

第1節 自然科学的立場からのモニタリング

4. マクロ視点より一琵琶湖集水域一

4.6 琵琶湖流域における河川堆積物中の酸化還元環境

山田佳裕¹⁾、井桁明丈²⁾、三戸勇吾³⁾

1) 香川大学農学部、2) 総合地球環境学研究所、3) 愛媛大学大学院連合農学研究科

1. はじめに

近年、琵琶湖の水質を考える上で、相対的に小さな河川（以降中小河川）の重要性が注目されている¹⁾。

琵琶湖流域における中小河川の特徴として、源流を森林に持たず、相対的に大きな河川（以降大河川）から水を導水している点が挙げられる。大河川から導水した水は中小河川を經由し、周辺の農地や市街地を經由して琵琶湖へと流入する。それゆえ、中小河川は比較的流域の人間活動の影響を受けやすく、水質汚濁が進行しやすい環境にあると言える。

さらに、琵琶湖流域には約120もの一級河川があり、小規模のものを含めると460以上もの河川が存在するが、そのほとんどが中小河川である²⁾。この点からも、中小河川の水質汚濁の現状を明らかにすることは琵琶湖流域の環境保全にとって必要であると考えられる。

化学的、生物的観点からみると、河川の活性は堆積物と水の境界にある。それゆえ、堆積物の状態を把握することは河川生態系や水質汚濁を解析する上で極めて重要である。特に水-堆積物境界の酸化的、還元的環境は生態学的、生物地球化学的に重要な視点である。

このようなことから、本研究では琵琶湖流域の規模や集水域の土地利用の異なる河川において、酸化還元状態を表す酸素に注目し、下流域の堆積物表層における溶存酸素濃度を測定し、各河川の堆積物中の溶存酸素濃度の分布を土地利用と関連させることにより、その形成要因について解析した。

2. 調査内容

調査は2003年8月に琵琶湖集水域河川である堺川、中の井川、蛇砂川、安食川、野洲川、愛知川、姉川、大川、大浦川の9河川の下流の河川水の滞留が認められない地点で行った。各河川の水源は堺川、中の井川は野洲川からの導水および伏流水、

蛇砂川は永源寺ダムからの放流水、安食川は湧水、野洲川、愛知川、姉川、大川、大浦川は森林域を水源としている（図1）。

河川水及び堆積物中の溶存酸素濃度を溶存酸素計（YSI model-95）を用いて測定した。堆積物中の溶存酸素濃度は内側が空洞で、側壁に直径5mmの穴の空いたステンレス製の杭を河床に打ち込み、側壁の穴から滲出してきた水を数回取り除き、その後滲出してきた水について測定した。この際、側壁の穴が堆積物表層から8cmの深度になるように杭を打ち込んだ。

河川流速を電磁流速計（アレック電子 AEM1-D）を用いて測定した。

河床堆積物は表層から深度約8cmの柱状試料をライナー採土器（大起理科工業 DIK-110B）を用いて間隙水や堆積物粒子が流出しないよう注意を払って採取した。その後実験室に持ち帰り、目合い2000 μ m、500 μ m、250 μ m、125 μ m、63 μ mのふるいを用いて粒子を6段階に分別し、その乾重量を測定し、粒度組成を求めた。

なお、調査期間中大浦川調査時にのみ降雨が確認されたが、他8河川での調査時には降雨はなかった。また、調査前6日間は滋賀県内で降雨はほとんど観測されなかった³⁾。

各調査河川流域の流域面積と流域内の土地利用形態及び人口密度をGIS（ESRI ジャパン ArcGIS 9）を用いて算出した。数値情報は流域面積及び土地利用形態は滋賀県GISを、人口密度は統計情報研究センター地域メッシュ3:3次地域区域メッシュ（1km \times 1km）を用いた。

3. 結果

各調査河川流域の流域面積及び土地利用形態、人口密度を表1に記す。

流域面積が大きい愛知川、姉川、野洲川においては流域の50%以上を森林で占められており、水田比率は6~19%であった。流域面積の小さい堺川、中の井川、安食川、蛇砂川では流域の50%以

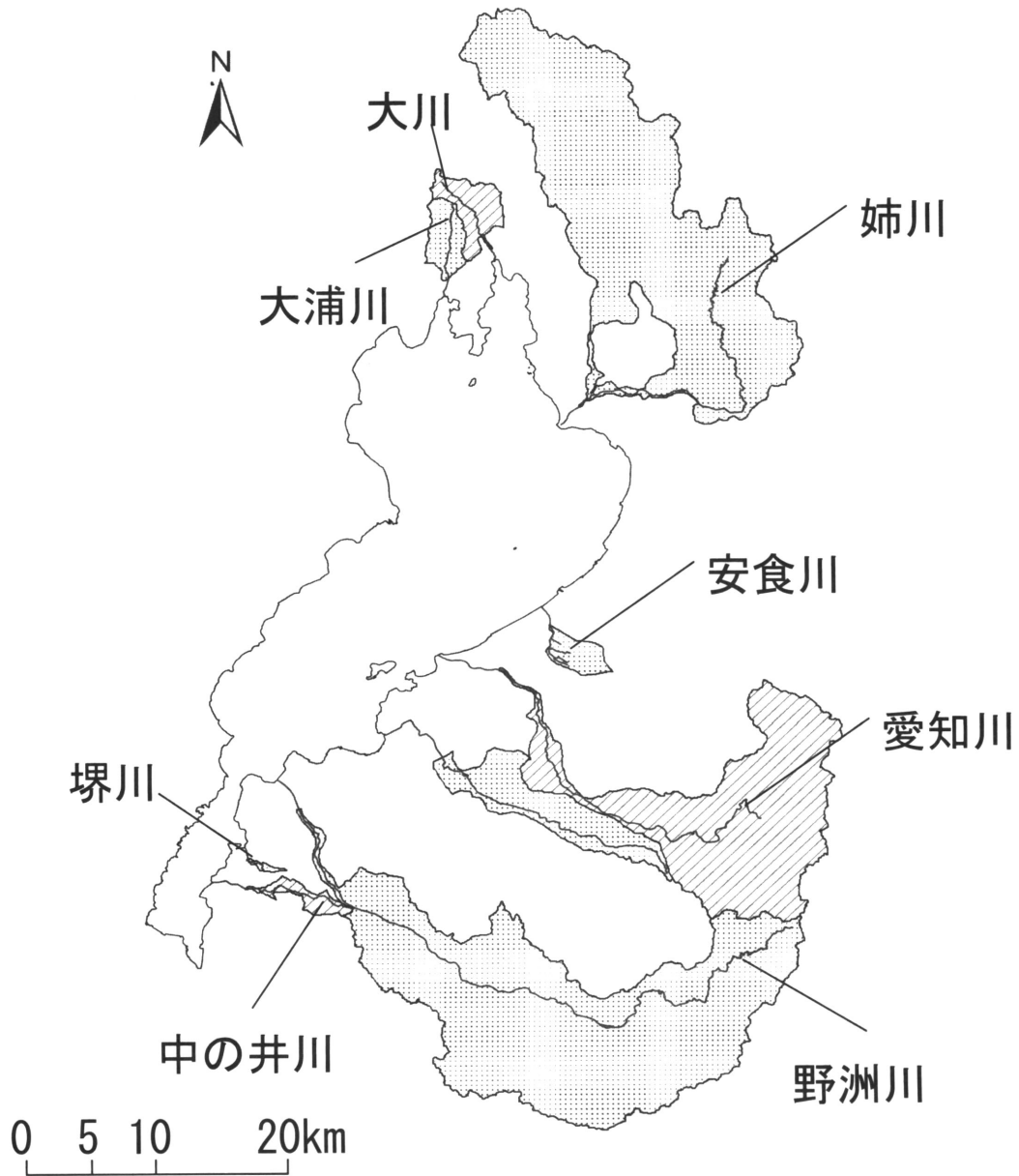


図1 調査地点

表1 調査河川の流域面積、土地利用形態、人口密度

	流域面積 (km ²)	土地利用形態 (%)									人口密度 (人/km ²)
		森林	田	建物用地	その他の農用地	その他の用地	河川及び湖沼	幹線交通用地	荒地	ゴルフ場	
堀川	1.23	0	55.5	42.6	1.84	0.03	0	0	0	0	1640
中の井川	8.92	4.92	51.6	33.9	0.47	6.45	0.72	1.80	0.08	0	1064
安食川	11.7	1.26	70.4	19.8	0.43	5.49	1.09	1.59	0	0	954
大浦川	15.5	80.3	11.2	2.37	2.37	1.52	0.35	0.00	1.90	0	76
大川	19.8	88.6	5.38	1.60	0.26	0.47	0.99	1.37	1.32	0	76
蛇砂川	56.7	18.6	57.9	16.2	1.50	2.48	0.95	1.59	0.72	0	627
愛知川	203	81.1	8.45	2.14	0.52	0.59	4.16	0.10	2.94	0	108
姉川	369	88.9	5.58	1.59	0.95	0.65	1.49	0.06	0.81	0	96
野洲川	382	59.0	19.3	6.45	2.35	3.14	5.02	0.40	2.13	2.17	334

※ その他の農用地：畑、果樹園など
 その他の用地：空港、野球場、湾港、造成地など

[対象：河川源流～調査地点]

上を水田で占められており、森林比率は0～19%であった。大川、大浦川は流域面積はそれぞれ15.5km²、19.8km²と比較的小さいものの森林比率が80%と高く、水田比率が低かった。これらをまとめると「流域面積が小さく、水田比率が高く、森林比率が低い（水源を森林に持たない）滋賀県南東部の中小河川」「流域面積が小さく、森林比率が高く、水田比率が低い滋賀県北部の中小河川」「流域面積が大きく、森林比率が高い、水田比率の低い大河川」の3つのタイプに分類される。

また、建物用地比率及び人口密度は水田比率同様に平野部のみを流れる中小河川において増加する傾向が見られた（表1）。

調査河川の水中及び堆積物中の溶存酸素濃度と水中と堆積物の溶存酸素濃度の差を図2に示す。水中の溶存酸素濃度はすべての河川で7mg/lを超えており、豊富に存在していた。上流にため池が存在する中の井川に関しては13.3g/lと飽和濃度を大きく超えていた。堆積物中の溶存酸素濃度は中の井川8.0mg/l、野洲川10.5mg/l、愛知川9.5mg/l、姉川9.6mg/l、大川7.4mg/l、大浦川7.1mg/lで高く、堺川0mg/l、蛇砂川0.2mg/l、安食川0.7 mg/lで低かった。水中と堆積物中の溶存酸素濃度の差は中の井川-5.3mg/l、堺川-7.2mg/l、蛇砂川-9.5mg/l、安食川-8.8mg/lで大きく、野洲川-0.3mg/l、愛知川-1.7mg/l、姉川-1.1mg/l、大川-1.2mg/l、大浦川-1.5mg/lで小さかった。

調査時の河川流速は以下の通りであった。中の井川10cm/s、堺川4cm/s、蛇砂川33cm/s、安食川24cm/s、野洲川80cm/s、愛知川4cm/s、姉川18cm/s、大川50cm/s、大浦川40cm/s（図2）。

調査河川の河床堆積物の粒度組成と堺川流域の水田土壌の粒度組成を図3に示す。堆積物中に粒径250 μ 以下の粒子が占める比率は中の井川16%、堺川87%、蛇砂川32%、安食川18%、野洲川0%、愛知川1%、姉川2%、大川3%、大浦川4%であった（図3）。

4. 考察

各調査河川の水中の溶存酸素濃度は中の井川を除くすべての河川で飽和濃度に近い値であった。しかし、堆積物中の溶存酸素濃度は流域の50%以上を森林が占める愛知川、姉川、野洲川、大川、大浦川では7.1～10.5mg/lと水中の溶存酸素濃度との差はほとんど無かったが、流域の50%以上を

水田が占める堺川、蛇砂川、安食川の堆積物中の溶存酸素濃度は0～0.7mg/lと無酸素およびそれに近い値であった。水中-堆積物中の溶存酸素濃度の差は流域の森林比率が高い河川では-0.3～-1.5mg/lであったが、水田比率の高い河川では-5.3～-9.5mg/lと水中との差が大きかった。

中の井川は水田比率が50%以上の小規模な河川であるが、他の同様な河川とは異なり堆積物中の溶存酸素濃度が8.0mg/lの値が観測された。これは13.3mg/lと非常に高濃度な水中の溶存酸素濃度の影響によるものであり、この原因は調査地点上流部に存在するため池からの高濃度の溶存酸素の供給によるものである。ため池には栄養塩を含む多くの物質が流入し、構造上水が滞留しやすいため、植物プランクトンの活性が卓越し、夏季の日中において光合成によって大量の溶存酸素を生産する。中の井川では堆積物中の溶存酸素濃度は8.0mg/lであったが、水中-堆積物中の溶存酸素濃度の差は-5.3mg/lと他の水田比率が高い河川と同様に明瞭な差が見られた。

流域の森林比率が高い愛知川、姉川、野洲川、大川、大浦川の河床堆積物は95%以上が粒径500 μ m以上の荒い粒子で占められていたのに対し、流域面積が小さく水田比率が高い堺川、中の井川、蛇砂川、安食川では粒径250 μ m以下の細かい粒子の比率が高くなる傾向が見られた。特に、流域面積が1.23km²と水田地帯の水路としての性格が強い堺川では粒径63 μ m以下の粒子の比率が44%を占め、粒度組成は付近の水田土壌の粒度組成と良く一致していた。

河川流速と水中及び堆積物中の溶存酸素濃度、河床堆積物の粒度組成との間には明瞭な関係性は見られなかった。

これらの結果から、流域面積が小さく、水田比率の高い河川において堆積物中の粒径250 μ m以下の細かい粒子の比率が高くなり、水中と堆積物中の溶存酸素濃度の差が大きくなることが示された。

上記の結果に関係があると考えられる要因として水田の他に「畑及び果樹園」「人口密度」「河川流速」「河川規模」が挙げられる。そこで各河川の「(水中-堆積物中)の溶存酸素の差」を目的変数としてこれらの要因との関係性を重回帰分析で解析した。その結果、水田だけが有意な結果を示し、また、他の要因よりも効果が大きいことが

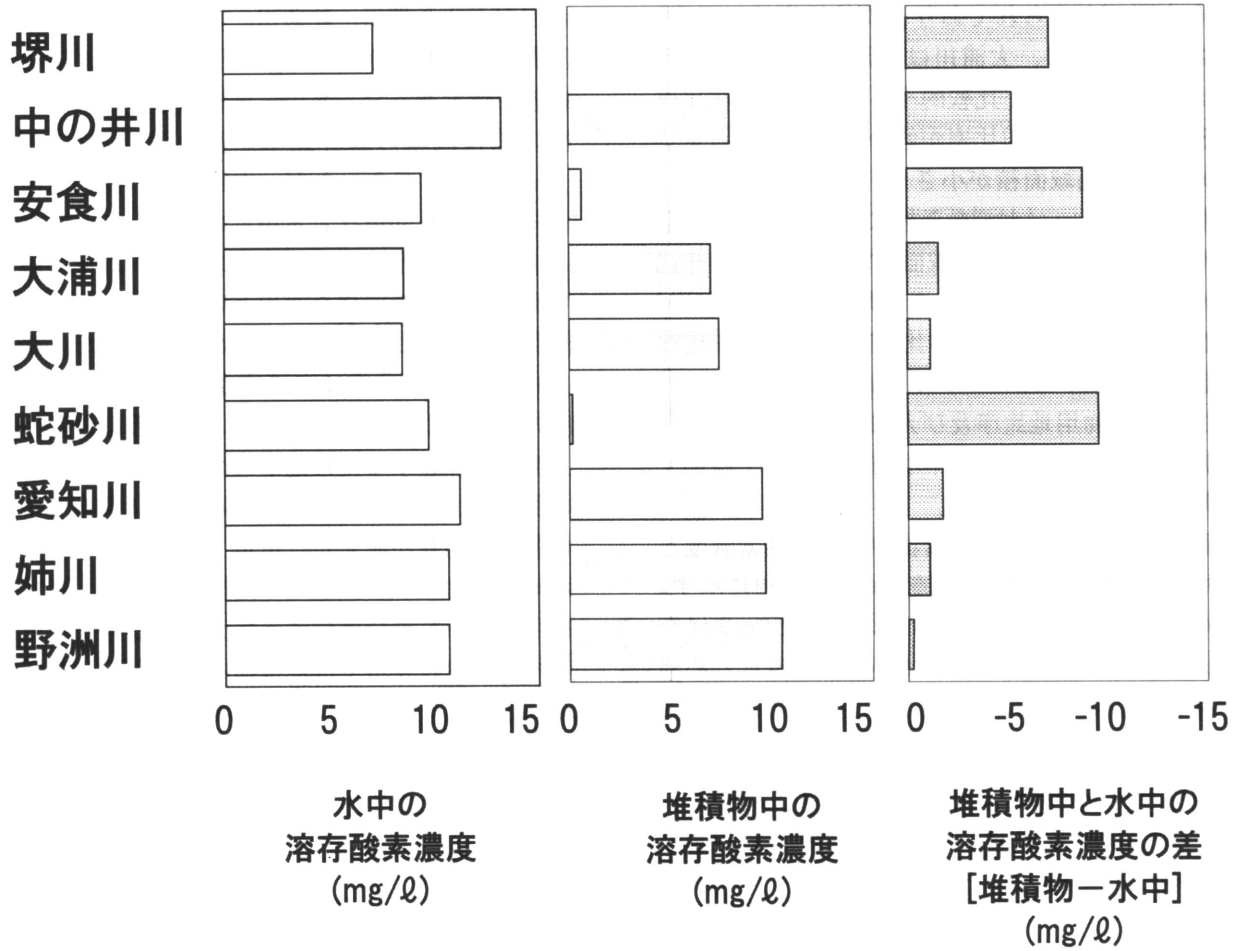


図2 琵琶湖流入川の堆積物の粒度組成 (深度0~8cm)

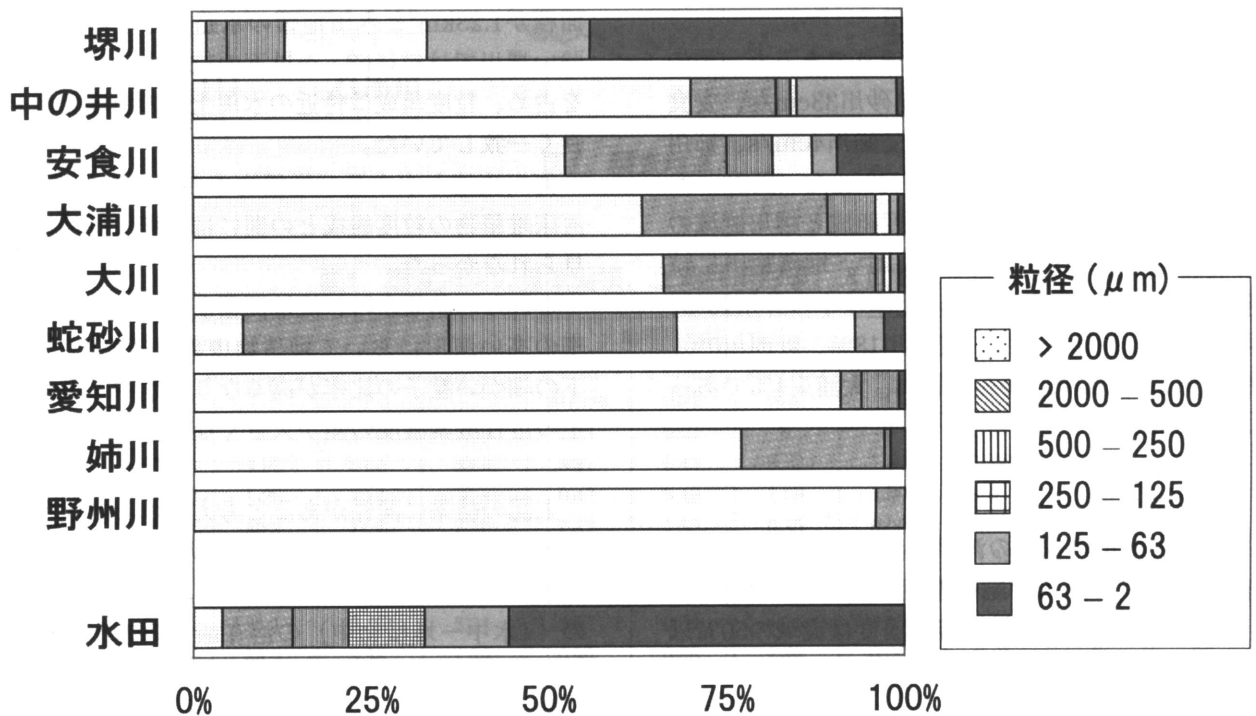


図3 琵琶湖流入川の堆積物の粒度組成 (深度0~8cm)

示された。この結果から（水中-堆積物中）の溶存酸素濃度の差は流域の水田比率の増加による影響が大きいことが示唆された（表2）。

粒径の細かい堆積物が供給されない河川は堆積物中の間隙が大きいと、水中の溶存酸素が堆積物中に供給されると考えられる。このような河川は流域の森林比率が高い河川であった。一方、粒径の細かい粒子が供給される河川では細かい粒子が堆積物中に蓄積することにより堆積物中の間隙がなくなり、水中の溶存酸素が堆積物中に供給されず、堆積物中が無酸素になると考えられる。このような河川は流域の水田比率が高い河川であった。

堆積物中の酸素が欠乏している河川では有機物分解によってメタン（CH₄）が生成されると考えられる。そこで、補足調査として2003年10月に琵琶湖流入河川下流域にて表層水を採取し、FID検出器を接続したガスクロマトグラフで水中のメタン濃度を測定した（GC-14B島津製作所）。この調査は先の2003年8月の調査結果とは日時、河川、調査地点が異なるため同列に解析することはできないが、流域面積が大きく、森林比率が高い愛知川、野洲川、姉川のメタン濃度は439nM、510nM、502nMであったが、流域面積が小さく、水田比率が高い河川においては大河川より高い傾向にあり、堺川、安食川ではそれぞれ5.87×10³nM、6.24×10³nMと大河川の10倍以上の値が観測された（表3）。この結果からも中小河川では水田からの土壌粒子の供給によって、堆積物中が無酸素になっている現状がうかがえる。

5. まとめ

本研究の結果から、中小河川の堆積物中の溶存酸素が欠乏しており、これらの河川の特徴としての堆積物中の粒度組成は他河川と比較して粒径250μm以下の細かな粒子の比率が高く、流域内の水田比率が50%と高いことが明らかとなった。

水田から流出した土壌排水の蓄積が河川環境を大きく変化していると考えられる。琵琶湖流域には流域内の水田比率が50%を超える河川が36河川存在する。これは全河川の30%に相当することから、こういった事例は琵琶湖流域の多くの場所で

表2 重回帰分析による解析

重回帰分析			
r ² =0.942 (自由度調整 r ² =0.845)			
F値=9.731 p=0.045			
	標準化 係数	t 値	p 値
水田	-1.150	-4.051	0.027
畑・果樹園	-0.082	-0.478	0.665
人口密度	0.389	1.284	0.289
河川流速	0.224	1.177	0.324
流域面積	0.113	0.666	0.553

表3 琵琶湖流入河川下流域の河川水（表流水）のメタン濃度（2003年10月）

	流域面積 (km ²)	土地利用形態 (%)		CH ₄ (nM)
		森林	水田	
堺川	2.28	0	67.9	5865
不飲川	7.21	3.58	66.0	596
文録川	14.0	15.7	66.8	1417
安食川	14.8	1.06	70.2	6241
白鳥川	33.4	20.4	54.0	1623
家棟川	41.8	19.5	52.3	1245
宇曾川	83.7	28.6	51.7	1222
愛知川	211	78.0	10.4	439
日野川	226	44.3	31.3	1033
野洲川	391	57.7	20.0	504
姉川	372	88.2	5.91	502

起こっている現象であると考えられる。中小河川の水質形成のメカニズムと琵琶湖への影響についての研究の発展が必要である。

引用文献

- 1) Nakano T, Tayasu I, Wada E, Igeta A, Hyodo F, Miura Y. Sulfur and strontium isotope geochemistry of tributary rivers of Lake Biwa: implications for human impact on the decadal change of lake water quality. *Science of the Total Environment*. (2005) 345 : 1-12
- 2) 東善広「滋賀県琵琶湖研究所記念誌（所報22号）」9-17（2003）
- 3) 滋賀県彦根測候所『滋賀県気象年報』（2004）