

# 国営事業地区等フィールド調査 学生支援事業

## 令和2年度

当協会では協会設立50周年事業として、優れた技術者の育成・確保の観点から、大学において担当教員の指導の下に国営事業地区等をフィールド調査し卒業論文等を作成する学生に対して、旅費、宿泊費等の諸経費を支援する事業を実施しています。今回、令和2年度事業の支援学生から研究成果の報告がありましたので紹介します。

- 1** トンレサップ湖の消長と水田主体の農業水管理を考慮した流域モデルの構築と水循環分析  
秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 地域環境水文学研究室 岡田 梨瑚（現在 静岡県庁 勤務）
- 2** 八郎湖流域の水管理問題解決に向けた水循環モデルの改良と展開  
秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 地域環境水文学研究室 佐々木 幸太（現在 農林水産省東北農政局 勤務）
- 3** 群馬県嬭恋村のキャベツ畑における土壌流出の解析および対策方法の検討  
宇都宮大学 農学部 農業環境工学科 農地・土壌工学研究室 池田 将隆
- 4** 畑地かんがい整備事業の効果発現に関する事例的研究  
宇都宮大学 農学部 農業環境工学科 水質環境工学研究室 松崎 匠（現在 栃木県庁 勤務）
- 5** 印旛沼循環灌漑における水質変動特性および流出負荷量削減効果  
東京大学 農学部 環境資源科学課程 生物・環境工学専修 大田 脩斗
- 6** ドローン空輸を想定した農村地域での拠点間飛行ルートのリスク・コスト評価  
三重大学 生物資源学部 共生環境学科 環境施設工学講座 幸田 善明（現在 宗教法人天理教 勤務）
- 7** パイプライン内のタイワンシジミに関する環境DNAと水質の関係  
三重大学 生物資源学部 共生環境学科 環境施設工学講座 徳富 雄大（現在 日本国土開発株式会社 勤務）
- 8** 群知能による喜界地下ダム地下水流動モデルの構築と農地由来の硝酸汚染リスク  
神戸大学大学院 農学研究科 食料共生システム学専攻 施設環境学研究室 川田 歩美（現在 阪神高速道路株式会社 勤務）
- 9** 連続時間ランダムウォークによる異常輸送現象の定量化  
神戸大学大学院 農学研究科 食料共生システム学専攻 施設環境学研究室 鈴木 美妃（現在 西日本旅客鉄道株式会社 勤務）
- 10** 開水路壁体における電磁波レーダを用いた診断手法に関する研究  
鳥取大学 農学部 生命環境農学科 農業造構学研究室 新井 みのり（現在 三井住友建設株式会社 勤務）
- 11** コンクリート打設時における締固め方法の違いが気泡組織に及ぼす影響  
鳥取大学 農学部 生命環境農学科 農業造構学研究室 大塚 桃菜
- 12** 宍道湖西岸農地整備地区における地下水の水質・水文特性  
島根大学 生物資源科学部 環境共生科学科 流域環境工学研究室 飯田 真基（現在 航空自衛隊 勤務）  
島根大学 生物資源科学部 環境共生科学科 流域環境工学研究室 飯塚 天嶺（現在 島根県庁 勤務）
- 13** アサザがクリークの水環境に及ぼす影響と適正管理  
佐賀大学 農学部 生物環境科学科 海浜環境情報学研究室 田中 史乃（現在 サンスイコンサルタント株式会社 勤務）
- 14** クリークにおける希少小型魚類の生息と水環境の関係  
佐賀大学 農学部 生物環境科学科 海浜環境情報学研究室 村岡 涼太（現在 株式会社高崎総合コンサルタント 勤務）

1～4の報告は前号（314号）に掲載しました。

## 印旛沼循環灌漑における水質変動特性および流出負荷量削減効果

東京大学 農学部 環境資源科学課程 生物・環境工学専修 大田 脩斗



### 1. はじめに

農林水産省により2010年から進められている国営印旛沼二期農業水利事業では、循環灌漑が導入された。従来、農地からの排水は直接印旛沼へ排出されていたが、循環灌漑導入後には印旛沼からだけでなく低地排水路へ集められた排水も取水し、繰り返し利用している(図1)。水田の脱窒作用などから、循環灌漑による印旛沼への窒素やリンの流出負荷量削減効果が期待されている。既往の研究「栄養塩濃度の高い用水を反復利用する水田群での窒素・リンの動態」大久保ら(2014)は、琵琶湖を調査対象地として、循環灌漑による流出負荷の削減効果を示した。具体的には、溶存物質の水田用水での濃度と水田排水での濃度とを比較することで、水田を通して除去効果があることが示されたとともに、循環灌漑全体を通して、琵琶湖への排出負荷量の削減効果が定量的に示された。また、矢田部・飯田(2019)、玉川ら(2020)では、北印旛沼に対しても、循環灌漑の導入による、栄養塩類の流出負荷量の削減効果が定量的に示された。以上の研究から循環灌漑による削減効果が生じるのは、栄養塩類が水田で除去されることと栄養塩類濃度が印旛沼より低地排水路で高いことが両方満たされる時であることが明らかとなっている。そこで本研究では、北印旛沼東岸に新設された白山甚兵衛機場掛かり地区を研究対象地区とし、栄養塩類の水田での除去効果および印旛沼への流出負荷量を評価するとともに、流出負荷量の削減に影響を与える低地排水路の栄養塩類濃度変動の解析を行った。

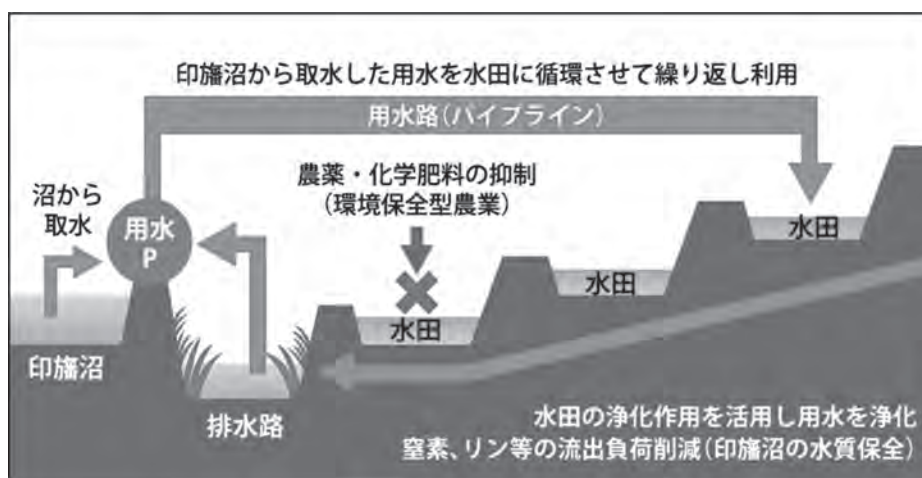


図1 循環灌漑の様子(農林水産省関東農政局(2021))

### 2. 方法

白山甚兵衛機場掛かりの用排水系で、(1)水田からの排水が直接流出する小排水路、(2)白山甚兵衛機場内の低地排水路、(3)印旛沼から白山甚兵衛機場への取水口付近、の3地点で週に2、3回の水質試料の採取を依頼した。また、採水地点(1)の小排水路へ排水している水田を耕作している2軒の農家へ聞き取り調査を行い、施肥の日程と内容、および水管理状況を把握した。

東京大学水利環境工学研究室で水質試料の懸濁物質(SS)、全炭素(TOC)、全窒素(TN)、硝酸態窒素( $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$ )、アンモニア態窒素( $\text{NH}_4\text{-N}$ )、全リン(TP)、リン酸態リン( $\text{PO}_4\text{-P}$ )の濃度を分析した。水田の用水と排水の濃度を比較することで水田の除去効果を評価し、水質データと気象条件や営農状況およびポンプの稼働記録から栄養塩負荷の変動を解析した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 水田の除去効果について

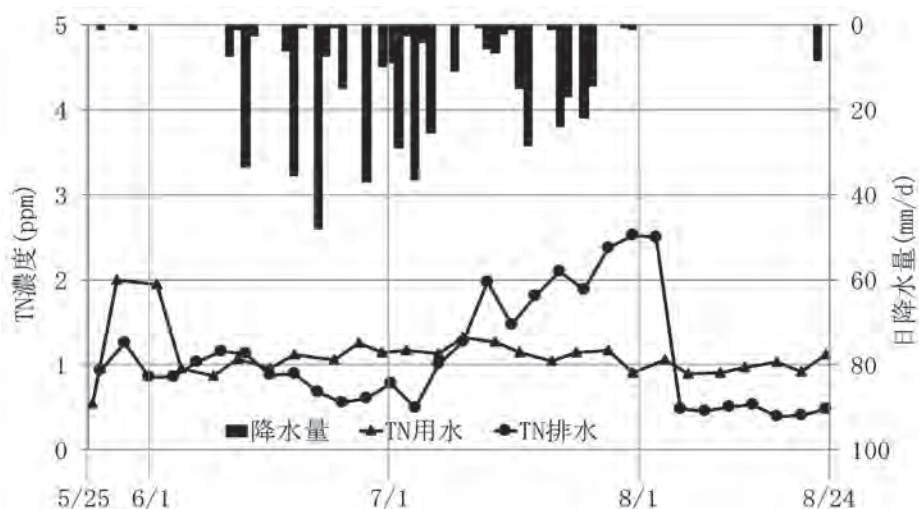


図2 TNの用水と排水の濃度比較

上図は、白山甚兵衛機場掛かり地区の水田用排水中のTN濃度をグラフ化したものである。7月を除いて、排水濃度が用水濃度より低い(排水濃度<用水濃度)傾向が見られた。7月は追肥の影響と水田にほとんど水入れが行われなかったために排水の濃度が上昇したと考えられる。また、TNだけでなく、NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-Nにおいても、上図のように排水濃度<用水濃度の傾向が見られ、脱窒の効果をはっきりと示すことができた。

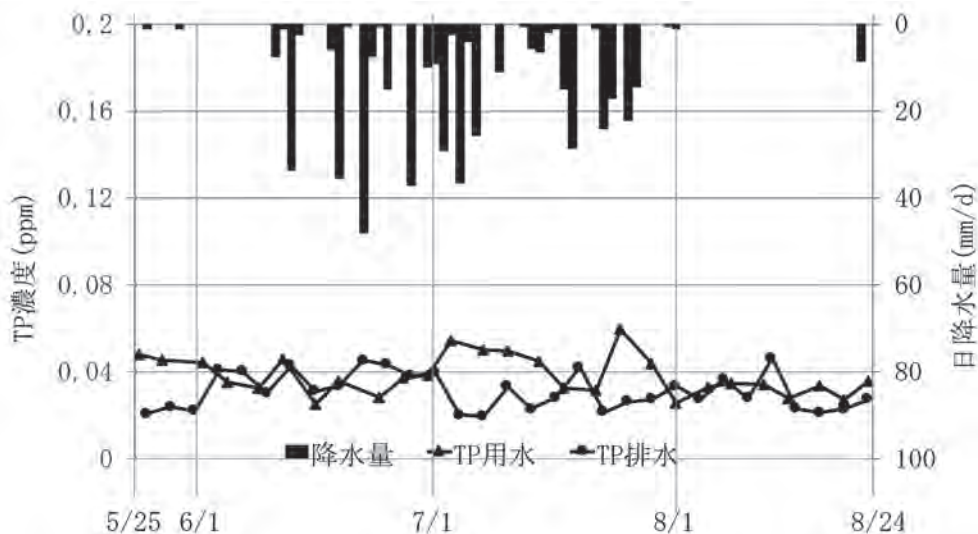


図3 TPの用水と排水の濃度比較

上図は、用排水中のTP濃度をグラフ化したものである。一貫して排水濃度<用水濃度の傾向が読み取れた。また、PO<sub>4</sub>-Pでも同様の結果が得られ、リンは水田を通して除去されることが示された。

その他の分析項目については、SSでは、長期間降水がない時のみ、排水濃度<用水濃度の傾向が見られた。またTOCでは、一貫して排水濃度>用水濃度の傾向が見られた。以上から、SSやTOCでは除去効果は薄いといえる。

#### 3.2 印旛沼への負荷量について

玉川(2019)と同様の方法で印旛沼への負荷量を算定した。低地排水路の濃度をC<sub>b</sub>、印旛沼の濃度をC<sub>s</sub>、印旛沼からの取水量をQ<sub>s</sub>、低地排水路からの取水量をQ<sub>b</sub>、低地排水路から印旛沼への排水量をD<sub>b</sub>とし、日単位での印旛沼に対する取水負荷量C<sub>s</sub>Q<sub>s</sub>、排水負荷量C<sub>b</sub>D<sub>b</sub>を求めた。灌漑期を通した排水負荷量と取水負荷量との差である印旛沼への総差し引き排出負荷量を、ΣC<sub>b</sub>D<sub>b</sub>-ΣC<sub>s</sub>Q<sub>s</sub>で計算した。一方、仮に循環灌漑を行わないとし、低地排水路からの取水量を印旛沼からのものに置き換え、それに相当する水量が低地排水路から印旛沼へ排水された



と仮定した場合の、印旛沼への総差し引き排出負荷量を $\Sigma C_b(D_b+Q_b)-\Sigma C_s(Q_s+Q_b)$ で計算した。

循環灌漑ありとなしの場合での総負荷量の差が循環灌漑の効果を表す。算出された2020年の削減負荷量は、TNで8.88(kg/d)、TPで0.0026(kg/d)だった。それら2項目の2018年と2019年の削減負荷量の値も比較し(下図4・図5)、削減負荷量に差が生じる原因を突き止めるためTNの削減負荷量の日変動を解析した(下図6)。

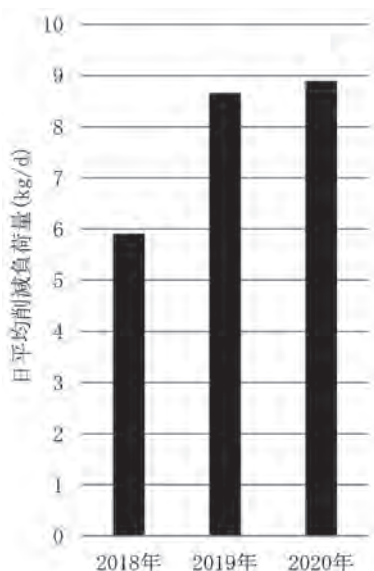


図4 TN削減負荷量年比較

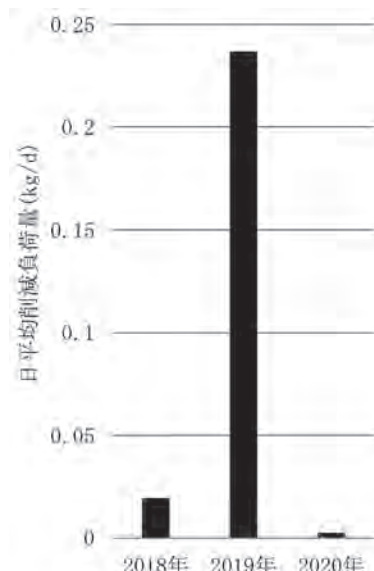


図5 TP削減負荷量年比較

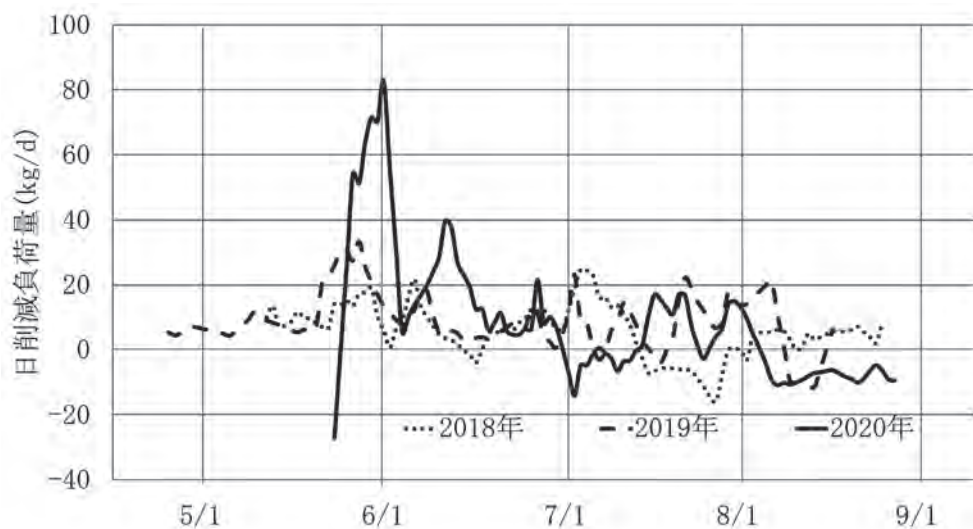


図6 TN削減負荷量の日変動

以上から、施肥後5月末の降水で流出した窒素が循環灌漑を通して削減されていることがわかった。また、その時期の低地排水路からの取水量によって削減負荷量に大きく差が出るのがわかった。さらに、降水の有無とその量によって削減負荷量は細かく変動し、梅雨明けから削減負荷量は低下することがわかった。2018年は梅雨明けが早く、それにより他の年と比べて削減負荷量が減少したと考えられる。これらはリンにおいても同様の傾向が現れた。

### 3.3 低地排水路の濃度変動について

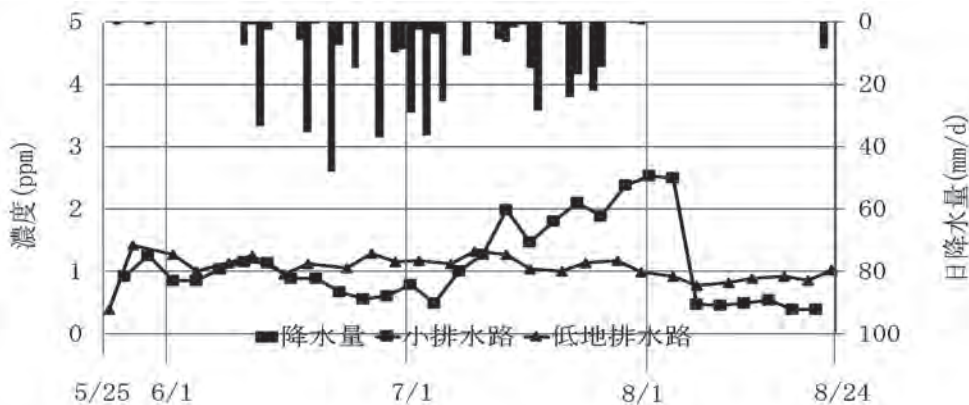


図7 低地排水路と小排水路のTN濃度比較

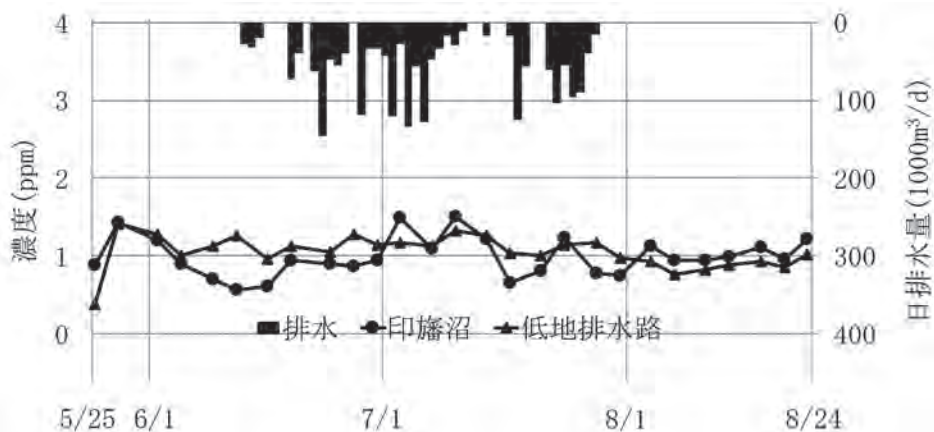


図8 低地排水路と印旛沼のTN濃度比較

上図は、2-(1)(2)(3)の3地点のTN濃度をグラフ化したもので、小排水路や印旛沼の濃度変動が低地排水路の濃度変動に影響を与えるのかどうかを調べた。施肥後の降水で小排水路・低地排水路ともに濃度上昇が見られた。しかし、施肥後の降水以外では、小排水路の濃度変動が、明らかに低地排水路の濃度変動に影響を与えているということにはなかった。一方で、排水が多い時期は、印旛沼の濃度変動と低地排水路の濃度変動が似通っており、影響を与えていることがわかった。これらはその他の分析項目にも共通していえることであった。

#### 4. 今後の課題

水田の除去効果については、今回は単純な用排水の濃度比較から検討したが、今後としては、水位変動から用排水量を求めるなどして定量的に除去効果を示していく必要がある。また、全体的に、稲作のイベントや降水の時期に1時間おきなど集中的にサンプルを採取することで、より細かく解析する必要がある。

#### 引用文献

- 1) 大久保卓也, 佐藤祐一, 東善広(2014): 栄養塩濃度の高い用水を反復利用する水田群での窒素・リンの動態. 水環境学会誌37(5), 177-187
- 2) 矢田部沙羅, 飯田俊彰(2019): 北印旛沼循環灌漑地区における数日間隔での水質変動の解析. 2019年農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 188-189
- 3) 玉川怜史, 飯田俊彰, 木村匡臣, 久保成隆(2020): 印旛沼循環灌漑地区の排水系での水および溶存物質の動態解析. 2020年農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 271-272
- 4) 農林水産省関東農政局(2021): 印旛沼二期農業水利事業所トップページ.  
<https://www.maff.go.jp/kanto/nouson/sekkei/kokuei/inba/index.html>(2021年3月14日閲覧)

## ドローン空輸を想定した農村地域での拠点間飛行ルート のリスク・コスト評価



三重大学 生物資源学部 共生環境学科 環境施設工学講座 幸田 善明  
(現在 宗教法人天理教 勤務)

### 1. はじめに

ドローンを利用することで空の可能性が広がってきている。空を利用することで、短中距離を自動で飛行し安全かつ安価にものを移動することが可能となる。特にこれが農村地域で実現すれば、物流における時間短縮や人手不足の解消だけでなく、産地直送といった地域農業活性化や災害時の迅速な物資輸送が期待される。これを実現するには、まず物流のための安全な飛行ルートの環境整備が必要である。

ドローン空輸の輸送システムは陸路輸送と同じく、拠点間輸送と宅配がある。本研究では前者の拠点間輸送を想定した。ただしこれは長距離輸送ではなく、行政区画内の中距離移動を想定した。

これまでの検証実験や構想では、最短距離の直線に近いルートや河川上空をルートとした場合が多かった。しかしこれらは墜落時の被害が大きい建造物や主要道路(国・県道)の上空がルートとなり、墜落リスクが高くなる。ここでドローン飛行の理想の土地は、無人かつアクセスがしやすく、連続した広大な土地と考えられる。これらの条件に近い土地として、本研究では新たに農地を検討に加えた。農地は人口密度が低くアクセスが容易で連続して広大というドローン飛行の理想の条件に近い土地と言えるためである。

以上より本研究では、農地の可能性を考慮した農村地域での拠点間飛行ルートのリスク・コスト評価をすることを目的とした。

### 2. 研究方法

本研究では、中山間地に果樹園が広がる農村地域である三重県南牟婁郡御浜町を研究対象地とした。仮定した物流拠点として、御浜町南部の建設予定である国道42号紀宝熊野道路御浜ICと、御浜町北西部の神木集落を設定した。御浜ICは自動車専用道路のインター付近を物流拠点とし、御浜町の各集落を結ぶことでの地域活性化を想定したものである。また神木集落の拠点地(神木拠点)選定理由は、ここに建設予定である地域活性化センターにドローンステーションを設けることが検討されているからである。

ドローンは地上から50mの高さで飛行するとし、ルートを軸とした幅100mを墜落リスク想定範囲とした。これはドローンの墜落範囲が、飛行中のドローンの地表地点を中心に、その飛行高度を半径とした円とされることが多いためである。

#### 2.1 ルート設定

ルートは従来の最短距離である直線ルートと河川上空の河川ルートに加えて、農地を優先に通る農地ルートの3種類を作成した。ルートはQGIS上で作成した。直線ルートは拠点間を一直線で結び、河川ルートは御浜町の尾呂志川と市木川の上空を通るように、農地ルートは以下の条件をもとに作成した。この条件通りにすれば、誰でもほぼ同じルートが作成可能である。

- ・農用地区域内で耕作地>林地の順で選択。
- ・建造物>国・県道>河川の順で墜落リスク想定範囲に入らないようにする。
- ・国・県道を横断する場合、最短で横断。
- ・山を越える場合、谷部分を通る。
- ・林地を通る割合はなるべく少なくする。
- ・直線に近いものを目指す。

農用地区域とは、農業振興地域内における集団的に存在する農用地や、生産性の高い農地などの農業上、利用を確保すべき土地として指定された土地のことであり、将来にわたって農地として保全されやすい土地と言える。

#### 2.2 リスク及びコストの想定項目

リスクとして以下の項目を想定した。

- ・墜落リスク想定範囲内の建造物の数
- ・墜落リスク想定範囲内の国・県道の併走距離



- アクセス困難な林地・海の上空を通る割合

建造物や国・県道は墜落時の被害が大きいと想定し、林地・海割合は墜落時の回収において、アクセスが困難だと想定した。リスク評価では以上の項目をQGISで計測した。

コストとして以下の項目を想定した。

- ルートの実距離
- 移動時間(実距離/ドローン平均速度)

実距離は標高を踏まえた実際の移動距離であり、消費エネルギーを表す。移動時間はバッテリー本数を表し、10分あたりバッテリー1本と仮定した。コスト評価でも以上の項目をQGISで計測した。

### 3. 結果と考察

まず御浜ICと神木拠点の位置、作成したルートを図1に示す。また、評価した結果を表1にまとめた。表1については各項目、値が大きいものほどリスク・コストが高いことを表している。

#### 【リスク評価】

表1において、直線ルートは県道の併走はないものの他の3つの項目ではリスクの高い結果となった。特に落下時にアクセスしにくい林地・海割合が大きい。これはルートが土地を選択的に作成していないことと、神木集落が中山間地域であり、ルート上に山(林地)が点在していたことによるものだと考える。河川ルートは林地・海割合以外の項目で、非常にリスクの高い結果となった。これは中山間地域の河川沿いには、集落や主要道路が多く存在しているためである。農地ルートは県道の併走リスクが219mほどあるが、他のリスク項目は最も低くなった。

#### 【コスト評価】

表1において、直線ルートと農地ルートの実距離と移動時間がともにほぼ同じコストであったが、河川ルートだけ非常に高いコストとなった。これは河川ルートが流域界を越えられず、海を経由することになったからである。

これらの結果から、農地ルートが3つのルートの中で安全かつ低コストであることがわかった。また、直線・河川ルートは集落・主要道路や流域の制限などの課題があることがわかった。

### 4. まとめ

本研究は、農村地域でのドローン飛行ルートのリスク・コスト評価を目的に、三重県御浜町を対象に3つの飛行ルートのリスク・コスト評価を行った結果、従来の最短距離の直線ルートと河川上空をルートとする河川ルートより、農地ルートが最も理想的だとわかった。

よって、農地には「空の道」という新たな可能性を示す結果となり、ドローン空輸実現化に農地が広がる農村地域が活躍すると考えられる。

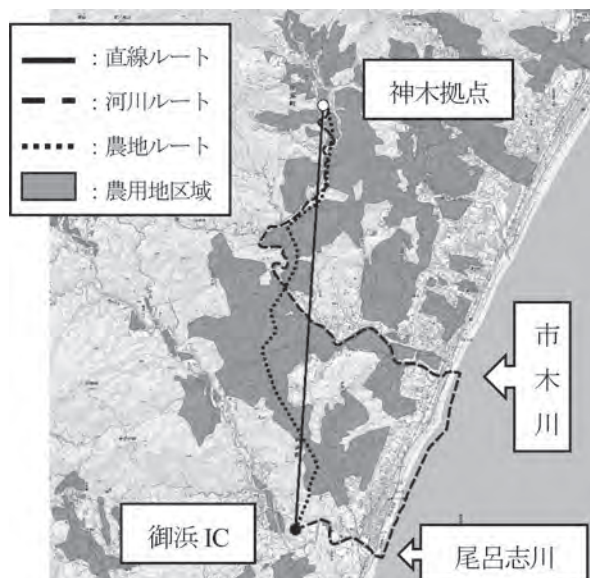


図1 拠点と飛行ルート

表1 計測結果

	項目	直線ルート	河川ルート	農地ルート
リスク評価	建造物(件)	124	184	45
	国道併走距離(m)	284.14	1498.58	70.66
	県道併走距離(m)	0.00	2509.17	219.19
	林地・海割合(%)	62.0	26.4	24.3
コスト評価	消費エネルギー(実距離(m))	8296.22	15237.55	8873.12
	バッテリー本数(移動時間)	14分21秒(2本)	26分21秒(3本)	15分20秒(2本)

## パイプライン内のタイワンシジミに関する環境DNAと水質の関係

三重大学 生物資源学部 共生環境学科 環境施設工学講座 徳富 雄大  
(現在 日本国土開発株式会社 勤務)



### 1. はじめに

わが国では、近年、用水路の改修工事の際、農業用水のパイプライン化が進められている。宮川用水では老朽化により平成7年から平成25年に国営宮川用水第二期土地改良事業が行われ、パイプライン化が進められた。その後、平成25年頃から、パイプライン化した受益地全体でタイワンシジミが給水栓に詰まることによる通水障害が報告されるようになった。しかし、パイプライン内でのタイワンシジミの生息状況の把握は難しく、侵入経路、拡大様式も不明である。

そこで、本研究では宮川用水の取水口から末端まで定期的に採水を行い、環境DNAと水質を分析することでその関係性から、侵入および拡大様式を明らかにすることを目的とした。環境DNA分析とは、採水した水を用いて、その水に含まれる生息している生物の排泄物や粘膜等から放出されたDNA断片を分析することである。環境に生息する生物を網羅的に特定する方法と特定の種が生息しているかを種特異的に判断する方法がある。本研究ではタイワンシジミに特定した種特異的分析を行った。



図1：宮川用水の採水地点

### 2. 研究手法

図1のように宮川用水の取水口である粟生頭首工から国営1号幹線と国営2号幹線の2系統の末端までの10地点に採水地点を設定した。この採水地点で4月28日から12月21日にかけて各月の月末に一度採水した。採水した水を用いて水質分析と環境DNA分析を行った。水質分析は簡易計測器を用いてDO, pH, EC,  $Ca^{2+}$ を測定した。また、吸光度計を用いて全窒素、アンモニア性窒素、硝酸態窒素、亜硝酸性窒素、COD、全リン、クロロフィルaを測定した。

環境DNAはリアルタイムPCR法を用いて分析した。

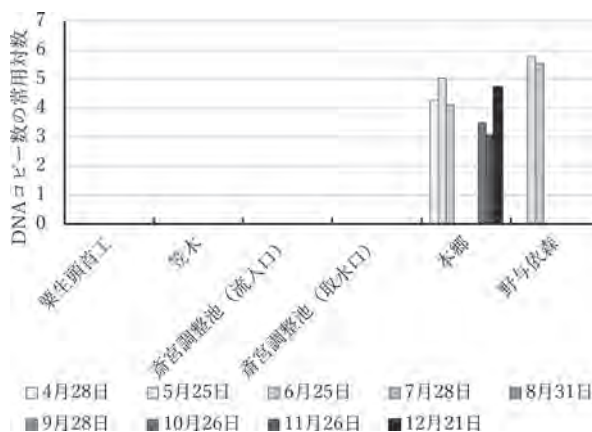


図2：国営1号幹線の環境DNA分析

### 3. 結果

図2、3に国営1号及び国営2号幹線の上流から下流までの各採水地点での環境DNAのコピー数の常用対数の結果を示した。

図2、3より、取水口である粟生頭首工と笠木では環境DNAは検出されず、取水口からタイワンシジミが侵入していない、またはその量が極めて少ないことがわかった。

国営1号幹線の斎宮調整池よりも下流に位置する本郷と野依森で複数の月に環境DNAが検出された。また、国営2号幹線でも調整池よりも下流に位置する粟生野支線で複数の月に検出された。

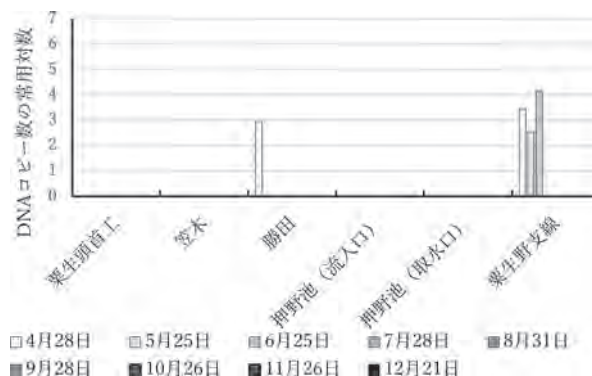


図3：国営2号幹線の環境DNA分析結果



次に、環境DNAの分析結果で複数の月で検出された国営1号幹線の本郷と野依森について、水質(ここではCa<sup>2+</sup>)との関係を検討した。図4、5に本郷と野依森の環境DNAのコピー数の常用対数、1つ前の採水地点からのCa<sup>2+</sup>の増減(Ca<sup>2+</sup>の増減)、国営1号又は国営2号の流量を複合グラフとして示した。Ca<sup>2+</sup>の増減とは、本郷を例とすると斎宮調整池(取水口)が1つ前の採水地点からのCa<sup>2+</sup>の増減を意味している。

管材料は、本郷ではFRPM管、野依森ではダクタイル鋳鉄管でありCa<sup>2+</sup>の溶脱はないと考えられる。よってCa<sup>2+</sup>の増減は、生きたタイワンシジミのCa<sup>2+</sup>の吸収による減少、死んだタイワンシジミの貝殻からの溶脱による増加が考えられる。また、流量が多い時はCa<sup>2+</sup>の変化前に水が流れることから1つ前の採水地点からCa<sup>2+</sup>の増減は少なく、流量が少ない時にはCa<sup>2+</sup>が変化する時間が十分あることからCa<sup>2+</sup>の増減は多くなると考えられる。

以上を踏まえて図4、5をみると、本郷で流量が多い5、6月にCa<sup>2+</sup>の値が減少する傾向があった。これは、生きたタイワンシジミが本郷に多く生息し、Ca<sup>2+</sup>が吸収されたためと考えられる。一方、野依森では5、6月の値が停滞または僅かな上昇であった。これは、生きたタイワンシジミによる吸収が少ないことを示している。つまり、5、6月の野依森では本郷から流れてきて堆積した生きたタイワンシジミによって環境DNAが検出されたと考えられる。7月から8月は流量が多いが、大きなCa<sup>2+</sup>の値の上昇があったことから、多くのタイワンシジミがその時期に死亡していると考えられる。

また、非かんがい期の8月以降は、死亡したタイワンシジミからのCa<sup>2+</sup>の溶脱により、Ca<sup>2+</sup>の増加があると考えられる。

しかし、図4の本郷では月が経つにつれて図5の野依森よりも大きなCa<sup>2+</sup>の減少がみられた。これにより冬期も本郷で生きたタイワンシジミによるCa<sup>2+</sup>の吸収が考えられ、環境DNAの結果を支持する結果となった。

#### 4. まとめ

宮川用水の取水口から末端まで採水を行い、環境DNAと水質を分析し、両者の関係から侵入および拡大様式の解明を試みた。その結果、環境DNA分析より、粟生頭首工からは反応がなく、取水口がタイワンシジミの侵入経路ではないと考えられた。また、調整池よりも下流の地点で複数の月でタイワンシジミの反応が確認された。調整池の下流での拡大様式は、本郷において通年でCa<sup>2+</sup>の吸収が確認されたことから、本郷が大きな繁殖地であると考えられた。また、野依森ではCa<sup>2+</sup>の吸収が少なく上流から流れてきたタイワンシジミの堆積地であると考えられた。

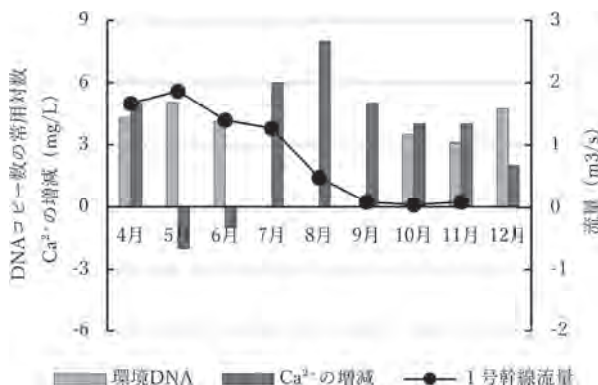


図4：本郷でのCa<sup>2+</sup>の増減と環境DNAと流量の関係

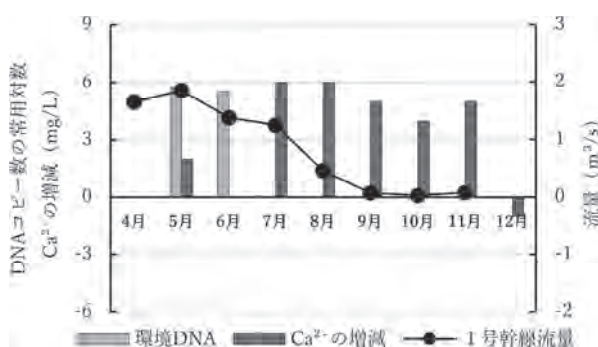


図5：野依森でのCa<sup>2+</sup>の増減と環境DNAと流量の関係

## 群知能による喜界地下ダム地下水流動モデルの構築と 農地由来の硝酸汚染リスク

神戸大学大学院 農学研究科 食料共生システム学専攻 施設環境学研究室 川田 歩美  
(現在 阪神高速道路株式会社 勤務)



### 1. はじめに

鹿児島県奄美大島の東方22kmに位置する喜界島は、隆起性サンゴ礁石灰岩である琉球層群岩(以下、琉球石灰岩)から成る島である。琉球石灰岩は多孔質で高透水性を有しているため、降雨の大半は地下浸透し、地下水となって難透水性の基盤岩である島尻層群(泥岩)との不整合面に従い傾斜方向に流動する。このため、地下ダム事業による地下水開発が行われている。既設の喜界第一地下ダムは農業用水の安定供給に貢献する一方で、集水井にて観測される硝酸態窒素濃度は比較的高い水準で推移している。本研究では集水域における農地への施肥による貯留水、あるいは揚水中への硝酸汚染リスクの可視化を目的として、流域独自の3次元地下水流動モデルを構築し、水質管理に資する硝酸汚染マップを提示する。



図1：観測井戸(現地調査)

### 2. 群知能による3次元地下水流動モデルの構築

喜界島はサトウキビ・ゴマなどの栽培を主産業とする農業立島であり、喜界第一地下ダムは島の耕地面積の約80%を受益地として8基の集水井により貯留水を汲み上げている。地下水流動モデルを構築するにあたり、図2の赤枠で示す3300m×1700mの範囲に帯水層の厚みを考慮した3次元領域を設定した。海岸に近い領域の北西端を海拔0mの地下水位、北西端以外の境界には領域周辺の観測地下水位と標高を勘案して適切な水位を設定した。透水係数 $K$ の空間分布を推定すべく、地質資料に基づいて図3に示すように解析領域をゾーニングした。貯留水の地下水位は年間を通して変動が少ないため、平均的な水位分布として2016年8月15日に20地点で観測された地下水位を再現できる各ゾーンの透水係数 $K^b$ を逆推定した。逆解析にはレヴィフライトに基づく群知能であるカッコウ探索アルゴリズムを用い、

$$K^b(t+1) = K^b(t) + \lambda \oplus \text{Lévy}(\beta) \quad (1)$$

にて透水係数 $K^b$ を更新した。ここに、 $t$ は世代、 $b$ はゾーンのインデックス、 $\oplus$ はアダマール積、 $\text{Lévy}(\beta)$ は定数 $\beta$ のレヴィ分布、 $\lambda$ はステップサイズである。逆解析の過程では、観測地下水位 $h_m$ と3次元FEM浸透流解析の結果の残差自乗和が最小になる透水係数 $K^b$ の組み合わせを求めた。図4に推定結果に基づく地下水位コンター図を示す。止水壁による地下水の貯留効果を表現するとともに、既往の報告による地下水位等高線とよく一致し、現況の地下水流動を再現していると判断される。

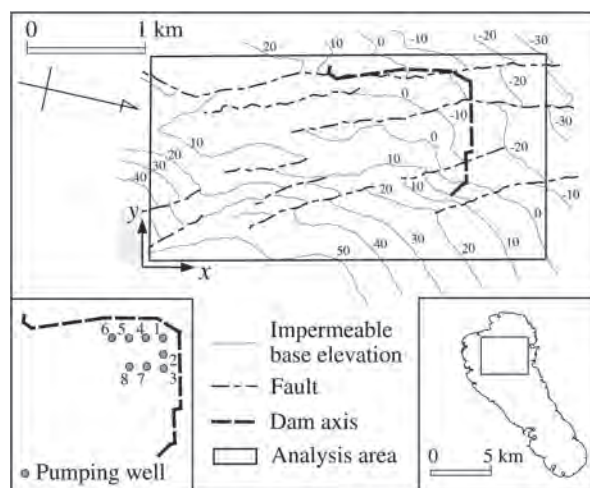


図2：ダムサイトの基盤コンターと解析領域

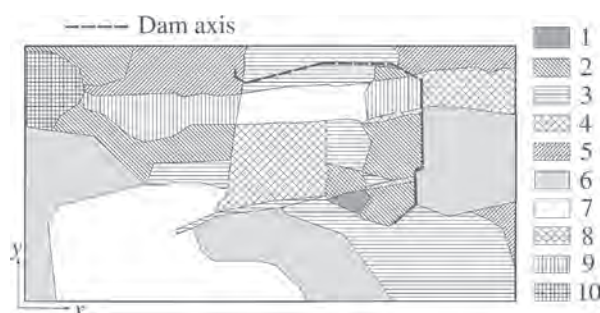


図3：地質資料に基づく透水係数の空間分布

### 3. 溶質輸送解析による農地の硝酸汚染ポテンシャルマップの提示

夏植えサトウキビの施肥回数は1作当たり植付時(8月から9月)、平均培土時(10月)、高培土時(12月)の3回である。農地由来の硝酸汚染リスクを提示するため、地下水流モデルをランダムウォーク粒子追跡法に連結して流域内の硝酸態窒素輸送を捉えた。非農地と止水壁から下流側を除き解析領域を95のブロックに区分し、任意の農地に施用された窒素分の集水井への到達割合 $P(\%)$ を集水井ごとに算出して、農地の硝酸汚染ポテンシャルマップとして可視化した。揚水量が多い夏季をCase S、揚水量が少ない冬季をCase Wと称し、8基の集水井の合計揚水量をそれぞれ $36000\text{m}^3/\text{d}$ 、 $2000\text{m}^3/\text{d}$ とした。

図5に1号、6号、8号集水井に対する硝酸汚染ポテンシャルマップを示す。1号集水井の水質に影響する農地面積は6号、8号集水井の水質に影響する農地面積に比べて小さい。流域の地下水は南東から北西方向に流動しており、地下水流れに対して上流側にあたる6号、8号集水井が大部分の硝酸態窒素を吸い上げるため、1号集水井に到達する硝酸態窒素は相対的に少ないことが要因である。Case SとCase Wを比較すると、硝酸汚染ポテンシャルの低い領域は冬季に縮小する傾向にある。他方、硝酸汚染ポテンシャルの高い領域は季節的な変化がなく、施肥の時期によらず集水井に窒素負荷をかけている。揚水量の少ない冬季に回収する硝酸態窒素量が多いことは、揚水中の硝酸態窒素が高濃度になることを意味しており、この観点から冬季の施肥による硝酸汚染リスクは高いといえる。

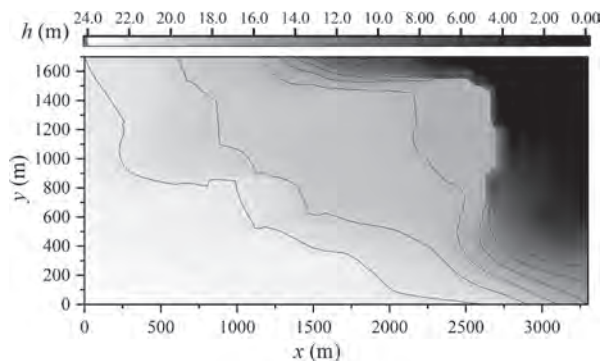


図4：推定した透水係数による再現地下水位

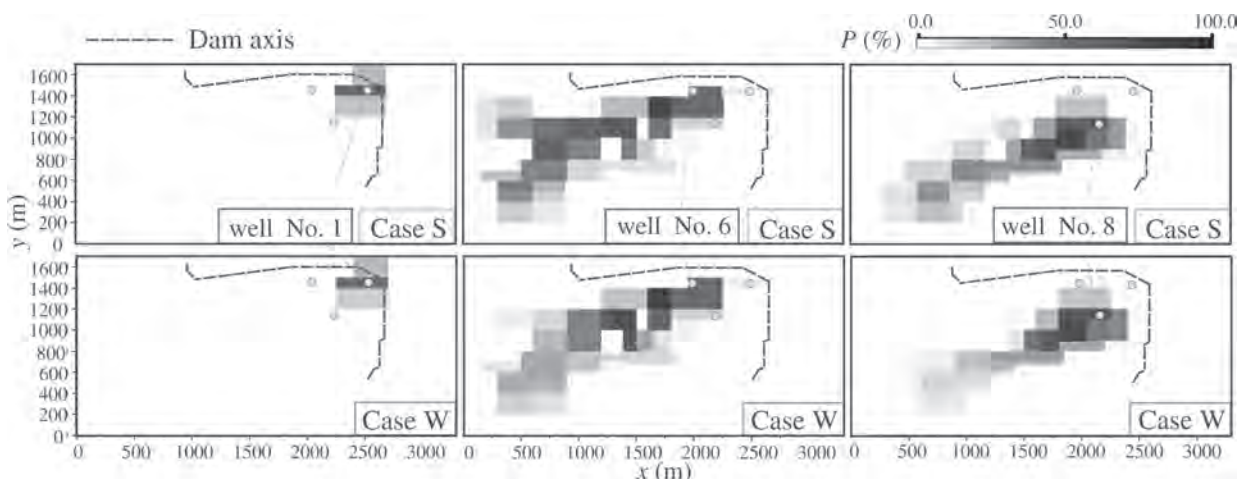


図5：1号、6号、8号集水井についての硝酸汚染ポテンシャルマップ

### 4. まとめ

本研究では施肥による地下ダムの硝酸汚染リスクを提示するため、喜界第一地下ダム流域の地下水流動をモデル化した。群知能にて逆推定した透水係数分布による再現地下水位は既往の報告とよく一致し、モデルの妥当性を評価できた。モデルに連結した溶質輸送解析により各集水井の水質に影響する農地を可視化するとともに、冬季の施肥が硝酸態窒素の高濃度化を招くことを示唆した。

### 謝辞

本研究は、一般社団法人土地改良建設協会「2020年度国営事業地区等フィールド調査学生支援事業」による支援を受けました。また、農林水産省農村振興局整備部設計課、九州農政局南部九州土地改良調査管理事務所、鹿児島県喜界町役場の皆様には、ダムサイトの調査やデータ提供など、様々なご協力をいただきました。ここに記して深謝の意を表します。



# 連続時間ランダムウォークによる異常輸送現象の定量化

神戸大学大学院 農学研究科 食料共生システム学専攻 施設環境学研究室 鈴木 美妃  
(現在 西日本旅客鉄道株式会社 勤務)



## 1. はじめに

地下水中の溶質輸送現象は、主に線形移流分散現象である。一方、粗粒媒体内や多孔質性の高い帯水層においては乱流により非線形発展した異常輸送現象が観測され<sup>1), 2)</sup>、数値解析による表現を困難にしている。喜界島を含む沖縄地方の島嶼部では、図1のような間隙構造の石灰岩により地下帯水層が構成され、異常輸送になると考えられるものの、異常輸送に関する有益な知見は少ない。本研究では、カラム実験と移流分散方程式(ADE)、連続時間ランダムウォーク(CTRW)により溶質輸送現象を生成し、現象を定量評価した。

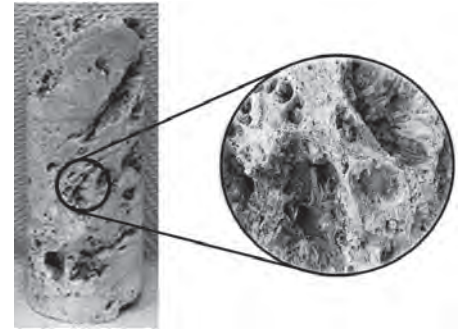


図1：石灰岩の間隙構造

## 2. 室内カラム実験と数値解析

本実験では異常輸送を捉えるため、平均粒径 $d_{50}$ の異なる3種類の珪砂を用いた。図2に示す円筒カラムに水中落下法にて各試料を充填し、所定の動水勾配の流れ場を形成した。5.0mg/cm<sup>3</sup>のNaCl水溶液を上流端から通水し、4か所でNaCl濃度を時系列測定した。流出濃度変化に対してADEとCTRWを用いて輸送パラメータを特定した。

一次元のADEは

$$D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial c}{\partial t} \quad (1)$$

により表される<sup>3)</sup>。ここに、 $c$ は物質濃度、 $D$ は分散係数、 $v$ は実流速、 $x$ は座標、 $t$ は時間であり、ADEでは $D$ を同定する。

また、ラプラス領域の一次元CTRWは

$$u\tilde{c}(x,u) - c_0(x) = -\frac{\tilde{t}u\tilde{\psi}(u)}{1-\tilde{\psi}(u)} \left( v_\psi \frac{\partial \tilde{c}(x,u)}{\partial x} - D_\psi \frac{\partial^2 \tilde{c}(x,u)}{\partial x^2} \right) \quad (2)$$

にて表せる<sup>4)</sup>。ここに、 $u$ はラプラス変数、 $c_0$ は初期濃度、 $\tilde{t}$ は特性時間、 $v_\psi$ は移動速度、 $D_\psi$ は分散度であり、「 $\sim$ 」はラプラス変換された変数であることを意味する。 $\tilde{\psi}(u)$ は溶質輸送を特徴づける関数であり、本研究では

$$\tilde{\psi}(u) = (1 + t_2 u)^2 \exp(t_1 u) \frac{\Gamma(-\beta, t_1/t_2 + t_1 u)}{\Gamma(-\beta, t_1/t_2)} \quad (3)$$

にて表現する。ここに、 $\Gamma$ はガンマ関数、 $t_1$ 、 $t_2$ はべき乗挙動の時間である。また、 $\beta$ は不均一性を表すパラメータであり、 $\beta > 2$ の場合は正常輸送、 $\beta < 2$ の場合は異常輸送を示す。CTRWでは $D_\psi$ と $\beta$ を同定する。

図2のP地点にて計測された濃度変化と再現結果の一例を $\beta$ の値とともに図3に示す。平均粒径0.6mmの場合は $\beta > 2$ となり正常輸送、平均粒径3.7mmの場合は $\beta < 2$ となり異常輸送が確認できる。また、異常輸送になると図2の矢印付近におい

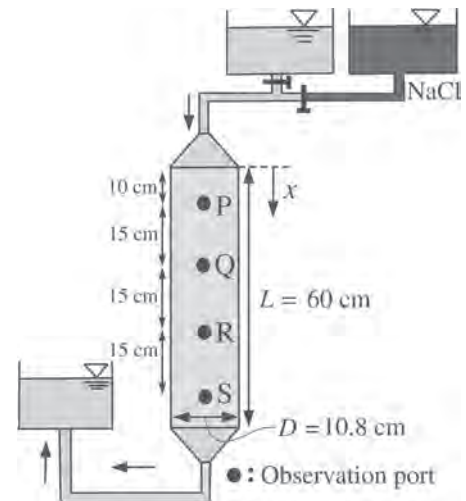


図2：カラム装置の概略

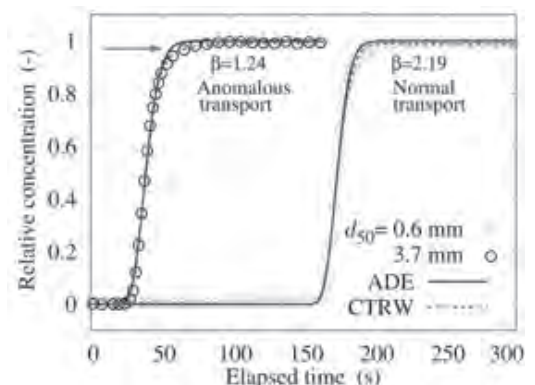


図3：溶質輸送の再現結果

てADEと実測値に乖離が見られ、CTRWのほうが異常輸送への適応性は高いといえる。

### 3. 溶質輸送現象の定量化と非線形表現

CTRWにて得られた $\beta$ とペクレ数の関係を図4に示す。図中の実線はすべてのプロットに対する回帰式である。ペクレ数は移流輸送と拡散輸送の比率を表しており、 $P_e = ud_{50}/D_d$ にて表現される。ここに、 $D_d$ は分子拡散係数であり、NaClを用いた本研究では $D_d = 2.11 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$ とした。本研究では移流支配の溶質輸送であり、ペクレ数が400付近を超えると異常輸送現象が発現している。また、 $\beta$ は輸送距離に依存しない点、ペクレ数が増加すると $\beta$ の値は減少する点を確認できる。 $\beta$ はペクレ数のべき乗で表現できることから、移流現象が顕著になり、乱流に遷移する結果、異常輸送の促進により $\beta$ の値は非線形的に減少したと推測され、 $\beta$ を推定できるCTRWは異常輸送の判断指標に有益な手段になり得る。

ここで、ADEにて推定される分散係数 $D$ を非線形式 $D = \alpha \cdot v^n$ で解釈する。ここに、 $\alpha$ は分散長であり、濃度変化をもとに時間モーメント法<sup>5)</sup>より求め、べき数 $n$ を逆算した。べき数 $n$ と $\beta$ の分布を図5に示す。 $\beta < 2$ では $\beta$ の減少に伴いべき数 $n$ の増加傾向が見られる。非線形性が強くなり、流れにより溶質が拡がりやすくなった結果、実流速にかかるべき数 $n$ の増加に繋がったと推測できる。ばらつきはあるものの、べき数 $n$ は $\beta$ の値と連動して変化することから、ADEは $n$ を推定することにより場の流速依存度合を俯瞰する手段になるといえる。

### 4. まとめ

本研究では、カラム実験とADE、CTRWにより異常輸送現象を生成し、現象を定量評価した。その結果、粗粒媒体では異常輸送現象が発現し、CTRWは異常輸送を良好に再現できること、CTRWに含まれるパラメータ $\beta$ は異常輸送の判断指標になることがわかった。ADEは $\beta$ の推定ができないものの、 $D = \alpha \cdot v^n$ のべき数 $n$ を推定すると場の流速依存性を評価でき、ADEとCTRWにより異常輸送を定量化できるといえる。

### 謝辞

本研究は、一般社団法人土地改良建設協会「2020年度国営事業地区等フィールド調査学生支援事業」による支援を受けました。また、農林水産省農村振興局整備部設計課、九州農政局南部九州土地改良調査管理事務所、鹿児島県喜界町役場の皆様には、ダムサイトの調査やボーリングコアの提供など、様々なご協力をいただきました。ここに記して深謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) Levy, Met al. : *J. Contam. Hydrol.*, 64, pp.203-226, 2003.
- 2) Zaslavsky, G.M. : *Physics Report.*, 371, pp.246-254, 2011.
- 3) Qian, J. et al. : *J.Hydrol.*, 399, pp.203-226, 2003.
- 4) Berkowitz, B.et al. : *Rev. Geophys.*, 44, pp.1-49, 2006.
- 5) Pang, L. et al. : *J.Contam. Hydrol.* 60, pp.123-134, 2003.

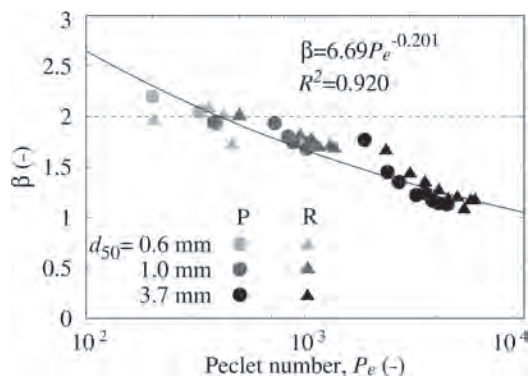


図4：ペクレ数と $\beta$ の関係

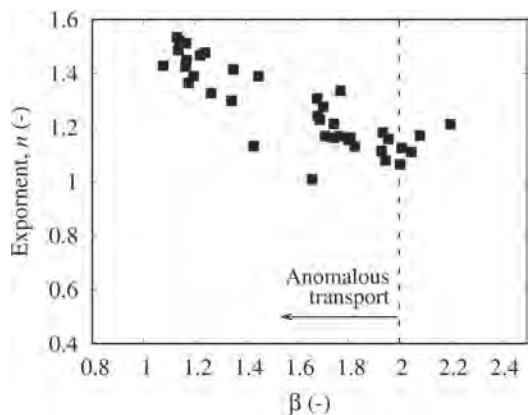


図5：べき数 $n$ と $\beta$ の分布

# 開水路壁体における電磁波レーダを用いた診断手法に関する研究



鳥取大学 農学部 生命環境農学科 農業造構学研究室 新井 みのり  
(現在 三井住友建設株式会社 勤務)

## 1. はじめに

近年、耐用年数を超過し更新時期を迎える農業水利施設が増加している。それらの施設には、機能診断と補修が行われている<sup>1), 2)</sup>。特に近年では表面被覆工法をRC開水路に適用する補修の事例が増加している。補修材で被覆された開水路は目視で躯体の補修履歴を確認することが難しく、正確な記録が残っていない場合もあるため、対象の開水路が表面被覆されていることを踏まえて機能診断を行う必要がある。そこで本研究では、機能診断における電磁波レーダの活用範囲の拡大を目的として、次の研究に取り組んだ。一つ目は電磁波レーダによる表面被覆された開水路のコア採取位置の調査について、二つ目は電磁波レーダによる凍害劣化したコンクリートの診断についてである(写真1)。

## 2. 電磁波レーダを用いたコア採取位置の特定

電磁波レーダによる表面被覆された開水路のコア採取位置の特定に関する研究では、室内試験と現地試験を行った。現地試験は、北海道夕張郡栗山町にある栗山幹線用水路で実施した。

### 2.1 供試体および試験の概要

室内試験においてCase1では縦50cm×横50cm×厚さ3.7cmのモルタル平板、Case2では鉄筋(D10)に載せたCase1のモルタル平板、Case3では壁厚14.7cmの鉄筋コンクリート壁体に対して、表面含水率を測定した後に電磁波レーダを走査させた。現地試験においてCase4ではコア採取位置を含む開水路壁体、Case5ではコア採取位置を含む表面被覆された開水路壁体に対して、表面含水率を測定した後に電磁波レーダを走査させた。

### 2.2 走査画像の処理および検討方法

室内試験から得られたBモード画像を図1に示す。走査で得られた画像を見るには対称性が重要である。単一材料であれば走査方向の画像に変化は見られない。鉄筋の影響がある場合は波形として画像に現れる。鉄筋は同一深度で等間隔に配置されるため、鉄筋に直交して電磁波レーダを走査すると鉄筋間隔ごとに同一の波形が得られる。そのため、鉄筋波形を二等分すると対称な画像が得られる。本研究では得られたBモード画像の対称性を波形の形態に基づいて視覚的に検討した。



写真1 現地試験の状況

### 2.3 結果および考察

Case1は鉄筋の影響がない単一材料であるため、強い対称性がみられた。Case2は鉄筋の影響があるものの、モルタルが単一材料であるため対称性は確保されていた。Case3はCase2より画像の対称性は弱くなった。これはコンクリートの粗骨材が影響しているためであると考えられる。乾燥時の比誘電率はコンクリートが4～6、粗骨材が5～9と異なる。したがってコンクリートは比誘電率の異なる粗骨材が不均一に分布しているため、Case2と比較しCase3の対称性が弱くなったものと考えられる。

開水路壁体から得られたCase4、Case5のBモード画像を図2に示す。Case4より、コア採取の有

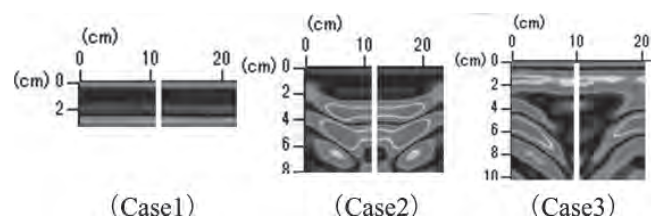


図1 室内試験のBモード画像

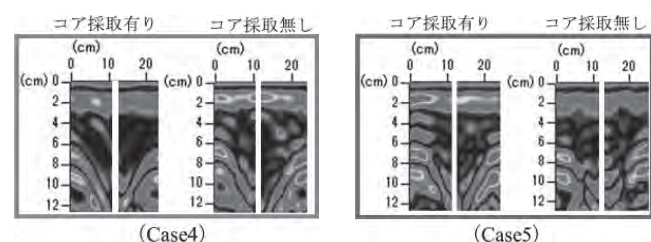


図2 コア採取の有無におけるBモード画像

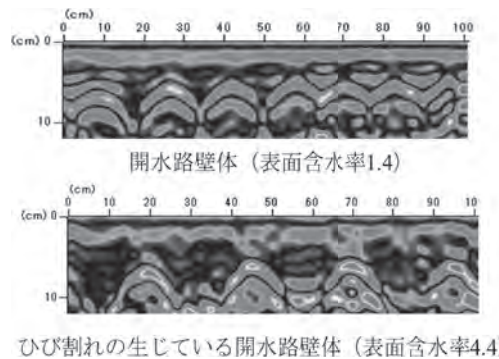


無にかかわらず対称性がみられた。一方で、コア採取有りの箇所の画像の方がコア採取無しの箇所より強い対称性がみられた。これはコア採取有りの箇所がモルタルで充填されており、鉄筋間の粗骨材が少ないからだと考えられる。Case5でも同様にコア採取の有無にかかわらず対称性がみられたが、Case4ほどではなかった。これは電磁波の進行が比誘電率の異なる表面被覆材の層の影響を受けたためであると考えられる。したがって、コア採取位置が表面被覆されている場合には開水路壁体のコンクリート部分とモルタル部分の違いをBモード画像から確認することは難しく、過去のコア採取位置を特定することは困難だと思われる。一方で、コア採取位置のBモード画像からは対称性がみられることが明らかになった。そのため、コア採取位置の重複を防ぐためには、表面被覆された壁体に対し鉄筋間のBモード画像の対称性が著しく弱い箇所でコアを採取するのが望ましいと考えられる。

### 3. 電磁波レーダを用いた凍害劣化したコンクリートの診断

栗山幹線用水路の壁体を対象に、表面にひび割れが生じている箇所に電磁波レーダを走査し、表面および内部に生じているひび割れがBモード画像に与える影響を調査した。

表面に凍害劣化によるひび割れが見られない開水路壁体およびひび割れの生じている開水路壁体で得られたBモード画像を図3に示す。表面付近の緑色の帯状の層の形状を比較すると、ひび割れの生じている開水路壁体は不連続になり大きく乱れていることが確認できる。これは、ひび割れによるコンクリート表面の劣化の影響がBモード画像に現れたためだと考えられる。このように、ひび割れが生じている開水路壁体に対し電磁波レーダを走査すると、Bモード画像における表面付近の緑色の帯状の層は不連続になる、ということが明らかになった。



ひび割れの生じている開水路壁体 (表面含水率4.4)  
 図3 凍害劣化した開水路壁体のBモード画像

### 謝辞

現地試験では、北海道開発局札幌開発建設部岩見沢農業事務所、寒地土木研究所寒地農業基盤研究グループ水利基盤チームにご協力をいただきました。ここに記して、感謝を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課施工企画調整室(2015): 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】(案), pp. 10~17
- 2) 農林水産省農村振興局整備部設計課水資源課(2015): 農業水利施設の機能保全の手引き, p.46

## コンクリート打設時における締固め方法の違いが気泡組織に及ぼす影響

鳥取大学 農学部 生命環境農学科 農業造構学研究室 大塚 桃菜



### 1. はじめに

積雪寒冷地で供用されるコンクリート構造物には、耐久性の一つである耐凍害性の確保が求められる。ここで、耐凍害性は実際のコンクリート部材が供用される環境条件および荷重条件の中での凍害劣化に対する抵抗性であり、材料としてのコンクリートにおける凍結融解の繰返し作用に対する抵抗性である凍結融解抵抗性とは大別される。凍結融解抵抗性は、室内試験であるJIS A 1148:2010(コンクリートの凍結融解試験方法)で試験され、相対動弾性係数、長さ増加比、質量減少率で評価することができるが、耐凍害性は凍結融解抵抗性の指標に加えて吸水率や気泡間隔係数なども用いつつ、実際の部材の形状・寸法および環境条件、荷重条件を考慮して評価される必要がある。また、室内試験に用いる供試体は突き棒で締固めることになるが、実際の部材は内部振動機(バ

イブレーター)により締固められ、打設方法も考慮されなければならない<sup>1)</sup>。

そこで、本研究では、コンクリートの耐凍害性の評価に関する研究の一環として打設方法に着目し、突き棒で打設したφ10×20cmの円柱供試体、内部振動機で打設した90×90×90cmの立方体供試体(ボス供試体)を配合の異なる二つのコンクリートで作製し、コンクリート打設時における締固め方法の違いが硬化後におけるコンクリートの気泡組織に及ぼす影響について検討した。

## 2. 供試体の作製および試験の概要

本研究で用いた二つのコンクリートは、呼び強度27N/mm<sup>2</sup>の普通強度コンクリートと呼び強度50N/mm<sup>2</sup>の高強度コンクリートである。配合条件およびフレッシュ性状を表1に示す。普通強度コンクリートではAE減水剤としてリグニンスルホン酸系化合物を使用しており、高強度コンクリートでは高性能減水剤としてポリカルボン酸エーテル系化合物、AE剤として変性ロジン酸化合物系陰イオン活性剤を使用している。作製した供試体は、φ10×20cmの円柱供試体、90×90×90cmの立方体供試体(ボス供試体)であり、円柱供試体は突き棒で、ボス供試体は内部振動機で締固めを行った。本研究で用いたボス供試体は、国営総合農地防災事業十三湖地区(十三湖農地防災事業)で改築中である芦野頭首工の建設事務所近くの仮設ヤードで暴露しており、気泡組織の測定に用いた試料はボス供試体から採取したコア(φ10cm×20cm)を切断、加工したものである(写真1)。

気泡組織の測定は、ASTM C 457に準拠したリニアトラバース法による測定を硬化コンクリート気泡計測装置(HF-MAC11、ファースト)により行った。使用した試料は、円柱供試体および採取コアの中央部分で約4cm幅に輪切り状に切断し、砥粒の荒さを順次細かくしながら研磨盤による研磨(#80、#200、#800)を行ったものである。

表1 配合条件およびフレッシュコンクリートの性状

種類	粗骨材の最大寸法(mm)	呼び強度(N/mm <sup>2</sup> )	水セメント比(%)	細骨材率(%)	フレッシュ性状	
					スランプ又はスランプフロー(cm)	空気量(%)
高強度	20	50	31.4	46.0	50	5.5
普通強度	20	27	53.5	45.1	12	4.0



写真1 ボス供試体の暴露およびコア採取の状況

## 3. 結果および考察

表2にフレッシュ時および硬化後の空気量、気泡間隔係数を示す。高強度コンクリートのフレッシュ時の空気量は5.5%であり、硬化後の空気量は円柱供試体が3.2%、ボス供試体が4.3%とそれぞれ小さくなった。硬化後の空気量はボス供試体の方が1.1%大きくなり、気泡間隔係数はボス供試体の方が小さくなった。図1に円柱供試体とボス供試体の気泡径分布を示す。100μm～250μmの範囲では、内部振動機で締固めを行ったボス供試体の方が、突き棒で締固めを行った円柱供試体よりも気泡個数が多くなっていることが確認できた。これはバイブレーターによる振動によりAE剤による微細な気泡が多く連行されたためであると考えられ

表2 配合条件およびフレッシュコンクリートの性状

種類	供試体	フレッシュ時の空気量	硬化後空気量	気泡間隔係数
高強度	円柱供試体	5.5%	3.2%	318μm
	ボス供試体	5.5%	4.3%	282μm
普通強度	円柱供試体	4.0%	2.6%	220μm
	ボス供試体	4.0%	3.1%	205μm

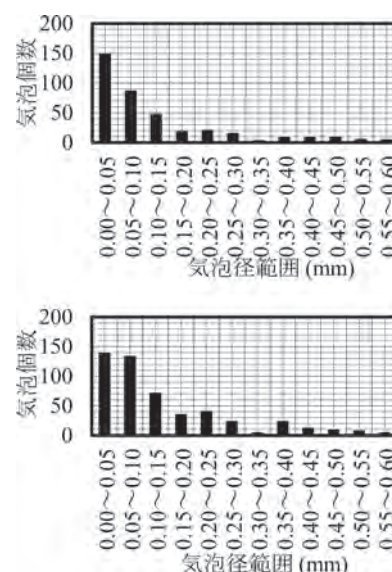


図1 高強度の気泡径分布  
(上: 円柱供試体、下: ボス供試体)



る。一方、普通強度コンクリートについては、フレッシュ時の空気量と硬化後の空気量の関係および気泡間隔係数は、高強度コンクリートと同様な傾向を示した。ただし、気泡径分布は円柱供試体とボス供試体で特に顕著な違いが生じなかったことから、AE剤の種類および気泡の総量としての空気量の違いが影響していると考えられる。

### 謝辞

現地でのボス供試体の暴露およびコア採取においては、農林水産省東北農政局津軽土地改良建設事務所十三湖農地防災事業建設所にご協力をいただきました。感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 橋本紳一郎、迫井祐樹：製造・施工段階が気泡組織に及ぼす影響、コンクリート中の気泡の役割・制御に関する研究委員会報告書、日本コンクリート工学会、pp.63-67(2016)

## 12

### 宍道湖西岸農地整備地区における地下水の水質・水文特性

島根大学 生物資源科学部  
環境共生科学科  
流域環境工学研究室  
**飯田 真基**  
(現在 航空自衛隊 勤務)



島根大学 生物資源科学部  
環境共生科学科  
流域環境工学研究室  
**飯塚 天嶺**  
(現在 島根県庁 勤務)



#### 1. 背景と目的

島根県東部の宍道湖西岸農地整備地区は、天井川である斐伊川、平田船川や湯谷川に隣接し、地下水位が高いため水田から畑地転換を目指して排水対策強化の事業が進められている。河川からの浸透水が、どの範囲まで、どの程度、周辺地下水に影響しているかの評価が不可欠である。そこで、周辺河川の浸透水と水田地区の地下水との相互関係について明らかにするため、水文トレーサーとして利用が進んでいる酸素・水素安定同位体比( $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ )と主要溶存イオンといった水質および水位等の時空間的変動特性を整理・分析した。

#### 2. 対象地概要と研究方法

対象地の概要を図1に示す。本研究では深さ3.5mの調査用井戸において地下水を21地点、河川水を3地点、湖水を1地点、田面水を1地点、降水を1地点(島根大学)で採水するとともに、地下水位、水温、ECなどを現地観測した。採水頻度は、田面水は週3回、その他は月1回であり、2020年3月から調査を開始した。また、灘分地区8地点で地下水位の連続観測を行った。河川水、湖水位、雨量は、川の防災情報で提供されているデータを利用した。室内では $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ 、主要溶存イオンを分析した。 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^2\text{H}$ の変化は相変化(凝結や蒸発)で生じる。水田等の強い蒸発を受ける水は、同位体比が高く変化することが知られている。そのため、河川水や水田水といった地下水涵養源を見分ける水文トレーサーとして広く利用されている。

#### 3. 結果と考察

地下水のCl濃度を図2に示す。斐伊川河川水は



図1 対象地の概要

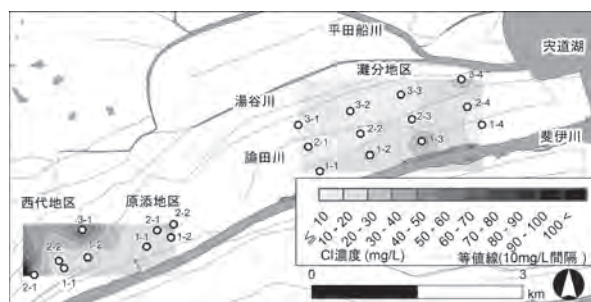


図2 2020年7月の地下水におけるCl濃度分布



5~10 mg/L程度であったが、灘分地区では1-3、3-4、西代地区では湯谷川に近い地点で高くなる傾向が多く、の月で確認された。灘分1-3では宍道湖湖水(50~2300 mg/L)の逆流をうけた斐伊川河川水が流入していることが考えられ、西代地区では湯谷川河川水の流入の可能性が考えられる。一方で、宍道湖に近い地点では極端なCl濃度の上昇は認められず、宍道湖湖水の水田地下水への流入の可能性は低いと考えられる。つぎに、 $\delta^{18}\text{O}$ の分布を観測期間中の地表水の同位体比の範囲を併せて図3に示す。灘分地区の地下水の同位体比は全体的に低く、とくに灘分1-2、2-2、2-3が他の地点よりも低い傾向にある。よって、灘分1-2周辺からの斐伊川河川水の流入の影響がうかがえる。西代地区の地下水の同位体比も低いものの、斐伊川からの河川距離に応じた値の変化は明瞭ではない。斐伊川に近い原添地区の地下水は、-6%程度と斐伊川より高くなり、田面水の影響も示唆された。

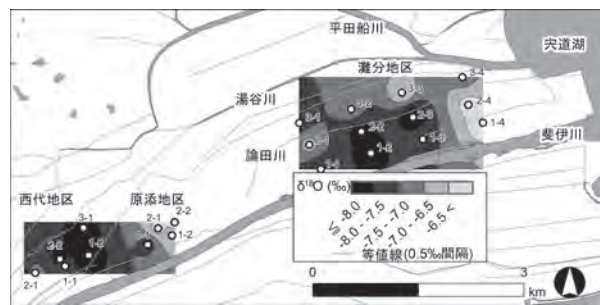


図3 2020年7月の地下水における $\delta^{18}\text{O}$ 分布

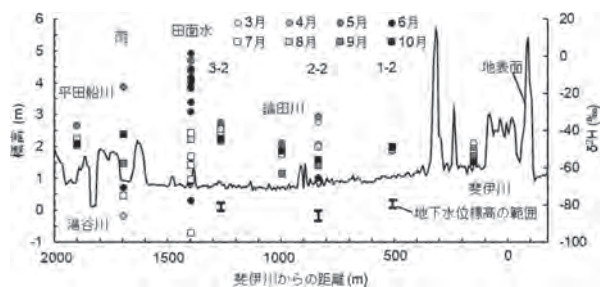


図4 地下水位標高、 $\delta^2\text{H}$ の空間及び時間変動

つぎに宍道湖から約3km上流の横断面の地下水位標高、 $\delta^2\text{H}$ の空間及び時間変動を図4に示す。斐伊川の河床標高は周辺より約1m高い。論田川の河床は低く設定され、排水河川として機能する。地下水位標高から判断される地下水流動は、斐伊川から論田川への流動、および道湖湖水と水位が連動して高い平田船川から論田川へと向かう流動であった。灌漑期・非灌漑期ともに流動方向に大きな違いはなかった。連続水位観測した7地点の地下水と斐伊川(天津地点)、5地点の地下水と論田川において水位間の正の相関関係が認められた。一方、地下水と平田船川、湯谷川、宍道湖の水位とは相関はみられなかった。 $\delta^2\text{H}$ については、田面水は灌漑初期に $\delta^2\text{H}$ が高く、降水は降水量が多い月に低くなる傾向があった。斐伊川に近い地下水では時期による変動量が小さく、同じく変動量が小さい斐伊川が主たる涵養源であると考えられる。一方、斐伊川から離れた地点では $\delta^2\text{H}$ は変動量が大きくなり、河川水に加えて田面水や雨の影響がうかがえる。

#### 4. まとめ

天井川である斐伊川に隣接する宍道湖西岸農地整備地区において、河川水が地下水に与える影響の有無やその程度を水質と水文調査から多面的に評価を試みた。その結果、Cl濃度や水の安定同位体比の時空間変動から、灘分地区では主に斐伊川が地下水涵養源となる地下水の範囲を示すことができた。原添、西代地区では斐伊川の浸透水の影響の有無が明瞭ではなく、地下水涵養源の特定のため継続して調査を実施する必要がある。

#### 謝辞

調査・分析に際しては、中国四国整備局・宍道湖西岸農地整備事務所および総合地球環境学研究所の同位体環境学共同研究事業の支援を受けました。記して謝意を表します。

## アサザがクリークの水環境に及ぼす影響と適正管理



佐賀大学 農学部 生物環境科学科 海浜環境情報学研究室 田中 史乃  
(現在 サンスイコンサルタント株式会社 勤務)

[キーワード] クリーク、アサザ、水環境

### 1. はじめに

佐賀平野のクリークには豊かな生態系が存在しており、希少な動植物の生息の場となっている。浮葉性植物であるアサザは、佐賀県のレッドデータブック2010では準絶滅危惧種に選定され、保護の対象となっているが、水質浄化能を有する水生植物であっても、その管理の仕方によっては水環境の悪化を引き起こす可能性がある。

本研究では、希少水生植物であるアサザを保全する区間での植生と水環境の調査によって、アサザの存在が水環境に及ぼす影響を明らかにし、アサザの保全と適正管理方法について検討することを目的とした。

### 2. 調査方法

佐賀県内クリークのアサザ保護工区間において現地調査を行った。この区間は2017年度冬季に施工され、兩岸の水中にアサザを植え付けるための小段(幅1.2m、覆土厚0.2m)が設けられている(図1)。

調査日は2020年4月16日、5月13日、6月16日、7月16日、8月18日、9月30日、10月15日、11月5日であり、調査時

間帯はいずれの調査も午前8時~11時である。工区直下流(地点①)、アサザ群落内(地点②、③)および工区直上流(地点④)の計4点において、水深、水質(水温、電気伝導度、溶存酸素濃度)の鉛直分布、表層(水深0.2m)の浮遊物質濃度(SS)及びクロロフィルa濃度(chl.a)を計測した。加えて、地点②と地点④において、水深0.2mと0.4mの光子密度を測定し、日射透過率を算定した。

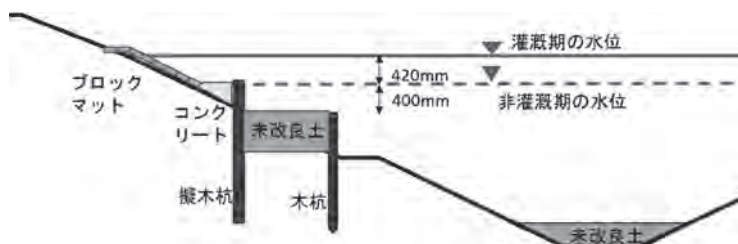


図1 アサザ保護工区間の横断面図

### 3. 調査結果

小段上の水深は4月と5月は約0.6mであり、6月から9月にかけては梅雨の大雨直後の7月(約1m)を除き約0.8mと高く、10月と11月は徐々に低下した。アサザ群落の幅は、150~200cm程度であり、植物の葉が減少する晩秋や水位が高い調査日(7月16日)において狭くなっていた。

図2にアサザ群落における日射透過率の変化を示す。水深0.2mの日射透過率は、4月に約0.3であったものが、



写真1 調査区間全景と調査地点



写真2 計測器を用いた水質調査の様子

5月はアサザの葉の増加のため約0.05まで低下したが、6月と7月は出水や水位上昇の影響で透過率が上昇した。その後、8月から10月にかけてアサザが成長したため日射透過率は徐々に低下し、葉が枯れ始めた11月には再び上昇した。また、水深0.4mの日射透過率は期間を通して水深0.2mの約半分であった。

各地点における表層と底層の水温の調査期間平均は、地点①21.8℃、21.2℃、地点②22.0℃、21.3℃、地点③22.1℃、21.3℃、地点④21.8℃、21.2℃であり、表層、下層ともに、アサザ群落内の水温が群落外より高かった。とくに5月と9月はアサザ群落内が0.5℃ほど高くなった(図3)。

植物プランクトン量の指標となるchl.aは8月に高く、また4、6、7、10、11月はアサザ群落内の地点②と③が地点①と④より高かった(図4)。溶存酸素濃度(DO)はアサザ群落内の地点②、③において表層に比べ底層で低くなっていた(図5)。とくに、5月から7月にかけて、アサザ群落内の底層のDOは、生物にとって良好な環境である5mg/Lを下回った。これは、水底近くでは日射量が小さく植物プランクトンの光合成による酸素発生量が少ないのに加え、水棲生物の呼吸や底土中の酸素消費の影響によるものと考えられる。

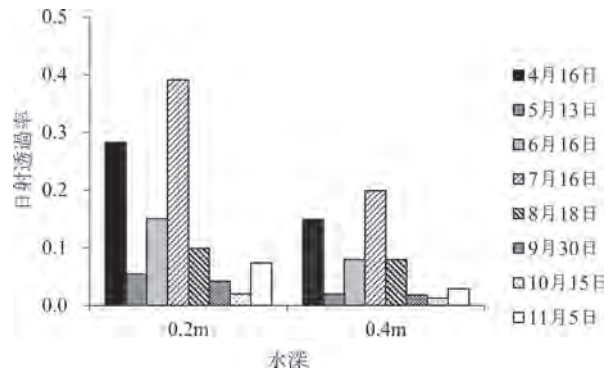


図2 アサザ群落における日射透過率の変化

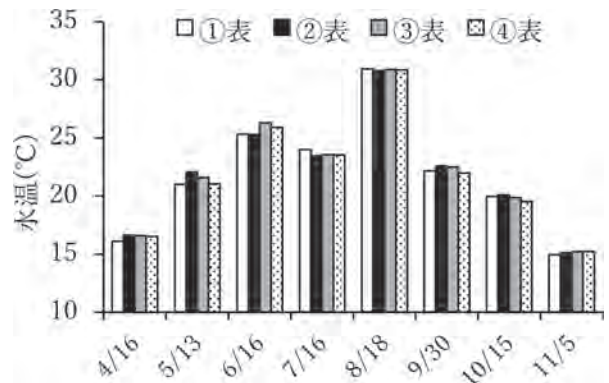


図3 表層(0.2m)水温の変化

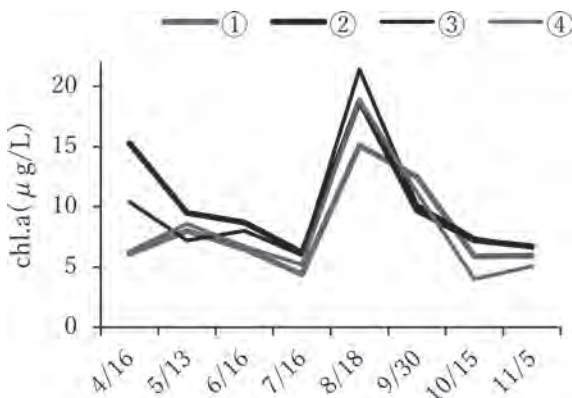


図4 クロロフィルa濃度の変化

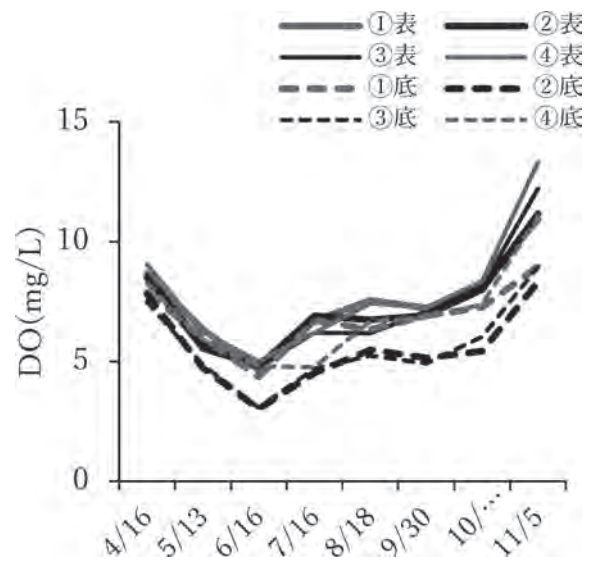


図5 溶存酸素濃度の変化

#### 4. おわりに

本調査の結果、アサザによる水環境への影響として、1)水中日射透過率低下、2)表層水温上昇、3)底層溶存酸素濃度の低減が確認された。これらの影響は、水表面を被覆するアサザの葉や水中の茎の存在によってもたらされたものであるが、水深等の水理条件にも左右されたと考えられる。今後は、アサザ保護工区の適正管理に向け、魚類の生息状況や枯死による水質変化に関する調査を実施する予定である。



## クリークにおける希少小型魚類の生息と水環境の関係



佐賀大学 農学部 生物環境科学科 海浜環境情報学研究室 村岡 涼太  
(現在 株式会社高崎総合コンサルタント 勤務)

[キーワード] クリーク、多自然型護岸工、生態系

### 1. はじめに

筑後川下流右岸地域には、無数のクリークが張り巡らされている。当地のクリークにはカワバタモロコ、ニッポンバラタナゴ等の希少小型魚類の生息が確認されているが、近年の環境の変化や外来種の移入によりこれらの生息が脅かされている。

この地域で進められている国営筑後川下流右岸農地防災事業では、護岸工事による環境への影響を軽減するための護岸工法が導入されている区間があり、その効果を評価するための調査が実施されている。

本研究では、カワバタモロコをはじめとする希少小型魚類の生息するクリークにおいて、調査を実施し、小型魚類の生息と水環境の関係を明らかにするとともに、調査結果に基づいて、希少小型魚類の生息環境の保全と管理方法について検討することを目的とする。

### 2. 調査方法

佐賀県内の多自然型護岸施工が検討されている区間(延長約200m)において、2020年9月から11月にかけて計5回(9月8日、9月23日、10月7日、10月20日、11月11日)の現地調査を行った。区間の上流端及び下流端にある水門は調査期間中閉じられていた。また、調査区間の途中で支線クリークと交差する箇所がある。区間内において約50m間隔で8か所の調査地点(上流から順に①～⑧)を設定し、水環境と小型魚類の生息状況を調査した。なお、この区間では、九州農政局によって2019年6月と8月に実施された事前調査において、ニッポンバラタナゴやカワバタモロコが数十匹の単位で採集されている。

水環境については、水深、流速及び水質(水温、電気伝導度、pH、溶存酸素濃度、濁度)を計測した。水



写真1 現地調査の様子



写真2 調査クリークの様子(左: 9月8日, 右: 9月23日)

深はメジャーポールを用いて測定した。流速はプロペラ式流速計のセンサー部分を水深15cmに固定し、10秒ごとの平均値を測定した。水質の測定では、多項目水質計を測定水深が20cmになるように設定し、10秒間隔で記録した。また、小型魚類の生息調査では捕獲用仕掛けを各地点に1個ずつ設置した(設置時間は約1時間)。集魚剤はさなぎ粉と乾燥赤虫を1.5gと0.5gの割合で混合した物を使用した。

### 3. 調査結果

9月8日は調査区間の全域でホテイアオイやヒシで水面が覆われていたが、9月23日までの間にこれらが取り除かれた。(写真2)

水深は降雨の流れ込みや支線クリークとの出入りの影響で変動し、全地点で季節が進むにつれて水深が減少する傾向があった。また、調査期間を通して地点②が最も浅く(37~55cm)、地点⑥が最も深かった(81~97cm)。

水温は9月8日と9月23日の調査では地点①、②、③で高く、地点④、⑤、⑥では上流側より1~2℃ほど低い傾向がみられるが、その後の調査では地点ごとの差異は小さくなった。また、季節が進むにつれて気温が低下し、それに伴って水温も低下した。

溶存酸素濃度は水草除去前の被覆条件下の調査(9月8日)の際には、すべての地点で2.0mg/L以下であり、特に地点②と地点④では0.4mg/L程度と極端に低い値を示した(図1)。水草除去後は全ての地点で上昇し、8mg/L以上となった。

流速については、支線と合流する地点⑤(最大で5cm/s程度)を除き、流速計の測定下限値以下(3cm/s)であった。

各調査日に採集された小型魚類の捕獲数の8地点合計は、53、16、26、24、1匹であった。9月23日の捕獲数が9月8日に比較して減少したのは、水草除去に伴う急激な環境変化の影響によるものと推察される。また、11月11日の捕獲数の急激な低下は、水温が15℃以下に低下したことに伴う小型魚類の活性の低下が要因であると考えられる。

図2にa)水草除去前(9月8日)とb)除去後(4回の合計)の各地点における小型魚類の捕獲数を示す。9月8日の調査において、地点①と地点⑤で20匹以上捕獲されているのに対し、地点②と地点④で捕獲されなかったことは、これらの地点の極端に低い溶存酸素濃度の影響によるものと思われる。その後の調査では、地点⑥の捕獲数が多くなる傾向がみられた。これは、地点⑥では多地点に比べオオカナダモ等の沈水性植物が多く、流速が小さいことによると考えられる。さらに、地点⑥は全地点中最も水深が深く、冬季の越冬地としては適していると考えられる。

### 4. おわりに

今回の調査結果に基づくと、小型魚類の生息に配慮した多自然型護岸では、浮葉・浮遊性植物によって水面が被覆されないような管理や、沈水性植物が生息しやすいような水路底の覆土、冬季の越冬を可能にするための適度な水深が重要であると考えられる。

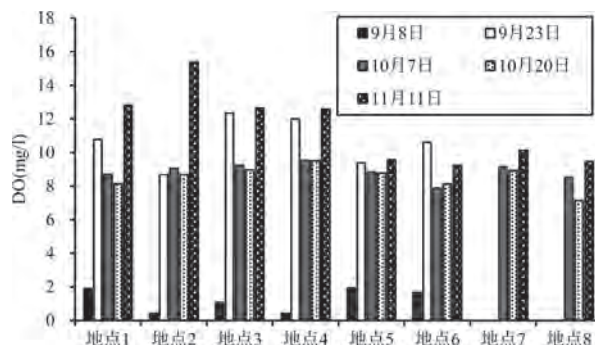
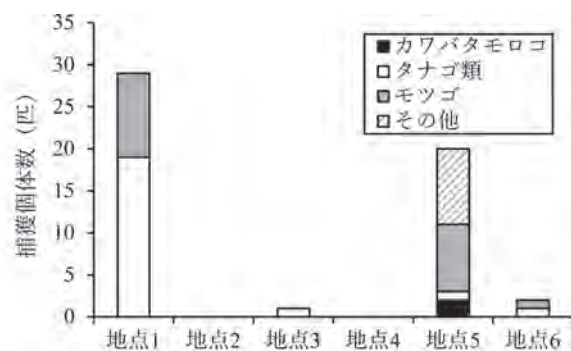
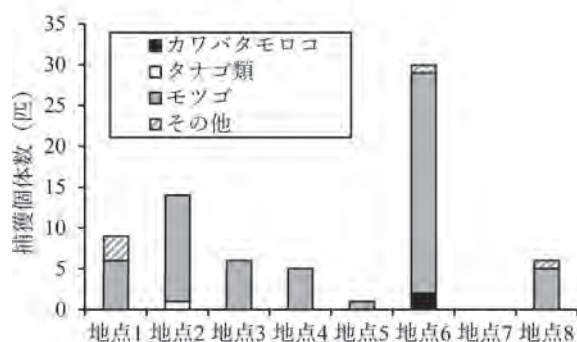


図1 各地点の溶存酸素濃度



a) 9月8日



b) 9月23日~11月11日

図2 捕獲調査の結果