

令和5年度

国営事業地区等フィールド調査 学生支援事業

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5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

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 小林 竜也

2 4つの林野・酪農小流域で継続した平水時河川水質の長期変動特性

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 藤原 知紀

3 補強材を施した遮水性機能を伴ったフィルダムの小型振動台模型実験

弘前大学大学院 農学生命科学研究科地域環境工学コース 修士1年 水利造構学研究室 高部 侑汰

4 補強材の敷設位置等を変化させた主動モードでのトラップドア模型実験

弘前大学大学院 農学生命科学研究科地域環境工学コース 修士1年 水利造構学研究室 西村 武

5 トンレサップ湖流域への分布型水循環モデルの適用と灌漑施設計画への応用

秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 地域環境水文学研究室 工藤かあり

6 八郎湖流域における内水氾濫に適応可能な分布型水循環モデルへの改良

秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 地域環境水文学研究室 渡部 雄太

7 塩那台地地区における水文・水環境に関する基礎的研究

宇都宮大学 農学部農業環境工学科水質環境工学研究室 田村 謙貴

8 筑後川下流地区における水利施設保全事業の現状調査

東京大学 農学部 生物・環境工学専修 農地環境工学研究室 梅田 晏

9 印旛沼循環灌漑地区における浸透流入を考慮した水収支と流出過程の分析

東京大学 農学部生物・環境工学専修水利環境工学研究室 岸本 龍人

10 ドローンを用いた水田温度環境および水稻生育測定の有用性

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 生井澤 廉

11 損傷度の異なるコンクリートを対象としたダブルロジスティック解析によるひび割れ進展段階の同定

新潟大学 農学部農学科 施設機能工学研究室 向井 萌華

12 木津用水における都市化と水管理変化

岐阜大学 自然科学技術研究科生物生産環境科学専攻 環境生態科学領域施設環境工学研究室 大塚健太郎

13 三重県御浜町における低価格土壌水分センサーとLPWAを用いた水管理システムの構築

三重大学大学院 生物資源学研究科 共生環境学専攻 水資源工学研究室 加藤沙耶香

14 移流分散現象に及ぼす物理的・化学的不均質性の影響

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 岡部 北斗

15 深層学習による石化岩の間隙率推定

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 寺本 祐大

16 寒冷地におけるけい酸塩系表面含浸材の効果発現の評価

高知大学 農林海洋科学部 農林資源環境科学科 中村愛里紗

1～4の報告は前号(325号)に掲載しました。11～16の報告は次号(327号)以降に掲載します。

トンレサップ湖流域への分布型水循環モデルの適用と 灌漑施設計画への応用

秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 地域環境水文学研究室 **工藤かあり**
(就職先 ヤマナミ麺芸社)
指導教員 増本 隆夫 教授



1. 研究の背景と目的

カンボジアでは人口の約76%が農村地域に居住しており、農業就業人口は総人口の約4割、GDPに占める農業の割合は約2割であり、農業は主要産業の一つに位置付けられている。そのため、水管理は農業生産において重要であるが、常に大きな課題を有している。すなわち、カンボジアでは内戦等の影響で水文気象の基礎的データの観測が皆無に近く、水資源の必要量や灌漑施設容量の決定ができない。また、技術的に十分な検討がなされずに灌漑施設が作られており、多くの施設が有効に機能していない。そこで、本研究ではカンボジアのトンレサップ湖周辺流域を対象に、気候モデルから得られるデータを分布型水循環モデルに入力することで流量を推定し、それらを灌漑施設計画に応用することを目指す。

2. 研究方法

まず、トンレサップ湖流域を含む地域の流路網と流域分割モデルを作成するとともに、分布型水循環モデルに入力するデータの収集・データセットの作成を行う。トンレサップ流域は広域であり、データの収集が困難であるため、その一部であるプルサット川流域(5,970km²)を対象に一連の作業を実施する。次に、観測データが少ない中で唯一独自に観測が行われたプルサット川バクトラコーン地点でのモデル検証を行う。さらに、分布型水循環モデルに気象データ等を入力することで各種諸量(流量等)を推定することを検討する。モデルに入力する気象データは日本気象研究所の高分解能大気モデルで推定されたものを使用する。使用する気象モデル推定によるデータの期間は、過去(1979~2003年)、現在(1979~2003年)、将来(2075~2099年)の3期間、それぞれ25年間分の日単位データである。

3. 結果と考察

プルサット川バクトラコーン地点(図1)の6年間(2005~2011年)観測流量に対する計算値の相対誤差は約42%となり、十分な精度であることが分かった。図2には、その期間のうち、2010年の観測値と計算値の比較例を示しているが、山地における新規観測点の追加により、洪水の予測精度が格段に改善されていることが分かる。次に、ダムナックアンピル頭首工地点における過去、現在、将来の3期間の流量の推定結果を示す(図3)。ここで、過去や現在期間の推定日流量を用いれば、施設規模や利用可能な農業用水量の算定ができることになる。すなわち、これらの値を疑似観測流量として活用することができることになる。さらに、図3の将来予測結果を見る

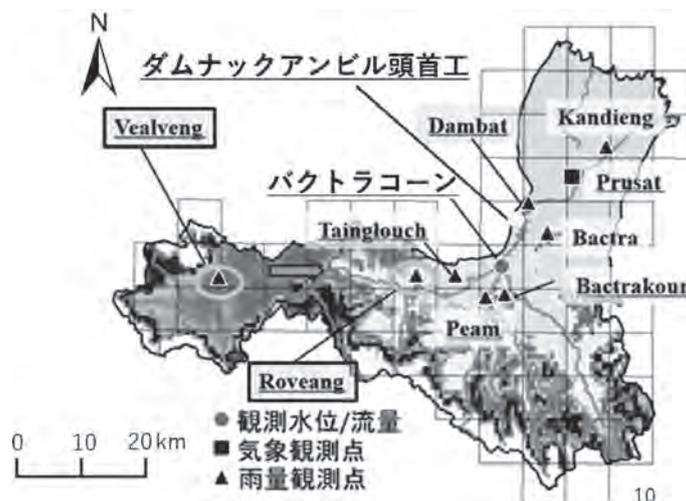


図1 プルサット川流域のメッシュ分割と観測地点

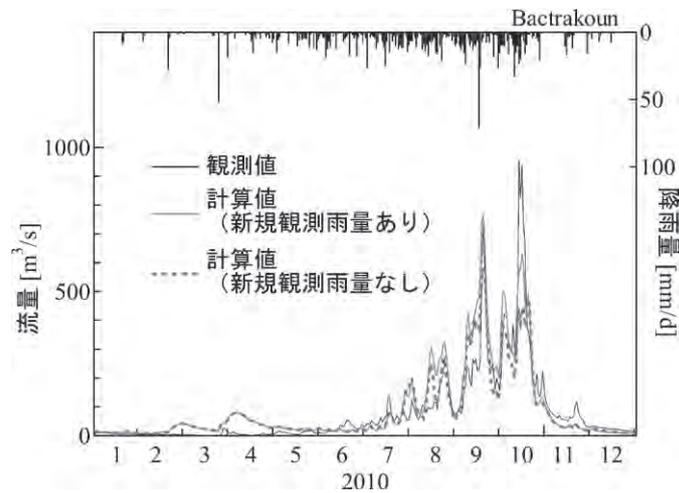


図2 新設した観測点の雨量データの有無による流況の再現性の違い(Bactrakoun地点、2010年)

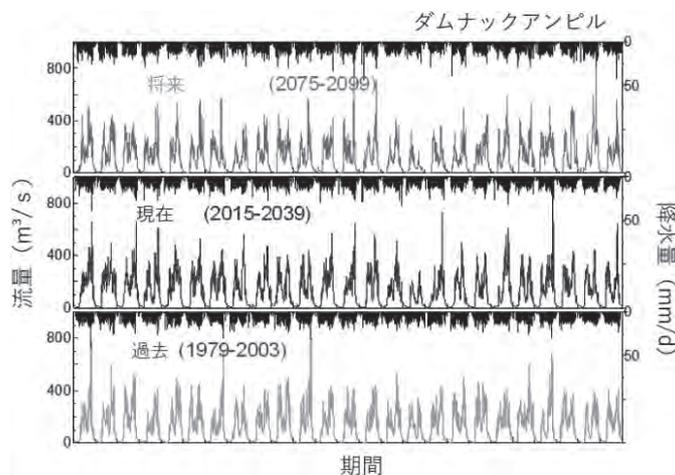


図3 プルサット川流域における3期間、各25年間のシミュレーション結果

と、年による流量の増加や減少が顕著に見られ、洪水や渇水の両極端現象が発生する可能性が高まるとも考えられる。すなわち、気候変動の影響を考慮した施設計画も可能になることを示している。上記のように、基礎的なデータが少ない地域でも分布型水循環モデルを活用することによって実際のデータの代替となる基礎データ整備や提供が可能になることが分かった。カンボジアでは開発援助国・機関の支援により灌漑施設整備が進められているが、各事業の担当技術者の知識・経験と独自の基準に基づいた設計が実施されている。そのため、モデルでの各種データの提示が可能になれば、よりの確な灌漑施設計画の実施につながる。

4. 今後の課題

カンボジアでは、農業農村開発が国家経済の発展にとって非常に重要であり、水田農業が主体で水稻栽培が国の重要な産業である。しかし、灌漑率が低く、大規模な灌漑施設や灌漑地区はごくわずかであり、その灌漑率は3割程度にとどまっている。さらに、農業水利用に関するデータや水文気象などのデータが皆無に近く、独自の灌漑・施設計画は存在しないため、灌漑施設が技術的に十分な検討がなされずに建設されていることが原因で様々な影響が生じている。灌漑施設の改修や設計基準の策定への取り組みが進行している中で、モデルを活用した各種データの提示が可能になれば、よりの確な灌漑施設計画の実施が可能になる。一方で、今回、トンレサップ湖全流域への分布型水循環モデルの適用を試みたが、データの収集、データセットの作成に時間を要し、途中で断念した。今後はトンレサップ湖全流域へのモデルの適用を実施していきたい。

八郎湖流域における内水氾濫に適応可能な 分布型水循環モデルへの改良

秋田県立大学 生物資源科学部 アグリビジネス学科 地域環境水文学研究室 **渡部 雄太**
(就職先 山形県庁)
指導教員 増本 隆夫 教授



1. 研究の背景と目的

八郎湖流域は、低平部の八郎潟が干拓地である性質上、排水機を利用した人工的な排水に頼っていると同時に、残留湖に自然流入する河川付近がバックウォーターの影響を受けている。そのため、短時間強雨によって、排水機や河川の雨水排水能力が追いつかない場合、浸水、氾濫被害の可能性がある。また、モデルの検証が進んでおらず、観測データも不十分である。分布型水循環モデルは、現在農業水利用に広く利用されている一方、氾濫現象には対応できないという課題を持つ。そこで本研究では、まず流域内の独自に観測を行っている三種川新佐渡橋地点における実測値で基本モデルの検証を行う。次に内水氾濫に適応可能な分布型水循環モデルへと改良するための内水氾濫解析手法の検討を行う。

2. 研究方法

まず、秋田県で近年の豪雨災害を抽出し、それぞれの特徴をまとめる。次に、モデルの精度検証に使用する三種川新佐渡橋地点における流量の算定法として、① Manning式による推定方法、② 流量観測による水位-流量曲線(H-Q曲線)を利用する方法、③ 森岳観測所の流量算定値を流域面積比で新佐渡橋地点に補正する方法を導入する。その中から精度の良い方法を選定し、モデルの精度検証を行う。さらに、内水氾濫解析のために、i) 河川最大流量を超える値を越流させる方法、ii) 水路等を含む氾濫域を複数の遊水地で仮定し、個々のH-A-V曲線により簡易に湛水解析モデルを適用する方法、iii) 氾濫域内の個々のメッシュ間で水移動を考える方法を導出しそれぞれ検討する。

3. 結果と考察

近年の豪雨災害は、平成25年8月(米代川氾濫)、平成29年7月(雄物川氾濫)、平成4年8月(県北地域氾濫)、平成5年7月(八郎湖流域氾濫、秋田市浸水)等の豪雨により引き起こされた。平成4年8月は線状降水帯の発生、平成5年7月は過去最大の農業被害となったことが特徴だと分かった。

まず、後者2件の豪雨期間も含んだ独自の水位・流量観測(2021年4月~2024年3月)を行っている新佐渡橋地点での流量算出において、Manning式による推定方法では流量の増減があまり見られなかった。また、同地点での流量観測によるH-Q曲線を利用する方法では流量の波形は良好だったものの、一部流量の過大算出につながった。一方、森岳観測所での推定値からの補正方法では、最大流量や波形の推定が良好で、これを観測流量としてモデルの精度検証を行った。モデルの精度検証は2020年~2023年の期間で、図1の流量比較(2022年)では波形は合致しているものの、洪水、冬季融雪の際に両者の差がある。冬季の雨雪判定の違いにより、実際には降雨とし

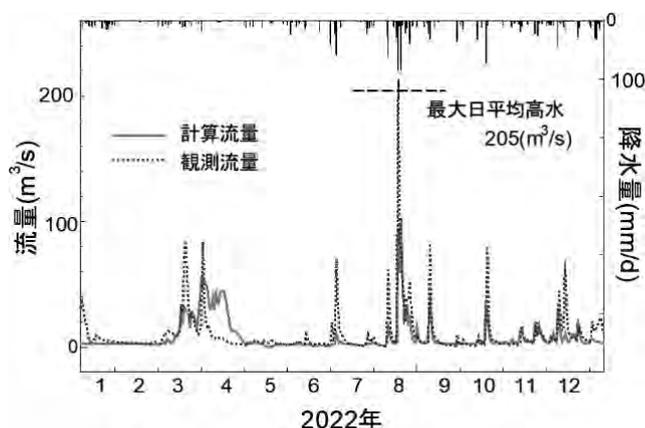
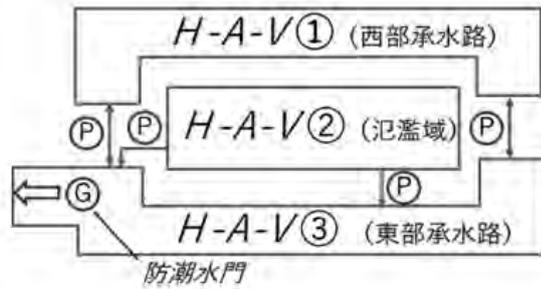
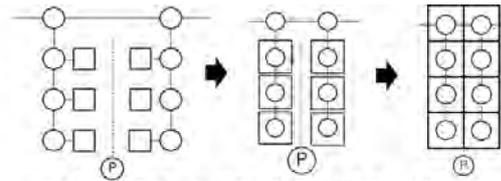


図1 新佐渡橋地点での計算流量と観測流量の比較結果



(1) 簡易な内水氾濫解析法



(a) 実際の圃場 (b) 排水路位置の変更 (c) 分布型モデル

○：河道部（幹線・支線排水路） □：水田部 □：メッシュ P：用水ポンプ

(2) 湛水解析の考えを導入した水田

図2 内水氾濫解析導入のための方法

での入力量が積雪と判断され春先の融雪量の増大に繋がったものと考えられる。また、低水部分の再現性は良いが洪水の推定値が小さく見積もられているのは、山地における降水量の推定が過小になっていることが原因かもしれない。

次に、内水氾濫解析手法の導入では、i)の方法では、三種川の流量観測を行っている新佐渡橋地点の最大日平均高水を $205\text{m}^3/\text{s}$ と設定したが、計算上は値を超えず氾濫は発生しなかった(図1)。ii)の方法では、八郎湖流域の下流部を3つの遊水地に区分し、個々のH-A-V曲線の作成を行った。これらの曲線を用いて湛水解析モデルを適用することで、簡易に内水氾濫解析を行った(図2(1))。iii)の方法では、水田や排水路が連結されているとして、一連の現象は堰の式や連続式、運動方程式による湛水解析モデルとして表せる。そこで図2(2)のように水田分割を行った結果、分布型水循環モデルで作成した流路網と一致させて低平水田域を扱うことができた。図3は、分布型水循環モデルにおける低平部分を取り出して新たに氾濫解析のためのナンバリングを行ったものである。当面は低平氾濫域と湖周辺の周辺河川域を分けて、上流からの計算流入量を同図のピンクで示した節点を境界条件に氾濫計算を行っている。

4. 今後の課題

本研究では、ヒアリング調査から秋田県における過去の豪雨被害の状況や課題を把握できた。また、三種川の新佐渡橋地点における流量算出から、モデルの精度検証を行うことができた。低水流況の再現性は良好な一方で、洪水、冬季融雪の再現性には問題もあった。この原因としては、観測流量自体の精度が悪いことも挙げられる。断面積や水位、流速といった観測の更なる精度向上を図り、その観測を基にした独自の水位-流量曲線を作成や流量算出が必要である。また、内水氾濫解析手法の検討にあたっては、最後愛知案の内水氾濫解析手法で計算結果を得るまでには至らなかった。そのため、実際の氾濫現象への適用と更なるモデル改良が今後の課題である。

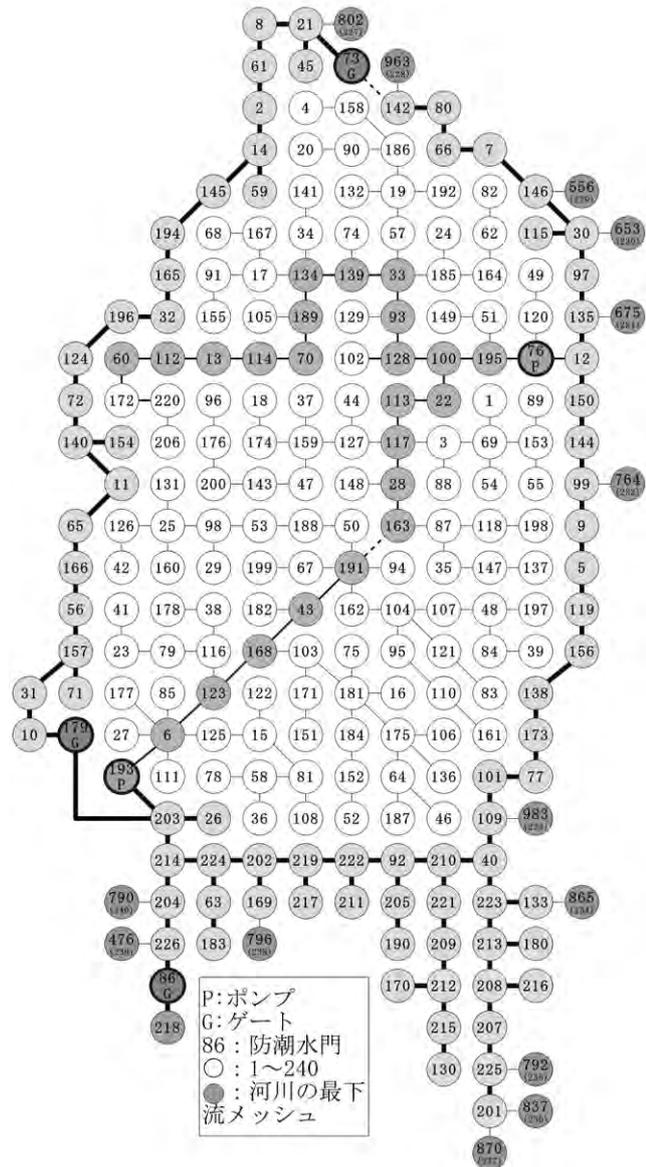


図3 複雑アルゴリズムを適用するための流域モデルのナンバリング

塩那台地地区における水文・水環境に関する基礎的研究

宇都宮大学 農学部農業環境工学科水質環境工学研究室 田村 謙貴
(進学先 宇都宮大学大学院)
指導教員 松井 宏之 教授



1. 背景と目的

塩那台地地区は那珂川と那珂川の支流である箒川に沿い、栃木県大田原市、さくら市、那珂川町、那須烏山市にまたがっている。本地区は谷地地形であり、谷は水田、台地は畑地が多い地区となっている。計画上の受益面積が1493haであり、うち水田911ha、畑地580haとなっている。昭和49年～平成9年に国営農地開発事業が実施され、完成後30年余りが経過し、農業水利施設の老朽化が進み、将来改修されることが予想される。そのため、将来の営農を考えていく必要がある。現在、本地区では高齢化を伴う人口減少によって、農業の担い手が減少している。近い将来の農業振興を考えると、地理的に水田の大規模化は望めないことから、現在の水田中心の農業ではなく、高収益化が見込める畑作への転換が有効な策として考えられる。濱ら(2011)は、水田地区で転作が実施されると非灌漑期にも灌漑期と同等以上の窒素・リンの排出負荷が生じることを示しており、水文・水環境は変化していくことが予想される。しかしながら、本地区の水文・水環境の基礎データは限定的であり、環境負荷の少ない営農形態のあり方を検討することが難しい。そこで本研究では、塩那台地地区の水文・水環境の基礎データを得て、本地区の特徴を明らかにすることとした。

2. 研究方法

【観測地点】塩那台地地区の地図をFig.1に示す。岩川を対象とし、岩川本川に地点1～5、支川に地点6、7および8、9、地点3の下流に位置するゴルフ場からの排水が流入する小河川末端に地点10、元ゴルフ場の太陽光発電施設下流に地点11、地点1の北東約4.5kmに位置し、地区の補給水源となっている箒川の西の原頭首工の上流に地点12を設けた。

【流量・水質測定】灌漑期および非灌漑期(6月～11月の各月1回)に、水温、pH、EC、流量を現地で測定するとともに、設定した地点で採水を行った。採水したサンプルは、大学に持ち帰り、イオンクロマトグラフィー法により、陰イオン(F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-})を測定した。

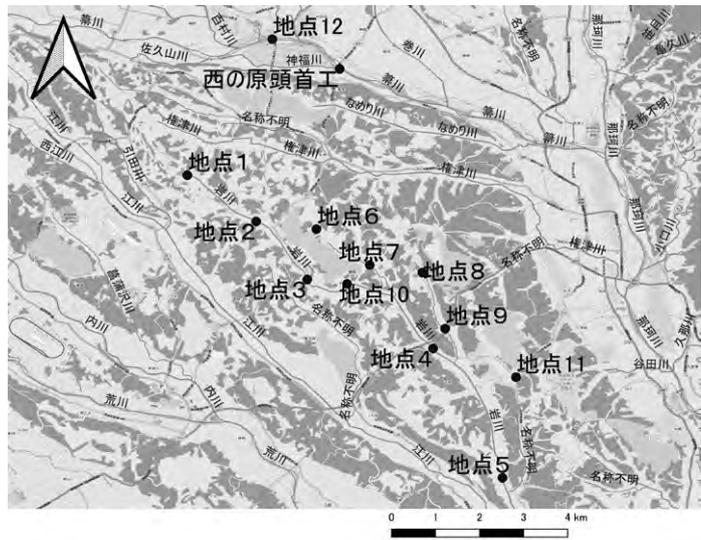


Fig.1 塩那台地地区の地図

3. 結果と考察

【流量】流量の結果をFig.2に示す。岩川本川では、7月以外は概ね月を重ねるごとに流量が減少傾向にあることが確認できる。7月の末端(地点5)の流量が9月よりも少ない理由としては、7月は灌漑期であるため、河川から農業用水の取水が行われていたのに対し、9月は非灌漑期であるものの、水田下に蓄えられていた地中水および地下水が流出していたためと考えられる。

【EC】ECの測定結果をFig.3に示す。ゴルフ場排水が流入する小河川の地点10のECが大きく、特に9月～11月で顕著であることが確認できる。地点3と比べて地点4

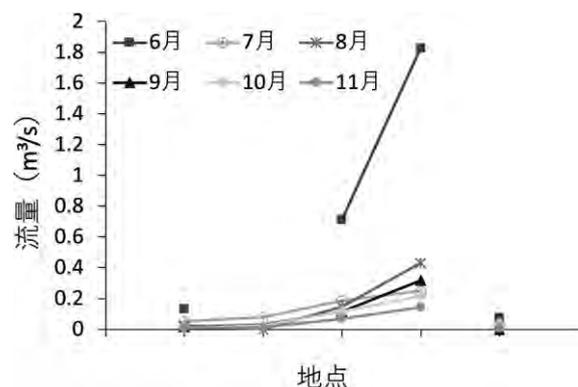


Fig.2 岩川本川と地点10の流量

のECが上昇傾向にあることから、地点10を設定した小河川が岩川本川の水質に影響をあたえていることが確認できた。

【塩化物イオン】塩化物イオンの測定結果をFig.4に示す。8～11月は地点10の合流後である地点4の濃度で上昇が見られ、負荷量も地点10が他地点と比べて高い。このことから、岩川流域の塩化物イオン濃度およびその負荷量は地点10の影響を強く受けていることが確認できた。なお、7月における地点4での急激な濃度や負荷量の上昇については、地点10の濃度や負荷量は高くないことから、一時的に近隣住宅の浄化槽からの放流水が影響したものと考えられる。

【硝酸態窒素】硝酸態窒素イオンの測定結果をFig.5に示す。硝酸態窒素イオンは、8月の全地点、調査期間を通して地点10からは検出されなかった。7月は非灌漑期と比較すると濃度、負荷量ともに低い傾向がある。灌漑期に硝酸態窒素イオン濃度およびその負荷量が低いのは、水田における窒素浄化機能が発揮されたものと考えられる。一方、非灌漑期には濃度、負荷量ともに灌漑期より上昇する傾向はあるものの、その濃度は1mg/L未満であり、非灌漑期を通して、1mg/Lを超過することはないことが予想される。

【リン酸イオン】リン酸は全ての月、地点を通して検出されなかった。

【硫酸イオン】硫酸イオンの分析結果をFig.6に示す。7月や8月に濃度、負荷量ともに比較的高い傾向にあることがわかる。これは上流に温泉地のある箒川からの取水のためと考えられる。参考までに、11月の箒川(地点12)の硫酸イオン濃度は23.1mg/Lであり、灌漑期も一定の濃度になっていることが推測される。非灌漑期の負荷量が徐々に減少し、11月には低い濃度となっていることから、非灌漑期が進むにつれ、岩川の硫酸イオンは減少することが予想される。つまり、灌漑期に増加する硫酸イオンは、箒川から取水された補給水を起源としているものと考えられる。このことは、岩川においては硫酸イオンを用いて、自流域起源の流出水と補給水起源の流出水の割合を検討・分析できる可能性があることを示している。

4. 結論と今後の課題

岩川流域の特徴として、全体的に清浄な水質を保っていることが確認できた。また、地点10がある小河川からの塩化物イオンの排出が多く、非灌漑期にはその影響が大きいことがわかった。また、箒川からの取水により、硫酸イオンが多く流入しており、箒川起源の水の割合を押し量るトレーサーになる可能性があることがわかった。今後の課題としては、陰イオン以外の水質測定、灌漑期初期から調査の開始により、より多くの項目、期間で評価していくことが挙げられる。

引用文献

濱武英, 青木文, 大菅勝之, 中村公人, 杉山翔, 川島茂人(2011): 転作が実施される水田地区の窒素・リン排出負荷の特徴, 農業農村工学会論文集第274号, pp.27~33

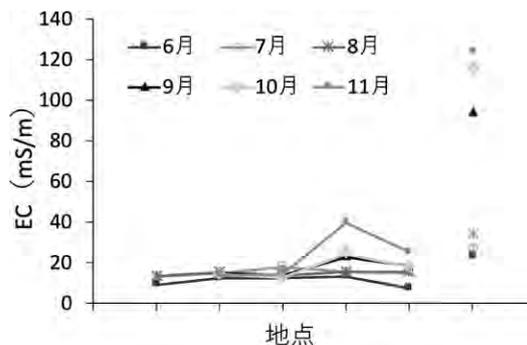


Fig.3 岩川本川と地点10のECの値

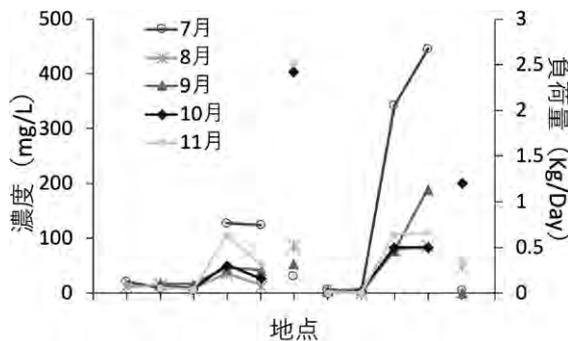


Fig.4 岩川本川と地点10の塩化物イオン濃度・負荷量

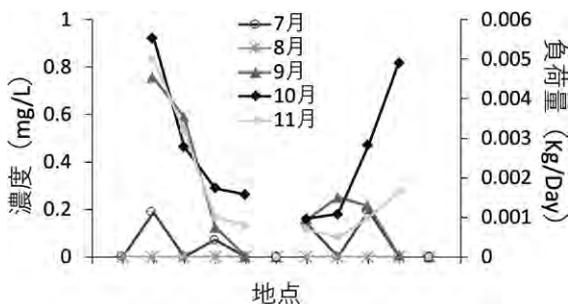


Fig.5 岩川本川と地点10の硝酸態窒素濃度・負荷量

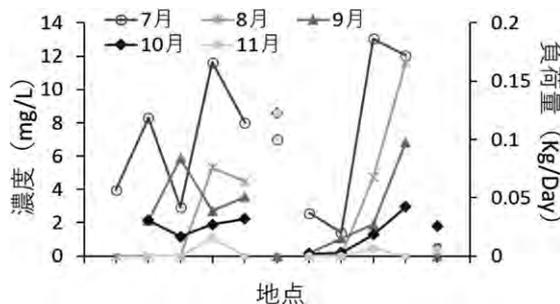


Fig.6 岩川本川と地点10の硫酸イオン濃度・負荷量

筑後川下流地区における水利施設保全事業の現状調査

東京大学 農学部 生物・環境工学専修 農地環境工学研究室 梅田 晏
 (進学先 東京大学大学院)
 指導教員 吉田修一郎 教授



筑後川下流福岡地区では、昭和51年から平成21年にかけて実施された「国営筑後川下流土地改良事業」の一環として、大規模な用排水系統の再編が行われ、それに伴い、用排水路、排水水門等の基幹的な農業水利施設の造成が行われた。これらの水利施設は、現在、経年的な劣化により、性能低下が生じており、今後、更なる性能低下の進行により、農業用水の安定供給および排水機能に支障をきたすとともに、維持管理に多大な費用と労力を要することとなる。そのため、本地区では平成29年度から新たに「国営施設機能保全事業」が開始し、農業水利施設の改修が行われている。今回、それらの改修が行われた施設の視察を行った。

まず、制水門の視察を行った。制水門ではゲートの開度を変化させることにより、幹線水路(用排兼用)の水位の調整により、農地と交換される用排水量の管理が行われる。以下に視察を行った制水門設備の概要と整備の概要を列挙する。

下久末線永田制水門 設備概要は次の通りである。

構造及び規格

鋼製二段スライドゲート(純径間 2.00m×有効高 3.50m 6門)

旧施設完成年

昭和43年(1968年) 55年経過

また、整備概要は次の通りである。

整備完了年月

令和5年(2023年) 6月30日

整備内容

扉体：水密ゴム交換、吊り金具付替え

戸当：更新

開閉装置：更新

付帯設備：操作架台更新

電気設備：機側操作盤更新、引込開閉器盤更新



昭代2号線九網下流制水門 設備概要は次の通りである。

構造及び規格

二段扉：ローラゲート(フランジ幅 5.7m 腹板高 3.0m) 1門

単扉：ローラゲート(フランジ幅 5.7m 腹板高 3.0m) 1門

完成年月

平成17年(2005年)3月 (18年経過)

整備概要は次の通りである。

整備完了年月

令和5年(2023年)3月

整備内容

開閉装置：点検、整備



昭代2号線九網上流制水門 設備概要は次の通りである。

構造及び規格

二段扉：ローラゲート(フランジ幅 5.7m 腹板高 3.0m) 1門

単扉：ローラゲート(フランジ幅 5.7m 腹板高 3.0m) 1門

完成年月

平成18年(2006年)3月 (17年経過)

整備概要は次の通りである。

整備完了年月

令和4年(2022年)6月

整備内容

扉体：水密ゴム交換、塗装塗替

開閉装置：分解整備、塗装塗替、エンジン操作盤設置



制水門においては、経年劣化により、扉体母材の腐食や板厚の減少、ローラの作動不良や開閉装置の発錆、オイル漏れなどによりゲート操作が困難となり、農業用水の安定供給および排水機能への支障が懸念された。上に示した施設において行われた扉体や開閉装置の整備により、これらの懸念が解消され、施設の長寿命化が達成できたといえる。また、ゲート操作盤の設置や更新により、水位やゲート開度の観測が容易に行えるようになり、より精密な用排水の管理が行えるようになったといえる。

次に昭代4号線排水機場の視察を行った。

当排水機場では排水ポンプによって幹線水路から筑後川への排水が行われる。以下に排水ポンプの設備概要を示す。

ポンプ仕様

口径：φ1000

形式：横軸斜流ポンプ 2台

排水量：2.5m³/s/台

駆動エンジン仕様

143kwディーゼルエンジン 2台

完成年月日

平成14年(2002年)1月 (20年経過)

令和2～3年度にかけて、排水ポンプおよびポンプに接続された電気設備等の点検・整備及び更新が行われた。具体的な整備内容は以下の通りである。

点検・整備箇所：横軸斜流ポンプ及びディーゼル機関など

更新箇所：真空ポンプ、燃料ポンプ、電気設備、非常用発電装置など

これらの機能保全対策により、ポンプ設備の操作が困難となり、適切な排水管理ができなくなるような懸念が解消されたといえる。



最後に、岩上線分水工の視察を行った。岩上線分水工は、矢部川左岸導水路から下久末線へと分水を行う地中の管路であり、「国営施設機能保全事業」では、この管路の更生が行われた。管路の更生には鞘管工法(鋼管パイプインパイプ工法)や反転工法(インシチュフォーム工法)といった、既設の管の内部に新しい管路を構築する手法が使用され、これにより管材のひび割れやたわみが改善された。これらの機能保全対策によって、漏水等により適切な用水管理が行えなくなる懸念が解消されたといえる。

筑後川下流福岡地区における「国営施設機能保全事業」では、農業水利施設の長寿命化や農用水の安定確保、維持管理費の節減及び農業生産性の維持を目的として、老朽化した農業水利施設の機能保全対策が実施されていた。さらに、これらの機能保全対策の実施により、

- ①農業用水の安定確保による農業経営が維持される効果
- ②排水施設の補修により、湛水被害軽減が維持される効果
- ③管路の漏水防止による人命や財産が保護される効果が期待されている。

印旛沼循環灌漑地区における浸透流入を考慮した水収支と流出過程の分析

東京大学 農学部生物・環境工学専修水利環境工学研究室 岸本 龍人
(就職先 イオンリテール株式会社)
指導教員 高木 強治 教授



1. 背景・目的

千葉県印旛沼は農業用水の供給源として重要視され、循環灌漑はその効率的な利用を目指す取り組みの一環として導入された。循環灌漑とは、従来そのまま沼へ流されていた水田からの排水を、再び用水として水田に戻し、有効活用する灌漑法である。これにより、灌漑水の再利用率が高まり、用水の有効活用が促進されている。

しかし、目的のひとつである沼の水質向上については、期待された効果が得られていない。令和4年度の北印旛沼の窒素濃度は約1.7(mg/L)であるが(千葉県、2024)、大田(2023)によると、北印旛沼においては灌漑期に窒素濃度2.01(mg/L)と沼より高濃度の水が循環灌漑地区から排出されており、北印旛沼の窒素濃度上昇に影響を与えている。

そこで、排水量を減らすことが印旛沼の水質改善に有効であるのではないかと考えた。循環灌漑地区において、印旛沼への排水は、低地排水路から行われている。したがって、流域から低地排水路への流出量を減らすことが、排水量の削減につながる。そのためにはまず、流域からどのように水が低地排水路に流出しているかを明らかにする必要がある。本研究では、白山甚兵衛機場掛かり地区を対象に、流域全体の水収支を明らかにすることと、流出量を予測するモデルを作り、流出実態を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

(1) 流出量の算出

まず、流域全体について、年間の水収支を明らかにする。年間の水収支は、降水量+印旛沼からの取水量+印旛沼からの浸透量=地区外への用水量+印旛沼への排水量+蒸発散量となっている。このうち、降水と用水については、機場の記録を用いる。また、蒸発散については、マッキング式により推定する。これにより、浸透量を求めることができる。

つぎに、低地排水路について、1日ごとの水収支を明らかにする。低地排水路の水収支は、印旛沼からの浸透量+流域から低地排水路への流出=低地排水路からの取水量+印旛沼への排水量である。このうち、取水、排水については機場の記録を用い、浸透については年間の水収支から求めたものを使う。これにより、1日ごとに流域から低地排水路への流出量を求めることができる。

(2) 流出モデルの作成

流出モデルを作るにあたって、角屋・永井(1988)によって提案された長短期流出両用モデルを参考にする。当該地区では、降水、蒸発散に加え、用水と低地排水路からの浸透も考慮に入れる必要がある。そこで、用水について、水田とそれ以外の土地利用でモデルを分け、水田にのみ入るようにする。低地排水路からの浸透について、図1に示すように、低地排水路の水位を S_5 として入力することで表現する。本モデルでは、低地排水路の水位と流域の地下水位を模している最下段タンクとの水位差によって地下水の動きが決まる。

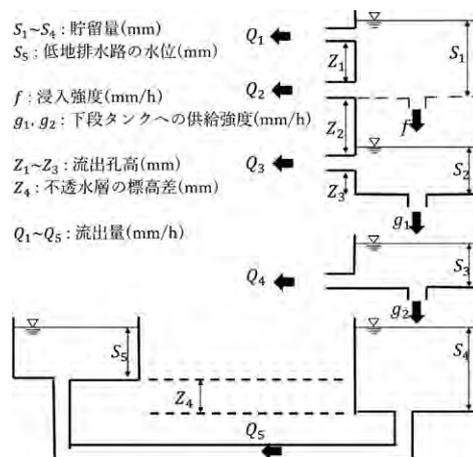


図1 流出モデルの構造

3. 結果と考察

(1) 流域の水収支と日別流出量の評価

年間の水収支は表1のようになった。玉川(2020)によって求められていた浸透量は年間1898000m³であり、大きく異なる結果になった。この理由について、既往研究では、低地排水路の水収支を考えた式
貯留量変化=流域から低地排水路への流出量+印旛沼からの浸透量-印旛沼への排水量-低地排水路からの取水量
において、流出量を0として浸透量を求めていたことが原因と考えられる。

日別流出量は、図2のようになった。非灌漑期にしばらく降雨がない日は、流出量が負の値になっていることがわかる。これは、低地排水路から流域へ地下水が浸透しているからだと考えられる。

(2) 流出モデルによる計算

流出モデルのパラメータ同定には、2021年度のデータを用いた。試行錯誤の結果、図3のように計算値を水収支から得た推定値に近づけることに成功した。このとき、Nash-Sutcliffe係数は0.85を示した。2020年度と2022年度で検証した結果、Nash-Sutcliffe係数はそれぞれ0.77、0.69となり、十分1に近いので、概ね再現できていると考えられる。

水田モデルについて、低地排水路の水位と流域地下水位の関係は図4になった。非灌漑期に、低地排水路の水位が流域地下水位を上回っていることがわかる。したがって、本モデルは低地排水路から流域への地下浸透を再現できていると考えられる。

4. まとめと今後の課題

本研究により、白山甚兵衛機場掛かり地区における水収支が明らかになった。その結果、印旛沼から流域への浸透量と、流域から低地排水路への日別流出量が求められた。その過程で、低地排水路から流域へ地下浸透が起きている可能性が示された。

当該地区の流出を再現するモデルを作成した。対象流域を水田と水田以外に分け、計算値は実測値を概ね再現できた。また、低地排水路タンクを導入することで、低地排水路から流域への地下浸透を再現することができた。

今後の課題として、作成したモデルの地下水の行き来が実態にどの程度合っているか不明である点が挙げられる。これを調べるには実際に地下水位を調査する必要がある。

謝辞

本研究は、一般社団法人土地改良建設協会「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、本研究の実施にあたっては、印旛沼二期農業水利事業所、印旛沼土地改良区の皆様に、多大なご助言ご協力をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 千葉県(参照 2024.3.13): 公共用水域地点別水質測定結果データベース、オンライン、入手先https://www.pref.chiba.lg.jp/suiho/kasentou/koukyouyousui/data/data_1.html
- 角屋陸、永井明博(1988): 長短期流出両用モデルの開発改良研究、農業土木学会論文集136、pp.71-78
- 大田脩斗(2023): 循環灌漑による北印旛沼の水質改善効果に関する検討、2022年度東京大学修士論文
- 玉川怜史(2020): 印旛沼循環灌漑地区の排水系での水および溶存物質の動態解析、2019年度東京大学卒業論文

表1 年間の水収支

	2020年度	2021年度	2022年度
降水量(m ³)	9240550	10296160	7582640
用水量(m ³)	4481805	5291171	5482382
排水量(m ³)	6043050	7460100	5286150
印旛沼からの取水量(m ³)	6457110	8633510	8439780
低地排水路からの取水量(m ³)	6855570	7083300	7845000
蒸発散量(m ³)	5203584	5348172	5435011
浸透量(m ³)	4379849	4304241	5501139
流出量(m ³)	8518771	10239159	7630011

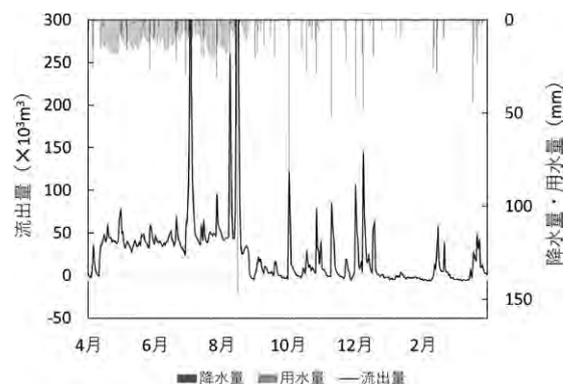


図2 日別流出量(2021年度)

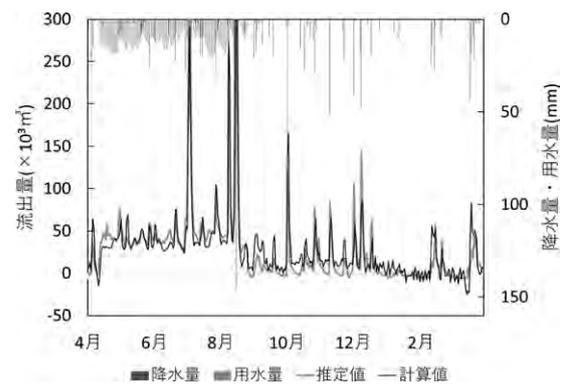


図3 2021年度 流出計算結果

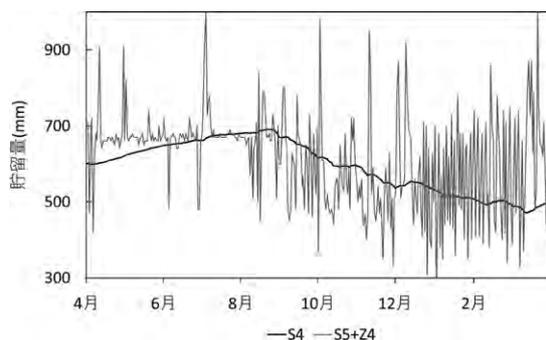


図4 2021年度S₄とS₅+Z₄の比較

ドローンを用いた水田温度環境および水稻生育測定の有用性

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

生井澤 廉

(就職先 東海農政局)

指導教員 串田 圭司 教授、宮坂 加理 助教



1. 背景

近年、水田の温度環境を制御することで、稲の収量や品質を向上させる取り組みが注目されており、水田環境や稲の生育測定が重要となっている。これまで、水田の温度分布測定は、水田内に水温計を複数設置することで、また稲体高さ分布の測定は、定期的に水田内に立ち入り稲の高さを実測してきた。しかし、これらのデータは点測定でしかなく、面的な分布は得られなかった。そこで、ドローンを取り入れることで、水田の面的な水温分布および稲体高さ分布の測定を行い、既存の方法による測定値と比較を行い、ドローン測定の有用性の検討を行った。

2. 方法

対象地域は神奈川県藤沢市の水田(以下、藤沢水田)と福島県会津郡会津町にある水田(以下、福島水田)である。

現地では従来の水田水温および生育調査として、水温計による水温測定、メジャーによる稲体高さ測定、稲の品質・収量測定、水位測定、気象データの測定を行った。

水温計は藤沢水田にF1～F5の5地点(図1)、福島水田にA0～A10の11地点(図2)設置し、それぞれ6～9月、5～9月の間30分間隔で測定を行った。

稲体高さは藤沢水田でのみ9月30日の刈取直前に水温計設置付近の5株を無作為に選び稲穂および葉の地表面高さをメジャーで測定した。

ドローン測定では、表面温度測定には、Parrot ANAFI Thermalのサーマルカメラを、稲体高さ分布測定には、Parrot ANAFI Thermal、DJI Mavic 3Mの光学カメラを用いた。

稲体高さのメジャーによる測定およびドローン測定は、藤沢水田では5月16日、6月19日、7月19日、8月25日、9月14、30日に、福島水田では5月24、25日、6月6～8日、7月5～9日、27～29日、9月17日に行った。

撮影後、写真測量ソフトウェアPix4Dmapperを用いて解析を行い、表面温度画像、地表面高さ分布画像を作成した。ArcGIS Proを用いて、水温計設置付近の1平方メートルを切りぬき、各地点の水温の平均値と地表面高さの最高値を算出した。

稲体高さは、5月16日の田植え前の地表面高さを基準面とし、田植え後の地表面高さとの差分を算出し、稲体高さとした。

ドローンにより測定した、水温計設置付近の表面温度および稲体高さと従来の方法で測定した水温計と稲体高さの実測値とを比較し有用性の検証を行った。

3. 結果と考察

3.1 稲体高さの検証

藤沢圃場のF1～F4において、9月30日にドローンで測定した稲体高さの最高値は、同じ日に地点毎に5回実測した平均稲穂高さと比較すると0～5cmの誤差であり、平均葉の高さと比

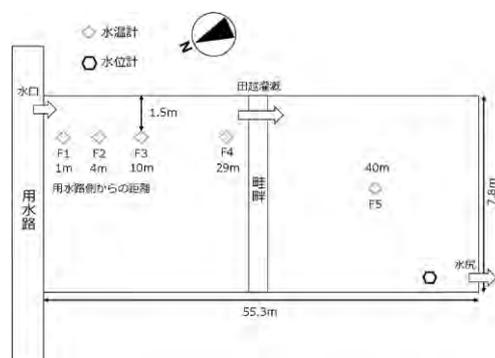


図1 藤沢水田概略図

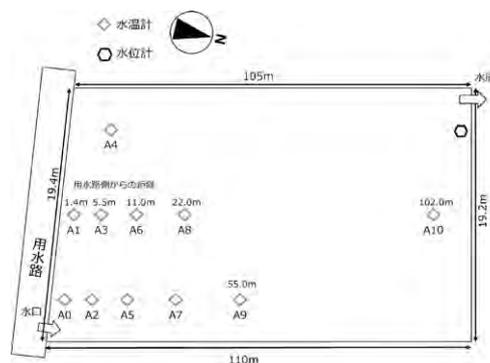


図2 福島水田概略図

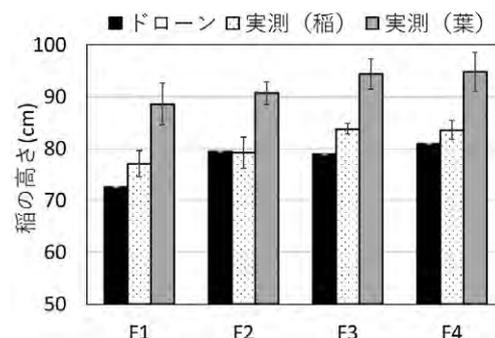


図3 藤沢水田における9月30日の地点毎のドローンによる稲体高さ推定値および実測値

較すると11~16cm過小評価であった(図3)。ドローンで測定した地表面高さでは、葉の先端は測定できないものの、稲穂は5cm程の誤差で測定できることがわかった。

ドローンで測定したF1~F4までの稲体高さの平均値は、6月19日に25.6cm、7月19日に77.5cm、8月25日に82.9cm、9月14日に82.6cm、9月30日に78.0cmと、6月から7月までは草丈が高くなる変化をとらえ、8月下旬から9月下旬にかけて、穂先が下がり高さがやや低くなる様子も測定できていた(図4)。

3.2 サーマル画像の温度検証

湛水・灌漑ありの6月19日15時半における藤沢水田、およびおよび7月6日16時半における福島水田にてドローンで測定した水田の温度分布と水温計の温度分布をそれぞれ図5、6に示す。どちらもドローン測定と水温計の温度差はほとんどの地点で1.0℃以内で、ドローン測定で精度高く水田の水温が測定できており、ドローンにより面的な水温分布の測定が可能であることを示した。

一方で、湛水・灌漑ありの8月25日11時半における藤沢水田、および7月28日17時半における福島水田にてドローンで測定した水田の温度分布と水温計の温度分布をそれぞれ図7、8に示す。どちらもドローン測定と水温計の結果が大きく異なっていた。これは、稲が生長し水面を覆ったため、サーマルドローン測定では水田の水温分布が測定できず、稲穂の温度分布を測定していたためだと考えられる。

以上から、7月中旬まではドローンにより水田の水温分布が面的に測定可能なこと、7月中旬以降は水田の稲穂の温度分布が測定可能なことを示した。

3.3 今後の展望

冷害や高温障害を受ける時期は生育前半であるため、水温の影響を強く受ける時期に関してはドローンにより水温の測定が可能であることを示した。

しかし、稲が生長し水面を覆うようになる7月中旬以降ではドローンによる測定温度は水温だけではなく稲穂の温度の影響も大きいことがわかった。水面と稲穂を画像解析により分離することで、ドローンにより稲穂と水面の温度分布が測定できると考えられる。

謝辞

本研究の実施にあたり、対象農家の方々、日本大学生物資源科学部の笹田勝寛准教授には現地調査の許可をいただきました。共同研究者である東京大学大学院農学生命科学研究科西田和弘准教授、同大学院1年白石和也さんには多大なご協力をいただきました。関東農政局利根川水系調査管理事務所において、関東地域の灌漑方法、水路の状況などの概要をご説明いただきました。ここに記して、謝意を表します。

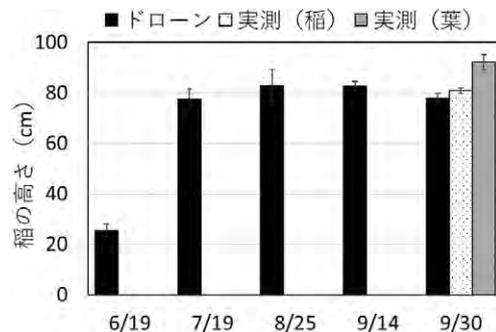


図4 藤沢水田におけるドローンによる稲体高さ推定値および実測値

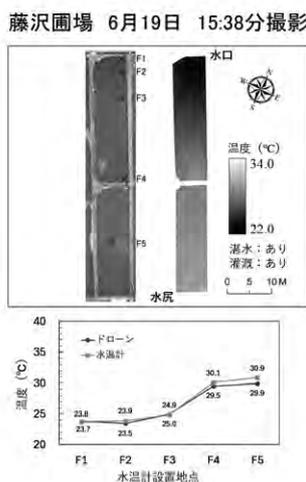


図5 藤沢水田における6月19日ドローンによる水温分布および水温計による水温分布

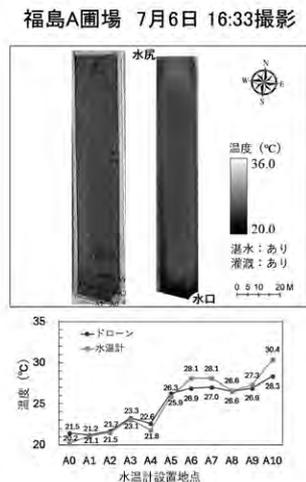


図6 福島水田における7月6日ドローンによる水温分布および水温計による水温分布

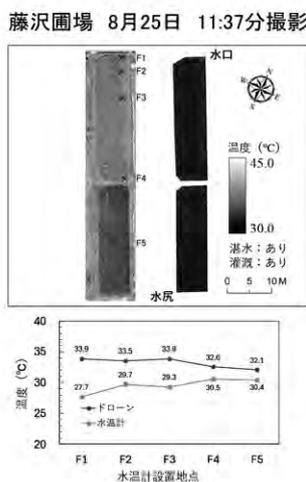


図7 藤沢水田における8月25日ドローンによる水温分布および水温計による水温分布

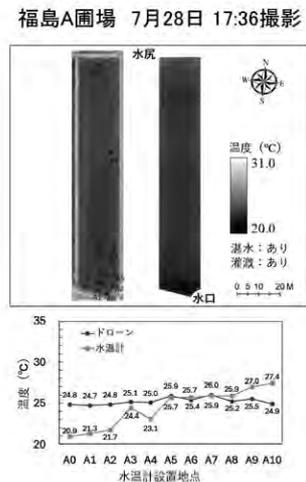


図8 福島水田における7月28日ドローンによる水温分布および水温計による水温分布