

氏名	笹野 大輔		
学位の種類	博 士 (環境学)		
学位記番号	博 甲 第 7793 号		
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Trends of Oxygen with Bidecadal Oscillations in the Western North Pacific (西部北太平洋における溶存酸素の長期および周期変動に関する研究)		
主査	筑波大学教授	理学博士	濱 健夫
副査	筑波大学教授	博士 (理学)	植田 宏昭
副査	筑波大学准教授	博士 (理学)	廣田 充
副査	気象庁気象研究所室長	理学博士	石井 雅男

論 文 の 要 旨

海水中の溶存酸素 (O_2) は最も基本的な物質の一つであり、海洋での生物地球化学的物質循環において中心的な役割を果たしている。従って、 O_2 変動を明らかにすることは、海洋における物質循環を理解につながる。近年、海洋において O_2 が減少していることが知られており、地球温暖化による溶解度低下と成層強化が主な原因と考えられている。貧酸素化は特に北太平洋において多く報告されているが、西部北太平洋全体における変動とその要因の分布は明らかになっていない。また、親潮域において長期的な O_2 減少に加えて 20 年規模の周期変動が知られているが、 O_2 の長期変動を理解する為にも、その分布を把握する必要がある。本研究では、西部北太平洋を対象域として、 O_2 の減少とその変動要因の分布について明らかにすることを目的とした。

O_2 の測定には、採水した海水を用いた化学分析によるもののほか、 O_2 センサーを用いる方法がある。精度が十分な O_2 センサーが存在すれば、船舶観測で時空間的に高密度なデータが取得できるほか、フロートなどの自動観測装置によって、船舶観測が難しい海域・季節においてもデータが取得でき、 O_2 変動の理解につながる。そこで、2007 年に開発された高速応答 O_2 センサー“RINKO”を導入し、現場観測に必要な性能があるかを評価した。その結果、RINKO の応答時間が 1 秒程度であることが確認できたことから、RINKO は十分な性能があり、今後の観測網の展開において O_2 の長期変動を検出する強力なツールとなる可能性が示された。

西部北太平洋における O_2 長期変動とその要因を理解するため、気象庁が観測を行っている 165E 線での長期時系列データ (1987~2011 年) の解析を行った。165E 線における O_2 の長期変動は、緯度や密度面毎に傾向が異なっていた。代表的な水塊を含み、 O_2 減少が顕著な 25°N–30°N に着目すると、北太平洋亜熱帯モード水 (NPSTMW) に相当する密度 25.3 σ_θ 面付近において、 O_2 は有意に大きく減少していた ($-0.45 \pm 0.16 \mu\text{mol kg}^{-1} \text{yr}^{-1}$)。 O_2 減少に対する寄与を要因別に評価したところ、等密度面深度の深化 (主に水温上昇が支配) による見かけ上の O_2 減少で約半分を説明できた。また、水温上昇に伴う酸素飽和濃度 ($O_{2\text{sat}}$) の低下で O_2 減少の約 30% を説明することができた。

次に、親潮域の O₂ 長期変動と周期変動について解析を行った。親潮域において、O₂ は 20 年規模の周期変動を伴いながら、長期的に減少していた。周期は 16.4~19.6 年であった。O₂ 減少が最も大きかった密度面は 26.7σ_θ であり (-0.72 ± 0.11 μmol kg⁻¹ yr⁻¹)、この密度面は、冬季混合によって形成される中冷水のコア密度に相当する。長期的に冬季海面水温が上昇し、密度が低下していることから、冬季における海面からのベンチレーション弱化による影響が原因として示唆される。また、それ以深での O₂ 減少は、オホーツク海の海氷生成減少に伴ってベンチレーションが弱化した結果、オホーツク海中層水で O₂ 減少が減少し、ブッソル海峡における diapycnal 混合によって 27.5σ_θ まで伝えられていることが示唆された。

西部北太平洋では、広い密度面において O₂ が減少しており、水塊毎にその要因が異なっていた。また、その要因は地球温暖化に起因するものがほとんどであり、西部北太平洋を起源とする O₂ 減少シグナルが北太平洋全体へと広がっていることが示唆された。これらの結果は、地球温暖化の進行とともに海洋の貧酸素化が進行する可能性を示すものである。

審 査 の 要 旨

海洋に溶存する O₂ は、海洋に生息する生物の物質代謝を反映してその濃度が決定するため、海洋の生物活動ならびに生物地球化学的循環において、非常に重要な物質である。近年、海洋における O₂ 濃度が低下していることが報告されているが、その実態と低下をもたらす要因については不明確な点が多い。本研究では、船舶観測に特化した O₂ センサーの実用化を確認するとともに、西部北太平洋域を対象として、O₂ の長期的変化と変化をもたらす要因について解析を行った。

まず、著者らは船舶による海水中の O₂ の測定に際し、応答速度の高いセンサーの検証を実施した。その結果、本センサーは 1 秒程度の高い応答時間で O₂ 濃度を測定できることが明らかとなった。これは、広域かつ多深度に渡る O₂ 濃度の測定の実施に際し、採水、固定、滴定等の操作を含む従来の煩雑な方法に比較して、本センサーの有用性を示すものと判断され、今後の本センサーの利用が大いに期待される。また、東経 165 度における 1987 年から 2011 年に渡る O₂ 濃度の長期変動の解析を通して、その変動は海域により一律ではなく、緯度や密度面によって異なることを明らかにした。特に、西部北太平洋域の物質循環過程に重要な役割を有する北太平洋亜熱帯モード水において O₂ 濃度が大きく減少していることを見だし、その主な要因が水温上昇であることを特定した点は高く評価できる。本研究の成果は、今後の地球温暖化など気候変動と海洋の貧酸素化の関係を解析、予測するために、極めて重要な情報を多く含むものと思われる。

平成28年1月27日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（環境学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものとして認める。