大野川および浅野川（石川県金沢市）における電気伝導度, 溶存酸素濃度, クロロフィル a 濃度の流程分布

永坂正夫[1]・高野典礼[2]・奥川光治[3]・福原晴夫[3]・川原奈苗[3]・高橋 久[3]

[1] 金沢星稜大学
〒 920-8620 石川県金沢市御所町丑 10 番地 1
[2] 石川工業高等専門学校
〒 929-0392 石川県河北郡津幡町北中条タ 1
[3] 河北潟湖沼研究所
〒 929-0342 石川県河北郡津幡町北中条ナ 9-9

要約：石川県金沢市近郊にある河北潟の流出河川である大野川とその支流の浅野川において，流程に沿った調査地点を設定し，電気伝導度，溶存酸素濃度，クロロフィル a 濃度を 2019 年 7 月，8 月，11 月及び 2020 年 9 月に測定した．日本海から 6.8 km 遡った大野川の上流端には金沢港防潮水門が設置されている．2019 年 8 月と 2020 年 9 月の調査では，防潮水門直下の表層 0.1 m は海水の 1/10 から 1/3 程度の電気伝導度を示す塩水となっており，深度 2-3 m 以深では海水の 1/2 以上となる 3000 mS m^{-1} を超える塩水が滞留し，河床付近は貧酸素状態となっていた．いずれの調査日においても大野川のクロロフィル a 濃度は河北潟の湖水よりも高い値を示し，浅野川の合流点までの上流側で高いことから，本調査項目の限りでは植物プランクトンの増殖は水門直下の水域で生じているものと考えられた．大野川の防潮水門直下で観測されたこれらの結果は，防潮水門と同じ効果を流況にもたらす河川管理施設の長良川河口堰や利根川河口堰の直下で確認されている現象と類似しており，潮位差の小さいことが貧酸素状態を助長している可能性を指摘した．

キーワード：防潮水門，河口堰，汽水，貧酸素，植物プランクトン

はじめに

大野川は河北潟の金沢港防潮水門（以下,防潮水門）を上流端とし，金沢港を経て日本海を下流端とする右岸側流路延長 6.8 km の二級河川である（内灘町，2021）．河北潟の湖水はこの防潮水門を経て大野川へ流下する．河北潟の水位は標高 0.40 m となるよう管理されており，原則として洪水時（標高 0.60 m 以上）でかつ潮位より水位が 0.20 m 高い場合に内灘砂丘を開削して設けられた放水路からも放水される（北陸農政局，1986）．

大野川の粟崎橋（日本海から約 2.8 km 上流）には公共用水域の環境基準地点，貯木場中央（同約 6.6 km 上流）には補助地点が設定され，pH，溶存酸素濃度（DO），生物化学的酸素要求量（BOD），浮遊物質量（SS），塩化物イオン量などがモニタリングされている．県内の汽水湖での干拓と淡水化が進められたことにより，大野川は県内では他にはない汽水環境が広範囲に残された水域である．河北潟湖沼研究所では，2017 年以来，将来ビジョンとして河北潟の再汽水化を掲げている（河北潟湖沼研究所，2022）．2019 年，2020 年にその基礎調査の一環として大野川とその支流の浅野川の流程に沿った汽水環境を把握する水質調査と水生動物調査を実施した．水生動物相とその流程分布については福原ほか（2022a，b）により報告されており，本報告では水質調査に関する結果について報告する．

方 法

大野川と浅野川及び河北潟における調査地点を図 1 に示す．防潮水門（日本海から約 6.8 km 上流に位置）から金沢港の直前（同 2.4 km 上流）までの区間に計 10 地点（大野川 st.1a-st.1d 及び st.2-st.7），浅野川では潟津用水堰（同 7.4 km 上流）の下流側に 5 地点（浅野川 st.1-st.5），防潮水門の潟側に 1 地点（河北

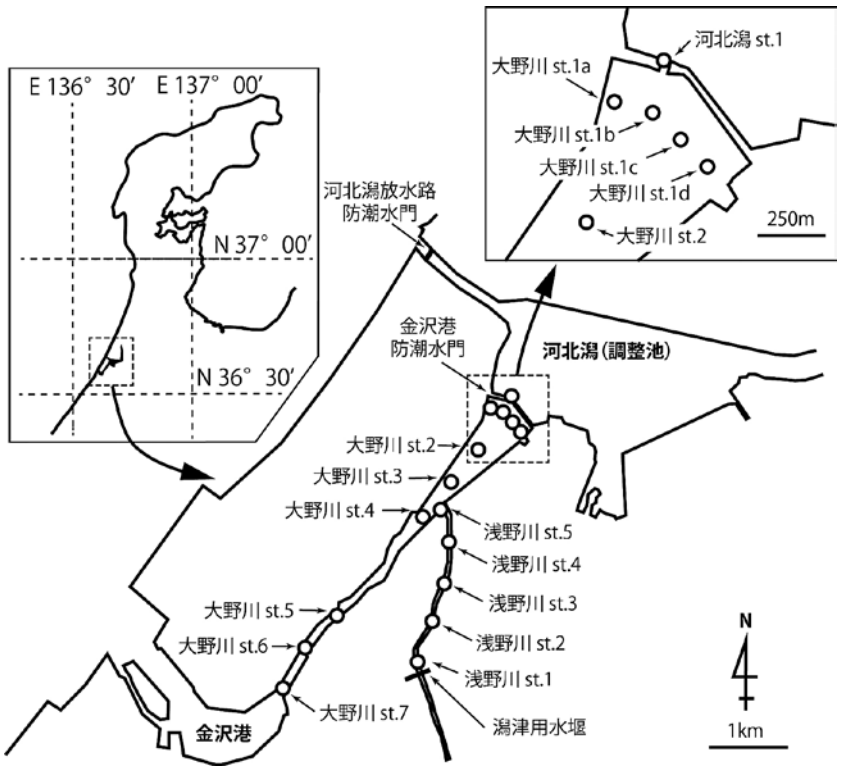

図 1. 調査地点.

潟 st.1)を設定した. 大野川の調査は, 2019 年 7 月 28 日, 8 月 3 日, 11 月 16 日, 及び 2020 年 9 月 5 日に実施した. 浅野川の調査は 2019 年 11 月 17 日に実施した. いずれの調査も 9 : 30 から 13 : 30 の時間帯に実施した.

インターネット上で公開されている気象庁（2022）の記録により, 各調査日とその前日の降水量について確認した. 同じくインターネット上で公開されている石川県（2019；2020）の記録から大野川（貝木場外）の水位, 国土交通省（2019；2020) の記録から金沢港潮位を確認した. 防潮水門の開閉状態については, 防潮水門を管理している石川県金沢港湾事務所から管理記録を取り寄せて確認をおこなった.

調査地点ではゴムボートを錨泊した後, 測鉛と測深機（Hondex 製 PS-7）を併用して測深し, 表層 0.1 m から河床直上（河床から 0.1 m）まで, 深度 1.0 m ごとの水温, pH, EC をポータブル電気伝導率・pH 計（TOA-DKK 製 WM-22EP), DO を溶存酸素計（YSI 製 Pro-Do), 濁度を NTU 濁度計（TOA-DKK 製 TB-31）により測定した.

2019 年 8 月 3 日以降の調査では, 表層 0.1 m と下層（深度 1.0-3.0 m）から河川水をハンドポンプを用いて採水し, ガラスフィルター（Whatman 製 GF-C）濾過により懸濁物質量（SS）を, SCOR-UNESCO 法の変法である根本ほか（2009）のエタノール抽出法によりクロロフィル a（chl-a）濃度を測定した. 2020 年 9 月 5 日の調査では, 試水中の懸濁成分をホモジナイザーで分散させた後に TOC 分析計（Shimadzu 製 TOC-VCPH 及び TNM-1）を用いて, 全有機性炭素量（TOC), 全窒素量（TN）を予備的に測定した.

結　果

調査日概況

各調査時の天候, 目視により確認した防潮水門の開閉状況, 調査日前日からの降雨状況（気象庁, 2022), 大野川（貝木場外）の水位（石川県, 2019；2020), 金沢港潮位（国土交通省, 2019；2020), および港湾事務所の管理記録による水門開閉状況を表 1 に示した. 2019 年 7 月 28 日は前日から朝にかけて降雨があり, 8 月 3 日は前日から降雨はなく, 11 月 16 日は前日から終日

表 1. 各調査日の概況.

調査地	年月日	天候（前日）	降水量（前日）[1]	貯木場外水位（時刻）[2]	金沢港潮位（時刻）[3]	調査時の防潮水門（管理記録情報）[4]
			（mm）	（T.P. m）	（T.P. m）	
大野川	2019 年 7 月 28 日	晴（雨）	13.5 （29.5）	約 0.5 （12:00）	満潮 0.53（10:05） 干潮 0.34（18:30）	越流 （4:50-7:16 下段扉も開門）
	2019 年 8 月 3 日	晴（晴）	- - （- -）	–	満潮 0.54（4:50），1.16（15:20） 干潮 0.50（9:40），0.80（23:20）	閉門 （1:48 以降閉門続く）
	2019 年 11 月 16 日	雨（雨）	17.5 （7.5）	–	満潮 0.52（3:30），0.97（20:00） 干潮 0.25（11:10），0.96（22:10）	開門 （6:56 以降下段扉も開門）
	2020 年 9 月 5 日	晴（雨）	0.0 （12.5）	0.56 （12:00）	満潮 0.68（4:14），1.16（15:37） 干潮 0.56（10:27），0.94（23:23）	越流 （6:43 以降越流続く）
浅野川	2019 年 11 月 17 日	晴（雨）	0.0 （17.5）	0.36 （12:00）	満潮 0.53（3:15），0.92（18:15） 干潮 0.27（11:35），0.91（20:00）	開門 （7:18 以降下段扉も開門）

[1]「- -」は降雨なし，「0.0」は 0.1mm 未満の降雨を示す．気象庁（2019，2020）より．
[2]「–」はデータ掲載期間に参照できなかったことを示す．2019 年 7 月 28 日はグラフからの読み取り値．石川県（2019，2020）より．
[3] 国土交通省（2019，2020）の検潮基準面潮位を T.P. 基準潮位へ換算した．
[4] 石川県金沢港湾事務所，金沢港水門管理記録より確認．

降雨があった．11 月 17 日は前日から朝にかけて，2020 年 9 月 5 日は前日昼間に降雨があった．前日から降雨がなかった 2019 年 8 月 3 日の調査日を除き，いずれの調査時にも防潮水門から湖水が越流している状態であった．港湾事務所の管理記録によると，2019 年 7 月 28 日，11 月 16 日，11 月 17 日は水門扉が大きく開扉されており，放水量は大きかったものと思われる．

大野川（貯木場外）の水位は東京湾平均海面基準（T.P. m）で示されている．金沢港潮位は検潮基準面を基準としており，この値から -0.505 m を差し引くことで東京湾平均海面を基準とする値に換算した．防潮水門から日本海まで 6.8 km の流程があるが，水門直下の貯木場外の水位と金沢港潮位にはほとんど差がみられなかった．また，本調査における最大の日潮位差は 2019 年 11 月 16 日の 0.72 m であった．

大野川の水質環境（2019 年 7 月 28 日）

水温は水門直下の大野川 st.1b の表層 0.1 m で 28.6 ℃と最も高く，浅野川の合流後の大野川 st.4 の表層 0.1 m では 4.2 ℃低い 24.4 ℃であった（表 2）．全測定点の pH は 7.2-7.8 の範囲にあり，水平方向および鉛直方向の差は小さかった．

大野川における EC と濁度の流程分布を図 2 に示す．図中の灰色の部分は調査地点の水深を結んだ河床断面を表している．水深は防潮水門直下の大野川 st.1b で 4.5 m と最も深く，浅野川が合流した直後の大野川 st.4 で 1.6 m と最も浅かった．なお，調査日により河床断面の形状が異なっているが，これは投錨地点が流心から岸側に寄ったことで生じており，次の調査までに河床の堆積や洗掘が生じているわけではない．

表層 0.1 m の EC は大野川 st.1b から st.7 まで 157-788 mS m^{-1} の範囲にあり（表 2），浅野川の合流後の大野川 st.4 で 157 mS m^{-1} と最も低い値を示した（図 2a）．図 2a には近接した測定点の値から比例計算で求めた 1000 mS m^{-1} の等値線を示した．水門直下の大野川 St.1b では 1000 mS m^{-1} の等値線は深度 2.0 m を通り，水門直下まで塩水はくさび状に分布していた．

表層 0.1 m の濁度は大野川 st.1b の 13.8 NTU から大野川 st.6 の 9.5 NTU まで徐々に低下していた（図 2e）．図中には比例計算で求めた 15.0 NTU の等値線を

表 2. 各調査日における測定結果一覧.

年月日	調査地点	時刻	測定深度 m	水温 ℃	pH	EC mS m^{-1}	DO mg l^{-1}	濁度 NTU	chl-a μg l^{-1}	SS mg l^{-1}	TOC mg l^{-1}	TN mg l^{-1}	備考
2019 年 7 月 28 日	大野川 st.1b	10:30	0.1	28.6	7.6	326	6.7	13.8					地点水深 4.5 m
			1.0	28.3	7.6	455	7.6	10.9					
			2.0	27.8	7.3	1029	4.4	12.7					
			3.0	27.7	7.3	1219	3.6	17.0					
			4.0	27.7	7.3	1271	3.3	18.3					
			B-0.1	27.7	7.3	1297	3.2	20.5					
	大野川 st.3	11:05	0.1	26.4	7.5	407	7.9	10.4					地点水深 2.2 m
			1.0	26.5	7.5	429	7.9	10.9					
			2（B-0.1）	27.5	7.3	1248	4.0	16.1					
	大野川 st.4	11:19	0.1	24.4	7.5	157	8.3	11.0					地点水深 1.6 m
			1.0	24.8	7.3	348	7.8	14.0					
			B-0.1	26.3	7.2	752	6.8	34.2					
	大野川 st.5	11:45	0.1	27.7	7.5	729	7.4	10.5					地点水深 3.0 m
			1.0	27.3	7.5	745	6.8	12.8					
			2.0	26.4	7.3	1386	4.0	15.2					
			2.5（B-0.1）	25.7	7.6	3890	2.1	14.2					
	大野川 st.6	12:00	0.1	27.8	7.2	717	6.9	9.5					地点水深 2.7 m
			1.0	27.1	7.2	911	6.2	15.8					
			2.0	25.1	7.6	4370	4.0	8.8					
			2.4（B-0.1）	24.9	7.8	4630	3.8	10.6					
	大野川 st.7	12:19	0.1	28.1	7.8	788	8.3	9.8					地点水深 3.0 m
			1.0	27.3	7.4	1444	7.2	6.8					
2019 年 8 月 3 日	河北潟 st.1	12:00	0.1	31.9	8.3	22.9	10.8	16.1	34	19			
	大野川 st.1b	11:30	0.1	30.6	8.2	725	9.8	8.7	68	21			地点水深 3.6 m
			1.0	29.8	7.8	979	7.1	9.0					
			2.0	28.6	7.4	2920	1.3	8.8					
			3.0	28.5	7.4	3100	1.1	12.3	15	58			下層採水は深度 2.7 m
			3.2（B-0.1）	28.5	7.4	3160	1.4	17.0					
	大野川 st.3	11:10	0.1	31.3	8.8	392	13.9	8.8	58	18			地点水深 2.0 m
			1.0	30.9	8.4	439	12.0	9.2	15	44			
			1.9（B-0.1）	28.1	7.2	3790	2.9	8.3					
	大野川 st.4	10:50	0.1	31.1	8.6	520	12.1	9.0	51	18			地点水深 2.6 m
			1.0	30.5	8.5	811	11.4	9.2					
			2.0	28.6	7.8	3380	4.9	8.3	12	62			下層採水は深度 1.7m
			2.2（B-0.1）	28.4	7.7	3460	4.4	7.9					
	大野川 st.5	10:00	0.1	30.9	8.2	809	10.7	7.9	44	18			地点水深 3.2 m
			1.0	28.5	8.0	3660	7.9	4.7					
			2.0	27.6	8.0	4490	5.7	8.1	8	67			下層採水は深度 2.6m
			3.0（B-0.1）	27.4	8.0	4530	5.2	11.9					
2019 年 11 月 16 日	河北潟 st.1	11:45	0.1	12.4	7.4	20.7	-	13.4	56	15			
	大野川 st.1a	11:35	0.1	12.1	7.2	26.1	-	12.7	52	15			
	大野川 st.4	9:50	0.1	12.1	7.3	29.5	9.8	19.9	58	31			
			1.0	12.1	7.3	30.0	9.8	20.7					
			2.0	12.1	7.4	30.2	9.8	21.1					
2020 年 9 月 5 日	河北潟 st.1	11:50（12:30）	0.1	30.0	8.4	41.3	9.8	16.3	71	10	4.0	0.29	水温は 12:30 測定
	大野川 st.1a	10:40（13:10）	0.1	30.1	8.2	1609	10.8	7.4	84	40	3.1	0.98	地点水深 1.4 m, 水温は 13:10 測定
			B-0.1m（1.3）	29.8	7.7	2282	4.0	9.3					
	大野川 st.1b	10:45（12:40）	0.1	29.9	8.1	1662	8.9	9.0	84	30	3.3	0.83	地点水深 3.6 m, 水温は 12:40 測定
			1.0	29.9	8.0	2280	6.5	7.1					
			2.0	29.7	7.5	3310	0.5	8.4					
			3.0	29.4	7.4	3690	0.1	17.5	44	100	2.4	1.84	
			B-0.1m（3.5）	29.3	7.4	3720	0.1	19.6					
	大野川 st.1c	11:15（12:50）	0.1	30.1	8.4	2091	11.5	7.8	96	45	3.2	1.06	地点水深 1.7 m, 水温は 12:50 測定
			1.0	30.2	7.9	2409	3.9	6.3					
			B-0.1m（1.6）	29.7	7.3	2736	1.4	7.6					
	大野川 st.1d	11:30（12:50）	0.1	29.9	8.2	2091	10.8	6.8	89	35	3.1	1.00	地点水深 1.7 m, 水温は 12:50 測定
			1.0	29.8	8.1	2300	5.1	6.5					
			B-0.1m（1.6）	29.7	7.5	2727	1.5	11.3					
	大野川 st.2	12:10	0.1	30.4	8.6	2100	14.6	8.0	127	40	3.1	0.66	地点水深 2.2 m
			1.0	30.4	8.6	1910	14.3	9.2					
			B-0.1m（2.0）	29.3	7.9	3070	0.4	16.1	31	70	2.8	1.73	下層採水深度 1.7 m
	大野川 st.3	12:55	0.1	30.3	8.6	1900	13.5	8.4	131	50	3.1	0.68	地点水深 2.4 m
			1.0	30.3	8.6	1900	13.5	8.5					
			2.0	29.4	8.0	2920	0.8	18.3	28	80	2.5	1.78	
			B-0.1m（2.3）	29.0	7.7	3230	0.3	14.5					
	大野川 st.4	9:40（13:10）	0.1	28.7	7.3	1131	6.0	16.9	36	30	3.1	2.67	地点水深 0.6 m, 水温は 13:10 測定
			B-0.1m（0.5）	28.5	7.3	1137	6.0	17.9					
2019 年 11 月 17 日	浅野川 st.1	12:35	0.1	13.1	7.2	17.3	10.0	3.1	2	3			地点水深 79 cm
			B-0.1m（0.6）	13.1	7.2	17.3	10.0	4.6					
	浅野川 st.2	12:10	0.1	12.7	7.2	16.6	9.9	3.0	2	3			地点水深 56 cm
	浅野川 st.3	11:25	0.1	12.2	7.1	15.9	10.2	5.7	2	2			地点水深 92 cm
			B-0.1m（0.8）	12.2	7.2	15.9	10.1	4.0					
	浅野川 st.4	10:45	0.1	12.0	7.0	16.5	9.7	5.3	2	3			地点水深 87 cm
			B-0.1m（0.8）	12.0	7.2	16.5	9.6	5.3					
	浅野川 st.5	9:55	0.1	12.2	7.2	16.8	9.0	16.4	3	6			地点水深 30 cm（岸から測定）

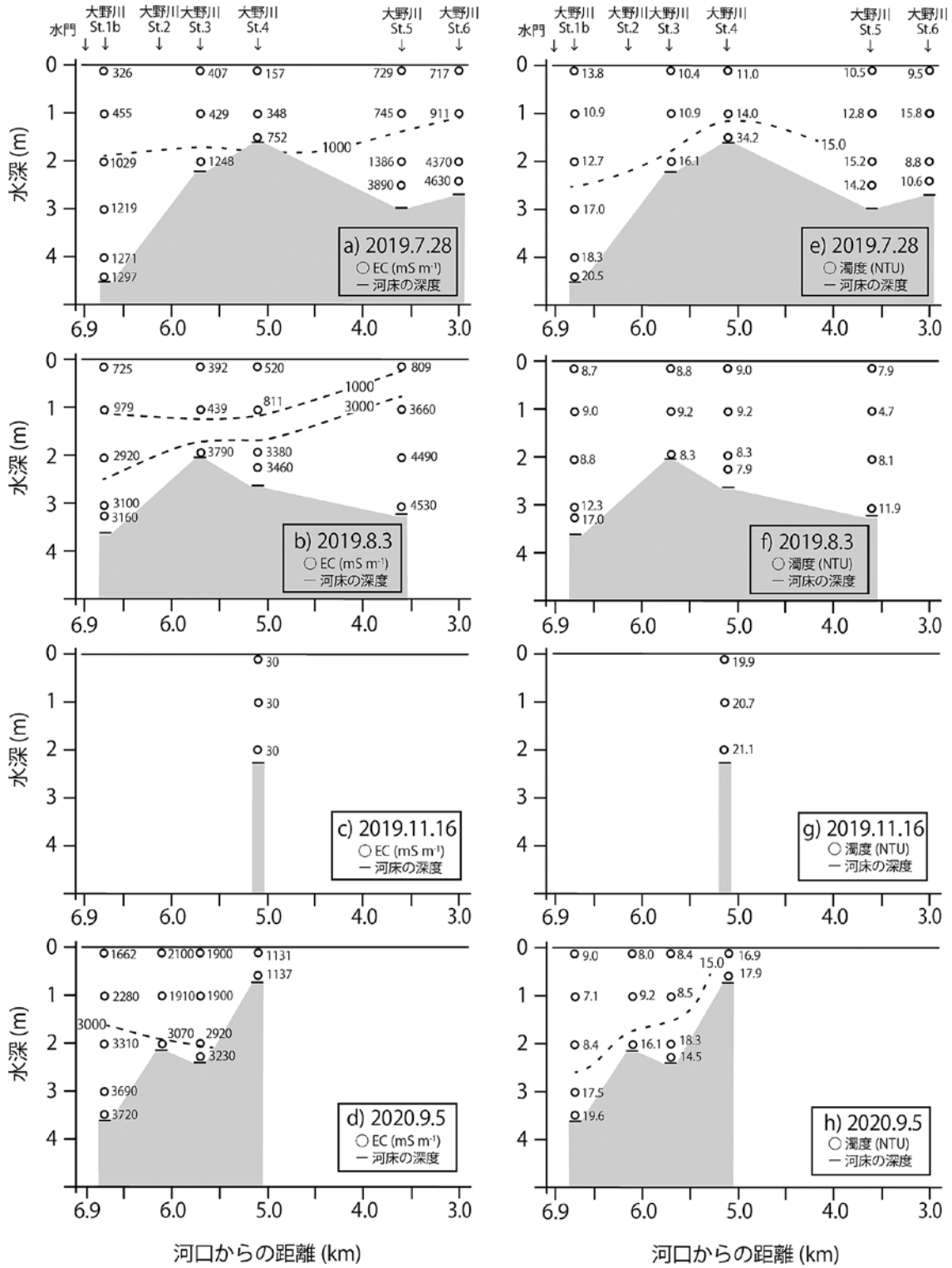

図 2. 大野川における EC および濁度の流程分布.

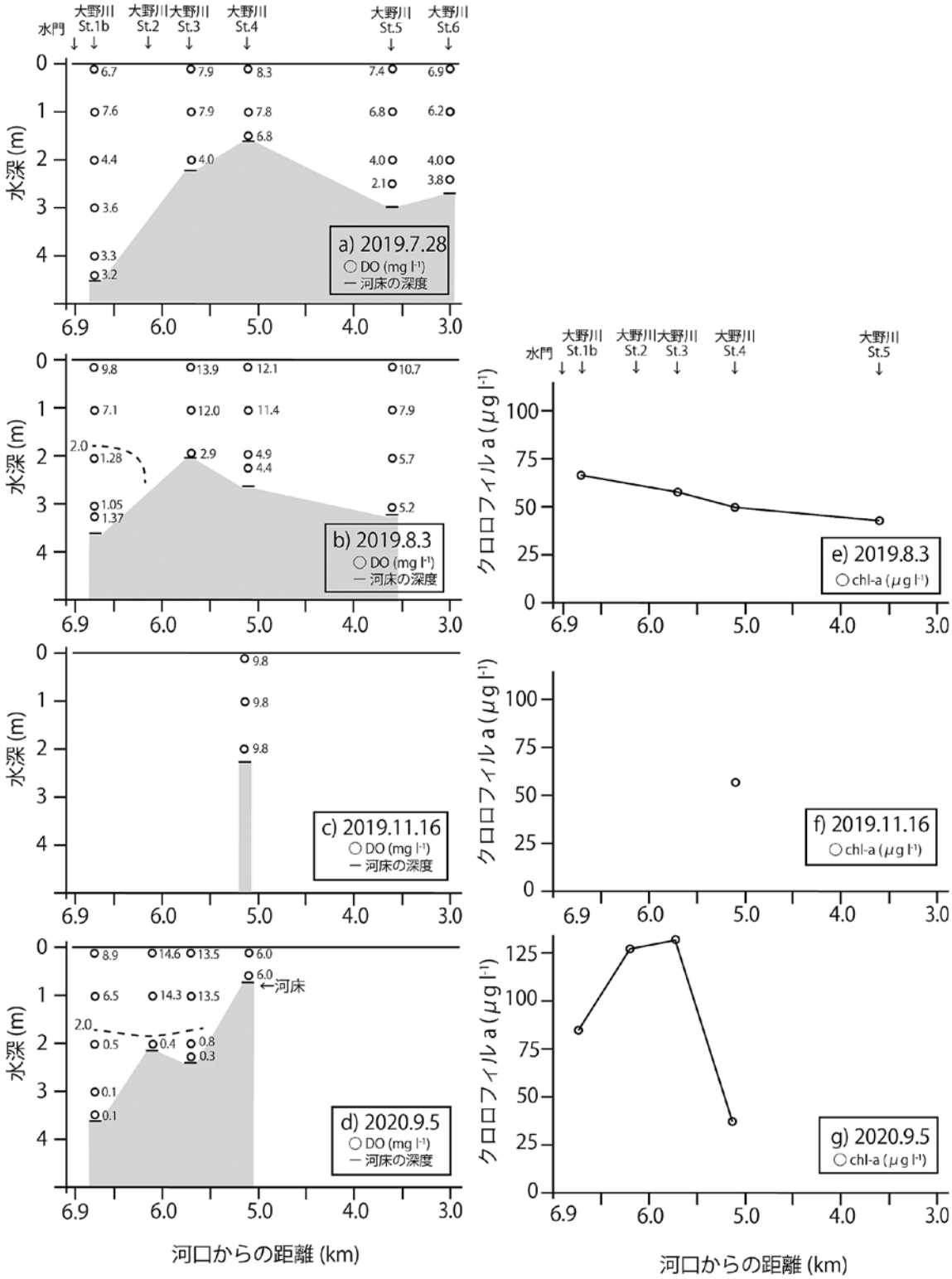

図 3. 大野川における DO および chl-a 濃度の流程分布.

示しているが，河床付近で濁度は高くなっていた．

DO はいずれの調査地点においても表層から河床に向かって低下していたが（図 3a），大野川 st.5 の深度 2.4 m を除いて河床の直上 0.1 m の DO は 3.0 mg l^{-1} 以上を示し，貧酸素状態の河床はみられなかった．

大野川の水質環境（2019 年 8 月 3 日）

表層 0.1 m の水温は大野川 st.1b から st.5 まで 30.6-31.3 ℃の範囲にあり,調査地点の差はみられなかった（表 2）．鉛直方向の水温差は大きく,大野川 st.5 では表層 0.1 m と深度 3.0 m で 3.5 ℃の水温差があった．表層 0.1 m の pH は全地点で 8.2 以上の高い値となっていた．

表層 0.1 m の EC は 392-809 mS m^{-1} の範囲にあり，浅野川の合流点に近い大野川 st.3 で 392 mS m^{-1} と最も低くなっていた（図 2b）．図中には比例計算で求めた 1000，3000 mS m^{-1} の等値線を示している．3000 mS m^{-1} の等値線は大野川 st.1b では深度 2.0 m 以深を通り，大野川 st.3 と st.4 では 2.0 m 以浅，大野川 st.5 では水深 1.0 m 以浅を通り，塩水は膨張水門直下までくさび状に分布していた．

表層 0.1 m から深度 2.0 m までの濁度はいずれの調査地点においても 9.0 NTU 以下であったが，大野川 st.1b の 3.0 m 以深では 12.3-17.0 NTU，大野川 st.5 の水深 3.0 m では 11.9 NTU と河床付近で高い値を示した（図 2f）．SS は同様に下層で高い値となっていた（表 2）．

表層 0.1 m の DO は大野川 st.1 から st.5 までいずれも過飽和（st.1，132%；st.3，187%；st.4，163%；st.5，187%）となっており，特に大野川 st.3 と st.4 では深度 1.0 mまで過飽和（st.3, 163%；st.4, 154%）となっていた（図 3b）．鉛直方向に DO は低下し，大野川 st.1b の深度 2.0 m 以深で 2.0 mg l^{-1} を下回る貧酸素状態となっていた．

chl-a 濃度は大野川 st.1b で 68 μg l^{-1} と最も高く，大野川 st.5 では 44 μg l^{-1} と河口に向かって低下していた（図 3e）．防潮水門内側の河北潟 st.1 では 34 μg l^{-1} であり（表 2），大野川の chl-a 濃度は湖水より高い値となっていた．

大野川の水質環境（2019 年 11 月 16 日）

調査途中でボートを破損したことから，11 月 16 日は大野川 st.4 でのみ測定を実施した（図 2c）．大野川 st.4 では投錨中もゴムボートが次第に流されてしまう程度の流れがあった．

水温は表層 0.1 m から河床まで 12.1 ℃，pH は 7.3 前後のほぼ同じ値を示した．濁度も 20.0 NTU 前後で同じ値を示した．EC は表層 0.1 m から河床まで 30 mS m^{-1} であった．水門直下の岸寄りの調査地点である大野川 st.1a の EC は 26 mS m^{-1} であり（表 2），この日の大野川は大野川 st.4 まで淡水となっていた．

DO もまた表層 0.1 m から河床まで 9.8 mg l^{-1} と同じ値を示した（図 3c）．chl-a 濃度は 58 μg l^{-1} であったが（図 3b），河北潟 st.1 も 56 μg l^{-1} とほぼ同じ値であった（表 2）．

大野川の水質環境（2020 年 9 月 5 日）

表層 0.1 m の水温は大野川 st.1b から st.4 まで 28.7-30.4 ℃の範囲にあり，調査地点間で大きな違いはみられず，鉛直方向の水温差も小さかった（表 2）．表層 0.1 m の pH は大野川 st.4 で 7.3 となっていたのを除き，その他の地点はいずれも 8.1 以上の値であった．

表層 0.1 m の EC は大野川 st.1b から st.4 までいずれも 1000 mS m^{-1} を超えており，深度 2.0 m 以深はほぼ 3000 mS m^{-1} を超える塩水となっていた（図 2d）．

濁度は大野川 st.1b から大野川 st.3 の水深 2.0 m 以浅で 10.0 NTU 以下であったが（図 2h），いずれの地点も河床で濁度は高くなっていた．SS は同様に下層で高い値を示した（表 2）．

表層 0.1 m の DO は大野川 st.1b から st.3 まで過飽和（st.1b，118%；st.2，192%; st.3，179%）となっており，大野川 st.2 と st.3 では深度 1.0 m まで過飽和（st.2，189%；st.3，179%）となっていた（図 3d）．深度 2.0 m 以深は 1.0 mg l^{-1} を下回る貧酸素状態となっており，特に水門直下の大野川 st.1b の河床付近は 0.1 mg l^{-1} のほぼ無酸素の状態となっていた．

chl-a 濃度は大野川 st.1 で 84 μg l^{-1}，st.2 で 127 μg l^{-1}，st.3 で 131 μg l^{-1} ときわめて高い値を示し（図 3g），河北潟 st.1 の 71 μg l^{-1}（表 2）より明らかに高い値であった．浅野川が合流した直下の大野川 st.4 では 36 μg l^{-1} と低い値であった．

浅野川の水質環境（2019 年 11 月 17 日）

最上流の浅野川 st.1 から大野川との合流点の浅野川 st.5 まで，表層 0.1 m の水温は 12.0-13.1 ℃と調査地点で大きな違いはみられなかった（表 2）．pH も 7.0-7.2 の範囲にあり差は小さかった．表層 0.1 m から河床直上 0.1

m まで EC は 16-17 mS m^{-1} であり，塩水の分布は認められなかった．DO はすべての調査地点と深度で 9.0-10.2 mg l^{-1} の範囲にあり差はみられなかった．浅野川 st.1 から st.5 の表層 0.1 m の chl-a 濃度はいずれも 3.0 μg l^{-1} 以下であった．

考　察

河川感潮域における塩分の分布は，上流からの河川流量の条件，潮汐条件，河川の地形や河床形状の条件，また吹送などの影響を受けて変動する（奥田，1996；湖沼技術研究会，2007）．2019 年 11 月 16 日は前日から降雨が続き防潮水門は大きく開門され，水門直下の大野川 st.1a および大野川 st.4 は 26-30 mS m^{-1} の淡水となっていた（図 2c，表 2）．奥川ほか（2022）は，本調査の大野川 st.2 と st.3 の中間点左岸に設置した自記記録電気伝導度計により，降雨とそれに伴う防潮水門からの放流に伴って大野川の EC が急激に低下する状況を報告している．永坂・高野（2015）は 2014 年に大野川の EC を測定し，前日と当日に 50 mm 以上の降雨があった調査日には本調査の大野川 st.5 の河床で 21 mS m^{-1} の淡水であったことを確認している．このように大野川の EC の分布は河北潟からの放流水量の影響を最も強く受けるが，本調査においてはいずれの調査日も浅野川が合流する付近の大野川 st.3 と st.4 で表層の EC は低い傾向を示し（図 2a，b，d），常時流入する浅野川によっても塩水分布は変化していた．現時点では防潮水門からの正確な放水量や浅野川の流量を把握できておらず，大野川の塩分変動を明らかにしてゆく上でこれらの正確な推定が必要である．

前日から降雨のなかった 2019 年 8 月 3 日と前日昼間以降から降雨のなかった 2020 年 9 月 5 日では，大野川 st.1b の表層 0.1 m でも海水（5300 mS m^{-1} 程度，(朝海，2014)）の 1/10 から 1/3 程度の EC の塩水となっていた（図 2b，2d）．大野川 st.1b の深度 2-3 m から河床にかけては海水の 1/2 以上となる 3000 mS m^{-1} を超える塩水が滞留していた．永坂・高野（2015）による 2014 年の調査でも前日から晴天が続いた調査日には，大野川 st.1b の下層で 3000 mS m^{-1} を超える EC が測定されており，河北潟からの放水量が少ない状況下では塩水がくさび状に遡上し，恐らく洗掘によって水深が大きくなっている水門直下で滞留することが確認された．2019 年 8 月 3 日と 2020 年 9 月 5 日の両日とも，大野川 st.1b の DO は深度 2 m 以深で 2.0 mg l^{-1} 以下であり，河床はほぼ無酸素状態となっていた．

防潮水門は高潮の際に閉門することで洪水を防止する堤防としての機能を持つが，堰は貯水や流量調節を目的とし堤防としての機能を持たない河川管理施設と法令上は区別される．しかし河川感潮域の連続的な塩水遡上を遮断する点では同様の影響を水域にもたらしている．河川感潮域に建設された長良川河口堰（村上ほか，2001）や利根川河口堰（鈴木ほか，2000）の下流側下層において高塩分濃度の塩水の滞留と貧酸素水塊が発生することが報告されている．長良川河口堰下流側での貧酸素水塊の発生は，藻類の大量発生時の夜間に生じるもの，大潮期に貧酸素状態の水塊の遡上に伴って生じるもの，ならびに潮位差が小さくなる小潮期に鉛直混合が弱まることに伴って生じるものに類別されている（村上ほか，2001）．この小潮期の貧酸素化については河口堰が下流部の流動性を低下させるため表層と下層の塩分の濃度差が大きくなり，下層での貧酸素化が強化されることによると考えられている（村上ほか，2000；橋本ほか 2004）．

本調査における最大の潮位差は 2019 年 11 月 16 日の 0.72 m であり（表 1），金沢港の潮位差は 2019 年の年間朔望平均潮位差で 0.47 m と小さく（国土交通省，2019），河川水の鉛直混合が弱いことが防潮水門直下での貧酸素水塊の発生を助長しているものと考えられる．

2019 年 8 月 3 日の chl-a 濃度は大野川 st.1b から大野川 st.5 まで，2020 年 9 月 5 日は大野川 st.1b から大野川 st.3 まで河北潟の湖水よりも高い値を示した．長良川では河口堰の設置以前から塩化物イオンの上昇と一致して chl-a 濃度が増加することが認められており，海域で発生したプランクトンの遡上によるものと考えられたが（村上・西條，1999），伊勢湾寄りの下流側に位置する調査地点よりも河口堰直下において小潮期に chl-a が高くなることから，安定した流動条件の中で渦鞭毛藻類等の植物プランクトン増殖が河口堰下流で生じていると考えられた（中村・栗木，2003）．大野川の水門直下の植物プランクトンの現存量が大きいことについては，増加と沈降や捕食による減少に強く影響する種類組成の季節を通じた調査を実施する必要がある．

浅野川における調査は前々日から降雨のあった 2019 年 11 月 17 日に実施しており，大野川への合流点である

浅野川 st.5 の表層 0.1 m の EC は 16.8 mS m^{-1}, 500m 上流の浅野川 st.4 の表層下層ともに 16.5 mS m^{-1} の淡水であり，塩水の遡上はみられなかった（表 2）. しかし浅野川 st.5 付近の河床標高は -0.93 m，浅野川 st.4 は -1.31 m であり，浅野川 st.1 の上流に位置する潟津用水取水堰付近で河床標高は約 0 m となることから（石川県・株式会社国土開発センター，2011），流量の少ない日が続いた場合には大野川に遡上した塩水は河床沿いに浅野川を遡上する可能性があると思われた.

防潮水門の運用以前の大野川の塩水分布として，1978 年 7 月に大潮期の EC が測定されており，本調査の大野川 st.1b 付近の表層は 400-500 mS m^{-1} 程度の淡水に近かったことが記録されている（矢鋪ほか，1979）. 大野川では 1930 年代に塩水遡上を制御するため手動式の防潮水門である新川逆水門が大野川 st.5 と st.6 の間に設置されており（田中，1976），矢鋪ほか（1979）が調査を実施した 1978 年にも逆水門は継続運用されていた可能性がある. 大野川および河北潟の過去の塩分データを参照する際には，塩害軽減のため当時どのような人為的操作がなされていたかを検討する必要があり，今後それらのデータ整理を進める予定である.

謝　辞

調査に参加いただいた上野直人氏，番匠尚子氏，調査実施に際して情報提供や配慮を頂いた河北潟沿岸土地改良区に御礼申し上げます. なお本調査の実施にあたり第 18 期高木仁三郎市民科学基金の助成金を使用しており，ここに御礼申し上げます.

引用文献

朝海敏昭. 2014. 電気伝導率標準液に関する調査研究. 産総研計量標準報告. Vol.9（No.1）: 135-153.

福原晴夫・永坂正夫・川原奈苗・奥川光治・高野典礼・高橋 久. 2022a. 河北潟及び金沢港防潮水門下流の大野川における岸辺底生動物の分布. 河北潟総合研究. 25 : 35-47.

福原晴夫・永坂正夫・川原奈苗・大高明史・奥川光治・高野典礼・高橋 久. 2022b. 浅野川下流域（石川県，金沢市）における大型底生無脊椎動物の分布. 河北潟総合研究. 25 : 49-56.

橋本彰博・有田正光・南沢公太郎. 2004. 長良川河口堰が塩水侵入に及ぼした影響. 水工学論文集. 48 : 1201-1206.

北陸農政局. 1986. 河北潟放水路防潮水門及び排水機場管理規定. 北陸農政局河北潟建設事務所（編）「河北潟干拓事業誌」. p.235-236. 北陸農政局. 金沢市.

石川県・株式会社国土開発センター. 2011. 第 3 編 河川整備計画参考資料.「平成年度 二級河川浅野川 広域河川改修麹（設計）業務委託（大野川水系河川整備計画検討）石川県金沢市湊一丁目地内外 報告書」. p.3-1-3-91.

石川県. 2019. 石川県河川総合情報システム，河川情報水位一覧表（石川県土木部河川課），2019 年 7 月 28 日，8 月 3 日，11 月 17 日.（参照日 2019 年 7 月 28 日，8 月 3 日，11 月 17 日. http://kasen.pref.ishikawa.jp/ishikawa/?mode=pc）.

石川県. 2020. 石川県河川総合情報システム，河川情報水位一覧表（石川県土木部河川課）.（参照日 2020 年 9 月 5 日，http://kasen.pref.ishikawa.jp/ishikawa/?mode=pc）.

河北潟湖沼研究所. 2022. ビジョン. NPO 法人河北潟湖沼研究所.（参照日 2022 年 9 月 25 日，http://kahokugata.sakura.ne.jp/about/mission.html）.

気象庁. 2022. 過去の気象データ・ダウンロード，金沢. 2019 年 7 月，8 月，11 月及び 2020 年 9 月（日ごとの値）.（参照日 2022 年 8 月 6 日，https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php#）.

国土交通省. 2019. 海象データベース，潮位，金沢港大野地区潮位月表，2019 年 7 月，8 月，11 月（北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所）.（参照日 2022 年 8 月 6 日，https://www.gicho.pa.hrr.mlit.go.jp/db/cyoui/kanazawa/）.

国土交通省. 2020. 海象データベース，潮位，金沢港大野地区潮位月表，2020 年 9 月（北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所）.（参照日 2022 年 8 月 6 日，https://www.gicho.pa.hrr.mlit.go.jp/db/cyoui/kanazawa/）.

湖沼技術研究会. 2007. 第 1 章 2 節 14 項，河床形状と塩分遡上.「湖沼における水理・水質管理の技術」（国土交通省，水管理・国土保全，指針・マニュアル・ガイドライン等のページ.（参照日 2022 年 3 月 9 日，

https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/index.h284tml#kankyo).

村上哲生・服部典子・藤森俊雄・西條八束. 2001. 夏季の長良川河口堰下流部の貧酸素水塊の発達と解消. 応用生態工学. 4 : 73-80.

村上哲生・西條八束. 1999. 河口域にみられる二つのプランクトン群集 −起源, 挙動, 及び河口堰がプランクトン群集に及ぼした影響. 応用生態工学. 2 : 199-204.

村上哲生・西條八束・奥田節夫. 2000. 第 3 章 2 節, 水の中の酸素. 講談社サイエンティフィック(編).「河口堰」p.109-127. 講談社. 東京.

中村由行・栗城秀治. 2003. 木曽川及び長良川河口域における冬季の植物プランクトン変動機構解析. 港湾航空技術研究所資料. No.1066. pp.16.

永坂正夫・高野典礼. 2015. 河北潟懸濁物質の大野川感潮域における拡散・沈降過程の検証. 金沢星稜大学総合研究所年報. 35 : 23-26.

根本富美子・小野美幸・福原晴夫. 2009. 淡水域の Chlorophyll-a 測定におけるエタノール抽出条件の検討. 新潟大学教育学部研究紀要 自然科学編. 1(2) : 101-105.

奥川光治・永坂正夫・福原晴夫・高野典礼・川原奈苗. 2022. 河北潟および大野川における電導度の連続計測. 河北潟総合研究. 25 : 11-23.

奥田節夫. 1996. 第 2 章 感潮河川における流れと塩分分布. 西條八束・奥田節夫(編)「河川感潮域 −その自然と変貌−」. p.47-83. 名古屋大学出版会, 名古屋.

鈴木伴征・石川忠晴・銭 新・工藤健太郎・大作和弘. 2000. 利根川河口堰下流部における貧酸素水塊の発生と流動. 水環境学会誌. 23 : 624-637.

田中喜男. 1976. 第九章第五節, 金沢港への前進. 大野町史編集委員会(編) p.412-442.「金沢市大野町史」. 大野町史編集委員会. 金沢.

内灘町. 2021. 2021 年度版 内灘町統計書−土地・気象, 03. 主要河川.(参照日 2022 年 8 月 6 日, https://www.town.uchinada.lg.jp/uploaded/attachment/5174.pdf).

矢鋪満雄・桐本俊武・角田豊麿・矢田峰子・竹野裕治・東 浩一・西村康喜・石田喜朗・志茂たみ. 1979. 大野川における塩害調査. 石川県衛生公害研究所年報. 16 : 68-84.