

能取湖における風による貧酸素水塊の挙動特性

品田晃良^{*1}, 大森 始^{*2}, 多田匡秀^{*1}, 西野康人^{*3}, 佐藤智希^{*3}

Effect of wind on behavior of hypoxic water in Lake Notoro

Akiyoshi SHINADA^{*1}, Hajime OMORI^{*2}, Masahide TADA^{*1},
Yasuhito NISHINO^{*3} and Tomoki SATO^{*3}

Effect of wind on behavior of hypoxic water was examined to prevent fishery damages in Lake Notoro from 18 to 27 September 2007. Vertical and horizontal distributions of water temperature, salinity and dissolved oxygen were investigated. Wind data was obtained from the web site of the Meteorological Agency. Although average wind velocities were less than ca. 4 m s^{-1} until 24 September, it became more than 6 m s^{-1} from 25 to 26 September. The hypoxic water was observed at bottom of shallow station on 18 and 20 September, and then it disappeared at all stations after 25 September. These results coincide with information reported by numerical simulation, which indicated deep water lifted due to less than 4 m s^{-1} of average wind velocity and the stratification was destroyed when wind velocity was more than 6 m s^{-1} . Therefore, wind might have strong effect on behavior of hypoxic water in Lake Notoro. We analyzed year-to-year variation of average wind velocity in summer from 1998 to 2007. This analysis indicates that the probability, which is days under 4 m s^{-1} of average wind velocity continues for more than 50 days, is very low. The monitoring of average wind velocity could be one of the useful index to precaution against behavior of hypoxic water.

キーワード：ホタテガイ, 貧酸素水塊, 風

まえがき

オホーツク海沿岸に位置する能取湖は、周囲32 km、面積58.4 km²、最大水深23.1 mのほぼ楕円形の湖であり、北東側にオホーツク海に通じる湖口を持っている¹⁾。能取湖は、ホタテガイ種苗生産で年間5億円程度の生産がある。この理由として、1974年に湖口が開口され外海水の特徴が強くなったこと、半閉鎖的環境であるのでホタテガイ浮遊幼生が高密度で存在することが挙げられている²⁾。

能取湖におけるホタテガイ種苗生産は、採苗器に付いた殻長10 mmほどの稚貝を網籠に収容して、3~14 mの水深帯で中間育成を行い、翌春に1齢貝を出荷する工程で行われる。しかし、近年、深い水深帯に垂下された網籠を中心に斃死する個体が増加する傾向がある。この

要因として夏季に湖内最深部を中心に形成される貧酸素水塊の上昇が考えられている³⁾。よって、貧酸素水塊の発生や挙動が予察できれば、ホタテガイ種苗に対する漁業被害を低減できる可能性がある。

瀬戸ら³⁾は、能取湖において数値シミュレーションにより潮汐や風に伴う水塊の挙動特性を推察した。それによると、 4 m s^{-1} 未満の南風により底層水が水深12 m圏まで上昇すること、 6 m s^{-1} 以上の南風で鉛直混合が促進されることを示された。しかし、現場データでの検証は行われていない。本研究は、2007年9月に能取湖で発生した貧酸素水塊と網走地方気象台の風速データを比較することにより、瀬戸ら³⁾が示した数値シミュレーション結果を検証することを目的とした。

報文番号 A429 (2009年1月20日受理)

*1 北海道立網走水産試験場 (Hokkaido Abashiri Fisheries Experiment Station, Abashiri, Hokkaido 099-3119, Japan)

*2 北海道立水産孵化場 (Hokkaido Fish Hatchery, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan)

*3 東京農業大学生物産業学部 (Faculty of Bio-industry, Tokyo University of Agriculture, Abashiri, Hokkaido 099-2493, Japan)

材料および方法

調査は、2007年9月18日から27日にかけて能取湖に設置した4定点で行い(Fig. 1), 水温、塩分および溶存酸素濃度の鉛直分布を測定した。これらの測定は、能取湖で初観測された青潮の原因究明の一環として緊急的に行われたので、調査日毎に異なる測器が使用されている(Table 1)。日平均風速(平均風速)と日最大風速の風向(風向)は、網走地方気象台のデータを使用した(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)。

貧酸素水塊の定義に関しては、門谷⁴⁾が $2.9\sim 4.3\text{ mg L}^{-1}$ 、柳⁵⁾が $0.036\sim 3.6\text{ mg L}^{-1}$ と定義しているが、本研究ではホタテガイ稚貝の生存が困難になると実験的に示されている 2 mg L^{-1} 以下の水塊を貧酸素水塊とした³⁾。

貧酸素水塊の発生を予察する指標として、能取湖で鉛直混合が発生しないと考えられている平均風速(4 m s^{-1} 未満)³⁾が続いた日数を用いた。1998年から2007年までの10年間の7月から9月の平均風速を用いて頻度分布を作成

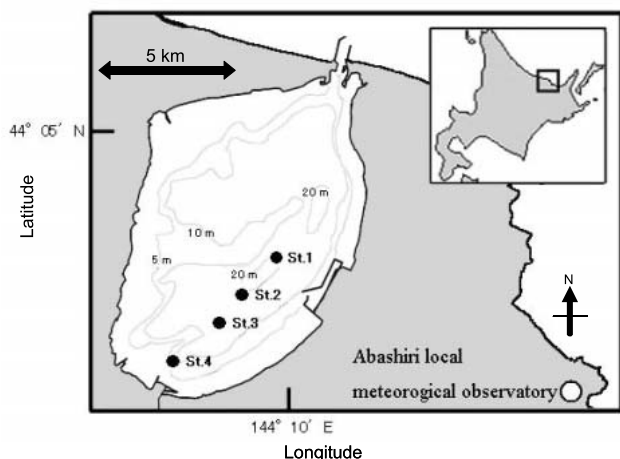


Fig. 1 Study area and location of the observation stations (●) and Abashiri local meteorological observatory (○).

Table 1 Summary of sampling dates, stations and measurement devices. The difference of measurement devices is caused by urgent matters.

Date	Stations	Measurement Devices
18-Sep	1, 2, 3	**ACT20-D (Alec. Electronics Inc.), †U-22XD (HORIBA, Ltd.)
20-Sep	1, 2, 3, 4*	**Compact-CTD (Alec. Electronics Inc.), †YSI model 58 (YSI/Nanotech Inc.)
25-Sep	1*, 3*, 4*	‡YSI model 58 (YSI/Nanotech Inc.)
27-Sep	4*	‡YSI model 58 (YSI/Nanotech Inc.)

*Salinity is no data. **For temperature and salinity.

†For dissolved oxygen. ‡For temperature and dissolved oxygen.

後、チェビシェフの不等式により風速 4 m s^{-1} 未満が連続する日数が30日以上、40日以上、50日以上となる確率を推定した。

結果

2007年9月15日から30日までの日平均風速(平均風速)と日最大風速の風向(風向)をFig. 2に示した。平均風速は15日から24日まで約 4 m s^{-1} 以下であったが、19日と22日は 4 m s^{-1} を僅かに上回っていた。その後、25日から26日にかけて 6 m s^{-1} を超えた。風向は、18日から21日には南寄り(南西か南南西)であったが、平均風速が 6 m s^{-1} を上回った25日から26日にかけては北北西であった。

9月18日、20日および25日におけるSt. 1からSt. 4までの水温、塩分および溶存酸素濃度の断面図をFig. 3に示した。平均風速が 4 m s^{-1} 程度で、風向が南寄りだった18日と20日は、等温、等塩分および等溶存酸素濃度線がSt. 1からSt. 4にかけて上昇していた。貧酸素水塊は、18日の全調査点の底層と20日のSt. 3の底層で観測された。平均風速が 6 m s^{-1} を超えた25日には、St. 4の溶存酸素濃度を除くとほぼ全層均一であり、27日にはSt. 4で水温(18°C)と溶存酸素濃度(7.0 mg L^{-1})が全層均一であった。

1998年から2007年における7月から9月の平均風速をFig. 4に示した。2007年は7月下旬から9月中旬までの52日間、平均風速が 4 m s^{-1} を超えることは無かった。これは、1998年からの10年間で最も長い期間であった。平均風速が 4 m s^{-1} 未満が続いた日数の平均値は6.3日、標準偏差は8.6日であった。チェビシェフの不等式により、平均風速が 4 m s^{-1} 未満が連続する日数が30日以上、40日以上、50日以上となる確率はそれぞれ、14%以下、7%以下、4%以下と推定された。

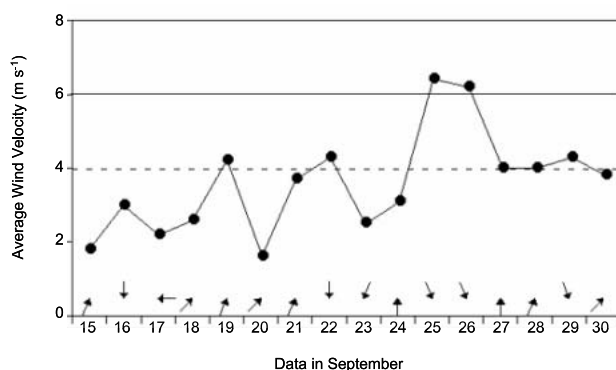


Fig. 2 Temporal variations of average wind velocity and wind direction at Abashiri local meteorological observatory on 15–30 September 2007. Solid and broken lines indicate 6 m s^{-1} and 4 m s^{-1} of wind velocity, respectively. Arrows indicate wind direction.

考察

1. 数値シミュレーション結果の検証

瀬戸ら³⁾は、夏季の能取湖において南風の強弱が水塊の挙動に与える影響を数値シミュレーションで解析している。その結果、 4 m s^{-1} 未満の南風により底層水が水深12 mまで上昇すること、 6 m s^{-1} 以上の南風で鉛直混合が促進されることが示されている。

本調査期間で 4 m s^{-1} 程度の南寄りの風が吹いたのは9月18日から21日であった(Fig. 2)。水塊は、9月18日に湖心部であるSt.1から南端のSt.4にかけて、等温、等塩分および等溶存酸素濃度線の上昇が観測された(Fig. 3)。さらに、20日には貧酸素水塊(2 mg L^{-1} 以下)がSt.4の底層(10m)付近まで上昇していた。平均風速が 6 m s^{-1} 以上の風は、9月25日から26日にかけて発生した(Fig. 2)。25日以降の水塊は、水温、塩分および溶存酸素濃度とも全層ほぼ均一となっており(Fig. 3)、鉛直混合があったことを示唆している。これらの結果は、風向が南北逆であるという相違はあるものの、瀬戸ら³⁾が示した数値シミュレーション結果がある程度正しいことを示している。

2. 貧酸素水塊発生の予察

貧酸素水塊は、底層付近の水塊における酸素収支の結果発生する。すなわち水塊の酸素消費速度が酸素生産速度と水平・鉛直方向からの酸素供給速度の和より大きい

場合に、水塊の溶存酸素濃度が減少して貧酸素水塊が発生する⁵⁾。このうち、底層への酸素供給の大部分は鉛直拡散によってもたらされると考えられている⁶⁾。そして、燧灘⁷⁾や洞海湾⁸⁾では風による鉛直混合が底層の溶存酸素濃度を上昇させることが確認されている。

瀬戸ら³⁾は、能取湖で鉛直混合が発生するためには 6 m s^{-1} 以上の風が必要で、 4 m s^{-1} 未満では発生しないことを示している。本研究でも、平均風速が 4 m s^{-1} 程度の条件では明確な鉛直混合は観測されておらず、かつ、底層には貧酸素水塊が存在していた(Fig. 3)。2007年は、 4 m s^{-1} 未満の平均風速が52日間連続しており、これは過去10年間の平均値(6.3日)を大きく上回るものであった。これらの結果は、能取湖では平均風速が 4 m s^{-1} 未満の日が続くと鉛直混合が弱くなり、底層への酸素供給が減少して貧酸素水塊の発生に繋がる可能性を示唆している。

1998年から2007年までの平均風速データから(Fig. 4)、夏季(7から9月)に平均風速が 4 m s^{-1} 未満の日が連続した日数を解析した。その結果、能取湖では平均風速が 4 m s^{-1} 未満という状態が1カ月以上連続する状況は希であり、1カ月に1度程度は風による鉛直混合があると考えられる。2007年は、平均風速が 4 m s^{-1} 未満の日が52日間連続したので、鉛直混合による底層への酸素供給が弱まり貧酸素水塊が大規模に発生したのであろう。よって、能取湖において平均風速が 4 m s^{-1} 未満の日が連続する日数を注視することは、貧酸素水塊の発生を予察する指標

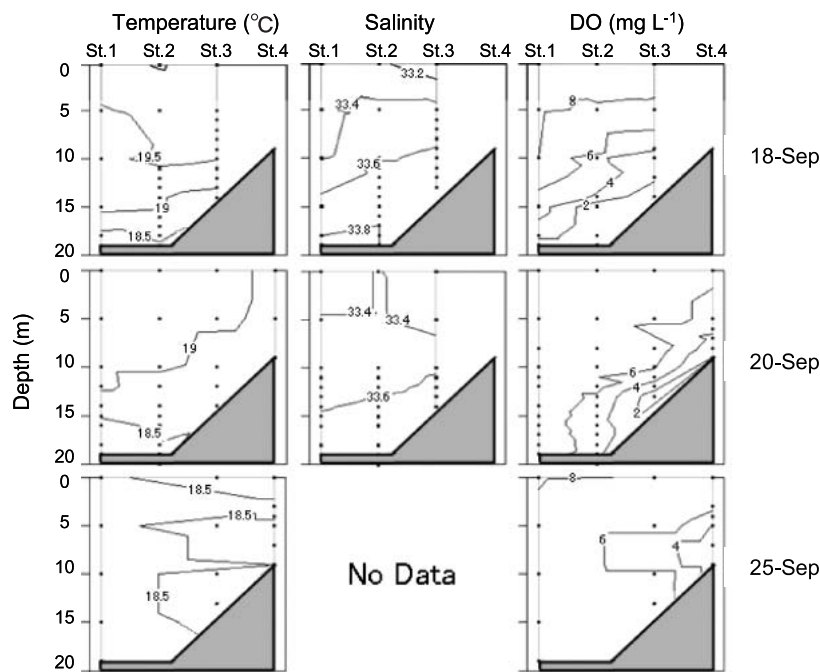


Fig. 3 Vertical and horizontal distribution of water temperature, salinity and dissolved oxygen (DO) of Lake Notoro on 18-25 September 2007.

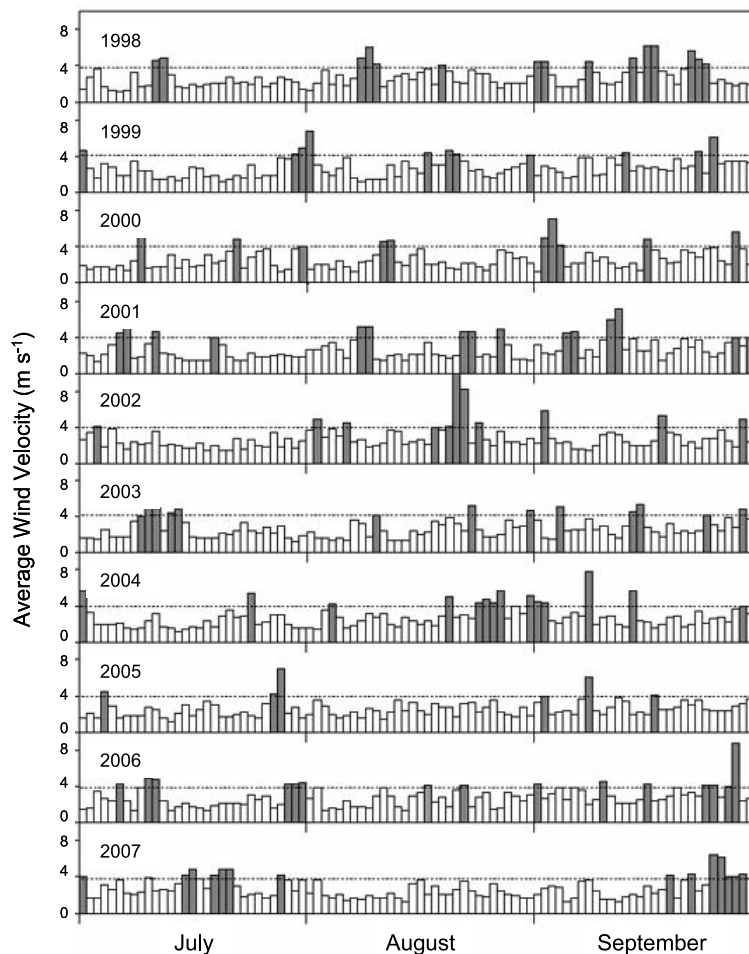


Fig. 4 Time series of average wind velocity at Abashiri local meteorological observatory from July to September in 1998 to 2007. The white and grey bars represent under and over 4 m s^{-1} of wind velocity, respectively. Broken lines indicate 4 m s^{-1} of wind velocity.

になる可能性がある。

鉛直方向からの酸素供給速度の減少要因としては、弱風その他、日射、降雨、外洋水の流入による成層構造の強化が考えられる⁸⁻¹²⁾。また、酸素消費速度の上昇要因として、有機物の増加¹³⁾、底生生物による呼吸の増加¹⁴⁾が考えられる。これらの要因についての評価も将来の課題となる。能取湖において貧酸素水塊による漁業被害を低減させるためには、平均風速の推移を注視しながら、現場観測を併用して貧酸素水塊の形成と挙動を監視する必要がある。

謝辞

本研究を実施するにあたり、観測の実施にご助力頂いた西網走漁業協同組合の川尻敏文氏、並びに網走地区水産技術普及指導所東部支所の皆様に感謝いたします。

文献

- 1) 北海道新聞社：北海道大百科事典下巻．札幌，北海道新聞社，1981，1122p.
- 2) 蔵田 護，西浜雄二：能取湖における海洋条件の季節変化．北水試研報．29，17-24（1987）
- 3) 瀬戸雅文，金子和恵，新居久也：能取湖に形成される貧酸素水塊がホタテガイに及ぼす影響．海洋開発論文集．20，1049-1054（2004）
- 4) 門谷 茂：“瀬戸内海の水質”．瀬戸内海の自然と環境．神戸，神戸新聞総合出版センター，1998，100-129.
- 5) 柳 哲雄：貧酸素水塊の生成・維持・変動・消滅機構と化学・生物的影響．海の研究．13，451-460(2004)
- 6) 山口創一，経塚雄策：諫早湾における貧酸素水塊の形成機構．海の研究．15，37-51（2006）
- 7) Takeoka, H., Ochi T. and Takatani K. : The anoxic water mass in Hiuchi-Nada Part2. The heat and

- oxygen budget model. *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 42, 12-21 (1986)
- 8) 東 輝明, 山田真知子, 門谷 茂, 広谷 純, 柳 哲雄: 過栄養な内湾洞海湾における貧酸素水塊の形成過程とその特性について. 日本水産学会誌. 64, 204-210 (1998)
 - 9) Ochi, T. and Takeoka H.: The anoxic water mass in Hiuchi-Nada Part1. Distribution of the anoxic water mass. *J. Oceanogr. Soc. Japan.* 42, 1-11 (1986)
 - 10) 高橋鉄哉, 藤原建紀, 久野正博, 杉山陽一: 伊勢湾における外洋系水の進入深度と貧酸素水塊の季節変動. 海の研究. 9, 265-271 (2000)
 - 11) 堤 裕昭, 堤 彩, 高松篤志, 木村千寿子, 永田紗矢香, 佃政則, 小森田智大, 高橋 徹, 門谷 茂: 有明海奥部における夏季の貧酸素水発生域の拡大とそのメカニズム. 海の研究. 16, 183-202 (2007)
 - 12) 堤 裕昭, 岡村絵美子, 小川満代, 高橋徹, 山口一岩, 門谷 茂, 小橋乃子, 安達貴浩, 小松利光: 有明海奥部海域における近年の貧酸素水塊および赤潮発生と海洋構造の関係. 海の研究. 12, 291-305(2003)
 - 13) 神園真人, 江藤拓也, 佐藤博之: 周防灘南西部の浅海域下層における酸素収支. 海の研究. 5, 87-95 (1996)
 - 14) 大島 巖: 有明海湾奥部での貧酸素水塊形成要因についての一考察. 海の研究. 14, 459-462 (2005)