

第1節 自然科学的立場からのモニタリング

3. メソ視点より一濁水の行方一

3.3 稲枝地区の水辺の環境

井桁明文¹⁾、陀安一郎²⁾、田中拓弥¹⁾、兵藤不二夫¹⁾、大野智彦³⁾、今田美穂⁴⁾、
上田篤史⁵⁾、由水千景^{2)※1)}、高津文人^{2)※1)}、神松幸弘¹⁾、石井励一郎⁶⁾、
梅澤有¹⁾、山田佳裕⁷⁾、永田俊²⁾、谷内茂雄¹⁾、和田英太郎^{1)※2)}

1) 総合地球環境学研究所、2) 京大大学生態学研究センター、3) 京都大学大学院地球環境学舎、4) 国立環境研究所

5) 元 総合地球環境学研究所、6) 海洋開発研究機構地球環境フロンティア研究センター、7) 香川大学農学部

※1) (現所属) 独立行政法人科学技術振興機構、※2) (現所属) 海洋研究開発機構地球環境フロンティア研究センター

1. はじめに

彦根市稲枝地区は耕地面積の94%を稲作が占める農村地帯である。ここ数十年土地利用形態に大きな変動は見られないが、JR稲枝駅周辺を中心に宅地開発が進んでおり、人口は13829人と増加傾向にある¹⁾。稲枝地区の農家世帯数は851戸と全体の18%を占めている。農業就業者の特徴として、兼業農家が90.5%と高く、特に農業作業に従事する日数が年間50日以下の第二種兼業農家の比率が83.8%と突出している²⁾。

稲枝地区の水田は豊富な水資源によってまかなわれている。湖岸地域を中心に稲枝地区の半数以上の圃場は琵琶湖逆水灌漑によって用水が供給されており、逆水灌漑供給区域外の圃場においても永源寺ダム及び宇曾川ダムからの供給によって用水の安定供給が実現している。一方で圃場整備も急速に進み、用排水の分離が促進され圃場ごとの水管理が可能となった。また、耕作作業の機械化、省力化が進み、第二種兼業農家の増加に伴い代かき及び田植えがゴールドデンウィークに集中するという耕作形態の変化が生じている³⁾。また、用水の安定供給及び圃場整備による水田ごとの水管理が可能になったことにより、水田からの排水が増加し、水管理の粗放化が起きていると指摘されている⁴⁾。

滋賀県内の多くの小規模河川は大河川から導水し、周辺の農地や市街地を経由して琵琶湖へと流入するため、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⁵⁾。稲枝地区における小河川は平野部の多くを水田が占めるため「水田の排水路」としての役割を有している。しかしこれまでの滋賀県での河川水質調査は大規模河川を中心に行われており、中小河川の調査事例は少なく、未解明な部分が多いのが実情であ

る。

総合地球環境学研究所『琵琶湖-淀川水系プロジェクト』ではコアサイトである滋賀県彦根市稲枝地区の河川水質環境を2003年から2005年にかけて代かき・田植え時期を中心に水田からの排水が河川水質に及ぼす影響の調査・研究を行った。その一部を報告する。

2. 2003年度 文録川・不飲川水質調査

調査は2003年4月から2004年3月にかけて稲枝地区を流れる文録川、不飲川にて灌漑期を中心に計28回水質調査を行った(図1)。

調査期間中の河川水中のSS(懸濁態粒子)濃度と彦根市の1日あたりの降水量を図2に示す。4月25日から5月16日までは両河川ともに比較的SSは高く20~60 mg/Lで推移し、5月8日には降雨の影響も伴い(当日降水量:48.5mm)、文録川、不飲川でそれぞれ241mg/L、314mg/Lと調査期間中で最も高濃度のSSが観測された。当日は代かき及び田植え後の濁った田面水の越流が各地で見られた。この時期の高濃度のSSは代かきおよび田植え時に水田から発生した濁水の河川への流入によるものである。稲枝地区における田植え作業は殆どの地域で5月16日の時点で既に終了しており、以降代かき・田植え時期のような高濃度のSSは観測されなかった。

文録川、不飲川のSSの年間を通しての系時変化の特徴として代かき・田植えが行われる4月中旬から5月中旬までは水田からの濁水の流出により高濃度で推移し、田植えが終了後から8月下旬までは文録川は10~30mg/L、不飲川は4~15mg/L程度で推移した。この2河川のSS濃度の違いは、この時期の文録川の水源の多くがSS濃度の高い宇曾川からの灌漑用水であり(牛ヶ瀬

井：8月末まで)、不飲川の水源が年間を通してSS濃度が低い愛知川から導水しているためである。また、この時期は降雨の有無によって河川中のSS濃度に増加傾向が見られたが、代かき・田植え時期と比較すると小さいものであった。

9月以降は両河川共に低濃度で推移し、10mg/Lを超えるSSは観測されなかった。この時期の文録川のSS濃度の減少は9月以降宇曾川からの流入はなく、水源の多くを不飲川から導水しているためと考えられる。また、非灌漑期において降雨によるSSの増加の影響も見られなかった。これは、水田を集水域とする小規模河川は降雨によって河川水中の濁りが増す都市河川や森林を集水域とする河川とSS濃度の変動傾向が異なることを示している。

調査期間中の各種水質濃度を図3に示す。代かき・田植え時期の文録川、不飲川の NO_3^- -N、 PO_4^{3-} -Pは灌漑期と比較して同程度であった。したがって水田からの排水の流出においてはこれらの無機イオンの流出は多くない。この結果は金木ら⁶⁾、山田ら⁷⁾ 井桁ら(未発表)の報告同様この時期の水田からのSS流出に伴う窒素及びリンの流出は有機態(懸濁態)として流出している。一方、 NH_4^+ -Nは代かき・田植え時期において比較的高い値となった。この時期の NH_4^+ -Nの増加は水田からの肥料成分及び土壌の流出によるものと思われる。また、非灌漑期において両河川ともに NO_3^- -N、Cl⁻、 SO_4^{2-} が高くなる傾向を示した。これは各河川の水位変動からも降水量の減少に伴う河川流量の減少によるものと伺える。



図1 稲枝地区 水質調査 調査地点

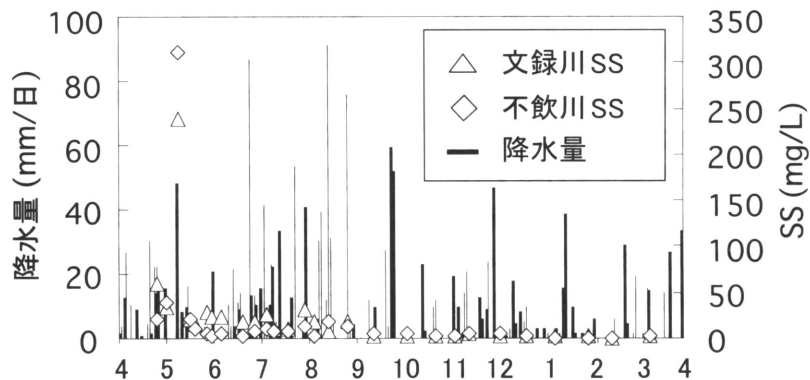


図2 2003年度 文録川、不飲川のSS濃度

各種水質濃度において不飲川より文録川の値が年間を通して高く、特に $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ でその傾向が見られた。これは文録川の水質汚濁が不飲川より進行していることを示しており、この原因として水源の違いや生活排水の流入等が考えられる。また、文録川の水位は降雨によって急激に増加し、それに伴い Cl^- 、 SO_4^{2-} は大きく減少した。これは稲枝地区の小河川は大規模河川と比較して水量が少ないため、降雨による一時的な水質変動を受けやすいことを表している。

調査期間中の硝酸態窒素の窒素安定同位体比

($\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$)を図4に示す。代かき・田植え時期の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ は文録川は5~7%、不飲川は4~6%であった。田植え以降灌漑期にかけて文録川は8%、不飲川は6~7%で推移し、非灌漑期(9月以降)は降雨時を除きそれぞれ9~10%、6~8%程度で推移した。代かき・田植え時期の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ は両河川ともに田植え以降と比較して低い値を示したが、これは逆水灌漑による琵琶湖湖水(4.8%)や文録川に流入する宇曾川(6.3%)、不飲川に流入する愛知川(4.9%)の低い $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ を持つ灌漑用水が水田を經由して大量に流入したためと示唆される(高津ら、未発表)。さらにSSと

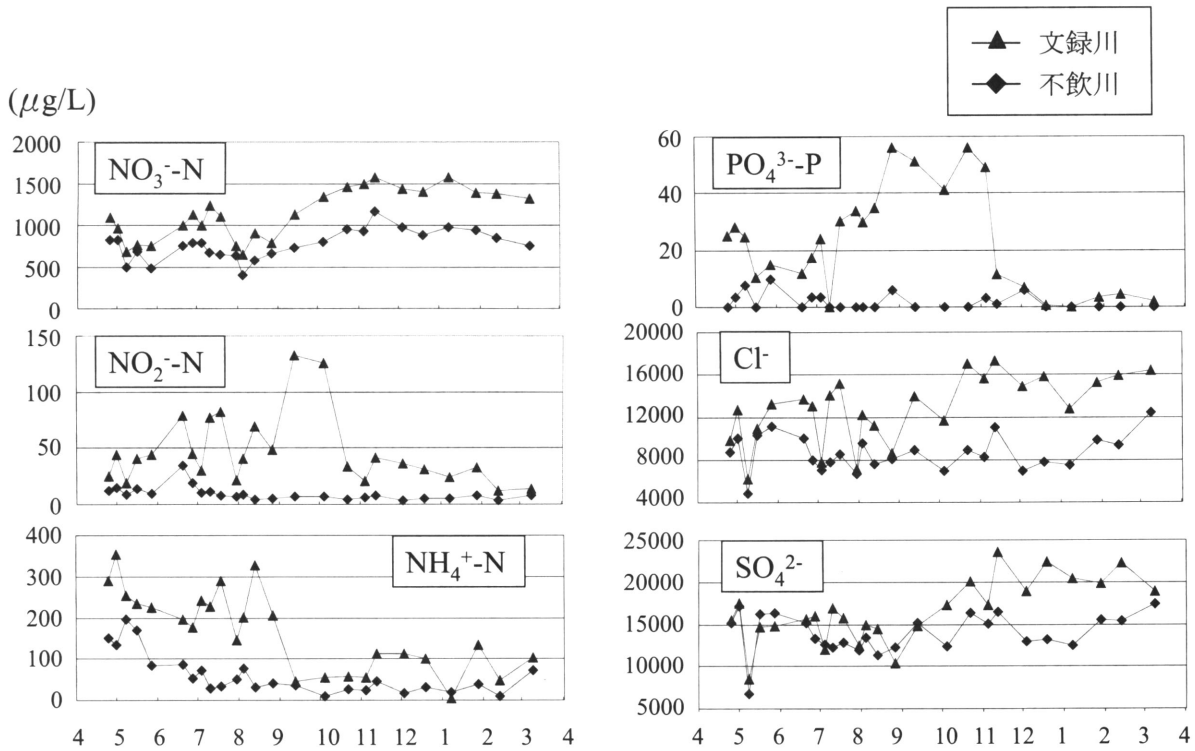


図3 2003年度 文録川、不飲川の各種水質濃度

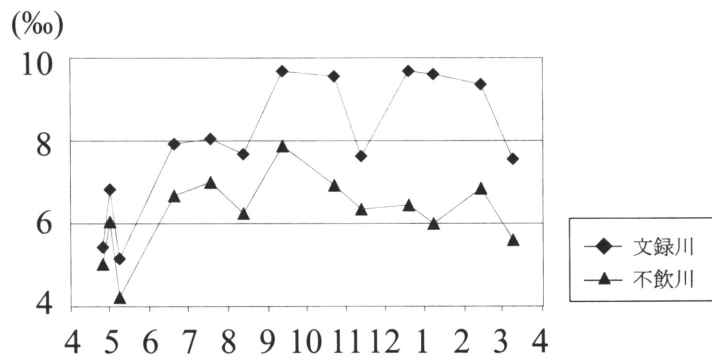


図4 2003年度 文録川、不飲川の硝酸態窒素の窒素安定同位体比

$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ との間に負の相関があることから、水田からのSS流出増加に伴う排水量の増加が代かき・田植え時期の両河川の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ を低くしているものと考えられる。田植え以降灌漑期にかけては両河川ともに安定した値を示した。9月以降文録川の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ の上昇は降雨の減少及び宇曾川からの導水停止に伴う低い $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ の水の供給の減少によるものと考えられる^{注1)}。一方、不飲川の水源は愛知川の湧水や導水であり^{注2)}、湧水は季節を問わず一定の湧出量を保つため9月以降も $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ の値に大きな変動は見られなかった。

3. 2004年度 文録川・不飲川・顔戸川および水田排水路水質調査

2003年度の調査結果より、稲枝地区小河川におけるSSは代かき・田植え時期に増加することが示された。そこで2004年度は代かき・田植え時期を中心に耕作期にのみ焦点を絞って、高頻度に調査を行い、水田からの排水が河川水質に及ぼす影響を検証した。

調査河川は2003年度に行った定期観測地点である文録川、不飲川のほかに新たに顔戸川に定点を設けた。顔戸川は宇曾川を水源とし文録川同様牛ヶ瀬井（肥田町）より分水し、宇曾川と文録川の間を流れる河川延長約5.6kmの小河川で、琵琶湖河口付近で文録川と合流する。顔戸川流域の土地利用形態も文録川、不飲川同様に流域の多くを水田が占める。また、代かき時に水田から排出される濁水の影響を把握するために稲枝地区内の水田排水路6地点（A-F）において同様な調査を行った（図1）。同時に水田排水路調査時に排水路区画内の圃場の移植進捗状況を調査した。ここでは水田排水路A、Bの2水路のみの結果を記す（以後水路A、水路Bと記す）。

調査期間の文録川、不飲川、顔戸川及び水路A、BのSS（懸濁態粒子）濃度及び圃場の移植進捗状況を図5に示す^{注3)}。逆水灌漑による給水が始まる前の4月17日のSS濃度は3河川ともに3mg/L程度であったが、給水が開始された4月21日以降徐々に増加した。代かき～田植え時期（4月21～5月18日）の各河川のSSは顔戸川11～148mg/L（平均：72mg/L）、文録川24～101mg/L（平均：56mg/L）、不飲川4.4～99mg/L（平均：30mg/L）であった。2004年度の代かき・田植え時期の調査時にはまとまった降雨が観測されなかったため

2003年ほどの高濃度のSSは観測されなかったが、降雨の有無を問わず代かき・田植え時期に100mg/Lを超えるSSが観測された。田植え以降（5月19日～）のSSは顔戸川14～38mg/L（平均：28mg/L）、文録川6.7～38mg/L（平均：21mg/L）、不飲川4.9～21mg/L（平均：10mg/L）にて推移し、2003年度と同程度の値となった。

代かき～田植え時期（4月21～5月18日）の水田排水路のSS濃度は1000mg/Lを超えるSSが観測され、水路A：8.5～1319mg/L（平均：312mg/L）、水路B：76～739mg/L（平均：402mg/L）と非常に高濃度であったが、田植え以降（5月19日～）は水路A：9.8～58mg/L（平均：35mg/L）、水路B：1.5～75mg/L（平均：20mg/L）と河川とほぼ同程度であった。

河川、水路ともに代かき・田植え時は降雨が無くてもSSは高濃度であり、田植え後～灌漑期は河川では降雨によって若干増加するが、水田排水路においては増加傾向が見られなかった。従って、水田から多量のSSを含む排水（濁水）が流出するのは代かき・田植えが行われている一時期に限られており、降雨の影響よりも代かき・田植えの影響のほうが大きいことが示された。

河川および水路調査と併行して行った圃場の移植進捗状況は河川及び水路のSS濃度の増加と一致しており、田植え終了とともにSS濃度は減少した。この結果からも稲枝地区小河川におけるSSの増加は代かき・田植え時期のみ水田からの濁水の流出によって起こることが示された。

顔戸川、文録川、不飲川および水路A、Bの調査期間中の NO_3^- -N、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} の時系列分布を図6に、各項目の変動係数（CV）を表1に示す。灌漑用水供給開始前の4月17日の NO_3^- -Nは文録川1231 $\mu\text{g/L}$ 、不飲川507 $\mu\text{g/L}$ 、顔戸川1257 $\mu\text{g/L}$ と不飲川は低濃度だったが、文録川では2003年非灌漑期と同程度の値を示し、顔戸川は文録川と同程度の濃度を示した。その後、代かき～田植え時期において前年同様 NO_3^- -Nは減少傾向を示した。田植え後は3河川ともに大きな変動を示さず、前年度の同時期と比較して若干低い濃度で推移した。調査期間中の文録川の NO_3^- -Nは2003年と同様に不飲川より高濃度であり、顔戸川は文録川より高濃度であった。

水田排水路の水入れ開始時の4月21日の NO_3^- -Nは水田排水路A、Bでそれぞれ10340 $\mu\text{g/L}$ 、4918 $\mu\text{g/L}$ と非常に高い値となった。この時期は

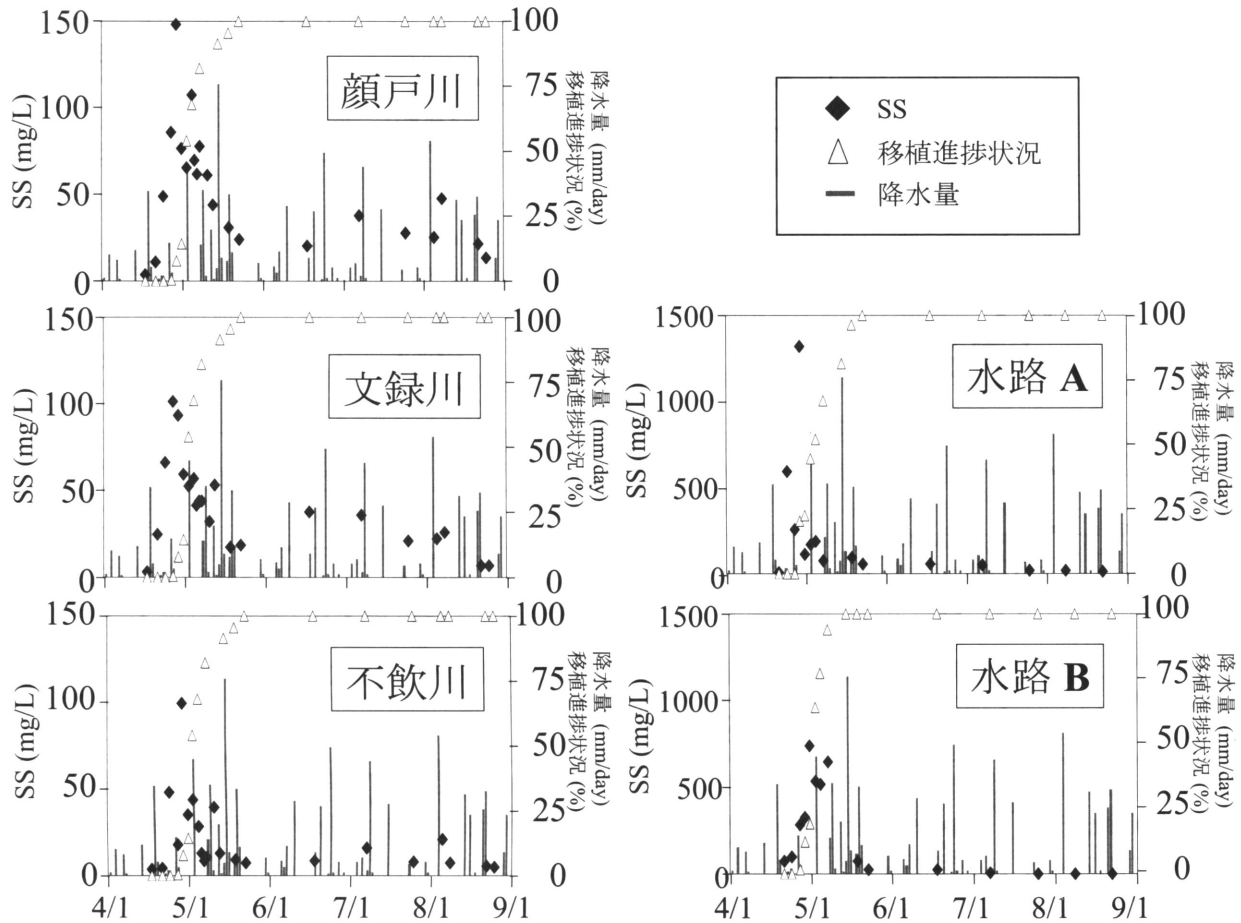


図5 2004年度 文録川、不飲川、顔戸川、水路A、BのSS濃度及び圃場の移植進捗状況

代かきが始まっていないため水入れによって圃場に蓄積していた窒素が水入れとともに流出したものと考えられる。その後徐々に減少し、区画内の田植えが始り終了した5月11日にはそれぞれ551 $\mu\text{g/L}$ 、727 $\mu\text{g/L}$ まで減少した。以降 NO_3^- -NはSSの減少とともにそれぞれ27~242 $\mu\text{g/L}$ 、82~688 $\mu\text{g/L}$ と低濃度で推移した。この結果は田植え以降のかけ流しなどによる水田からの NO_3^- -Nの流出は少ないことを示している。しかし、井桁ら(未発表)の報告によると田植え以降、緩効性肥料からの窒素溶出の影響により一時的に高濃度の NH_4^+ -Nの流出が確認されており、また、2003年度の文録川・不飲川水質調査では代かき・田植え時期は他の時期と比較して NH_4^+ -Nが高いことから、本調査では確認できなかったが田植え以降の窒素流出も幾分あるものと考えられる。

人口増加、都市化など(主に生活排水の流入)によって増加する Cl^- 及び Na^+ は文録川及び顔戸川で高い傾向にあった。調査期間中の3河川及び

水路A、Bにおける各水質項目の変動係数は3河川と比較して NO_3^- -N、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} の変動幅が大きいことが明らかとなった。これは水田排水路において水田からの肥料成分の流出(NO_3^- -N： NH_4^+ -Nが硝化、 SO_4^{2-} ：硫酸(NH_4) $_2\text{SO}_4$ 、 K^+)や、水田土壌及び土壌改良剤(土作り資材)に含まれるミネラル成分の流出(K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+})によるものと示唆される。

顔戸川、文録川、不飲川および水路A、Bの調査期間中の硝酸態窒素の窒素安定同位体比($\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$)を図7に示す。灌漑用水供給開始前の4月17日の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ は文録川9.3%、不飲川7.3%、顔戸川8.2%と高く、2003年の非灌漑期と同程度であったが、給水開始後の4月21日にはそれぞれ5.1%、5.4%、4.7%に急激に低下した。その後文録川では代かき時期に5~7%の間で変動し、5月6日以降は前年同様7~8%と安定した状態で推移し、8月26日には2003年の非灌漑期程度の値に上昇した。一方で顔戸川は調査期間中 $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$

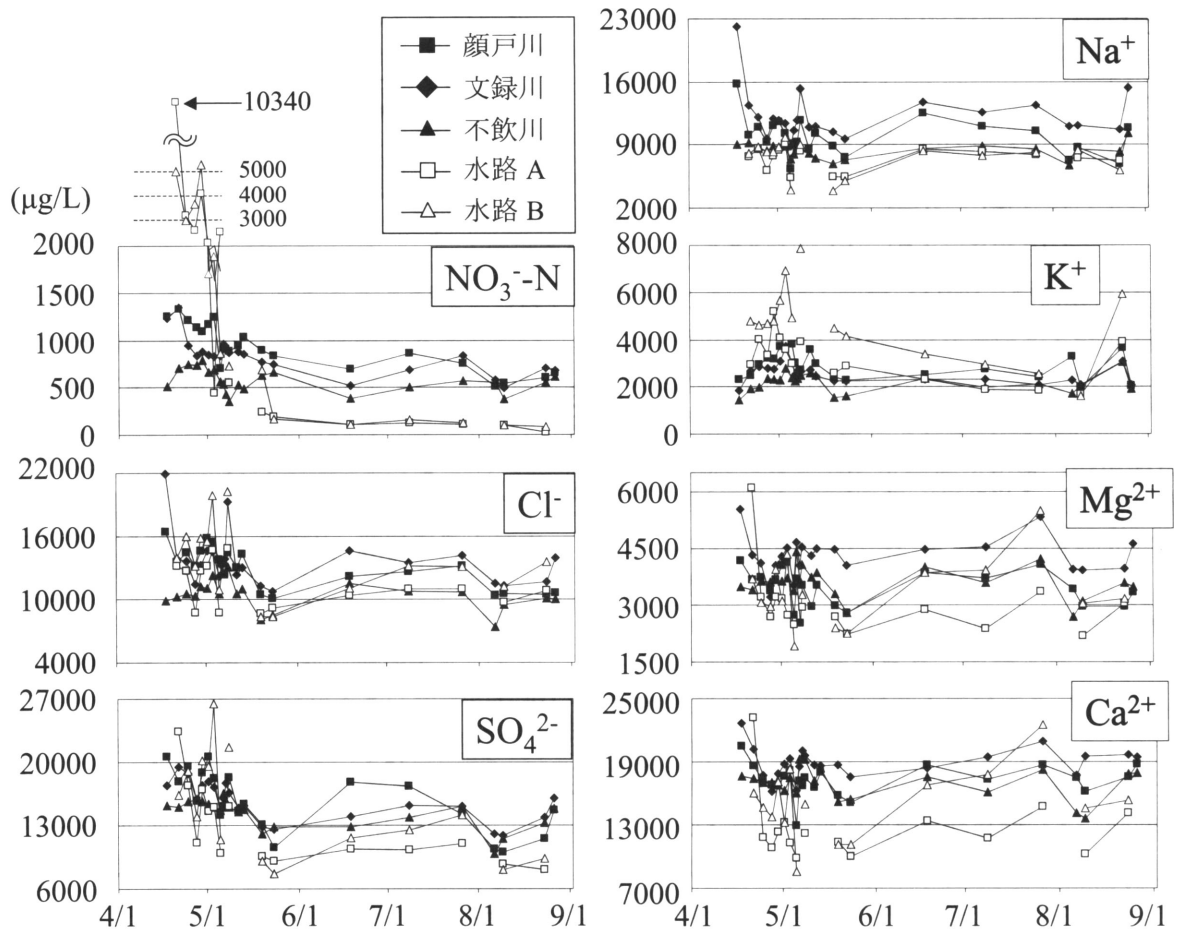


図6 2004年度 文録川、不飲川、顔戸川、水路A、Bの各種水質濃度

表1 2004年度 文録川、不飲川、顔戸川、水路A、Bの各種水質濃度の変動係数

	顔戸川	文録川	不飲川	水路A	水路B
Cl ⁻	14.6	18.9	14.0	18.9	25.8
NO ₃ ⁻ -N	26.5	23.8	21.7	155	116
SO ₄ ²⁻	20.4	13.7	11.4	33.5	38.0
Na ⁺	21.2	22.7	9.6	16.4	24.4
K ⁺	19.7	16.9	18.4	31.7	35.1
Mg ²⁺	14.1	11.8	11.3	30.8	26.6
Ca ²⁺	8.7	7.7	9.0	25.6	22.4

の変動が大きく、文録川のような各期間ごとの明瞭な変動パターンは見られなかった。

水田への水入れを開始した4月21日の水路A、Bの $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ はそれぞれ3.0%、0.7%と比較的低い値となった。その後代かき～田植え時期にかけて水田排水路A、Bの $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ はそれぞれ3.3～9.9%、0.4～7.5%、田植え以降も1.2～7.3%、-1.3～12.0%と大きな変動を示した。調査期間中の3河

川の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ の変動は文録川：5.1～8.0%、不飲川：5.1～7.5%、顔戸川：4.5～9.7%（用水供給前の4月17日及び用水供給停止後の8月26日を除く）であることから、水路内の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ の変動幅は非常に大きい。これは水田への灌漑用水の流入や排出、代かき及び田植え作業などの物理的要因や、肥料成分の溶出や田面水の硝化・脱窒作用など化学的要因による影響が非常に大きいためと考えられる。また、水路ではこの時期8%以上の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ が頻繁に観測された。これはこの時期河川で見られない高い値であるが、この原因として高い $\delta^{15}\text{N}$ を持つ有機肥料に含まれる $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の硝化や、田面水及び水路内での水の滞留による脱窒などによる影響が考えられる。

4. 2003年～2004年 文録川・不飲川全域調査

稲枝地区の小河川における水質環境の全容を把握するために2003年10月、2004年2月、5月、8月の計4回、文録川および不飲川全域において調査を行った。

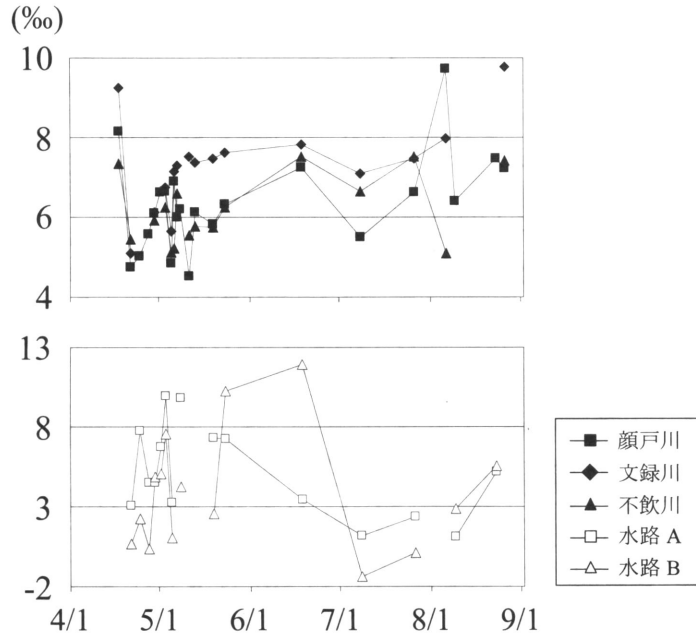


図7 2004年度 文録川、不飲川、顔戸川、水路A、Bの硝酸態窒素の窒素安定同位体比

文録川・不飲川全域流程調査の調査地点を図8に示す。不飲川は愛知川の湧水を水源としており上流部に調査地点stn. N-1（不飲池）やstn. N-3などの幾つかの地点から伏流水が湧出している。また、服部町（調査地点stn. N-4より数百メートル上流）にて愛知川から直接導水しており、流量が増加する。

文録川の源流は愛知川町長野（stn. B-1）であるが水源が乏しくほとんど枯渇していた。不飲川（stn. N-2）から文録川へ導水しているが、水量は少なく、さらに、その水の大半を周辺集落の地域用水に使用しているため、非灌漑期において文録川は源流部から稲部町付近まで断流している箇所が見られた。文録川中流（stn. B-4）にて不飲川の水が大量に導水され下流に流れている。非灌漑期は降雨時にのみ上流から下流まで繋がる形となるが、灌漑期においては牛ヶ瀬井より宇曾川の水を大量に導水するためほぼ全域において断流することなく水が流れている^{注4)}。

本調査における各調査地点のSS濃度を表2に示す。SSは両河川ともに2004年5月が他の時期と比較して高く、各河川下流域（stns. B-5, N-6）^{注5)}において文録川で7.3～36倍、不飲川で28～32倍であった。これは代かき、田植えによる水田からの負荷の影響である。また、2004年5月のSSは湧水地点（stn. N-3）を除いてすべて高く稲枝地区全域において水田からの濁水の流出が見られた。

本調査における各調査地点の水質分析結果を表3及び巻末付表1に示す。各河川下流域（stns. B-5, N-6）のDIN ($\text{NO}_3^- \text{-N} + \text{NO}_2^- \text{-N} + \text{NH}_4^+ \text{-N}$) はそれぞれ753～1432 $\mu\text{g/L}$ 、DINは602～1113 $\mu\text{g/L}$ となり、両河川ともに2004年8月に低い傾向にあった。 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ は全期間において文録川が不飲川より高濃度であった。

2003年10月および2004年2月のstn. B-3（稲枝駅周辺住宅地）にて極めて高濃度な $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ が検出された（2003年10月： $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 2310 $\mu\text{g/L}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 165 $\mu\text{g/L}$ 、2004年2月： $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 5172 $\mu\text{g/L}$ 、 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 178 $\mu\text{g/L}$ ）。加えて $\text{NO}_3^- \text{-N}$ が低濃度であることから（2003年10月 880 $\mu\text{g/L}$ 、2004年2月 322 $\mu\text{g/L}$ ）、非常に還元的な状況にあり、水質汚濁が進行していることを示している。この原因として、稲枝駅周辺の宅地開発事業（ミニ開発）によって作られた住宅が生活雑排水の排出経路を備えておらず、文録川に直接放流しているためであり、この時期の文録川が流量の減少により断水していたため水路に溜まったものである（写真1, 2）。また、stn. N-2においても $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 及び $\text{NO}_2^- \text{-N}$ が高い傾向が見られた。stn. N-2はstn. B-3と同様に住宅地が形成されていることからstn. N-2においても生活排水の流入による水質汚濁の進行が伺える。

stn. B-1の文録川源流では高濃度な $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ が検出された（2003年10月 101 $\mu\text{g/L}$ 、2004年5月

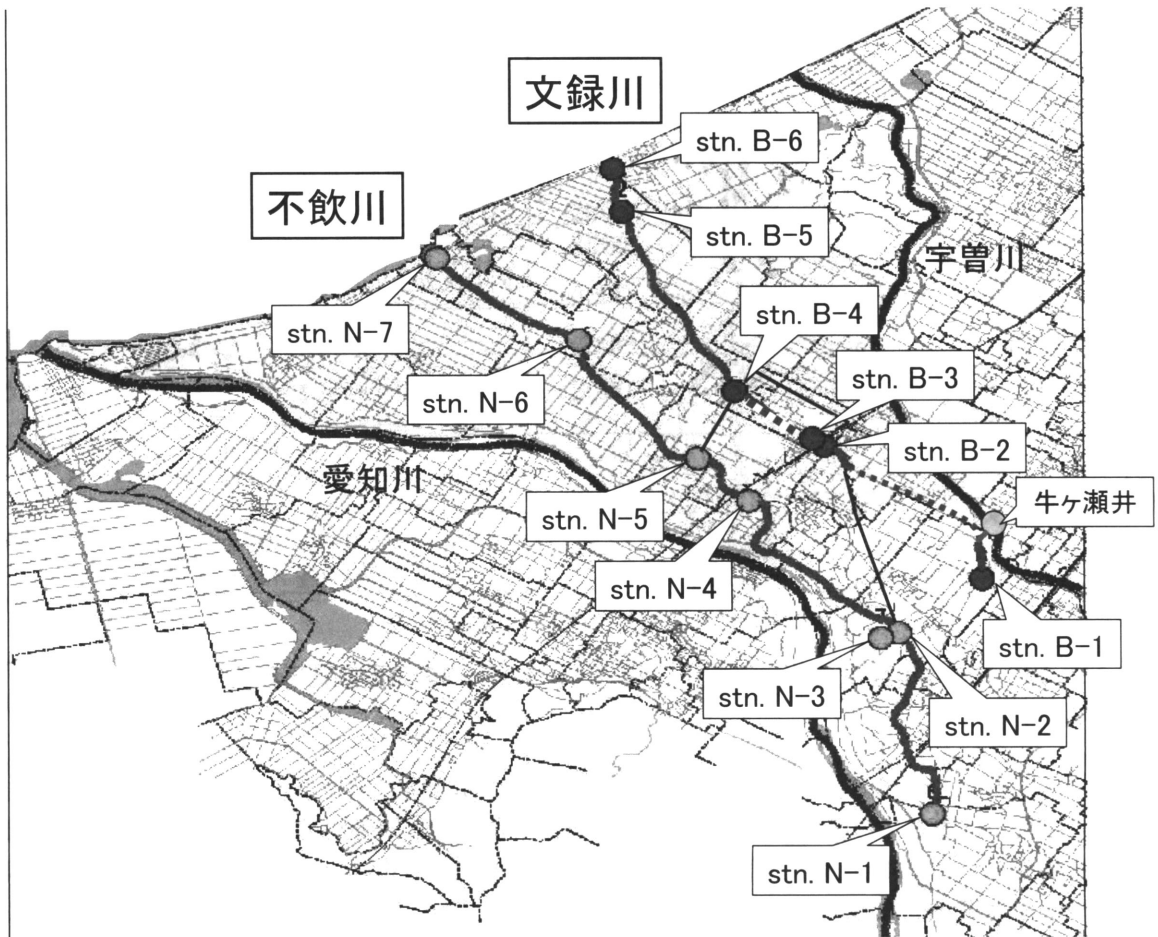


図8 稲枝地区 文録川・不飲川全域調査 調査地点

表2 文録川・不飲川 全域調査のSS濃度

	2003/10/23	2004/2/13	2004/5/8	2004/8/26
stn. B-1	8.8	4.5	12.2	4.0
stn. B-2	—*	2.9	19.8	5.6
stn. B-3	9.9	22.5	18.0	2.7
stn. B-4	3.7	4.0	25.7	6.1
stn. B-5	4.0	1.6	41.4	7.0
stn. B-6	4.9	1.7	61.8	8.4
	2003/10/24	2004/2/13	2004/5/8	2004/8/26
stn. N-1	1.2	0.5	—*	0.7
stn. N-2	2.9	3.1	30.3	39.6***
stn. N-4	—**	—**	22.7	3.4
stn. N-5	3.8	0.9	51.8	4.0
stn. N-6	3.3	1.1	12.7	4.9
stn. N-7	2.5	2.7	80.0	2.8
stn. N-3	0.4	3.8	1.5	0.1

*No data (水量不足) **No data (未観測) ***河川工事時

159 $\mu\text{g/L}$ 、2004年8月 129 $\mu\text{g/L}$)。これは近隣の飲食店などから直接河川に排出された生活雑排水が河川の断流によって蓄積されたものである(写真3,4)。これらが大雨や灌漑用水の流入によって琵琶湖に流入することにより文録川及び琵琶湖の水質悪化を引き起こすと考えられる。

各調査地点の河川水中の硝酸態窒素の窒素安定同位体比を表4に示す。各4回の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ は各河川下流域(stns. B-5, N-6)それぞれ7.1~9.8%、5.2~7.4%となり、両河川ともに2004年5月に $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ が低くなる傾向を示した。これは先に記した琵琶湖湖水及び愛知川、宇曽川からの $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ の低い灌漑用水の流入によるものと考えられる。また、すべての調査時において文録川の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ が不飲川より高い結果となった。これは水源の違いによる影響もあるものの(宇曽川4.7~7.2%：平均6.3%、愛知川3.6~7.1%：平均4.9%：高津ら、未発表)、文録川流域において水質汚濁が進行していることを示している。また、文録川の値は高津らが調査した滋賀県内32河川の

表3 文録川・不飲川 全域調査の各種水質濃度

($\mu\text{g/L}$)

文録川

	2003/10/23					2004/2/13				
	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	DIN	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	DIN	PO ₄ ³⁻
stn. B-1	1488	60	292	1840	101	1266	86	559	1911	31
stn. B-2	1130	16	190	1336	37	1398	35	333	1766	45
stn. B-3	880	165	2310	3355	57	322	178	5172	5671	19
stn. B-4	552	21	124	696	29	1425	37	436	1898	26
stn. B-5	1431	27	26	1483	67	1047	17	53	1117	11
stn. B-6	1375	20	38	1432	55	1312	18	41	1370	19

	2004/5/6					2004/8/26				
	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	DIN	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	DIN	PO ₄ ³⁻
stn. B-1	1690	33	137	1860	159	2020	35	139	2194	129
stn. B-2	1156	20	161	1336	56	317	13	157	486	28
stn. B-3	1157	15	132	1305	40	396	31	99	524	34
stn. B-4	871	23	161	1055	46	581	22	70	673	49
stn. B-5	1026	38	242	1306	42	731	37	82	850	51
stn. B-6	1153	39	231	1423	33	661	22	70	753	37

不飲川

	2003/10/24					2004/2/13				
	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	DIN	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	DIN	PO ₄ ³⁻
stn. N-1	2702	4	6	2712	9	1298	6	13	1317	7
stn. N-2	2438	31	138	2606	64	2829	43	462	3334	103
stn. N-4	1289	12	15	1316	50	1163	11	15	1189	27
stn. N-5	1169	16	26	1212	16	1061	10	46	1116	12
stn. N-6	440	6	20	465	14	872	8	24	903	5
stn. N-7	669	5	69	743	11	656	6	82	744	4

stn. N-3	1959	5	12	1975	18	2145	4	11	2159	15
----------	------	---	----	------	----	------	---	----	------	----

	2004/5/6					2004/8/26				
	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	DIN	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	DIN	PO ₄ ³⁻
stn. N-1	No data					2077	10	16	2102	10
stn. N-2	1458	122	390	1970	100	1418	125	388	1932	96
stn. N-4	840	10	59	908	30	648	6	18	672	25
stn. N-5	944	11	110	1065	24	673	8	21	702	13
stn. N-6	593	13	192	799	7	611	7	30	648	11
stn. N-7	950	19	144	1113	15	536	8	57	602	12

stn. N-3	1135	4	10	1149	38	1811	3	10	1825	47
----------	------	---	----	------	----	------	---	----	------	----

$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ と比較しても高く、水質汚濁の進行が伺える（高津ら, 未発表）。多量の灌漑用水が流入していた2004年5月を除き文録川上流部（stns. B-1, 2, 3）にて10%以上の高い値が検出された。この地域は先に記した住宅地や飲食店が多い地域であり、これらから排出される高い $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ を含む生活排水の影響であることを示しているとともに

に、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 及び $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 同様水質汚濁が進行していることを示している⁸⁾。

2003年10月の調査では河床堆積物（表層）、周辺圃場の稲わらを採取し炭素・窒素安定同位体比（ $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ ）を測定した（表5, 6）。文録川と不飲川の河床堆積物の $\delta^{13}\text{C}$ はそれぞれ-26.5~27.7‰、-27.7~-28.8‰と両河川間に1%程度の差があ



写真1



写真2

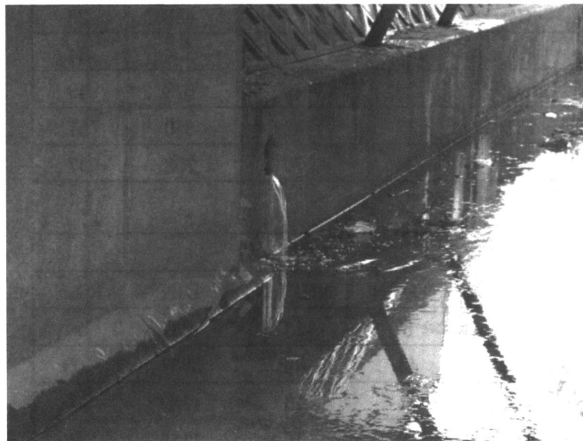


写真3

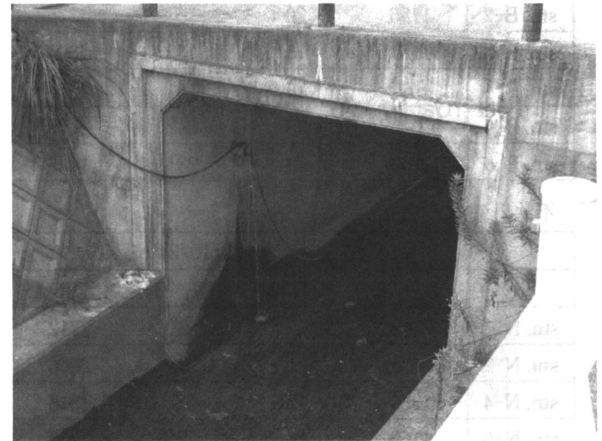


写真4

り、各地点間の変動は1%程度であった。 $\delta^{15}\text{N}$ は文録川：4.1～5.5%、不飲川：2.7～6.1%となり、 $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ のような地点ごとの差は見られなかった。河川水中の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ 値は水系のその時々水質汚濁状況を反映するのに対して、堆積物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は水系内の汚濁の蓄積状況を表す指標として用いられる。両河川全域の堆積物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は汚濁が進行している値ではないと思われるが、河床に蓄積された $\delta^{15}\text{N}$ 値の高い有機物等がまとまった降雨や灌漑用水の大量流入によって定期的に系外に排出されることにより河川水中の $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ と比較して低い値となっている可能性もある。

稲枝地区小河川及び水路の堆積物の $\delta^{15}\text{N}$ 値は水系へのさらなる汚濁負荷によって上昇し、「水路に溜まった泥の回収（泥上げ）」や「河川のゴミ掃除」「水草回収」といった『河川・水路掃除』によって減少するであろう。河川生物や化学的活性は堆積物と水との境界にあるため、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

するため重要であり（山田ら、未発表）、今後地域の水辺の環境の履歴を示す総合的指標として利用できると考えられる。

各種安定同位体比は近年農作物のトレーサビリティとして用いられている⁹⁻¹¹⁾。今回、稲枝地区の稲藁の窒素安定同位体比から水源の違い（琵琶湖湖水：4.8%、愛知川：4.9%、宇曾川：6.3%、高津ら、未発表データ）が明らかになるか試みたが各調査地点周辺の稲わらの窒素安定同位体比は0.2～3.7%であり、各水源より高い値の稲わらは見られなかった。一方、稲枝地区で多く使用されている化学有機肥料の窒素安定同位体比は0.8%であった。また、水田土壌の土壌改良剤及び苗箱肥料の窒素同位体比はそれぞれ3.2%、-0.4%で窒素含有量はともに0.2%以下と低かった。従って稲わら（米）の窒素安定同位体比を支配するのは徳永ら¹²⁾の報告にあるように灌漑用水よりも肥料の同位体比の影響が大きいと推測される。

表4 文録川・不飲川 全域調査の硝酸態窒素の窒素安定同位体比

(‰)

	2003/10/23		2004/2/13		2004/5/8		2004/8/26	
	$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	$\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$	$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	$\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$	$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	$\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$	$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	$\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$
stn. B-1	10.0	-1.0	11.8	2.2	8.1	-1.0	11.6	-1.9
stn. B-2	10.0	0.2	10.4	0.4	6.9	0.0	9.5	0.4
stn. B-3	10.9	-1.8	15.7	-0.6	7.7	-0.8	12.7	0.5
stn. B-4	9.4	-0.1	9.9	0.2	7.2	-0.6	9.8	-0.2
stn. B-5	9.5	-1.8	9.3	-1.5	7.1	-0.6	9.8	-1.3
stn. B-6	7.9	-0.1	8.7	0.6	7.2	0.0	9.2	0.9
	2003/10/24		2004/2/13		2004/5/8		2004/8/26	
	$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	$\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$	$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	$\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$	$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	$\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$	$\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$	$\delta^{18}\text{O-NO}_3^-$
stn. N-1	5.5	-0.7	5.7	-1.4	-	-	6.0	-0.1
stn. N-2	6.8	-0.3	7.2	-0.6	5	-2	6.4	-2.1
stn. N-4	7.4	-0.4	7.2	0.7	5.7	-1.5	7.4	0.7
stn. N-5	7.3	0.0	7.0	-0.5	5.7	-0.4	7.8	0.8
stn. N-6	6.9	-2.1	6.8	0.0	5.2	-1.2	7.4	-0.3
stn. N-7	7.2	-0.6	6.7	1.5	5.1	0.3	7.2	-1.1
stn. N-3	6.8	0.8	7.0	-0.5	4.9	-1.0	7.6	-0.2

2003年10月の調査では各調査地点の水生植物および底生動物（水生動物）を採取し、種の同定を行った（巻末付表2）。この結果、stn. N-3においてクレソンやミズハコベといった比較的水質が良好な箇所に生息する水生植物が採取された。この地点は愛知川の伏流水が湧出しており、地域の方々が協力し合って保全活動を行っている。その結果他地域では近年あまり見られない上記の植物や多種の魚類が生息していた。今後、水生植物および底生動物（水生動物）の種組成および各種同位体比分析による水環境評価の進展が望まれる。

2004年9月に稲枝地区小河川および水路（約40地点）にて水草の採取を行い、種の同定および一部試料について炭素・窒素安定同位体比を測定した（図9）。その結果、最も多くの地点で生息していたコカナダモの炭素・窒素同位体比は水系によって異なる値を示した。これは水系ごとの河川水質環境を反映していると考えられる。これまで大規模な水系においてこういった水草を用いた環境診断の研究例は報告されているが¹³⁾、小水系内における研究例は見られないため今後の水環境評価の新たな指標として期待される。

5. まとめ

本研究により稲枝地区における河川水質環境の

実態が明らかになった。代かき・田植え時期に通常の100倍程度のSSが観測され、一方、田植え終了後は高濃度のSSは観測されず、降雨の影響も殆ど見られなかった。また、各種水質項目及び同位体比を用いた解析の結果、文録川中流域（稲枝駅周辺）において水質汚濁が進行していることが明らかとなり、 $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ が生活排水由来の水質汚濁状況を表す指標として有効であることが示された。

注釈

- 注1) 宇曾川から文録川への導水は文録川上流域圃場への用水供給のためであるため、例年8月末に給水が停止される。
- 注2) 愛知川から不飲川への導水は集落内での地域用水として用いられているため、年中供給されている。
- 注3) 文録川・不飲川・顔戸川の移植進捗状況は水路A-Fの6区画（176圃場）の進捗状況を適用した。
- 注4) 文録川源流（stn. B-1）は（牛ヶ瀬井）より上流にあるため灌漑期においてもstn. B-1からstn. B-2にかけて断流している時もある。
- 注5) 両河川最下流地点（stn. B-6, N-7）は琵琶湖湖水と混合しているため、stn. B-5, N-6を用

表5 文録川・不飲川 全域調査の河床堆積物の炭素・窒素安定同位体比

	TOC (mg/g)	TN (mg/g)	C/N ratio (mol)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
stn. B-1	34.1	1.7	22.6	-27.3	4.6
stn. B-2	no data				
stn. B-3	17.8	1.4	15.1	-26.5	5.5
stn. B-4	7.1	0.6	13.0	-26.9	4.5
stn. B-5	30.7	2.0	17.6	-27.7	4.1
stn. B-6	26.5	1.9	16.2	-27.3	4.4
	TOC (mg/g)	TN (mg/g)	C/N ratio (mol)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
stn. N-1	no data				
stn. N-2	39.3	2.5	17.8	-27.7	6.1
stn. N-4	20.7	1.4	17.6	-28.3	4.7
stn. N-5	31.7	2.3	15.6	-28.3	4.6
stn. N-6	49.9	3.7	15.7	-28.0	4.8
stn. N-7	50.5	3.5	16.8	-27.8	2.7
stn. N-3	53.3	3.5	17.7	-28.8	4.8

いた。尚、stn. B-5, N-6は2003年度及び2004年度 文録川、不飲川水質調査地点と同一である。

引用文献

- 1) 総務省統計局『平成12年 国勢調査』(2001)
- 2) 農林水産省統計部『2000年世界農林業センサス』(財)農林統計協会, 東京 (2001)
- 3) 増田佳昭「水田土地改良と環境保全 - 琵琶湖の農業濁水問題を事例に -」『環境経済・政策学会年報』(2003) 第8号: 139-151
- 4) 渡辺紹裕「琵琶湖集水域における農業用水利用の展開と課題」『環境技術』(1997) 26: 508-512
- 5) 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
- 6) 金木亮一・久馬一剛・岩間憲治・小谷廣通「無代かき移植・育苗箱全量施肥栽培法による表面流出負荷削減効果」『農業土木学会論文集』(1998) 196: 183-188
- 7) 山田佳裕・井桁明丈・中島沙知・三戸勇吾・小笠原貴子・和田彩香・大野智彦・上田篤史・兵藤不二夫・今田美穂・谷内茂雄・陀安一郎・福原昭一・田中拓弥・和田英太郎「しろかき期の強制落水による懸濁物、窒素とリ

表6 文録川・不飲川 全域調査の調査地点周辺圃場の稲わらの炭素・窒素安定同位体比

	TOC (mg/g)	TN (mg/g)	C/N ratio (mol)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	灌漑期の水源
stn. B-1	462	3.9	136.7	-26.6	3.7	主に宇曾川(湧水含む)
stn. B-2	no data					主に宇曾川
stn. B-3	442	6.6	77.8	-27.9	1.3	主に宇曾川
stn. B-4	429	6.5	76.8	-27.3	1.1	逆水灌漑
stn. B-5	458	5.5	96.5	-27.6	0.2	逆水灌漑
stn. B-6	449	7.4	70.3	-28.6	2.2	逆水灌漑
	TOC (mg/g)	TN (mg/g)	C/N ratio (mol)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	灌漑期の水源
stn. N-1	461	7.6	70.4	-27.1	3.7	愛知川(湧水含む)
stn. N-2	477	5.5	99.6	-26.7	2.7	愛知川(湧水含む)
stn. N-4	442	5.6	90.6	-26.5	3.8	愛知川(湧水含む)
stn. N-4	481	8.8	62.9	-26.8	2.9	逆水灌漑
stn. N-5	463	5.6	94.6	-27.6	2.5	逆水灌漑
stn. N-6	447	4.2	122.1	-25.7	1.2	逆水灌漑
stn. N-7	506	7.5	77.7	-27.2	1.6	逆水灌漑
stn. N-3	480	7.1	78.4	-26.5	2.5	愛知川(湧水含む)

ンの流出-圃場における流出実験-」『陸水学雑誌』(2006) 67: 105-112

- 8) 廣畑昌章・小笹康人・松崎達哉・藤田一城・松岡良三・渡辺征紀「熊本県U町の硝酸性窒素による地下水汚染機構」『地下水学会誌』(1999) 41: 291-306
- 9) Kawasaki A, Oda H, Hirata T., Determination of strontium isotope ratio of brown rice for estimating its provenance. *Soil science and plant nutrition*. (2002) 48: 635-640
- 10) 藤田正雄「有機JAS認定産米の $\delta^{15}\text{N}$ 値と食味値による品質評価について」『日本土壌肥料学会誌』(2003) 74: 805-808
- 11) 川崎晃・織田久男「水田土壌と米のストロンチウム同位体比の関係」『日本土壌肥料学会誌』(2005) 76: 579-585
- 12) 徳永哲夫・福永明憲・松丸泰郷・米山忠克「施肥および化学肥料を施肥した水田における $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた水稻の起源別窒素量の推定の試み」『日本土壌肥料学会誌』(2000) 71: 447-453
- 13) Marci L. Cole, Ivan Valiela, Kevin D. Kroeger, Gabrielle L. Tomasky, Just Cebrian, Cathleen Wigand, Richard A. McKinney, Sara P. Grady, and Maria Helena Carvalho da Silva, Assessment of a $\delta^{15}\text{N}$ isotopic method to indicate anthropogenic eutrophication in aquatic ecosystems. *Journal of environmental quality*, (2004) 33: 124-132

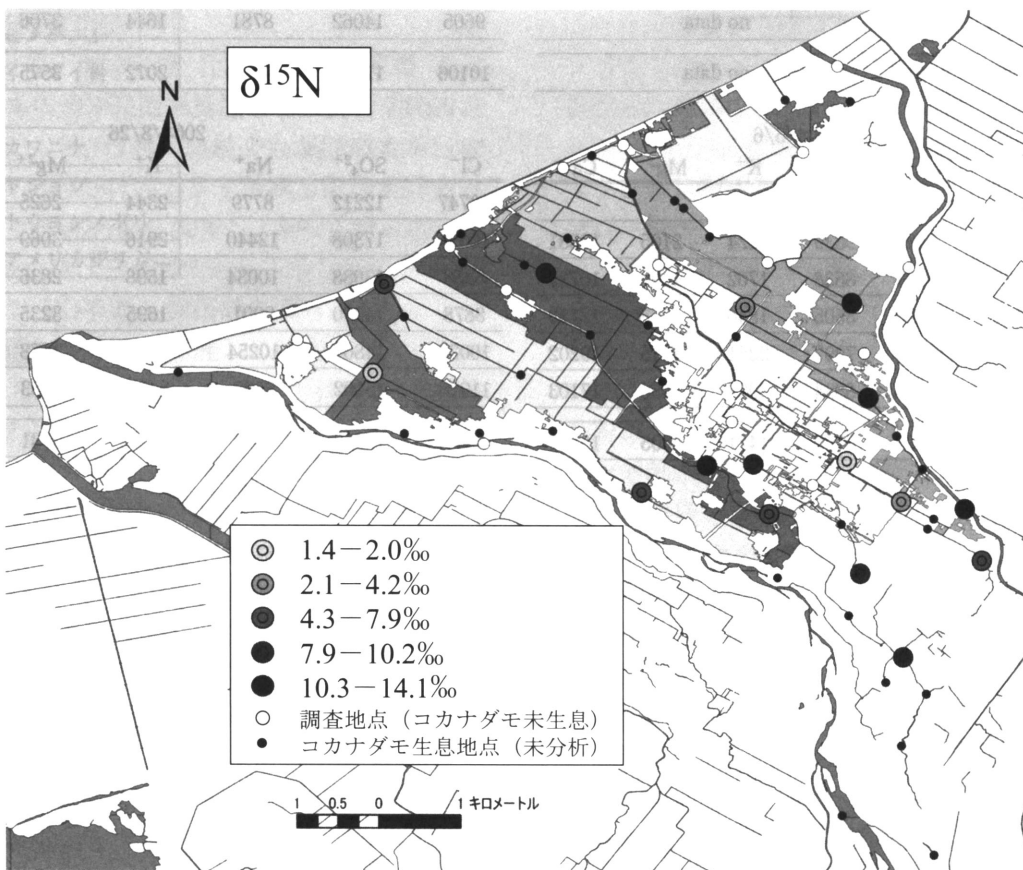
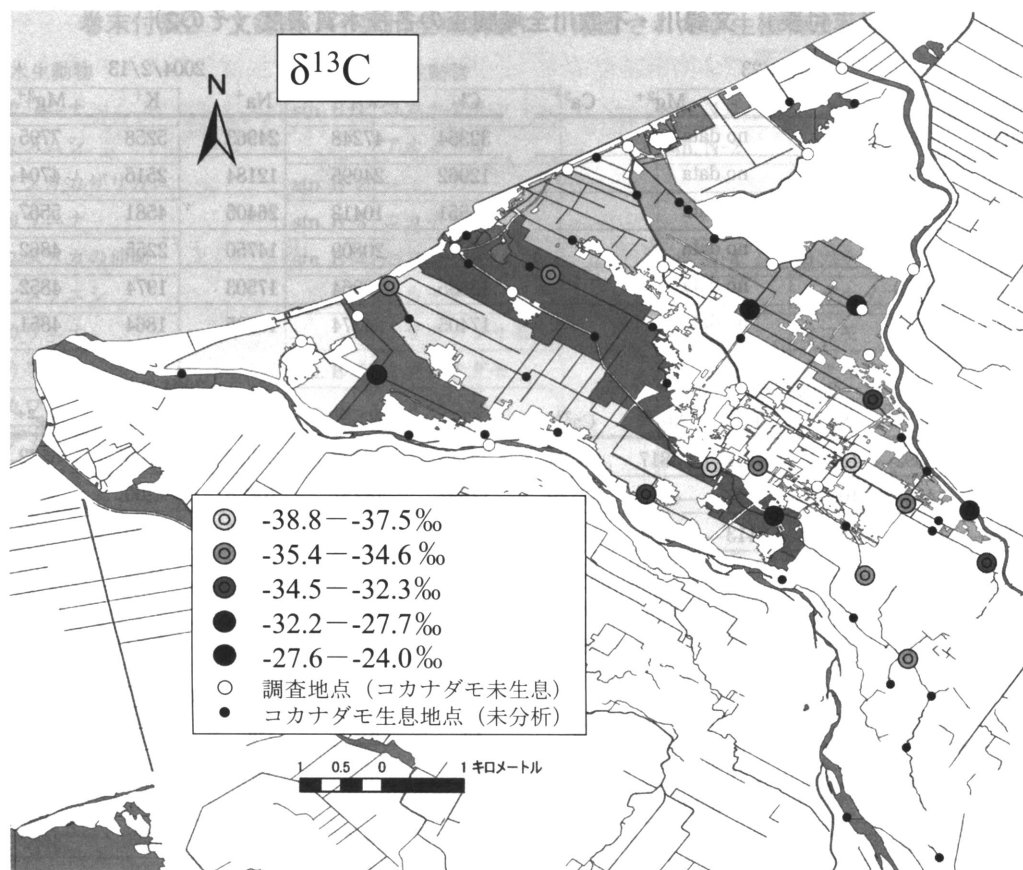


図9 稲枝地区の水草（コカナダモ）の炭素・窒素安定同位体比

巻末付表1 文録川・不飲川全域調査の各種水質濃度（その2）

	2003/10/23						2004/2/13					
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
stn. B-1	20175	39684			no data		32354	47248	24963	5258	7795	44457
stn. B-2	15027	28561			no data		12962	24095	12184	2516	4704	22806
stn. B-3	15796	10463			no data		24551	10412	26405	4581	5567	29316
stn. B-4	14967	22739			no data		15073	20809	14750	2255	4862	22032
stn. B-5	17077	20050			no data		15885	22264	17503	1974	4852	22235
stn. B-6	16206	20687			no data		17405	24274	18735	1864	4851	23881

	2004/5/6						2004/8/26					
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
stn. B-1	13790	19292	11524	3117	3817	23884	25717	32572	24035	6200	6532	27584
stn. B-2	12422	14154	10098	2197	4880	18749	12592	14237	10836	2260	3449	17163
stn. B-3	12183	15396	9990	2113	4984	18652	13552	15926	11765	2590	3782	17792
stn. B-4	11958	17522	10110	2372	4310	17808	11732	18729	12779	2131	4165	19428
stn. B-5	13295	16021	10638	2515	4658	18550	13942	16043	15397	2061	4627	19394
stn. B-6	14576	16173	10284	2902	4406	18855	12916	15387	13396	2057	4089	17264

	2003/10/24						2004/2/13					
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
stn. N-1	9357	13282			no data		4963	9071	4851	1385	1838	18156
stn. N-2	11119	17485			no data		12455	19908	12543	3561	3357	24757
stn. N-4	9680	17116			no data		10562	16074	12790	1545	3692	17754
stn. N-5	8857	16448			no data		9689	15872	10802	1470	3730	17506
stn. N-6	8934	16373			no data		9405	15449	9750	1472	3388	17052
stn. N-7	9965	16495			no data		9605	14062	8781	1644	3706	20316
stn. N-3	9537	17177			no data		10106	17213	10639	2072	3575	20690

	2004/5/6						2004/8/26					
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
stn. N-1			no sample									
stn. N-2	8688	7638	9839	2224	2105	12381	10694	17308	12440	2916	3069	22377
stn. N-4	10389	15993	8638	1762	4298	16725	8258	13988	10034	1598	2836	16345
stn. N-5	10409	15890	8505	1846	4368	17118	8878	14390	9901	1695	3235	17031
stn. N-6	12528	16519	7997	2251	4415	19202	10027	14866	10254	1913	3478	17948
stn. N-7	11196	15156	6834	2923	3458	17103	11918	15102	9537	2434	3583	19194
stn. N-3	9600	14929	8700	1421	4305	18281	5946	11649	5974	1819	2631	16456

巻末付表2 文録川・不飲川全域調査にて確認された水生植物及び水生動物

水生動物	
stn. B-1	カワニナ
	ミズムシ
	アメリカザリガニ
stn. B-2	カワニナ
	ユスリカの仲間
stn. B-3	ヒメタニシ
stn. B-4	カワニナ
stn. B-5	カワニナ
stn. B-6	カワニナ
	アメリカザリガニ

stn. N-1	アメリカザリガニ
stn. N-2	ドジョウ
	トウヨシノボリ
	アメリカザリガニ
	カワニナ
stn. N-4	—
stn. N-5	カワニナ
	アメリカザリガニ
stn. N-6	カワニナ
	ヒメタニシ
	ドンコ
stn. N-7	カワニナ
	ヒメタニシ
	イシガイ科

stn. N-3	カワニナ
	ドジョウ
	トウヨシノボリ
	アメリカザリガニ

水生動物	
stn. B-1	コカナダモ
	アオミドロ
stn. B-2	—
stn. B-3	コカナダモ
stn. B-4	センニンモ
	コカナダモ
	ホザキノフサモ
stn. B-5	オオカナダモ
	ヒメコウホネ
	マコモ
	エビモ
	ツルヨシ
stn. B-6	ヒメコウホネ
	マコモ
	オオカナダモ

stn. N-1	アオミドロ
stn. N-2	コカナダモ
	ナガエミクリ(地上茎)
	ナガエミクリ(水中茎)
stn. N-4	コカナダモ
	ホザキノフサモ
	マコモ
	ミクリ
stn. N-4(横)	ホテイアオイ
stn. N-5	オオカナダモ
	ヒメコウホネ
	ツルヨシ
stn. N-6	—
stn. N-7	オオカナダモ
	ヒメコウホネ
	センニンモ
	ホザキノフサモ
	エビモ
	マコモ
	ミズニラ
	ミズハコベ
	クレソン
	ナガエ?ミクリ(水中茎)