

# 国営事業地区等フィールド調査 学生支援事業

## 令和6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6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 酪農地域・傾斜試験枠における耕起作業と土壤侵食に関する経年評価

帯広畜産大学 畜産学部 畜産科学課程 農業環境工学ユニット 小向 映瑠  
(就職先 内外エンジニアリング北海道株式会社)  
指導教員 宗岡 寿美 教授

### 2 GISを用いた都道府県別での農業用ため池分布特性

弘前大学大学院 農学生命科学研究科 農学生命科学専攻 地域環境工学コース 水利構造学研究室 三浦 恵祐  
(就職先 NTCコンサルタンツ株式会社)  
指導教員 森 洋 教授

### 3 ため池堤体を対象とした弾塑性有限要素解析による耐震性の再評価

弘前大学大学院 農学生命科学研究科 農学生命科学専攻 地域環境工学コース 水利構造学研究室 高田 侑二郎  
指導教員 森 洋 教授

### 4 炭素・窒素安定同位体比を用いたギバチの個体群識別の可能性

北里大学 獣医学部生物環境科学科 土壌環境学研究室 行木 優弥  
(就職先 NTCコンサルタンツ株式会社)  
指導教員 森 淳 教授

### 5 計算時間間隔の短縮による印旛沼循環灌漑地域の低地排水路水位モデルの改良

岩手大学 大学院総合科学研究科地域創生専攻 高度農林業プログラム農業水利学研究室 岩崎 隼也  
(進学先 岩手大学大学院総合科学研究科 地域創生専攻)  
指導教員 飯田 俊彰 教授

### 6 上流水収支と低平域氾濫を考慮したDWCM-AgWUモデルの改良

秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 佐藤 祐利  
(進学先 秋田県立大学大学院)  
指導教員 増本 隆夫 教授

### 7 流域外導水を行う馬場目川と八郎湖周辺河川における渇水指標の提案

秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 鍋島 晶  
(就職先 秋田県庁)  
指導教員 増本 隆夫 教授

### 8 石垣島土地改良区における個別従量制水利費賦課方式による節水効果

筑波大学 生物資源学類環境工学コース 水利環境工学研究室 濱野 未歩  
(進学先 筑波大学大学院生命地球科学研究群)  
指導教員 石井 敦 教授

### 9 都市近郊農業地帯における幹線用水路への降雨時横流入量の推定

東京大学 農学部 生物・環境工学専修 水利環境工学研究室 伊牟田 壮  
(進学先 東京大学大学院)  
指導教員 乃田 啓吾 准教授



**10 UAVを用いた水田水温分布測定の測定精度の検討**

東京大学農学部 生物・環境工学専修4年 西山 伊織  
(進学先 東京大学大学院農学生命科学研究科修士課程)  
指導教員 西田 和弘 准教授

**11 深層学習を用いた画像解析による石垣島宮良川河口の水位・塩分推定モデルの構築**

東京農工大学 農学部 地域生態システム学科4年 水口 芽和  
(進学先 東京農工大学先進学際科学府 先進学際科学専攻)  
指導教員 福田 信二 教授

**12 石垣島宮良川感潮域における平面二次元水理モデルの構築**

東京農工大学 農学部 地域生態システム学科 中山 朝葉  
(進学先 東京農工大学先進学際科学府 先進学際科学専攻)  
指導教員 福田 信二 教授

**13 ドローンによる水田水温測定の検証に関する研究**

日本大学 生物資源科学部 生物環境工学科 地球環境・資源リモートセンシング研究室 小澤 悠人  
(就職先 独立行政法人 水資源機構)  
指導教員 宮坂 加理 助教

**14 デジタル画像相関法を用いたパイプラインにおけるエネルギー損失の非破壊検出に関する研究**

新潟大学 農学部 農学科 施設機能工学研究室 高橋 悠斗  
(進学先 新潟大学大学院自然科学研究科)  
指導教員 鈴木 哲也 教授

**15 UAV画像の深層学習による農道橋RC床版のひび割れ検出**

新潟大学 農学部 農学科 施設機能工学研究室 田中 熙  
(進学先 新潟大学大学院自然科学研究科)  
指導教員 鈴木 哲也 教授

**16 機械学習を用いた地下ダムの貯水量予測**

神戸大学 農学部 食料環境システム学科 施設環境学研究室 井上 峻  
(進学先 神戸大学大学院)  
指導教員 井上 一哉 教授

**17 断層を有する石灰岩帯水層の物理的不均質性の可視化**

神戸大学 農学部食料環境システム学科 施設環境学研究室 藤田 帆夏  
(就職先 農林水産省)  
指導教員 井上 一哉 教授

**18 供用期間約20年の各種表面被覆材に生じる変状の分析**

高知大学 農林海洋科学部 農林資源環境科学科 横山 藍  
(就職先 倉敷市役所)  
指導教員 佐藤 周之 教授

**19 佐賀県白石町におけるため池とクリークの管理実態とその変遷**

九州大学 大学院生物資源環境科学府 環境農学専攻 木原 昂  
(進学先 九州大学大学院)  
指導教員 岩田 幸良 教授

**20 クリークの水質に及ぼす植生の影響**

[キーワード] クリーク、植生、溶存酸素濃度

佐賀大学農学部 生物資源科学科 地域環境学研究室 堀 葉  
(就職先 佐賀県庁)  
指導教員 原口 智和 准教授

## 酪農地域・傾斜試験枠における耕起作業と土壤侵食に関する経年評価

帯広畜産大学 畜産学部 畜産科学課程 農業環境工学ユニット 小向 映瑠  
(就職先 内外エンジニアリング北海道株式会社)  
指導教員 宗岡 寿美 教授



### 1. はじめに

現在、北海道開発局釧路開発建設部では釧路管内浜中町で農地再編整備を主とした国営事業を推進すべく2022年度より地域整備方向検討調査業務「浜中地域」を実施している。今後、土砂流亡の抑制に配慮した圃場整備・排水改良等を通して、風蓮湖を含む下流域の生態系に調和した地域全体としての持続的な一次産業の展開を目指している。そのためには、地域における侵食流亡土量の許容範囲以下への抑制と定量把握が必要となる。

侵食流亡土量の予測には、世界的に広く使用されているUSLE(Universal Soil Loss Equation、汎用土壤流亡量予測式)を用いた。USLEでは、以下の6つの因子を定量化した係数の積から予測する流亡土量を算出する。

$$A = R K L S C P$$

A : 流亡土量(tf/ha)、R : 降雨係数(tf·m<sup>2</sup>/(ha·h))、K : 土壤係数(h/m<sup>2</sup>)、  
L : 斜面長係数(以下、無次元)、S : 傾斜係数、C : 作物係数、P : 保全係数  
(LとSをあわせて、LS : 地形係数ともいう)

この研究では、小林ら<sup>1)</sup>が2023年度に実施した北海道釧路管内浜中町内に設置したUSLE傾斜試験枠からの流亡土量の測定、表層土の土質試験および近傍での降水量の連続測定などを2023年11月以降も1年間継続した。さらに、2024年2月下旬(融雪直後)に積雪深・積雪密度を測定した後、融雪期の流亡土量の測定も追加した。ここでは、2023年5月～2024年10月までの調査結果をもとに、融雪期を考慮した2024年(年間)の降雨係数・流亡土量を評価するとともに、耕起作業の有無と傾斜農地(裸地)の土壤流亡性・挙動について検討を加えた。

### 2. 調査・分析方法

釧路管内浜中町の草地圃場に設置したUSLE傾斜試験枠(基準斜面長22.1m×幅1.8m)の裸地3枠(①②③:勾配8.7～9.0%)・草地1枠(④:勾配5.8～5.9%)で調査2か年の流亡土量を測定した。裸地枠①②はレーキで整地し、裸地枠③ではスコップで月1回10cm程度の深さを耕起した。裸地3枠内・表層の土質はシルト(高液性限界、MH)に分類され、2024年大降雨時・融雪期など裸地3枠からの流亡土の粒度特性に大差はなかった。また、0～30cmの深さで採取した不攪乱土の透水試験などを実施した。加えて、傾斜試験枠近傍に雨量計を設置して10分間隔で降水量を連続測定するとともに、融雪開始直後(2024年2月下旬)の積雪深・積雪密度を測定した。

### 3. 結果および考察

寒冷少雪の北海道東部でUSLEを適用するとき、降雨係数 $R$ (= $R_r$ (降雨流出係数)+ $R_s$ (融雪流出係数))、流亡土量 $A$ (= $A_r$ (営農期流亡土量)+ $A_s$ (融雪期流亡土量))とも営農期に融雪期を加えて評価してきた。

最近2か年における侵食性の一連降雨(危険降雨: 降雨量12.7mm以上および最大15分間雨量6.4mm以上)の和である降雨流出係数 $R_r$ は2024年(営農期降水量 $r_r$ 436.5mm、 $R=243.8\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h})$ )で大きく、同年8月30～31日の大降雨(降水量 $r_r'$ =101.5mm、 $EI_{30}$ 値=140.7 $\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h})$ )が影響していた(表1)。2023年・2024年(大降雨時

表1 降水量、降雨係数 $R$ および流亡土量 $A$ (2023～2024年)

|                     | 降水量<br>$r_r$ or $r_s$<br>(mm) | 降雨係数<br>$R_r$ or $R_s$<br>( $\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h})$ ) | 流亡土量 $A_r$ or $A_s$ (kg) |          |          |
|---------------------|-------------------------------|---|--------------------------|----------|----------|
|                     |                               |   | 裸地<br>枠①                 | 裸地<br>枠② | 裸地<br>枠③ |
| 2023年営農期(5～10月)     | 360.5                         | 82.8  | 15.6                     | 14.3     | 0.943    |
| 2024年融雪期(2月下旬～4月下旬) | 31.2                          | 12.7  | 4.1                      | 4.5      | 2.5      |
| 2024年営農期(5～10月)     | 436.5                         | 243.8   | 80.6                     | 82.2     | 48.2     |
| 8月30～31日            | 101.5                         | 140.7   | 45.5                     | 49.4     | 47.3     |
| Σ上記以外               | 335.0                         | 103.1   | 35.1                     | 32.8     | 0.877    |

以外)における裸地枠③(耕起枠)の営農期流亡土量 $A_r$ はそれぞれ0.934kg、0.877kgであり、裸地枠①②(整地枠:14.3~15.6kg、32.8~35.1kg)の15分の1から30分の1であった。一方、2024年2月下旬~4月下旬における裸地枠③の融雪期流亡土量 $A_s$ (2.5kg)は裸地枠①②(4.1~4.5kg)の56~61%を占めていた。このとき、8月30~31日(大雨)の流亡土量 $A_r'$ は裸地3枠で同程度(45.5~49.4kg)であった(表1)。なお、牧草が生育する草地枠④(2回の草刈り作業)では緩傾斜ながらも調査2か年間で土壤流亡は認められなかった。

いま、裸地枠③(基準斜面長・基準勾配・休閑状態・平畝・上下耕)を基準値( $LSCP=1.0$ )と考えると、上式より土壤係数 $K=A/R$ とすることができます。現地の冬期間降水量 $r_s$ (積雪深12cm×積雪密度0.26g/cm<sup>3</sup>=3.12cm)に融雪換算係数 $x$ (4.06tf·m<sup>2</sup>/(ha·h·cm))を乗じて融雪流出係数 $R_s$ (12.7tf·m<sup>2</sup>/(ha·h))を算出すると、2024年(年間)の降雨係数 $R=R_s(12.7tf·m^2/(ha·h))+R_r(243.8tf·m^2/(ha·h))=256.5tf·m^2/(ha·h)$ 、流亡土量 $A=A_s(0.628tf/ha)+A_r(12.1tf/ha)=12.73tf/ha$ となり、土壤係数 $K=0.05h/m^2$ と試算された。このとき、年間許容流亡土量の範囲内(10~15tf/(ha·yr))<sup>3)</sup>にあり、土壤係数Kも国内各地の実測値(0.05~0.56h/m<sup>2</sup>)<sup>3)</sup>と比較して低い値であるなど、現地の土壤統(浜中統)の受食性は比較的低い可能性が示唆された。

裸地枠①②の表層土(深さ0~10cm)では固相率(23.0~34.8%)・飽和度(74.8~96.1%)が高く、透水性(透水係数 $10^{-5}$ ~ $10^{-6}$ オーダー)も不良であり、降雨開始後の早い段階での地表流去水が土壤を流亡していた。一方、裸地枠③の表層土では固相率(22.4~27.4%)・飽和度(56.4~68.4%)は低く、透水性(透水係数 $10^{-2}$ ~ $10^{-4}$ オーダー)も良好であり、間隙中に一定の降雨を浸透・貯留できていた。しかし、大きな危険降雨時や融雪時には表層土の飽和後もさらに降雨・融雪水が供給されるため地下へ浸透しきれずに土壤を流亡していた。

2024年の調査結果、 $EI_{30}$ 値が20tf·m<sup>2</sup>/(ha·h)程度(条件次第ながら降雨量が最大で60mm程度)以下の降雨に対して、北海道東部・酪農地域の傾斜農地(裸地)では耕起作業による土壤侵食抑制効果が確認された。

## 謝辞

この研究は(一社)土地改良建設協会より「令和6年度国営事業地区等フィールド調査学生支援事業」の助成を受けて進めた。また、北海道開発局鉄道開発建設部には「浜中地域」の概要を説明いただき、USLE傾斜試験枠の圃場管理から各種データ測定に至るまで多くのご協力をいただいた。以上の各位に対して深謝の意を表する。なお、この研究成果について第68回(2024年度)北海道開発技術研究発表会で口頭発表<sup>2)</sup>したことを付記する。

## 引用文献

- 1) 小林竜也・酒井二央・北條洋史(2024):酪農地域における傾斜地からの土壤流亡性評価に関する基礎的検討—地域整備方向検討調査業務における調査研究事例一、第67回(2023年度)北海道開発技術研究発表会論文、食-1(農)、<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/slo5pa000001a6ex-att/slo5pa000001aal7.pdf>
- 2) 小向映瑠・小野学・瀬戸明良(2025):酪農地域・傾斜試験枠における耕起作業と土壤侵食に関する経年評価—地域整備方向検討調査業務における調査研究事例一、第68回(2024年度)北海道開発技術研究発表会論文、食-11(農)、<https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/dcmh0u0000001igf-att/dcmh0u0000001iuo.pdf>
- 3) 農林水産省構造改善局計画部資源課:土地改良事業計画指針、農地開発(改良山成畑工)、pp.158~178(1992)

## GISを用いた都道府県別での農業用ため池分布特性

弘前大学大学院 農学生命科学研究科 農学生命科学専攻 地域環境工学コース 水利造構学研究室

三浦 恵祐

(就職先 NTCコンサルタンツ株式会社)

指導教員 森 洋 教授



## 1. はじめに

Fig.1は、農林水産省のため池データベース(令和3年3月26日の開示請求時点)より取りまとめた都道府県別のため池数を示す。全国には約16万箇所のため池が存在し、特に瀬戸内海に面した県に集中しているため、一般的に降水量が少なく大きな河川に恵まれない地域に多くのため池が分布していると言われてきた<sup>1)</sup>。しかし、降水量のみを見れば北海道や東北地方の太平洋側で比較的少なく<sup>2)</sup>、河川延長距離でも関東地方で短いことから<sup>3)</sup>、様々な要因項目に対応して、ため池の分布形成を考える必要がある。

本研究では、都道府県別での農業用ため池の分布特性を農林水産省のため池データベースを参考にして、降水量分布、河川分布、地形分布の観点からGISを用いて再検討した。

## 2. 降水量分布

Fig.2は、2003～2022年の降水量データを集計した日本の年平均降水量別でのため池数割合を示す<sup>2)</sup>。全国の降水量観測地点1097箇所の平均である約1900mmの0.9倍(1750mm)と1.1倍(2050mm)による降水量区分に分けて検討した結果、1750mm未満の年平均降水量にあるため池数割合は全体の約半数であり、ため池の多くは比較的年平均降水量が少ない地域に分布していることが分かる。また、2050mm以上の比較的年平均降水量が多い地域でも、ため池数割合で2割程度のため池が分布している。

Fig.3は、都道府県別の年平均降水量別ため池数割合を示す。北海道あるため池数割合が高く、九州・沖

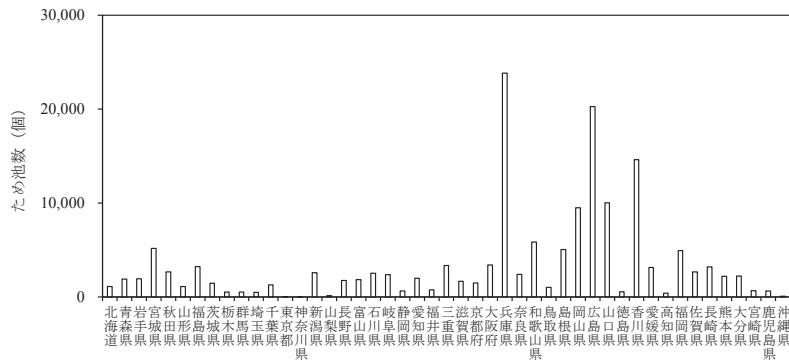


Fig.1 都道府県別のため池数

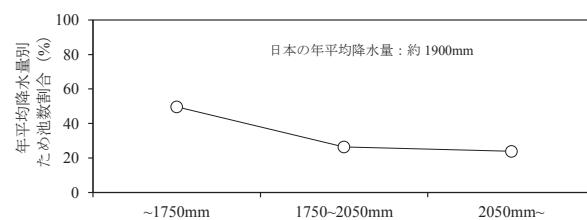


Fig.2 日本の年平均降水量別ため池数割合

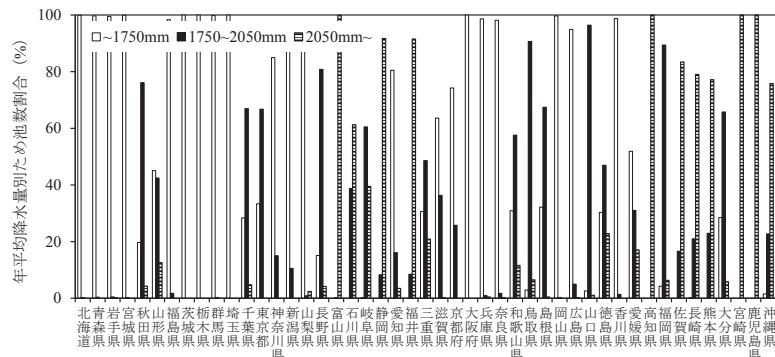


Fig.3 都道府県別の年平均降水量別ため池数割合

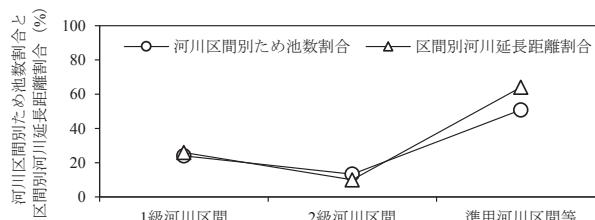


Fig.4 日本の区間別河川延長距離割合とバッファ領域0.5kmでの河川区間別ため池数割合

山形県、三重県、和歌山県、徳島県、愛媛県では、各降水量区分に対して比較的均等なため池数割合を示す傾向にあることは大変興味深い。

### 3. 河川分布

Fig.4は、取水可能な河川とため池との位置関係を検討するため、日本の区間別河川延長距離割合と河川から0.5km圏内(バッファ領域0.5km)にある河川区間別ため池数割合を示す<sup>3)</sup>。0.5km圏内にある河川区間別ため池数割合は区間別河川延長距離割合と一致する傾向にあり、比較的規模の小さい準用河川区間等の近傍にため池が多く分布することが分かる。

Fig.5は、都道府県別のバッファ領域0.5kmでの河川区間別ため池数割合を示す。多くの地域では準用河川区間等の割合が一番高いが、群馬県、山梨県、滋賀県、奈良県、徳島県では1級河川区間での割合が一番高くなる。また、四国、九州・沖縄地方では2級河川区間での割合が比較的高く、1級河川区間での割合が小さくなる傾向が見受けられる。

### 4. 地形分布

Fig.6は、日本の地形別ため池数割合と地形別面積割合を示す<sup>4)</sup>。台地・丘陵地による面積割合が約2割に対して、ため池数割合は約5割となっており、多くのため池が台地・丘陵地に分布していることになる。

Fig.7は、都道府県別の地形別ため池数割合を示す。台地・丘陵地でのため池数割合は全体的に高いが、中国、四国、北九州地方では山地でのため池数割合が高い傾向にある。

東日本で言えば、山梨県や長野県のように山地に囲まれている県が特に山地でのため池数割合が高く、低地でのため池数割合が低くなるように見受けられる。

Fig.8は、地形境界部にため池が集中する傾向にあることが伺えるため、各地形境界から0.5km圏内(バッファ領域0.5km)にある都道府県別での地形境界別ため池数割合を示す。台地・丘陵地・低地の地形境界部でのため池数割合は全体的に高いが、西日本では山地・台地・丘陵地と山地・低地での地形境界部でも高いことから、東日本と比較して各地形(山地、台地、丘陵地、低地)が複雑に入り組んで構成されていることが伺える。また、ため池全体の約8割を占める谷池の多くは、台地・丘陵地での谷の一部を堰き止めて築造されることが多いと考えられるため、谷池や皿池の種別影響も今後検討していく必要があると考える。

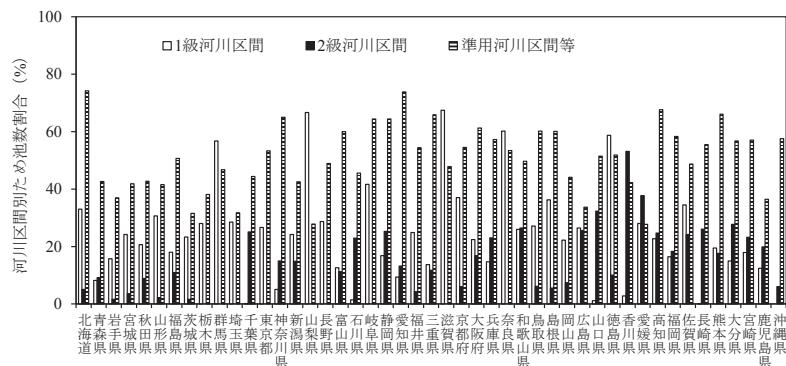


Fig.5 都道府県別のバッファ領域0.5kmでの河川区間別ため池数割合

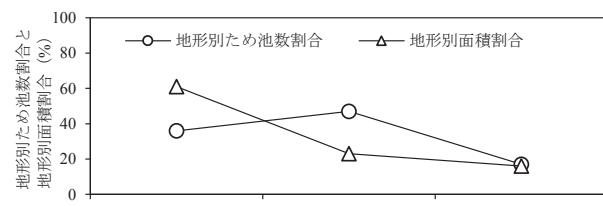


Fig.6 日本の地形別ため池数割合と地形別面積割合

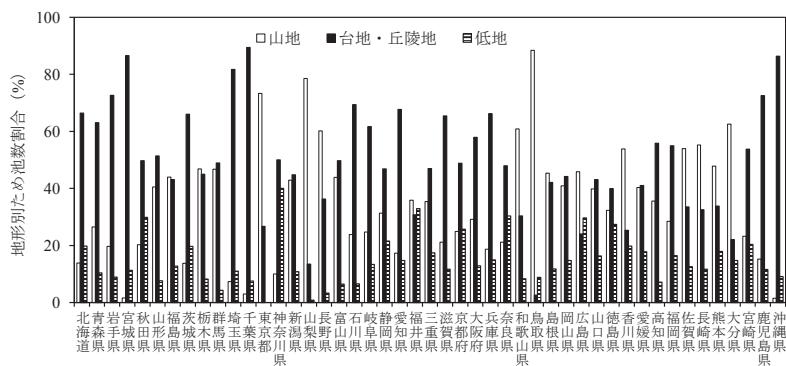


Fig.7 都道府県別の地形別ため池数割合

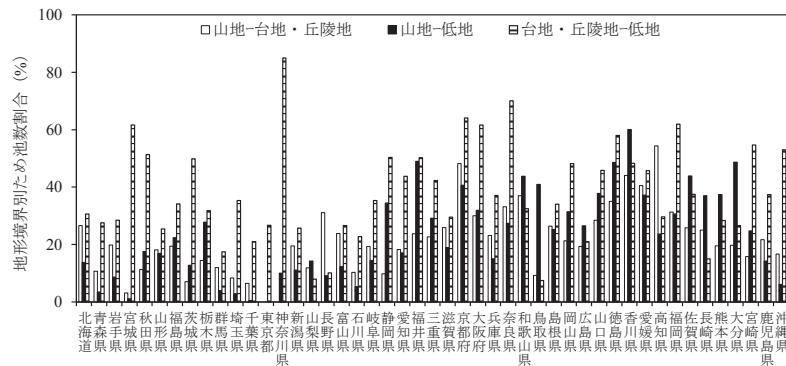


Fig.8 都道府県別のバッファ領域0.5kmでの地形境界別ため池数割合

## 5. まとめ

北海道・東北、北関東、瀬戸内海に面した地域でのため池は、日本の年平均降水量よりも若干少ない地域に多く分布する傾向にあるが、逆に九州・沖縄地方では年平均降水量よりも若干多い地域に分布する傾向にあった。0.5km圏内(バッファ領域0.5km)にある準用河川区間等でのため池数割合が全体的に一番高いが、県によっては1級河川区間での割合が一番高くなる場合もあった。ため池の約5割は台地・丘陵地に分布しているが、特に台地・丘陵地-低地の地形境界部に集中する傾向にあった。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり、ご支援していただいた一般社団法人土地改良建設協会および、ご協力いただいた農林水産省東北農政局の担当者の皆様に心から感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局:「ため池」[https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/)(閲覧日2023年4月6日).
- 2) 気象庁:過去のデータダウンロード<https://www.date.jma.go.jp/gmd/risk/obssl/index.php>(閲覧日2023年8月5日).
- 3) 国土交通省:河川データ、国土数値情報、<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-W05.html>(閲覧日2024年4月19日).
- 4) 国土交通省:国土調査データ、国土数値情報、[https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/chikei\\_bunrui.html](https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/chikei_bunrui.html)(閲覧日2023年5月10日).

## 3

# ため池堤体を対象とした弾塑性有限要素解析による耐震性の再評価

弘前大学大学院 農学生命科学研究科 農学生命科学専攻 地域環境工学コース 水利造構学研究室

高田 侑二朗

指導教員 森 洋 教授



## 1. はじめに

兵庫県南部地震(1995年)以降、ファイルダム等を代表とする盛土構造物の耐震性評価では、レベル1地震動(共用期間内に1~2度発生する確率を持つ地震動)とレベル2地震動(現在から将来に渡って当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動)の2段階で検討されるケースが多く見受けられる。一般的にレベル1地震動の評価手法としては古くから慣用的に用いられてきた震度法により安全率を算出する円弧すべり計算手法を、レベル2地震動では有限要素法等を代表とする動的応答解析による変形(沈下)量での評価手法を用いている<sup>1)</sup>。地震動レベルの違いにより耐震性の評価手法が異なることによる様々な課題等も含めて、これまで実務設計で用いられてきた震度法による耐震評価手法が実際の地震時における動的挙動とどの様な対応関係にあるのかを、同じ地盤の構成モデルを用いた有限要素解析で定量的に評価した事例は少ない<sup>2)</sup>。

本報告では、震度法による円弧すべり計算手法と地盤の構成モデルが同じ準静的・動的弾塑性解析で比較・検討し、盛土構造物の耐震性を再評価する。

## 2. 準静的弾塑性解析

Fig.1は、ため池堤体盛土を想定した堤高9mの有限要素メッシュ( $\rho_t=15\text{kN/m}^3$ ,  $\phi=42^\circ$ ,  $c=4\text{kN/m}^2$ )を示す。円弧すべり計算手法との適応性を検討するため、最初に鉛直方向に自重を加える初期応力(自重)解析を行った後、水平震度に相当する増分荷重を水平方向(左方向)に作用させていく。Fig.2は、水平震度(kh)を増加させていった時のFig.1に示すA地点(盛土法肩部)でのX方向の変位量と安全率(Fs)を示す。解析での限界水平震度(khc)を変形量が大きくなった時点、また、円弧すべり計算手法ではFsが1を切る時点とすると、khcは共に約0.35となり、両者の適応性は良いと言える。また、khc付近での円弧すべり面形状と解析による最大せん

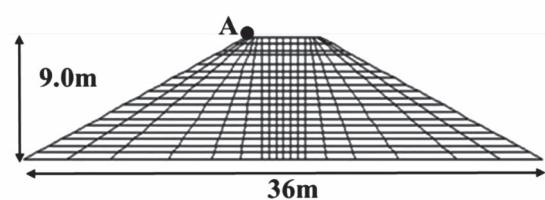


Fig.1 有限要素メッシュ(節点数361, 要素数324)

断ひずみ分布もFig.3に示すが、円弧すべり面領域に円弧状のひずみが集中する傾向にある。

### 3. 正弦波による動的弾塑性解析

地震波(ランダム波)による振幅の大きさや継続時間等一つとして同じものは存在しないが、液状化強度試験ではマグニチュード7.5のランダム波形の地震動を正弦波による一様振幅の繰返し荷重に置き換えると、ほぼ20回に相当するとして検討している<sup>3)</sup>。そのため、先ずは入力加速度を正弦波(最大加速度: 300Gal、周波数: 2Hz)とした場合での天端の応答加速度波形と沈下量をFig.4に示す。継続時間(繰返し回数)が進むに従って沈下量は増加して80秒程で一定値を示す傾向にあるが、沈下量は-1.3cm程度である。Fig.5は、入力加速度の振幅を変化させた場合の応答加速度比【天端の最大応答加速度( $\alpha_{top}$ )／最大入力加速度( $\alpha_{base}$ )】と残留沈下量を示す。同図内に最大入力加速度300Galでの最大せん断ひずみ分布を示しているが、Fig.3で示した円弧すべり面形状と近似する傾向にあった。Fig.2で示した限界水平震度( $k_{hc}$  = 0.35)に重力加速度(980Gal)を乗じて得られる入力加速度(約350Gal)付近で、応答加速度比や残留沈下量が急増する傾向にあることは大変興味深い。

### 4. 地震波(ランダム波)による動的弾塑性解析

Fig.6は、北海道胆振東部地震(2019年)で農業用ため池の基盤部で得られた観測波(最大加速度: 491.17Gal、卓越周波数: 約2.0Hz)での天端の応答加速度波形と沈下量を示す。天端での応答加速度は増分しており、沈下量も主要動が収まる20秒付近まで段階的に増加し続けた後、一定の残留値(約-0.9cm)に収束する。Fig.7は、入力加速度の振幅を変化させた場合の応答加速度比と残留沈下量を示す。同図内にFig.6で得られた最大せん断ひずみ分布を示すが、Fig.3やFig.5よりも深い位置でのひずみの集中が見られる。また、入力加速度振幅が増加するに従って、応答加速度比は小さくなると伴に残留沈下量は大きくなっていくが、最大入力加速度が約4000Galであっても30cm程度しか沈下しない。ランダム波形の最大加速度( $\alpha_{max}$ )を限界水平震度( $k_{hc}$ )に変換する提案式例を下記に示すが、これらに従うと提案式1<sup>4)</sup>では $k_{hc} \approx 0.167$ 、提案式2<sup>5)</sup>では $k_{hc} \approx 0.265$ となり、Fig.2で示した $k_{hc} \approx 0.35$ よりも25%～50%程小さくなる。しかし、逆に $k_{hc} \approx 0.35$ に相当する $\alpha_{max}$ は1000Gal～1200Galとなり、円弧すべり計算手法で用いている設計水平震度はかなり大きな地震動を想定していることになる。

$$k_{hc} = \frac{1}{3} \left( \frac{\alpha_{max}}{g} \right) \quad \dots \text{提案式1}$$

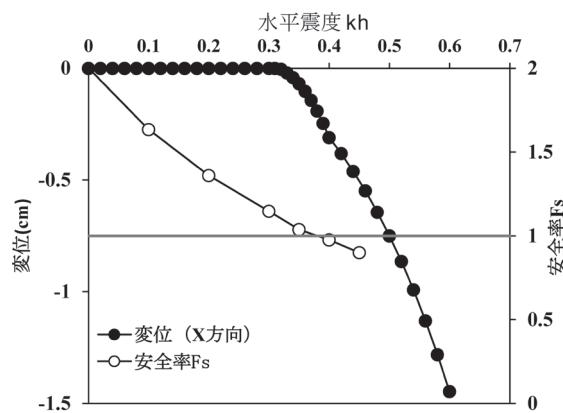


Fig.2 水平震度khと変位・安全Fs



Fig.3 円弧すべり面形状( $F_s \approx 1.0$ )と最大せん断ひずみ分布( $k_{hc} \approx 0.35$ )

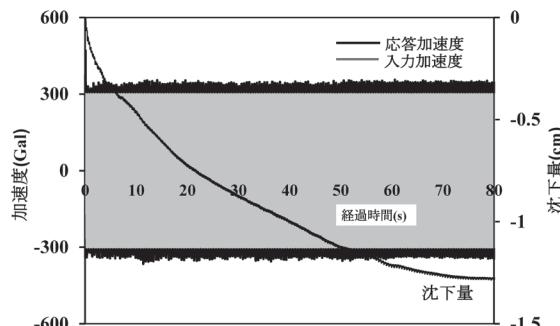


Fig.4 入力加速度波形(正弦波300Gal)と天端の応答加速度・沈下量

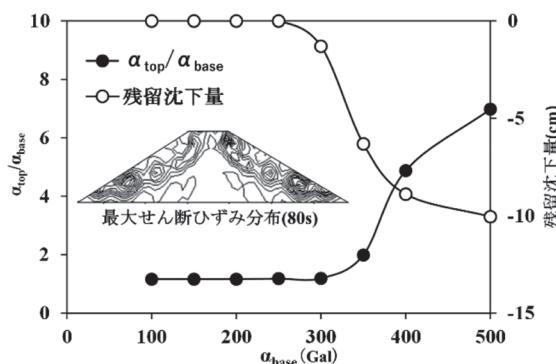


Fig.5 入力加速度(正弦波)の振幅を変化させた場合の応答加速度比と残留沈下量

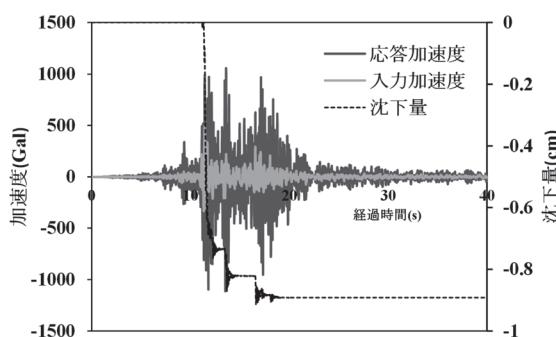


Fig.6 入力加速度波形と天端の応答加速度・沈下量

$$khc = \frac{1}{3} \left( \frac{\alpha_{\max}}{g} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \dots \dots \dots \text{提案式 2}$$

## 5. まとめ

限界水平震度(khc)が0.35程度のため池堤体では、正弦波による最大加速度が350Gal以上になると天端の応答加速度比や残留沈下量が急増する傾向にあった。また、今回想定した地震波(最大加速度: 491.17Gal)による天端沈下量は1cm以下となり、最大加速度を約4000Galとしても30cm程度しか沈下しないことから、古くから用いられてきた円弧すべり計算手法での設計水平震度はかなり大きな地震動を想定したものになると考えられる。

## 参考文献

- 農林水産省農村振興局(2012): 国営造成農業用ダム耐震性能照査マニュアル.
- 森洋・田中忠次(2002): 地震時の斜面安定問題を対象とした準静的弾塑性有限要素解析と円弧すべり計算、農業土木学会論文集、No.222、pp.85-92.
- 石原研而(2017): 地盤の液状化－発生原理と予測・影響・評価－、朝倉書店.
- (社)日本道路協会(1999): 道路土工のり面工・斜面安定工指針.
- (社)日本港湾協会(1999): 港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻).

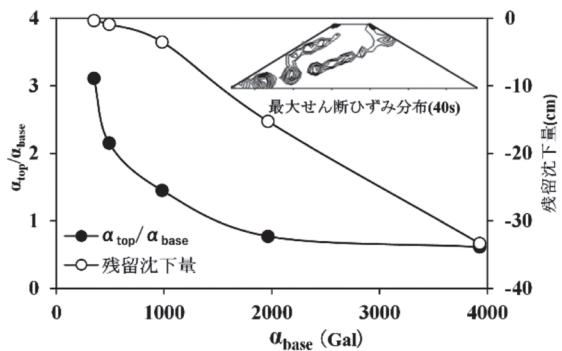


Fig.7 入力加速度の振幅を変化させた場合の応答加速度比と残留沈下量

4

## 炭素・窒素安定同位体比を用いたギバチの個体群識別の可能性

北里大学 獣医学部生物環境科学科 土壌環境学研究室 行木 優弥

(就職先 NTCコンサルタンツ株式会社)

指導教員 森 淳 教授



### 1. はじめに

岩手県いさわ南部地区は、農業農村整備事業において環境との調和に配慮した(以下、環境配慮)事業が行われた先駆的存在である。その環境配慮施設である原川排水路(以下、原川)には、絶滅危惧Ⅱ類であるギバチ(*Pseudobagrus tokiensis*)が生息しており、本種は本事業における「注目すべき種」として指定された。原川は上下流に高低差の大きな急流工があり、上流側は魚類の再生産できない三面張コンクリート水路である。従って、調査対象区は上下流からの魚類の供給がなく個体群が孤立している(森、2020)。これにも関わらず、環境配慮施工から約20年以上経過した現在でも本種の生息が確認されている。つまり、この区間でギバチは再生産されていることが明らかである。

ギバチの個体群の分布生態やその大きさで形成などは明らかにされていない。このギバチの個体群特性を明らかにし、原川における魚類の水域ネットワークを把握することは本種の存続可能性を高めることに繋がる。個体群構造を把握する手法として、炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$ )と窒素安定同位体比( $\delta^{15}\text{N}$ )が用いられてきている(森、2004; 茅本、2024)。動物の $\delta^{13}\text{C}$ からは餌起源が推定できる。 $-20\%$ 程度の場合は藻類由来、 $-25\%$ から $-30\%$ 程度の場合はC3植物を中心とした陸域植物由来と推定できる。また、動物の $\delta^{15}\text{N}$ が約3%上昇するごとに栄養段階が1段階上昇する。定住性が強いとされるギバチは、生息場環境特有の $\delta$ 値を示すと考え、安定同位体比法を用いることとした。

また、通常、生物の安定同位体分析は筋肉を試料とすることが多い。しかし、解剖し殺してしまうため生態系に悪影響を与える可能性があり、実験倫理の観点からも避けるべきである。そのため、生物種を殺さずに試料を推定できるのであれば、徒死してしまうサンプルを大幅に減らすことができる。そこで本研究では、原川に生息するギバチの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ を用いてギバチの個体群識別の可能性を検討する。合わせて、ギバチの尾鰭と筋肉の

$\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ の関係から筋肉の値を推定する手法を開発する。

## 2. 調査地および方法

原川内の4地点(Fig. 1)で定置網による採捕調査を行った。地点1は、河畔林が発達している。地点2は、環境配慮のため造成された幅広水路という拡幅区間である。ここは水路幅が広く、小さな流速が連続し、洪水時の魚類の避難場所となるために設計された。地点3は、地点2の上流にあり、環境配慮施設である階段式落差工の直下流が淵となっている。その下流は流速の低下によって、土砂が堆積し砂礫が堆積し、さらにその下流は流速の低下によって、植物群落が繁茂する中洲が形成されている。地点4は、急流落差工と呼ばれ、勾配が大きいため流速が大きく、底質の粒径は総じて大きい。なお、地点1から地点2まで1,200m以上、地点2から地点3まで約500m、地点3から地点4まで約100m離れている。

同位体比の試料を選定する際に、実験倫理の観点から尾鰭の下部1/3程度切除し(これとは別に尾鰭と筋肉の切除も行った)、速やかにクーラーボックスで氷冷保存を行った。炭素・窒素安定同位体比の測定は(株)地球科学研究所に委託した。以下、安定同位体比の算出式である。R<sub>試料</sub>、R<sub>標準</sub>はそれぞれ試料中、国際標準物質中の同位体比の存在比率である。

$$\delta \text{ 値} (\text{\%}) = \left( \frac{R_{\text{試料}}}{R_{\text{標準}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (1)$$

## 3. 結果・考察

### 3.1 ギバチの尾鰭の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ を用いた個体群識別

各調査地点におけるギバチの $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ の平均値と標準偏差(エラーバー)をFig. 2に示す。地点1の $\delta^{13}\text{C}$ は-21.8%であった。 $\delta^{13}\text{C}$ の平均値±標準偏差は、それぞれ、地点2は-21.3%±0.70%、地点3は-21.5%±1.25%、地点4は-21.2%±0.75%であった。4地点間の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ の差はいずれも有意でなかった(Kruskal-Wallis検定)。

地点1は河畔林が発達しているため、付着物の $\delta^{13}\text{C}$ は低い(森、2004; 森、2006)。地点1で採捕されたギバチの $\delta^{13}\text{C}$ は、C3植物のそれより大きく、藻類の影響を強く受けている。このことから地点1で採捕されたギバチは、付着藻類を餌としている無脊椎動物(グレーザー)を選択的に摂食していることにより、藻類の $\delta^{13}\text{C}$ に近くなったと考えた。

地点2で採捕されたギバチの $\delta^{13}\text{C}$ も藻類の影響を強く受けている。森(2006)により幅広水路(地点2)は付着藻類が多いことが明らかになっている。このことから、ギバチの主な餌は付着藻類を餌とするベントスであると考えた。

地点3は、他の地点と比べて $\delta^{13}\text{C}$ の標準偏差が大きかった。有森(2021)は中洲区間(地点3)において、造網型であるシマトビケラ科が多いことを報告している。原川流域のPOMの主な供給源はC3植物である山林の樹木とイネである(森、2006)。シマトビケラ科が餌とする懸濁体有機物は、C3植物由来の $\delta^{13}\text{C}$ を示すと考えられ、ギバチは $\delta^{13}\text{C}$ の小さなシマトビケラ科を摂食する(角田ら、2009)ため、標準偏差が他地点と比べて大きくなつ

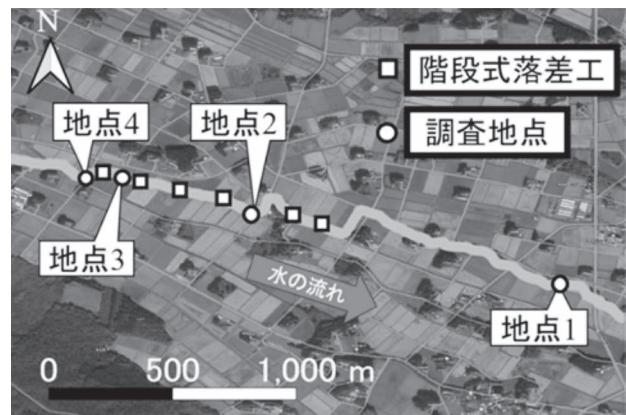


Fig.1 調査地点の概要

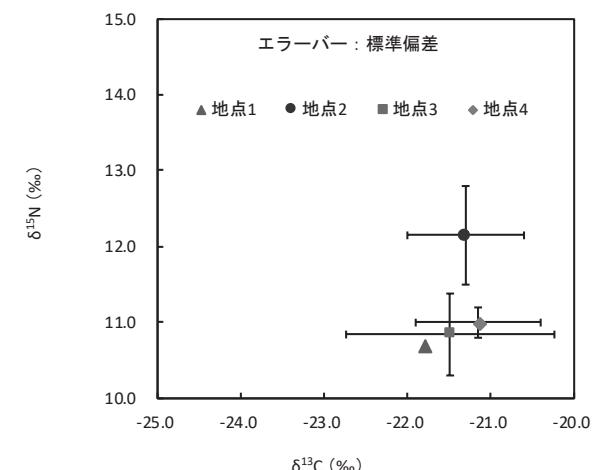


Fig.2 ギバチの尾鰭の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ マップ

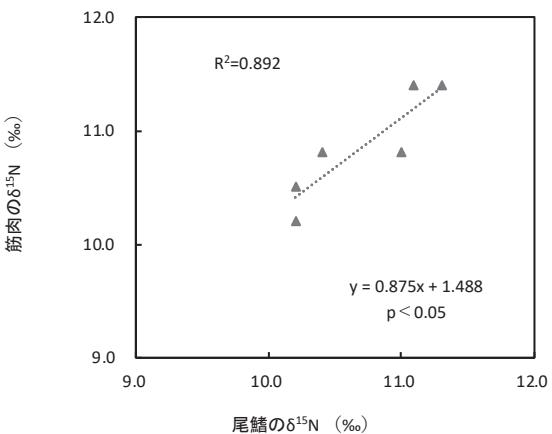


Fig.3 ギバチの尾鰭と筋肉の $\delta^{15}\text{N}$ の関係

た可能性がある。

地点4は付着藻類が多い(森、2006)。これは流速が大きいことにより、付着物に占める藻類の割合が大きくなり、それを採餌するグレーザーの採餌場となり、これを捕食したギバチの $\delta^{13}\text{C}$ は藻類の影響を強く受けた-20%付近を示したと考えられる。

### 3.2 非致死的な安定同位体法の開発

ギバチの尾鰭と筋肉の $\delta^{15}\text{N}$ の関係をFig.3に示す。この結果について回帰分析を行ったところ、回帰式 $y=0.875x+14.88$ が得られ、有意であった( $p<0.05, R^2=0.892$ )。このことにより、ギバチの尾鰭の $\delta^{15}\text{N}$ から筋肉の値を推定することが可能であることが明らかとなった。

## 4. 結論

定住性とされるギバチは、その生息場の環境を反映する安定同位体比を示し、個体群の識別が可能であると考えたが、本研究のように生物の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ はバラつきの少ない範囲内にあった。つまり狭食性が強いといえる。このような種については、個体群を識別することが困難といえる。今回の調査では、ギバチは全地点を包括した1つの個体群を形成しているのか、あるいはいくつかの個体群が存在し、本種が狭食性であるためにこれを区別することが可能かを評価することはできなかった。

一方、ギバチの尾鰭と筋肉の安定同位体比を用いた回帰分析では、 $\delta^{15}\text{N}$ が有意な回帰式が得られた。このことにより、今後、 $\delta^{15}\text{N}$ を用いてギバチの個体群の識別を行う際は、尾鰭の $\delta^{15}\text{N}$ を得られた回帰式に代入することにより、筋肉の値を推定することが可能であり、必要以上のギバチを徒死してしまうサンプルを大幅に減らすことができる。

## 5

### 計算時間間隔の短縮による 印旛沼循環灌漑地域の低地排水路水位モデルの改良

岩手大学 大学院総合科学研究科地域創生専攻 高度農林業プログラム農業水利学研究室 岩崎 隼也  
(進学先 岩手大学大学院総合科学研究科 地域創生専攻)

指導教員 飯田 俊彰 教授



#### 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。従来圃場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圃場からの排水は低地排水路へ集められ、これを取水して繰り返し用水として利用している。水田の脱窒作用などによる、循環灌漑導入後の印旛沼への栄養塩類の流出負荷削減効果が期待され、印旛沼の水質改善への貢献が期待されている。

利水面の利便性を損なわずに循環灌漑による流出負荷削減効果を高めるためには、低地排水路の水量と水質の経時変化を正確に予測し、それらに基づいて細やかに機場操作を行うことが有効だと考えられている。玉川ら(2022)はタンクモデルを用いて灌漑期の低地排水路の水位を再現するモデルを作成したが(図1)、計算値と実測値とを比較した際のNash-Sutcliffe係数(以下、NS)は $NS=-1.024$ と低かった。岩崎・飯田(2024)は、工事図面をもとに実際の低地排水路横断面をモデルに組み込み、モデルパラメータを再同定した(以下、現モデル)が、 $NS=0.176$ と依然として十分な適合度は認められなかった。現モデルの計算時間間隔(以下、 $\Delta t$ )は $\Delta t=24\text{h}$ だが、モデル内での毎日の水移動の状

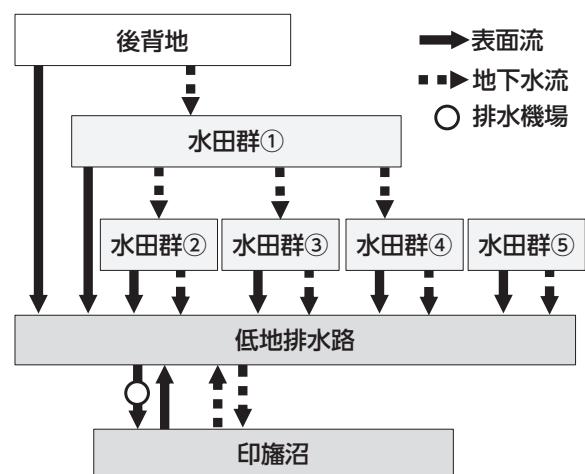


図1 玉川(2022)による低地排水路水位モデルの概要

況を詳しく見ると、1日の水移動の総量をまとめて扱うと非現実的な水移動が起こっている場合が観察された。また、用水機場や排水機場の稼働や水田水管理は1日の中で時間帯を区切って行われるため、今後、本モデルを低地排水路の水位と水質の経時変化に応じた細やかな機場操作の検討に用いるためにも、 $\Delta t$ をより小さくすることが適切と考えられた。そこで本報では、 $\Delta t$ を短縮した場合の低地排水路水位の計算値の変化について報告する。

## 2. 方法

現モデルでは $\Delta t=24h$ で計算が行われており、細やかな水の動態を再現できなかったほか、一部の時期にモデル計算の振動が認められた。そこで、 $\Delta t=1h$ に短縮し、モデル計算の振動の抑制と低地排水路水位の経時変化の滑らかな再現を試みた。

モデルへの入力データを表1に示す。蒸発散量と低地排水路から印旛沼への排水量に関しては、1時間単位の観測データが入手できなかった。蒸発散量については、計算対象地域の大部分が湛水期間中の水田であるため、ペンマン式

で算出した1時間当たりの蒸発散位を用い、作物係数等は乗じずに算出した蒸発散位をそのまま蒸発散量として扱った。低地排水路から印旛沼への排水量については、排水機場で記録された1日当たりの総排水量と排水管の管径及び各排水ポンプの稼働時間、さらに低地排水路水位の実測値の経時変化から推定した。排水機場にある管径の異なる複数の排水管から排水されている場合、どの排水管からどの時間に排水が行われたかを推定することは難しい。本報告では、対象期間である2020年5月25日から8月24日のうち、1時間当たりの排水量を推定することができた5月25日から6月19日についてのモデル計算の結果を報告する。なお、タンクモデルの流出孔係数、浸透孔係数には、現モデルのパラメータを24で除したものを用いた。

## 3. 結果と考察

$\Delta t$ を $\Delta t=1h$ に短縮した修正モデルによる低地排水路水位の計算値を図2に示す。低地排水路水位の計算値は全体的に実測値を下回ったが、水位の変動傾向に関しては実測値と類似した挙動を示した。

一方、5月最終旬に、実測値には見られない、大幅な水位の低下がみられた。これは、モデル内での水移動の状況を見ると、 $\Delta t=24h$ として同定されたタンクモデルのモデルパラメータの影響が残っていたためと推測された、例えば、 $\Delta t=24h$ の場合と比較して1日の中で水位が緩やかに変化したことで、一度に多量の地下水の浸透が起らなくなつたため、圃場から低地排水路へ浸透する流量が大きく減少したものと考えられる。今後、 $\Delta t=1h$ として、モデルパラメータの再同定が必要であると思われる。

表1 モデルへの入力データ詳細

| 入力データ           | データ引用元                   |
|-----------------|--------------------------|
| 圃場への用水          | 機場稼働記録                   |
| 印旛沼からの取水        | (印旛沼土地改良区より入手)           |
| 印旛沼の水位          |                          |
| 低地排水路水位実測値      |                          |
| 降水量             | 気象庁                      |
| 低地排水路から印旛沼への排水量 | 1日の機場操作記録と低地排水路水位実測値から推定 |
| 蒸発散量            | 気象庁データを利用してペンマン式で算出      |

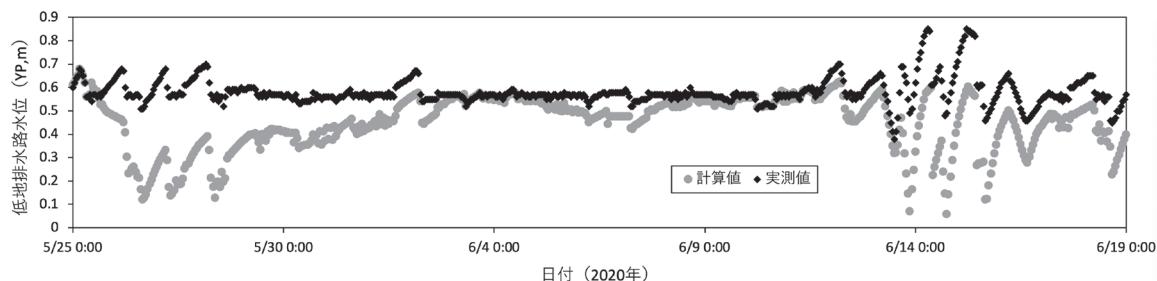


図2 低地排水路水位の計算結果

## 4. おわりに

現モデルの計算時間間隔を1時間に短縮することで、現モデルよりも細やかな時間スケールで低地排水路水位の変動を再現することができる可能性が示唆された。モデルを用いて機場操作のシナリオを検討する際に、1時間単位での計算が行われることによって、実践的な機場操作の方法を提案することが可能になる。一方で計算値の実測値への適合度は依然として低かった。今後は、排水機場の管理日報入手し、1時間単位の排水量を入力してモデル計算を行うことが求められる。また、モデルの適合度向上に向けて、タンクモデルのパラメータを再

同定する必要がある。

## 謝辞

本研究は、一般社団法人土地改良建設協会「2024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、関東農政局印旛沼二期農業水利事業所、印旛沼土地改良区の皆様には、本研究に関するご助言や機場稼働記録の提供など、様々なご協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

## 引用文献

- 1) 玉川怜史, 飯田俊彰, 木村匡臣, 浅田洋平(2022):印旛沼循環灌漑地域の低地排水路の懸濁物質および窒素の動態分析. 水文・水資源学会日本水文科学会2022年度研究発表会要旨集, PP-1-25(2022年9月4日, 京都大学宇治おうばくプラザ)
- 2) 岩崎隼也, 飯田俊彰(2024):印旛沼循環灌漑地域での低地排水路水位モデルの改良. 水文・水資源学会2024年度研究発表会要旨集, PS-2-46(2024年9月11日, 芝浦工業大学豊洲キャンパス)

## 6

# 上流水収支と低平域氾濫を考慮したDWCM-AgWUモデルの改良

秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 **佐藤 祐利**  
(進学先 秋田県立大学大学院)  
指導教員 増本 隆夫 教授



## 1. 研究の背景と目的

これまで分布型水循環モデルを秋田県内の様々な流域に適用してきたが、冬季の流出量の過小評価、融雪量の過大評価、梅雨期から秋季にかけた洪水ピークの過小評価等の課題があった。そこで、本研究では、上記期間における分布型水循環モデルの推定精度向上を図るとともに、大規模な洪水の解析も可能となるモデル改良を目指す。まず、従来の分布型水循環モデルの適用時に誤差の原因であった森林域の観測降水量の不足や冬季の積雪・融雪量の算定不具合並びに標高に応じた降水量変化を見直してモデル改良を行う。次に、八郎湖流域を対象とした分布型水循環モデルに洪水メカニズムを組み込む。これらのモデル改良により、様々な要因による河川流況の観測データ不足を補い、八郎湖流域全体での水動態や灌漑状況、さらには洪水発生等の再現が可能となる。

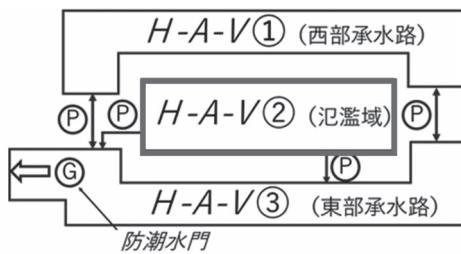
## 2. 研究方法

研究対象流域は米代川流域( $4,100\text{km}^2$ )と八郎湖流域( $894\text{km}^2$ )である。まず、雪雨判別パラメータの見直し、アメリカンデータを内挿したデータ降水量の捕捉率の導入、水収支から見た標高による山地降水量の増加パラメータの検討を行う。精度の高い観測データが得られている米代川を対象に、改良モデルの計算結果を二ツ井等4地点での観測流量により精度検証を行う。次に、八郎湖流域を対象にしたモデルへ上記改善点を導入する。同時に、八郎湖流域において流域外導入を行っているメカニズムを導入する。また、八郎湖モデルに3種類の洪水メカニズムを検討し、それぞれの導入を行う。そのメカニズムは、①メッシュ内で氾濫させる方法、②低平域の氾濫に簡易なH-A-V曲線を利用する方法、③メッシュ間で詳細な水移動を考える方法の3つである。

## 3. 結果と考察

米代川最下流の流量観測点での検討では、雨雪判別の閾値変更(下限 $0.0^\circ\text{C}$ 、上限 $0.5^\circ\text{C}$ )、雪・雨間で異なる捕捉率の導入により、冬季の流出について雨として降る量の増大により、従来モデルよりも増加と春先の融雪量の減少として精度向上がみられた。また、標高に合わせた降水量の増大率( $A=0.0007\text{mm/m}$ )により夏期以降の流出ピーク時の流量も改善された。図1には2020年の計算流量と観測流量の比較結果を示す。相対誤差は改良前28%から25%に改善された。また、4観測地点の相対誤差の15年間(2008~2022年)の平均は26%と良好な結果が得られ、二ツ井地点では、特に最大誤差の年で36%から30%に精度が向上した。同改良方法を、八郎湖流域にも導入した。その結果、八郎湖流域は特に上流河川流域の観測値が皆無であり、モデルにより降水量のインプットで各種の推定量データを $1\text{km}^2$ メッシュで提供できることになった。さらに、各河川流域の水収支等を確認でき、八郎湖への各流入河川の流入量推定が可能となった。

次に、氾濫メカニズム(①～③)を組み入れた。①は流域上流で河川流下量が通水能力を越える場合の取扱い、②は下流低平地での簡易に氾濫現象を捉える方法、③は氾濫現象を詳細にとらえ、分布型水循環モデル用のメッシュ分割構造を利用してバックウォータの影響や排水路と水田、さらに水田間の氾濫を解析できる方法である。氾濫解析手法①では、令和5年7月14～15日の三種川氾濫を例にして、豪雨堤防高を超えた氾濫水は降水量に加えて排水されることが可能となった。②では、八郎湖低平部を3つの遊水地に区分し、 $H-A-V$ 曲線の作成を行った(図2)。加えて、防潮水門(1)、



### (1) 簡易な内水氾濫解析法

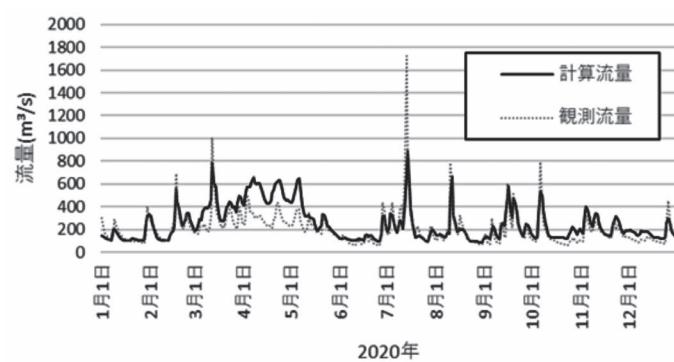
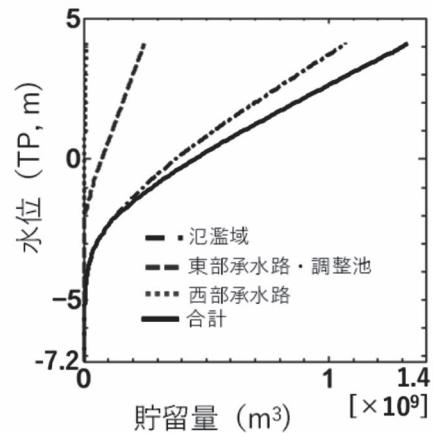


図1 米代川ニツ井地点における計算流量と観測流量の比較結果



## (2) H-A曲線の例(②の地域)

図2 八郎湖流域におけるH-A-V曲線を利用した洪水対応

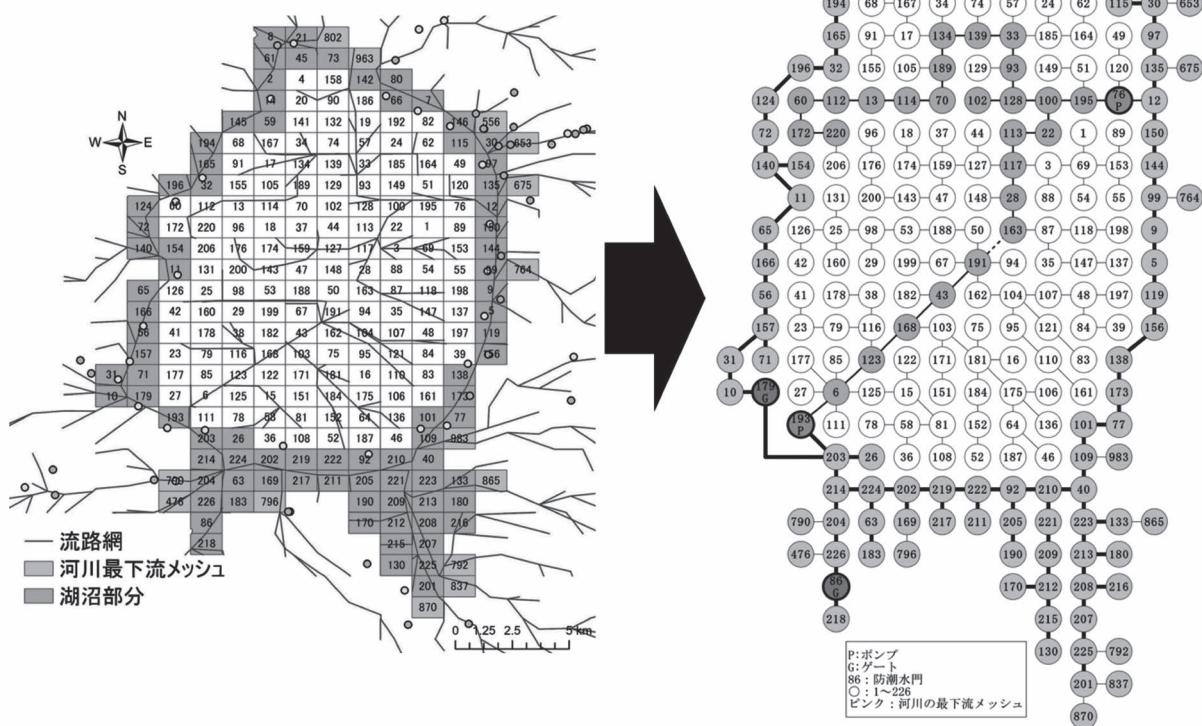


図3 複雑アルゴリズム適用のための再ナンバリング  
(左: 分布型水循環モデル、右: 改良モデル)

排水機場(2)、水位調整ゲート(2)も導入した。簡易ながら氾濫面積・水深を推定可能なことが分かった。③では、水田分割を詳しく行い、全メッシュを再ナンバリングすることで、低平水田域の氾濫を詳細に扱うことができるようになった。

#### 4. 今後の課題

本研究では、分布型水循環モデルの積雪融雪時期や洪水の再現精度の向上を目指すとともに、同モデルが氾濫を伴うような洪水も扱えるように改良することを目指した。前者では、気候変動下の雪雨判別が良好に改善(冬季の雨としての降水量増加、冬季の洪水量改善)され、降水量の標高補正を行うことで、洪水波形は改善したが、一方で低水はやや過大推定の結果となった。さらに、これらの改善法を八郎湖流域にも適用することで、同流域の20本以上の上流河川における各種情報提供が可能となった。次に、後者では、3種類の氾濫の扱い方法を説明し、①三種川の令和5年7月中旬の氾濫による実証、②簡易法ながら干拓地内の氾濫水位・面積が推定可能、③分布型水循環モデルの改良版(最終的に目指すところ)の提示を行った。洪水メカニズム③の導入では、メッシュのナンバリングは分布型水循環モデルのものを大潟村と周りの承水路と湖水域の番号付けを手動で行ったが、この段階でのナンバリングを自動で行う手法等も現在考案中である。

7

## 流域外導水を行う馬場目川と 八郎湖周辺河川における渴水指標の提案

秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 鍋島 晶

(就職先 秋田県庁)

指導教員 増本 隆夫 教授



### 1. 研究の背景と目的

秋田県の八郎潟流域では、雄物川、米代川、子吉川等の1級河川流域で多くの農業水利事業が実施されてきたことに比して、普通年でも渴水が発生しやすいといわれその解決が喫緊の課題とされる。また、同流域内で最大流域面積を持つ馬場目川は流域外(小阿仁川)に位置する萩形ダムから発電用水の放流が行われ農業用水として使われているが、その効果の大きさは明らかにされていない。そこで、本研究では、まず馬場目川を取り上げ、流域外流入機構のモデル化ならびにその農業用水への影響を明らかにする。次に、渴水傾向にある馬場目川も含めて八郎湖への全流入河川(20河川)を対象に、分布型水循環モデルを活用して各河川の流量と灌漑必要水量の関係を明らかにする。そこでは、河川ごとの渴水比流量と農地面積や灌漑必要水量との関係を比較検討し、新たな渴水指標の提案を行った上で、河川流域毎にどの程度の渴水が起こっているか、あるいは発生する可能性があるかの可視化を目指す。一連の検討は、将来的な渴水対策や流域水管理の検討に繋げることができる。

### 2. 研究方法

まず、萩形ダム管理者や流域内の土地改良区への聞き取り調査とデータ収集を行うとともに、国内外の渴水指標の文献調査をする。萩形ダム流域のモデルは米代川流域の一部として作成し(実際には実放流量を利用)、八郎湖流域には作成済の流域モデルと分布型水循環モデルを活用する。作成したモデルにより、必要な取水地点における河川流量、頭首工地点での取水量、農地における必要水量、蒸発散量と浸透量、水稻移植日と収穫日等が算定できる。まず、馬場目川の真崎堰頭首工地点において地区外からの流入量がどれだけ重要であるかを毎年、毎月、灌漑期間ごとで比較を行う。次に、馬場目川について農業用水側から捉えた新たな渴水指標の提案を行う。そこでは灌漑地区毎の頭首工地点を対象とし、河川流量、施設容量、農業用必要水量を決定する。その後、同地域の他の取水地点でも同様の算定を行い流域における渴水指標とする。この工程を他の19河川流域でも実施し、算定値を比較検討する。最後にこれらをまとめて八郎湖全流域における渴水指標とする。

### 3. 結果と考察

聞き取り調査の結果、馬場目川流域では2023年9月にため池用水を追加利用した事例など毎年の渴水が発生し、萩形ダムからの発電用流入水は非常に大きな存在となっていた。図1より、発電放流量は頭首工地点流量が少な

い月ほど高くなっているが、その量が農業用水の多くを賄っていることになる。

次に、表1の渴水指標を提案した。すなわち、1)可能灌漑水量(あるいは実灌漑水量)、2)粗必要用水量、3)各地点渴水不足水量、4)ある流域での渴水不足水量、5)ガンマ分布の当てはめ、を利用した段階的渴水指標の新たな提示である。この指標の特徴は、農業水利用における施設規模や作物側の要求水量を考慮し、しかも灌漑期間(作物栽培期間)における渴水の程度を示していることである。また、これはある確率年や平均値としての指標値ではなく、農業側の渴水の程度を分布として表現することになる。まず、流域の中で最大の流域規模を持ち、流域外流入を行っている馬場目川流域で、各段階の値を算定した。この際に重み $W$ は灌漑面積比とした(最終結果は、表2の同流域の値として示す)。さらに、20支川河川に同法を展開した(表2)。その結果、2001年から2022年の22年間の分析値として、モデルにより疑似的な実測値の算出可能、第4(不足量の推定)と第5(確率年の概念)の算定値が重要、渴水規模が大きくなればa, b値が大きくなる(反対に、渴水規模小→a, b小)傾向がある、総じて全河川で渴水になりやすい、などが明らかになった。

#### 4. 今後の課題

本研究では、分布型水循環モデルを馬場目川流域に適用し、発電放流量の影響の大きさを明らかにするとともに、同モデルを活用して新たな渴水指標を提案した。まず、萩形ダムからの発電放流(流域外)は馬場目川流域の河川流量に多大な影響を与えていたことが分かった。また、分布型水循環モデルにより算出される各種情報を活用して新たな渴水指標(5段階で算定できる指標)を提案した結果、①段階4・段階5が重要、②パラメータa, bの大小で渴水規模の推定が可能、③総じて全河川で渴水になり易く馬場目川における発電放流水の役割は渴水指標からも表現可能、等のことが明らかになった。

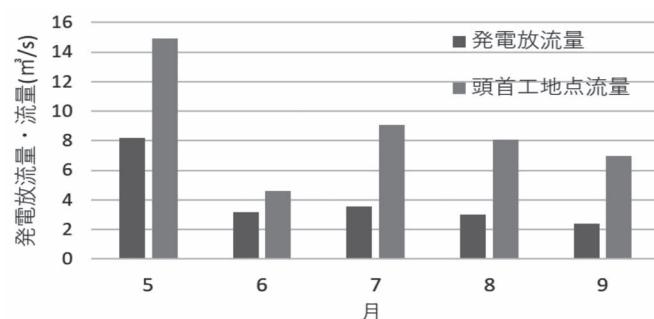


図1 発電放流量と真崎堰頭首工地点流量の比較  
(2001~2023年の日平均量)

表1 確率分布を考慮した渴水指標の提案

|   |  |
|---|--|
| 段階1) $Q_{iact}(t) = \min(Q_{wr}(t), Q_{if}, Q_{sf}(t))$             | $Q_{iact}$ : 実灌漑量、 $Q_{wr}$ : 水利権水量、<br>$Q_{if}$ : 施設容量、 $Q_{sf}$ : 河川流量、                          |
| 段階2) $Q_{gw}(t) = Q_{nw}(t)/IE$                                     | $Q_{gw}$ : 粗用水量、 $Q_{nw}$ : 純用水量、<br>$IE$ : 灌漑効率、 $Q_d$ : 渴水不足水量                                   |
| 段階3) $Q_d = \sum_{i=1}^n (Q_{iact}(i) - Q_{gw}(i))$                 | $n$ : 灌漑期間、 $m$ : 取水地点数、 $W$ : 重み  |
| 段階4) $Q_{di} = \sum_{i=1}^m Q_d(i) \cdot W$<br>$W$ は例えば $W=A_i/A$   | $A$ : 流域面積、<br>$a, b$ はパラメータ : $a=\mu^2/\sigma^2$ 、 $b=\mu/\sigma^2$ ( $\mu$ : 平均値、 $\sigma$ : 分散) |
| 段階5) $f_v(Q_{di}) = b/\Gamma(a) \cdot [bQ_{di}]^{a-1} e^{-bQ_{di}}$ |  |

表2 八郎湖流域の各支川における渴水指標の算定結果

| 流域     | 段階4<br>(mm) | 段階5            |
|--------|-------------|----------------|
| 調整池直流域 | 347~594     | a=43.4、b=0.093 |
| 糸流川    | 131~302     | a=18.6、b=0.082 |
| 西部承水路  | 272~556     | a=34.2、b=0.078 |
| 馬場目川   | 2~56        | a=0.58、b=0.056 |
| 夜叉袋川   | 98~463      | a=10.2、b=0.031 |
| 馬踏川    | 25~119      | a=9.86、b=0.127 |
| 三種川    | 310~533     | a=29.1、b=0.067 |
| 浅内川    | 103~112     | a=19.2、b=0.125 |
| 井川     | 308~563     | a=28.0、b=0.063 |
| 鵜川川    | 272~556     | a=34.2、b=0.078 |

## 石垣島土地改良区における 個別従量制水利費賦課方式による節水効果

筑波大学 生物資源学類環境工学コース 水利環境工学研究室 濱野 未歩

(進学先 筑波大学大学院生命地球科学研究群)

指導教員 石井 敦 教授



### 1. はじめに

灌漑用水の効率的・節水的利用や受益農家の公平感確保の方策として、農家が使用水量に応じて水利費を支払う「従量制水利費賦課」が期待されている。しかし、日本の大規模灌漑地区のほとんどは、灌漑面積に応じて一定の水利費を支払う面積割賦課を採っており、従量制賦課を行っている地区はきわめて少ないため、日本での従量制水利費賦課の効果は十分には検証されていない。特に、1枚1枚の圃場単位で使用水量を計ってそれに応じて水利費を徴収する“個別従量制”的効果については、宮古島地区での事例報告があるのみで、他地域での研究は見受けられない。

そこで本研究では、全国でも数少ない個別従量制水利費賦課方式を、一部の灌漑地区に導入した大規模畠地灌漑地区である石垣島土地改良区のサトウキビ畠を対象に、節水効果を明らかにすることを目的とした。

### 2. 方法

#### 2.1 研究対象地

沖縄県の石垣島土地改良区(計画灌漑面積4,338ha。9割以上が畠)は昭和50年から開始された国営農業水利事業および附帯県営事業によって灌漑施設が整備され、それまでの天水農業が徐々に灌漑農業に変わってきている。令和6年7月現在で灌漑可能な圃場は2,848haである。地区は水系ごとに宮良川地区、名蔵川地区、大浦川地区の3地区に分かれている。当初はいずれの地区も面積割で水利費が賦課されていたが、1998年度より、名蔵川地区の一部で従量制が開始され、2012年度から宮良川地区と大浦川地区の一部で従量制が導入され、その後、従量制地区が年々増えている。現在の従量制賦課面積は754haで、これは現在の灌漑可能面積の27%にあたる。

#### 2.2 分析方法と使用データ

個別従量制水利費賦課の節水効果を分析する際に問題になるのは、従量制導入前は個々の圃場の使用水量が量られていないことである。そこで本研究では、受益地の約80%が面積割、20%が従量制になっている宮良川地区(計画灌漑面積3460ha)を対象とし、以下の3つの方法で従量制の節水効果を検討した。

- 1) 従量制導入地区的個別農家の年間使用水量の経年変化の分析
- 2) 年間の宮良川地区全体へのダム灌漑放流量(灌漑高)と、宮良川地区内で従量制を導入した地区(新川地区：灌漑面積62ha、107戸)の年間使用水量(灌漑高)の比較
- 3) 従量制導入前後での年間／月別のダム灌漑放流量の変化の比較

分析には以下のデータを用いた。

- 降雨量データ：アメダス石垣島 2002年～2024年
- 従量制導入地区的個別農家の使用水量：石垣島土地改良区水利費資料 2012年～2023年
- 従量制導入地区的年間使用水量：石垣島土地改良区水利費資料 2012年～2023年
- 年間／月間のダムかんがい放流量：沖縄県八重山農林水産振興センター ダム管理月報 2002年～2023年

### 3. 結果と考察

#### 3.1 従量制導入地区的個別農家の年間使用水量の分析

宮良川地区内で従量制を導入している、サトウキビ農家3地区12戸の年間使用水量について、年間降雨量の違いを考慮した上で比較した。図1はその一例である。その結果、3地区12戸全てにおいて従量制導入初

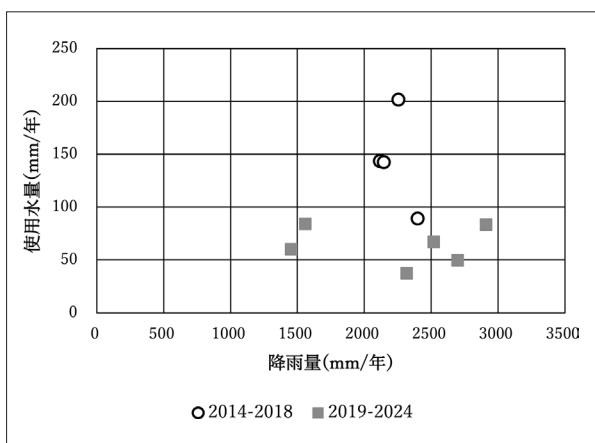


図1 嘉手苅地区の従量制導入農家4人の年間使用水量の平均と年間降雨量

期より最近の方が灌漑使用水量が減少していることが分かった。従量制による水利費増大を避け、農家が節水を心がけるようになった可能性がある。

### 3.2 年間ダム灌漑放流量（灌漑高）と従量制導入地区の年間使用水量（灌漑高）の比較分析

従量制を導入した新川地区の使用水量は年間150mm～250mmであるのに対し、ダム灌漑放流量は年間300mm～400mmであり、ダム灌漑放流量は新川地区の使用水量よりも平均で約184mm多かった。送水などのロスを15%としてもダム灌漑放流量の方が大きいことが分かった。実際の宮良川地区全体の灌漑用水使用量(取水地点でのポンプでの取水量)は、ダム下流の流域からの流入分も加わるため(図2)、新川地区の使用水量よりもさらに大きい。これより、従量制の導入には節水効果があることが示唆された。

### 3.3 年間/月別ダム灌漑放流量の従量制導入前後の比較分析

受益地全体で実際の灌漑に使用されるのは取水堰での取水量(ダム灌漑放流量+ダム下流の自流量)だが、そのデータは得られなかった。そのため、自流量の違いがダム灌漑放流量の違いに与える影響を抑えるため、従量制導入前の2002～2011年と従量制導入率が約16%以上になった2020～2022年について、月別のダム灌漑放流量を、月別降雨量が近い年同士で比較した(図3)。その結果、10/12の月で従量制導入後のほうがダム灌漑放流量が減少しており、特に灌漑需要が大きい6、7月でその差が大きいことがわかった。これより、従量制の導入には節水効果があることが示唆された。

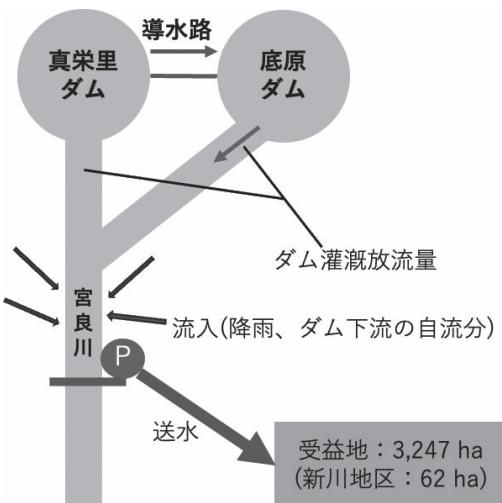


図2 宮良川地区の概念図

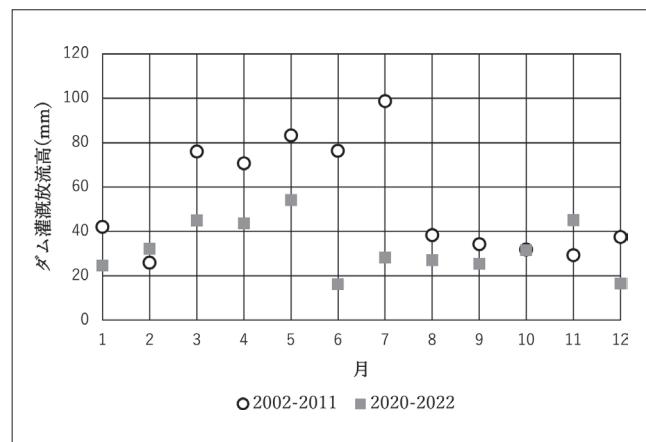


図3 従量制導入前の2002年～2011年と、従量制導入率が約16%の2020年～2022年の月別ダム灌漑放流高の比較

## 4. おわりに

本研究では、石垣島土地改良区での個別従量制の節水効果を分析した。その結果、従量制の導入には節水効果があることが示唆された。今後は従量制の導入がムラレベルの水管管理に与える影響について調査していきたい。

## 謝辞

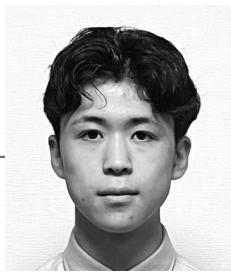
土地改良建設協会様には、2024年度国営事業地区等フィールド調査学生支援事業に採択していただき、関係各所への調査協力要請と旅費のご支援をいただき、誠にありがとうございました。本研究をすすめるにあたって、久貝一文様をはじめとする石垣島農業水利事業所の皆様には、現地で国営事業および現地の営農状況等をご教示いただき、また、現地調査で関係機関との日程行程の調整にご尽力いただきました。石垣島土地改良区の伴根地遊様、上地宏弥様、前津究様、大久勝様、平良俊道様をはじめとする皆様には、石垣島土地改良区の灌漑管理等についてご教示いただき、また、従量制に関する詳細データの提供、受益農家へのインタビューの手配等で、多大なご協力をいただきました。メールでの質問についても迅速にご回答ください、非常に助けられました。比嘉健太様をはじめとする沖縄県八重山農林水産進行センターの皆様には底原ダム、名蔵ダムの貴重なデータを見せていただきました。石垣市水道部施設課の後藤龍一郎様には真栄里ダムの貴重なデータをお送りいただきました。記して謝意を表します。

## 都市近郊農業地帯における幹線用水路への降雨時横流入量の推定

東京大学 農学部 生物・環境工学専修 水利環境工学研究室 **伊牟田 壮**

(進学先 東京大学大学院)

指導教員 乃田 啓吾 准教授



我が国の農業用水地帯では、幹線用水路に小河川が流入するような構造となっていることが多い。近年、局所的な大雨の増加などの気候変動や流入河川の集水域及び用水の受益地の都市化の影響に伴い、このような構造を持つ都市近郊農業地帯における洪水リスクは大きく増加している。これを受けた灌漑排水システムにおいては、降雨時に洪水被害を避けるために水位を低く保つ機能と平常時に安定した水の供給を確保するために一定水位を保つ機能を切り替えながら両立することが求められ、双方の機能において流入河川から幹線水路への降雨時横流入量を把握することが重要である。そこで本研究の目的を、「都市化に伴う土地利用変化が流入河川から幹線用水路への降雨時横流入量に与える影響を評価する」に設定する。

本研究では、名古屋市近郊に位置する木津用水地区の幹線用水路の一つである新木津用水を対象とした。研究にあたり、新濃尾防災事業所・木津用水土地改良区の職員の方々にご協力いただき、現地でのヒアリングの機会をいただいた。新木津用水は、隣接する地区の排水を受ける河川群により横流入を受けており、木津用水土地改良区により管理される複数の堰で水路水位が調節されている。流入河川の一つである薬師川の流入地点から二重堰までの区間は河川共用区間であり、降雨時に流れ込む流量に対応するために河川断面を拡張する工事が行われた。またこの区間の水位管理も木津用水土地改良区により行われている。この区間の降雨時流量を把握することはリスク管理上非常に重要であり、本研究では特にこの区間に注目した。

本研究は大きく二つの段階に分けられる。一つ目に、2018年の木津用水土地改良区の日報データを基に、USLEの定義を用いて降雨イベントを抽出し、特に降雨量の多いイベントについて幹線用水路の施設操作とそれに伴う水位変動を分析した。二つ目に、GISを用いて複数の流入河川をひとまとめにした集水域を作成し、それを対象に降雨流出モデルを構築することで、降雨時横流入量を表現、実測値を用いて評価した。モデル化においては、土地利用別タンクモデルを用いて、土地利用ごとに異なる水文特性や反射特性を反映しつつ、降雨流出過程を表現した。ここで流入点における流量は測定がされていないため、タンクモデルによる出力を実測

値で直接評価することはできない。そこで、二重堰における実測水位をKinematic Wave法を用いて横流入点の流量に変換する幹線モデルを構築することで、本モデルを評価した。モデルの再現性の評価には、実測値と理論値の一致度を示すNS係数を用いた。

最大降雨強度の大きい降雨イベントや記録的な豪雨の事例の分析により、豪雨や夜間の降雨の際は二重堰を全開にする操作が行われ、幹線水路を流れる水が交差する大山川にすべて排水されることがあるとわかった。この時、幹線用水路には流入河川から流入した水が水路内貯留することなく一方向に流下しており、この時の流れはKinematic Wave法の適用条件を満たす。ここで注目された操作に対し、幹線モデルを適用するとキャリブレーション・バリデーション共に、

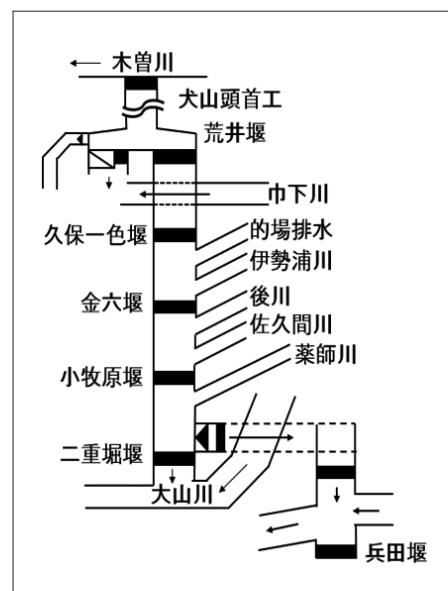


Fig.1 新木津用水の全体像

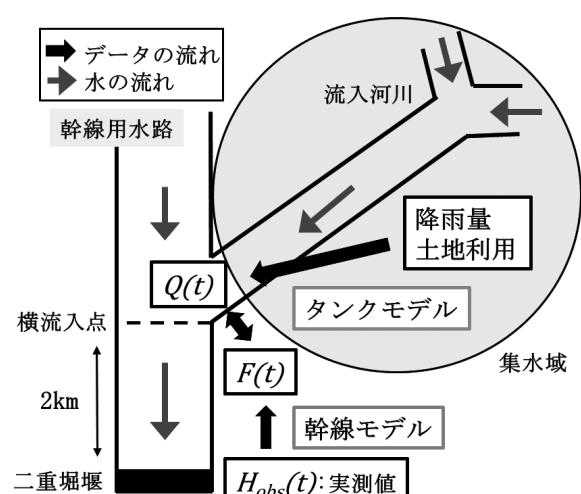


Fig.2 モデル化の全体像

NS係数が0.99付近となる非常に高い再現性が得られた。これを用いてタンクモデルのキャリブレーション・バリデーションを行うと一時間単位の適用については高い再現性が確保できた。そして1976年と2016年の流入河川の集水域の土地利用変化に注目すると、水田面積は54%減少、市街地面積は30%増加していた。この土地利用にモデルを適用すると、一時間平均の最大流量は40年間で27%、量にして7.7m<sup>3</sup>/s増加していたことが分かった。ここで瀬川(2017)において示された、宅地等面積増加比と比流量増加比の関係式と本研究の出力を比較すると、相対誤差が4.9%であったことから、本モデルの妥当性が改めて確保されたと言える。

なお本研究の内容については、卒業論文提出後に、新濃尾防災事業所及び木津用水土地改良区に報告に伺い、内容の確認・修正をいただいた。

10

## UAVを用いた水田水温分布測定の測定精度の検討

東京大学農学部 生物・環境工学専修4年 西山 伊織

(進学先 東京大学大学院農学生命科学研究科修士課程)

指導教員 西田 和弘 準教授



### 1. 研究の背景と目的

灌漑水の流入に伴う水田水温の空間分布の形成は、水稻の生育や米の収量・品質に大きな影響を与える。特に、水稻の生育初期に低温の用水が流入すると、水温低下により水稻の生育が遅れ、米の収量や品質が低下する冷水害が発生することが知られている。冷水害は、古くから寒冷地や中山間地の水稻作において問題となっており、これを防止するための対策が求められている。

冷水害の被害の把握および対策の効果を検討するためには、灌漑に伴う水温の空間分布を詳細に計測することが不可欠である。近年広く使用されているUAVと赤外線カメラを用いた表面温度の遠隔測定は、このための有効な手段として期待される。遠隔測定を行うことで、従来の水温計を用いた測定では困難であった水田水温の面的な計測が可能になると考えられる。一方で、水田を対象とする計測は少なく、この手法による温度測定の精度や課題に関して十分な情報は得られていない。

本研究では、冷水害が問題となっている水田を対象に、UAVを用いた温度計測を実施し、その測定精度について検討した。また、これによる夜間灌漑と常時灌漑下の水田水温分布の比較により、冷水害対策としての夜間灌漑の効果を調べた。

### 2. 研究方法

#### 2.1 現地調査

現地調査は、2024年5月26日から6月14日に福島県南会津町の水田1枚を用いて実施した。対象水田は、水口付近における大きな水温低下と米の収量低下が問題となっている圃場であり、筆者らのグループによって夜間灌漑の実証試験が行われている。

この水田の表面の熱画像を、調査期間中の計8日、全20回、UAVを用いて撮影した。使用したUAVはANAFI Thermal(Parrot)、赤外線カメラはLepton 3.5(FLIR)である。UAVの飛行とその経路設定は、Pix4Dcapture(Pix4D社)を用いて実施した。撮影条件は、高さ50m、オーバーラップ率およびサイドラップ率を80%として、同一地点が複数回撮影されるようにした。熱画像からの温度の取得は、FLIR Tools(FLIR)を用いて実施し、気温や撮影高さによる影響を補正した。また、精度検証のため、水田内の複数地点の水温を、水温計(HOBO ペンダントロガー: Onset)を用いて計測した。

#### 2.2 精度検証

熱画像から水温計による水温測定地点を中心とする3×3ピクセルの平均温度を算出し、これと水温計の温度と比較することで精度検証を行った。精度は、平均誤差(ME)と二乗平均平方根誤差(RMSE)によって評価した。精度検証は、水温計の1点を用いて温度校正を行った場合(方法①)と行わない場合(方法②)の2種類に対して実施した。

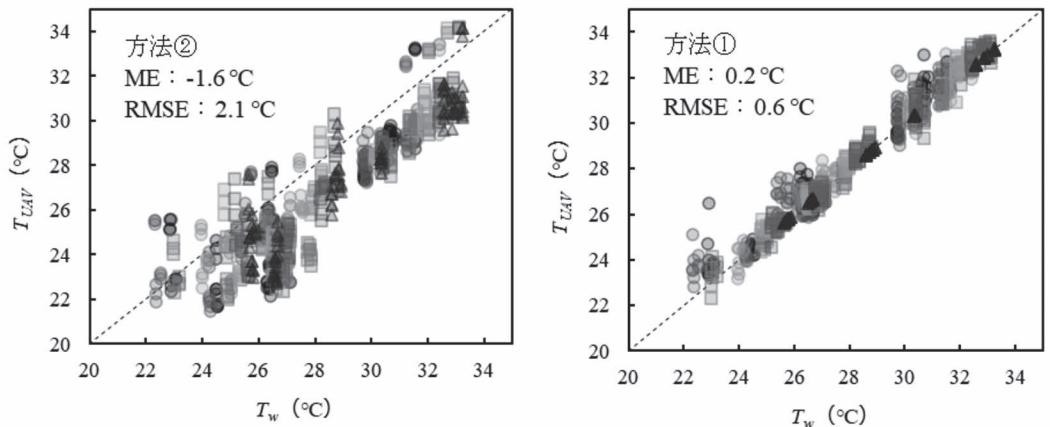


図1 水温計測定値( $T_w$ )とUAV測定値( $T_{UAV}$ )の比較

### 2.3 夜間灌漑の効果検証

夜間灌漑実施後(2024年)と常時灌漑時(2023年)の日中の熱画像を用いて、夜間灌漑による水温上昇効果を調べた。方法①を用いて温度分布を取得し、日中の水田の表面温度を可視化し比較した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 測定精度

図1に、UAVと水温計による温度の測定値を比較した結果を示す。方法②のMEは-1.6°C、RMSEは2.1°Cであり、全体的に温度の過小評価や大きなバラつきがみられた。一方、方法①のMEは0.2°C、RMSEは0.6°Cとなり、温度の平均値やバラつきに対して大きな改善が見られた。この結果は、1点の温度計測による校正によって、測定精度が著しい向上することを示している。

### 3.2 夜間灌漑の効果

図2に、夜間灌漑実施後(2024年)と常時灌漑時(2023年)の水温分布を示す。常時灌漑時には水口付近の著しい水温低下が見られたが、夜間灌漑実施時にはこのような大きな温度低下が抑制されていた。この結果から、夜間灌漑による水温上昇効果が視覚的に確認できた。このように、UAVを用いた温度計測は、冷水害の被害の評価や夜間灌漑の効果の検証に対して有効な手段となると考える。

## 4. 結論

水温計による1点の測定値を用いて温度校正した水温の測定精度は、MEが0.2°C、RMSEが0.6°Cであった。UAVと赤外線カメラを用いた水温の空間分布測定によって、夜間灌漑による水温上昇効果が視覚的に確認できた。UAVを用いた温度計測は、水田の各種温度の空間分布計測の有効な手段になると考える。

## 謝辞

会津高原たていわ農産有限会社のみなさまには現地調査で全面的な協力をありがとうございました。また、東北農政局会津南部農業水利事業所の池田一行氏には地区の概要や実施事業について説明していただき、国営事業に関して理解を深めることができました。心より感謝申し上げます。

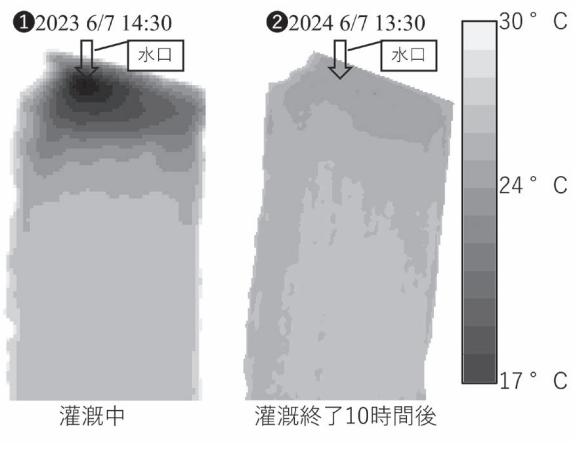


図2 夜間灌漑実施による水田水温分布の変化  
(①日中に灌漑, ②夜間灌漑)



## 深層学習を用いた画像解析による石垣島宮良川河口の水位・塩分推定モデルの構築

東京農工大学 農学部 地域生態システム学科4年 **水口 芽和**

(進学先 東京農工大学先進学際科学府 先進学際科学専攻)

指導教員 福田 信二 教授



### 1. はじめに

近年、気候変動や人為的影響による河川環境の変化が問題となっており<sup>1)</sup>、生態系保全や河川管理において、効率的かつ長期的な河川環境モニタリングの必要性が高まっている。特に、AIやICTを活用した画像解析技術とモニタリングシステムの開発が進み、複数のカメラを用いた多地点同時モニタリングによる包括的なデータ収集が可能になってきた。動画像撮影は、非接触計測であるため、被写体や周囲の環境に干渉せずに観測できるという利点がある。

河川は、農業、工業、上水、発電等の水源として利用されているが、これらの水利用と降水パターンにより河川流量は変動しており、河川生態系にも影響している。今後の水資源管理の最適化と水域生態系の保全のためには、時間的にも空間的にも連続的な河川モニタリングが重要である。以上の背景から、本研究では、石垣島の宮良川河口付近に設置した定点カメラで撮影した画像に深層学習モデルを適用し、河口域における物理環境の重要な構成要素である水位および塩分を高精度に推定することを目的とする。

### 2. 研究手法

本研究では、石垣島の宮良川河口付近に設置したタイムラプスカメラ(DVR-T 1、ハンファジャパン社製: 図1)で撮影した2024年7月19日から8月21日までの約1か月分の画像(2364枚)と同期間に水位・ECセンサー(CTD-10、METER社製)で取得した水位および電気伝導度データを使用した。河川の画像は30秒間隔で撮影し、水位および電気伝導度データは1時間ごとに記録した。電気伝導度データは塩分データに変換した。また、気象庁の1時間降水量データ<sup>2)</sup>も取得し、解析に使用した。モデルの構築と評価には、1時間間隔の画像データを使用し、水位および塩分データを7:3に分割し、トレーニングデータ1654枚とテストデータ710枚を準備した。水位および塩分の推定には、以下の2種類の畳み込みニューラルネットワーク(CNN)モデルを適用した。

- ・モデル①: 3層のCNN(画像のみ)
- ・モデル②: 3層のCNN(画像+降水量)

モデル②の基本的な構造はモデル①と同様だが、CNNの全結合層に降水量データを入力している点が異なる。評価指標は、RMSE(Root Mean Squared Error)とMAE(Mean Absolute Error)とする。



図1 機材設置風景(左)と定点カメラによる撮影画像(右)

### 3. 結果と考察

#### 3-1. 水位推定結果

水位の推定精度は、モデル①のRMSEは46.2mm、MAEは26.6mm、モデル②のRMSEは48.4mm、MAEは29.1mmとなった。この結果から、画像を用いた水位モニタリング手法の有効性が示された。降水量の有無による精度評価の結果を表1に示す。降水がない場合、画像のみを用いたモデル①で精度が向上した。一方で、モデル②の精

表1 降水量による精度評価(水位)

|              | 降水量=0mm        |                  | 降水量>0mm        |                  |
|--------------|----------------|------------------|----------------|------------------|
|              | モデル①<br>(画像のみ) | モデル②<br>(画像+降水量) | モデル①<br>(画像のみ) | モデル②<br>(画像+降水量) |
| RMSE<br>(mm) | 32.4           | 38.4             | 89.7           | 83.9             |
| MAE<br>(mm)  | 20.9           | 25.1             | 57.3           | 51.1             |

度が低下したのは、降水量データがノイズとして作用した可能性があると考えられる。降水がある場合には、降水量データを組み込んだモデル②で精度が向上した。また、モデル①およびモデル②における実測値と推定値の散布図(図2)から、水位が高いときや雨滴が付着した画像で誤差が大きくなる傾向が確認された。さらに、モデル②では高水位時の誤差がやや改善されることが確認された。以上のことから、降水時の精度向上を目指したモデルの構築が重要であることが示唆された。

### 3-2. 塩分推定結果

塩分の推定精度は、モデル①のRMSEは2.04PSS、MAEは0.85PSS、モデル②のRMSEは1.53PSS、MAEは0.71PSSとなった。この結果から、画像を用いた塩分モニタリング手法の有効性が示された。降水量の有無による精度評価の

結果(表2)から、降水時にはモデル②で大幅な精度向上が確認された。実測値と推定値の散布図(図3)から、特に、低塩分時において、推定精度が向上する傾向がみられた。降水量は河川流量や取水量に強く影響を及ぼすことから、河口域の塩分動態に関連するデータをモデルに入力することで推定精度が向上したものと考えられる。

## 4. おわりに

本研究では、画像とCNNモデルに基づく水位および塩分の推定モデルを構築した。画像を学習済みモデルに入力することで、水位および塩分を高精度に推定できることを確認した。また、モデルに降水量を組み込むことで、降水時の推定精度が向上することが明らかとなった。今後の課題として、豪雨時の画像ノイズの影響軽減のための手法の導入に加え、生物情報を含む包括的なデータに関するモニタリングシステムの開発が挙げられる。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、一般社団法人土地改良建設協会2024年度「国営事業地区等フィールド調査学生支援事業」の支援を受けました。また、現地調査では、石垣島土地改良区、内閣府沖縄総合事務局石垣島農業水利事業所の皆様にご協力頂きました。ここに記して、謝意を表します。

## 参考文献

- Greimel, F., Schüting, L., Graf, W., Bondar Kunze, E., Auer, S., Zeiringer, B., Hauer, C. (2018) Hydropeaking Impacts & Mitigation, Riverine Ecosystem Management, pp. 91-110
- 国土交通省気象庁(参照2024.12.10): 過去の気象データ(沖縄県石垣島), 2024 <<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>>

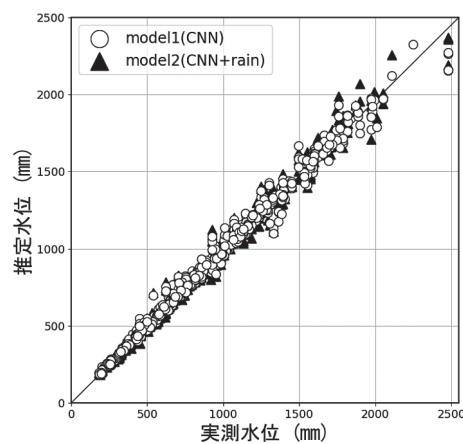


図2 実測水位と推定水位の関係

表2 降水量による精度評価(塩分)

|               | 降水量 = 0mm      |                    | 降水量 > 0mm      |                    |
|---------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|
|               | モデル①<br>(画像のみ) | モデル②<br>(画像 + 降水量) | モデル①<br>(画像のみ) | モデル②<br>(画像 + 降水量) |
| RMSE<br>(PSS) | 1.33           | 1.10               | 4.29           | 2.93               |
| MAE<br>(PSS)  | 0.53           | 0.51               | 2.58           | 1.79               |

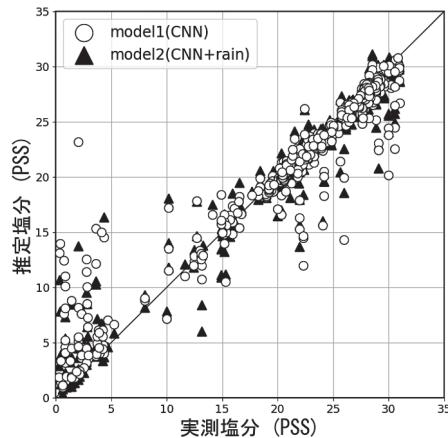


図3 実測塩分と推定塩分の関係

## 石垣島宮良川感潮域における平面二次元水理モデルの構築

東京農工大学 農学部 地域生態システム学科 中山 朝葉

(進学先 東京農工大学先進学際科学府 先進学際科学専攻)

指導教員 福田 信二 教授



### 1. はじめに

汽水域は、河川と海の双方からの外力を受け、それらの微妙なバランス下に成り立っている。近年、環境の重要性が再認識される中で多様な物理環境を有する汽水域でも生物種の生息場や個体数の減少が顕在化している<sup>1)</sup>。国営かんがい排水事業「石垣島地区」に属する宮良川は、主要な農業用水源として、農業生産性向上に向けた農業水利施設の整備が行われてきた。水利施設の整備や水利用の変化に伴い、持続可能な水資源管理の観点から、農業生産性に加えて、河川環境や生態系を考慮した総合的な環境評価の枠組みが求められる。そこで本研究では、宮良川感潮域を対象に、河口から平喜名堰下流における物理環境の時空間変動を再現するための平面二次元水理モデルを構築し、再現性の評価結果について報告する。

### 2. 方法

#### 2.1 現地調査

水理モデルの構築に必要な河床地形を得るために、対象区間の計36横断面について、水面幅および水深分布を計測した。その際、各断面の水面幅は巻き尺を用いて計測し、水深は水面幅に合わせて5から10地点において、コンベックスを用いて計測した(写真1)。また、各断面の調査時の水温および塩分濃度をCTDプロファイラ(Castaway、Xylem社製)を用いて計測した。

#### 2.2 水位観測

水理解析の検証用データとして、水位・ECセンサ(CTD-10、METER社製)により水位を観測した。水位センサは10分ごとにデータを取得し、データロガー(ZL6、METER社製)により記録した(写真2)。

#### 2.3 水理解析

平面二次元水理モデルの解析には、水理解析ソフトウェアiRIC(International River Interface Cooperative)を使用した<sup>2)</sup>。水理モデルの構築には、地形データの作成、計算格子の生成、計算条件の設定のうえ、水理解析を実行し、再現精度を評価した。

地形データの作成では、現地調査の結果と国土地理院が提供する基盤地図情報の5mメッシュ写真測量のDEM(数値標高モデル)<sup>3)</sup>を用いた。DEMから陸域の標高を取得し、現地調査で得られた水面幅を用いて河道域を決定した。次に、河道域のDEMの標高から得た水面標高から計測水深を引くことにより河床地形高を算出した。

計算格子の生成については、iRICの格子生成機能から「折れ線と格子幅から作成」を選択し、1辺が約3mの格子となるように生成条件を設定した。

水理計算では、マニングの粗度係数は0.030とし、境界条件のうち、上流端流量( $m^3/s$ )は現地調査における実測値を参考にした複数の仮想流量を与え、下流端水位(m)には気象庁が提供する潮汐観測資料の石垣港の潮位データを使用した<sup>4)</sup>。

水理モデルの再現性は、上流端の水位および対象水域水深分布(実測値)により評価した。具体的には、水位センサにより計測した平喜名堰下流側の水位および現地調査で計測した上流から下流までの水深を使用し、精度評価指標として相関係数R、絶対平均誤差MAE、およびNash-Sutcliffe指数NSEを用いた。



写真1 断面調査の様子



写真2 カヌー調査の様子

### 3. 結果と考察

#### 4.1 上流端水位に基づく精度評価

水位センサにより観測された平喜名堰下流側の水位と同期間における水理解析により算出された水位を図1に示す。MAEは0.11、Rは0.97、NSEは0.82であり、潮位変動に伴う水位の時間変化が良好に再現できたが、満潮時に過小評価、干潮時に過大評価する傾向がみられた。この要因として、河床地形の精度やマニングの粗度係数の設定の影響が考えられる。

#### 4.2 水深の縦断分布に基づく精度評価

対象水域における水深の縦断分布と同期間における水理解析での計算結果を図2に示す。MAEは0.32、Rは0.80、NSEは0.45となり、水深の空間分布の傾向を再現できていることを確認できた。

干潮時と満潮時の上流と下流の水深をそれぞれ図3-4に示す。上流においては水深の変化が大きく、下流付近では水深の変化に加えて、水域面積の変化も確認された。これは下流域の平坦な地形と潮汐の影響を受けていることに起因すると考えられる。

### 4. おわりに

本研究では、宮良川河口域を対象に平面二次元水理モデルの構築を行い、潮汐の影響を反映した水理解析を実行し、その精度評価を行った。結果として、上流端水位の時間変動を良好に再現できた。今後は、水理モデル改善に向け、河床材料や植生分布の反映を検討している。水深の縦断分布を再現できていた一方で、観測誤差や時間的な変動に起因するばらつきの影響が課題となった。

### 謝辞

本研究の実施にあたり、一般社団法人土地改良建設協会2024年度国営事業地区等フィールド調査学生支援事業の支援を受けました。また、現地調査では、内閣府沖縄総合事務局石垣島農業水利事業所、石垣島土地改良区、の皆様にご協力頂きました。ここに記して、謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 国土交通省 汽水域の河川環境の捉え方に関する手引き書(閲覧日 2025年1月27日)  
[https://www.mlit.go.jp/river/shishin\\_guideline/kankyo/kankyou/kisuiiki/index.html](https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/kankyou/kisuiiki/index.html)
- 2) 国土交通省気象庁：潮汐観測資料(閲覧日：2025年1月27日)  
<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/genbo/index.php>
- 3) iRIC(International River Interface Cooperative) project  
(閲覧日：2025年1月27日)  
<https://i-ric.org/>
- 4) 国土交通省 国土地理院基盤地図情報サイト  
(閲覧日：2025年1月27日)  
<https://www.gsi.go.jp/kiban/>

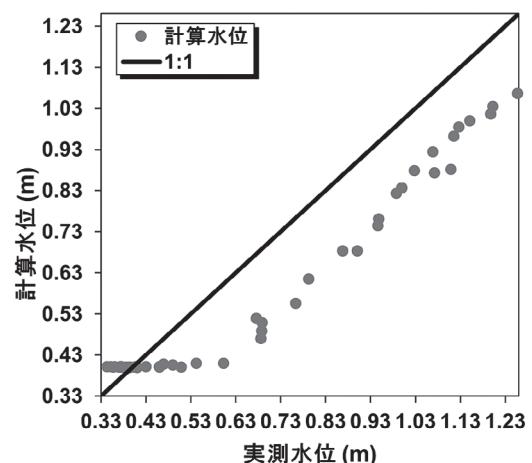


図1 実測水位と計算水位の散布図  
(平喜名堰下流側水位との比較)

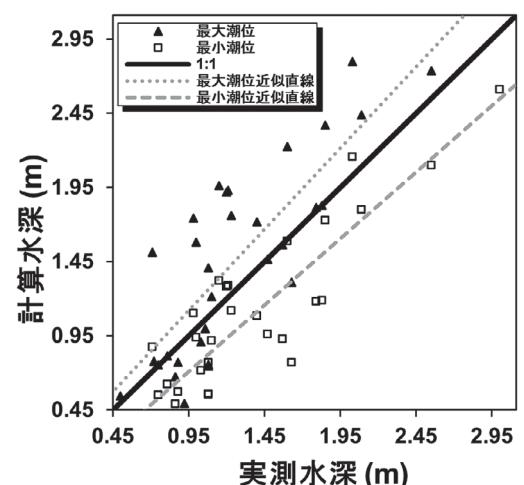


図2 実測水深と計算水深の散布図  
(カヌー調査水深との比較)

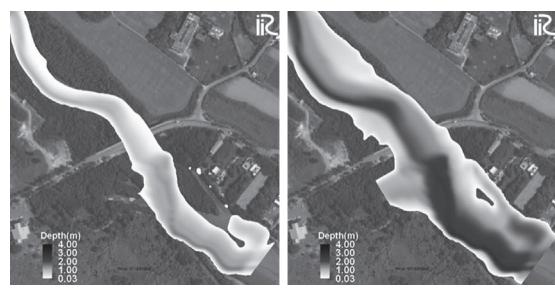


図3 上流の水深分布(左：干潮、右：満潮)

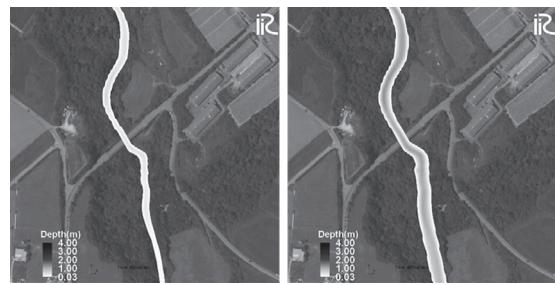


図4 下流の水深分布(左：干潮、右：満潮)

## ドローンによる水田水温測定の検証に関する研究

日本大学 生物資源科学部 生物環境工学科 地球環境・資源リモートセンシング研究室

小澤 悠人

(就職先 独立行政法人 水資源機構)

指導教員 宮坂 加理 助教



### 1. はじめに

本研究では、大気補正の影響を検討するために、ハンディサーモグラフィーで近距離から測定した水田の表層温度とサーマルドローンで測定した水田温度の比較を行う。また、水田内に設置した水温計とも比較することで、サーマルドローンで取得した水田の表面温度の補正方法を検討することを目的とする。

### 2. 実験方法

対象地域は神奈川県藤沢市稻荷にある短辺7.7m、長辺29.3mの水田である(図1)。現地では、従来の水田水温測定として、水温計による水温測定を行った。水温計は、水口から1m、4m、10m、19m、29mの地点(F1～F5)に設置した(図1)。水温計は、水温表層の温度を測定するため、ウキ代わりのアルミ箔で覆った発泡スチロールに括り付け、水位の変動に応じて常に水面から1cm深度の水温を測定するように工夫した。測定は10分間隔で、7月1日～9月25日を行った。ドローン撮影では、DJI Mavic3T(サーマルカメラおよび光学カメラ搭載)を用いた。ドローン撮影は、7月26日、8月6日を行った。撮影後、サーマル画像についてはATYGEOTHERMAL M3Tを用いて画像を写真測量ソフトウェアPix4D mapperで解析できる形式に変換し、Pix4Dmapperで解析を行い、サーマル画像のオルソモザイクを作成した。作成したサーマル画像のオルソモザイクは、ArcGIS Proを用いて、F1～F5の水温計設置付近の1m<sup>2</sup>程度の平均温度を求めた。大気の影響を受けないサーモグラフィによる測定として、ハンディサーモグラフィ(以下、手動サーマル)を用いて、F1～F5周辺の水田の真上から6枚サーマル画像の撮影を行った。F1～F5でサーマルドローン測定(以下、ドローン)、手動サーマル、そして水温計でそれぞれ測定した温度の比較を行った。

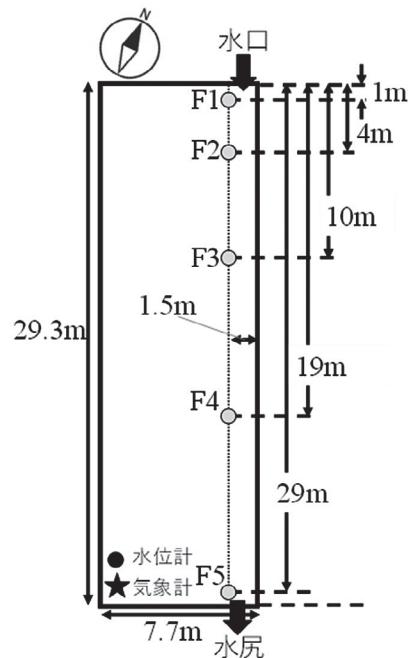


図1 水田概略図

### 3. 結果と考察

#### 3.1 サーマルドローンと手動サーマルの比較

サーマルドローンと手動サーマルでそれぞれ測定された温度は、基本的に測定時間が近ければ1°C以内の誤差であった。高度20mで測定したドローンと近接して測定した手動サーマルの結果で温度差が1°C以内であったことから、大気の影響はほとんどないと考えられる。ただし、ドローンの測定と手動サーマルの測定は同時にうことができず、ドローン測定の前後で手動サーマルを測定する必要がある。ドローンでの測定は、本調査地の水田(面積約226m<sup>2</sup>)で測定に20分25秒かかっていた。また手動サーマルでの測定も、F1～F5の5地点測定するのに20分程度かかっていた。撮影の間に太陽が陰ったり、風速が変化したりすると、その影響を大きく受けて温度が変化する。実際に、手動サーマルの測定時間とドローンの撮影時間が異なるほど、温度差は大きくなっていた。農地法第3条の下限面積が5000m<sup>2</sup>であることを踏まえると、ドローン測定だけで数時間、時間を取ることとなり、撮影中の天候の変動が水温結果に大きな影響を与えると考えられる。

#### 3.2 サーマルドローンと水温計の比較

水温計は10分間隔で測定を行ったため、ドローン撮影時とほぼ同時刻の水温で比較することができた。それにも関わらず、水温計とドローンの温度は大きく異なっていた。これは、水田で灌漑が行われていない、もしくは灌漑が始まったばかりの時間帯の測定となつたため、水温計が水田内の水温を測定できていなかつたためだと考

えられる。湛水がされていない場合には、水温計が地上部に露出しており、発泡スチロールで日陰になった場所の気温を測定していると考えられる。また、湛水があり水中に水温計があった場合でも、灌漑が行われておらず水に動きがない場合には、高さ方向に温度分布が生じるため、水温計のある深度の温度を測定していたと考えられる。水温計はウキとしてアルミ箔で覆った発泡スチロールの下側に固定しており、そのため、日射があたらず、ドローンで測定した温度よりも低い温度が測定されたと考えられる。灌漑されて水が動いている場合には、深度方向の温度分布は無視でき、同じ温度とみなすことができるため、水温計でその地点の水温が測定できていると考えられる。灌漑されているときの水温計とドローンの測定値は0.4°Cの誤差(図5のF1、F2)で測定できていた。

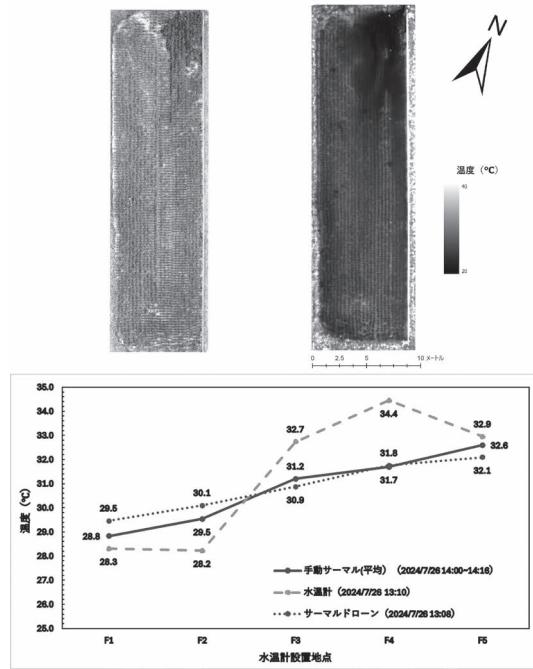


図2 2024/07/26/13:10のグラフと温度分布図

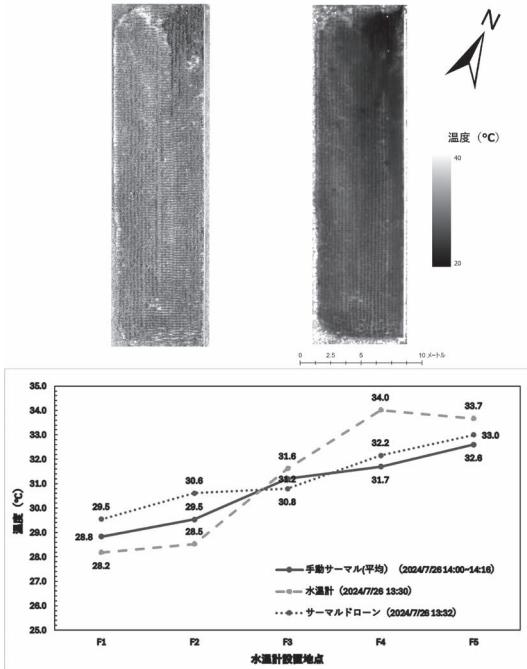


図3 2024/07/26/13:30のグラフと温度分布図

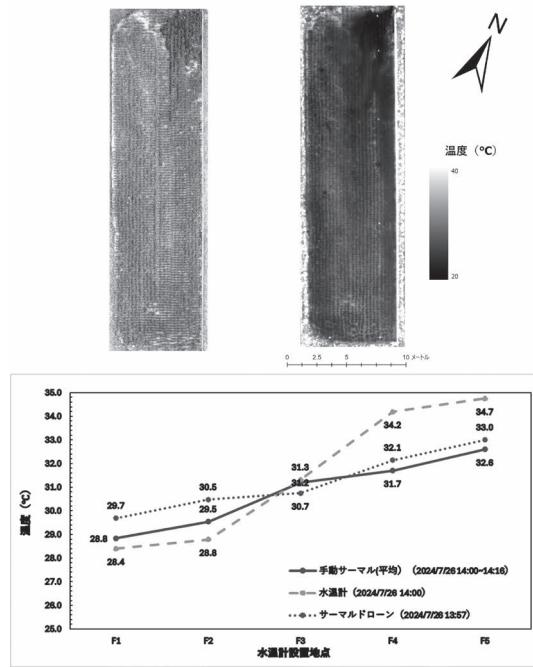


図4 2024/07/26/14:00のグラフと温度分布図

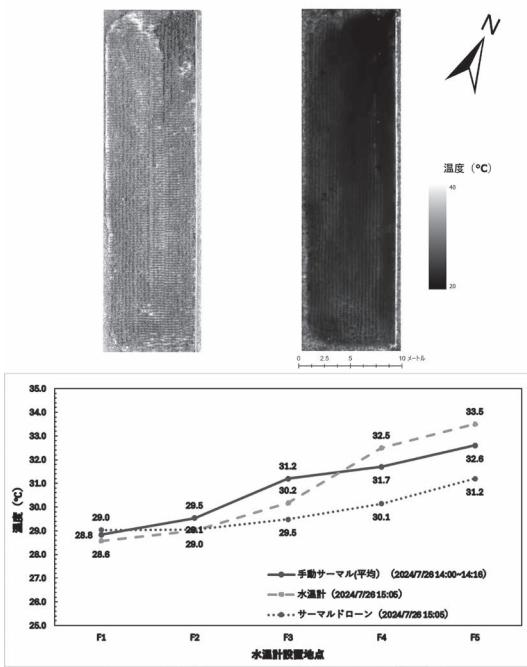


図5 2024/07/26/15:05のグラフと温度分布図

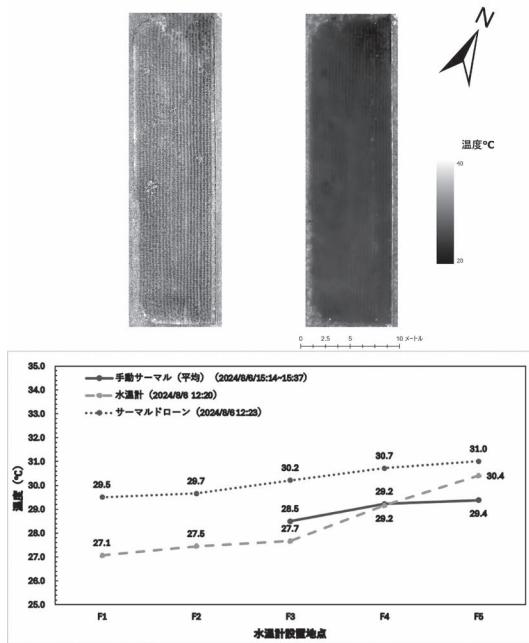


図 6 2024/08/06/12:20のグラフと温度分布図

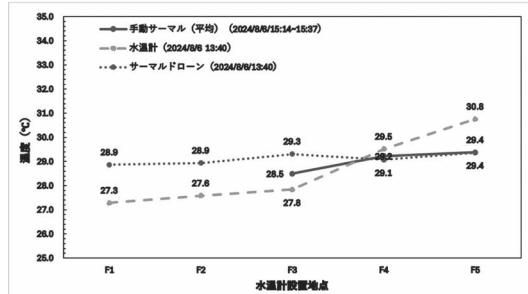


図 7 2024/08/06/13:40のグラフと温度分布図

#### 4. 結論

水田の水温を測定する場合に、サーマルドローンを高度20mで飛行させ測定した水温は、近接で測定したサーモグラフィの水温とはほぼ同じであり、大気による補正は不要であることがわかった。しかし、サーマルドローンによる測定は、時間がかかるため、その間の天候の変化を考慮する必要がある。一方で、水温計の水温は、湛水され灌漑されている際には、正しい計測が可能なものの、灌漑されていない場合には、ドローンの方が水田の温度分布を測定していると考えられる。水田の水温分布を把握するためには、水温計で水口側、中央付近、水尻側で3点ほど測定を行うとともに、ドローンを併用することが良いと考えられる。

#### 謝辞

日本大学生物資源科学部 笹田勝寛准教授には神奈川県藤沢市の水田を使わせていただきました。

関東農政局利根川水系管理事務所において、関東地域の収穫状況、調査計画等の概要を説明いただきました。

本研究の実施にあたり携わっていただいた皆様に心より感謝申し上げます。

14

## デジタル画像相関法を用いたパイプラインにおけるエネルギー損失の非破壊検出に関する研究

新潟大学 農学部 農学科 施設機能工学研究室 高橋 悠斗

(進学先 新潟大学大学院自然科学研究科)

指導教員 鈴木 哲也 教授



#### 1. はじめに

農業用パイプラインは耐用年数の超過に伴い突発事故が増加傾向にある。パイプラインの多くは地中埋設構造物であるため、漏水の発生を直ちに知ることは困難であり、漏水に伴う地表面の陥没などによって顕在化することが多い。漏水が小規模な段階で漏水箇所を特定する方法の開発が急務となっている。既往の研究<sup>1)</sup>では、漏水による水撃圧および管材変形の減衰をデジタル画像相関法(以下、DIC法と記す)を用いて解析・検討を行っている。本研究では、水撃圧に伴う管材変形をDIC法を用いて3次元画像解析を行い、漏水による管内のエネルギー損失の非破壊検出を試みた。

## 2. 実験方法

### 2.1 モデルパイプライン

モデルパイプラインは、内径100.8mm、管厚6.6mmの硬質塩化ビニル管で構築した。全長約65m、高低差約7.8mであり、上流端に水槽、下流端にバルブを設置した。水槽水位が1.0m低下した際にバルブを急閉塞させ、管内に水撃圧を発生させた。水撃圧に伴う管材変形をDIC法および水圧計測を用いて評価した。DIC法とは、対象物の画像を取得し、画像解析を実行することにより、対象物の変形および動きの計測値を算出する非接触計測法である。DIC法はバルブより1.6m上流地点に画像解析面を塗布し、2台のCCDカメラを用いて計測を実施した。解析的検討では、得られた水圧データから円周方向ひずみの理論値を算出した。理論値および実測値の円周方向ひずみに対して高速フーリエ変換を行った。

### 2.2 既設パイプライン

既設パイプラインは内径600mm、管種がFRPM管、SP管およびVU管で構成されている。上流端が渦巻ポンプ、下流端が分水工であり、管路延長が約5.5kmである。実験ではポンプの運転を停止させ、管内に水撃圧を発生させた。水撃圧に伴う管材変形をDIC法を用いて計測した。DIC法は揚水機場から約2.3km下流のマンホール内で計測を行った。解析的検討では、DIC法により計測された円周方向ひずみに対しローパスフィルタを行い、水撃圧に由来する低周波成分を抽出した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 モデルパイプライン

円周方向ひずみの理論値および実測値の時系列グラフを図1に示す。水撃圧発生に伴う管材変形をDIC法を用いて計測できていることが確認された。円周方向ひずみの理論値および実測値の高速フーリエ変換結果を図2に示す。理論値より算出された水撃圧の周波数付近において振幅スペクトルのピークが確認された(図2、図中①)。漏水の有無で比較すると、漏水がないケースよりも漏水があるケースの方が振幅スペクトルのピーク値が小さいことが確認された。

### 3.2 既設パイプライン

円周方向ひずみの理論値および実測値(フィルタ後)の時系列グラフを図3に示す。理論値と比較して実測値では細かい変動が多く確認された。ポンプ運転停止後の1周期に着目すると、大まかに変動をとらえていることが確認された。円周方向ひずみの理論値および実測値の高速フーリエ変換結果を図4に示す。円周方向ひずみの理論値において、水撃圧の理論値の周波数付近において振幅スペクトルのピークが確認された(図4、図中①)。円周方向ひずみの実測値では、ノイズの影響により複数の周波数において振幅スペクトルのピークが確認された。水撃圧の理論値の周波数付近において振幅スペクトルのピークが確認されたが、ノイズの影響により理論値よりも振幅スペクトルのピーク値が大きな値となった(図4、図中②)。

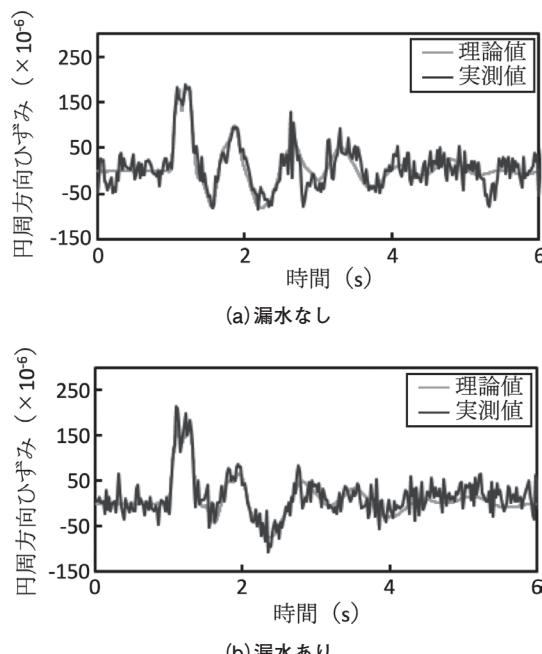


図1 円周方向ひずみの時系列結果

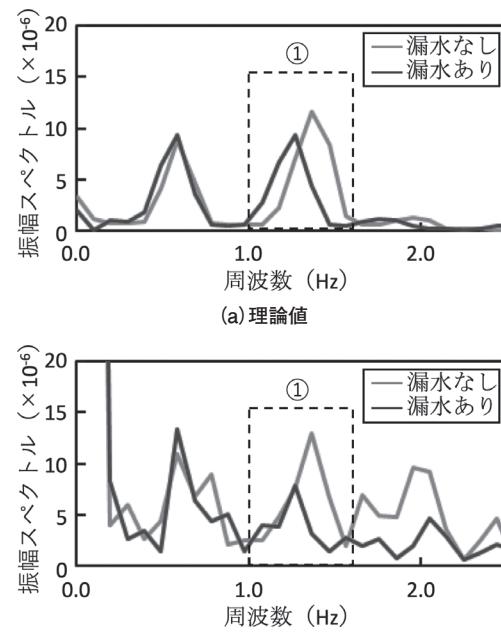


図2 円周方向ひずみのFFT結果

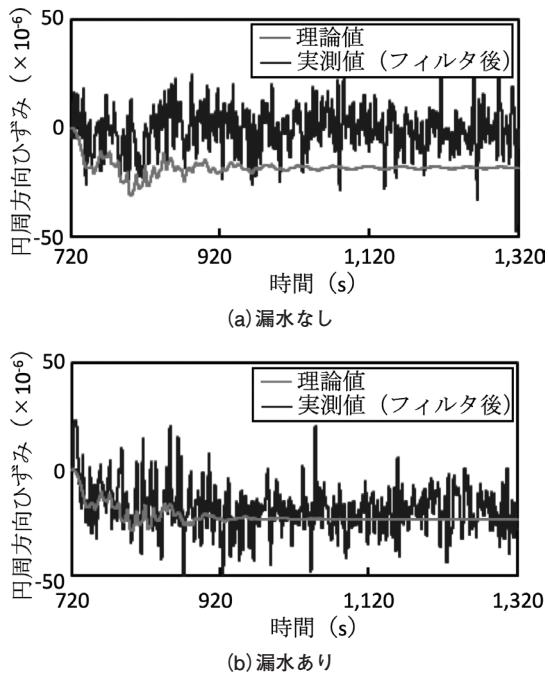


図3 円周方向ひずみの時系列結果

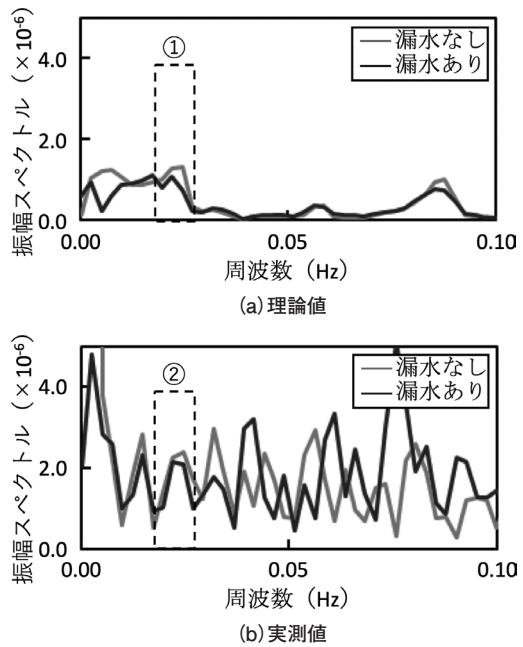


図4 円周方向ひずみのFFT結果

#### 4. おわりに

本研究では、モデルおよび実構造物パイプラインを対象として、DIC法より水撃圧に伴う管材変形の検出を試みた。モデルパイプラインでは周波数領域において漏水による振幅スペクトルの低下が確認された。既設パイプラインでは、ポンプ停止に伴う管材変形をノイズの影響下にありながら部分的に計測できていることが確認された。以上より、DIC法を用いて管内におけるエネルギー損失を非破壊で検出できる可能性が示唆された。

#### 引用文献

- 1) Tsubota, T., Hagiwara, T., Asada, Y. and Suzuki, T.: Non-Contact Detection of Water Leakage in Service Pipeline by Digital Image Correlation Method with Damping Coefficients, *Advanced Experimental Mechanics*, Vol.9, pp. 105-110, 2024

15

## UAV画像の深層学習による農道橋RC床版のひび割れ検出

新潟大学 農学部 農学科 施設機能工学研究室 田中 熙  
(進学先 新潟大学大学院自然科学研究科)  
指導教員 鈴木 哲也 教授



#### 1. はじめに

農道橋の維持管理について、目視点検の代替に向けデジタル技術による自動化が推進されている<sup>1)</sup>。維持管理における舗装のひび割れ検出においては、深層学習を用いた検出手法が多数検討されている<sup>2)</sup>。本検討の対象とした農道橋においては、日射が届いている日向路面部と日射が障害物に遮られた日陰路面部が確認された。日向と日陰では明度が異なるため、ひび割れの検出精度も異なっていた。

そこで本研究では、取得した画像をノイズ部、日向路面部、日陰路面部に分類するシーン分類モデルを作成し、日向路面部のみ、日陰路面部のみを学習させたひび割れ検出モデルを作成した。日向路面部と日陰路面部のひび割れを異なるモデルで検出させることにより、ひび割れ検出の高精度化を目指す。シーン分類モデルの分類精度、ひび割れ検出モデルの検出精度を検証するとともに、ひび割れ検出モデルのデータセットがひび割れの検出精度に及ぼす影響を考察した。

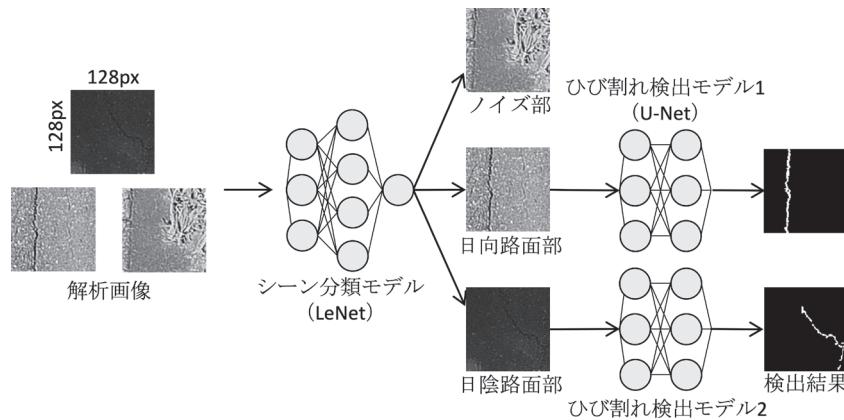


図1 ひび割れの解析フロー

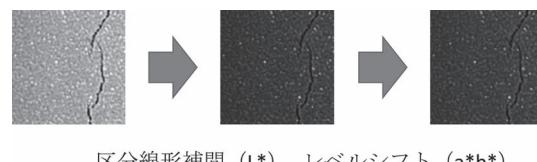


図2 画像処理フロー

## 2. 実験方法

対象構造物は、新潟県柏崎市で供用中の清水谷大橋、栃倉大橋、前川原橋である。目視点検の結果、日向路面部の損傷はすべての橋梁で確認され、日陰路面部の損傷は清水谷大橋でのみ確認された。画像の取得について、UAVに搭載された可視カメラによって行った。画像中のひび割れの解像度を一定に保つため、UAVは高度を離陸地点から5m一定に保ちながら飛行させた。

## 3. 解析方法

構築したひび割れの検出フローを図1に示す。128×128pixelsの分割された解析画像はシーン分類モデルによってノイズ部、日向路面部、日陰路面部に分類される。ノイズ部は、植生や欄干、白線等路面以外の物体が写っている画像と定義した。日向路面部、日陰路面部に分類された画像は、それぞれの路面画像に適したひび割れ検出モデルによってひび割れの有無が各ピクセルに対し判定される。

ひび割れ検出モデルのデータセット作成のため、ひび割れを含んでいた日向路面部、日陰路面部の画像に対してアノテーションを行った。日向路面部の画像を1,312枚、日陰路面部の画像を130枚用意した。日陰路面部のデータセットを1,312枚に増やすため、1,182枚の日向路面部画像に画像処理を行い日陰路面部に近似させるデータ拡張を行った。画像処理のフローを図2に示す。画像処理は $L^*a^*b^*$ 色空間を対象に行った。 $L^*$ に対しては区分線形補間を行い、 $a^*$ と $b^*$ に対してはレベルシフトを行った。ひび割れ検出モデルについて、日向路面モデル、データ拡張前の日陰路面モデル(以下、拡張前日陰路面モデル)、データ拡張後の日陰路面モデル(以下、拡張後日陰路面モデル)、日向路面部と日陰路面部を両方である路面全体を学習させたモデル(以下、路面全体モデル)の光条件が異なる計4つのモデルを作成した。データセットの割合について、訓練用データとして画像の8割を使用し、テストデータとして残りの2割を使用した。画像の分割は無作為に行った。

## 4. 結果および考察

シーン分類モデルの分類結果の混同行列を表1に示す。1,070枚のテストデータに対して分類を行い、予測全体の正解率は94.4%と高精度の結果を得られた。その中でも、日向路面部と日陰路面部の分類は特に高精度に行われた。

各ひび割れ検出モデルの各路面部に対するひび割れの検出精度を表2に示す。日向路面部に対する検出について、F値は日向路面モデルで0.775と最も大きい値が確認された。日陰路面

表1 シーン分類モデルの混同行列

| テストデータ数: 1,070 |       | 分類結果 |       |       |
|----------------|-------|------|-------|-------|
| 正解率: 94.4%     |       | ノイズ  | 日向路面部 | 日陰路面部 |
| 正解ラベル          | ノイズ   | 568  | 45    | 11    |
| 日向路面部          | 日向路面部 | 4    | 335   | 0     |
| 日陰路面部          | 日陰路面部 | 0    | 0     | 107   |

部に対する検出について、拡張前日陰路面モデルは適合率を除いた評価指標において最も小さい値が確認された。一方、データ拡張後の日陰路面部は全ての評価指標において最も大きい値が確認された。データ拡張により、データセットが増強され検出精度が向上したと考えられる。路面全体に対する検出結果について、従来のモデルの検出結果に加え、日向路面部に対しては日向路面モデルによる検出を、日陰路面部に対しては日陰路面モデルによる検出(以下、日向路面&日陰路面モデル)を行った結果も比較する。F値において、日向路面&日陰路面モデルで0.778と最も大きい値が確認された。ひび割れ検出モデルに学習させる路面部の条件を限定させることは、ひび割れ検出の精度向上において有用である可能性が示唆された。

## 5. おわりに

本研究では、UAVによって撮影された農道橋の可視画像に対し、深層学習によるシーン分類とひび割れの検出を行った。その結果、シーン分類は高精度に行われ、ひび割れ検出においては、路面部の日射条件とモデルの学習条件が一致している場合に最も高精度な検出が行われた。本研究で提案した手法は、検出精度の向上において有用であると考えられる。

## 引用文献

- 農林水産省：令和5年度 食料・農業・農村白書, [https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w\\_maff/r5/pdf/zentaiban.pdf](https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r5/pdf/zentaiban.pdf)(参照2025年2月4日)
- Kheradmandi, N. and Mehranfar, V.: A critical review and comparative study on image segmentation-based techniques for pavement crack detection, *Construction and Building Materials*, Vol. 321, 126162, 2022.

16

## 機械学習を用いた地下ダムの貯水量予測

神戸大学 農学部 食料環境システム学科 施設環境学研究室 井上 峻  
(進学先 神戸大学大学院)  
指導教員 井上 一哉 教授



## 1. 緒論

喜界島は鹿児島県の南南西約380kmに位置する農業の盛んな島である。本島は多孔質で高透水性の琉球石灰岩に覆われた地質構造であるため、降雨は地下へ浸透しやすく、地表水に乏しい。そこで、農業用水の安定供給を目的とした地下ダムが築造・供用された。地下ダムの建設により、地下水の利用可能量は増大し、基幹作物であるサトウキビの収量増加のみならず、ゴマや南国フルーツといった栽培品目の多様化が進んでいる。

地下ダムの受益地域において、農業用水の安定供給の実現や適切な営農計画の策定に資するには地下ダム貯水量の予測は不可欠である。地下ダムを供用する過程では、地下ダムの地下水位を定期的に実測しているものの、効率的かつ低成本で地下ダムの貯水量を予測する手法は確立されていない。そこで本研究では、機械学習を用いて地下水位を予測し、貯水量へ変換する貯水量予測モデルの開発を目指す。

表2 各路面部に対するひび割れ検出の精度評価

| 対象：日向路面部     | 適合率   | 再現率   | F値    |
|--------------|-------|-------|-------|
| 日向路面モデル      | 0.864 | 0.703 | 0.775 |
| 拡張前日陰路面モデル   | 0.814 | 0.241 | 0.372 |
| 拡張後日陰路面モデル   | 0.840 | 0.657 | 0.737 |
| 路面全体モデル      | 0.806 | 0.740 | 0.772 |
| 対象：日陰路面部     | 適合率   | 再現率   | F値    |
| 日向路面モデル      | 0.604 | 0.460 | 0.522 |
| 拡張前日陰路面モデル   | 0.615 | 0.162 | 0.256 |
| 拡張後日陰路面モデル   | 0.840 | 0.732 | 0.782 |
| 路面全体モデル      | 0.728 | 0.714 | 0.721 |
| 対象：路面全体      | 適合率   | 再現率   | F値    |
| 日向路面モデル      | 0.756 | 0.598 | 0.668 |
| 拡張前日陰路面モデル   | 0.734 | 0.207 | 0.323 |
| 拡張後日陰路面モデル   | 0.840 | 0.689 | 0.757 |
| 路面全体モデル      | 0.771 | 0.729 | 0.749 |
| 日向路面&日陰路面モデル | 0.853 | 0.715 | 0.778 |

## 2. 機械学習の学習手順と予測手法

総貯水容量180万m<sup>3</sup>を有する喜界地下ダムは、図1に示すようにダム軸沿いの観測孔と8箇所の集水井にて、2000年4月1日から1か月間隔で地下水位が観測されている。例として、図2に観測孔1A、30Aおよび8号集水井の地下水位の経時変化を示す。本研究にて対象とする予測日は2023年1月1日(以下、3か月後予測日と記す)、2023年4月1日(以下、6か月後予測日と記す)とする。機械学習の入力変数には、地下水位を含め、喜界島にて観測されている降水量と平均気温、最高気温、平均風速、最大風速を設定した。例として、降水量と平均気温を図3に示す。貯水量予測モデルの軸となる学習アルゴリズムは、決定木系のExtremely Randomized Trees(ERT)<sup>1)</sup>、Gradient Boosting Decision Trees(GBDT)<sup>2)</sup>、実績の多いSupport Vector Regression(SVR)<sup>3)</sup>を採用した。

本モデルによる予測対象項目は3か月後、6か月後の地下ダム貯水量である。そのためには、予測日直前までの観測データ群を学習して地下水位を観測点ごとに予測した。次に、求めた観測水位と貯水量の関係式( $H-V$ 式と記す)に基づいて貯水量を予測した。具体的には、

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i$$

を用いた。ここに、 $\bar{V}$ は予測貯水量、 $V_i$ は各観測孔にて $H-V$ 式より得られる値、 $N$ は観測孔の総数であり、本研究では $N=10$ である。

## 3. 貯水量予測モデル

### 3.1 アルゴリズムの比較と貯水量予測

学習アルゴリズムを選定するため、3つのアルゴリズムに対して代表的な観測孔と集水井にて予測した水位の結果を図4に示す。図中、予測日の実測データを併記しており、ERTの精度の良さがわかる。これはERTの学習過程では分岐選択にランダム性を取り入れていることが要因と推測される。ERTにより予測した予測日の貯水量について、3か月後予測、6か月後予測の結果を図5に示す。図中、100回の予測計算に基づく予測の分散を示す。本モデルでは、6か月後までの貯水量を良好に予測する一方で、予測期間が長くなるにつれて予測の分散は増大している。

### 3.2 貯水量予測モデルの性能評価

観測孔単独で貯水量を予測した結果 $V_i$ 、ならびに $V_i$ の平均をとった予測貯水量 $\bar{V}$ を明示するため、図6に3か月後と6か月後の予測結果を描く。図中、 $V_i$ や $\bar{V}$ を総貯水容量で除した貯水率として、実測の貯水率とともに数値を記している。単一の観測孔より予測される値は実測値の前後でばらつく結果になる。これは図2に示すように、観測孔ごとに固有の水位変動幅を有していることから、観測孔単独で貯水量を予測すると数値にはばらつきが生じるためである。開発した貯水量予測モ

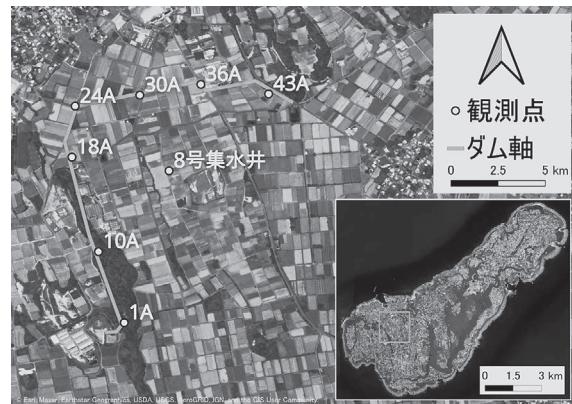


図1 喜界島の対象流域と観測点

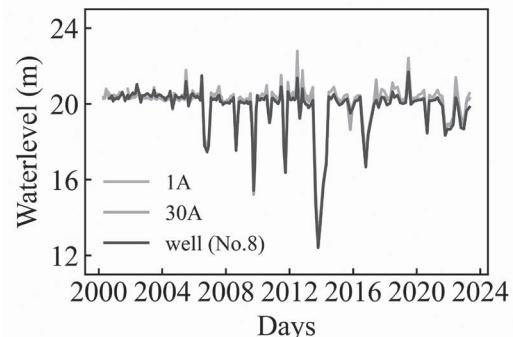


図2 観測孔1Aと30A、8号集水井の水位変化

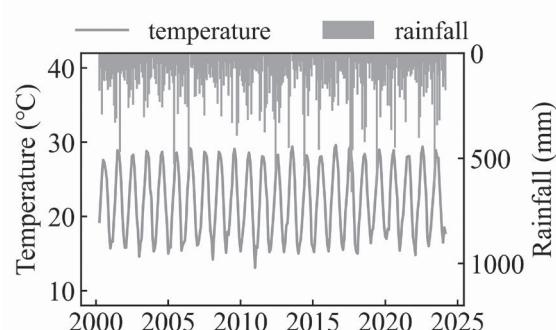


図3 気温と降水量の経時変化

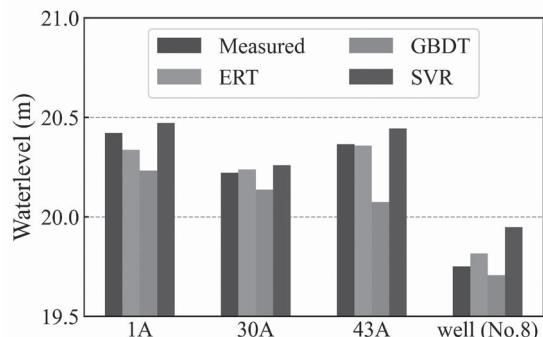


図4 学習アルゴリズムの精度の比較

ルは各観測孔の水位変動特性を平滑化するモデルであり、良好な予測値を導くことができる。

#### 4. 結論

本研究では、喜界地下ダムを対象に機械学習を用いた貯水量予測モデルを開発した。学習アルゴリズムとしてERTの性能の高さが示された。また、貯水量予測モデルは6か月後まで良好に予測する能力を有していた。

#### 参考文献

- 1) Geurts, P., Ernst, D. and Wehenkel, L.: Extremely randomized trees, *Machine Learning*, 63, pp.3-42, 2006.
- 2) Friedman, J. H.: Stochastic gradient boosting, *Computational Statistics & Data Analysis*, 38(4), pp.367-378, 2002.
- 3) Gunn, S.: Support Vector Machines for classification and regression, *ISIS technical report*, pp.31-39, 1998.

#### 謝辞

本研究は、一般社団法人土地改良建設協会「2024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、研究を進めるにあたり、農林水産省九州農政局喜界島農業水利事業所の皆様には、ダムサイトでの調査ならびにデータ提供など、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。

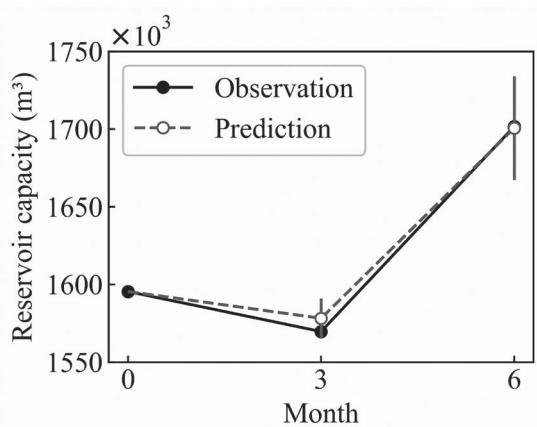


図 5 貯水量予測結果と予測の分散

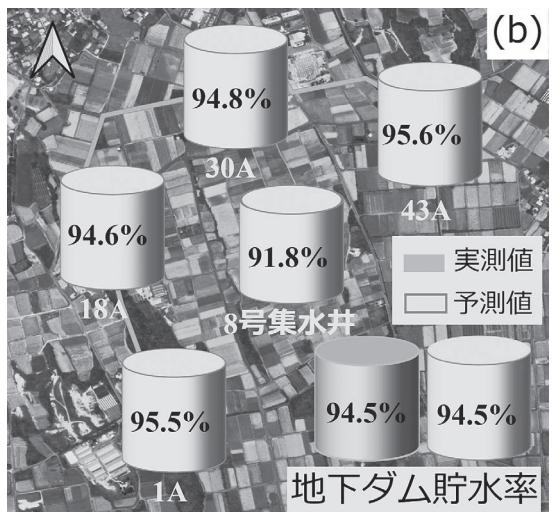
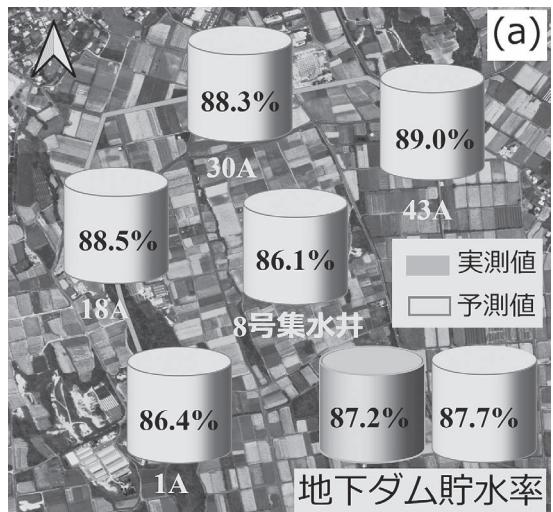


図 6 地下ダム貯水率の予測：(a) 3か月後, (b) 6か月後

## 断層を有する石灰岩帯水層の物理的不均質性の可視化

神戸大学 農学部食料環境システム学科 施設環境学研究室 藤田 帆夏

(就職先 農林水産省)

指導教員 井上 一哉 教授



### 1. 緒論

南西諸島では石灰岩の多孔質特性を活かした地下ダム建造による水資源の安定的確保を図っている。水資源の維持管理において透水係数分布の評価は重要であるものの、石灰岩の特性上、圧力のかかるルジオン試験などを実施できないため密な間隔で透水係数を求めることは技術的に難しい。そこで本研究では、簡便さや優れた経済性から国内外で利用されている単孔式希釈試験を実施することで透水係数を求め、帯水層の地質や構造を考慮した透水係数の不均質性の可視化について提示する。

### 2. 単孔式希釈試験

対象地域は鹿児島県喜界島の南西部の喜界第2地下ダム建造予定地である。図1に観測孔と地下ダムサイトにおける断層の位置を示す。数多くの断層を有する点が喜界島の地質的特徴であり、図2に示すように断層による岩種のずれが生じている。本研究では34点の観測孔にて単孔式希釈試験を実施し、平面座標や標高の異なる151箇所のデータを取得した。

単孔式希釈試験では、 $C_0 = 0.744 \text{ mg/cm}^3$ の初期濃度となるよう孔内にNaClを投入し<sup>1)2)</sup>、電気伝導度ECの変化を計測して濃度C ( $\text{mg/cm}^3$ )に変換した。また、断層と透水係数の関連性を検討するため、同じ断層帯に位置する観測孔を用いて動水勾配 $I$ を算出した。観測孔S12を例として、濃度低下曲線を図3に示す。深度が増すにつれ緩やかな濃度低下を呈しており、地下水流动と透水係数は不均一であることを示している。

### 3. 透水係数の同定と結果

単孔式希釈試験にて得られた濃度低下曲線より、ダルシー流速 $|v_a|$  ( $\text{cm/s}$ )と透水係数 $K$  ( $\text{cm/s}$ )を経過時間 $t$  ( $\text{s}$ )、孔半径 $R$  ( $\text{cm}$ )を用いて求めた<sup>3)</sup>。

$$\ln\left(\frac{c}{c_0}\right) = -\frac{2|v_a|t}{\pi R} \quad , \quad K = \frac{|v_a|}{2|I|} \quad (1)$$

透水係数の鉛直分布の同定結果を図4に示す。観測孔を代表して北部に位置する7点に対する結果を(A)、南部に位置する3点に対する結果を(B)に示す。図4(A)と(B)では断層帯が異なり、北部に位置する(A)の透水係数はばらつきが大きく、南部に位置する(B)は $10^{-1} \text{ cm/s}$ 付近に集中しており、断層帯ごとに分布傾向は異なる。

### 4. 補間による空間モデルの作成

透水係数の空間分布を可視化するため、図1に示す地下ダムサイトの2000m四方の補間領域を標高-49.0m~6.0mまで50m×50m×1mの要素で区分した。各要素の重心位置に対して標高ごとに逆距

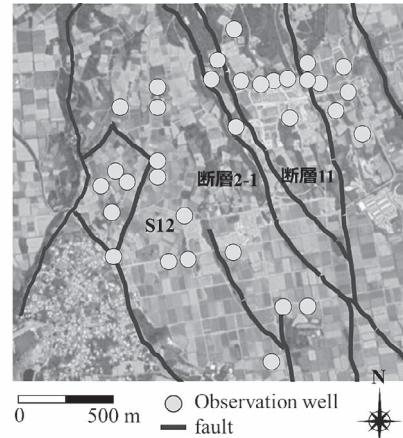


図1：地下ダムサイトの観測孔と断層の位置

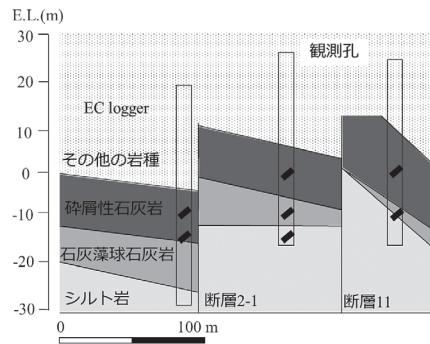


図2：断層を有する地質構成とECロガーの設置例

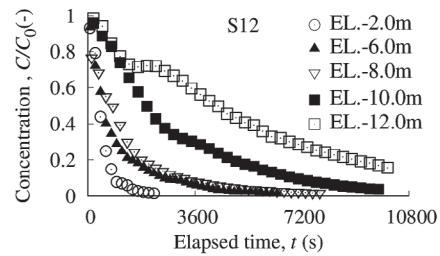


図3：観測孔S12における濃度低下曲線

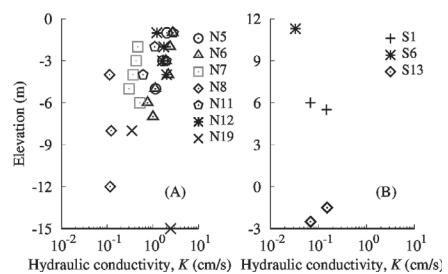


図4：透水係数の鉛直分布の例(A)北部(B)南部

離加重法(IDW)を適用することで平面的に透水係数分布を求めた。

図5に標高-2 mに対する2次元IDWの結果を示す。北部で透水係数はばらつく傾向は捉えられているものの、南部などの観測点の少ない範囲における透水係数の不均質性の再現性は乏しい。また、断層による岩種のずれを考慮できていないため、断層が形成された約20万年前の地層状態<sup>4)</sup>に戻すことを考える。つまり、基盤標高を揃えてから標高ごとにIDWを行い、元の標高に戻す方法を実施する。図6は断層を考慮した2次元IDWの結果であり、図5とは明確な違いが生じている。これは基盤標高を揃える作業により標高内に含まれる観測点数が少なくなったことに起因する。

そこで、より自然な透水係数分布の作成のため、基盤標高を揃えた状態で空間全体にIDWを適用する3次元IDWを実施した。図7は得られた透水係数分布の空間モデルであり、透水性は相対的に北部で高く南東部で低いことを視覚的に捉えることができる。空間モデルの標高-2 m地点を抽出した結果を図8に示す。2次元IDWと比較して補間の際に使用する観測点の数が増えるため、図5や図6より詳細に透水係数の不均質性を表すことができている。

## 5. 結論

本研究では、単孔式希釈試験により石灰岩帶水層の透水係数を同定し、逆距離加重法にて透水係数分布を可視化した。対象サイトの地下水流动と透水係数は空間的に不均一であり、透水係数の分布傾向は断層帶ごとに異なることがわかった。また、断層を考慮しない2次元IDWと断層を考慮した2次元IDWでは結果が大きく異なる点、3次元IDWを用いることにより自然なモデルを得ることができた点を明らかにした。

## 参考文献

- 1) 倉澤智樹ら：単孔式希釈試験による石灰岩帶水層のパラメータ推定と群知能の適用性評価、土木学会論文集、B1(水工学), pp.I-775-I-780, 2022.
- 2) 倉澤智樹ら：琉球石灰岩帶水層を対象とした地下水流速と間隙率の評価、地下水学会誌, pp.189-200, 2022.
- 3) Piccinini, L. et al. *Hydrol. Sci. J.*, pp.1512-1523, 2016.
- 4) 松田博貴：喜界島の成り立ち~300万年の時間旅行~, 喜界島エコミュージアムガイド育成教室, 2020.

## 謝辞

本研究は、一般社団法人土地改良建設協会「2023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、農林水産省九州農政局喜界島農業水利事業所の皆様には、ダムサイトの見学やボーリングコア提供など、様々なご協力をいただきました。ここに深謝の意を表します。

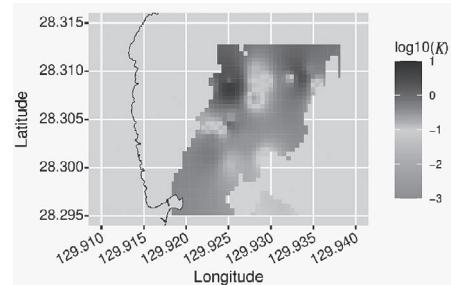


図5：断層を考慮しない2次元IDW(EL.-2 m)

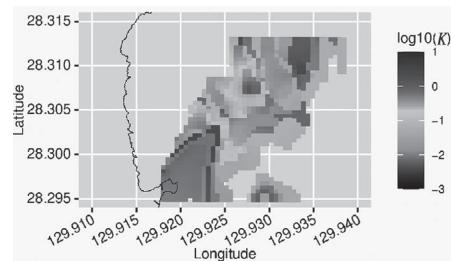


図6：断層を考慮した2次元IDW(EL.-2 m)

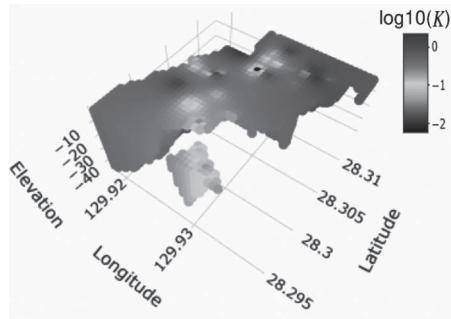


図7：透水係数の3次元モデル

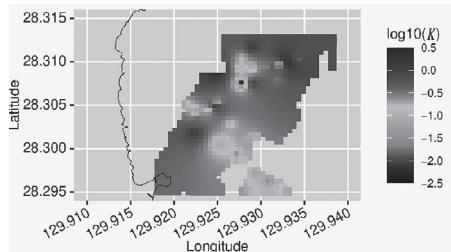


図8：3次元IDWによる結果(EL.-2 m)

## 供用期間約20年の各種表面被覆材に生じる変状の分析

高知大学 農林海洋科学部 農林資源環境科学科 **横山 藍**

(就職先 倉敷市役所)

指導教員 佐藤 周之 教授



### 1. はじめに

現在、我が国の基幹的農業水利施設の約53%が標準耐用年数を超過している。今後、適切な補修・補強による施設の長寿命化とライフサイクルコストの低減を図る戦略的な保全管理が求められている。適切な補修・補強のためには、的確な性能評価に基づく機能診断が必要である。これは、対策後の補修材も同様であり、再補修の必要性を判断するための知見の集積が急務である。本研究では、補修に多用される表面被覆工法に注目し、補修の予定期間となる20年が概ね経過した37工法の表面被覆材の変状調査を行った。

### 2. 調査対象としたRC開水路

本研究では、岩手県岩手郡雫石町板橋地内に位置し、県営圃場整備事業で建造されたRC開水路を対象とした。整備時の水路の幅、高さはそれぞれ0.9m、0.8mである。本水路では、2005～2008年に表面被覆工法の実証試験的検討の場として提供された。工法区分は無機系、有機系、パネル系、シート系、改質材系に分類され、37工法から成る26区間が存在する。

本水路では、2005～2008年にかけて、ひび割れと浮きを対象とした変状調査が3回実施された。2008年(第3回)の調査結果から、合計37工法のうち23工法に変状が生じていることが確認された。

### 3. 調査方法

本研究で採用した調査方法は、目視調査および打音調査である。目視調査では、外観を目視で確認し、ひび割れ、剥離の発生の有無を調査した。打音調査では、コンクリート点検ハンマー300m/m(土牛産業株式会社)とコロリン転検棒KT-25-1000・KT-32-800(有限会社ダイヤモンド技建×ジャパンマテリアル株式会社)を用いて施工箇所を叩き、その際に生じる音の違いから浮きの有無を調査した。浮きが生じていると判定された範囲をチョークでマーキングし、基準となる指標(myzox製 ニューアルロッド N-30)を置いて写真で記録した。その写真から面積測定ソフト(leafareacounter\_plus\_ja.exe)を用いて面積を算出した。

### 4. 調査結果

変状が生じていた工法数を工法区分ごとにまとめたものをTable 1に示す。Table 1より、全ての工法区分において、50%以上の割合で変状が生じており、無機系と有機系においては、全ての工法で変状が生じていた。合計37工法のうち32工法で変状が生じており、2008年の調査結果と比較して、変状が生じている工法数が増加した。また、ひび割れと比較して浮き・剥離の発生数が多く、37工法中30工法で浮き・剥離が発生していた。したがって、多くの工法において、補修材と既設躯体との接着安定性は良好でないと言えた。

工法ごとの浮き・剥離が生じている面積(以下「変状面積」とする)の割合をFig.1に示す。Fig.1より、同じ工法区分でも工法によって変状面積が大きく異なることが確認された。

Table 1 変状が生じた工法のまとめ

|      | 全工法 | 変状が生じた工法数 |         |            | 割合 (%) |
|------|-----|-----------|---------|------------|--------|
|      |     | ひび割れのみ    | 浮き、剥離のみ | ひび割れ・浮き、剥離 |        |
| 無機系  | 10  | 1         | 1       | 8          | 100    |
| 有機系  | 11  | 1         | 5       | 5          | 100    |
| パネル系 | 7   | 0         | 1       | 3          | 57     |
| シート系 | 4   | 0         | 2       | 1          | 75     |
| 改質材系 | 5   | 0         | 0       | 4          | 80     |
| 合計   | 37  | 2         | 9       | 21         | 86     |

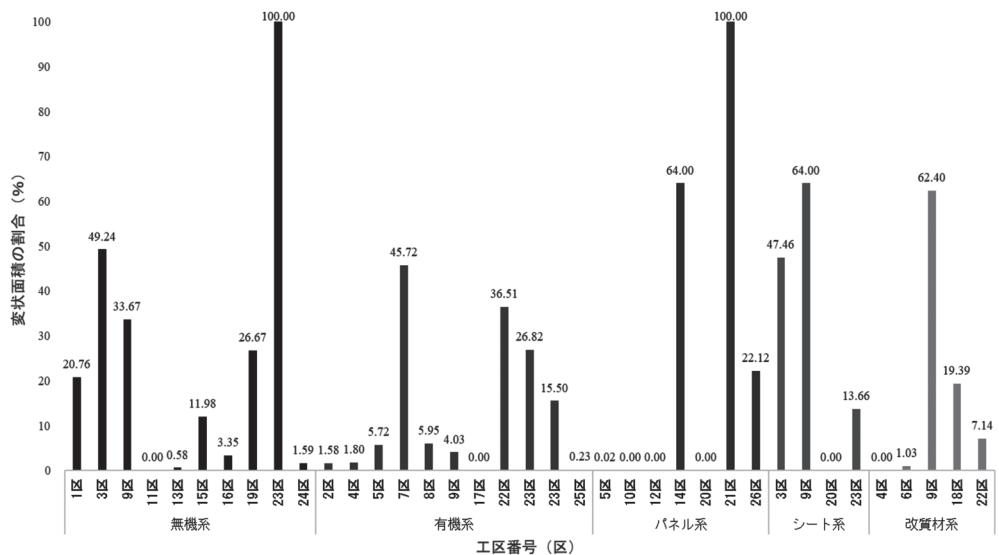


Fig.1 各工法の変状面積の割合

本水路の未補修部分において、コンクリート内部の鉄筋の露出および腐食が確認された。これは、凍害と中性化の複合劣化によるものと推察された。凍害により、コンクリート中の組織破壊が進行したことで、大気中の二酸化炭素がコンクリート内部に侵入しやすくなつた。二酸化炭素の侵入により、中性化も同時に起こり、鉄筋が露出・腐食したと考えられた。

工法区分ごとの底版、左岸、右岸での変状面積の割合を算出したものをTable 2に示す。今回の調査時では、底版に水が残っている箇所や土に覆われている箇所があり、底版のみ調査不可となった工法がいくつか存在した。Table 2はそれらを除いたものである。Table 2より、全ての工法区分において、底版における変状面積の割合が低かった。底版は壁面と比較して日照時間が短く、乾湿の繰り返しも少ない。そのため、凍結融解の頻度が少なく、凍害による影響を受けにくいためと考えられた。

本水路は、左岸側が東側に位置し、紫外線が最も強い時間帯に太陽光が当たる。有機系と改質材系においては、右岸側と比較して左岸側の変状面積の割合が高く、その差も大きい。よって、環境条件の違いが、有機系と改質材系の変状面積に影響を及ぼしたと考えられた。

Table 2 工法区分ごとの底版・左岸・右岸での変状面積の割合

|    | 無機系    | 有機系    | パネル系   | シート系   | 改質材系   |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 底版 | 12.92% | 4.19%  | 12.27% | 0.00%  | 11.31% |
| 左岸 | 18.25% | 19.21% | 34.74% | 46.49% | 20.12% |
| 右岸 | 19.61% | 13.82% | 37.00% | 42.30% | 13.29% |

## 5. おわりに

本研究では、目視調査および打音調査により、供用期間約20年の各種表面被覆材に生じる変状の現況を調査した。その結果、多くの工法において変状の発生が確認された。しかし、変状の有無だけでは再補修・補強の必要性を判断することは困難である。再補修・補強の必要性の判断には、補修材料の性能低下の状況と原因の分析が必須であるため、今後の更なる調査研究が必要不可欠である。

## 謝辞

本研究は、土地改良建設協会の国営事業地区等フィールド調査学生支援事業の後援により、遂行されたものです。農林水産省東北農政局の兼平正樹氏、増尾学氏、岩手県土地改良事業団体連合会の金平修祐氏に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

調査の実施にあたり島根大学名誉教授の長束勇氏、株式会社アストンの山本昌宏氏、株式会社総合開発の高橋慶吉氏、森博氏には多大なる御協力と御助言を賜りました。厚く御礼申し上げます。

最後に、本研究の遂行にあたりお力添えいただいた、すべての方々に心より感謝申し上げます。

## 佐賀県白石町におけるため池とクリークの管理実態とその変遷

九州大学 大学院生物資源環境科学府 環境農学専攻 木原 昂  
(進学先 九州大学大学院)  
指導教員 岩田 幸良 教授



### 1. はじめに

佐賀県の南西部に位置する白石町は、町の約90%が有明海の干拓により造成された白石平野が広がっており、水稻を中心とした農業が盛んな地域である。町の北部に六角川、南部に塩田川が流れるが、満潮時は海水が河川に逆流する感潮河川であり、農業用水としての利用が困難である。そのため白石町では町全体にクリーク(貯水機能を持つ用排兼用水路)を整備し、杵島山周辺のため池と併用することで用水を確保してきた。しかし、クリークの水が枯れるなど慢性的な用水不足は解消されず、さらに昭和初期からはじまった地下水のくみ上げによる地盤沈下も問題となった。そこで、2000~2014年にかけて国営かんがい排水事業が実施された。その一環として、2013年(平成25年)より佐賀県富士町の嘉瀬川ダムから導水路を通じて補給水が供給されるようになり、地下水からの水源転換が行われた。

また、2019年8月、2021年8月に九州北部では豪雨災害が発生し、白石町を含む六角川流域では大きな被害を受けた。これを受けて、白石町でもため池やクリークを活用した治水対策が実施されるようになった。

本稿では、嘉瀬川ダム完成と2019年、2021年に発生した豪雨災害を受けて再検討された白石町のため池とクリークの管理実態の変化についての聞き取り調査の結果を報告する。調査は2024年7月23日に白石町役場および白石土地改良区を対象に実施した。

### 2. ため池における貯水操作と維持管理の変化

白石町には13のため池が存在する。このうち11のため池は嘉瀬川ダムからの補給水の供給に伴い、管理が地元水利組合から土地改良区に移管された。また、ため池から放流した用水はクリークに流れ込み、各農家はポンプで圃場に揚水する。

白石町周辺では6月から灌漑期に入るため、4月からため池の貯水を始める。灌漑期に入ると、まず、代かき・田植えに大量の用水が必要となるため、各ため池から貯水位の約3割を放流する。また、8月中旬に実施する中干後の再灌水にも貯水位の約3割を放流する。その他の用水需要が比較的少ない時期は、各地域の水利組合からの要望に応じて土地改良区がため池から用水を放流する。ため池の貯水は地域の防火用水としても使用されており、非灌漑期であっても原則として池干しは行われていない。

嘉瀬川ダムの完成以降、ため池の水を先使いし、不足した場合にはダムからの補給水を使用する運用が行われた。そのため、ため池への依存度は低下したが、可能な限りため池の貯水を確保する管理が継続されていた。しかし、2021年の豪雨災害では土地改良区が管理するため池が満水位となった。これ以降、農家の合意を得て用水需要が逼迫する時期は満水位とし、そのほかの時期は総貯水位の約7割の低水位で貯水が管理されて、仮に、降雨で貯水が回復しても7割まで放流されている(図1)。特に、白石土地改良区が管理する焼米ため池(武雄市)では、佐賀県、武雄市、周辺自治体が協議し、緊急放流用のスライドゲートが設置された。そして、2023年からは用水需要が高い期間(6月、8月)を除いて、治水容量を確保した運用がなされている。

### 3. クリークにおける貯水操作と維持管理の変化

クリークの清掃や法面管理などの維持管理は、地元農家によって行われている。嘉瀬川ダム完成以前、クリークの水位は満水で管理されていた。嘉瀬川ダム完成以降は、法面の崩壊を防止するために框(かまち)管理と呼ばれる、水路の天端程度

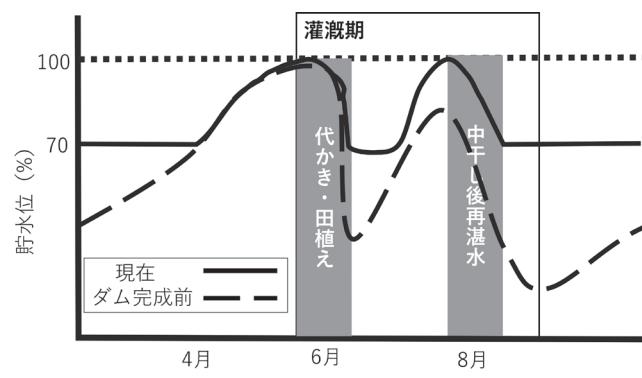


図1 ため池貯水位の年間推移イメージ

の水位(水深約1m)で管理されている。渴水時においてもダムからの補給水でクリークの水が枯れることがないため、框管理が維持されている。

また、2021年の豪雨災害以降、豪雨が予想される場合には白石町の主導で、地元農家が水位を約50cm下げる事前排水を実施し、水路に雨水を溜めるための空き容量を設けている(図2)。仮に想定どおりの豪雨が起きずに貯水を回復できない場合でも、ダムからの補給水によってクリークの水位を回復できるため、この管理が実施できている。

#### 4. おわりに

本稿では、白石町におけるため池とクリークの管理実態について整理した。白石町は、慢性的な水不足地域であったが、嘉瀬川ダムから補給水が供給されるようになったことで、用水不足は改善し、ダム完成以降では大規模な渴水は起こっていない。一方で、2019年、2021年に発生した豪雨災害により、現在ではクリークを活用した治水対策が強化されている。これらの治水対策は、地元の営農者の理解や協力を得て成り立っており、この背景にはダムからの補給水による渴水リスクの低減が寄与したと考えられる。農業水利施設を活用した治水対策を実施するには、施設そのものの整備と強化だけでなく、利水面の強化も重要であることが示唆された。

#### 謝辞

本調査にあたり、九州農政局、白石町役場、白石土地改良区の皆様には聞き取り調査にご協力いただきました。記して、謝意を表します。

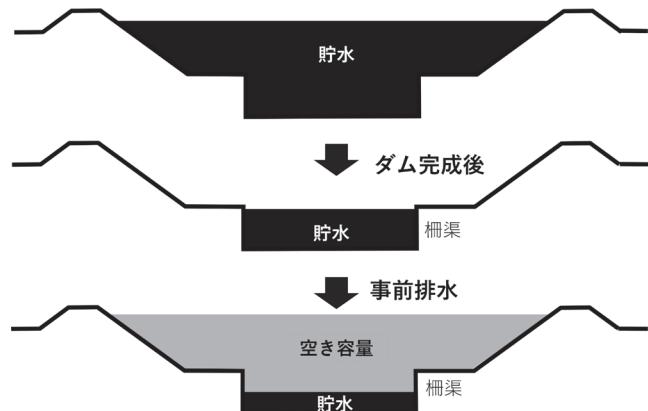


図2 ダム完成以前(上)、現在の平時のクリークの水位(中)と事前排水時のクリークの水位(下)のイメージ

20

## クリークの水質に及ぼす植生の影響

[キーワード]クリーク、植生、溶存酸素濃度

佐賀大学農学部 生物資源科学科 地域環境学研究室 堀 葉

(就職先 佐賀県庁)

指導教員 原口 智和 准教授



#### 1. はじめに

筑後川下流右岸の佐賀平野にはクリーク(農業用水路)が張り巡らされており、豊かな生態系が広がっている。この地域のクリークは、昭和40年代から国営筑後川下流土地改良事業及び関連事業により整備されたが、年月の経過に伴って土砂堆積による貯留機能の低下や法面崩壊による安全面の懸念が生じたため、平成10年代以降、国営や県営の事業による護岸工事が進められている。筑後川下流右岸農地防災事業では工事による環境への影響を評価するため、一部の区間で工事前後の水質・生態調査が行われている。この調査によると、施工完了後の時間経過に伴い、植生が豊かになるにつれて小型魚類の回復が確認された区間がある一方、水生植物の過繁茂によって溶存酸素濃度が低くなる区間もあった。

本研究では、筑後川下流右岸農地防災事業における施工完了後の水環境保全や、同様の事業を計画している他地区における工法選定に資するため、植生の種類や成長がクリークの水質、とくに溶存酸素濃度(DO)に及ぼす影響を明らかにすることを目的として現地調査を行った。

#### 2. 調査方法

法面の一部をブロックマットで護岸した基本断面クリーク(令和元年度施工、区間長150m)において、令和6年5月から11月の期間で月に一度現地調査を行った。この区間は植生が豊かで希少種を含む小型魚類が多く生息

している(写真1)。区間上流端から地点A、B、Cの調査地点を選定し、水深および水質(水温、電気伝導度、pH、DO、クロロフィルa濃度、濁度)を計測した(図1)。調査期間中、この3地点では水生植物が繁茂しなかったため、7月以降は区間に内に形成された植生群落においても水質を測定した。水質は水面下0.1m(表層)、以下鉛直方向に0.5m間隔で水底上0.1m(底層)まで測定した。さらに、目視による植生調査を区間全域で行い、植生群落のある地点とない地点において水中日射透過率を測定した。加えて、5、8、11月には、底質の有機物含量の指標として強熱減量を測定した。

### 3. 結果と考察

調査区間に生息する主要な水生植物として、ヒシ(浮葉植物)、チクゴスズメノヒエ(抽水植物)、マツモとオオカナダモ(沈水植物)が確認された(図2)。浮葉植物は7月以降確認されなくなったが、これは、6月18日から7月23日の間の大雨(計588.5mm、日降水量70mm超が5日)の影響と推察される。抽水植物は5月から8月にかけて水際に拡大したが、9月には魚釣り大会のための刈り上げによって大きく縮小した。また、沈水植物の面積は8月から10月にかけて増加し、11月には減少した。

植生のない地点における深さ0.3mの日射透過率は、調査日による変化は小さく40%程度であった。一方、植生群落内の水中日射透過率は植物の種類や群落の状態によって変化し、深さ0.3mの日射透過率は10%以下であった。

水深は調査日によって数十センチメートルの幅で変動した。かんがい期(6~10月)の平均は、地点Aで1.34m、地点Bで1.31m、地点Cで1.02mであり、地点Cでの底泥堆積が顕著であること推察された。底泥の強熱減量については、上流側の地点Aでは、5月は植物残さが多いため強熱減量が他地点に比べ高いが、期間を通して底泥の堆積量が少なかったことから、底泥中の有機物存在量は小さいと推測される。対して地点Cでは、期間を通して強熱減量は低かったが、堆積量が多いことから、底泥中の有機物存在量は大きいと考えられる。

図3に7月から11月にかけてのDOの鉛直分布の時空間変動を示す。下流側の地点ほどDOが低くなる傾向がみられ、9月以降は地点Cの底層でDOの低下が顕著であった。これは、下流の地点ほど、有機物の分解に伴う溶存酸素の消費の影響が大きかったことを示唆している。7月と8月の抽水植物群落内(地点Bの直下流)では、クロロフィルa濃度は地点Bに比べ高かったが、DOは地点Bよりも小さくなかった。これは、抽水植物による日射遮断により植生群落内では水中日射量が小さくなり、植物プランクトンの光合成による酸素供給量が小さかったためと考えられる。また、9月、10月および11月の沈水植物群落内(地点Cの直下流)では、クロロフィルa濃度は地点Cとあまり差がなかったが、DOは地点Cよりも高く、表層ほどその傾向が強かった。これは、沈水植物の光合成による酸素供給が卓越したことによると推察できる。



写真1 調査区間の全景

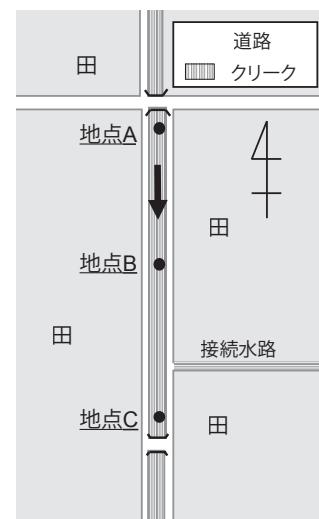


図1 調査地の概略図



写真2 水質計測の様子

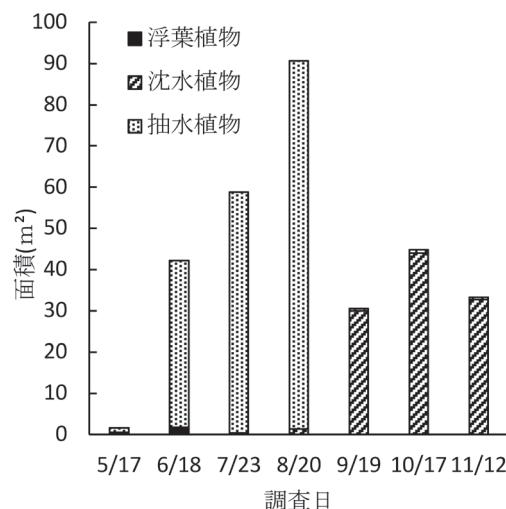


図2 植生量の変化

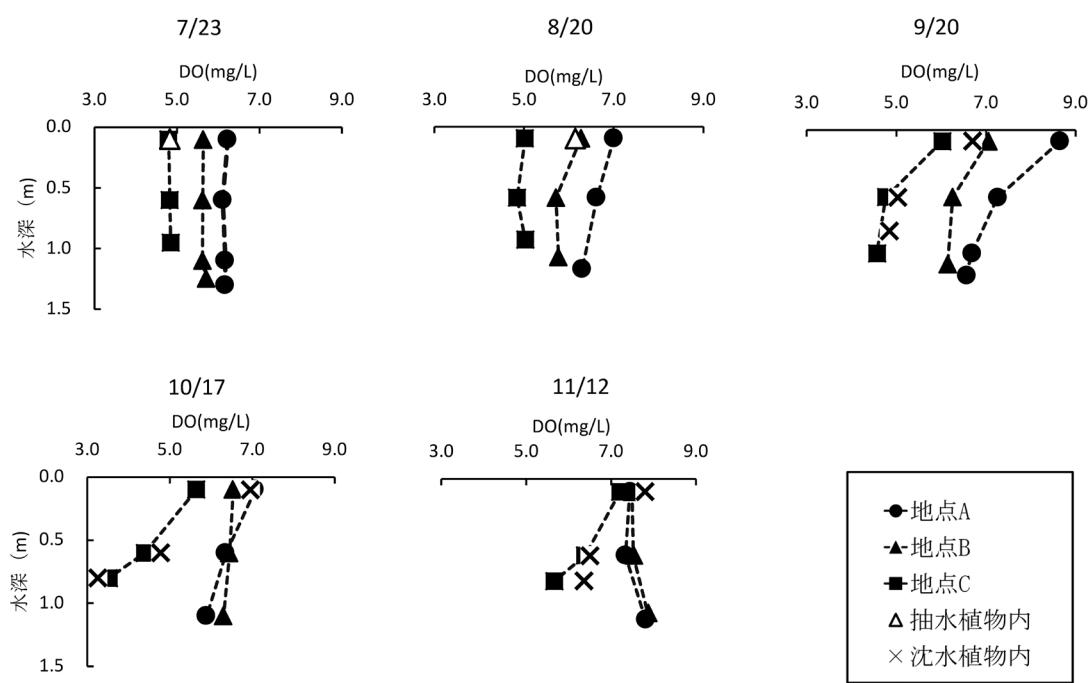


図3 溶存酸素濃度の鉛直分布の変化

#### 4. おわりに

調査対象区間の溶存酸素濃度には、抽水植物の繁茂による水中日射量低下に伴う酸素供給量の低下、沈水植物の光合成による酸素供給量の増加、植物残さ等有機物の分解の際の酸素消費が影響していることが明らかとなった。水生植物の種類や形態によってクリークの水質に及ぼす影響のメカニズムが異なることから、これらの特性を考慮した植生管理が必要と考えている。