

〔農工研技報 207〕
〔53～62, 2008〕

小流域の水田灌漑ブロックにおける農業排水路中のZn濃度の変化

人見忠良*・吉永育生**・三浦麻*・濱田康治*・高木強治*

目 次	
I 緒言	53
II 調査地区	54
III 調査方法	55
IV 水田灌漑ブロックにおける水量および水質測定結果	55
1 期間 I	55
2 期間 II	56
3 期間 III	57
V Zn濃度と濁度との相関	57
VI 降雨時のZnの濃度および流出負荷量の変化	58
VII 水管理の異なる期間におけるZn濃度の変化	59
VIII 結言	60
参考文献	60
Summary	62

I 緒言

亜鉛 (Zn) は生体中に多く存在し、タンパク質合成にかかわる働きを有しているため生命活動にとって必須元素の1つである。一方でZn化合物は人への毒性は弱い、環境水中に過剰に存在することで水生生物に毒性を示すことが知られている (環境省, 2003a)。そのためZnによる水生生物への影響を抑制するため環境省は新たに「生活環境の保全に関する環境基準」の中の「水生生物の保全に係わる水質環境基準」としてZn濃度にかかる基準値を定めた。淡水域ではZn濃度は $30 \mu\text{g/L}$ 以下という非常に微量な濃度で基準値が定められている。この基準値は魚類の餌生物であるEpeorus属 (ヒガタカゲロウ類) の慢性毒性値 (4週間の成長に対する無影響濃度) から設定された。環境省では、この基準値に関して水生生物の集団の維持を可能とする観点から基本的には慢性影響を防止する上で必要な水質水準を定めるものとして、水質の評価は年間平均値で行うとしている (環境省, 2003b)。

Znは反応性が高く、かつ両性元素であるため、多くの化合物を形成する。化学物質排出把握管理促進法 (PRTR法) では、常温で水に1%以上溶けるZn化合物が「亜鉛の水溶性化合物」として位置づけられ、排出・移動量推定の対象となっている。硫酸亜鉛および塩化亜鉛は代表的なZnの水溶性化合物である。一方、酸化物、炭酸塩、リン酸塩、有機錯体は一般に水に不溶である。空気中

へ排出されたZnは、水溶性化合物の形で存在する場合と解離して亜鉛イオンとして存在する場合がある。そのほか非水溶性のZn化合物は土壌や水底の泥や空気中にも分布していると予想される (環境省, 2006)。Znは堆積物に吸着する傾向があるため、環境水中に排出されたZnは徐々に底質に移行する。通常土壌中に存在するZnの移動性は低いとされている ((独) 産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター, 2007)。

河川におけるZn負荷量の変動は降雨に起因する河川流量変化と相関を有していることが報告されている (海老瀬ら, 2001)。一方、下水処理水の放流先付近の河川では比較的高いZn濃度が検出されたことが報告されている (新矢ら, 2005)。都市部ではZnの動態に人為的な水利用が影響を及ぼしていると考えられる。

農業地域におけるZn動態に関する研究はZnを汚染物質として扱い、作物の生育環境の保全という観点からZnの農地土壌における蓄積や溶出特性に関する研究がなされてきた。Znを含む重金属類の大部分は作物生育を抑制する働きを有するため、直接的な被害を営農活動にもたらすと考えられている。飯村ら (1978) は水田土壌中のZn移動をイオン交換現象や土壌の酸化還元との関係から検討しており、國松ら (1998) や服部 (1998) は重金属濃度の高い下水処理水や汚泥を農地還元した場合のZnの農地土壌における蓄積や溶出特性について検討している。また農業用水のZn濃度の基準値は「農業用水の水質基準 (水稲用)」において $500 \mu\text{g/L}$ 以下と定められている。

「水生生物の保全に係わる水質環境基準」や「農業用水の水質基準 (水稲用)」で定められている基準値はいずれも水生生物や水稲の生育に急性的影響を及ぼす濃度ではない。しかし、これらの基準値は環境水中のZn濃度の維持目標値として参考とすべき値である。

* 農村環境部水環境保全研究室

** 九州沖縄農業研究センター南西諸島農業研究チーム

平成 19 年 11 月 30 日受理

キーワード: 亜鉛, 農業排水路, 水田灌漑ブロック, 水生生物, 水管理

農業用水は全水使用量の約7割を占め、水田灌漑用水は農業用水の9割以上を占めるため（国土交通省、2007）、水田における水利用は地域における環境水の動態に多大な影響を及ぼしていると考えられる。また水田農業地域における水・物質動態は耕作者による代かきや田植え、中干し等の営農活動や降雨パターン等の自然現象が組み合わさることで複雑な様相を呈し、多分に地域性を有している。農業地域における地表水のZnの動態に関する知見は現段階では少ないが、濱田ら（2007）は低平クリーク地帯に位置する農地ブロックからは降雨時に晴天時の13.2倍のZnの排出負荷が発生したと報告している。今後、水生生物保全の観点から水域における非常に微量なZn濃度の維持を目標とした管理方法が模索されるであろう。農業地域におけるZnの動態に関する知見を取得することは水質管理の基礎データとして重要性は高い。本報では水田灌漑ブロック内の農業排水路を対象としたZn濃度の連続観測結果について報告する。連続観測は水管理が大きく異なる3期間（非灌漑期間、代かき・田植え期間および湛水期間）について行った。

II 調査地区

本調査はつくば市Y地区に位置する水田灌漑ブロック内の農業排水路を対象とした。Fig.1に調査対象である農業排水路、水田灌漑ブロックおよび農業排水路末端の集水域を示す。農業排水路は面積53,300m²の水田灌漑ブロックの中央を流下しており、水田灌漑ブロック末端であるP_o地点における集水域の面積は641,000m²である。水田灌漑ブロックは周囲を台地に囲まれた谷津田であるが、一部、畑地（大豆）や芝畑もみられた。水田灌漑ブロック東側の斜面には森林が、その上部の台地には主に芝畑が広がっていた。水田灌漑ブロック西側は主に芝畑に利用されていた。台地上では一部、野菜畑もみられたが芝畑に比較して微小な面積であった。Table 1に航空写真、踏査および土地改良区への聞き取りにより推定した集水域内の土地利用面積を示す。芝畑が全集水域面積の63%を占めており、最大の面積を有していた。集水域内の宅地では下水道が整備されていないため生活排水は浄化槽により処理される。処理された生活排水は集水域外へ流下する排水路に接続しているため、農業排水路への生活排水の混入はない。水田灌漑ブロック内では水田が最大の土地利用面積を有していた。

水田灌漑ブロックへの灌漑水は近傍のK河川のP_i地点

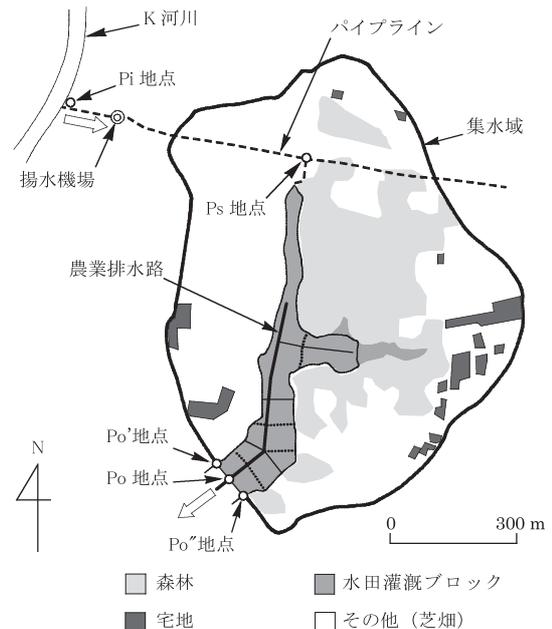


Fig.1 調査対象地区概略図

Investigation area

で取水され、パイプラインを経由して水田灌漑ブロックの上流端であるP_s地点に供給される。P_i地点上流には水田が広がっており、P_i地点より取水したK河川の水には水田排水が混入していたと考えられる。P_s地点からは開水路を経由して各水田圃場に灌漑水が供給される。開水路はほとんどがコンクリート製のU字工の水路であったが一部に土水路もみられた。各水田圃場からの排水および灌漑水の余剰水は水田灌漑ブロック中央を流下する農業排水路に集水され流下する。但し供給された灌漑水の一部はこの水田灌漑ブロックで利用されずに用水路の末端であるP_o'地点およびP_o''地点から流下する。農業排水路は幅1mの3面コンクリート張の水路である。水深が深く流速が遅い箇所には水路の底に土砂が堆積していることが確認された。水田灌漑ブロック内に存在する23筆(25,500m²)の水田のうち6筆(7,800m²)には暗渠が付設されており、全ての暗渠排水は農業排水路に直接排水される。暗渠の開閉は耕作者の判断で行われていた。聞き取り調査から暗渠は非灌漑期間では開放、灌漑期間では閉鎖する管理が行われていたと推定される。また、排水路側壁のコンクリートの継ぎ目や、側壁を貫通している穴から土壌浸透水が排水路へ流出していた。暗渠や排水路側壁の継ぎ目や穴からの流出水は年間を通して確認され、特に灌漑期に流出水量が多かった。なお、側壁を

Table 1 集水域の土地利用面積

Land use of the catchment area

土地利用	森林	宅地	水田灌漑ブロック				その他 (芝畑)	計
			水田	畑地 (大豆)	芝畑	休耕田		
面積 (m ²)	163,300	23,700	25,500	4,200	3,100	20,500	400,700	641,000
面積率 (%)	25	4	4	1	0	3	63	100

貫通している穴は水路底から14cmおよび43cmの高さに流下方向に35cm間隔で開いており、側壁の構造的安定性を維持するための水抜き用のものであると考えられる。東側の斜面林と水田灌漑ブロックとの境界からは年間を通して湧水が確認され、農業排水路に流入していた。

Ⅲ 調査方法

調査は非灌漑期間（期間Ⅰ）、代かき・田植え期間（期間Ⅱ）および湛水期間（期間Ⅲ）の3期間に分けて実施した。期間Ⅰ（2007年3/20-3/27）は揚水機場が稼働しておらずPs地点から水田灌漑ブロックへ灌漑水は供給されていなかった。そのため地表流出が生じたと考えられる降雨時以外の農業排水路内の水は暗渠や排水路側壁の継ぎ目や穴から農業排水路に流出した水や水田灌漑ブロック東側境界からの湧水であり、つまり集水域から地下水経由で農業排水路へ流出した水である。期間Ⅰでは水田灌漑ブロック末端であるPo地点にウォーターサンプラー（ISCO, 6700型）を設置し自動採水を行った。期間Ⅱ（2007年4/13-5/6）は水田灌漑ブロックへ灌漑水が供給される直前から代かき・田植え期間までである。4/18よりPs地点から水田灌漑ブロックへ灌漑水が供給され、水田からの排水が農業排水路へ流入する。灌漑期間Ⅱでは灌漑水の河川からの取水地点であるPi地点およびPo地点にそれぞれウォーターサンプラー（ISCO, 3700型；ISCO, 6700型）を設置し、自動採水を行った。期間Ⅲ（2007年8/2-8/10）は中干し後の湛水期間であり、この地区の水田では間断灌漑を実施している期間にあたる。期間Ⅲでは期間Ⅱと同様にPi地点およびPo地点にウォーターサンプラーを設置し、自動採水を行った。ウォーターサンプラーによる採水の間隔はPi地点：8時間（h）、Po地点：4hとした。水質測定項目はZn濃度および濁度である。Zn濃度はマイクロウェーブ前処理装置（Milestone General K.K., Ethos TC）を用いて加圧式酸分解を実施後、誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS; Parkin Elmer Inc., Elan Drc-II）で測定した。濁度は濁度計（ANALITE, MODEL156）で測定した。なお、本調査で使用したICP-MSの検出限界（JIS K 0133）は0.014 $\mu\text{g/L}$ であった。

Ps地点には灌漑水量調整のためのバルブが設置されており、管理者が水田灌漑ブロックでの灌漑水の需要量に応じて流量を調整していた。流量が調整される度にPs地点直下における灌漑水の流量を管理者が測定し、揚水機場の運転時間とPs地点直下における流量から灌漑水量を推定した。Po地点にはアクリル製の四角セキを設置し、圧力式水位計によりセキの越流水深を連続測定した。Po地点における農業排水路内流量は越流水深からセキの公式により求めた。また全期間にわたりPo地点に1転倒雨量0.5mmの転倒マス型雨量計（太田計器製作所）を設置し、降雨量を測定した。

Ⅳ 水田灌漑ブロックにおける水量および水質測定結果

1 期間Ⅰ

Fig.2にPo地点における流量（流出水量）、降雨量、Zn濃度および濁度の変化を示す。無降雨時における流出水量は18.3-60.3 m^3/h であり、降雨流出の影響が無いと考えられる期間はほぼ一定であった。期間Ⅰでは3/25 5:00から3/25 14:00にかけて15.0mmの降雨が生じた。この降雨により流出水量は急激に増大し、ピーク流量は107.2 m^3/h であった。その後流量は緩やかに減少し、ピーク流量を示した時点から約42h後には降雨前の流量と同程度まで低減した。

無降雨時におけるZn濃度は8.9-36.4 $\mu\text{g/L}$ の間で変化し、平均値：18.4 $\mu\text{g/L}$ 、標準偏差：6.4 $\mu\text{g/L}$ であった。3/25の降雨時は一時的に濃度が上昇し、72.6 $\mu\text{g/L}$ （3/25 12:00）を示し、無降雨時に比較して高いZn濃度を示した。その4h後である3/25 16:00の時点では15.2 $\mu\text{g/L}$ を示し、無降雨時と同程度の濃度まで低下した。無降雨

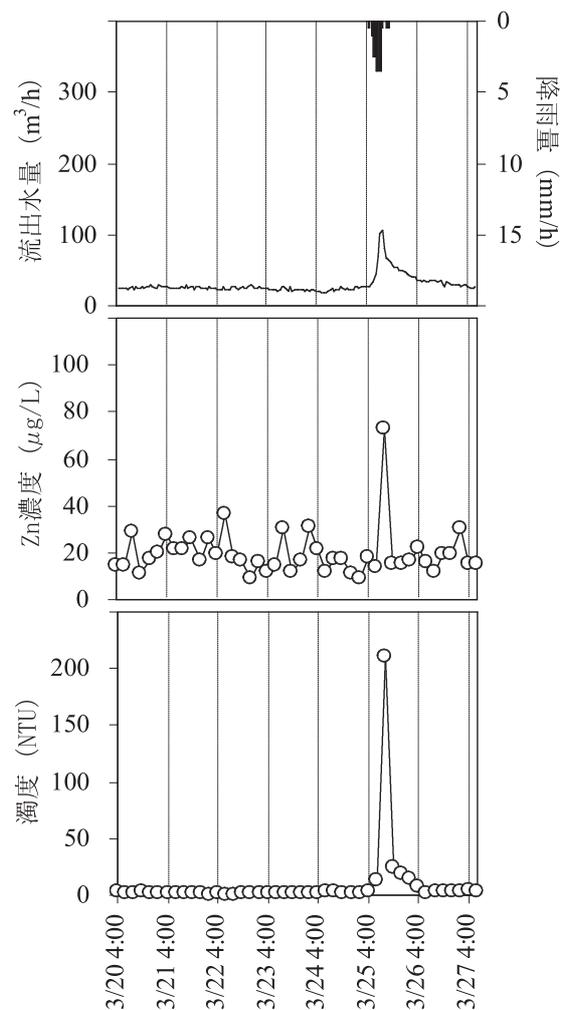


Fig.2 流出水量、降雨量、Zn濃度および濁度の経時変化（期間Ⅰ）

The fluctuation of discharge, precipitation, zn concentration and turbidity for period I

時における濁度は0.5-23.5NTUの間で変化し、平均値：3.1NTU、標準偏差：4.7NTUであった。3/25の降雨時には濁度は急激に上昇し、210.0NTU (3/25 12:00) のピーク値を示し、その後濁度は急激に低下し、4h後には23.5NTUを示した。

降雨時におけるZn濃度および濁度はいずれも急激な上昇と低下を示したことから、降雨流出に伴う農地表層土壌の流出や、排水路内流量の増大による土砂等の堆積物のフラッシュがZn濃度を上昇させたと考えられる。水田灌漑ブロック内には一部土水路も存在し、降雨による土壌浸食を被りやすい箇所が存在した。また既述のように農業排水路内の流速の遅い箇所には土砂が堆積していた。流量の増大が排水路内の掃流力を増大させ一時的な土砂移動を引き起こしたと考えられる。

2 期間II

Fig.3にPs地点における期間IIの灌漑水量を示す。灌漑水の供給は4/18より始まり、徐々に増加し4/25-4/27にかけて最大値(2,570m³/day)を示した後、徐々に減少した。全灌漑期間(4/18-8/25)の平均灌漑水量は1,342m³/dayであり、4/25-2/27の期間は全灌漑期間の平均灌漑水量に比較して日当たりの灌漑水量が多かった。代かきは4/25より始まり、調査終了日である5/6の時点では面積で75%の水田が代かきおよび田植えを終了していた。4/25-4/27にかけて灌漑水量が比較的多かったのは、代かき前の土壌に発達した亀裂からの土壌浸透量が多く(田淵ら, 1992)、多量の灌漑水が必要であったためであると考えられる。期間IIのPs地点における総灌漑水量は29,658m³であった。

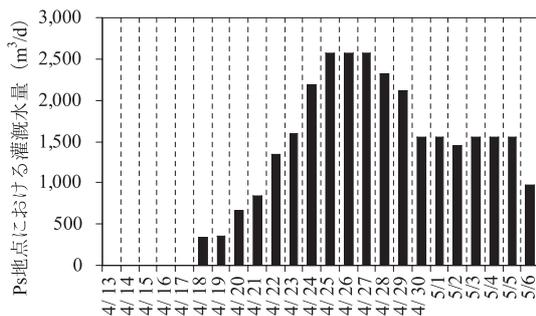


Fig.3 Ps地点における灌漑水量 (期間II)

The amount of irrigation water at point Ps for period II

Fig.4にPo地点における流量(流出水量)、降雨量、Pi地点およびPo地点におけるZn濃度、濁度の変化を示す。期間IIでは降雨は8回生じ(2降雨間の無降雨時間が6h以内の場合は連続した1降雨とした)、総降雨量は76.0mmであった。Po地点における流量の降雨に対する反応は降雨により異なった。4/14 2:00-4/14 5:00の期間で生じた降雨強度0.5mm/hの降雨では農業排水路内流量の上昇は5.5m³/hと小さかった。一方で4/24 21:00-4/25 19:00、4/28

15:00-4/28 16:00、5/1 13:00-5/2 17:00の期間に生じた降雨は降雨強度が大きく(最大でそれぞれ3.5mm/h、7.5mm/h、4.5mm/h)農業排水路内の流量は急激に増大した。Ps地点に灌漑水が供給され始めた直後である4/18 8:00-4/18 12:00の期間では農業排水路内の流量は非常に高い値(78.6-169.0m³/h)を示した。これはパイプラインや用水路内の土砂等による詰まりを除去するために管理者が灌漑水量を多めに調整したためである(農家からの聞き取りによる)。但し、この期間の灌漑水量は測定していないため、Fig.3には反映されていない。無降雨時の農業排水路内の水量は時期により異なり、4/21より徐々に増加し4/26-4/27に最大を示し、その後、徐々に減少する傾向を示した。この傾向は灌漑水の供給パターンと近似しており、無降雨時の農業排水路内流量はPs地点における灌漑水量に大きく依存していたと推定される。

灌漑水が供給される前の期間(4/12-4/18)ではPo地点

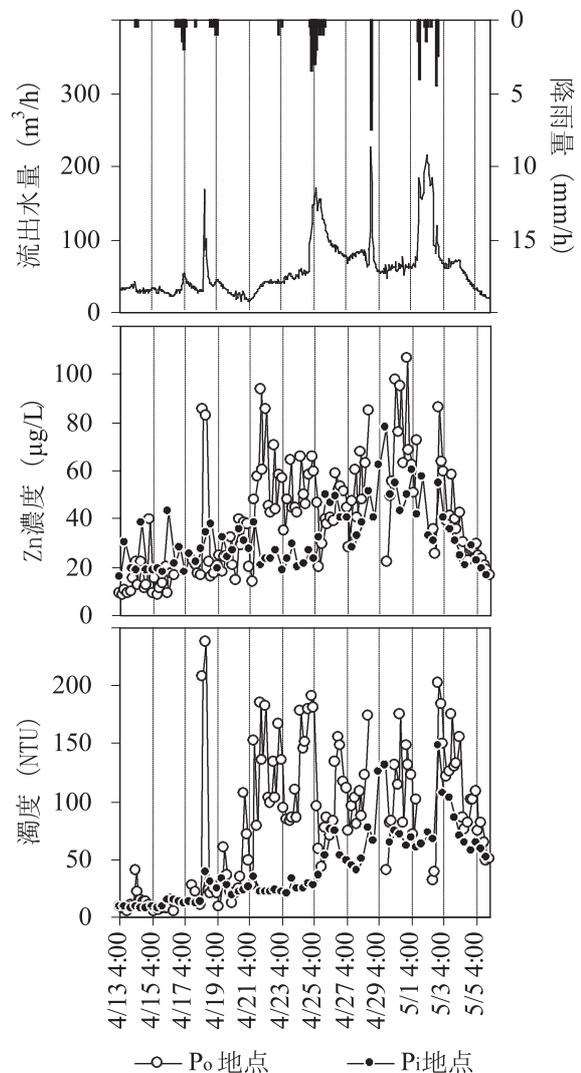


Fig.4 流出水量、降雨量、Zn濃度および濁度の経時変化(期間II)

The fluctuation of discharge, precipitation, Zn concentration and turbidity for period I

がPi地点に比較してZn濃度は低く、濁度は同程度であった。灌漑水が供給された直後である4/18に一時的にZn濃度および濁度がPo地点で非常に高い値を示した。既述のように、この期間は土砂等の詰まりを除去するため灌漑水を多量に供給している。そのため用排水路内の堆積物がフラッシュされたと考えられる。この一時的なZn濃度および濁度の上昇が生じてから代かきが実施される前の期間（4/18-4/24）では代かき作業に伴う濁水は発生していなかったと考えられる。しかしPo地点における4/21-4/24の期間の平均値はZn濃度：55.0 μg/L、濁度：126.7NTUであり、それ以前（4/18-4/20）の平均値（Zn濃度：24.1 μg/L、濁度：34.3NTU）に比較して明らかな濃度上昇が確認された。この地区では肥料成分の流亡を防ぐ為、灌漑初期の田面水の排水は極力避ける水管理が励行されている。そのため灌漑初期であるこの期間に田面水が排水されたとは考えにくい。一方で4/21以降、灌漑水量の増大とともにPo地点における流量も増加した。ゆえに農業排水路内の掃流力が上昇したため排水路内の土砂がフラッシュされ、Po地点の濃度上昇が生じたと推定される。4/25-5/6の期間は代かき及び田植えが実施された期間である。Po地点はPi地点に比較してZn濃度および濁度は常に高い値を示した。なお、この期間ではPi地点におけるZn濃度および濁度は他の期間に比較して高い値を示した。これは、この期間では4/24 21:00-4/25 19:00、4/28 15:00-4/28 16:00、5/1 13:00-5/2 17:00に降雨強度の大きい降雨が連続して生じており、またK河川上流域にも水田が広がっているため、降雨流出や代かき作業に伴い発生したと考えられる懸濁性物質がK河川へ連続的に流入したためであると推定される。

3 期間Ⅲ

Fig.5にPs地点における灌漑水量を示す。期間Ⅲにおける総灌漑水量は10,862m³であり、平均灌漑水量は1,207m³/dayであった。期間Ⅲにおける灌漑水量は灌漑期間の平均灌漑水量（1,342m³/day）に近い値を示した。Fig.6にPo地点における流量（流出水量）、降雨量、Pi地点およびPo地点におけるZn濃度、濁度を示す。期間Ⅲでは降雨は2回生じ、総降雨量は7.0mmであった。8/2 9:00および8/5 18:00-8/5 20:00にそれ

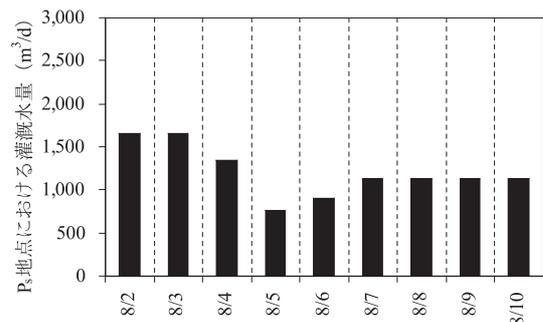


Fig.5 Ps地点における灌漑水量（期間Ⅲ）

The amount of irrigation water at point Ps for period III

ぞれ、1.5mmおよび5.5mmの降雨が発生した。8/5の降雨は降雨量、降雨強度いずれも8/2に比較して大きく、降雨に伴う流出水量の上昇幅も大きかった。

無降雨時におけるZn濃度はPi地点：12.0-57.1 μg/L、Po地点：15.2-61.0 μg/Lであり、Pi地点およびPo地点はいずれも明確な変動傾向を示さなかった。8/2 9:00の降雨ではPo地点においてはZn濃度の上昇は確認されなかった。8/5 18:00-8/5 20:00の降雨ではPo地点においてZn濃度の上昇が確認され、75.8 μg/Lのピーク値を示した。濁度は期間Ⅲを通してPi地点に比較してPo地点で高い値を示し、またPo地点での変動幅が大きい傾向を示した。降雨時の濁度の変化はZn濃度と同様に8/2 9:00の降雨では変化はみられず、8/5 18:00-8/5 20:00の降雨において一時的な濃度の上昇が確認され、113.2NTUのピーク値を示した。

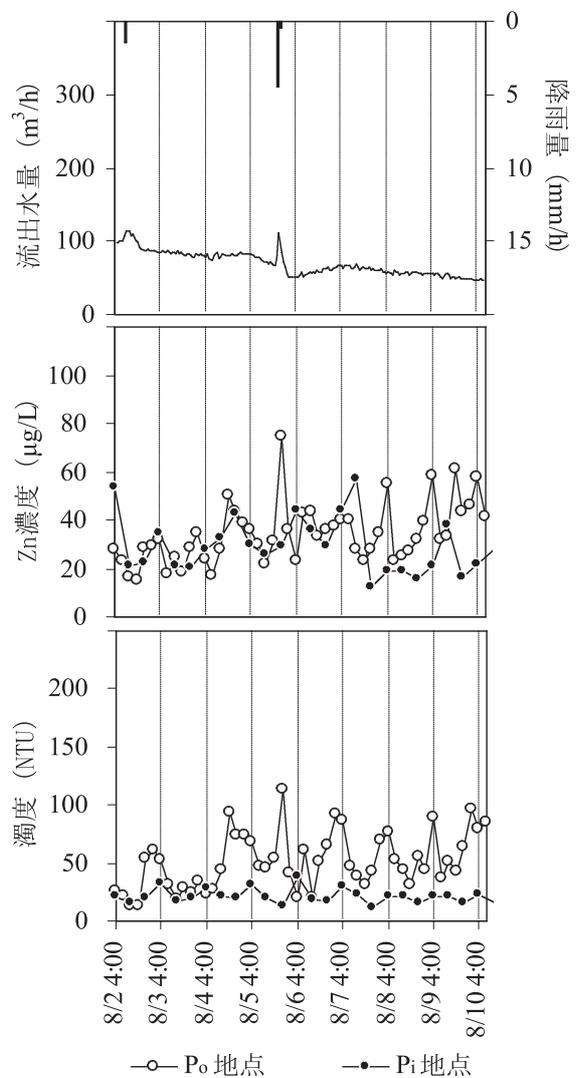


Fig.6 流出水量、降雨量、Zn濃度および濁度の経時変化（期間Ⅲ）

The fluctuation of discharge, precipitation, Zn concentration and turbidity for period III

V Zn濃度と濁度との相関

Fig.7-Fig.9にPo地点における濁度とZn濃度の関係を示す。期間 I では降雨時に採取した3/25 12:00のサンプルのZn濃度および濁度はそれぞれ72.6 $\mu\text{g/L}$, 210.0NTUであり、他の期間に比較して非常に高い値を示した。そのため**Fig.7**では3/25 12:00の値はグラフ内にプロットされていない

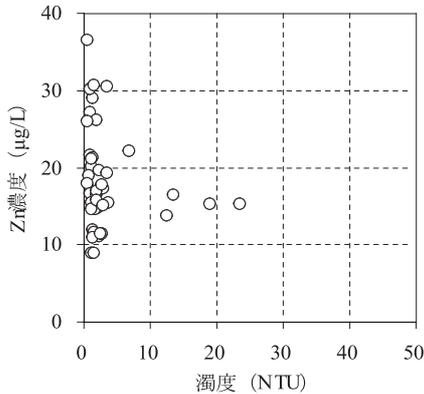


Fig.7 Po地点における濁度とZn濃度の関係 (期間 I)
The relationship between turbidity and Zn concentration at point Po for period I

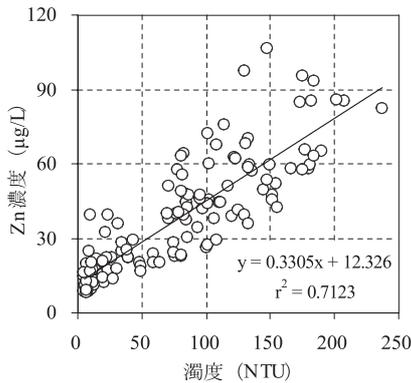


Fig.8 Po地点における濁度とZn濃度の関係 (期間 II)
The relationship between turbidity and Zn concentration at point Po for period II

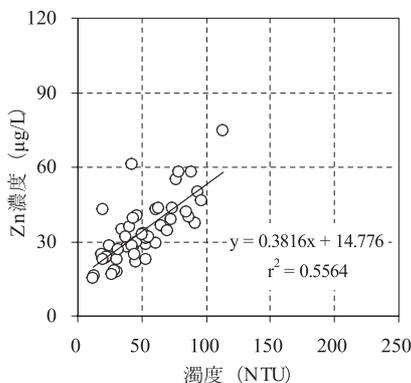


Fig.9 Po地点における濁度とZn濃度の関係 (期間 III)
The relationship between turbidity and Zn concentration at point Po for period III

い。期間 I ではZn濃度, 濁度いずれも期間 II や期間 III に比較して低濃度側の範囲で集合しており, 明確な相関はみられなかった。しかし期間 I における濁度とZn濃度の相関の変動範囲は期間 II や期間 III におけるそれらの相関の変動範囲の中に含まれていた。期間 II および期間 III では濁度とZn濃度は弱い正の相関を示した (期間 II : $r^2=0.7123$, 期間 III $r^2=0.5564$)。ゆえに期間 II および期間 III では農業排水路中のZnの主要な形態は懸濁態であったことが推定され, 土粒子に吸着された状態等で移動したZnの割合が高かったと推定される。期間 I では濁度とZn濃度の相関はみられなかったが, 濃度の変動範囲が期間 II や期間 III と同程度であったことから, 期間 I と期間 II および期間 III の間で顕著な形態の変化はなかったと推定される。

VI 降雨時のZnの濃度および流出負荷量の変化

降雨時のPo地点におけるZnの濃度および流出負荷量の変化を検討する。**Fig.10**に3/25 5:00-3/25 14:00に生じた降雨時の降雨量, Po地点における流量 (流出水量), Zn濃度, 濁度およびZn流出負荷量の変化を示す。なおZn流出負荷量はPo地点における採水時の流出水量とZn濃度の積から求めた。3/25 5:00-3/25 14:00の降雨は非灌漑期間である期間 I に生じた降雨であり, 総降雨量は15.0mmであった。3/25 5:00より降雨が発生したが3/25 8:00の時点ではZn濃度および濁度の上昇は確認されず, 降雨に対する水質変化の応答時間にタイムラグが生じていた。4h間隔のZn濃度の最大値は3/25 12:00時点にお

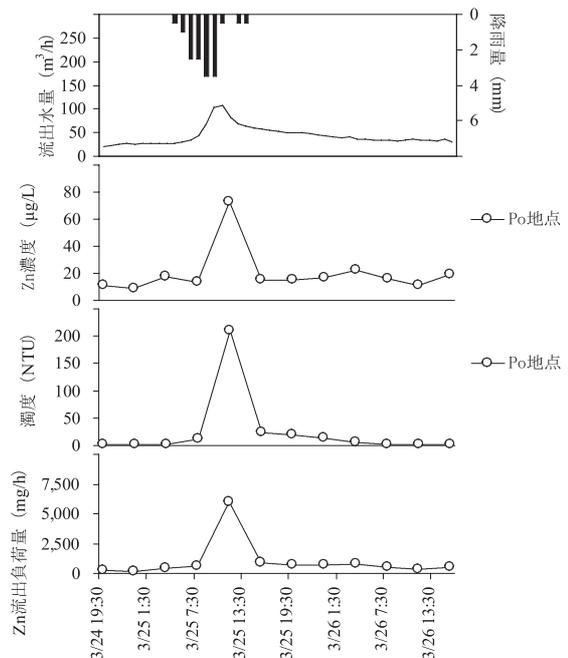


Fig.10 降雨時の流出水量, Zn濃度, 濁度およびZn流出負荷量の経時変化 (期間 I)

The fluctuation of discharge, Zn concentration, turbidity and Zn load during a rainfall period on period I

ける $72.6 \mu\text{g/L}$ であり、その4h後には降雨前と同程度の濃度 ($15.2 \mu\text{g/L}$) に低下した。濁度もZn濃度と同様に3/25 12:00に最大値 (210.0NTU) を示し、その4h後には降雨前と同程度の値 (23.5NTU) に低下した。Zn流出負荷量の変化はZn濃度や濁度と同様の傾向を示し、3/25 12:00に最大値 ($5,987\text{mg/h}$) を示し、その4h後には、降雨前と同程度の流出負荷量 (871mg/h) に低下した。

Fig.11に4/24 21:00-4/25 19:00に生じた降雨時の降雨量、Po地点における流量 (流出水量)、Zn濃度、濁度およびZn流出負荷量の変化を示す。4/24 21:00-4/25 19:00の降雨は灌漑水が供給され始めた期間IIに生じた降雨であり、総降雨量は 26.0mm であった。降雨は4/24 21:00より発生し、4/25 19:00まで断続的に続いた。降雨が長時間続いたため流出水量のピーク幅は広く、ハイドログラフの減少も緩慢であった。4h間隔のZn濃度は4/25 0:00までは増加傾向を示し $65.2 \mu\text{g/L}$ のピーク値を示した。その後、Zn濃度は急激に低下し、4/25 12:00には $20.0 \mu\text{g/L}$ を示した。4/25から4/27にかけて灌漑水は連続して供給されていたが、4/25 12:00-4/26 8:00の期間はZn濃度はPi地点に比較してPo地点で低い値を推移した。濁度もZnと同様に4/25 0:00以降急激に低下した。この期間では降雨流出に伴う水質濃度上昇効果よりも降雨による希釈効果が卓越していたと推定される。降雨開始時の農業排水路内の水質濃度は、灌漑水の供給によると考えられるフラッシュ効果により既に高く (Zn濃度： $58.2 \mu\text{g/L}$ 、濁度： 179.7NTU)、降雨流出水の水質濃度を卓越していたと考えられる。また降雨前の連続的な灌漑水の供給により農業排水路内の堆積物が既に下流へ洗い流

されていたため、降雨流出に伴う堆積物の移動量が少なかったと推定される。Zn流出負荷量は4/25 4:00にピーク値 ($9,345\text{mg/h}$) を示し、その後Zn濃度の急激な低下とともに減少し、ピークから8h後の4/25 12:00の時点では降雨前と同程度の値 ($3,060\text{mg/h}$) を示した。この降雨は3/25 5:00-3/25 14:00に生じた降雨に比較して流出水量の増水期間が長かったため、Zn流出負荷量の増大期間も長かった。しかしZn濃度が降雨途中で低下したため、Zn流出負荷量の増大期間は増水期間に比較して短期間で終了した。

Ⅶ 水管理の異なる期間におけるZn濃度の変化

水田における代かき・田植え作業や湛水管理が農業排水路のZn濃度に影響を及ぼすと考えられる。ここでは降雨流出の影響が生じていない平常時におけるZn濃度を期間別に比較する。Ⅵ章で検討したように降雨時の農業排水路内のZn濃度は降雨量や降雨強度、降雨の継続時間により異なる。しかし降雨パターンによらず直接流出が生じていると考えられる期間内でZn濃度の変化は終了すると考えられることから、降雨による直接流出期間を除いた期間を平常時と仮定する。

既述のように本調査対象である農業排水路へは暗渠や排水路側壁の穴や継ぎ目から地下水の流出が確認された。これら地下水の流出量は各圃場における灌漑水の供給パターンや土壌中の亀裂の発達状況により変化すると考えられる。またPs地点における灌漑水の供給パターンや圃場における田面水の落水等の水管理により農業排水路内の流量は不定時に変化する。本調査では、これら農業排水路内の流量に影響を及ぼす要因を定量的に把握するデータは取得していない。そこでハイドログラフの低減部を対数プロットすることで変曲点をグラフから推定し (日野ら, 1993)、降雨開始時より変曲点までを直接流出期間とした。

期間は灌漑水が供給されていない期間Iを非灌漑期1とし、期間IIは①灌漑水が供給される前の非灌漑期2、②灌漑水が供給されてから代かきが始まる前、③代かき・田植え期間の3期間に分割した。期間IIIは湛水期間とした。灌漑水の供給開始直後の4/18 8:00-4/18 12:00の期間はパイプラインや用水路内の詰まりを除去するために灌漑水量を多めに調整した期間であるが、Ps地点における灌漑水量が不明であるため比較対象期間から除外した。

Table 2に平常時におけるPs地点およびPo地点の平均流量、流量の重み付き平均Zn濃度および平均濁度を示す。なお、ここで示した平均流量は採水時におけるものである。非灌漑期1および非灌漑期2ではPo地点のZn濃度および濁度は他の期間に比較して小さかった。灌漑水の供給開始～代かき前および代かき・田植え期間ではPs地点に比較してPo地点で顕著なZn濃度の上昇がみられた。灌漑水の供給開始～代かき前および代かき・田植え期間にお

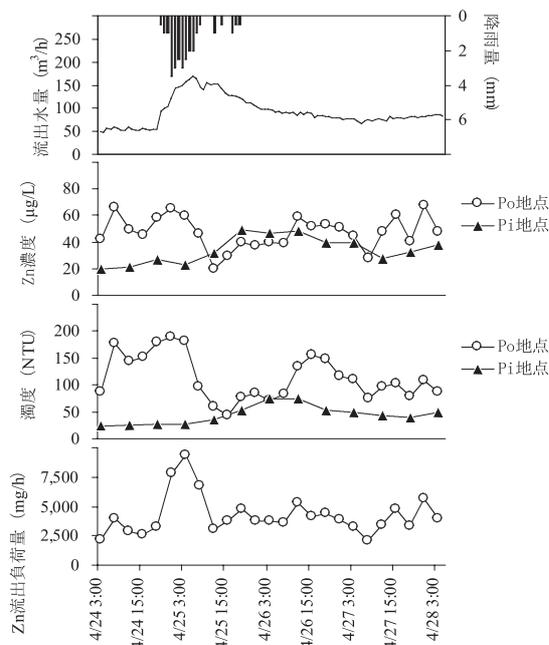


Fig.11 降雨時の流出水量、Zn濃度、濁度およびZn流出負荷量の経時変化 (期間II)

The fluctuation of discharge, Zn concentration, turbidity and Zn load during a rainfall period on period II

けるPs地点とPo地点のZn濃度差はそれぞれ25.8 $\mu\text{g/L}$ 、16.1 $\mu\text{g/L}$ であり、代かきが行われている期間において濃度差は減少した。また灌漑水の供給開始～代かき前および代かき・田植え期間におけるPs地点とPo地点の濁度差はそれぞれ91.5NTU、44.9NTUであり、濁度もZn濃度と同様に代かきが行われている期間において濃度差が減少した。Po地点の平均流量を比較すると、灌漑水の供給開始～代かき前は39.3 m^3/h 、代かき・田植え期間は58.4 m^3/h であり、代かき・田植え期間に排水路内の掃流力が減少したとは考えられない。灌漑水の供給開始～代かき前の期間では非灌漑期を通して水田灌漑ブロック内

の用排水路に蓄積された土砂が比較的多く、初期の灌漑水の供給により蓄積土砂がフラッシュされたため、Zn濃度の高い流出が生じたと考えられる。代かき・田植え期間に農業排水路内のZn濃度が顕著に上昇しなかった要因としては、本調査地区の水田では肥料成分の流亡を防止するため灌漑期間初期の田面水を極力排水しないことが耕作者により励行されているため、濁水の発生が抑えられていたことが考えられる。湛水期間ではPs地点に比較してPo地点でZn濃度が3.4 $\mu\text{g/L}$ 、濁度が28.1NTU高かったが、灌漑水の供給開始～代かき前および代かき・田植え期間の濃度上昇幅に比較して小さかった。

Table 2 Ps地点およびPo地点における流量の重み付き平均Zn濃度および平均濁度
The average Zn concentrations and turbidities weighted by flow rates at point Ps and Po

地点	期間	非灌漑期間 1	非灌漑期間 2	灌漑水の供給開始～代かき前	代かき前・田植え期間	潜水期間
		3/20 4:00 - 3/27 8:00	4/13 4:00 - 4/18 4:00	4/18 16:00 - 4/24 20:00	4/25 0:00 - 5/6 0:00	8/2 4:00 - 8/10 8:00
Ps 地点	採水時の平均流量 (m^3/h)	-	-	58.9	73.6	52.7
	流量の重み付き平均 Zn 濃度 ($\mu\text{g/L}$)	-	-	25.1	36.3	29.6
	流量の重み付き平均濁度 (NTU)	-	-	24.5	64.8	21.8
Po 地点	採水時の平均流量 (m^3/h)	25.9	30.2	39.3	58.4	68.1
	流量の重み付き平均 Zn 濃度 ($\mu\text{g/L}$)	18.5	14	50.9	52.4	33.0
	流量の重み付き平均濁度 (NTU)	1.8	9.3	116	109.7	49.9

Ⅷ 結言

本報では水田灌漑ブロックにおける農業排水路内のZn濃度の変化特性について、短期の連続観測結果をもとに検討した。その結果、下記の知見を得た。

- (1) 灌漑初期では灌漑水の供給により水田灌漑ブロック内の用排水路に蓄積されていた堆積物がフラッシュされ、Zn濃度が上昇したと推定される。
- (2) Zn濃度と濁度は正の相関を有していたことから、Znの主要な形態は懸濁態であったと考えられる。
- (3) 降雨時における流出水中のZn濃度の変化は時期により異なり、降雨強度や降雨継続時間により異なるパターンを示した。
- (4) 流出水の平均Zn濃度は灌漑水に比較して、灌漑水の供給開始～代かき前:25.8 $\mu\text{g/L}$ 、代かき・田植え期間:16.1 $\mu\text{g/L}$ 、湛水期間:3.4 $\mu\text{g/L}$ 、それぞれ上昇しており、灌漑水の供給開始から代かき・田植え期間の流出水のZn濃度上昇幅は湛水期間に比較して大きかった。

Zn濃度の農業用水の水質基準(水稲用)は500 $\mu\text{g/L}$ 以下であり、本調査地区の排水路内の水のZn濃度は水稲栽培に対して安全性を有していると考えられる。水生生物の保全に係わるZn濃度の水質環境基準は30 $\mu\text{g/L}$ 以下

であり、農業排水路内のZn濃度は非灌漑期においては基準値以下、湛水期間においては基準値と同程度であった。灌漑水の供給開始から代かき・田植え期間においては農業排水路内のZn濃度は基準値を超過した。また、強度の大きい降雨時に一時的なZn濃度の上昇が確認された。水生生物の保全に係わる水質環境基準にかかる評価は年間平均値であるが(環境省, 2003b)、これら水田農業地域で生じると推定される水利用や降雨に伴う短期的なZn濃度の上昇が水生生物の生育に及ぼす影響は未解明であり、検討が必要である。

参考文献

- 1) (独) 産業技術総合研究所 化学物質リスク管理研究センター (2007) : 詳細リスク評価書 : 亜鉛, (独) 産業技術総合研究所ホームページ, http://unit.aist.go.jp/crm/mainmenu/zantei_0.4/Zinc_0.4.pdf
- 2) 海老瀬浩一・三木一克 (2001) : 高頻度調査による淀川本川およびその支川の重金属の流出特性評価, 水環境学会誌, 24 (11), 715-723
- 3) 濱田康治・吉永育生・人見忠良・三浦麻・高木強治 (2007) : 有明海沿岸クリーク地帯に位置する農地ブロックからの重金属負荷, 環境工学研究論文集, 44, 391-396
- 4) 服部浩之 (1998) : 汚泥施用土壌からの重金属溶出

- の潜在的な危険性, 日本土壤肥科学雑誌, 69 (2), 135-143
- 5) 日野幹雄・長谷部正彦 (1993) : 水文流出解析, 84-89, 森北出版株式会社, 東京
 - 6) 飯村康二・伊藤秀文 (1978) : 水田土壤中における重金属の行動と収支 - 重金属による土壤汚染に関する研究 (第2報) -, 北陸農業試験場報告, 21, 95-145
 - 7) 環境省 (2003a) : 中央環境審議会水環境部会水生生物保全環境基準専門委員会 (第6回) 議事次第配布資料別紙1, 環境省ホームページ, http://www.env.go.jp/council/09water/y094-06/mat_05-1.pdf
 - 8) 環境省 (2003b) : 水質汚濁に係る環境基準についての一部を改正する件の施行等について (通知), 環境省ホームページ, <http://www.env.go.jp/hourei/syousai.php?id=5000096>
 - 9) 環境省 (2006) : リスクコミュニケーションのための化学物質ファクトシート2006年度版, 環境省ホームページ, <http://www.env.go.jp/chemi/communication/factsheet/data/1-001.html>
 - 10) 国土交通省 (2007) : 平成19年版 日本の水資源, 55-63
 - 11) 國松孝男・須戸 幹・川地 武・榮 羅・中村久郎 (1998) : 農村下水道処理水を灌漑した水田の土壤・浸透水・水稻中の硝酸塩と有害金属の濃度および水稻の生育・収量, 農業土木学会論文集, 194, 133-140
 - 12) 新矢将尚・大島 詔・張野宏也・森 義明 (2005) : 大阪市内水域における亜鉛の分布およびその微量分析法の検討, 用水と廃水, 47, 515-521
 - 13) 田淵俊雄・山藤郁夫 (1992) : シロカキが水田浸透量と浸透水質に及ぼす影響, 土壤の物理性, 66, 47-54

Fluctuations in Zinc Concentrations in the Agricultural Water of Drainage Canals in a Paddy Field Block within a Small Catchment Area

HITOMI Tadayoshi , YOSHINAGA Ikuo, MIURA Asa, HAMADA Koji and TAKAKI Kyoji

Summary

Zinc is an essential element for biological activity. On the other, zinc is also a hazardous material for the growth of aquatic life if excess amounts of zinc occur in the aquatic environment. The Ministry of the Environment in Japan has determined that a zinc concentration of less than $30 \mu\text{g/L}$ in water should be one of the Living Environment Items of the Environmental Quality Standards for Water Pollution. This standard was decided from the view point of the conservation of aquatic life. Quantitative data on the dynamics of zinc in water environments is required in order to conserve aquatic life. This study focused on zinc dynamics in the agricultural water of drainage canals.

The pattern of distribution of zinc concentrations in environment waters is basically influenced by the geological conditions, and the fluctuation in zinc concentrations is determined by the climatic conditions, such as the intensity of rainfall. To add to these natural factors, the dynamics of zinc in paddy field blocks is influenced by agricultural practices. The amount of water used for the paddy fields accounts for the largest proportion of the total amount of water use. Thus, irrigation water plays an important role in any regional hydrological cycle. In addition, the farming schedule, such as puddling, transplanting and mid-summer drainage may strongly influence the water balance and mass transfer process of materials in paddy field blocks. The characteristics of zinc dynamics in a paddy field block were studied in consideration of these agricultural practices.

This paper discusses the characteristics of the fluctuation in the zinc concentrations in the discharged water from a paddy field block. Three periods of different agricultural water management, were investigated: the non-irrigated period, the puddling and transplanting period, and the normal ponding period. The results are summarized as follows.

(1) The increase in zinc concentrations in the drainage water in the early Period II when the irrigation of the paddy fields started may be due to the flushing flow of irrigation water.

(2) The positive correlation between zinc concentrations and turbidity in the drainage water suggests that the zinc mainly originates from suspended matter.

(3) The pattern of fluctuation in the zinc concentrations during rainfall periods varied with the rainfall pattern, such as its intensity and duration.

(4) The average concentration of zinc in the discharged water in normal ponding periods was at the same level as that of the irrigation water. During the periods from the starting of irrigation supply to puddling and transplanting, the average concentration of zinc in the discharged water was higher than that of irrigation water.

Keywords : zinc, agricultural drainage canal, paddy field block, aquatic life, agricultural water management