

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510022

研究課題名(和文) 海洋貧酸素化は海底の生元素質循環にどのような変化をもたらすか？

研究課題名(英文) How O₂ depletion affects to chemical-biological interactions at sediment surface?

研究代表者

小栗 一将 (Oguri, Kazumasa)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極限環境生物圏領域・技術研究副主幹

研究者番号：10359177

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：海底における酸素消費フラックスを測定するため、高精度酸素濃度制御装置を開発、これを用いて、八戸沖水深500m(溶存酸素=112 μ M)、1000m(36 μ M)、2000m(70 μ M)から採取した海底堆積物の酸素プロファイル測定、拡散モデルを適用した。フラックスはそれぞれ2.7-4.2, 0.6-0.7, 1.4-1.6mm m⁻² d⁻¹であった。レッドフィールド比から推定される二酸化炭素生成フラックスは、それぞれ2.1-3.1, 0.5, 1.1-1.2 mmolC m⁻² d⁻¹であった。この値は衛星から観測される当該階域における一次生産量の0.6-10%であった。

研究成果の概要(英文)：High precision O₂ controller was developed to measure diffusive O₂ uptake on board. O₂ profiles at sediment surface taken from off Hachinohe (water depth of 500m, 112 μ M in bottom water), 1000m (36 μ M) and 2000m (70 μ M) were measured with the O₂ controller and O₂ microelectrodes. O₂ uptake in each core was calculated applying diffusion model, and the rates were 2.7-4.2, 0.6-0.7 and 1.4-1.6mm m⁻² d⁻¹, respectively. Carbon dioxide production rates were estimated to 2.1-3.1, 0.5 and 1.1-1.2 mmolC m⁻² d⁻¹, respectively to apply Redfield ratio.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：堆積物 - 水境界 酸素濃度 酸素フラックス 酸素極小域

1. 研究開始当初の背景

二酸化炭素濃度の上昇に対応し、海洋における pH の低下が懸念されている。同時に、温暖化に伴い一時生産量の増加、海洋の密度差の増大などによって海洋の貧酸素化が促進する可能性も指摘されている。例えばバルト海では 1900 年以降、無酸素環境が広がっており (Lovisa et al., 2008)。日本海では低層水の酸素濃度の減少が続いている (毎日新聞、2010 年 10 月 12 日)。海底の酸素濃度が減少すると、生物群集はどう変化し、生物の活動と密接に関係する生元素循環はどう変化するのか? このような視点を基にした海底の酸素プロファイルや消費フラックスの研究はあまり多くなかった。日本周辺の深海底で酸素消費フラックスを調べた研究も、相模湾の数例 (Glud et al., 2005; Glud et al., 2009; Berg et al., 2009) が存在するだけであり、日本近海における酸素フラックスの研究は立ち遅れていた。

2. 研究の目的

海底付近の酸素濃度の減少は、生元素循環にどう影響するか? ということを明らかにすることを最終目標とし、以下の目的にしたがって研究を遂行した。

(1) 海底を観察するために、マルチプルコアラナーなどに着脱可能な、小型カメラシステムを開発する。

(2) 航海で採取したコアを海底の温度、酸素濃度で培養して、酸素プロファイルやフラックスを測定するため、培養装置を開発する。

(3) これらの装置を用いて、水深 800 ~ 1000m に存在する酸素極小層をはさみ、海底の酸素濃度が大幅に異なる下北半島沖をフィールドにした、海底の酸素プロファイルおよびフラックスを測定する。

以上をまとめ、下北半島沖における酸素極小層をはさんだ水深の海底の様子を撮影し、生物群集の観察と生元素循環 (具体的には酸素フラックスと好気分解速度) を明らかにする。

3. 研究の方法

研究は、以下の方針で進めた。

(1) 海底環境を記録するため、マルチプルコアラナーに取り付ける LED 光源付き小型カメラシステムを開発する。これによって海底の様子や生息する生物などを観察する。カメラには、市販のハイビジョンビデオカメラを用い、これを制御タイマー回路やニッケル水素電池とともに耐压容器に組み込んだ。LED には高輝度白色、あるいは三色 LED を採用し、これを直並列に配置したプリント基板をエポキシ樹脂で固定することにより、深海の高圧下でも繰り返し使用できるものを開発した (図 1)。

(2) 任意の酸素濃度を設定、一定に制御できる酸素濃度制御装置 スーパーオキシスタット

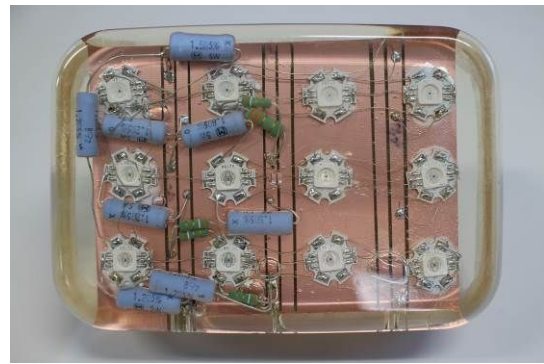


図 1. 開発した耐压 LED 光源。

ットを開発する。具体的には、チラーで水槽の水温を一定に保った上で、窒素と空気の混合ガスを導入、光学式酸素センサで酸素濃度をモニタリングしながら、ガスの混合比を PID 制御によって常時変化させ濃度を一定に保つ、というものである。制御にはノートパソコンに接続したコントローラーを用い、プログラムは LabVIEW で作成した (図 2)。

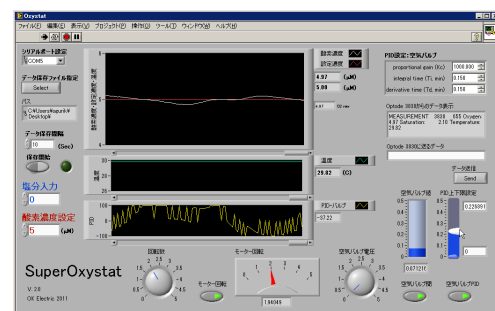
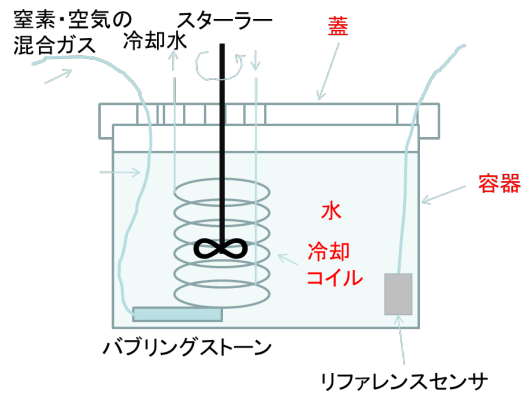


図 2. スーパーオキシスタットの構造と、作成した制御ソフトウェア。

(3) 学術研究船「淡青丸」KT11-20 航海において、CTD ロゼット採水器による採水、ウィンクラー法による水中の酸素濃度測定を行い、酸素極小層の位置を調べた。そしてマルチプルコアラナーを用い、下北沖水深 800, 1000, 2000m から堆積物をそれぞれ採取、海底の写真を撮影するとともに、船内で培養を 9 時間行い、堆積物の酸素プロファイルを測定した (図 3)。測定には Unisense 社の微小

酸素電極 OX50 と、同社製のマイクロプロファイラーを使用した。

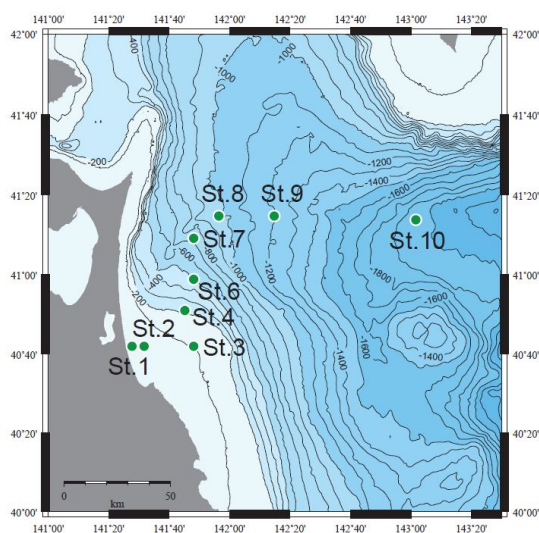


図 3. KT11-20 航海でサンプリングを行ったサイト。微小電極によるプロファイル測定に使用した試料は、St.6(500m)、St.8(1000m)および St.10(2000m)から採取した。

4. 研究成果

(1) 耐圧 LED 光源は、JAMSTEC の耐圧試験水槽を用いた耐圧試験 (11000m 相当) や、YK12-10 航海における日本海溝三重点 (9220m) YK13-10 トンガ海溝調査 (10800m) などを通し、水深 10000m 以深まで何度も使用できることを実証した。成果は特許出願した (小栗, 2014)。また、カメラシステムについては論文にまとめ投稿した (小栗ほか, 2014, JAMSTEC-R 投稿中)。

(2) 酸素濃度の長時間高精度制御に成功し、船内のラボでコアの培養を行えるようになった。精度は $112\mu\text{M}$ と $5.0\mu\text{M}$ に設定、それぞれ 7.5 時間と 6 時間の変動を測定した際、 $0.11\mu\text{M}$ 、 $0.043\mu\text{M}$ と、きわめて高い安定性を示した (図 4)。これによって、海底の現場と同じ環境 (圧力を除く) で酸素濃度のプロファイルを測定できるようになったため、KT11-20 航海で使用した。

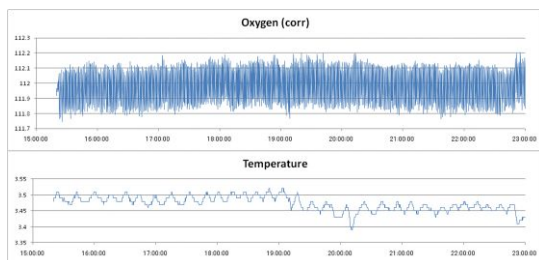


図 4. スーパーオキシスタットを用いた酸素濃度制御の例。

(3) カメラの映像から、下北半島沖水深 500 ~ 2000m に生息する主な底生生物はクモヒトデであり、水中の酸素濃度に関係なく生息していることが判明した。



図 5. 水深 1000m における海底の様子。

水中の酸素濃度測定の結果から、水深 1000m 付近に酸素極小層が発達することが明らかになった。この層における酸素濃度は $40\mu\text{M}$ 以下であった (図 6)。

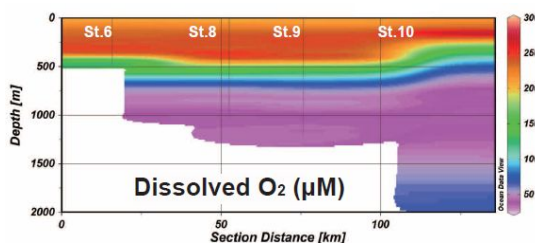


図 6. 水中の酸素濃度プロファイル。

500m, 1000m, 2000m における堆積物中の酸素濃度プロファイルと、拡散モデル (Berg et al., 1998) による解析の結果、酸素はそれぞれ $1.5\sim 2.8\text{mm}$ 、 $3.9\sim 6.8\text{mm}$ 、 5.0mm で枯渇することが分かり、拡散による堆積物中への酸素フラックス (定常状態を仮定) は、それぞれ $2.7\sim 4.2$ 、 $0.6\sim 0.7$ 、 $1.4\sim 1.6\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ であった。

これらのフラックスにレッドフィールド比 ($\text{C}:\text{O}_2=106:138$) を適用し、好気分解に伴う二酸化炭素生成フラックスを見積もった。500m, 1000m, 2000m でそれぞれ $2.1\sim 3.1$ 、 1000m で 0.5 、そして 2000m で $1.1\sim 1.2\text{mmol C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ となった。この値は、衛星リモートセンシングによって推定される当海域の一時生産量 ($30\sim 80\text{mmol C m}^{-2} \text{d}^{-1}$, Ishizaka, 1998) の $0.6\sim 10\%$ に相当する。酸素極小域では、溶存酸素がもともと少ないため二酸化炭素生成フラックスも小さいが、堆積物中に埋没する有機炭素フラックスも、酸素濃度の高い他の地点よりも多くなること示唆される。この結果は 2012 年のヨーロッパ地球科学連合 (EGU) にて発表した。

その他、海底における物質循環、堆積に係る研究を行い、アラビア海、ムンバイ沖における海底の酸素濃度の時間変動の測定 (2011 年ヨーロッパ地球科学連合 (EGU) にて発表)。

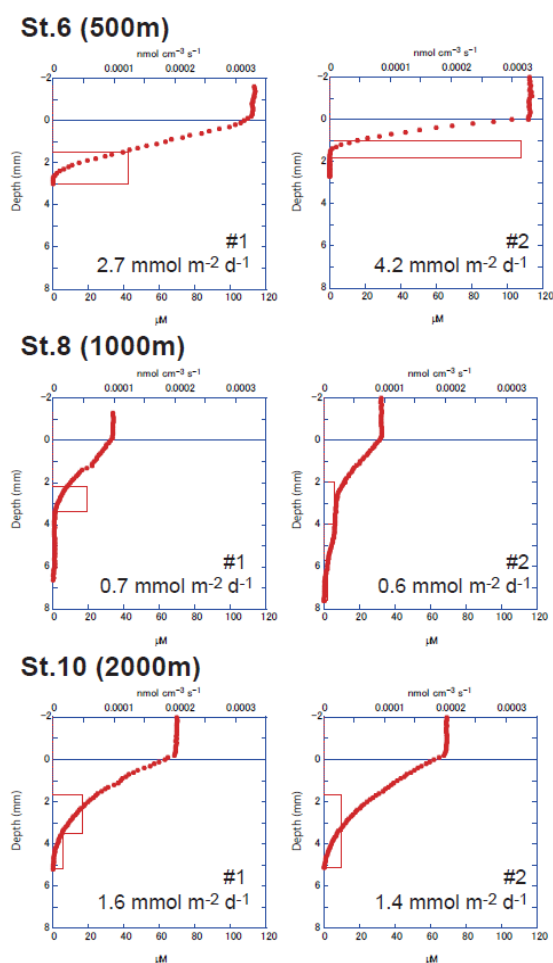


図 7. 各水深における堆積物の酸素濃度プロファイルと、拡散に伴う消費フラックス。

東北震災後の日本海溝の様子と堆積学的な解析によって、震災後も海底は重力的に不安定であることを突き止めた (Oguri et al., 2013) など、異なる深海底における海底環境の違いや変動などを明らかにする研究をすすめ、発表を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

{ 雑誌論文 } (計 13 件)

Turnewitsch, R., Falahat, S., Stehiko, J., Oguri, K., Glud, R.N., Middelboe, M., Kitazato, H., Wenzhöfer, F., Ando, K., Fujio, S., Yanagimoto, D., Recent sediment dynamics in hadal trenches: evidence for the influence of higher-frequency (tidal, near-inertial) fluid dynamics, Deep-sea research I, in press, 2014. 査読あり
Tsuboi, T., Wada, H., Nakamura, T., Hang, T.T, Matsuzaki, H., Otsuji, N., Fujioka, K., Oguri, K., Kitazato, H. Deep-sea limestone block as source of

¹⁴C-depleted dissolved inorganic carbon at the Palau Trench. Chemical Geology, 364, 1-8, 2014. 査読あり

Glud, R. N., Wenzhöfer, F., Middelboe, M., Oguri, K., Turnewitsch, R., Canfield, D. E., Kitazato, H., High rates of microbial carbon turnover in sediments in the deepest oceanic trench on Earth. Nature Geoscience, 6, 284-288, DOI: GEO1773, 2013. 査読あり

小栗一将, 堆積物 - 水境界における現場測定技術の最前線. 地球化学, 47, 1-20, 2013. 査読あり

Oguri, K., Kawamura, K., Sakaguchi, A., Toyofuku, T., Kasaya, T., Murayama, M., Glud, R. N., Fujikura, K., Kitazato, H., Hadal disturbance in the Japan Trench induced by the 2011 Tohoku-Oki Earthquake. Scientific Reports, 3, 1915, DOI:10.1038/srep01915, 2013. 査読あり

Tsuchiya, M., Gooday, A.J., Nomaki, H., Oguri, K., Kitazato, H., Genetic diversity and environmental preferences of monothalamous foraminifers revealed through clone analysis of environmental small-subunit ribosomal DNA sequences. Journal of Foraminiferal Research, 43, 1, 3-13, 2013. 査読あり
Yamamoto, M., Nakamura, R., Oguri, K., Kawagucci, S., Suzuki, K., Hashimoto, K., Takai, K. Electricity generation and illumination via an environmental fuel cell in deep-sea hydrothermal vents. Angewandte Chemie International Edition, DOI: 10.1002/anie.201302704, 2013. 査読あり

Asahara, Y., Takeuchi, F., Nagashima, K., Harada, N., Yamamoto, K., Oguri, K., Tadai, O., Provenance of terrigenous detritus of the surface sediments in the Bering and Chukchi Seas as derived from Sr and Nd isotopes: implications for recent climate change in the Arctic regions. Deep-Sea Research II, 61-64, 155-171, 2012. 査読あり

Kiyokawa, S., Ninomiya, T., Nagata, T., Oguri, K., Ito, T., Ikehara, M., Yamaguchi, K.E., Effects of tides and weather on sedimentation of iron-oxyhydroxides in a shallow-marine hydrothermal environment at Nagahama Bay, Satsuma Iwo-Jima Island, Kagoshima, southwest Japan. Island Arc,

21,2,118-147, 2012. 査読あり
Harada, N., Sato, M., Oguri, K., Hagino, K., Okazaki, Y., Katsuki, K., Tsuji, Y., Shin, K-H., Tadai, O., Saitoh, S., Narita, H., Konno, S., Jordan, R.W., Shiraiwa, Y., Grebmeier, J., Recent environmental changes enhance coccolithophorid blooms in the Bering Sea. *Global Biogeochemical Cycles*, 26, GB2036, doi:10.1029/2011GB004177, 2012. 査読あり

Oguri, K., Harada, N., and Tadai, O., Excess ^{210}Pb and ^{137}Cs concentrations, mass accumulation rates, and sedimentary processes on the Bering Sea continental shelf. *Deep-Sea Research II*, 61-64, 193-204, 2012. 査読あり

Hunter, W., Oguri, K., Kitazato, H., Ansari, Z.A., and Witte, U., Epi-benthic megafauna zonation across an oxygen minimum zone at the Indian continental margin. *Deep-Sea Research I*, 58, 6, 699-710, 2011. 査読あり

小栗一将, 杉崎彩子, 飯島耕一, 坂本竜彦, 北里 洋, ガンマ線スペクトロメトリにおける ^{210}Pb , ^{214}Pb の解析方法に関する検討, *JAMSTEC Report of Research and Development*, 12, 27-36, 2011. 査読あり

〔学会発表〕(計 5 件)

Oguri, K., Kawamura, K., Sakaguchi, A., Toyofuku, T., Kasaya, T., Murayama, M., Glud, R.N., Fujikura, K., Kitazato, H., Hadal disturbance and radionuclide profiles at the deepest Japan Trench, northeastern Japan. *European Geosciences Union, General Assembly 2013 Abstract*, Vienna, Austria, 7-12/Apr./2013, Austria Center Vienna.

Oguri, K., Glud, R.N., Wehzhöfer, F., Stahl, H., Middelboe, M., Nomaki, H., Kitazato, H., Microscale dynamics in the deep-sea: Ten days of continuous benthic O_2 imaging in surface sediments (off Hatsushima, Sagami bay, Japan). *Association for the Sciences of Limnology and Oceanography 2012 Abstract*, Ohtsu, Japan, 8-13/Jul./2012, びわこホール, 大津市.

Oguri, K., Toyofuku, T., Fontanier, C., Schiebel, R., DeNoojer, L.J., Koho, K., Reichart, G-J., Kitazato, H., Oxygen concentration profiles and the consumption rates at the sediment-water interface off

Hachinohe, Northeastern Japan. *European Geosciences Union, General Assembly 2012 Abstract*, Vienna, Austria, 23-27/Apr./2012, Austria Center Vienna.

小栗一将, 豊福高志, 坂口有人, 川村喜一郎, 笠谷貴史, 東北地方太平洋沖地震後の日本海溝海底の様子と堆積物の特徴, 2012 年度日本海洋学会春季大会, 2012 年 3 月 28 日, 筑波大学.

Oguri, K., Kitazato, H., Oxygen dynamics at sediment-water interface in Arabian Sea continental margin: results from planar oxygen optode experiments in situ. *European Geosciences Union, General Assembly 2011 Abstract*, Vienna, Austria, 3-8/Apr./2011, Austria Center Vienna.

〔産業財産権〕
出願状況 (計 1 件)

名称: 光源システム及び撮像システム
発明者: 小栗一将
権利者: 独立行政法人海洋研究開発機構
種類: 特開
番号: 2014-013700
出願年月日: 2012 年 7 月 4 日
国内外の別: 国内

取得状況 (計 4 件)

名称: 観測装置
発明者: 小栗一将
権利者: 独立行政法人海洋研究開発機構
種類: 特許
番号: 5311308
取得年月日: 2013 年 7 月 12 日
国内外の別: 国内

名称: Observation Apparatus
発明者: Kazumasa Oguri
権利者: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
種類: Patent
番号: US 8,202,478 B2
取得年月日: 2012 年 6 月 19 日
国内外の別: 国外

名称: Measuring apparatus for dissolved oxygen
発明者: Kazumasa Oguri
権利者: Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology
種類: Patent
番号: GB2098862
取得年月日: 2012 年 11 月 21 日
国内外の別: 国外

名称: Measuring apparatus for dissolved

oxygen

発明者：Kazumasa Oguri

権利者：Japan Agency for Marine-Earth
Science and Technology

種類：Patent

番号：DE2098862

取得年月日：2012年11月21日

国内外の別：国外

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小栗 一将 (Oguri Kazumasa)

独立行政法人海洋研究開発機構・海洋・極
限環境生物圏領域・技術研究副主幹

研究者番号：10359177