寿命測定に機能を特化した小型トリガボード。励起信号とシャッタートリガ信号は、それぞれワンチップマイコン (PIC16F84A) によって生成される。

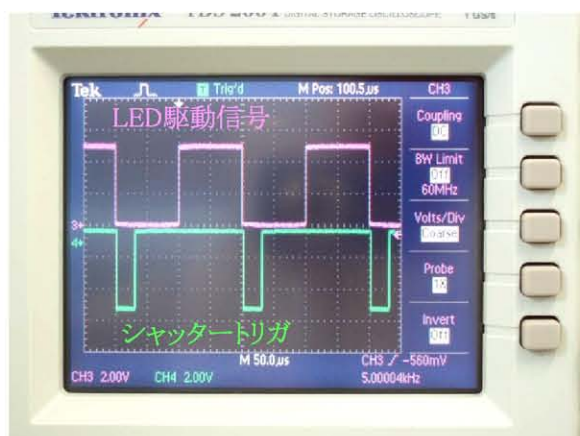
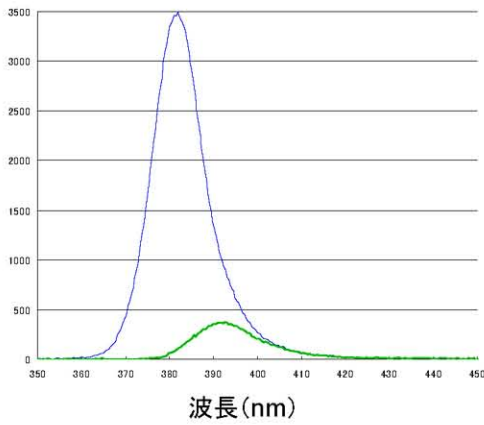


図3 トリガボードの出力波形(左:横軸目盛=50 μs)と拡大図(右:横軸目盛=250ns)。PtOEP を励起するために、LED 駆動信号として 5kHz の方形波を出力する。シャッタートリガのデューティ比は 84.375%で、LED オフから 1.25 μs 後にトリガ信号が 5V から 0V になる。そして 31.25 μs 後に、トリガ信号は再び 5V となる。それぞれの信号立ち下がり時間は 100ns 以下であった。

カウント



カウント

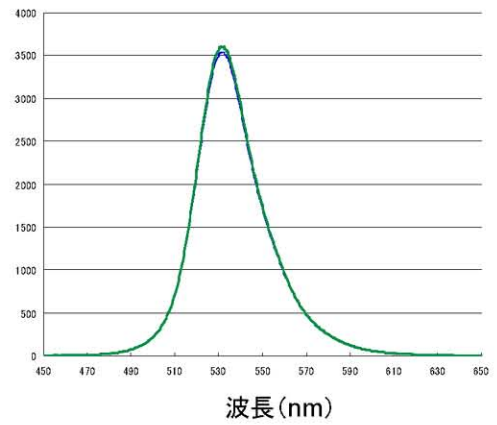


図4 励起光源の発光スペクトル(青線)と、厚さ4cmのアクリル製耐圧窓を通した場合のスペクトル(緑線)。左のグラフはUV-LED(NCCU001, 日亜化学)、右は緑色LED(JL5-W20-25-G25000, Jeled Electronic)の結果をそれぞれ示す。スペクトルの測定にはUSB2000(OceanOptics)を用いた。

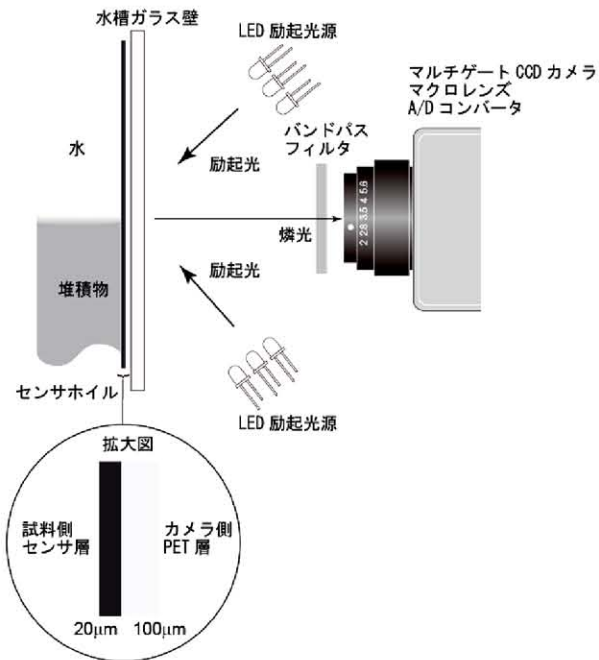


図5 堆積物-水境界の二次酸素濃度プロファイルを測定するためのセットアップ。水槽のガラス内側にセンサホイルを配置し、励起光を水槽外側から照射する。センサ層のバインダにはポリスチレンを用い、PETフィルムには、アセトンで洗浄したレーザープリンタ用のOHPシート(LPCOHPS1, EPSON)を使用した。

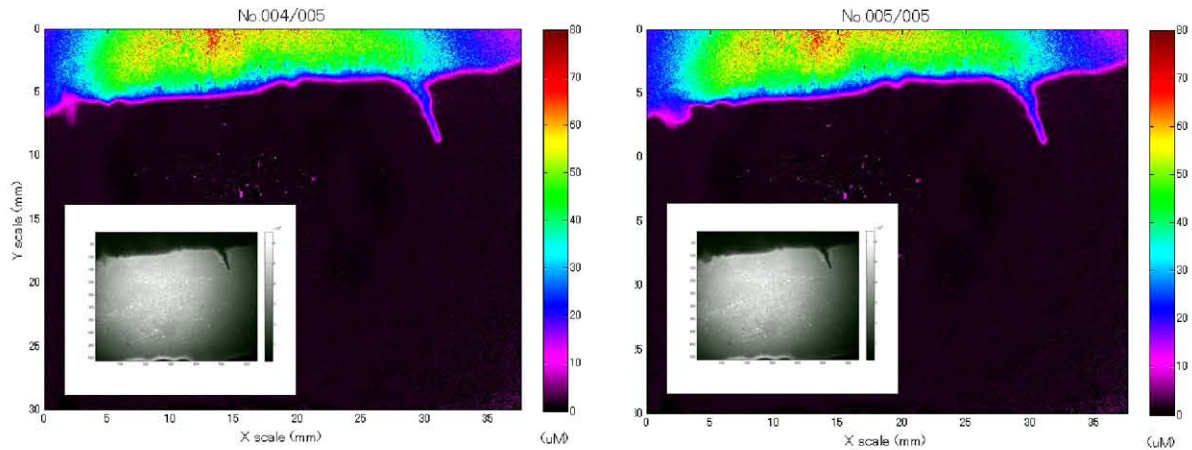


図 6 本装置によって得られた水槽内の二次元酸素濃度プロファイル。黒色部分は、堆積物内部が無酸素状態にあることを示す。この画像から、酸素は、海底表面からわずか数 mm で消費されてしまうことが分かる。また、海底には生物活動によってつくられた穴が存在し、その部分だけ酸素が堆積物内部まで供給されていることが示される。右画像は、左画像の 5 分後に得られた分布である。両方の酸素濃度分布を比較すると、左部分に、生物活動に伴う濃度変化が見られる。なお、一枚の酸素濃度画像(すなわち、二枚の蛍光強度画像)を取得するのに要した時間は 4 秒であった。白枠内は蛍光の強度画像である。酸素濃度画像と強度画像を比較することで、生物の動きなどを追跡することが可能になる。