

夏季の諫早湾北部海域における貧酸素水塊の発生機構に関する研究

長崎大学大学院工学研究科
金相曄

諫早湾は、国営諫早湾干拓事業に伴って、1997年に諫早湾の湾奥部が約7kmの潮受け堤防で閉め切られ、35km²の干潟および浅海域が900ヘクタールの農地と2600ヘクタールの調整池に改変された。諫早湾内にこのような潮受け堤防が建設された後、2000年度の冬季に例外的な日射量と豊富な栄養塩の流入に伴って発生した赤潮の異常繁殖による海苔の色落ち被害を初め、諫早湾干拓事業が有明海の水環境に及ぼす悪影響が指摘され、大きな社会問題となっている。特に、夏季の諫早湾北部海域では、密度成層の形成に伴って底層で貧酸素水塊が頻繁に発生しており、養殖している二枚貝の斃死など水産業に甚大な被害をもたらしている。しかし、夏季の諫早湾北部海域で発生する貧酸素水塊の発生機構は未だに明らかになされていないのが現状である。本研究では、夏季の諫早湾北部海域で実施した水質観測や潮流観測の結果に基づいて、当該海域に発生する貧酸素水塊の挙動と水質動態および流動特性との関係について考察を加えた。また、夏季に形成される密度成層と貧酸素水塊との関係性についても検討した。さらに、数値シミュレーション手法を用いて流動の再現計算を行うと共に、諫早湾中央部の底層に出現する貧酸素水塊の挙動と諫早湾北部海域における貧酸素水塊の消長との関係を通して、夏季の諫早湾北部海域における貧酸素水塊の発生機構について解明に努めた。本論文の構成と内容は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景および目的を述べている。

第2章では、夏季の諫早湾北部海域における底層の溶存酸素濃度(以下、DO)の変化と密度成層の関係を明らかにするため、2008年から2015年まで、夏季の梅雨明け後に諫早湾北部海域において集中的に継続してきた長期水質観測の結果を用いて、詳細にわたる考察を行った。その結果、夏季の諫早湾北部海域における底層のDOは、水温差、塩分差、12時間前のChl-a値と負の相関関係があり、特に、表層と底層との水温差が底層のDOの変動特性に著しく影響を及ぼしていることが明らかとなった。また、貧酸素化を引き起こす密度成層の形成については、水温成層より塩淡成層の寄与率が(50~70%)が高いとの深山らの研究報告があるものの、近年の夏季には、水温差が大きい場合に底層のDOが減少する傾向にあることも分かった。

第3章では、夏季に諫早湾北部海域で行った潮流流速および底層のDOの連続観測のデータから、貧酸素水塊の発生と流動特性との関係について検討を加えた。その結果、夏季の諫早湾北部海域で発生する貧酸素水塊は、小潮期に諫早湾口中央部の底層で形成された低酸素水塊が上げ潮時の北西方向の流れとともに諫早湾北部海域に移流され、満潮時の弱い流速で貧酸素化された後、下げ潮時に再び湾口部へ輸送されるプロセスが確認された。このような小潮期の流れの発生は、東西方向に卓越する日周期分潮の影響を受けているためと判断される。また、諫早湾口部で形成される低酸素水塊または貧酸素水塊は、海底面付近で水温躍層が形成されると、酸素消費の影響を受ける海底面から躍層の区間の水の体積が小さくなるため、海底面近傍で貧酸素化が促進されるものと判断された。

第4章では、夏季の諫早湾北部海域においても、一級河川や諫早湾調整池からの淡水流入に伴う塩淡成層が形成された折に出現する貧酸素水塊に着目している。特に、塩淡成層が底層のDOに及ぼす影響等、基礎的な知見を得るため、表層の塩分と筑後川からの河川水の排水量および海上風データの関係について統計解析を行った。その結果、海上で南風が2m/s以上を除く全ての風条件の下で、筑後川(久留米・瀬ノ下地点)から淡水が150m³/s以上排水された場合に、72時間後には筑後川からの淡水が諫早湾北部海域に流れ込んで、塩淡成層を形成することが明らかにされた。

第5章では、数値シミュレーションを用いて流動特性を再現するとともに、諫早湾内の底層における水塊の挙動と諫早湾北部海域における貧酸素水塊の消長との関係を検討した。

その結果、諫早湾北部海域では、釜地区地先と小長井港周辺で発生する貧酸素水塊の発生機構が異なっていた。特に、釜地区地先周辺では、第3章で明らかとなったように、小潮期の上げ潮時に湾中央部からDOの低い水塊が移流され、満潮に貧酸素化され、その貧酸素水塊が下げ潮時に再び湾口部に移流されるのが数値シミュレーションでも確認された。

小長井港周辺は、島原半島に沿って移流するDOの高い水塊の影響を受けており、小潮期には、その移流が弱くなり貧酸素化されたと判断される。

第6章では、各章で得られた結果に基づいて本研究の結論をまとめている。

夏季の小潮期に諫早湾で発生する貧酸素水塊は、大潮期に消滅、小潮期に発生する傾向が認められるものの、湾中央部と湾北部海域で発生機構が異なっていることが確認された。特に、諫早湾北部海域では、湾口中央部の水塊とお互いに影響を及ぼし合っており、小潮期に卓越する日周期分潮の流れと密接な関係があった。すなわち、諫早湾北部海域における底層の低酸素水塊は、小潮期の上げ潮時に出現する北西方向の流れに乗って、諫早湾北部海域へ移流され、その後の満潮時の弱い流速下で貧酸素水塊となったものと判断された。

A Study on Mechanism of Hypoxic Water Formation in the Northern Part of Isahaya Bay during Summer Season

Nagasaki University, Graduate School of Engineering
KIM SANGYEOP

Ariake sea is an important place for fisheries and laver culture in Japan. After the construction of sea dyke under the National Reclamation Project in Isahaya Bay, public concern on the environmental problems in Ariake Sea has arisen. Recently, hypoxic water is occurring from density stratification in the northern part of Isahaya Bay during summer season. Especially, when the hypoxic water was occurred in sea bottom layer, it has caused enormous damage to the fishing industry, such as mortality of shellfishes. However, the mechanism of hypoxic water formation in the northern part of Isahaya Bay during summer season has not understood yet. In this study, based on the result of water quality and tidal current data which were carried out in Isahaya Bay, it was discussed the relationship between behavior of hypoxic water and the water quality dynamics & flow characteristics. Also, the correlation between density stratification and hypoxic water was examined. In addition, the mechanism of the prosperity and decline of hypoxic water was found by using numerical simulations. The structure and content of this study is as follows.

In Chapter 1, this study's background and purpose are introduced.

In Chapter 2, in order to clarify the relationship between dissolved oxygen (DO) in the bottom layer and the density stratification, careful examination was carried out using results of long-term water quality observation data, at the end of rainy season in summer from 2008 to 2015. A multiple regression analysis was conducted using DO in the bottom layer and water quality data. The results indicated that DO in the bottom layer had a negative correlation with water temperature (difference between surface layer and bottom layer), salinity (difference between bottom layer and surface layer), and surface layer chlorophyll-a (data collected 12 hours before DO). Especially, the analysis revealed that the influence of the water temperature was the greatest factor in the variation of DO in the bottom layer.

In Chapter 3, the correlation between the hypoxic water occurring and the flow characteristics was examined using flow and DO observation data. As a result, hypoxic water in the northern part of Isahaya Bay originated from low concentration value of DO that water flowed via the mouth of Isahaya Bay during flood tide.

Thereafter, the hypoxic water which was occurred in the northern part of Isahaya Bay was transported back to the mouth of Isahaya Bay during ebb tide. Especially, if the thermocline layer was formed in the vicinity of the seabed on the mouth of Isahaya Bay, it resulted in the acceleration of hypoxia in bottom layer. This acceleration of hypoxia occurred because the volume between the seabed and the thermocline reduced, which resulted in the consumption of oxygen in the bottom layer.

In Chapter 4, in order to clarify the correlation between the mechanism of salinity stratification formation and wind and flow discharge from the Chikugo River, statistical analysis was implemented. The results indicated that fresh water originating from the Chikugo River directly flowed into the northern part of Isahaya Bay via the western coast of Ariake Sea except when the southerly wind blew. In order to have a better understanding on the relationship among surface layer's salinity and wind or a flow discharge from the Chikugo River, statistical analysis was implemented. The statistical result indicated that surface layer's salinity at Observation Tower B4 tends to be less than the average when the amount of flow discharge before 72 hours from the Chikugo River was more than $150\text{m}^3/\text{s}$.

In Chapter 5, the mechanism of the prosperity and decline of hypoxic water was found by using numerical simulations. As a result, in the northern part of Isahaya Bay, the mechanism of hypoxic water occurring was different between around the Kamachiku and the Konagai Port. Especially, hypoxic water occurring around the Kamachiku was same as the result in Chapter 3. On the other hand, around Konagai Port, hypoxic water occurred by reduced inflow with high concentration value of DO via the Simabara Peninsula.

In Chapter 6 summarizes the conclusions of this study based on the results obtained in each chapter. The hypoxic water in the northern part of Isahaya Bay tends to occur during the neap tide on summer. On the other hand, it tends to disappear during the spring tide. In particular, not only a review by the observation data but also a consideration by the numerical simulation results, it is confirmed that the hypoxic water in the northern part of Isahaya Bay was originated from low concentration value of DO water flowed via the mouth of Isahaya Bay during flood tide on ebb tide. Furthermore, the low concentration value of DO in the mouth of Isahaya Bay was occurred by thermocline layer of the vicinity of the bottom layer.