

利根川河口域における水質と細菌数

Water quality and the number of bacteria in estuarine water of Tone river

小濱 剛・畑 明寿・三村 邦裕・藤谷 登

Takeshi KOHAMA, Akihisa HATA, Kunihiro MIMURA and Noboru FUJITANI

河口付近の汽水域は、潮汐や地形等の外的な要因により淡水と海水のバランスが大きく変動することや、人為的な影響を受けやすいことから、河口域における水質は大きく変動する傾向がある。本研究では、利根川河口域を対象として水圏環境調査を行ってきた。その結果、利根川河口域（利根川河口部から河口堰）では潮汐の影響によってその水質環境が大きく変動していた。塩分の調査結果から、満潮時には河口堰底層まで海水が浸入しており、干潮時には河口部までほぼ淡水で占められていた。栄養塩類の濃度は淡水中に高く、河口堰下流部では豊富な栄養塩類を利用して植物プランクトンの活性が高まることが示唆された。また、腸内細菌科細菌（E細菌）数はNaイオン濃度と負の相関関係が得られた。このことから、E細菌が上流からの淡水中に多く存在しており、富栄養化の指標となる栄養塩類と同様の傾向を示すことがわかった。

1. はじめに

利根川は群馬県北部を源流とし、茨城県神栖市波崎と千葉県銚子市にはさまれて太平洋に注ぐ全長322km（日本第2位）、流域面積16,840km²（同第1位）の大河川である¹⁾。河口から約18kmさかのぼった所で川は本流、常陸利根川、黒部川の3つに分かれ、そのすぐ上流（18.5km地点）のそれぞれの川に利根川河口堰、常陸川水門（逆水門）、黒部川水門が設置されている。水門の総延長は835mで、2門の調節門、7門の制水門などを擁し、利根川下流における首都圏および周辺部の利水上の重要施設として位置づけられている。河口付近の汽水域は、河川が海に注ぎ込むところにあるために陸域からの有機物や栄養塩類の流入によって肥沃である。また、水深が浅いため水中の生物にとって太陽エネルギーを利用する上で有利であり、肥沃であることと併せて生物の生産性が高い。一方、潮汐や地形等の外的な要因により淡水と海水のバランスが大き

く変動することや、流域の都市、工業、農畜産業といった種々の人為的排水の影響を受けやすいことから、河口域における水質は大きく変動する傾向がある²⁾。河口域における水圏環境、とりわけ河口堰建設に伴う水圏環境の変化は、水産学及び生態学の重要な研究課題である。既往の研究を見ると、河口堰上流における植物プランクトンの発生、堰上下流部での底質変化と低酸素、ヨシ帯の縮小、シジミなどの底生生物の減少、鮎・鮭などの回遊魚の減少、水鳥の種類組成の変化など、環境影響は多方面に現れることがあり、深刻な被害をもたらしてきた³⁾。一般的に汽水域は生物生産量がきわめて高い場所であり、生息場所が複雑で生物が多様であるために重要な環境である。本研究では、利根川河口域を対象として2008年より水質調査を行ってきた。また2010年からは腸内細菌科細菌（*Enterobacteriaceae*、以下E細菌）の動態についても調査を開始した。E細菌は哺乳動物の腸管、土壌、水環境に広く分布している細菌である。流域に都市や農耕地等の環境がみられる利根川には人工的な汚染由来と自然環境由来のE細菌が混在していると考えられる。そこで流域環境の変化を反映する指標の一つとしてE細菌数のモニタリングに加えた。本稿では2008～2011年に実施したこれらの調査結果について報告する。

連絡先：小濱 剛 tkohama@cis.ac.jp

千葉科学大学危機管理学部環境危機管理学科

Department of Environmental Risk and Crisis Management, Faculty
of Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science

（2012年10月11日受付，2012年12月12日受理）

2. 研究方法

本研究では利根川河口部から河口堰上流部までの広域水質調査と、利根かもめ大橋付近における定点観測を実施した。

2-1 広域調査方法

広域調査は利根川河口から上流約20km地点までに9つの観測点（T-0～T-8）を設け、水質測定（水温・塩分・pH・DO・クロロフィル a ）および採水を行った（図1）。T-7、T-8は河口堰より上流側、それ以外は河口堰より下流側である。調査日は2008年4月28日、6月17日、8月5日、10月11日である。各地点で、多項目水質計（Hydrolab）を用いて水温、塩分、溶存酸素量（以下DO）の鉛直方向の水質の測定を行った。また、河川水中の栄養塩濃度、クロロフィル a 濃度を把握するため、採水を行った。採水はバンドーン採水器を用い、各観測点において表層（0.3m）と底層（水底-1m）の2箇所ですamplingした。採水したサンプルを用いて、実験室で硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素、リン酸態リン、シリカの分析を行った。硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素、アンモニア態窒素、シリカの分析には、Flow Injection Analyzerを用いた。リン酸態リンの分析には分光光度計（HITACHI）を用いた。

2-2 定点観測調査方法

定点観測では、採水は利根かもめ大橋（T-4）にてハイロート式採水器を用いて2010年3～12月、2011年7～9月の期間に行った。採取した河川水は水温とpHの測定を行った後、滅菌ボトルに入れて実験室に持ち帰り直ちに培養を行った。2010年の調査では表層水のみ採取を行った。2011年の調査では海水遡上の影響をみるために表層、中層、底層の3層に分けて河川水を採取し、海水流入の指標となるNaイオン濃度測定も行った。細菌の分離にはデオキシコレート寒天培地（関東化学株式会社）を用いた。よく攪拌した河川水100 μ lをデオキシコレート培地にコンラージ棒を用いて均等に塗布し、37℃で24時間好気培養を行った。デオキシコレート培地に生育した細菌の純化には標準寒天培地（日水製薬株式会社）を用いた。純化された細菌にグラム染色（ハッカー変法、武藤化学株式会社）とオキシダーゼ試験（日水製薬株式会社）を実施し、グラム陰性桿菌かつオキシダーゼ陰性の細菌をE細菌とした。細菌数は水試料1ml中の菌によるコロニー形成数（CFU/ml）で表した。統計学的解析はノンパラメトリック的手法を用いて統計解析ソフトSPSS（ver. 19.0, IBM）にて行った。採水日の平均気温は銚子地方気象台による発表値を参照した。

3. 結果と考察

3-1 利根川河口域における水質環境

利根川河口域（T0～T8）の大潮満潮時（2008年8月15日

16時36分：潮位131cm）における水温・塩分・DOの調査結果を図2に、調査期間中における底層の塩分と栄養塩類の水平分布を図3に示す。なお、T-6地点とT-7地点の間に利根川河口堰が建設されている。水温（図2上）は河口部底層の20℃から河口堰上流部表層の30℃の間で分布しており、河口部底層から上流部の表層に向けて高くなる傾向を示した。塩分（図2中）は河口部底層の35psu（psuとは塩分の単位でpractical salinity unitの略。濃度としては‰とほぼ等しくなる。）、から河口堰上流部表層の0.2psuの間で分布しており、水温の分布パターンと反比例する形で上流部の表層に向けて低くなる傾向を示した。これらの結果から、大潮の満潮時には低温の海水が河口域を遡上する様子がうかがえる。また、河口堰下流部の表層で5psu以上、底層で25psu以上の塩分が確認されていることから、海水が河口堰まで到達していることがわかる。一方、干潮時（2008年6月14日7時24分：潮位38cm）には、T-1の底層以外で塩分がほぼ0psuであることから、河口域全域が淡水化することがわかった（図3上）。一般的に河口域などのような汽水域では、潮汐の影響を受けた水の出入りがあり、これによって外界との物質交換が行われる。そのため、水圏環境は海と陸の双方の要因によって影響を受け、水理学的に複雑な様相を示す⁴⁾。今回調査を行った夏季の利根川河口域では、水温差約10℃、塩分差約35psuという極めて大きな環境変動が日周期で起こることが確認された。次に河口域表層における栄養塩環境についてみると、無機態窒素、珪酸態珪素ともに低塩分水中で濃度が高くなる傾向が認められた（図3）。一方、リン酸態リンにその傾向は認められなかった。利根川の水質は、硝酸に代表される無機態窒素濃度が他の河川に比べて相対的に高いことが知られており^{5) 6)}、今回の調査結果はこの事実を反映するものであった。特に8月には河口堰上流と下流で約5倍の濃度差が確認された。以上の結果から、利根川河口域では基本的に貧栄養状態にある海洋に豊富な栄養塩類を含む淡水が流入混合するため、水温や塩分のみならず、生物生産のもととなる栄養塩環境も時空間的に大きく変動することがわかった。このような栄養塩環境下における植物プランクトン生産を把握するため、その指標となるクロロフィル a 濃度の分析を行った。その結果を図4に示す。クロロフィル a の調査結果から各月を比較すると、4月、6月、10月におけるクロロフィル a 濃度は5～40 μ g/Lの間で変動していたのに対し、8月は65～180 μ g/Lと比較的高い値を示した。特に河口堰下流のT-1～T-5地点では平均167 μ g/Lであった。また、各地点における値を比較すると、河口堰上流部のT-7～T-8では相対的に低いのに対し、河口堰下流部のT-1～T-6では観測期間を通じて高くなる傾向を示した。河口域に生息する植物プランクトン群集は、汽水域に固有な種に加え、海からあるいは淡水環境からやってきた種で構成される。しかし、水質環境が時空間的に大きく変化する場所であるた



図 1. 利根川河口域における調査地点図

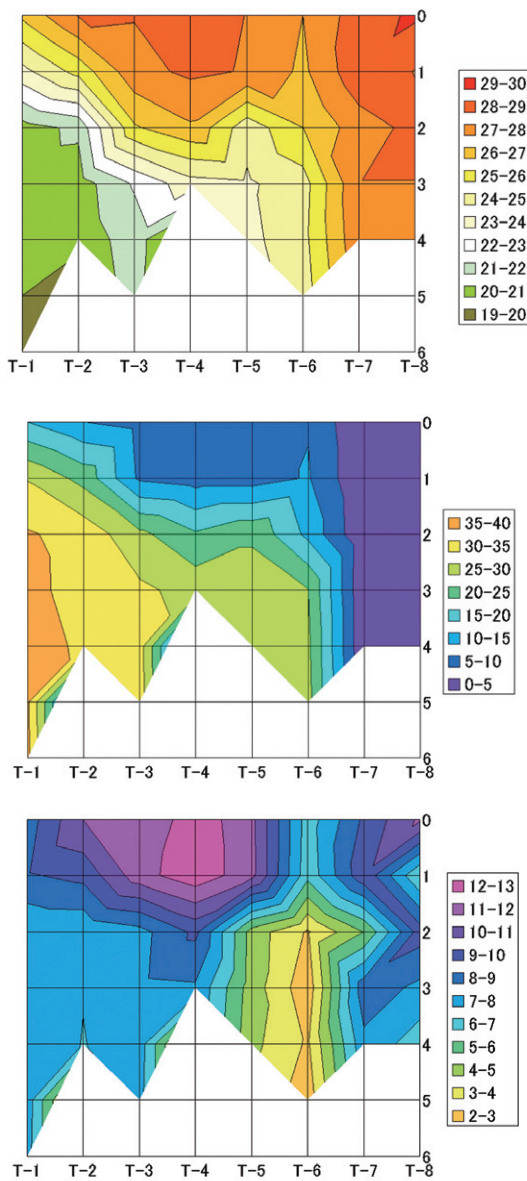
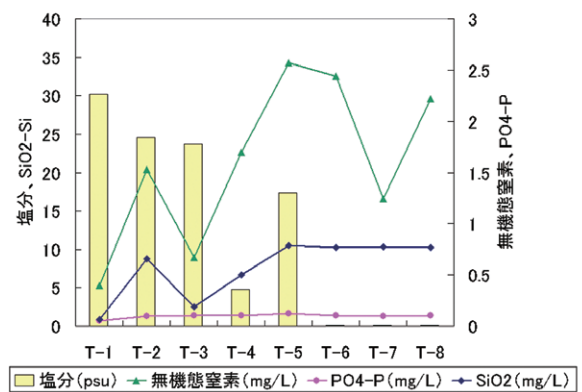
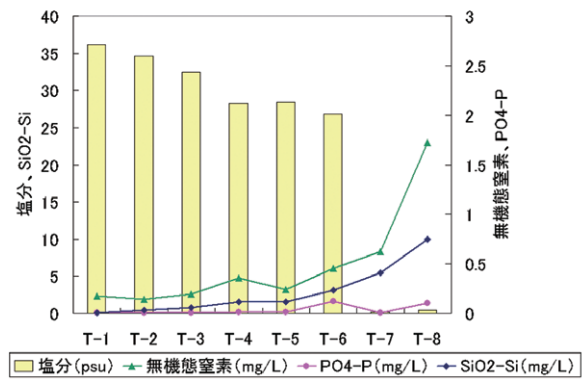
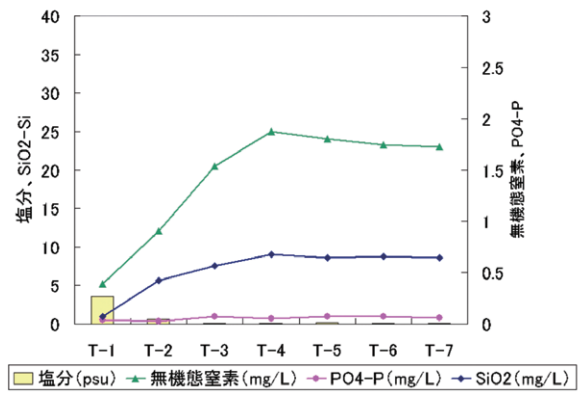
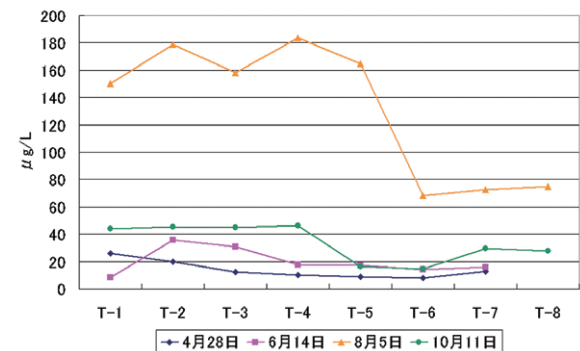

図 2. 利根川河口域における水質の鉛直分布
(上から 8 月における水温[°C]・塩分[psu]・DO[mg/L])

図 3. 利根川河口域底層における塩分と栄養塩濃度
(上から 6 月・8 月・10 月)


図 4. 利根川河口域表層におけるクロロフィル a 濃度

め、浸透圧をはじめとする環境変化に適応できない生物は生き残れない環境でもある。このため、一般的に汽水域では生物種数が少ない傾向がみられるが、キートセロスなどのように塩分耐性が高く増殖速度の速い海洋性ケイ藻類はこのような環境下において優占可能であることが予想される。すなわち、利根川河口域では汽水環境下で生息可能な海洋性植物プランクトンが、水温や日射量の条件が整えば、淡水中に含まれる豊富な栄養塩類を短時間で利用し、河口域全域で大量発生することを示している。DO（図2下）についてみると、河口堰直下流に位置するT-6の水深2～5mにかけて、3mg/L以下の貧酸素水塊が確認された。河口域では、流速の低下によって河川水中の懸濁物質の沈降、堆積が起こる。また、河川水中の粘土粒子等が海水と接触すると、科学的な反応で沈降しやすくなり、河川感潮域に堆積する⁴⁾。さらに、T-6では比較的水深が深いことに加え、今回の調査結果が示すように、河口堰下流で急速に増殖した海洋性植物プランクトンが沈降し、底質への有機物負荷を増大させることが考えられる。すなわち、夏季の利根川河口域では、低温高塩分の海水侵入によって、表層からの酸素供給を阻む強い密度躍層が形成され（図2上・中）、さらに、淡水中に含まれる豊富な栄養塩類供給（図3中）に伴う海洋性植物プランクトンの急激な増殖（図4）が起こることで、底層の貧酸素化（図2下）が引き起こされる可能性が示唆された。

3-2利根川河口域における細菌数

2010年に実施した106回の採水で検出されたE細菌数のヒストグラムを作成した結果、データは正規分布をとらなかった。そこで方法に記載したとおり細菌数と各環境因子との統計学的解析は、データの分布によらないノンパラメトリック法を用いて解析することとした。検出された細菌数および河川水温、pH、平均気温の分布はTable1に示した。

Table 1 腸内細菌科菌群、水温、pH、平均気温の中央値（2010年）

細菌数 (CFU/ml)	水温 (°C)	pH	平均気温 (°C)
20	20.7	8.0	20.1
(0-5600)	(8.2-30.7)	(7.2-9.1)	(4.4-28.3)

中央値（範囲）

今回観測された水温とpHの変動範囲は環境省報告の河口堰および銚子大橋における表層水のpH、水温の分布範囲とほぼ同じであり⁷⁾、この程度の変動は一般的なことであるといえる。水温と細菌数の関係性をTable2に示した。マンホイットニU検定を用いて水温と細菌数の相関係数を求めた結果、 $r=0.04$ ($p=0.694$) となり有意な相関は認められなかった。pHと細菌数の関係をTable3に示した。pHと細菌数の相関係数を求めた結果、 $r=-0.399$ ($p<0.001$) とな

Table 2 水温と腸内細菌科菌群（2010年）

水温 (°C)	N	細菌数 (CFU/ml)
5-9	4	65 (5-100)
10-14	13	20 (10-14)
15-19	30	15 (15-19)
20-24	12	18 (20-24)
25-29	42	35 (25-29)
30-34	6	5 (30-31)

中央値（範囲）

Table 3 河川水 pH と腸内細菌科菌群（2010年）

pH	N	細菌数 (CFU/ml)
7.0-7.4	6	20 (5-80)
7.5-7.9	42	28 (0-5600)
8.0-8.4	33	20 (0-1600)
8.5-8.9	23	5 (0-60)
9.0-9.4	2	5 (5)

中央値（範囲）

Table 4 銚子気象台平均気温と腸内細菌科菌群（2010年）

平均気温 (°C)	N	細菌数 (CFU/ml)
0-4	2	73 (45-100)
5-9	5	60 (15-170)
10-14	13	10 (0-20)
15-19	28	20 (0-80)
20-24	37	25 (0-5600)
25-29	21	10 (0-120)

中央値（範囲）

り有意な負の相関が認められた。平均気温と細菌数の関係性をTable4に示した。平均気温と細菌数の相関係数を求めた結果、 $r=0.066$ ($p=0.505$) となり有意な相関は認められなかった。以上の結果より、今回検討を行った環境因子の中ではpHがE細菌数と関連している可能性が示唆された。河川水pHは植物プランクトンの活動や降雨、生活・産業排水流入など様々な要因で変動する。そのため今後はpH変動の要因となる環境因子も解析対象とし、細菌数に影響する因子を探る必要がある。

2011年の9回の採水で検出されたE細菌数、水温、pH、Naイオン濃度をTable5に示した。細菌数は表層が最も多く、続いて中層、底層の順に減少した。水温も表層が最も高く

水深が深くなるに従い低下した。pHには一定の傾向は認められなかった。Naイオン濃度は底層が最も高く、続いて中層、表層の順に低下した。底層と表層のNaイオン濃度には中央値で約50倍の差がみられた。これは河川水よりも比重の重い海水が底層に流入していることを示している。なお一般的な海水のNaイオン濃度は約10000ppmとされており、底層部の最大値である9300ppmはほぼ海水であるといえる。E細菌数とNaイオン濃度の相関係数を求めた結果、 $r=-0.755$ ($p<0.01$) となり有意な負の相関が認められた。この要因として海水が細菌を含んだ河川水を希釈している可能性が考えられる。

Table 5 腸内細菌科菌群、水温、pH、Naイオン濃度の中央値（2011年）

	細菌数 (CFU/ml)	水温 (°C)	pH	Naイオン濃度 (ppm)
表層	25 (0-295)	26.0 (22.0-28.8)	7.4 (6.4-9.1)	42 (6-5600)
中層	20 (0-205)	22.5 (20.5-28.0)	7.4 (6.6-8.3)	580 (6-8600)
底層	5 (0-190)	22.0 (20.0-26.4)	7.3 (6.5-8.4)	2200 (6-9300)

中央値（範囲）

4. まとめ

2008年度の調査結果から、利根川河口域（利根川河口部から河口堰）では潮汐の影響によってその水質環境が大きく変動していることがわかった。塩分の調査結果から、満潮時には河口堰底層まで海水が浸入しており、干潮時には河口部までは淡水で占められることがわかった。栄養塩類の濃度は淡水中に高く、河口堰下流では豊富な栄養塩類を利用して植物プランクトンの活性が顕著に高くなることがわかった。また、河口堰付近では底層の貧酸素化も確認され、富栄養化の傾向がみられた。2011年度の調査結果から、Naイオン濃度とE細菌数に負の相関が得られた。このことから、E細菌が上流からの淡水中に多く存在しており、E細菌数は富栄養化の指標となる栄養塩類と同様の傾向を示すことがわかった。

今回の調査結果から、利根川は人為的影響を強く受けた河川であると考えられ、このような河川における水圏環境を継続的に調査することは重要である。また、本研究で得られたデータは、利根川河口域に現存する水生生物に関する研究の基礎的データとして有用である。

《参考文献》

- 1) 国立天文台（1998）日本の主な河川，理科年表平成11年，丸善
- 2) 國井秀伸・高安克己・橋谷博・中村幹雄・中尾繁（1993）汽水湖生態系の特性と日本における研究の現状，日生態会誌，43：195-209
- 3) 粕谷志郎（1999）変貌させられた長良川の現状！「長良川研究フォーラム」での報告から，21：3
- 4) 中村幹雄（2000）日本のシジミ漁業 その現状と問題点，たたら書房
- 5) 水文水質データベース（国土交通省）
- 6) 潤沼の水質データ（茨城県内水面水産試験場）
- 7) National institute for environmental study, Environmental database, Data file of water quality monitoring data 2009. Available at: <http://www.nies.go.jp/igreen/> [accessed 02/01/12]. (In Japanese)