# 霞ヶ浦の水質とプランクトン相の変遷 2001 ~ 2020 年

沼澤篤 1,2,3) 大久保裕司 1,3)

#### 1. はじめに

霞ヶ浦・北浦水系の水質やプランクトン相に関する調査研究は、複数の公的研究機関によって実施されてきた。それらの結果は概ね1~2年後には、年報やホームページ等で公表されている。その中で我々は、2001年以来、市民参加によって、霞ヶ浦、北浦、常陸利根川、常陸川水門上下流、銚子港沖の利根川河口、佐原沖の利根川について観測し、速報的に、数値、コメント、写真とともに結果をホームページ(霞ヶ浦水質調査研究会で検索)で公表してきた。霞ヶ浦に関心を寄せる市民はだれでも会員として、船上観測に参加できる。船上から観察する霞ヶ浦や北浦は、陸上からの眺望とは異なり、湖水の色、水温、透明度をはじめ、ボラの跳躍、ハクレンの死体、プランクトン観察など、直接的に湖水の状況を体感できる。さらに波浪の強さ、湖上の雲の動き、太陽の輝き、沿岸地形、漁師や釣り人の船などが臨場感をもって眺められる。

それは、普段は陸上で生活する市民にとって非日常的な貴重な経験となる。特に、通称「逆水門」と呼ばれる常陸川水門の閘門を観測船で通過し、その上流、下流の調査地点で観測する体験は、この水門が果たしている機能を、実感をもって認識する格好の機会となっている。また、霞ヶ浦、北浦が利根川及び鹿島灘の太平洋と直結していることも改めて実感できる。霞ヶ浦と利根川を結ぶ横利根川と横利根閘門の通過体験は、欧州や中国大陸の運河を航行しているような感覚を味わえる。

我々はこの観測を2001年から一般社団法人霞ヶ浦市民協会の事業として開始し、2010年からは、市民有志の会員組織である霞ヶ浦水質調査研究会の事業として助成金を得て、受け継いだ。2020年度で20年間にわたる観測を継続してきた。観測の結果は、何度か世界湖沼会議や霞ヶ浦研究会(事務局:茨城大学農学部)などで発表してきたが、20年の区切の機会に改めて観測結果をグラフ化し解析した結果を報告する。

#### 2. 調査方法

船上調査は、民間の調査船「がいあ一世号」「がいあ二世号」(東関東アクアライン所属)で実施した。調査地点は、沖宿沖(北緯 36 度 03 分 00 秒、東経 140 度 15 分 23 秒)、牛渡沖(北緯 36 度 02 分 34 秒、東経 140 度 19 分 30 秒)、江戸崎入北緯 35 度 59 分 13 秒、東経 140 度 22 分 07 秒)、天王崎沖(北緯 35 度 58 分 37 秒、東経 140 度 27 分 57 秒)、三又湖心(北緯 36 度 00 分 48 秒、東経 140 度 25 分 12 秒)、高浜入(北緯 36 度 07 分 22 秒、東経 140 度 22 分 28 秒)の霞ヶ浦 6 地点に加え、夏期と冬期には、常陸川水門(逆水門)方向の観測として、潮来沖、外浪逆浦、北浦湖心、息栖真崎、逆水門上流、逆水門下流、銚子港沖、利根川の佐原港沖の 8 地点である。各調査地点は、GPS で定位した。

調査頻度は、前半10年はほぼ月例であったが、後半10年は、隔月または上半期は毎月、 下半期は隔月で実施した。

<sup>1)</sup> 霞ヶ浦水質調査研究会 〒 300-0051 茨城県土浦市真鍋 2-8-24 マイシティライフ 38 番館 102 号 沼澤方

<sup>2)</sup> 一般社団法人霞ヶ浦市民協会 3) 霞ヶ浦研究会

試水の採水は、ロープ付ポリバケツで表層水を採取し、ポリ採水壜に入れ、クーラーボックスで研究室に運び、冷蔵庫で一晩保管した後、分析に供した。水温、水色、透明度、溶存酸素、pH、電気伝導度は、採水した表層水について現場で測定し、記録した。

水温は、棒温度計または非接触型温度計によって測定した。透明度は、直径約30cmの白板に目盛つきロープをつけ、同一人が測定した。水色は、透明度測定用白板を沈めた時に、その白板を背景にして、同一人が色を判定した。溶存酸素は、セントラル科学㈱製DOメーターによって、約30cm水深部において測定した。pHは、㈱堀場製作所製pHメーターによって、採水した表層水を現場で測定した。電気伝導度は、㈱堀場製作所製ECメーターによって、採水した表層水を現場で測定した。

リン酸態リン、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素は、採水した試水について研究室において、各 HACK 試薬によって発色させ、HACK 社製多項目分光光度計Colorimeter DR/890(米国食品医薬品局認定)で測定した。過マンガン酸カリウム滴定法による COD(化学的酸素要求量)、クロム酸カリウム - 硝酸銀滴定法により塩化物イオン濃度は、それぞれ公定(JIS)法で測定した。

植物プランクトンは、採水した表層水をオリンパス製生物顕微鏡 BX-50 で検鏡し、種を可及的に同定して計数し、1 ml 中の概数とした。同定が困難なものは、珪藻類その他などとした。なお、タルケイソウ類は最新の専門的な分類ではアウラコセイラ類とするが、本調査では 20 年前よりメロシラ類とした。本観測では、藍藻類など群体を作る種類では細胞数ではなく群体数を数えた。鞭毛藻類及び原生動物は数えているが、植物プランクトン数には入れていない。また光学顕微鏡では同定困難な微小なプランクトン(細胞径 2~20  $\mu$ m のナノプランクトン、0.2~2  $\mu$ m のピコプランクトン)は数えていない。よって、COD 値、リン酸態リン濃度などと植物プランクトン数の相関を捉えようとする場合では、その相関性が強く表れない可能性がある。

動物プランクトンは、小型プランクトンネット(㈱離合社製 CAT. No5513、NXX13 メッシュ)を湖底近くから 5 m 鉛直に引いて採集し、50 ml の標本壜に入れた。その際、動物プランクトン同士の捕食を防ぐため、試料に 10% 程度で消毒用アルコールを加え、固定した。それを研究室で検鏡し、分類群ごとに同定し、計数した。動物プランクトンの個体数は、湖水約 160 L (小型プランクトンネット 5 m 鉛直引 1 回)あたりとした。

#### 3. 結果

#### 調査頻度

調査頻度実績を表1に示した。欠測月は空欄とした。

#### 調査結果記入シート

2020年10月19日に実施した霞ヶ浦6地点の調査結果を記入した結果シートを表2に示した。この結果シートは、観測の度、ホームページで公表した。

表 1. 観測実施月 (空欄は、資金不足または天候悪化により欠測)

	沖宿沖	牛渡沖	江戸崎入	天王崎沖	三又湖心	高浜入		沖宿沖	牛渡沖	江戸崎入	天王崎沖	三又湖心	高浜入
2001年1月	0	0	0	0	0	0	2005年1月	0	0	0	0	0	0
2月	0	0	0	0	0	0	2月	0	0	0	0	0	0
3月	0	0	0	0	0	0	3月	0	0	0	0	0	0
4 月	0	0	0	0	0	0	4 月	0	0	0	0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0	5月	0	0	0	0	0	0
6月	0	0	0	0	0	0	6月	0	0	0	0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0	7月	0	0	0	0	0	0
8月	0	0	0	0	0	0	8月	0	0	0	0	0	0
9月	0	0	0	0	0	0	9月	0	0	0	0	0	0
10月	0	0	0	0	0	0	10月	0	0	0	0	0	0
11月	0	0	0	0	0	0	11月	0	0	0	0	0	0
12月	0	0	0	0	0	0	12月	0	0	0	0	0	0
2002年1月	0	0	0	0	0	0	2006年1月	0	0	0	0	0	0
2月	0	0	0	0	0	0	2月	0	0	0	0	0	0
3月	0	0	0	0	0	0	3月	0	0	0	0	0	0
4月	0	0	0	0	0	0	4月	0	0	0	0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0	5月	0	0	0	0	0	0
6月	0	0	0	0	0	0	6月	0	0	0	0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0	7月	0	0	0	0	0	0
8月	0	0	0	0	0	0	8月	0	0	0	0	0	0
9月	0	0	0	0	0	0	9月	0	0	0	0	0	0
10月	0	0	0	0	0	0	10月	0	0	0	0	0	0
11月	0	0	0	0	0	0	11月	0	0	0	0	0	0
12月	0	0	0	0	0	0	12月	0	0	0	0	0	0
2003年1月	0	0	0	0	0	0	2007年1月	0	0	0	0	0	0
2月	0	0	0	0	0	0	2月	0	0	0	0	0	0
3月	0	0	0	0	0	0	3月	0	0	0	0	0	0
4 月	0	0	0	0	0	0	4 月	0	0	0	0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0	5月	0	0	0	0	0	0
6月	0	0	0	0	0	0	6月	0	0	0	0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0	7月	0	0	0	0	0	0
8月	0	0	0	0	0	0	8月	0	0	0	0	0	0
9月	0	0	0	0	0	0	9月	0	0	0	0	0	0
10月	0	0	0	0	0	0	10月	0	0	0	0	0	0
11月	0	0	0	0	0	0	11月	0	0	0	0	0	0
12月	0	0	0	0	0	0	12月	0	0	0	0	0	0
2004年1月	0	0	0	0	0	0	2008年1月		0	0	0	0	0
2月	0	0	0	0	0	0	2月	0	0	0	0	0	0
3月	0	0	0	0	0	0	3月		0	0	0	0	0
								_					
4月	0	0	0	0	0	0	4月	0	0	0	0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0	5月						
6月	0	0	0	0	0	0	6月						
7月	0	0	0	0	0	0	7月						
8月	0	0	0	0	0	0	8月	0	0	0	0	0	0
9月	0	0	0	0	0	0	9月	0	0	0	0	0	0
10月	0	0	0	0	0	0	10月	0	0	0	0	0	0
11月	0	0	0	0	0	0	11月	0	0	0	0	0	0
12月	0	0	0	0	0	0	12月	0	0	0	0	0	0

	沖宿沖	牛渡沖	江戸崎入	天王崎沖	三又湖心	高浜入		沖宿沖	牛渡沖	江戸崎入	天王崎沖	三又湖心	高浜入
2009年1月	0	0	0	0	0	0	2013年1月						
2月	0	0	0	0	0	0	2月						
3月	0	0	0	0	0	0	3月						
4 月	0	0	0	0	0	0	4 月	0	0	0	0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0	5月						
6月	0	0	0	0	0	0	6月	0	0		0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0	7月						
8月	0	0	0	0	0	0	8月	0	0	0	0	0	0
9月	0	0	0	0	0	0	9月						
10月	0	0	0	0	0	0	10月						
11月	0	0	0	0	0	0	11月						
12月	0	0	0	0	0	0	12月	0	0	0	0	0	0
2010年1月	0	0	0	0	0	0	2014年1月						
2月	0	0	0	0	0	0	2月	0	0	0	0	0	0
3月							3月						
4 月	0	0	0	0	0	0	4 月	0	0	0	0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0	5月						
6月	0	0	0	0	0	0	6月	0	0	0	0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0	7月	0	0	0	0	0	0
8月	0	0	0	0	0	0	8月						
9月							9月						
10月	0	0	0	0	0	0	10月	0	0	0	0	0	0
11月							11月						
12月	0	0	0	0	0	0	12月	0	0	0	0	0	0
2011年1月							2015年1月						
2月							2月	0	0	0	0	0	0
3月							3月						
4 月	0	0	0	0	0	0	4月	0	0	0	0	0	0
5月							5月						
6月	0	0	0	0	0	0	6月	0	0	0	0	0	0
7月	_	_		_		_	7月	_	_				_
8月	0	0		0	0	0	8月	0	0	0	0	0	0
						_		_	_				_
10月	0	0	0	0	0	0	10月	0	0		0	0	0
11月	0	0	0	0	0	0	11月	0	0	0	0	0	0
2012年1月		<u> </u>		Ť		$\vdash$	2016年1月			Ť	Ť		
2月	0	0	0	0	0	0	2月	0	0	0	0	0	0
3月		$\vdash$		_ <u> </u>		$\vdash$	3月			H	$\vdash$		
4月							4月	0	0		0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0	5月	0	0	0	0	0	0
6月	0	0	0	0	0	0	6月	0	0	0	0	0	0
7月		<u> </u>					7月	0	0	0	0	0	0
	0			0					0				
8月	0	0	0	<u> </u>	0	0	8月	0	U	0	0	0	0
9月							9月			_			
10月	0	0	0	0	0	0	10月	0	0	0	0	0	0
11月							11月						
12月	0	0	0	0	0	0	12月	0	0	0	0	0	0

	沖宿沖	牛渡沖	江戸崎入	天王崎沖	三又湖心	高浜入
2017年1月						
2月	0	0	0	0	0	0
3月						
4 月	0	0	0	0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0
6月	0	0		0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0
8月	0	0	0	0	0	0
9月						
10月	0	0	0	0	0	0
11月						
12月	0	0	0	0	0	0
2018年1月	0	0	0	0	0	0
2月						
3月						
4月	0	0		0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0
6月	0	0	0	0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0
8月	0	0	0	0	0	0
9月	0	0				
	0	_				
10月	O	0	0	0	0	0
11月	_	_				
12月	0	0	0	0	0	0
2019年1月	0	0	0	0	0	0
3月						
4月	0	0		0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0
6月	0	0	0	0	0	0
-						0
7月	0	0	0	0	0	
8月	0	0	0	0	0	
9月	0	0			0	
10月	)		0	0		0
12月	0	0	0	0	0	0
2020年1月	-				_	
2月	0	0	0	0	0	
3月						
4 月	0	0	0	0	0	0
5月	0	0	0	0	0	0
6月	0	0	0	0	0	0
7月	0	0	0	0	0	0
8月	0	0	0	0	0	0
9月	_			^		
10月	0	0		0	0	0
11月						
12月						

表 2. 霞ヶ浦観測結果例 (2020年12月7日)

参加者:大久保、渡邊、永田、外山、沼澤 天候:晴 牛渡沖 江戸崎入 天王崎沖 三又心 沖宿沖 単位 高浜入 淡緑橙 水色 茶緑白濁 淡緑白濁 茶緑白濁 茶緑白濁 緑橙 水温 °C 13.6 13.0 11.4 13.4 11.6 11.4 透明度 90 100 90 90 105 95 cm 溶存酸素 mg/l рΗ 9.5 9.4 9.8 10.1 9.7 9.9 懸濁物 mg/I300 電気伝導度 <u>μ</u> S/cm 307 320 341 314 282 塩化物イオン mg/l 27.4 32.9 35.6 41.1 35.6 24.7 COD mg/I3.6 4.4 4.8 5.8 4.2 5.4 アンモニア態窒素 亜硝酸態窒素 mg/l 0.01 0.03 0.04 0.03 0.04 0.01 mg/l 0.013 0.016 0.012 0.011 0.016 0.011 硝酸態窒素 リン酸態リン mg/l 8.0 0.7 0.7 0.6 8.0 8.0 0.08 0.00 0.00 0.00 mg/l 0.00 0.00 牛渡沖 | 江戸崎入 天王崎沖 動物プランクトン 分類群 沖宿沖 E又湖心 高浜入 ケンミジンコ類 500 0 400 0 500 0 ノープリウス幼生 2100 1900 700 0 2500 600 オナガミジンコ類 0 0 0 0 0 0 ゾウミジンコ類 カブトミジンコ類 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 ワムシ類 300 200 600 100 1200 1700 イサザアミ 0 0 0 0 0 0 その他 0 0 0 0 0 0 合計 4300 2200 1300 600 3100 1800 牛渡沖 江戸崎入 天王崎沖 植物プランクトン 分類群 沖宿沖 三又湖心 高浜入 1040 Synedra + Nitzschia 珪藻類 1820 1300 520 260 780 3120 2340 3900 2600 2860 2080 Melosira 珪藻類 珪藻類 0 0 Skeletonema 0 0 n 2340 2600 3900 2860 3120 4160 Cyclotella 珪藻類 その他 1300 520 1300 1300 1040 520 珪藻類 珪藻類計 7800 9620 6760 8580 7280 7540 藍藻類 Phormidium 0 0 0 0 0 Oscillatoria 藍藻類 520 260 0 260 1300 260 藍藻類 260 260 Microcystis 0 0 0 0 Anabaena 藍藻類 0 0 0 0 0 0 藍藻類 Myxosarcina 0 0 0 0 0 260 その他 1300 1040 520 520 藍藻類 780 260 藍藻類計 1820 780 1040 1820 1560 780 緑藻類 520 520 780 260 Scenedesmus 0 780 緑藻類 0 0 0 0 0 Actinastrum 0 緑藻類 Pediastrum 0 0 0 0 0 0 その他 緑藻類 260 260 260 1040 1560 520 緑藻類計 2080 780 260 1040 780 1820 合計 11700 9100 10660 10400 9800 10140 その他 分類群 沖宿沖 牛渡沖 江戸崎入 天王崎沖 三又湖心 高浜入 原生動物(鞭毛藻 1040 1560 1560 4160 3900 2340 類を含む)

空欄:欠測

単位(動物プランクトン):プランクトンネット(NXX13)垂直5m曳き1回あたり個体数(概数)

単位(植物プランクトン、原生動物):細胞数または群体数(概数/ml)

### 水温

水温測定の結果を図1に示した。夏期と冬期の水温変化が記録された。地球温暖化の影響で、近年は気温が35℃を超える日があるが、霞ヶ浦は湖水であり、気化熱を奪い、8億5千万㎡の比熱が大きい水体であるから、気温の日変化がただちに水温に反映されないが、それでも30℃を超える日があることがわかる。この結果では、前半10年に比べて後半10年において有意に水温が高くなる傾向は検出できなかったが、他の研究機関による半世紀前の調査結果と比較すれば、水温上昇傾向が検出される可能性がある。

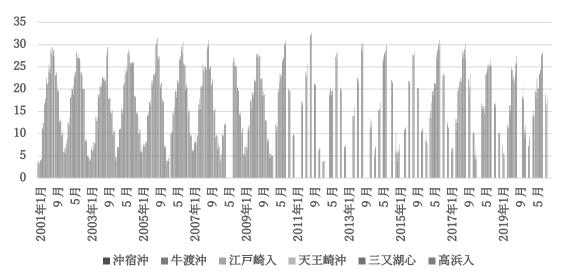


図1. 水温 (℃) の推移 (霞ヶ浦 2001 ~ 2020) 空白部は欠測

# 透明度

透明度の測定結果を図 2 に示した。霞ヶ浦の透明度は、2001 年から 2020 年の期間では、60 cm  $\sim 150$  cm の間で推移した。季節との明確な関係性は認められなかった。白濁が生じ、コイヘルペスウイルスが網生簀養殖場で発生した 2003 年から 2004 年にかけては、全域で透明度が 60 cm 程度であったことが記録された。霞ヶ浦の透明度を左右する要因は複雑である。植物プランクトンが多量に発生した時、流域の降水量が多い時、特に時間降水量が多い豪雨後に河川が濁水を流入させた時、浅い霞ヶ浦で台風や爆弾低気圧が通過し、強風が吹いて、強い波浪が発生し、底泥の再懸濁(まきあげ)が生じた時などは、透明度が低下する。

透明度は水域によって違いがある。図3で、土浦入の沖宿沖と牛渡沖で透明度を比較した。 桜川、花室川、備前川、新川、境川などの河口が近い沖宿沖では、より湖心に近く大きな 流入河川が少ない牛渡沖よりも透明度が低い傾向があった。

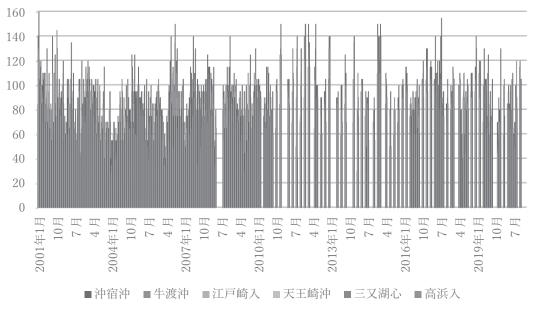


図 2. 透明度 (cm) の推移 (霞ヶ浦  $2001 \sim 2020$ ) 空白部は欠測

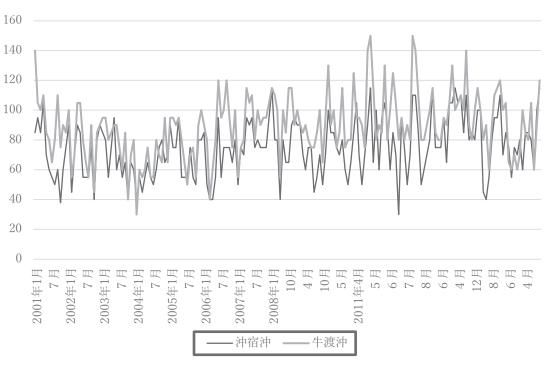
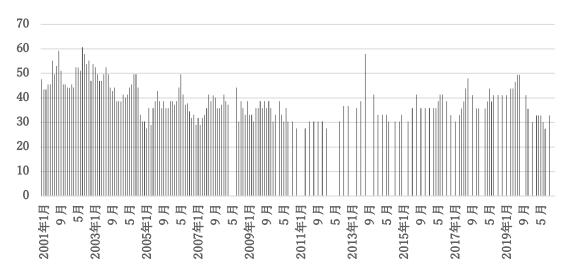


図3. 透明度 (cm) の比較 沖宿沖 vs. 牛渡沖 2001 ~ 2020

# 塩化物イオン濃度

塩化物イオン濃度は霞ヶ浦 6 定点では、沖宿沖と高浜入で、他地点に比べてやや低い。これは、それぞれ、流入河川中最大の桜川、第二位の恋瀬川が流入する水域であることを反映している。霞ヶ浦水系では下流ほど塩化物イオン濃度が高くなる。湖心(三又沖)における塩化物イオン濃度の変遷を図 4 に示した。 $2001 \sim 2004$  年では、塩化物イオン濃度が  $40 \sim 60$  mg/L で推移したが、その後は漸減し、近年では  $30 \sim 40$  mg/L となっている。常陸川水門の操作で塩水の遡上をほぼ完全に防いでいる霞ヶ浦水系では、塩化物イオン濃度は流域の降水量の影響を強く受けるので、最近 10 年間の降水量の多さを反映していると考えられる。



**図 4**. 霞ヶ浦湖心(三又沖)における塩化物イオン濃度(mg/L)の変遷 2001 ~ 2020 空白部は欠測

# COD

湖水中の有機物量の指標である COD 値測定結果を、6 定点分をまとめて、図 5 に示した。 前半 10 年と後半 10 年で、COD 値に違いが見られた。 前半では、COD 値が  $7\sim8$  mg/L 程度を示すことが多く、9 mg/L を超える数値もみられたが、後半では、 $6\sim8$  mg/L 程度か、それを下まわることが多かった。後半では 8 mg/L を超えることは少なかった。

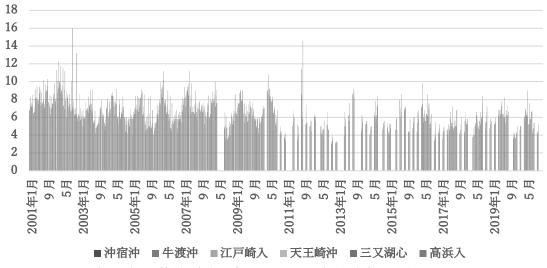


図 5. COD (mg/L) の推移 (霞ヶ浦 2001 ~ 2020) 空白部は欠測

# リン酸態リン

リン酸態リン濃度の推移を、6 定点分をまとめて、図 6 に示した。前半 10 年に比較して、後半 10 年では、濃度の低下傾向が明らかだった。リン酸態リン濃度は夏期に高く、冬期に低下する傾向があった。

霞ヶ浦湖心におけるリン酸態リン濃度の推移を図7に示した。2001年から2006年頃までは、湖心におけるリン酸態リン濃度は、0.15 mg/Lを超えることがあったが、それ以後はほとんどない。

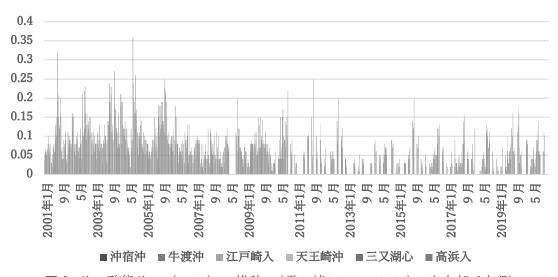


図 6. リン酸態リン (mg/L) の推移 (霞ヶ浦 2001 ~ 2020) 空白部は欠測

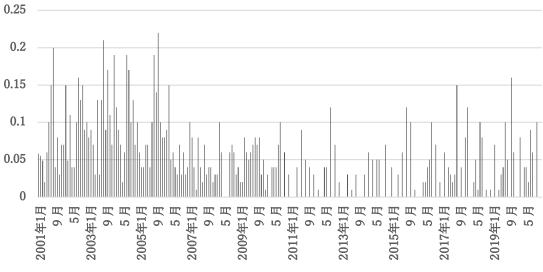


図7. 霞ヶ浦湖心におけるリン酸態リン濃度 (mg/L) の推移 (2001 ~ 2020) 空白部は欠測

#### 無機態窒素

霞ヶ浦湖心におけるアンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素を合わせた無機態窒素濃度の変化を図8に示した。2006年までは、無機態窒素濃度の合計が0.5 mg/L を超えることが多かったが、2007年以降は低下傾向が認められる。

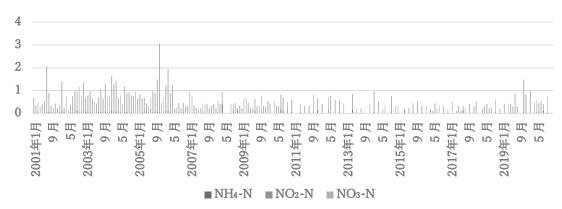


図 8. 霞ヶ浦湖心における無機態窒素合計(アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素、硝酸態窒素)推移 (mg/L) 2001  $\sim$  2020

### 動物プランクトン

動物プランクトンの変化は著しいが、その中で、図9に示したように、オナガミジンコは7月から10月にわたる夏期において安定的に出現した。図10に示したように、ゾウミジンコは、9月頃を中心に発生する傾向があるが、2011年だけは特異的に5月に大発生した。2013年からは、秋期にわずか発生するものの、数は多くない。ワムシ類は、霞ヶ浦ではツボワムシ類、フクロワムシ類が優占するが、図11に示したように、前半10年は多くなかった。後半に入り、2017年~2018年はワムシ類が春期に多かった。しかし、2019年、2020年は減少した。ワムシ類を捕食するケンミジンコ類(その幼生であるノープリウスを含む)は、図12に示したように、調査頻度を考慮しても、前半10年は比較的多かったが、2011年から2015年にかけて少なかった。2016年、2017年には増加したが、その後はやや減少した。ケンミジンコ類は、5月から9月頃に優占し、秋から春にかけては減少していた。

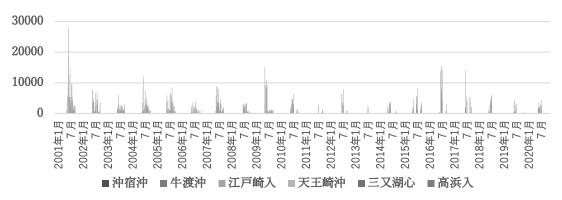


図 9. オナガミジンコ個体数の推移 (霞ヶ浦 2001 ~ 2020) 小型プランクトンネット 5 m 鉛直引き (空白部は欠測を含む)

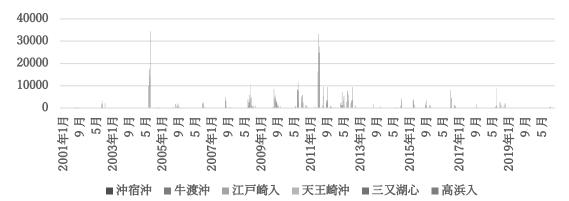


図 10. ゾウミジンコ個体数の推移 (霞ヶ浦 2001 ~ 2020) 小型プランクトンネット 5 m 鉛直引き (空白部は欠測を含む)

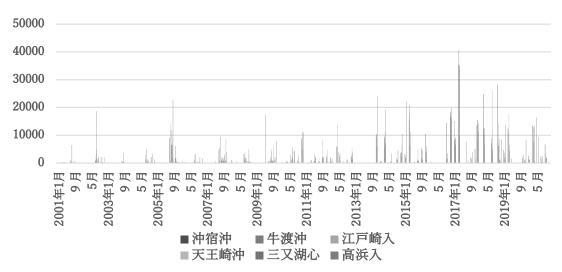


図 11. ワムシ類個体数の推移 (霞ヶ浦 2001 ~ 2020) 小型プランクトンネット 5 m 鉛直引き (空白部は欠測を含む)

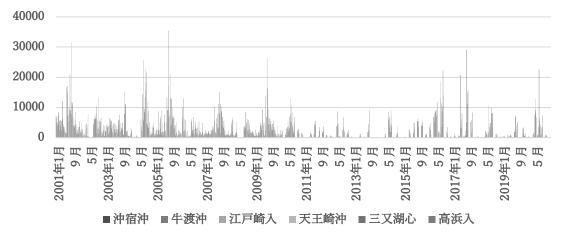


図12. ケンミジンコ類 (ノープリウス幼生を含む) 個体数の推移 小型プランクトンネット 5 m 鉛直引き (空白部は欠測を含む)

# 植物プランクトン

珪藻類、藍藻類、緑藻類を併せた植物プランクトン数の計数結果を図 13 に示した。図で明らかなように、前半 10 年では植物プランクトンがかなり発生していたが、後半 10 年では、少なかった。前半 10 年の結果を詳細に見ると、2001 年は植物プランクトンが多かったが、2002 年から 2005 年までは、かなり少なかった。この期間、白濁が顕著で、2003 年度は珪藻類のスケレトネマが発生し、養殖鯉がコイヘルペスウイルスの感染で大量死した。

その後、2006年から2010年まで、植物プランクトン数が回復したが、2011年以後は少ない。 同様の傾向は、湖心における植物プランクトン数の推移を示す図14においても同様だった。

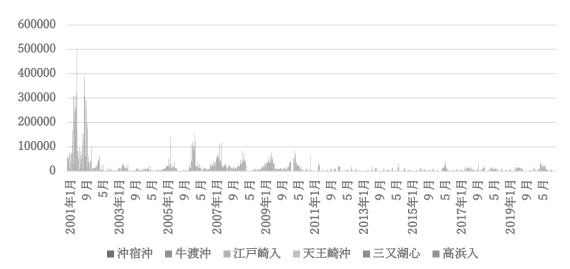


図 13. 植物プランクトン (珪藻類+藍藻類+緑藻類) 細胞数と群体数合計 (霞ヶ浦 湖水 1 mL 中) 2001 ~ 2020

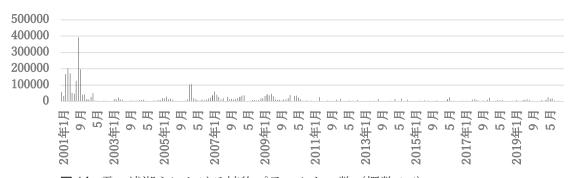
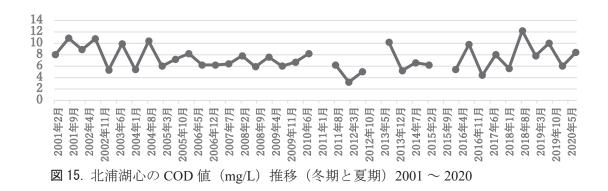
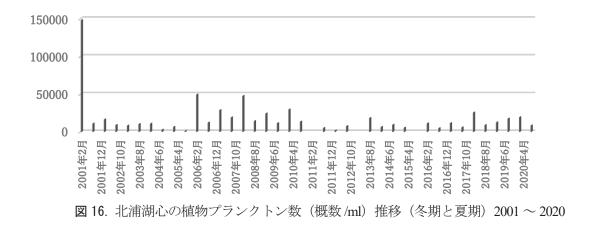


図 14. 霞ヶ浦湖心における植物プランクトン数 (概数 /ml) (珪藻類+藍藻類 + 緑藻類) 細胞数と群体数合計の推移 2001 ~ 2020

# 北浦湖心の水質とプランクトン相

北浦湖心の観測は年に2回、冬期と夏期に実施した。COD値の変化を図15に示した。年に2回の調査であるため、明瞭な変化は読み取りにくいが、夏期に高くなる傾向があった。これは植物プランクトンの数と関係がありそうだが、実は植物プランクトン数が多くなるのは春期であり、珪藻類を主とする春のブルームが起きているためと推測された(図16)。北浦湖心におけるリン酸態リン濃度の冬期と夏期の推移を図17に示した。霞ヶ浦(西浦)同様、夏期に濃度が上昇していた。





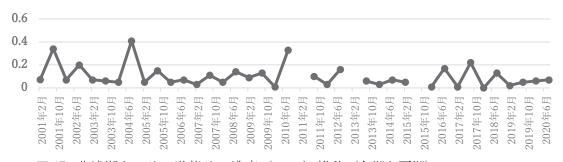


図 17. 北浦湖心のリン酸態リン濃度 (mg/L) 推移 (冬期と夏期) 2001 ~ 2020

# 常陸川水門上流と下流の水質

常陸川水門(通称逆水門)は、塩水の遡上と利根川河川水の逆流を防ぐ目的で1963年に建設された。その上流と下流では、水質やプランクトン相がかなり異なるが、まず塩化物イオン濃度を比較した。潮来、外浪逆浦、息栖真崎、逆水門上流、逆水門下流、銚子港沖における塩化物イオン濃度の変化を、冬期2月と夏期8月に分けて、図18、図19に示した。2月、8月ともに、逆水門を境に塩化物イオン濃度が明瞭に異なり、逆水門上流では、塩化物イオン濃度が低く、ほぼ淡水であり、逆水門が塩水の遡上を防いでいた。なお、8月では逆水門下流、銚子港沖において、塩化物イオン濃度がかなり低下していることがあるが、流域における降雨量が多く、利根川、霞ヶ浦水系の水位が高くなり、逆水門開放と隣接する利根川河口堰の開放により淡水が利根川下流まで及んでいることを示している。

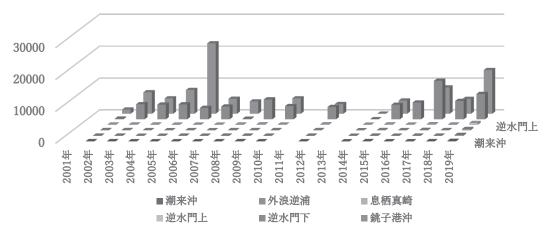


図 18. 常陸川水門方向における塩化物イオン濃度 (mg/L) 2月 2001 ~ 2020

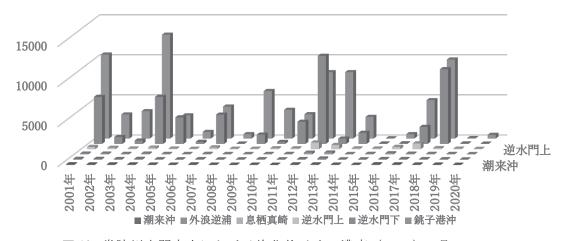


図 19. 常陸川水門方向における塩化物イオン濃度 (mg/L) 8 月 2001 ~ 2020

### 4. 論議

### COD、リン酸態リン、無機態窒素の推移

霞ヶ浦、北浦の水質は、茨城県生活環境部環境対策課が経年変化を公表している。それによると、直近 20 年間のうち、前半 10 年間の COD 値は霞ヶ浦、北浦ともに 8 ~ 10 mg/L であったが、後半 10 年間では 7 ~ 8 mg/L で推移している。当会の霞ヶ浦における調査データは、この傾向とほぼ一致している。茨城県の結果では、霞ヶ浦 14 流入河川の COD 値の加重平均の値は、直近 20 年間で漸減傾向にある。同様の傾向は北浦及び北浦流入河川の COD 値にもみられる。これは、霞ヶ浦、北浦ともに、流入河川からの負荷漸減によって、湖水の COD 値も減少傾向にあるといえる。

全リンについても、茨城県環境対策課が湖水と流入河川について経年変化を公表している。全リンは、無機態リンと有機態リン(プランクトンなどの有機物に含まれるリン)の両者を合計したものであるが、直近 20 年間のうち、前半 10 年間は、平均値として  $0.1\sim0.12$  mg/L であったが、後半 10 年間は  $0.09\sim0.1$  mg/L 程度であり、当会のリン酸態リン濃度の値の減少傾向と一致している。茨城県発表の流入河川の全リン濃度は、直近 20 年間では、年平均値で 0.1 mg/L を毎年下まわっている。

茨城県環境対策課は全窒素濃度の推移を公表している。全窒素濃度は、無機態窒素と有機態窒素(プランクトンなどに含まれる)の合計であるが、茨城県発表では、直近 20 年間では変動があるものの、 $1.0 \sim 1.2 \, \text{mg/L}$  程度で推移している。当会による霞ヶ浦の無機態窒素合計は、 $20 \, \text{年間}$ のうち前半  $10 \, \text{年間}$ よりも後半  $10 \, \text{年間}$ で、前述のようにやや濃度が低下している傾向がうかがえた。茨城県発表の、霞ヶ浦流入  $14 \, \text{河川における全窒素の年平均値は、前半 } 10 \, \text{年間では、} 2.4 \sim 2.5 \, \text{mg/L}$  程度であったが、後半  $10 \, \text{年間では } 2.3 \sim 2.4 \, \text{mg/L}$  程度で推移し、安定している。

# 大規模浚渫の効果はあったのか

国土交通省による霞ヶ浦大規模浚渫は、1996年から本格化し、2005年に終了した。約10年をかけて、専用浚渫船によって底泥約30cmの深さまで浚渫し、浚渫した泥は送泥管で湖水とともに処理船まで送り、泥を分離し、水は湖に戻す方式と、泥と水の両方を送泥管で沿岸湿地に送り、嵩上げに使い、水は湖水に戻す方式が採用された。この大規模浚渫によって、土浦入と高浜入の沖合の湖底の面積の約6割程度が浚渫された。この大規模浚渫の主目的は、底泥から湖水に溶出(回帰)するリン酸態リンと無機態窒素を有効に除去することにあった。さらに副次的には、周辺湿地(農地を含む)の嵩上げによる土地改良だけでなく、底泥に覆われた湖底の砂地を露出することによるワカサギやシラウオの産卵場が再生される期待もあった。大規模浚渫の効果について、国土交通省は評価を公表していない

COD 値、無機態窒素濃度でみる限り、大規模浚渫の効果は判然としないが、全リン濃度、リン酸態態リン濃度については、大規模浚渫終了後に、霞ヶ浦湖水濃度がやや低下傾向にあるように見える。その間、流入河川からのリンの負荷量は大きな変化はない。

植物プランクトン数は、リン酸態リン濃度と正の相関性があるが、霞ヶ浦湖水では近年 10年間で、それ以前の10年間に比較して少ない傾向にあることは、全リン濃度、リン酸 態リン濃度の低下をもたらした大規模浚渫の効果が出ている可能性がある。

#### プランクトンの推移

動物プランクトン数は、種ごとに様々な要因の影響を受ける。ワムシ類はケンミジンコに捕食されるため、ケンミジンコが出現し始めると、減少する。ケンミジンコが未だ少ない早春の $2\sim3$  月に、ワムシ類は多くカウントされる。この時期、日照時間が長くなり、水温が上がり始め、珪藻類を主体とした植物プランクトンが増殖(ブルーム)するが、それを餌とするワムシが出現する。しかし、ケンミジンコが活動するには水温はまだ低い。そして、孵化まもないワカサギやシラウオの仔魚がワムシ類を餌にすることは、時季に叶っている。氷河期の遺残種といわれるワカサギやシラウオの初期餌料として、ワムシ類が重要視されている。したがって、 $1\sim3$  月に植物プランクトンが増殖し、それを餌とするワムシ類が優占し、 $4\sim5$  月にケンミジンコが増加することは、霞ヶ浦のような温帯に位置する湖沼にとって水産上重要であり、理に適っている。

このように、動物・植物プランクトンの季節的出現の順番が重要となるが、この 20 年間の観測では、2003 ~ 2005 年にかけて白濁が著しかった時期では、植物プランクトンの光合成が阻害され、それを餌とするワムシ類が少なく、さらにワムシ類を餌とするケンミジンコ類も増えられないという悪循環が著しかった。早春に水温が高く、ケンミジンコの活動が早まった時期ではワムシ類が捕食され、減少してしまったことをうかがわせる年度もあるようだ。水温、透明度、動植物プランクトン数、ワカサギやシラウオの資源量は、気象要因、湖水の物理的要因、食物連鎖などの生態系の複雑な要因に大きく左右されているようだ。

### 地球温暖化と年間降雨量増加の影響

図 20 に、土浦における年間降雨量の 1980 ~ 2019 年間の変化を、水戸地方気象台のデータよりグラフ化した。1980 ~ 2000 年の期間では、1984 年と 1994 年に年間降雨量が 600 ~ 800 mm 台を記録していたことに対し、2000 年以降では 1000 mm を下まわる年はない。このことから、近年は流域での降雨量が、地球温暖化の影響を受けて多くなってきている傾向がうかがえる。さらに図 21 に、土浦における時間最大降雨量のグラフを示した。1980~2000 年の 20 年間では、時間最大降雨量が 40 mm を超えたことが 2 度あるが、2000 年以後では 20 年間で 5 回に増えている。1 時間に 40 mm を超える降雨量は豪雨であり、地表の土壌侵食と流出を惹起し、流入河川を経て湖水の濁度、透明度に影響し、植物プランクトンによる光合成を阻害し、湖水の生産性を低下させる。かつて著者の一人、沼澤が視察した東南アジアの代表的汽水湖であるフィリピンのラグナ湖、タイのソンクラ湖では、流域からの土砂流入によって常時透明度が低く、天然漁業が低迷している現状をみれば、今後の霞ヶ浦の水産業が憂慮される。

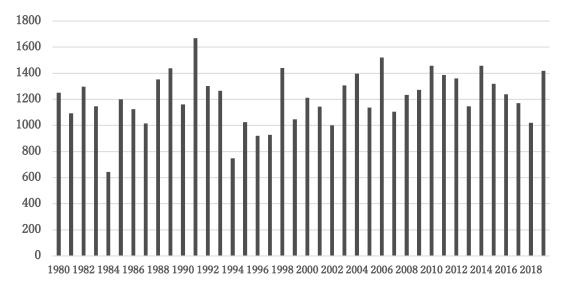
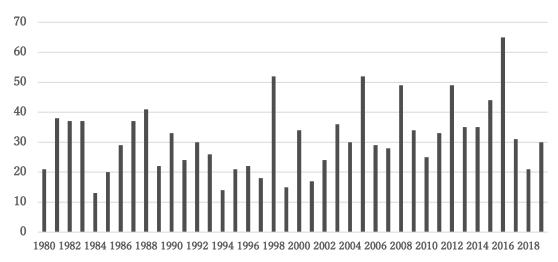


図 20. 土浦の年間降雨量 (mm) 1980 ~ 2019 水戸地方気象台ホームページの過去データよりグラフ化



**図 21**. 土浦の時間最大降雨量 (mm) 1980 ~ 2019 水戸地方気象台ホームページの過去データよりグラフ化

#### 謝辞

本調査の開始にあたり、浜田篤信氏より専門的な助言をいただいたことに感謝する。

本調査は、前半の10年間は一般社団法人霞ヶ浦市民協会研究室の調査研究事業の一部として行われた。理事、会員の皆さんのご理解をいただいたことに感謝する。また、しろうと水質探偵団(団長:森保文氏)より、前半10年間、毎回DOメーターをお借りした。森氏に感謝する。後半10年間は、霞ヶ浦水質調査研究会の主事業として調査を継続する上で、㈱ラクスマリーナ(旧京成マリーナ)、㈱プロパストのご理解をいただき、「いばらきコープ環境基金」、常陽銀行を中心とする「公益信託エコーいばらき環境保全基金」、㈱ジョイフル本田を中心とする「公益財団法人本田記念財団」より助成金をいただいた。これらの

助成金と会員からの会費を調査資金に充てた。また観測の実務作業に加わっていただいた 霞ヶ浦水質調査研究会の会員の皆さん、毎回、調査船の出航に便宜を図っていただいた東 関東アクアライン及び作業補助として参加された渡邉充氏、鷹部信一氏、坪田哲也氏他に 深く感謝する。霞ヶ浦のワカサギ漁獲量の変動について貴重なご示唆をいただいた霞ヶ浦 漁業協同組合の桜井謙治氏、茨城県水産試験場内水面支場の根本隆夫氏、所史隆氏、佐野 仁氏、さらに、調査時に毎回、参加者の昼食でお世話になった麻生・弥生飯店に深謝する。 多くの皆さんのご支援により 20 年の長きにわたって民間による霞ヶ浦の調査を継続でき た。

### 文献 (本調査結果による論考、論文)

- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2002. 霞ヶ浦湖水の定期観測結果(2001 年度) について. 霞ヶ浦研究, **12**: 113-123
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2002. 逆水門方向観測結果(2001年度) について. 霞ヶ浦研究, 12: 125-129
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2003. 逆水門方向観測結果(2002年度) について. 霞ヶ浦研究, 13: 98-101
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2003. 霞ヶ浦湖水の定期観測結果(2002 年度) について. 霞ヶ浦研究. **13**: 84-97
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2003. 霞ヶ浦湖水の定期観測結果(2003 年度) について. 霞ヶ浦研究, **14**: 103-115
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2004. 逆水門方向観測結果(2003年度) について. 霞ヶ浦研究, 14: 117-120
- 沼澤篤、大久保裕司. 2005. 2001 年から 2004 年に至る霞ヶ浦水質変化について. 霞ヶ浦研究, 15: 91-104
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2005. 逆水門方向観測結果(2004年度) について. 霞ヶ浦研究, 15: 85-90
- Numazawa A. 2005. Relationship between productivity and transparency fall in water quality monitoring and plankton analysis in Lake Kasumigaura. Proceeding of 11th World Lake Conference (Nairobi, Kenya 2005 電子版)、霞ヶ浦研究,**16**: 68-75
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2006. 霞ヶ浦湖水の定期観測結果(2005年度)について. 霞ヶ浦研究, 16: 96-108.
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2006. 逆水門方向観測結果(2005年度) について. 霞ヶ浦研究, **16**: 90-95.
- 沼澤篤・大久保裕司. 2006. 2001 年から 2004 年に至る霞ヶ浦水質変化の特徴について. 霞ヶ浦研究会報, 9: 87-88.
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2007. 逆水門方向観測結果(2006年度) について. 霞ヶ浦研究, 17:59-64.
- 霞ヶ浦市民協会研究室. 2007. 霞ヶ浦湖水の定期観測結果について. 霞ヶ浦研究 17: 65-77 霞ヶ浦市民協会研究室. 2009. 霞ヶ浦湖水の定期観測結果(2007年度)について. 霞ヶ浦研究, 18・19: 100-113.

- 沼澤篤. 2011. 2011 年夏のアオコ大発生と動物プランクトン及び透明度に関する考察. 霞ヶ浦研究会報, **14**: 37.
- 沼澤篤・大久保裕司. 2014. 2001 年以来の常陸川水門上流、下流における塩化物イオン観測結果と東日本大震災以後の塩分濃度異常上昇と水位、天候との関係について. 霞ヶ浦研究会報, 16:89.
- 沼澤篤. 2014. 逆水門認識におけるボタンのかけ違いの是正—逆水門問題再考から共通認識形成へ. 霞ヶ浦研究会報, **16**: 18-33.
- Numazawa, A., Y. Okubo and K. Okubo. 2016. Distinctive fluctuation in water quality and plankton in the center of Lake Kasumigaura, Japan since 2001. Proceedings of 16th World Lake Conference (Bali, Indonesia). 霞ヶ浦研究会報, 19: 47-54. (2017, 2018 合併号) に収録
- 沼澤篤. 2018. 霞ヶ浦水質調査研究会の市民活動. 第 17 回世界湖沼会議サテライトつちうらメイン大会プログラム発表団体活動事例集, pp.115-116.

(以上の論文は「霞ヶ浦論考・論文集 1989-2020」沼澤篤著に収録。同書は霞ヶ浦沿岸市町村図書館、霞ヶ浦市民協会、茨城県霞ヶ浦環境科学センター、茨城県生活環境部環境政策課、茨城大学農学部図書館などで閲覧可)

#### 参考文献

茨城県水産試験場内水面支場資料. 2020. 霞ヶ浦・北浦におけるワカサギの餌料環境.