

# 霞ヶ浦水質汚濁の調査・研究活動

茨城県立土浦第二高等学校 化学部 顧問教諭 長谷川 博

## はじめに

霞ヶ浦の水は、水道用水、工業用水、農業用水などとして利用され、地域発展に不可欠の貴重な資源である。しかし、1970年代からその水質は急激に悪化し、富栄養化による水質汚濁が大きな社会問題になっている。そのため、大学を含め多くの研究機関が霞ヶ浦水質汚濁の原因究明などの調査・研究を行っているが、高校生による調査・研究活動はあまりみられない状況にあった。

そこで、霞ヶ浦の水質汚濁状況を検討することを目的とし、1991年から霞ヶ浦に流入する河川の水質調査を開始した。さらに、通産省工業技術院地質調査所の永井茂先生(当時)が始められた霞ヶ浦の湖水を原水とする水道水の研究に、1993年に参加、翌年からはこの研究を引き継いでいる。得られた研究成果は、第6回(1995年、霞ヶ浦)、第9回(2001年、琵琶湖)世界湖沼会議などで報告してきた。

また、本校の学園祭で実施した「高校生による霞ヶ浦討論会」では、地元の高中生だけでなく、環境問題の専門家や大学の先生を招待し、さまざまな立場で話し合った。そして、1999年にその記録集を出版した。



写真1 宇宙から見た霞ヶ浦(宇宙開発事業団提供)

## 霞ヶ浦流域の社会状況

霞ヶ浦は我が国第2位の湖面積(220km<sup>2</sup>)を有し、流域面積はその約10倍(2157km<sup>2</sup>)で茨城県の約1/3に相当する。

霞ヶ浦流域は、水源地や水質浄化に大きな役割を担う森林面積率がわずか20%(全国平均の1/3以下)と極めて低い。水田と畑を合わせた耕地面積率は全国平均の3倍を超え、農業粗生産額はその約4倍と、農業が極めて盛んな地域である。一方、霞ヶ浦流域は都市化が進む中央部、畑作・畜産地帯の北東部、利根川下流低地で水田が大半を占める南部、森林面積率が高い北西部に大別される。

## 調査・研究活動

### (1) 霞ヶ浦に流入する河川の水質

霞ヶ浦全域の流入河川と湖水を対象にした水質調査を1997年1月から翌年の12月まで毎月、合計24回実施。電気伝導度(EC)、主要無機イオン、COD、窒素、リンなどを分析した。これらの分析結果をもとに、流入河川の水質汚濁状況を茨城県主要河川の水質調査結果(1994年1月から1996年11月まで合計27回実施)と比較した。

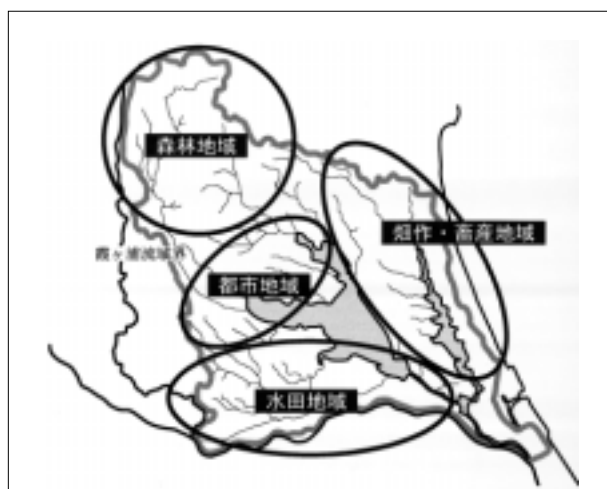


図1 霞ヶ浦流域の概略

霞ヶ浦水質汚濁の調査・研究活動

茨城県立土浦第二高等学校 化学部 顧問教諭 長谷川 博

水質調査結果

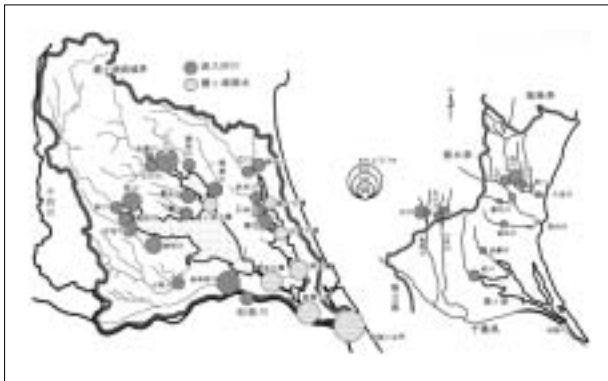


図2 電気伝導度( EC)の分布

流入河川の中で森林面積率が高い恋瀬川の水質は良好である。しかし、その他の河川のECは高く、主要無機イオン量が多い。500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ を超え特異な水質である山王川と新利根川を除けば、流入河川の水質組成に大きな相違はみられない。さらに、茨城県主要河川の水質組成とも類似する。なお、湖水のECは流出口の常陸川水門に進むほど高くなり、ナトリウムと塩化物イオン濃度が増加する。

市街地の小さな河川は、生活排水、事業所や工場などが汚濁源になり、CODと全リン濃度が高い。一方、流域北東部の畑作・畜産地帯を流れる河川は、高い全窒素濃度を示す。この主な要因として、多量に施肥される窒素肥料や素掘りの池や溝に溜められた家畜糞尿の影響が考えられる。

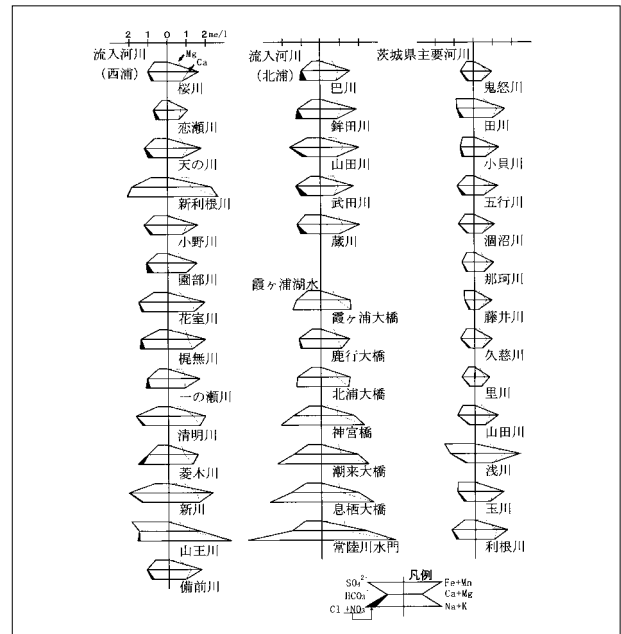


図3 水質分析図(ヘキサダイアグラム)



図4 CODの分布



図5 全窒素( T-N)の分布



図6 全リン( T-P)の分布

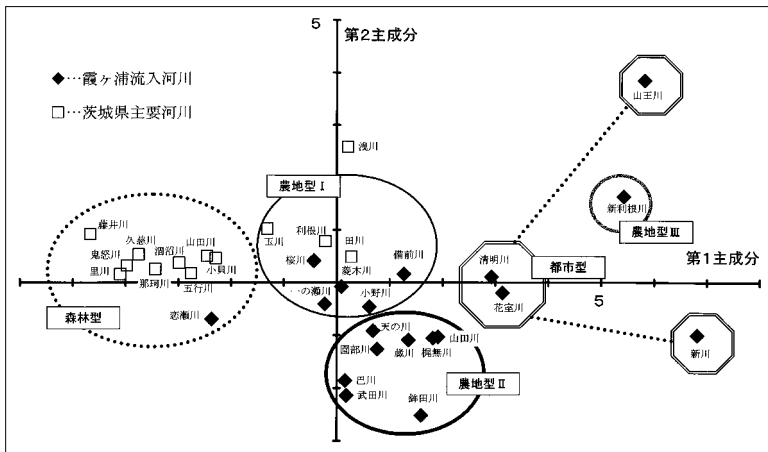


図7 水質の主成分得点分布

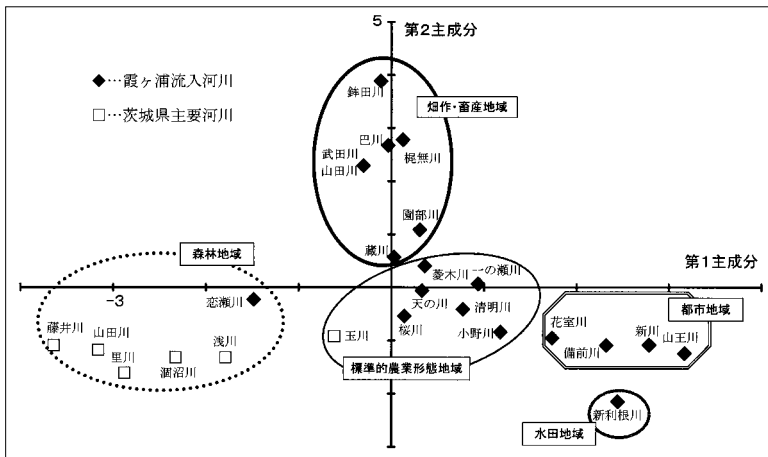


図8 社会状況の主成分得点分布

表1 水質の主成分分析結果

固有値		
	第1主成分	第2主成分
固有値	8.34	1.62
寄与率 (%)	64.2	12.4
固有ベクトル		
項目	第1主成分	第2主成分
COD	0.33	-0.10
DO	-0.23	0.19
EC	0.33	0.14
Na	0.29	0.32
K	0.33	0.09
Ca	0.28	0.06
Mg	0.27	-0.25
Cl <sup>-</sup>	0.30	0.07
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.17	0.56
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.33	-0.03
T-N	0.16	-0.52
T-P	0.26	0.13
SiO <sub>2</sub>	0.26	-0.39

表2 社会状況の主成分分析結果

固有値		
	第1主成分	第2主成分
固有値	3.26	2.60
寄与率 (%)	40.8	32.5
固有ベクトル		
項目	第1主成分	第2主成分
人口密度	0.44	-0.21
田	0.34	-0.13
畑	0.25	0.52
山林	-0.53	-0.08
宅地	0.48	-0.15
米	0.32	-0.14
野菜	0.13	0.55
畜産	0.02	0.56

主成分分析(多変量解析)を用いて流入河川の水質区分を試みた。第1主成分軸は水質の総合的な評価軸、第2主成分軸は水質組成の特徴を示す軸であると解釈できる。流入河川の水質は、森林型(水質良好)、農地型(標準的な水質)、農地型(畑作・畜産地帯を流れ高い窒素濃度を示す)、農地型(利根川下流低地の新利根川)、都市型(水質汚濁が著しい)の5つのグループに区分することができる。

#### 水質と流域の社会状況との関連

流入河川と茨城県主要河川について、流域別の人口密度、土地利用、農業粗生産額を試算し、その

社会状況の区分を試みた。第1主成分軸は全般的な社会状況を示す軸、第2主成分軸は農業形態の特徴を示す軸である。流入河川の流域は、森林地域、標準的な農業形態地域、畑作・畜産地域、水田地域、都市地域の5つに区分することができ、これらの区分は水質区分と大変良い一致がみられる。

霞ヶ浦に流入する河川の水質は、森林面積率が極端に低く、全国屈指の農業地帯であるという流域の社会状況と、密接に関係していると言える。霞ヶ浦の富栄養化問題の解決には、農業系や畜産系からの窒素汚濁に視点を当てるのが極めて重要である。

霞ヶ浦水質汚濁の調査・研究活動

茨城県立土浦第二高等学校 化学部 顧問教諭 長谷川 博

(2) 霞ヶ浦を水源とする水道水の水質

霞ヶ浦の水質汚濁状況を継続的に把握することを目的とし、霞ヶ浦の湖水を100%原水とする水道水の水質分析を週3回行っている。

1982年からの継続的な分析結果をもとに、国および茨城県が行った霞ヶ浦の水質汚濁調査結果との関連を検討した。

水道水の塩化物イオンの経時変化

水道水の塩化物イオンは、夏から秋にかけて増加し、冬から春には減少する季節変化がみられる。霞ヶ浦のCODと比較すると大変良い相関がみられ、水道水の塩化物イオンは霞ヶ浦の水質汚濁状況をよく反映していることが分かる。また、霞ヶ浦の水質には降水量などの気象条件が大きく影響する。異常渇水年の1984年は、水道水の塩化物イオン、霞ヶ浦のCODは最悪の状況であったが、1991年は台風の当たり年で霞ヶ浦の湖水は急激に希釈され、最良の水質になった。

しかし、1993年頃から、霞ヶ浦のCODは冬から春の改善がみられず、年間を通じて高い状況にある。これは藍藻類の優占種がミクロキスティス(アオコ)からオシロトリアなどに遷移したためであると言われている。さらに、1995年頃から水道水の塩化物イオンも季節変化がみられなくなった。

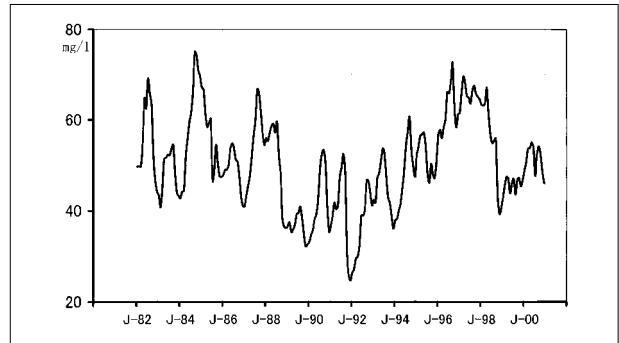


図9 水道水の塩化物イオンの経時変化(月平均値)

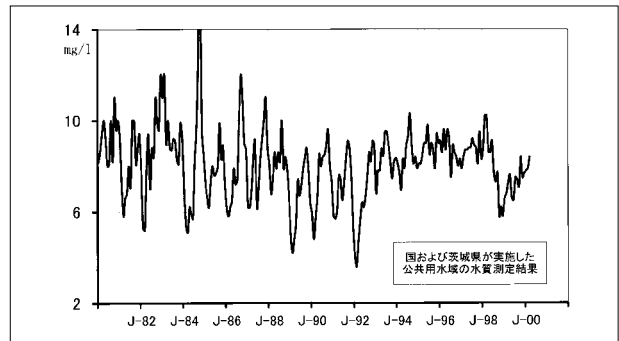


図10 霞ヶ浦湖心のCODの経時変化

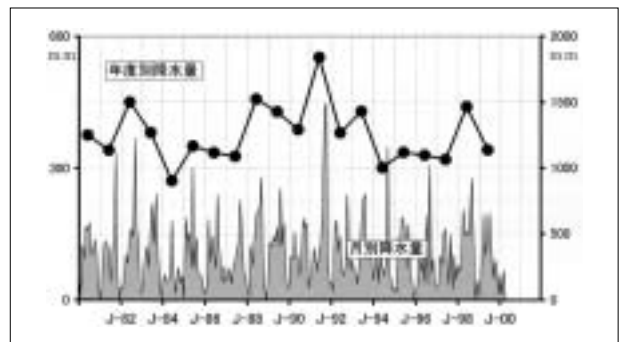


図11 霞ヶ浦流域の降水量の推移(つくば市館野)

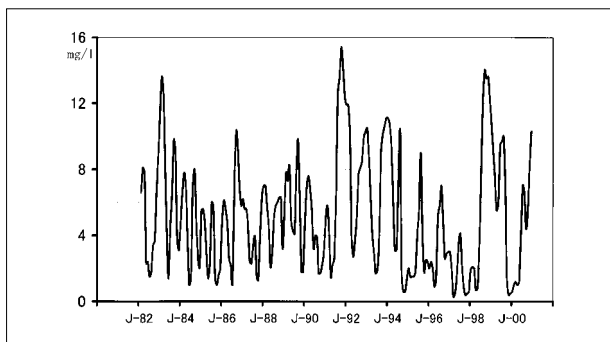


図12 水道水の二酸化ケイ素の経時変化(月平均値)

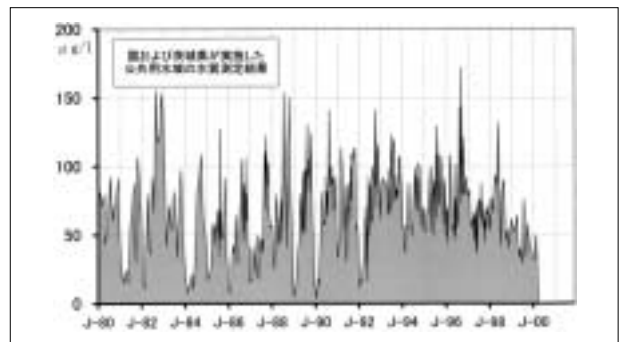


図13 霞ヶ浦湖心のクロロフィルaの経時変化

### 水道水の二酸化ケイ素の経時変化

珪藻類は二酸化ケイ素を吸収するために、湖水中の珪藻類の活動が活発化すると水道水の二酸化ケイ素は減少し、珪藻類の活動が抑制されれば二酸化ケイ素は増加する。

1990年頃まで、水道水の二酸化ケイ素は冬から春、夏から秋に増加し、春から夏、秋から冬には減少する季節変化がみられた。さらに、湖水中のクロロフィルaは冬から春に減少し、夏から秋に増加する季節変化がみられた。これは、水道水の二酸化ケイ素が増加し、湖水中のクロロフィルaは低下する冬から春は、低温・低照度によって珪藻類と藍藻類などの活動が抑制された、二酸化ケイ素とクロロフィルaが共に増加する夏から秋は、高温期で藍藻類などの活動は活発化するが珪藻類の活動は抑制された、と解釈できる。

しかし、1993年頃からクロロフィルaは低温・低照度である冬から春でも低下せず、湖水のCODと同様に一年を通じて高い状況にある。一方、水道水の二酸化ケイ素も今までの季節変化がみられず、1991年から1993年は秋から冬の減少、1995年から1998年には冬から春に増加する季節変化がみられなかった。

### 霞ヶ浦の水質の推移

霞ヶ浦の水質の推移を検討するために、水道水の塩化物イオンと二酸化ケイ素、霞ヶ浦のCOD、全窒素、全リンの18年間の年度平均値について主成分分析を実施した。その結果、霞ヶ浦の水質は3つのグループに類型化することができた。

第 期(1982~1987年度)は、塩化物イオンとCODが高く、霞ヶ浦の水質は悪化していた時期である。豊水期であった第 期(1988~1993、1998年度)は、霞ヶ浦の水質が改善された時期であり、二酸化ケイ素が高い。なお、異常多雨年の

表3 霞ヶ浦の水質の主成分分析結果

平均・標準偏差		相関行列						固有ベクトル			
	av.	$\sigma$		Cl <sup>-</sup>	SiO <sub>2</sub>	COD	T-N	T-P	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	
Cl <sup>-</sup>	50.3	8.5	Cl <sup>-</sup>	1	-0.61	0.77	-0.48	0.28	Cl <sup>-</sup>	-0.52	-0.27
SiO <sub>2</sub>	5.2	2.0	SiO <sub>2</sub>	-0.61	1	-0.47	0.70	-0.12	SiO <sub>2</sub>	0.49	0.10
COD	8.0	0.6	COD	0.77	-0.47	1	-0.29	0.10	COD	-0.44	-0.48
T-N	1.01	0.12	T-N	-0.48	0.70	-0.29	1	-0.54	T-N	0.48	-0.42
T-P	0.075	0.016	T-P	0.28	-0.12	0.10	-0.54	1	T-P	-0.28	0.72
									寄与率	0.56	0.23

表4 類型別の水質の平均値

	82~99年度の 平均値	第Ⅰ期		第Ⅱ期		91年度		第Ⅲ期	
		av.	増減(%)	av.	増減(%)	av.	増減(%)	av.	増減(%)
Cl <sup>-</sup>	50.3	54.2	△8	43.6	▼13	37.0	▼26	56.2	△12
SiO <sub>2</sub>	5.2	5.0	▼4	6.3	△22	9.6	△86	3.2	▼39
COD	8.0	8.5	△6	7.6	▼5	6.8	▼15	8.3	△3
T-N	1.01	1.07	△6	1.01	△1	1.30	△29	0.87	▼13
T-P	0.075	0.060	▼21	0.076	△1	0.071	▼6	0.094	△25
降水量	1259	1176	▼7	1391	△10	1840	△46	1084	▼14
N/P比	13	18	△37	14	△2	18	△37	9	▼30

\* ) 第Ⅱ期の平均値には、91年度を含めていない。

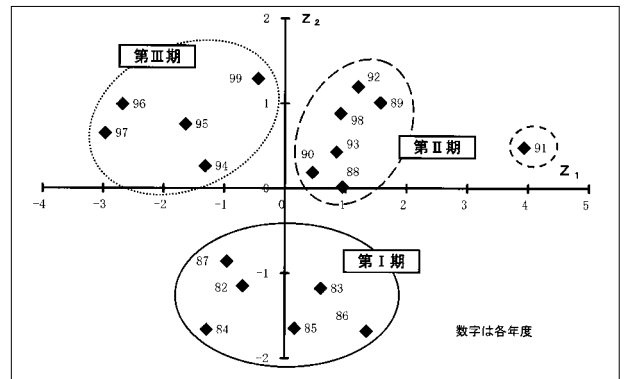


図14 霞ヶ浦の水質の主成分得点分布

1991年度の水質は極めて特異である。

第 期(1994~1997、1999年度)は、第 期と塩化物イオンとCODがほぼ同じ状況で、再び霞ヶ浦の水質がやや悪化した時期である。しかし、全リンは大きく増加し、全窒素と二酸化ケイ素が減少している。

このように、1982年からの霞ヶ浦の水質はめまぐるしく変化している。さらに、近年は藍藻類の優占種の遷移が起こっている。したがって、今後も霞ヶ浦の水質を継続的に調査、研究することは極めて重要である。

## 霞ヶ浦水質汚濁の調査・研究活動

茨城県立土浦第二高等学校 化学部 顧問教諭 長谷川 博

## 高校生による霞ヶ浦討論会

## 第1回 霞ヶ浦討論会(1996年7月)

茨城新聞社主催の『高校生たちの霞ヶ浦討論会』が、本校を会場に開催された。土浦市内の高校生30名が参加し、「霞ヶ浦のイメージは?」、「水質汚濁の原因は?」、「水質浄化のために何をなすべきか?」などについて議論した。

## 第2回 霞ヶ浦討論会(1997年6月)

本校化学部が主催し、企画・運営した『高校生による霞ヶ浦討論会』を学園祭で開催。本校や他校の生徒、教師、さらに父母、市民、農家の方など約30名が参加し、「わたしたちの霞ヶ浦について一緒に考えてみませんか」をテーマに討議した。「きれいな霞ヶ浦と言われても、私たちはきれいな霞ヶ浦を知らない」、「霞ヶ浦をきれいにしようと言われても、霞ヶ浦がどれだけ汚いかよく分からない。だからピンとこない」などの意見があった。

## 第3回 霞ヶ浦討論会(1998年6月)

第2回に引き続いて本校化学部が主催して、パネルディスカッションを学園祭で実施。高校生、環境問題の専門家や市民グループの代表など、さまざまな立場から「霞ヶ浦をきれいにするにはどうしたらよいか」について、貴重な提言や意見が飛び交う討論会になった。

## 【テーマ】

霞ヶ浦を知ることが

霞ヶ浦をきれいにする第一歩です

## 【パネリスト(敬称略、五十音順)】

石原 保彦 土浦青年会議所

大嶋 和雄 土浦市在住の市民(大学教授)

大森 淳矢 土浦二高化学部

小栗 幸雄 建設省霞ヶ浦工事事務所

菅谷 幸治 土浦市在住の市民(農業者)

中村 勉 土浦市在住の市民(新聞記者)

濱田 篤信 霞ヶ浦生態系研究所

## 【司会】

高橋 幸子 土浦二高化学部

真山 淑枝 社団法人霞ヶ浦市民協会



写真2 第3回霞ヶ浦討論会

記録集『わたしたちの霞ヶ浦は...』の発信

討論会に参加した人々だけで共有するのではなく、多くの人に知ってもらうために、記録集『わたしたちの霞ヶ浦は...』にまとめ、外部に発信した(1999年3月自費出版、同年10月に改訂普及版を(株)STEPから発行)。

## 【おわりに】

1991年本校に赴任、すぐに、休部していた化学部を復活させることから始めた。水質分析用の機器がほとんどない状況からの出発であったが、環境関連の企業、基金、財団などからの援助で、研究環境は徐々に整っていった。さらに、国や大学などの研究機関の方々からのご指導によって、高校生が国際会議で研究発表をすることもできた。

今後も、高校生とともに、地元霞ヶ浦の水質についての調査・研究活動を継続する所存である。