

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壌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 勤務)
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

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 照
(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 栞
(就職先 佐賀県庁)
指導教員 原口 智和 准教授

11～20の報告は次号(331号)に掲載します。

酪農地域・傾斜試験枠における 耕起作業と土壌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 勤務)

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、風連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、汎用土壌流亡量予測式)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($\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h})$)、 K : 土壌係数(h/m^2)、
 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¹⁾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)の土壌流亡性・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 $R(=R_r(\text{降雨流出係数})+R_s(\text{融雪流出係数}))$ 、流亡土量 $A(=A_r(\text{営農期流亡土量})+A_s(\text{融雪期流亡土量}))$ 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 $r_r'=101.5\text{mm}$ 、 $EI_{30}\text{値}=140.7\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h})$)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 r_r or r_s (mm)	降雨係数 R_r or R_s ($\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h})$)	流亡土量 A_r or A_s (kg)		
			裸地 枠①	裸地 枠②	裸地 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(大降雨)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か年間で土壌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、上式より土壌係数 $K=A/R$ とすることができる。現地の冬期間降水量 r_s (積雪深12cm×積雪密度 $0.26\text{g}/\text{cm}^3=3.12\text{cm}$)に融雪換算係数 x ($4.06\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{cm})$)を乗じて融雪流出係数 R_s ($12.7\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h})$)を算出すると、2024年(年間)の降雨係数 $R=R_s(12.7\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h}))+R_r(243.8\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h}))=256.5\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h})$ 、流亡土量 $A=A_s(0.628\text{tf}/\text{ha})+A_r(12.1\text{tf}/\text{ha})=12.73\text{tf}/\text{ha}$ となり、土壌係数 $K=0.05\text{h}/\text{m}^2$ と試算された。このとき、年間許容流亡土量の範囲内($10\sim15\text{tf}/(\text{ha}\cdot\text{yr})$)³⁾にあり、土壌係数 K も国内各地の実測値($0.05\sim0.56\text{h}/\text{m}^2$)³⁾と比較して低い値であるなど、現地の土壌統(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%)・飽和度は(74.8～96.1%)が高く、透水性(透水係数 $10^{-5}\sim10^{-6}$ 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壌を流亡していた。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 $10^{-2}\sim10^{-4}$ 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壌を流亡していた。

2024年の調査結果、 EL_{30} 値が $20\text{tf}\cdot\text{m}^2/(\text{ha}\cdot\text{h})$ 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壌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、北海道開発局釧路開発建設部には「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²⁾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壌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壌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/dcmh0u0000001liuo.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¹⁾。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に少なく²⁾、河川延長距離でも関東地方で短いことから³⁾、様々な要因項目に対して、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²⁾。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・東北、北関東、瀬戸内海に面した地域では年平均降水量が1750mm未満にあるため池数割合が高く、九州・沖縄地方では2050mm以上にあるため池数割合で高い傾向にある。その中でも

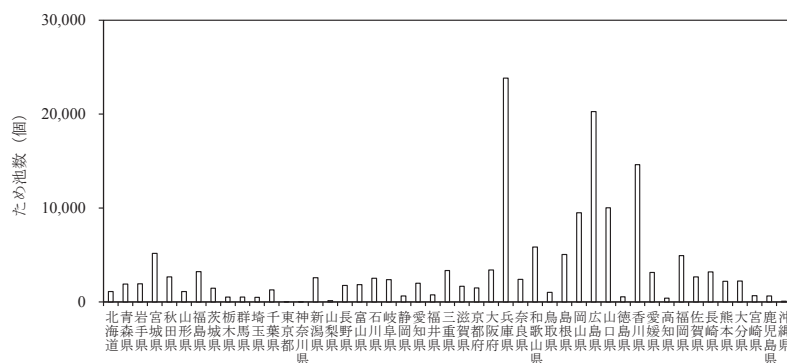


Fig.1 都道府県別のため池数

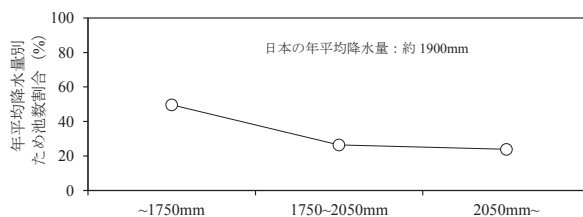


Fig.2 日本の年平均降水量別ため池数割合

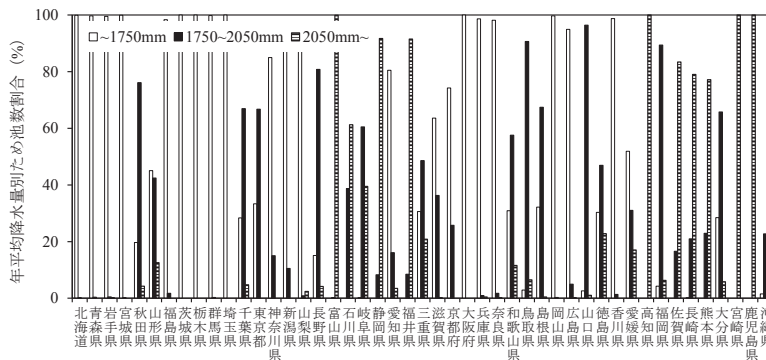


Fig.3 都道府県別の年平均降水量別ため池数割合

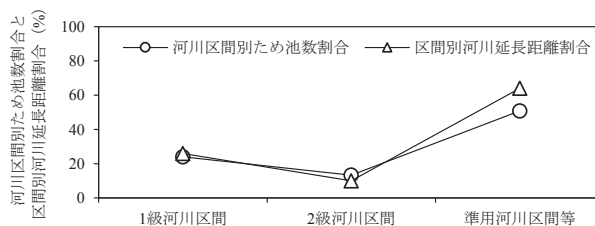


Fig.4 日本の区間別河川延長距離割合とバッファ領域0.5kmでの河川区間別ため池数割合

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³⁾。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⁴⁾。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。

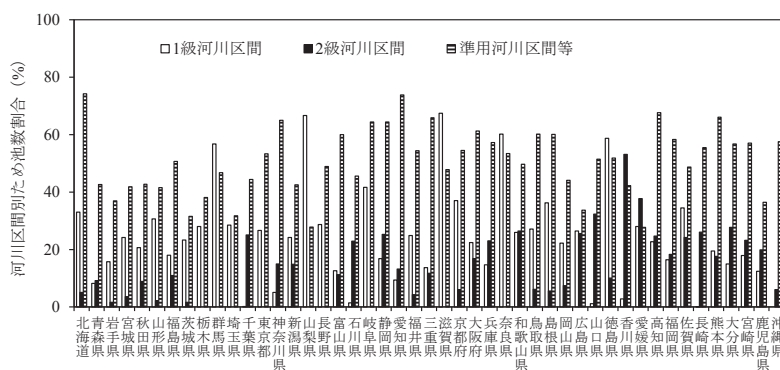


Fig.5 都道府県別のバッファ領域0.5kmでの河川区間別ため池数割合

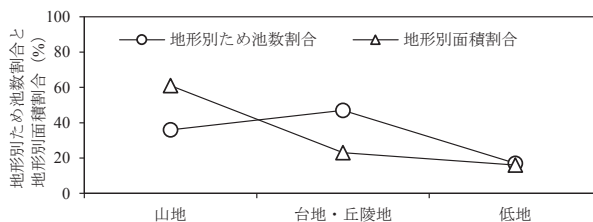


Fig.6 日本の地形別ため池数割合と地形別面積割合

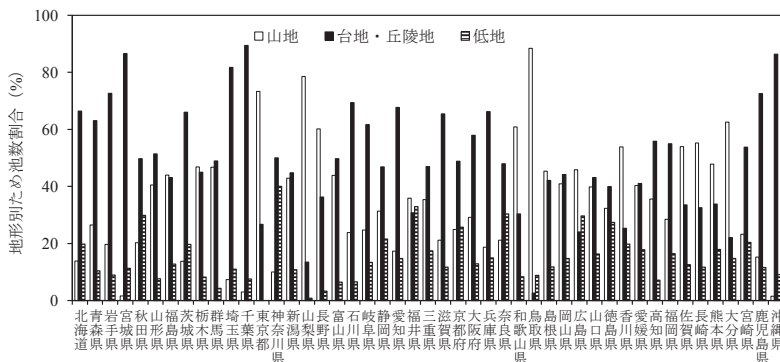


Fig.7 都道府県別の地形別ため池数割合

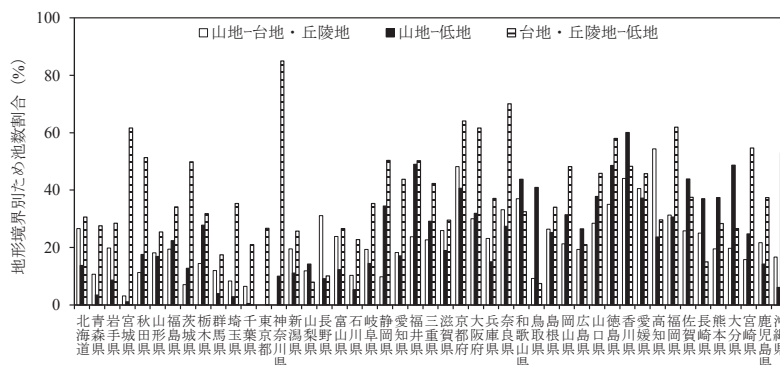


Fig.8 都道府県別のバッファ領域0.5kmでの地形境界別ため池数割合

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/(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.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/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(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 侑二郎

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¹⁾。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²⁾。

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、水平震度に対応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(F_s)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 F_s 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

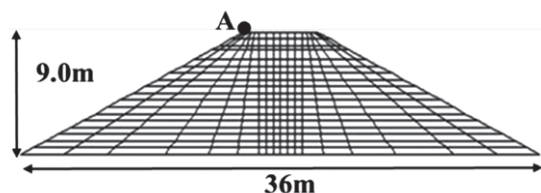


Fig.1 有限要素メッシュ(節点数361, 要素数324)

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³⁾。そのため、ま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(α_{top}) / 最大入力加速度(α_{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($khc = 0.35$)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(α_{max})を限界水平震度(khc)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1⁴⁾では $khc \approx 0.167$ 、提案式2⁵⁾では $khc \approx 0.265$ となり、Fig.2で示した $khc \approx 0.35$ よりも25%~50%程小さくなる。しかし、逆に $khc \approx 0.35$ に相当する α_{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。

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

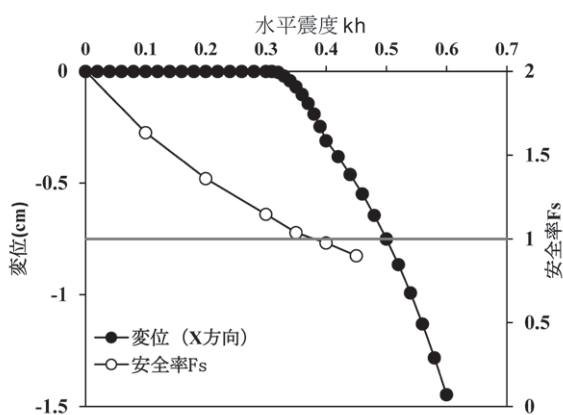


Fig.2 水平震度khと変位・安全率Fs



Fig.3 円弧すべり面形状($Fs \approx 1.0$)と最大せん断ひずみ分布($khc \approx 0.35$)

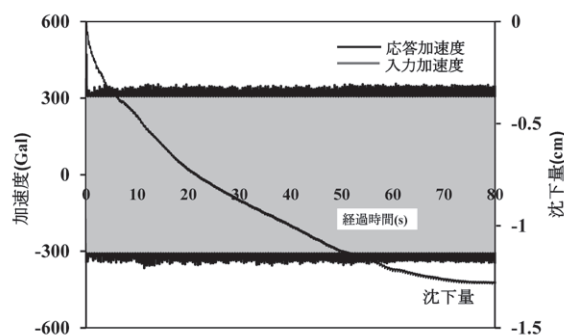


Fig.4 入力加速度波形(正弦波300Gal)と天端の応答加速度・沈下量

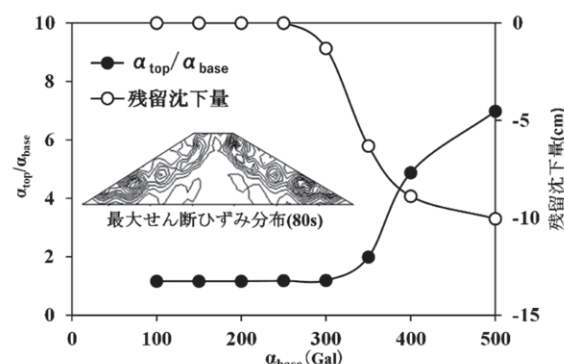


Fig.5 入力加速度(正弦波)の振幅を変化させた場合の応答加速度比と残留沈下量

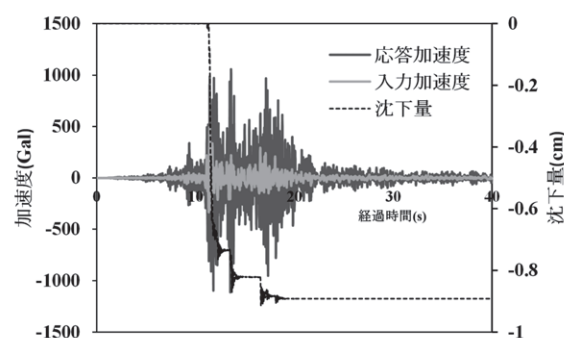


Fig.6 入力加速度波形と天端の応答加速度・沈下量

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

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。

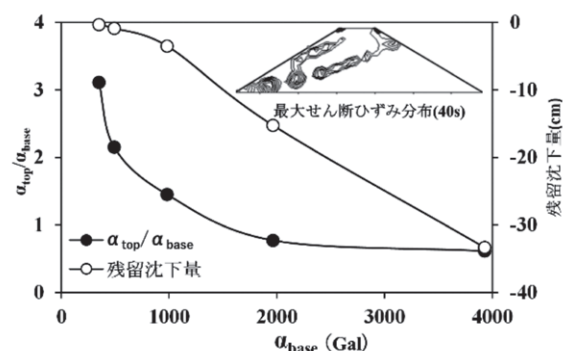


Fig.7 入力加速度の振幅を変化させた場合の
応答加速度比と残留沈下量

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) (社)日本道路協会(1999): 道路土工 のり面工・斜面安定工指針.
- 5) (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).

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 土壤環境学研究室 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 δ 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

$\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 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水冷保存を行った。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。 $R_{\text{試料}}$ 、 $R_{\text{標準}}$ 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 $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ を用いた個体群識別

各調査地点におけるギバチの $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 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 \pm 標準偏差は、それぞれ、地点2は-21.3‰ \pm 0.70‰、地点3は-21.5‰ \pm 1.25‰、地点4は-21.2‰ \pm 0.75‰であった。4地点間の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 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た。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た。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っ

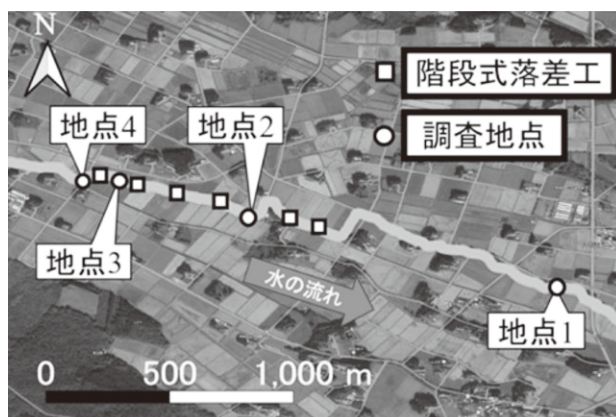


Fig.1 調査地点の概要

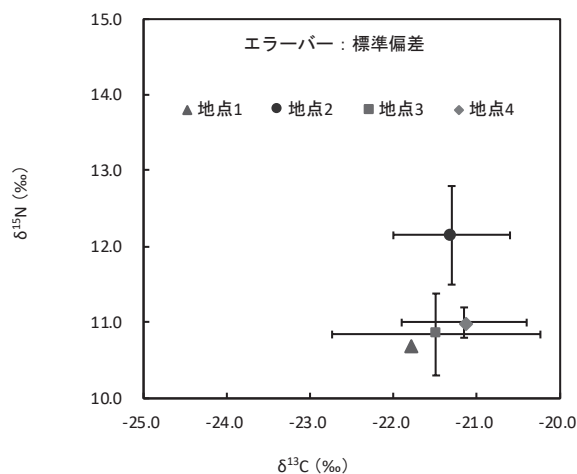


Fig.2 ギバチの尾鰭の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ マップ

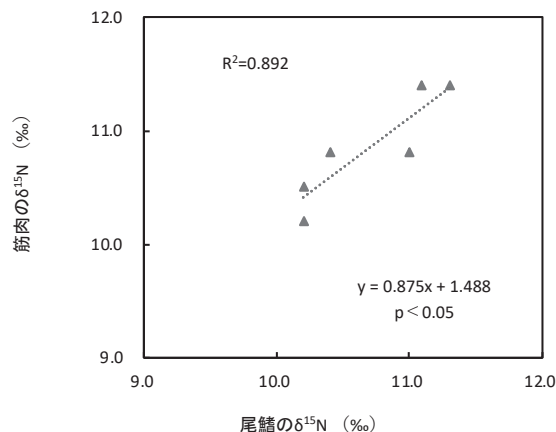


Fig.3 ギバチの尾鰭と筋肉の $\delta^{15}\text{N}$ の関係

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 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ はバラツキ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。

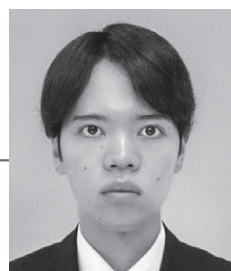
5

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文学研究室 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、 Δt)は $\Delta t=24\text{h}$ だが、モデル内での毎日の水移動の状

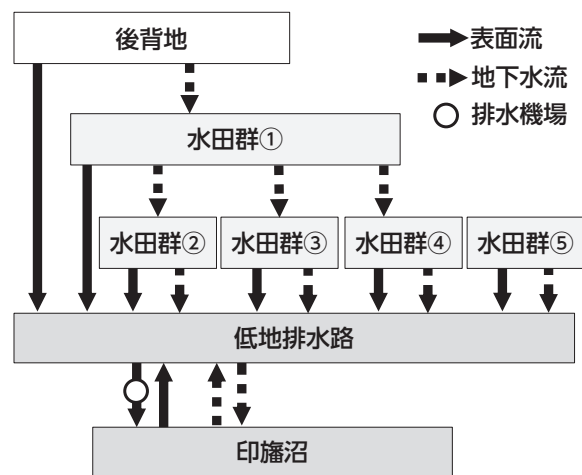


図1 玉川(2022)による低地排水路水位モデルの概要

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、 Δt 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、 Δt 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で除したものをを用いた。

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 (印旛沼土地改良区より入手)
印旛沼からの取水	
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

3. 結果と考察

Δt 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することで、一度に多量の地下水の浸透が起こらなくなったため、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。

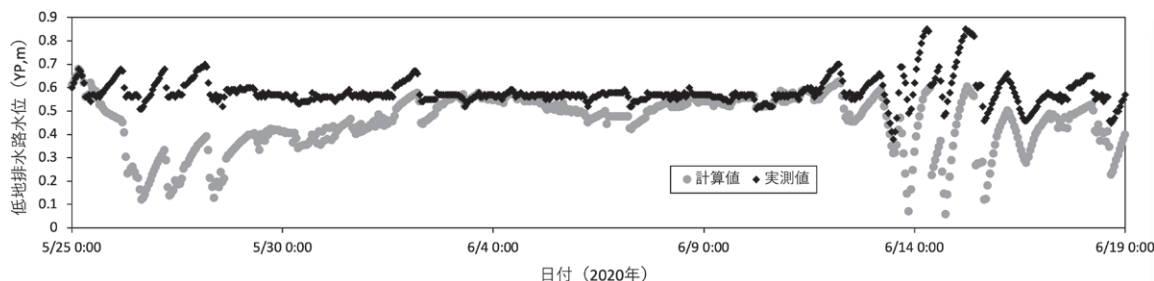


図2 低地排水路水位の計算結果

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を入手し、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。

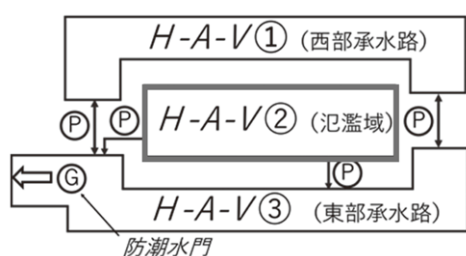
2. 研究方法

研究対象流域は米代川流域(4,100km²)と八郎湖流域(894km²)である。まず、雪雨判別パラメータの見直し、アメダス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。

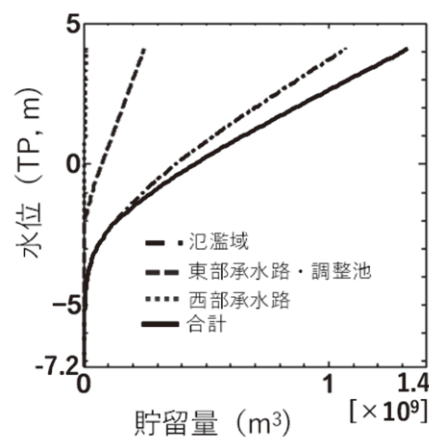
3. 結果と考察

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℃、上限0.5℃)、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1km²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ー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



(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

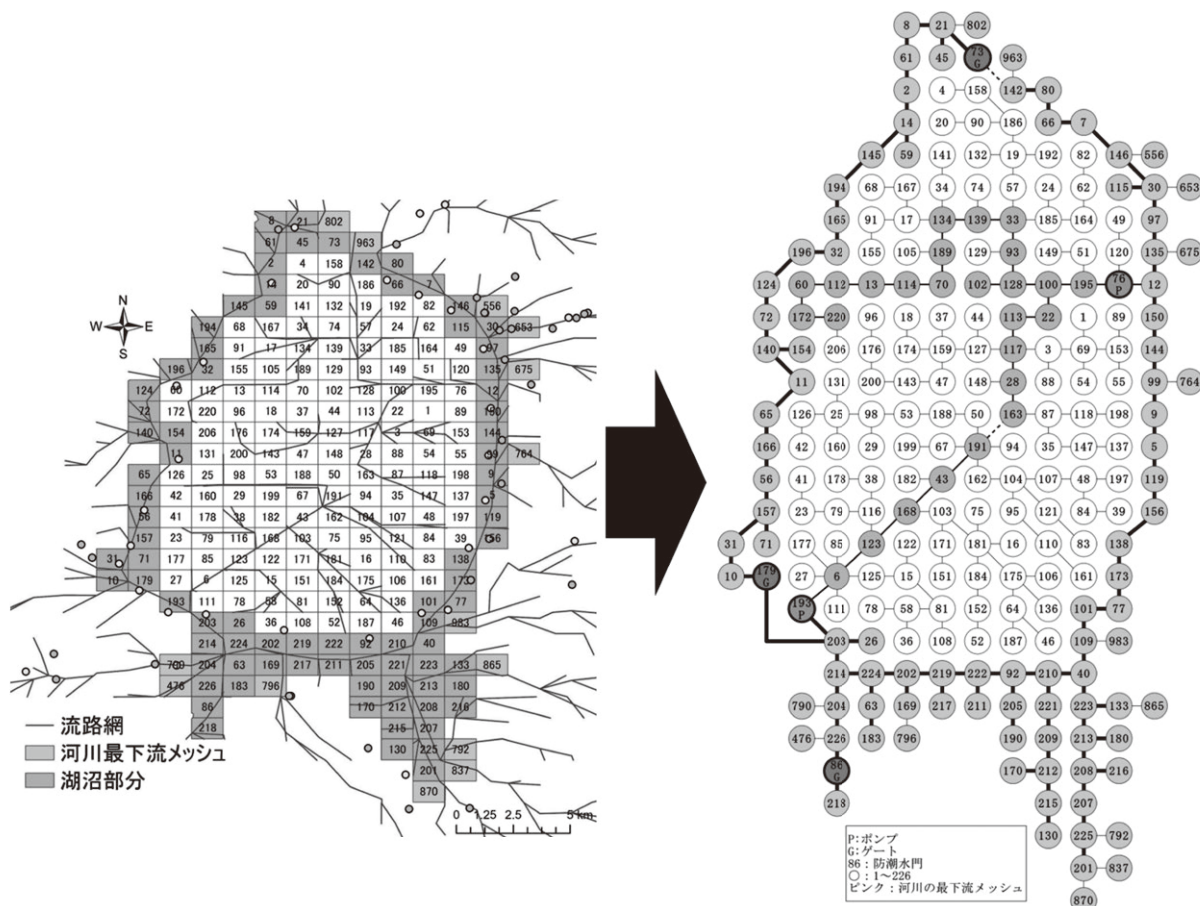


図3 複雑アルゴリズム適用のための再ナンバリング
(左：分布型水循環モデル、右：改良モデル)

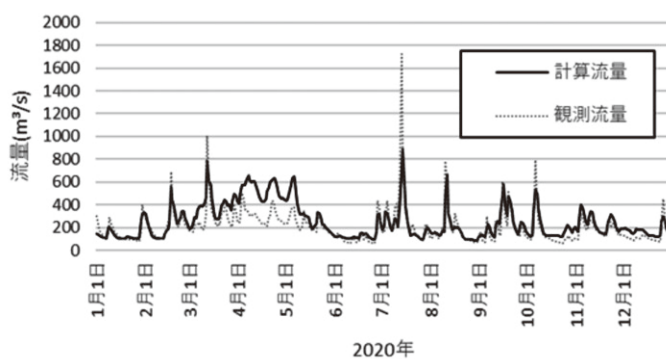


図1 米代川ニツ井地点における計算流量と観測流量の比較結果

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



1. 研究の背景と目的

秋田県の八郎湖流域では、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、普通年でも渇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、渇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、河川ごとの渇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、新たな渇水指標の提案を行った上で、河川流域毎にどの程度の渇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、将来的な渇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、国内外の渇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年毎、月毎、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渇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渇水指標とする。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渇水指標とする。

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渇水が発生し、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おり、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の渇水指標を提案した。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)各地点渇水不足水量、4)ある流域での渇水不足水量、5)ガンマ分布の当てはめ、を利用した段階的渇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)における渇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、農業側の渇水の程度を分布として表現していることになる。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、渇水規模が大きくなれば a 、 b 値が大きくなる(反対に、渇水規模小 $\rightarrow a$ 、 b 小)傾向がある、総じて全河川で渇水になりやすい、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渇水指標を提案した。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ることが分

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渇水指標(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 の大小で渇水規模の推定が可能、③総じて全河川で渇水になり易く馬場目川における発電放流水の役割は渇水指標からも表現可能、等のことが明らかになった。

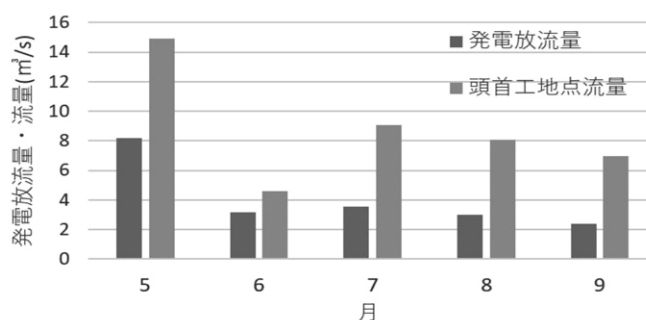


図1 発電放流量と真崎堰頭首工地点流量の比較
(2001～2023年の日平均量)

表1 確率分布を考慮した渇水指標の提案

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、 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、
段階3) $Q_d = \sum_{i=1}^n (Q_{iact}(i) - Q_{gw}(i))$	IE : 灌漑効率、 Q_d : 渇水不足水量
段階4) $Q_{di} = \sum_{i=1}^m Q_d(i) \cdot W$ W は例えば $W=A_i/A$	n : 灌漑期間、 m : 取水地点数、 W : 重み A : 流域面積、 a, b はパラメータ: $a=\mu^2/\sigma^2$ 、 $b=\mu/\sigma^2$ (μ : 平均値、 σ : 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渇水指標の算定結果

流域	段階4 (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”の効果については、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畑地灌漑地区である石垣島土地改良区のサトウキビ畑を対象に、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割以上が畑)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) 従量制導入地区の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
- ・従量制導入地区の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
- ・従量制導入地区の年間使用水量：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 従量制導入地区の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

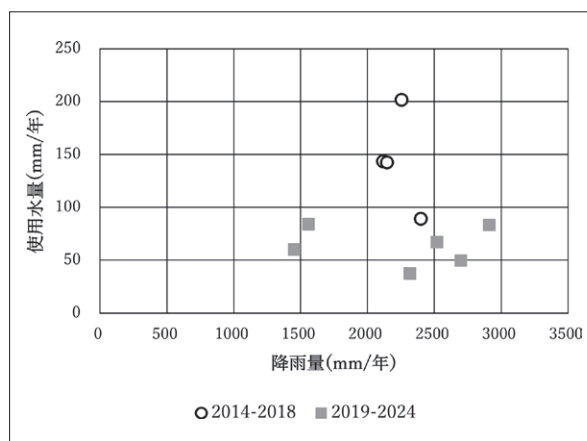


図1 嘉手苅地区の従量制導入農家4人の年間使用水量の平均と年間降雨量

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での比較分析

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。

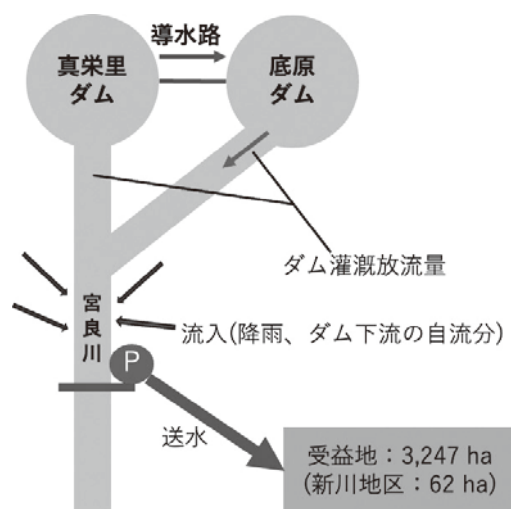


図2 宮良川地区の概念図

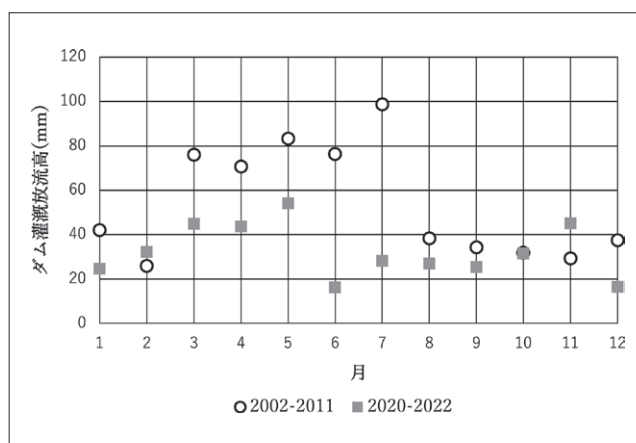


図3 従量制導入前の2002年～2011年と、従量制導入率が約16%の2020年～2022年の月別ダム灌漑放流高の比較

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

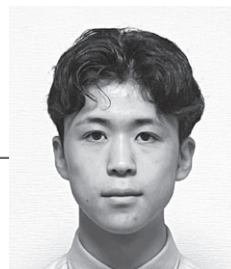
土地改良建設協会様には、2024年度国営事業地区等フィールド調査学生支援事業に採択していただき、関係各所への調査協力要請と旅費のご支援をいただき、誠にありがとうございました。本研究をすすめるにあたって、久貝一文様をはじめとする石垣島農業水利事業所の皆様には、現地で国営事業および現地の営農状況等をご教示いただき、また、現地調査で関係機関との日程行程の調整にご尽力いただきました。石垣島土地改良区の伴根地遊様、上地宏弥様、前津究様、大久勝様、平良俊道様をはじめとする皆様には、石垣島土地改良区の灌漑管理等についてご教示いただき、また、従量制に関する詳細データの提供、受益農家へのインタビューの手配等で、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り、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々ある。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。これを受けて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堀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、二重堀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堀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、

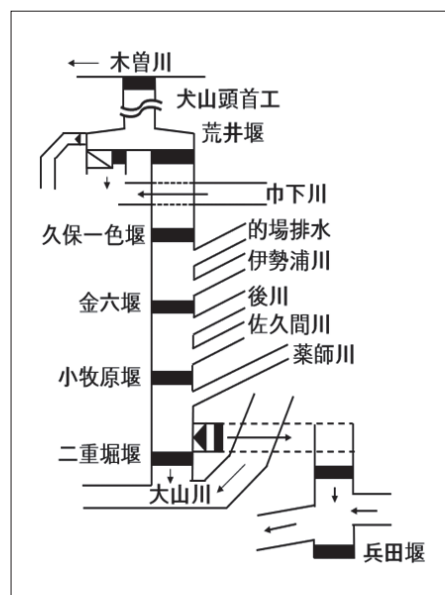


Fig.1 新木津用水の全体像

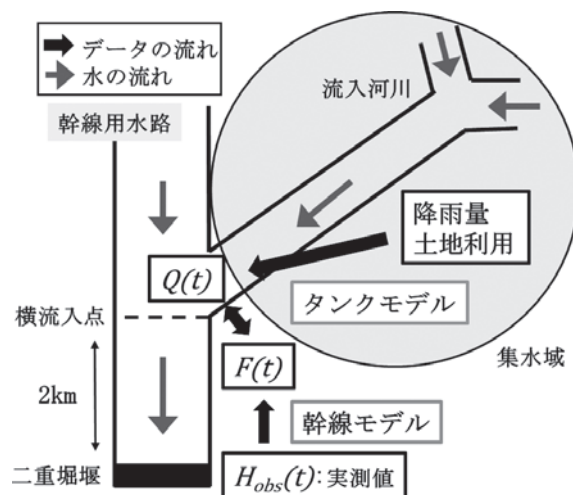


Fig.2 モデル化の全体像

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7.7m³/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 准教授



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。

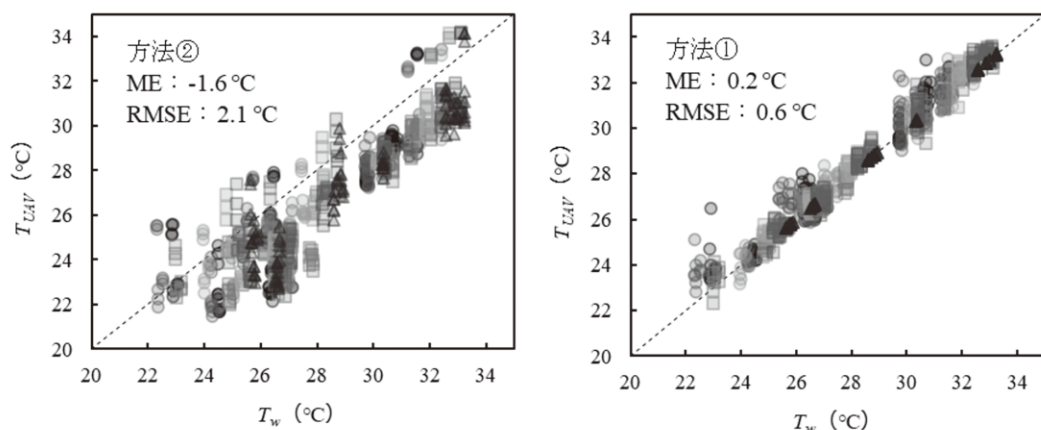


図1 水温計測定値(T_w)とUAV測定値(T_{UAV})の比較

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。

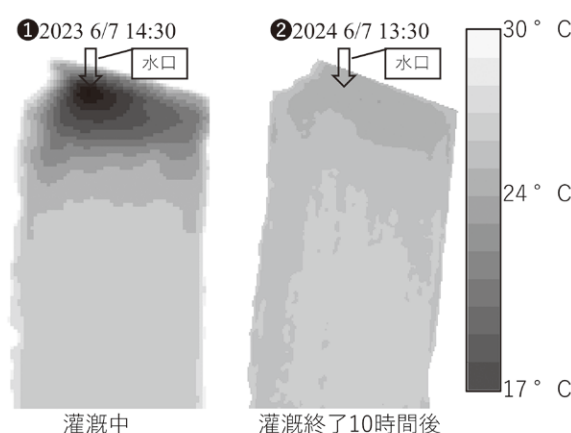


図2 夜間灌漑実施による水田水温分布の変化
(①日中に灌漑, ②夜間灌漑)

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いただきました。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。