

# 霞ヶ浦流域における河川水の水質・流量特性について

Characteristics of Water Quality and Stream Discharge of River Water  
in the Kasumigaura Basin

藪崎 志穂\*・田中 正\*・福島 武彦\*\*・浅沼 順\*・飯田 真一\*\*\*

Shiho YABUSAKI\*, Tadashi TANAKA\*, Takehiko FUKUSHIMA\*\*,  
Jun ASANUMA\* and Shin'ichi IIDA\*\*\*

## 1 はじめに

茨城県の南東に位置する霞ヶ浦は桜川をはじめとした大小の河川が流入している。また、流域面積は 2,156.7 km<sup>2</sup> と茨城県全体 (6,095.68 km<sup>2</sup>: 国土交通省国土地理院, 2006) の約 35% を占めており (国土交通省関東地方整備霞ヶ浦河川事務所, 2005), 県南地域の水・物質循環に大きく関与している。

流域の気候は、冬には北西の季節風が卓越し降水量は少なく、夏には南東の季節風が卓越し降水量も相対的に多くなる特徴を示しており、表日本気候に属している。気温は山間部を除いて流域内での地域差は小さく、年平均気温は約 14℃、年降水量の平均値は 1278 mm であり全国平均の約 1700 mm と比べるとやや少なくなっている。

霞ヶ浦の湖の面積は 220 km<sup>2</sup> (西浦: 172 km<sup>2</sup>, 北浦: 36 km<sup>2</sup>, 外浪逆浦: 6 km<sup>2</sup>, 常陸利根川: 6 km<sup>2</sup>) で、日本では琵琶湖 (670.25 km<sup>2</sup>) に次いで 2 番目に大きな淡水湖である (国土交通省関東地方整備霞ヶ浦河川事務所, 2005)。霞ヶ

浦は、主湖である西浦とそれに付随する北浦および外浪逆浦およびこれら 3 つの湖を結ぶ河川などをすべて含めた総称である。かつては海が深く入りこんだ入り江であったが、利根川などの堆積作用と第三紀末以後の関東造盆地運動によって、海から遮断されて生じた。西浦の湖盆は皿状であるが、北浦は谷状をなす (日本陸水学会, 2006)。堤防延長は 248.9 km (西浦: 120.5 km, 北浦: 74.5 km, 常陸利根川: 53.9 km) である。水面標高は 4 月～10 月中旬は Y.P.+1.10 m, 10 月中旬～3 月下旬では Y.P.+1.30 m となっている。平均水深は 4 m で、最大水深は 7 m と浅い湖である。貯流量は約 8.5 億 m<sup>3</sup> であり、県南地域の上水道用水 (最大取水量: 3.85 m<sup>3</sup>/sec), 農業用水 (113.78 m<sup>3</sup>/sec), 工業用水 (12.24 m<sup>3</sup>/sec) などに利用されており、水資源として重要な役割を担っている。また霞ヶ浦周辺では、水郷地帯の稲作や、生産量が全国第 1 位のレンコン栽培、鯉の養殖などが盛んに行われている。霞ヶ浦には 56 本の河川が流入しており、流出口は利根川の 1 本だけである。霞ヶ浦の滞留時間は 200 日と長く、

\* 筑波大学陸域環境研究センター

\*\* 筑波大学生命環境科学研究科

\*\*\* 筑波大学生命環境科学研究科 (現: 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業)

一度汚濁が進むと回復するまでに長い時間を要すると考えられている（国土交通省関東地方整備霞ヶ浦河川事務所，2005）。

このように地域に密着した霞ヶ浦であるが，昭和40年代の高度経済成長期に家庭排水や産業排水の流入が増えると共に水質は次第に悪化し，昭和40年代後半ではCOD（化学的酸素要求量）は7mg/L台となり，昭和54年には11.3 mg/Lとピークを示した。その後，水質浄化対策の促進によってCOD濃度は若干低下したものの，7～9 mg/Lの間で横ばいとなっており，現在でも環境基準値である3.0 mg/Lを大きく超えている。また，湖水の全窒素濃度や全リン濃度も環境基準値を大きく上回っており，長期的な水質汚濁が継続している。

霞ヶ浦の汚濁要因には，大きく外部要因と内部要因とに分けられる。外部要因には河川を通じて入るもの（自然起源・生活排水・工場・畜産・農業廃水起源など）と湖に直接流入するもの（降水など）があり，内部要因には湖内部でのプランクトンの増殖や底泥からの汚染物質の溶出がある。このように，湖の水質は流域内における土地利用や産業，農業活動などの影響を強く受けており，ひいては，それらの影響を霞ヶ浦へともたらす河川のもつ役割が非常に重要となる。霞ヶ浦の水質汚染や物質収支を考える際には，湖へ流入する河川の水質や流量を把握することが不可欠である。

本論文では，霞ヶ浦流域における主要な河川について調査・採水を実施し，それらの結果をもとに，河川流量，河川水・霞ヶ浦の水質特性の把握，および河川から霞ヶ浦へともたらされる物質の負荷量の推定値等について報告する。

## II 調査概要と分析方法

調査・採水は2005年11月27日～28日に実施した。11月27日に流域内の主要9河川において，簡易水質測定，流量観測および採水を行った。ま

た11月28日に遊覧船に乗り，霞ヶ浦の3地点において簡易水質測定および採水を実施した。

調査を行った河川および湖の地点をFig. 1に示した。対象とした河川は，一ノ瀬川，清明川，梶無川，園部川，菱木川，桜川，小野川，花室川，恋瀬川の9河川であり，それぞれ流量観測および採水を実施した。現地では，EC（ECメータ，MODEL SC82，YOKOGAWA製），pH，水温（pHメータ，MODEL PH81，YOKOGAWA製），全窒素（パケットテスト，WAK-TN・i，共立理化），硝酸（パケットテスト，ZAK-NO<sub>3</sub>，共立理化），化学的酸素要求量（COD，パケットテスト，ZAK-COD，共立理化）の測定を実施した。また採水は100 mlのポリ容器を用いて採取した。流量観測は，山本（1968）や新井（2003）に記載されている方法に準じた。

霞ヶ浦では，土浦港そばの掛馬，湖心，麻生の3地点を対象とし，それぞれ表面付近の湖水と湖底の湖水を採水して調査・分析を実施した。現地では，EC，pH，水温，全窒素，硝酸，CODを測定した（各測定に利用した測器，測定方法は，河川と同じである）。また，湖水についても同様に100 mlのポリ容器に採取した。

採取した河川および湖水のサンプルは大学に持ち帰った後，HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>（pH4.8アルカリ度滴定法），Cl<sup>-</sup>，NO<sub>3</sub><sup>-</sup>，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，Na<sup>+</sup>，K<sup>+</sup>（イオンクロマトグラフHIC-SP/VP Super，デュアル流路システム，Shimadzu），Ca<sup>2+</sup>，Mg<sup>2+</sup>，SiO<sub>2</sub>（ICPプラズマ発光分光分析装置，ICAP-757v，Nippon Jarrell-Ash），酸素安定同位体比，水素安定同位体比（Finnigan MAT 252，Thermo Electron）について分析を実施した。

## III 結果・考察

### 1. EC，pH，水温，パケットテスト測定結果

9河川および霞ヶ浦のEC，pH，水温，パケットテスト（全窒素，硝酸，COD）の結果をTable 1

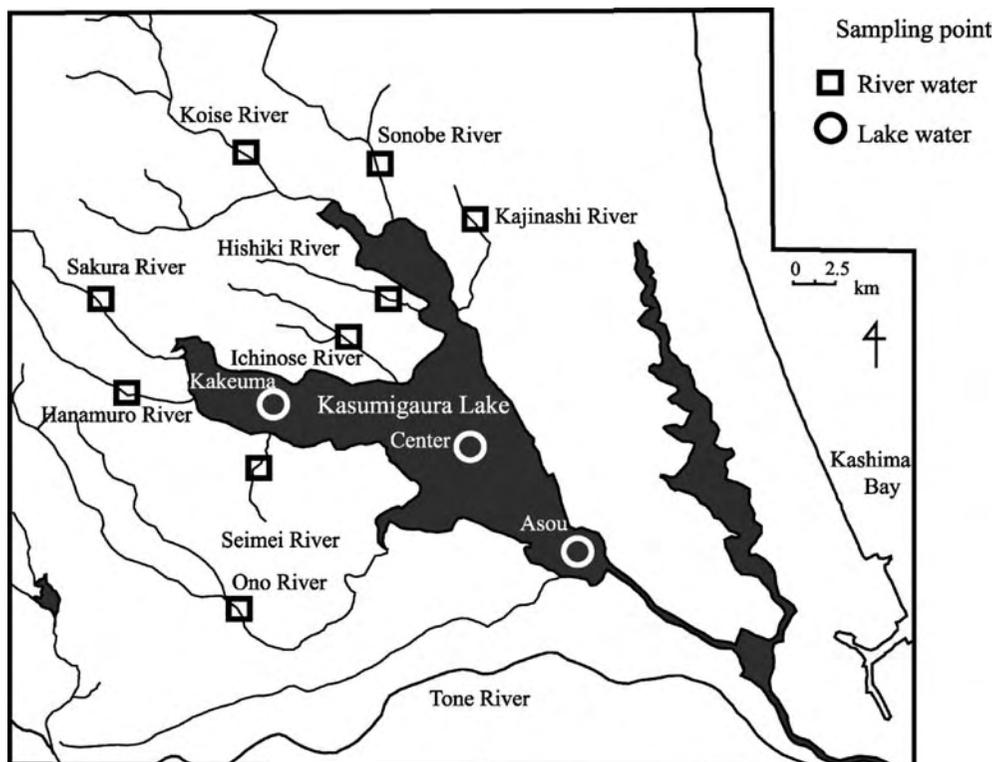


Fig.1 Location map

Table 1 Result of field survey of Kasumigaura Lake and rivers

Observation point	Date	EC	Water temperature	pH	Total nitrogen	COD	Nitrate	Nitrate nitrogen	Discharge
		( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	( $^{\circ}\text{C}$ )		( $\text{mg}/\text{L}$ )	( $\text{mg}/\text{L}$ )	( $\text{mg}/\text{L}$ )	( $\text{mg}/\text{L}$ )	
Kasumigaura	Kakeuma (top)	208	10.7	8.73	1	5	4	0.9	
	Kakeuma (bottom)	208	10.8	8.68	2	13	4	0.9	
	Center (top)	233	12.6	8.96	0.5	7	3	0.7	
	Center (bottom)	232	12.1	8.88	0	8	1	0.2	
	Asou (top)	240	11.2	9.28	0	6	1.5	0.3	
	Asou (bottom)	262	11.0	9.25	0	7	1	0.2	
River	Ichinose	214	12.0	8.68	5	5	15	3.4	0.20
	Seimei	301	13.2	8.17	2.5	5	14	3.2	0.32
	Kajinashi	274	15.4	7.66	8	7	30	6.8	0.26
	Sonobe	231	12.6	6.79	7	5	30	6.8	0.94
	Hishiki	265	11.3	9.08	7	5	20	4.5	0.22
	Sakura	198	9.5	8.42	4	5	10	2.3	2.87
	Ono	243	12.3	7.46	5	10	15	3.4	0.63
	Hanamuro	227	12.0	7.63	5	5	7	1.6	0.45
	Koise	119	12.6	7.44	5	5	5	1.1	2.32

に示した。

河川水の EC は 119 ~ 301  $\mu\text{S}/\text{cm}$  と地点ごとに異なった値を示している。恋瀬川 (119  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) や桜川 (198  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) のように比較的大きな河川では EC は相対的に低くなっているが、清明川 (301  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )、梶無川 (274  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )、菱木川 (265  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) では相対的に値が高くなっている。湖水では、208 ~ 262  $\mu\text{S}/\text{cm}$  と河川水と比べて 3 地点間の差異は小さくなっている。また、上流側の掛馬では低く、下流側の麻生が最も高い値を示しているが、各地点とも表層と湖底での差はほとんどみられない。これは湖の水深が浅いため、湖水が比較的良く混合していることに起因すると考えられる。

pH は河川水では 6.79 ~ 9.08 となっており、園部川を除いてアルカリ性が強くなっている。特に、一ノ瀬川、菱木川で値が高くなっている。湖水では 8.68 ~ 9.28 と河川よりも更にアルカリ性が強くなっており、植物性プランクトンによる光合成の影響があらわれていると考えられる。西側の掛馬 (上流側) から南東側の麻生 (下流側) に向かって pH が高くなっていることから、下流部では塩水の混入による影響も生じていると考えられる。これは EC の分布においても示唆される。また表層のほうが湖底よりも値が若干高くなる傾向があらわれている。

河川水の水温は 9.5 $^{\circ}\text{C}$  の桜川と 15.4 $^{\circ}\text{C}$  の梶無川以外は 12 $^{\circ}\text{C}$  前後の値となっている。湖水の水温は湖心でやや高くなっているが (12 $^{\circ}\text{C}$  前後)、表層と湖底の差はほとんどみられない。

河川の全窒素濃度は梶無川の 8 mg/L が最も高く、他の河川でも 2.5 ~ 7 mg/L となっており、湖の値 (未検出 ~ 2 mg/L) と比べると相対的に多くの窒素が含まれている。また硝酸の値をみると、花室川 (7 mg/L) と恋瀬川 (5 mg/L) では比較的低濃度となっているが、他の河川では軒並み 10 mg/L を超えており、特に梶無川や園部川では 30 mg/L と相対的に高い値を示している。

一方、湖水の硝酸濃度は 1 ~ 4 mg/L と河川と比べると低くなっている。霞ヶ浦流域では市街地や農地の割合が高くなっているため、流域内の河川に流入する窒素の負荷量は高くなり、従って、河川水には湖水よりも高い濃度の窒素や硝酸が含まれていると考えられる。COD は河川水よりも湖水のほうが相対的に高くなっており、湖水の富栄養化の影響があらわれている。

## 2. 水質測定結果

河川水および湖水のヘキサダイアグラムを Fig.2 に、数値データを Table 2 に示した。河川水は  $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$  型を示しているが、清明川では  $\text{Na}^+$  が多くっており湖水のヘキサダイアグラム ( $\text{Na}^+$  が相対的に高い) と類似した形状を呈している。梶無川、菱木川、一ノ瀬川では  $\text{Mg}^{2+}$  の割合が高くなっている。湖水の値は下流部の麻生で  $\text{Na}^+$  が最も高くなっていることから、塩水の流入の存在が示唆されている。一方、上流部の掛馬では湖心や麻生とはヘキサダイアグラムの形状が若干異なっていることから、流入河川の影響を受けているものと考えられる。 $\text{NO}_3^-$  の値をみると、湖水では含有量が僅かであるのに対し、河川では全地点で相対的に高い値を示しており、特に梶無川、園部川、菱木川で高濃度となっている。これは周辺の土地利用 (住宅地や農地) の影響を受けていることに起因する。

## 3. 河川流量

各河川の流量を Fig.3 に、数値データを Table 3 に示した。流量は桜川 (2.87  $\text{m}^3/\text{sec}$ ) と恋瀬川 (2.32  $\text{m}^3/\text{sec}$ ) の両河川が群を抜いて高い値となっている。園部川も 0.94  $\text{m}^3/\text{sec}$  と相対的に流量が多くなっているが、他の河川流量は 0.2 ~ 0.6  $\text{m}^3/\text{sec}$  と比較的少ない値を示している。

各河川の流域面積と流量の関係を Fig.4 に示した。この図から、小野川は流域面積に対する流量の割合が他の河川と比べて非常に小さい。また、

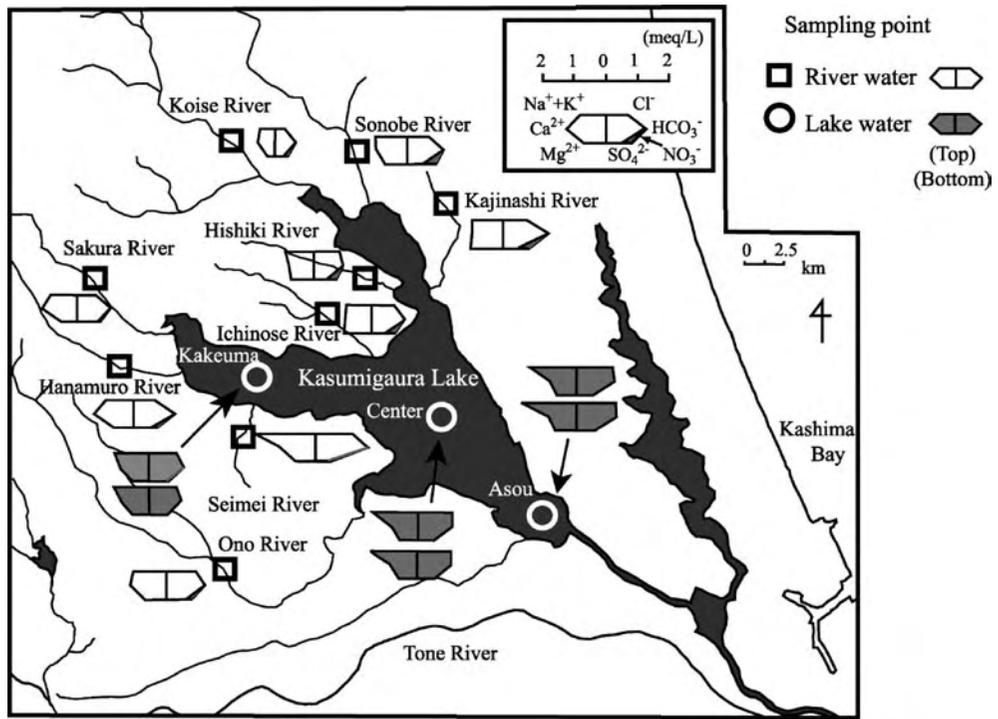


Fig.2 Water quality of the lake and river water

Table 2 Water quality and isotope data of Kasumigaura Lake and river water

Observation point	Cl <sup>-*1</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-*1</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-*1</sup> (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-*3</sup> (mg/L)	Na <sup>++*1</sup> (mg/L)	K <sup>++*1</sup> (mg/L)	Mg <sup>2+*2</sup> (mg/L)	Ca <sup>2+*2</sup> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> <sup>*2</sup> (mg/L)	δ <sup>18</sup> O <sup>*4</sup> (‰)	δD <sup>*4</sup> (‰)	
Kasumigaura	Kakeuma (top)	30.35	3.03	26.83	66.50	23.12	4.51	6.39	18.34	17.14	-5.2	-33
	Kakeuma (bottom)	30.29	3.01	26.56	63.15	23.04	4.41	6.39	18.23	17.40	-5.2	-33
	Center (top)	39.17	0.62	25.63	65.89	30.25	4.49	7.06	16.62	17.24	-4.8	-31
	Center (bottom)	38.74	0.56	25.26	67.11	30.25	4.49	7.21	16.91	17.38	-4.7	-32
	Asou (top)	40.34	0.28	25.30	71.99	32.39	4.91	7.41	17.10	16.65	-4.7	-33
	Asou (bottom)	44.61	0.33	26.00	75.96	37.96	5.23	8.51	18.44	17.27	-4.7	-32
River	Ichinose	25.75	21.58	19.51	64.06	18.12	0.00	10.30	17.51	26.37	-6.1	-39
	Seimei	42.69	8.09	15.31	104.33	41.50	4.59	6.97	21.78	33.21	-6.5	-42
	Kajinashi	28.01	29.72	15.69	89.07	18.88	7.38	12.70	20.06	32.26	-6.6	-42
	Sonobe	23.33	29.62	19.75	71.69	20.34	3.97	8.91	19.82	30.77	-6.8	-43
	Hishiki	28.12	23.33	16.05	57.96	19.73	1.95	8.98	16.02	26.05	-6.4	-41
	Sakura	20.47	5.93	30.07	65.28	17.68	2.69	6.11	22.62	23.29	-6.7	-43
	Ono	32.36	13.58	25.68	74.43	22.99	2.77	8.47	23.87	27.81	-6.6	-42
	Hanamuro	22.57	8.75	27.05	80.53	17.69	3.49	8.22	25.06	36.95	-6.4	-41
	Koise	9.30	9.79	10.06	39.66	10.43	1.39	3.28	11.47	25.56	-7.1	-45

\*1 : Ion Chromatograph (HIC - SP/VP Super, dual flow system, Shimadzu Co., Ltd.)

\*2 : ICP (ICAP - 757v, Inductivity Coupled Argon Plasma Atomic Emission Spectrometer, Nippon Jarrell - Ash)

\*3 : pH4.8 alkalinity titration method

\*4 : Equilibration method (Finnigan MAT 252, Thermo Electron Co., Ltd.)

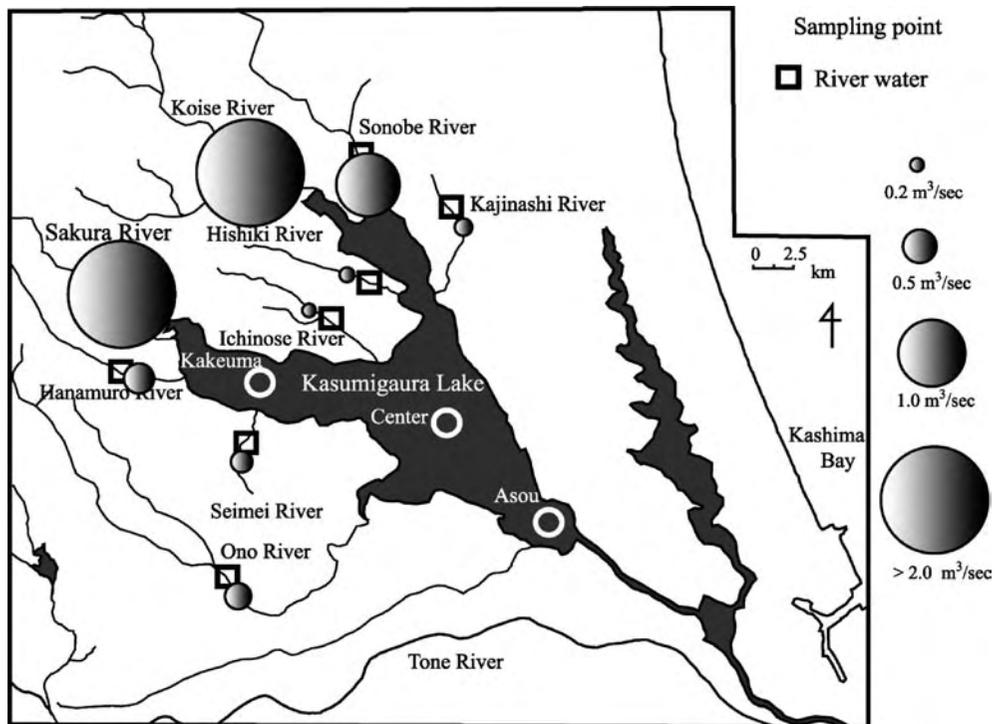


Fig.3 Stream discharge of nine rivers

Table 3 Catchment area and specific discharge

River	Area (km <sup>2</sup> )							Total	Discharge (m <sup>3</sup> /sec)	Specific discharge (m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) × 10 <sup>-3</sup>
	Urban area	Wooded forest	Upland field	Paddy field	Lotus	Conversion from paddy field to upland field	Non-cultivating land of paddy field			
Ichinose	4.3	11.8	6.2	4.0	1.4	0.5	0.1	28.3	0.2	7.1
Seimei	4.6	11.6	5.8	3.3	0.3	0.2	0.3	26.1	0.3	12.3
Kajinashi	3.6	15.8	7.3	4.6	0.1	0.7	0.3	32.4	0.3	8.0
Sonobe	11.5	34.3	19.1	9.9	0.8	1.3	1.0	77.9	0.9	12.1
Hishiki	2.6	9.4	5.1	3.3	1.0	0.5	0.1	22.0	0.2	10.0
Sakura	47.7	158.6	53.8	62.2	0.2	13.1	5.0	340.6	2.9	8.4
Ono	31.5	75.9	30.0	28.5	0.9	1.7	2.3	170.8	0.6	3.7
Hanamuro	9.8	14.6	7.9	5.0	0.9	0.9	0.3	39.4	0.5	11.4
Koise	22.0	123.6	39.3	26.7	0.7	1.7	2.6	216.6	2.3	10.7

小野川, 桜川, 恋瀬川を除いた6河川は, 流域面積, 流量共に似通っていることが示されている.

各河川の比流量(流量/流域面積)をFig.5に示した. 清明川, 園部川は  $12 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2 \times 10^{-3}$  とほぼ同一であり, 花室川と恋瀬川がそれに続いて多くなっている(約  $11 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2 \times 10^{-3}$ ). 小

野川は  $3.7 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2 \times 10^{-3}$  と最も比流量が少ないことがこの図においても示されている.

#### 4. 土地利用と河川のT-N, COD負荷量

各河川流域における土地利用(茨城県生活環境部霞ヶ浦対策, 2004)の割合をFig.6に, 面積値

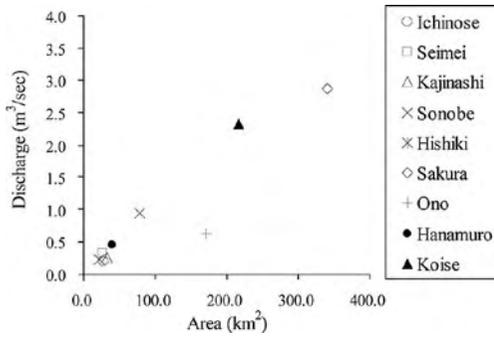


Fig.4 Catchment area versus discharge

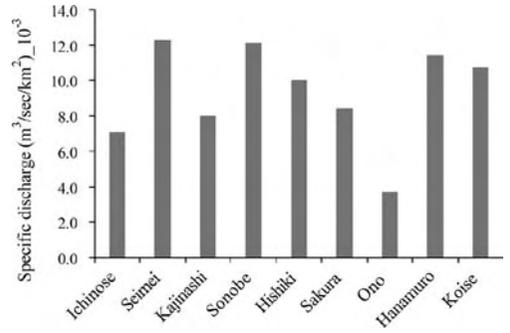


Fig.5 Specific discharge of nine rivers

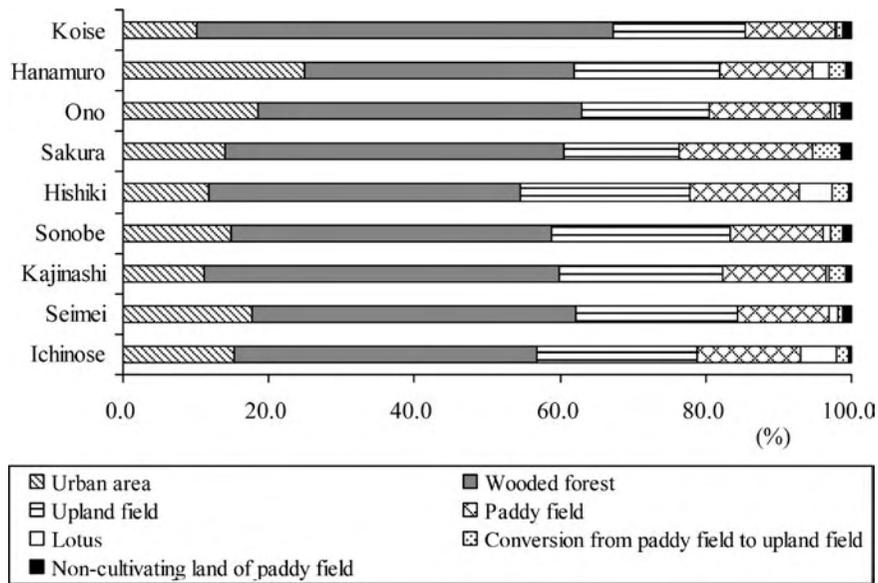


Fig.6 Rate of land use in catchment area of nine rivers

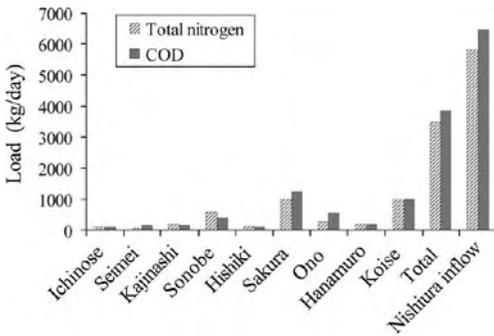


Fig.7 Total nitrogen load and COD load of nine rivers

Table 4 Stream discharge, total nitrogen load and COD load

Observation point	Discharge (m <sup>3</sup> /sec)	Total nitrogen load	
		(kg/day)	COD load (kg/day)
Ichinose	0.20	86	86
Seimei	0.32	69	138
Kajinashi	0.26	179	156
Sonobe	0.94	570	408
Hishiki	0.22	133	95
Sakura	2.87	992	1240
Ono	0.63	272	544
Hanamuro	0.45	194	194
Koise	2.32	1002	1002
Total	8.21	3497	3863
Nishiura inflow	13.7	5833	6447

を Table 3 に示した。すべての河川で山林の占める割合が最も大きく、40～50%となっている。特に恋瀬川における割合は57.1%と高くなっているが、これは流域内に山地を多く含んでいるためである。山林の割合が高いことが、恋瀬川の水質（ECやイオン濃度が低い）に影響を与えていると考えられる。市街地と畑地、水田はほぼ同じ割合となっているが、花室川では市街地の割合が相対的に高くなっている。ハス田は菱木川と一ノ瀬川の流域で比較的高い割合となっている。転作田や不作付田の割合は、桜川を除く河川ではいずれも数パーセントと低い割合となっている。

各河川的全窒素負荷量とCOD負荷量について Fig.7 に、数値データは Table 4 に示した。桜川、恋瀬川、園部川で全窒素負荷量、COD負荷量が高くなっていることがあらわれている。これらの3つの河川に含まれる全窒素およびCOD濃度自体は9つの河川の中では相対的に低い濃度であるが、河川流量が多いため、負荷量としては高い値となっている。9河川の負荷量の合計をみると、全窒素では3497 kg/day、CODでは3863 kg/dayであり、これに9河川の流域面積の合計（954.2 km<sup>2</sup>）と西浦の総流域面積（1596.8 km<sup>2</sup>）を考慮して霞ヶ浦に流入する総負荷量を求めると、全窒素では5.85 t/day（=3.497 t/day × (1596.8 km<sup>2</sup>/954.2 km<sup>2</sup>））、CODでは6.47 t/day（=3.863 t/day × (1596.8 km<sup>2</sup>/954.2 km<sup>2</sup>））となる。霞ヶ浦で観測した3地点の全窒素とCODの平均値（それぞれ、0.853 t/day、7.667 t/day）に霞ヶ浦の容積（642.1 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>）を掛けることによって、湖内の物質総量を求めることができる（全窒素：374.3 t、COD：4923 t）。この湖内の物質総量を霞ヶ浦に流入する総負荷量で割るとそれぞれの物質の滞留時間が求められ（全窒素：374.3/5.85、COD：4923/6.47）、全窒素では64日、CODでは761日となった。

また水の滞留時間を求めるため、9河川の流量の合計（8.21 m<sup>3</sup>/sec）と西浦流域からの流入量

（13.7 m<sup>3</sup>/sec）を合わせた値（21.91 m<sup>3</sup>/sec）で霞ヶ浦の容積（642.1 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>）を割ると、339日となる。一般的に霞ヶ浦の水の滞留時間は200日とされており（国土交通省関東地方整備霞ヶ浦河川事務所、2005）、今回の観測結果では滞留時間は約2倍弱になっている。この理由として、以下の3点が想定される。1）今回の各河川の観測地点が限られているため、観測地点よりも下流の流量を考慮に入れていない、2）観測した時点の流量は渇水期の流量である、3）霞ヶ浦へ流入するのは河川水のみでなく地下水も流入している可能性がある。以上の要因によって流域から湖への流入量が過小評価され、従って算出された滞留時間が長くなったと考えられる。

全窒素、CODおよび水の滞留時間を比較すると、全窒素は水の滞留時間に比較して短く、CODは長くなっている。これは、窒素は湖内で脱窒およびプランクトンに取り込まれて沈降することによって、湖水での濃度が減少するため、滞留時間が短くなっていると考えられる。一方、CODは湖内で植物プランクトンの増殖などによって生産されるため（内部生産）、湖水の濃度が高くなり、結果として滞留時間が相対的に長くなっていると考えられる。

## 5. 酸素・水素安定同位体分布

各河川水および湖水の酸素安定同位体比（以下 $\delta^{18}\text{O}$ 値とする）と水素安定同位体比（以下 $\delta\text{D}$ 値とする）をそれぞれ Fig.8 と Fig.9 に、数値データを Table 2 に示した。

各河川の $\delta^{18}\text{O}$ 値および $\delta\text{D}$ 値は、恋瀬川では相対的に低く（ $\delta^{18}\text{O}$ 値：-7.1‰、 $\delta\text{D}$ 値：-45‰）、一ノ瀬川では相対的に高い値（ $\delta^{18}\text{O}$ 値：-6.1‰、 $\delta\text{D}$ 値：-39‰）となっているが、他の7河川はほぼ同じ値を示している。恋瀬川流域には山地が含まれており、標高の高い場所で涵養された同位体比が相対的に低い水が含まれていると考えられ（例えば、筑波山東側斜面の渓流水の $\delta^{18}\text{O}$ は

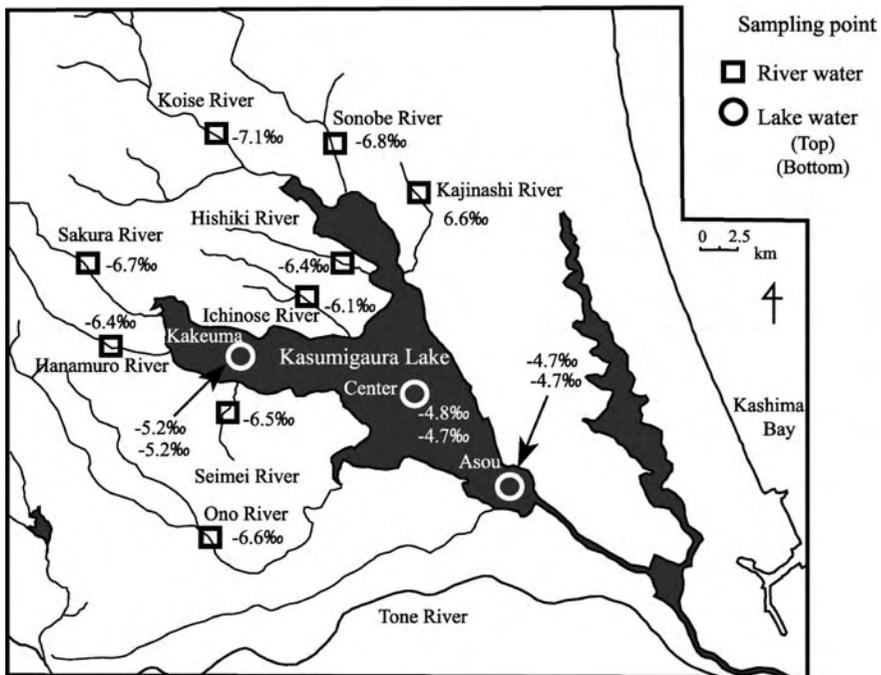


Fig.8 Stable isotope ratios of oxygen of lake and river water

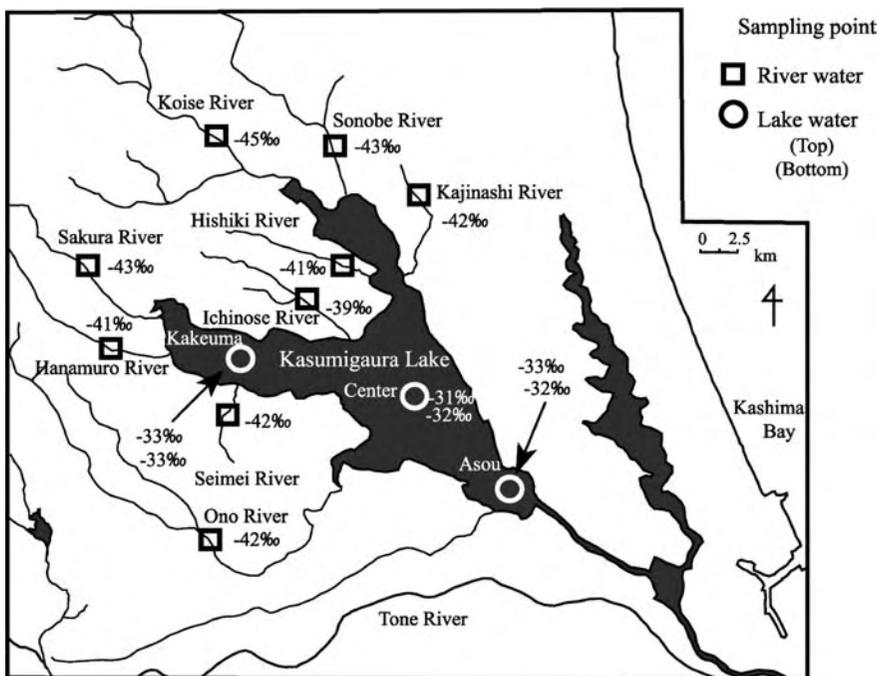


Fig.9 Stable isotope ratios of hydrogen of lake and river water

-8.0‰,  $\delta D$  は-50‰: 藪崎ほか, 2006), こうした影響が河川水の安定同位体比にあらわれていると考えられる。一方, 一ノ瀬川は流域面積が相対的に小さく, また流量も少ないため, 蒸発による同位体濃縮の影響が及んでいることが推測される。一方, 湖水の  $\delta^{18}O$  値および  $\delta D$  値は河川と比べると相対的に高くなっており, 蒸発の影響を受けて同位体比が高くなっていると考えられる。また湖水の  $\delta^{18}O$  値は下流部ほど値が高くなっていることから, 滞留時間の長い水ほど, 蒸発濃縮の影響があらわれていることが示唆される。

#### IV まとめ

霞ヶ浦流域の河川水および湖での調査・採水を実施した結果, 以下のことが明らかとなった。

- (1) 水質は河川と湖では異なっており, 特に河川では  $NO_3^-$  濃度が高くなっている。河川水の水質は流域内の土地利用とも関連している。湖では上流部(掛馬)と湖心・下流部(麻生)では若干水質が異なっており, 前者は流入河川の影響を, 後者は塩水の影響を受けていると考えられる。これは, EC や pH の結果とも整合している。
- (2) 河川流量は恋瀬川と桜川および園部川で相対的に多くなっている。比流量に換算すると, 清明川, 園部川, 花黒川, 恋瀬川が相対的に多く, 小野川が相対的に少ない。
- (3) 流域の土地利用割合から, 恋瀬川では山林の占める割合が高く, 花室川は市街地の占める割合が高くなっている。こうした土地利用は河川水質にも影響を与えている。
- (4) 9 河川の全窒素の総負荷量は 3497 kg/day, COD の総負荷量は 3863 kg/day であり, 西浦の流入量を考慮したうえで霞ヶ浦内の物質の滞留時間を求めたところ, 全窒素では 64 日, COD では 761 日となった。また水の滞留時間は 339 日となった。窒素は脱窒,

沈降によって湖水の濃度が低下するため, 滞留時間は相対的に短くなっている。一方, COD は内部生産によって湖水の濃度が増加するため, 滞留時間は相対的に長くなっている。

- (5) 河川の  $\delta^{18}O$  値,  $\delta D$  値は恋瀬川で相対的に低く, 一ノ瀬川で相対的に高い値を示している。これは流域の土地利用の違いに起因していると考えられる。霞ヶ浦の湖水の  $\delta^{18}O$  値,  $\delta D$  値は河川水と比較すると高くなっており, 蒸発濃縮の影響があらわれている。

今回の調査では観測期間や観測地点などが限られていたため, 流域内の物質や水の滞留時間の推定値には多少疑問が残されているが, 今後, 他の地点においても調査を行うことによって, より信頼性の高いデータを得ることができると期待される。

#### 謝辞

本研究は, 平成 17 年度水文学野外実験 A (2005 年 11 月 27 日~30 日実施)において実施された調査をもとに考察を行いました。調査に参加された学群生および TA としてご協力いただきました院生の方々に, 厚く御礼申し上げます。また, 調査見学に際し, 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所の方には大変有意義なお話をいただきました。記して, ここに感謝の意を表します。

#### 文献

- 新井 正 (2003): 「水環境調査の基礎 改訂版」, 古今書院, 170p.
- 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策 (2004): 第 4 期の霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画策定関係資料集, 221p.
- 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所

- (2005):「霞ヶ浦」. 44p.
- 国土交通省国土地理院 (2006):「全国都道府県市区町村別面積調 (平成 17 年版)」。日本地図センター. 168p.
- 日本陸水学会 (2006):「陸水の事典」講談社, 578p.
- 藪崎志穂・田瀬則雄・辻村真貴・林 陽生 (2006): 筑波山における渓流水, 湧水, 降水の水質・安定同位体特性および涵養域の推定. (地球惑星科学連合 2006 年合同大会, CD-ROM 版予稿集有り, 講演番号: H121-P015).
- 山本荘毅 (1968):「陸水」. 共立出版, 347p.
- (2006 年 5 月 31 日受付, 2006 年 8 月 10 日受理)

