

ラムサール条約湿地・片野鴨池の溶存酸素量の 経時変化と水生植物の関係

田尻浩伸^{1*}・松本潤慶¹・田米希久代²・中野夕紀子²

¹ 公益財団法人日本野鳥の会 〒141-0031 東京都品川区西五反田 3-9-23 丸和ビル
E-mail tajiri@wbsj.org

² 鴨池観察館友の会 〒922-0564 石川県加賀市片野町子 2-1 加賀市鴨池観察館内
*責任著者

キーワード: 溶存酸素量 DO 水生植物 オオクチバス 片野鴨池

2014 年 2 月 28 日受付 2014 年 4 月 16 日受理

要旨 ラムサール条約登録湿地である石川県加賀市の片野鴨池において、野外調査および採集した植物をもちいた実験によって溶存酸素量の経時変化と水生植物の関係についての調査を行なった。野外調査、実験とも、溶存酸素量は日の出直前にもっとも低くなり、南中時刻からその直後にもっとも高くなったことから、植物の光合成と呼吸の影響を受けていると考えられた。さらに、実験の結果からオニビシは溶存酸素量の低下に影響し、マツモやホソバミズヒキモなどの沈水植物は照度が高い時間帯には上昇、低い時間帯には低下に影響していると考えられた。

はじめに

近年、外来生物が在来の種や生態系に与える影響が危惧されており、2002 年 4 月にオランダ・ハーグで開催された第 6 回生物多様性条約締約国会議において「生態系、生息地及び種を脅かす外来種の影響の予防、導入、影響緩和のための指針原則」が決議され、2004 年には「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」が制定されるなど国内外での取り組みが進められている。さらに、2008 年には生物多様性基本法が制定されたように、外来種の防除を含む生物多様性保全の重要性は年々高まっている。

2005 年には、環境省によってオオクチバス等防除モデル事業が開始され、片野鴨池を含む国内のラムサール条約湿地等 7 箇所で生息状況調査や防除手法の検討が行なわれた(環境省 2005)。本報告の調査地である石川県加賀市の片野鴨池もモデル事業実施地のひとつとして、上流に位置しその水源

のひとつとなっている下福田貯水池とあわせて事業が実施され、下福田貯水池では多数のオオクチバス *Micropterus salmoides* が確認された(日本野鳥の会 2006, 2007, 2008, 2009)。下福田貯水池は、降水量が多い場合には堰堤からのオーバーフローや堰堤の決壊を避けるために水路を通じて片野鴨池へと排水するため、排水とともにオオクチバスを含む多数の魚類の流下が確認されているが、片野鴨池ではごく少数のオオクチバスが記録されたに過ぎなかった(日本野鳥の会 2007, 2008)。

オオクチバスが在来種と比較して溶存酸素量が低い環境への耐性が低いという報告があることから(山中ほか 2004, 浅原 2006, Yamanaka et al. 2007), 片野鴨池でオオクチバスが少ない要因として溶存酸素量が影響している可能性が示唆されたため、片野鴨池の溶存酸素量(DO)の経時変化および溶存酸素量に水生植物が与える影響について、野外調査と採集した水生植物をもちいた実験を行なって検討したので報告する。

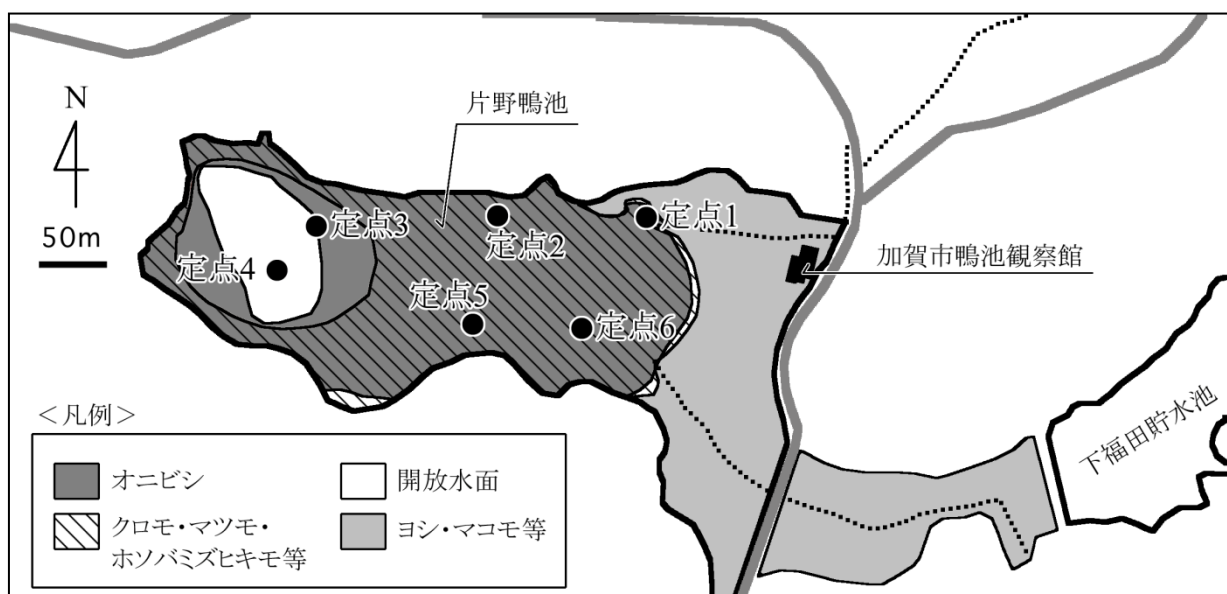


図 1. 調査地. 太い実線で囲んだ内側が片野鴨池と下福田貯水池の範囲を示す. 点線は明渠水路を表し, 灰色の実線は車道を表す.

Fig. 1. Study site. Bold black solid lines represent ranges of Katano-kamoike and Shimofukuda water reservoir. Dashed lines represent open ditches and gray solid lines symbolize roadway. Numbers in the figure represent the study stations.

方法

調査地

調査は石川県加賀市の片野鴨池(36° 19' N, 136° 17' E)において行なった(図 1)。片野鴨池は国内有数のガンカモ類の越冬地で、毎年およそ 3,000 羽のマガン *Anser albifrons*, 300 羽のヒシクイ *A. fabalis*, およそ 3,000 羽のマガモ *Anas platyrhynchos* や 2,000 羽ほどのトモエガモ *A. formosa* が飛来する。1969 年に石川県天然記念物, 1993 年に国指定片野鴨池鳥獣保護区特別保護地区および

ラムサール条約湿地に指定されている。

片野鴨池は東から西に向かって水深が深くなる天然のため池で、春から夏にかけては最深部で水深約 4 m 程度となっている。水源は周辺水田地帯を通過して流れ込む北側の水路と、上流に位置する下福田貯水池から流れ込む南側の水路、池西部の湧水がある。貯水池からの流入は、貯水池の水位が高くなりすぎないように設けられた水路からのものであり、水路経由で魚類の流下が確認されている。

片野鴨池の植生は、東から西に向かってヨシ *Phragmites australis* 群落、ウキヤガラ *Bolboschoenus fluviatilis* 群落、マコモ *Zizania latifolia* 群落と変遷し、一部にハス *Nelumbo nucifera* 群落が存在する。さらに、オニビシ *Trapa natans*、マツモ *Ceratophyllum demersum*、ホソバミズヒキモ *Potamogeton octandrum*、エビモ *P. crispus*、クロモ *Hydrilla verticillata* などが生育しており、抽水植物、浮葉植物および沈水植物からなる水生植物群落が広がっている。オニビシは池の水面の大部分を覆うように生育するが、水深 2.5 m 以深は植生のない開放水面となっている。

片野鴨池ではモツゴ *Pseudorasbora parva*、タモロコ *Gnathopogon elongatus*、ウキゴリ *Gymnogobius urotaenia*、コイ *Cyprinus carpio*、フナ属の種 *Carassius sp.*、ナマズ *Silurus asotus* のほか、カムルチー *Channa argus* やブルーギル *Lepomis macrochirus*、オオクチバス等が記録されている(日本野鳥の会 2008)。

調査方法

野外調査は、片野鴨池の水生植物がさかんに成長する時期にあたる 2007 年 6 月 12 日から 13 日と、もともと繁茂した状態にある 8 月 22 日から 23 日にかけて行ない、採集した水生植物をもちいた実験は 8 月 9 日から 10 日にかけて実施した。天候による日照量の差や風による水の攪拌が溶存酸素量等に影響を与えることがないよう、調査日として快晴でほぼ無風の日を選択した。

屋外調査の際には、水生植物の植生をもとに調査地を代表すると考えられる定点 1 から定点 6 の 6 つの定点を設定し(図 1)、1 時間ごともしくは 2 時間ごとに 24 時間、水面下 5 cm ほどの表層部と水面下 100 cm の中層部の溶存酸素量を測定した。ただし、定点 1 は水深が 60 cm 程度しかなかったため、水深 50 cm において測定を行なった。定点 1 から定点 6 の植生の概要は表 1 に示し、6 月の状況を図 2 に示した。

調査定点間の移動の際にはアルミボートをもちい、オール等によって水を攪拌して溶存酸素量に影響が出ることがないように、事前に池に打ち込んだ竹竿間にロープを張り、ボートに乗った調査員が手でロープを引くことでボートを移動させる方法を採用した。

水槽をもちいた実験では、約 45 リットルの汲み置きした水道水を入れた 60 × 30 × 30 cm の水槽を 4 本用意し、(1)オニビシのみを入れた水槽(以下、ヒシのみ)、(2)マツモ、ホソバミズヒキモのみを入れた水槽(以下、水草のみ)、(3)オニビシとマツモ、ホソバミズヒキモ(以下、ヒシと水草)を入れた水槽と(4)対照区を設定した。実験に使用したオニビシ、マツモやホソバミズヒキモは実験開始前日に鴨池から採集したもので、採集後すぐに植物体に傷を付けないよう留意しながら流水で洗って、汚れや付着生物等をできるだけ除去した。水槽に入れたオニビシ、マツモとホソバミズヒキモの量は、調査を行なった 8 月上旬の調査地(定点 2)の実際の状態に近くなるように留意し、採集時に水槽と同一の大きさとなる 60 × 30 × 30 cm の範囲から採集した。マツモとホソバミズヒキモは水槽に入れた水全体に広く行き渡る量、オニビシは水槽表面全体を完全に覆うまで入れ、対照区の水槽には、オニビシ、マツモ、ホソバミズヒキモを一旦入

表 1. 各調査定点の植生.

Table 1. Cover degree (%) of vegetation at each study station.

種 species	調査地点 station	被度 (%) Cover degree (%)					
		定点1 Station 1	定点2 Station 2	定点3 Station 3	定点4 Station 4	定点5 Station 5	定点6 Station 6
オニビシ <i>Trapa natans</i>		0	20	10	0	90	40
水面 avobe the water	マツモ・ホソバミズヒキモ等 <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Potamogeton octandrum</i> and others	90	0	0	0	0	40
	ハス <i>Nelumbo nucifera</i>	0	0	0	0	0	20
水中 underwater	マツモ・ホソバミズヒキモ等 <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Potamogeton octandrum</i> and others	90	90	0	0	5	10

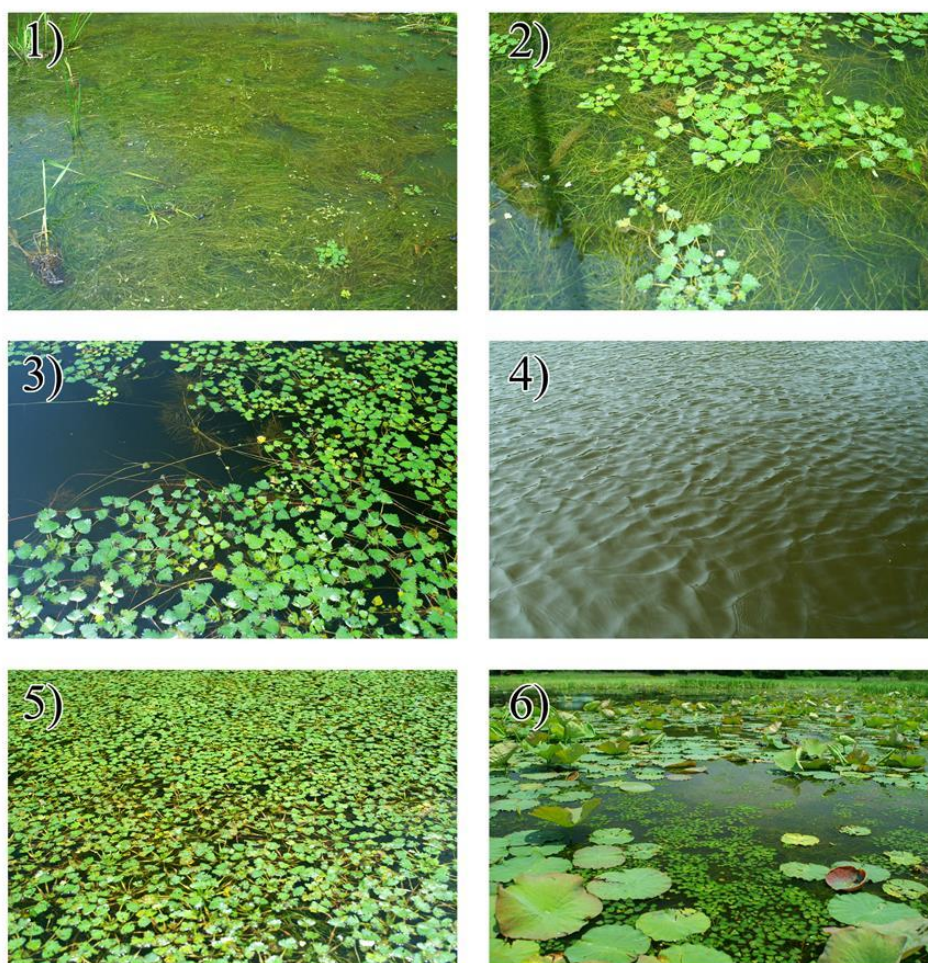


図 2. 各調査定点の状況 (2007 年 6 月 12 日).

Fig. 2. The growth condition of plants. Numbers in the photos represent the name of study stations.

れた後、すぐに取り出した。実験にもちいたオニビシ、マツモとホソバミズヒキモの乾燥重量を表 2 に示した。

水槽は日当たりの良い場所に並べて設置し、水槽側面から日光が入り込まないよう側面を黒い厚手の画用紙で隙間なく覆って遮光した。それぞれの水槽の溶存酸素量および外気温、照度を実験開始から 1 時間ごとに 24 時間測定した。

屋外調査、実験とも、溶存酸素量の測定には溶存酸素計(ケニス社製 DO-5509)をもちい、照度の測定には化学共栄社製 YF-1065A をもちいた。

表 2. 野外実験にもちいた水生植物の乾燥重量(g)。

Table 2. Dry weight (g) of aquatic plants used for the experiment.

実験区 Experiment ward	ヒシ (乾重 g)	水草 (乾重 g)
植物種 Plants	<i>Trapa natans</i> (Dry weight, g)	Submerged plants (Dry weight, g)
ヒシのみ <i>Trapa</i> only	87.3	-
水草のみ Submerged plants only	-	24.5
ヒシと水草 <i>Trapa</i> and submerged plants	72.8	34.4
対照区 Control	-	-

結果

屋外調査

6 月と 8 月の溶存酸素量を、表層部と中層部にわけて図 3a, b, 図 4a, b に示した。

6 月の調査は 12 時に開始した。調査地近傍の金沢市における日の入り時刻は 19 時 12 分で、日の出は 4 時 34 分、南中は 11 時 53 分であった。

調査開始時には、表層部では定点 1, 定点 2 の DO はそれぞれ 13.7 mg/L, 12.5 mg/L と高く、次いで定点 5, 6 と続き、定点 3 と定点 4 は 7.5 mg/L, 7.4 mg/L と他と比較して低かった。この傾向は 20 時まで続き、どの調査地も溶存酸素量は徐々に低下したが、定点 1, 2 は他と比較して速く低下した。20 時から 21 時にかけて定点 1 の溶存酸素量が大きく下がり、6 定点の中で最も低くなった。日の出直後の 5 時に定点 1 の数値がもっとも低い 2.9 mg/L となり、以降、他の定点よりも急激な上昇に転じた。調査終了時の 11 時には、再び 6 定点の中でもっとも高い 13.7 mg/L となった。調査終了時の数値は、調査開始時点とほぼ同様に定点 1, 2, 5, 6, 4, 3 の順に高かった。表層部の調査で記録された溶存酸素量の最大値は、定点 1 で 12 時と翌日 11 時に記録された 13.7 mg/L, 最低値は定点 1 で 5 時に記録された 2.9 mg/L であった。溶存酸素量の最大値は南中時刻に記録されていた。

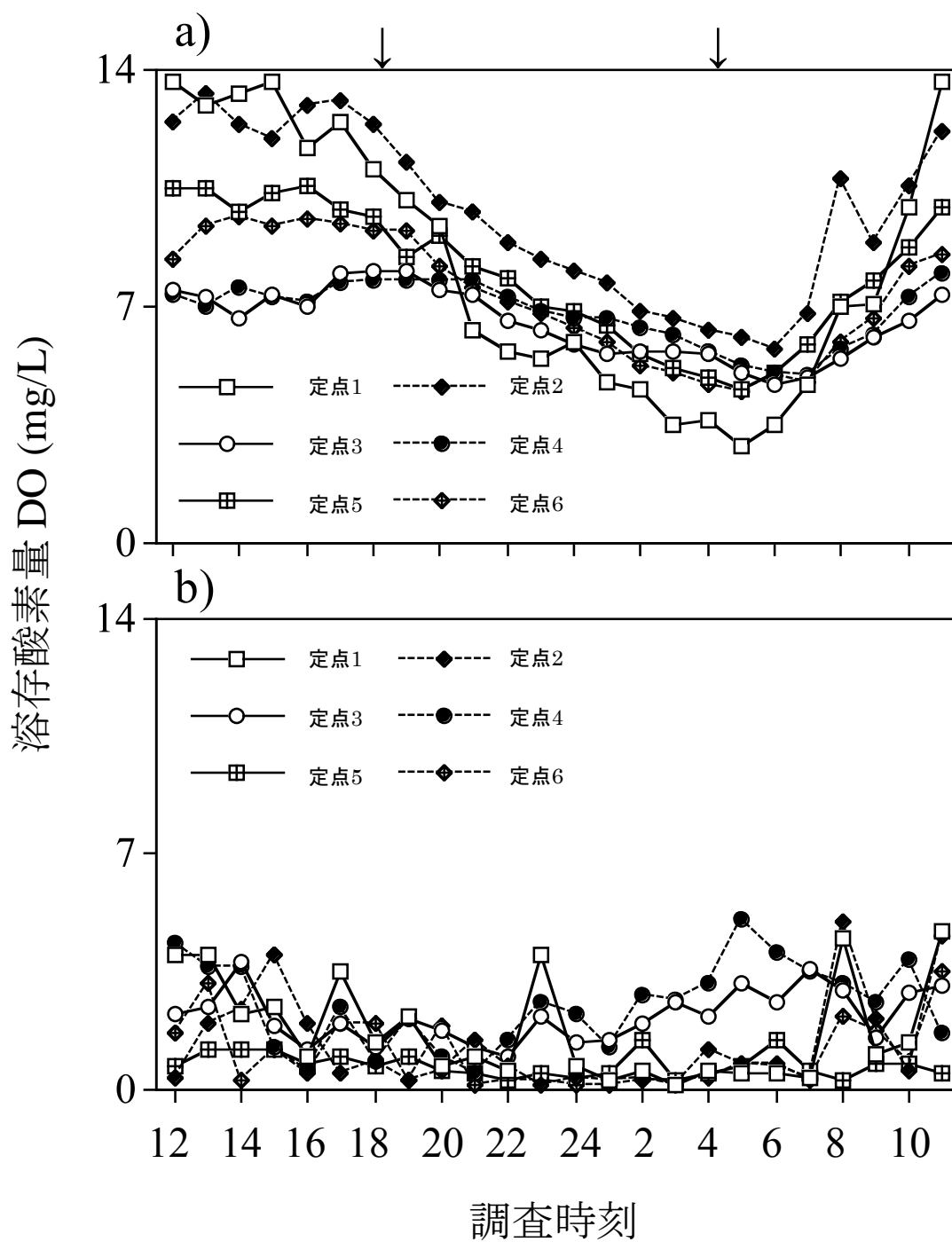


図 3. 6 月の調査における表層部(a)および中層部(b)の溶存酸素量の経時変化. 矢印はそれぞれ日没時刻(左), 日の出時刻(右)を表す.

Fig. 3. The time dependent change of dissolved oxygen in shallow areas (a) and deep areas (b) in June. Arrows represent the time of sunset (left) and sunrise (right), respectively.

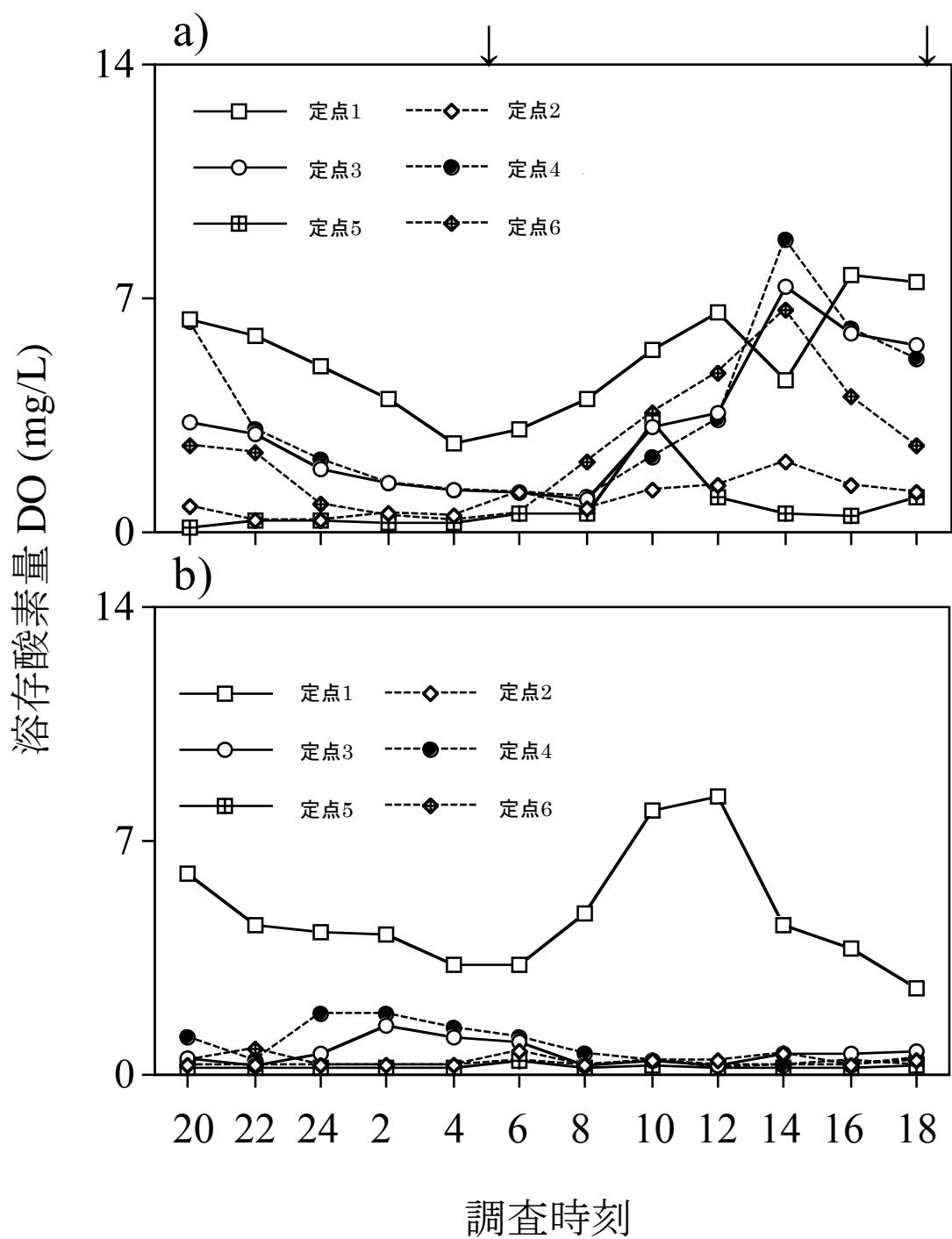


図 4. 8 月の調査における表層部(a)および中層部(b)の溶存酸素量の経時変化. 矢印は日の出時刻(左), 日没時刻(右)を表す.

Fig. 4. The time dependent change of dissolved oxygen in shallow areas (a) and deep areas (b) in August. Arrows represent the time of sunrise (left) and sunset (right), respectively.

中層部では溶存酸素量の数値に特徴的な挙動は見られず、いずれの調査定点も表層部と比較して低い数値を維持していた。中層部の調査で記録された溶存酸素量の最大値は定点 4 で 5 時に記録された 5.1 mg/L、最低値は定点 1, 2, 6 で 21 時から 3 時にかけて記録された 0.2 mg/L であった。

8 月の調査は 20 時から開始し、調査日の金沢市の日の出時刻は 5 時 17 分、南中は 11 時 56 分で日の入りは 18 時 35 分であった。

表層部の数値は、調査開始時点では定点 1, 4 がそれぞれ 6.4 mg/L、6.3 mg/L で 6 定点の中では高く、次いで定点 3, 6 が続き、定点 2, 5 はそれぞれ 0.8 mg/L、0.2 mg/L と低かった。調査開始後、定点 1, 3, 4, 6 では数値が徐々に低下したが、定点 1, 4 は他と比較して低下が速かった。日の出後には 4 定点とも急速に溶存酸素量が増加し、定点 4 で 14 時に 8.8 mg/L となった。一方、定点 2, 5 の数値は低いままほとんど変化しなかった。表層部の調査で記録された溶存酸素量の最大値は、定点 4 で南中時刻のおよそ 2 時間後の 14 時に記録された 8.8 mg/L であった。最低値は、定点 5 で 20 時に記録された 0.2 mg/L であった。

中層部は、定点 1 を除くといずれの定点も調査日を通じて非常に低い数値のまま変化せず、もっとも高い数値でも 0 時に定点 4 で記録された 1.8 mg/L であった。多くの場合、溶存酸素量は 1.0 mg/L を超えなかった。定点 1 の数値は調査開始から日の出まで徐々に低下して 3.3 mg/L となり、その後上昇して 12 時と 14 時に最大値である 8.3 mg/L となった。以降数値は低下し、日没直前の調査時に最も低い 2.6 mg/L となった。中層部の調査で記録された溶存酸素量の最大値は、定点 1 で 12 時に記録された 8.3 mg/L、最低値は定点 5 と 6 で記録された 0.2 mg/L であった。

6 月と 8 月の調査で記録された表層、中層それぞれの数値を比較すると、表層では日照の強度変化に合わせて数値が変動するものの、全体的に見れば 8 月の方が 6 月よりも低かった。中層では経時変化の幅は表層に比べて小さかったが、表層と同様に 8 月の方が 6 月よりも溶存酸素量が低い傾向にあった。

水槽をもちいた実験

水槽をもちいた実験におけるそれぞれの実験区の溶存酸素量の変化を図 5a、同期間の気温および照度を図 5b に示した。実験は 20 時に開始し、金沢市の日の出時刻は 5 時 17 分、南中時刻は 11 時 56 分、日没は 18 時 35 分であった。

実験開始後、対照区以外の数値は徐々に低下したが、ヒシと水草の水槽でもっとも急速に低下し、日の出直前の 5 時に 0.5 mg/L となった。ヒシのみ、水草のみの区では、対照区とヒシと水草の区の間の数値を取るように減少した。日の出後には、水槽中に水草を含む水草のみの区とヒシと水草の区で数値の上昇が認められた。最大値は南中時刻の 1 時間後から 2 時間後に記録され、15 時に水草のみの区で 12.5 mg/L、ヒシと水草の区で 10.3 mg/L を記録した。ヒシのみの区でも数値の上昇は見られたが、上昇速度は水草を含むふたつの区よりも低く、また最大値も 13 時に記録された 5.1 mg/L と上昇の幅も小さかった。16 時以降には水草を含むふたつの区の数値も低下し、日没後 30 分に相当する実験終了時の 19 時には水草のみ、ヒシと水草、ヒシのみの順に数値が高く、それぞれ 9.6 mg/L、5.0 mg/L、2.1 mg/L を記録した。対照区の数値は実験期間を通じて 6.5 mg/L から 7.8 mg/L を示し、ほとんど変化しなかった。

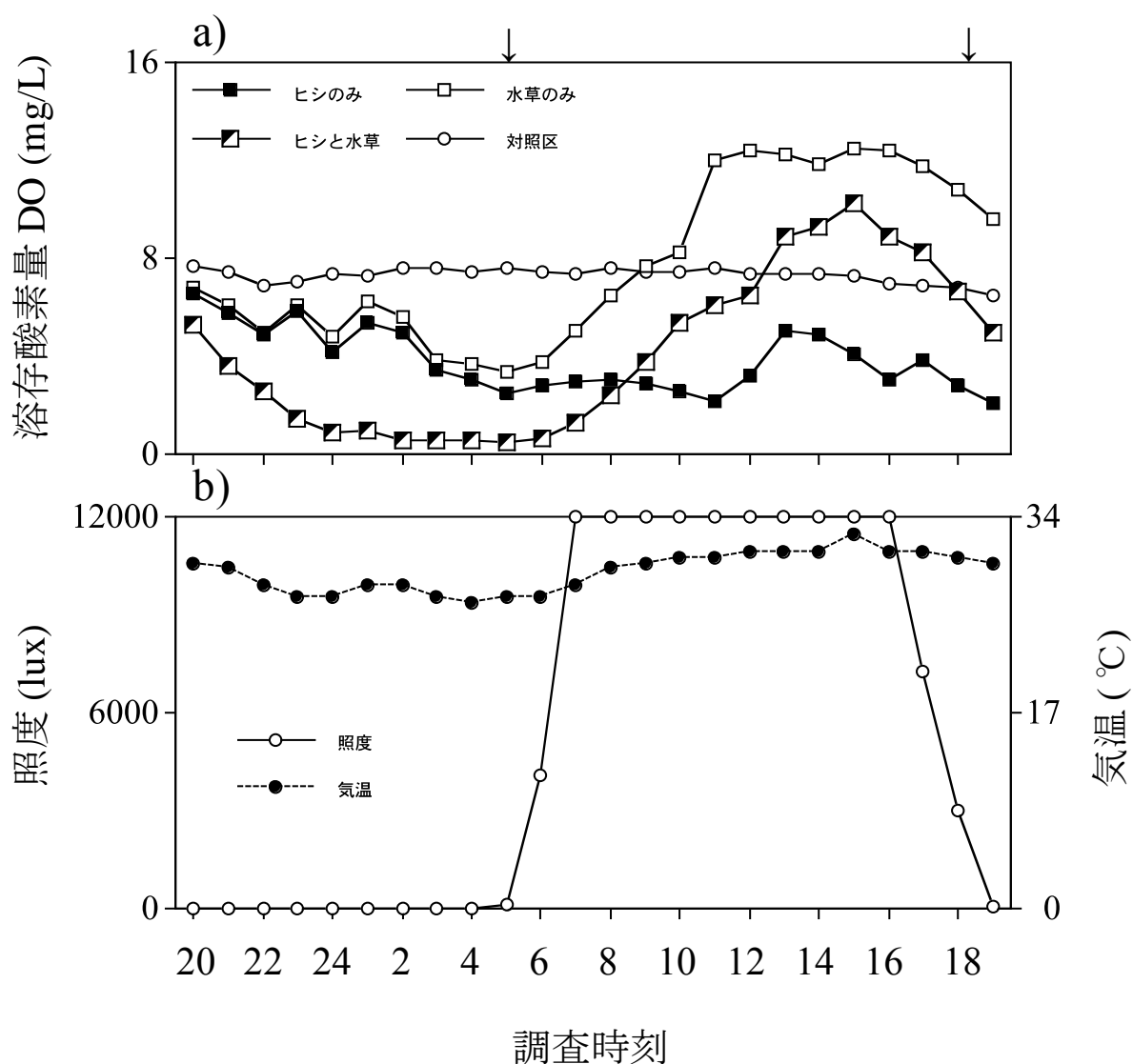


図5. 野外実験における溶存酸素量(a)および気温、照度の経時変化(b). 矢印は日の出時刻(左), 日没時刻(右)を表す.

Fig. 5. The time dependent change of dissolved oxygen (a), the air temperature and the intensity of illumination (b) during the experiment. Arrows represent the time of sunrise (left) and sunset (right), respectively.

考察

野外調査、水槽をもちいた実験とも、溶存酸素量は南中時刻からその直後の調査時に最大値を記録し、その後徐々に低下して日の出直前にもっとも低い数値となったのち、日の出後には再度上昇した。オオカナダモ *Egeria densa* をもちいた実験においても、溶存酸素量は日没とともに減少して明け方にもつ

とも低くなり、ほとんど 0 mg/L となったのち徐々に上昇し、14 時に最大となったが、この変動は光合成による酸素の供給と呼吸による消費の差が正であったためと考えられている(飯盛 2010). 本調査における溶存酸素量の変動も、オオカナダモをもちいた実験と同様に日照の強さの変化にともなって変動していたことから、光合成と呼吸による酸素の供給と消費の差によるものと考えられる。

また、水槽をもちいた実験では、対照区を除く 3 つの実験区すべてにおいて日の出まで溶存酸素量が減少したが、水草を含むふたつの区では日の出後に数値が上昇したのに対し、ヒシのみの区ではわずかに上昇したのみであった。実験時の照度におけるマツモやホソバミズヒキモなどとオニビシの光合成速度は不明であるが、水草を含む区では沈水葉の呼吸による溶存酸素の消費と光合成による供給の差が大きかったため日の出後に溶存酸素量の上昇が認められたのに対し、ヒシのみの区ではオニビシが浮葉であること、さらに 8 月には葉の枚数が増えて葉柄が起き上がり多くの葉が空中に存在することから、水中に供給する酸素量が沈水性の植物と比べて少なかったために溶存酸素量の増加の幅が小さかったのかもしれない。これは、日の出までの数値の低下は、呼吸による消費量が最も高いと考えられるヒシと水草の区でもっとも大きかったこと、日の出後の数値の上昇において、ヒシと水草の区の数値が、光合成による酸素の供給と呼吸による消費の差がもっとも大きく供給が消費を上回ると考えられる水草のみの区と、供給と消費の差がもっとも小さいと考えられるヒシのみの区の間位置したという結果とも一致する。つまり、浮葉植物であるオニビシは溶存酸素量の増加よりも減少に影響しており、ホソバミズヒキモやマツモなどの沈水植物は日照の弱い時間帯には減少、日照の強い時間帯には増加に影響しているようだった。野外調査時の調査定点は、定点 4 を除くとオニビシやホソバミズヒキモ、マツモなどが繁茂していたので、これらの植物による光合成および呼吸の影響を受けて溶存酸素量が変化していたものと考えられる。

オオクチバスは、在来種と比較して低酸素耐性が低い(山中ほか 2004, 浅原 2006, Yamanaka et al. 2007). また、オオクチバスは、溶存酸素濃度が 4 mg/L よりも低くなると生理的な変化を生じる可能性がある(Vanlandeghem et al. 2010), 成魚の低酸素による死亡を最小化するには水温 30℃では 2.85 mg/L を維持するべきとされている(Cech Jr. et al. 1979). 片野鴨池の溶存酸素量は日の出直前にはこれらの数値を下回っていたことが多かったので、片野鴨池でオオクチバスがほとんど確認されなかったのは夜間から日の出前にかけての溶存酸素量の低さが影響していた可能性がある。

オオクチバスが多く確認されている片野鴨池上流の下福田貯水池は、堤で谷をせき止めて作られた人工の貯水池であるため急峻な地形となっており、ごく一部にマコモやウキヤガラなどの抽水植物群落とオニビシの小群落が存在する以外に植生はないので、溶存酸素量の状況が片野鴨池の場合と異なっているかもしれない。そのことが水路で繋がっている片野鴨池と下福田貯水池のオオクチバスの生息数の違いに影響を与えているのかも知れない。

今後は、下福田貯水池の溶存酸素量の変化を明らかにするとともに、片野鴨池で記録された溶存酸素量におけるオオクチバス、在来種の生息の可否についての調査を行なう必要がある。

謝辞

弘前大学農学生命科学部の東 信行准教授には、オオクチバスと植生、溶存酸素量の関係についてご教示いただくとともに、文献の入手に便宜を図っていただきました。伊豆沼・内沼環境保全財団の嶋田哲郎博士には草稿を読んでいただき、改訂に有益なコメントをいただきました。匿名査読者の方には、内容を改善する上で貴重な御指摘をいただきました。山本芳夫、田中義二、森口善昭の各氏をはじめ、鴨池観察館友の会の会員の皆さんには、調査を手伝っていただきました。記して感謝申し上げます。

引用文献

- 浅原宏子. 2006. 低酸素条件に対する魚類の反応. 平成 18 年度弘前大学卒業論文. pp. 17.
- Cech Jr. J. J., Campagna C. G. & Mitchella S. J. 1979. Respiratory responses of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) to environmental changes in temperature and dissolved oxygen. Transactions of the American Fisheries Society 108: 166-171.
- 飯盛和代. 2010. オオカナダモが河川水の溶存酸素と pH に及ぼす影響. 西九州大学子ども学部紀要 1: 63-68.
- 環境省. 2005. 第 1 回オオクチバス等防除推進検討会議事次第. (<http://www.env.go.jp/nature/intro/3control/bass01/>) (2014 年 1 月 1 日確認).
- 日本野鳥の会. 2006. 環境省委託 平成 17 年度オオクチバス等防除モデル事業(片野鴨池等)業務報告書. pp. 57.
- 日本野鳥の会. 2007. 環境省委託 平成 18 年度オオクチバス等防除モデル事業(片野鴨池)業務報告書. pp. 89.
- 日本野鳥の会. 2008. 平成 19 年度オオクチバス等防除モデル事業(片野鴨池)業務報告書. pp. 83.
- 日本野鳥の会. 2009. 平成 20 年度オオクチバス等防除モデル事業(片野鴨池)業務報告書. pp. 116.
- 齊藤仁咲・浅原宏子・佐原雄二. 2008. 低酸素に対する魚類の反応と溜池の魚類相. 日本生態学会大会講演要旨集 55: 277.
- Vanlandeghem M. M., Wahl D. H. & Suski C. D. 2010. Physiological responses of largemouth bass to acute temperature and oxygen stressors. Fish. Man. Ecol. 17: 414-425.
- 山中裕樹・神松幸弘・遊磨正秀. 2004. 水生植物帯が持つ Refugia としての機能: 貧酸素環境からの予測. 日本生態学会大会講演要旨集 51: 240.
- Yamanaka H, Kohmatsu Y & Yuma M. 2007. Difference in the hypoxia tolerance of the round crucian carp and largemouth bass: implications for physiological refugia in the macrophyte zone. Ichthyol. Res. 54: 308-312.

Relationship between dissolved oxygen (DO) and aquatic plants at Katano-kamoike,
a Ramsar site in central Japan

Hironobu Tajiri^{1*}, Junkei Matsumoto¹, Kikuyo Tagome² & Yukiko Nakano²

¹ Wild Bird Society of Japan. 3-9-23 Nishi-Gotanda, Shinagawa, Tokyo 141-0031, Japan
E-mail tajiri@wbsj.org

² Katano-kamoike Observation Centre Friendship Members. 2-1 Ne, Katano, Kaga, Ishikawa
922-0564, Japan

Abstract We investigated the role of aquatic plants in the time-dependent change of dissolved oxygen (DO) volume by field surveys and experiments in Katano-kamoike, Ishikawa Prefecture, central Japan. Since the minimum volume of DO was recorded just before sunrise and the maximum DO volume was recorded at the time of culmination (the sun's high point) or just after it, the fluctuation of DO was thought to be influenced by photosynthesis and respiration of aquatic plants. Furthermore, results of the experiment revealed that submerged plants such as Rigid Hornwort *Ceratophyllum demersum* increased the volume of DO when light intensity was high and reduced the volume when light intensity was low. On the other hand, Water Chestnut *Trapa natans* usually played a role in reducing the volume of DO rather than increasing it.

Keywords: aquatic plants, dissolved oxygen, DO, Katano-kamoike, largemouth bass

Received: February 28, 2014 / Accepted: April 16, 2014