

令和 5 年 5 月 8 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H03101

研究課題名(和文) 土地改良区の水管理をスマート化する農業情報システムの開発

研究課題名(英文) Development of agricultural information system for smarter water management of land improvement districts

研究代表者

長野 宇規 (Nagano, Takanori)

神戸大学・農学研究科・准教授

研究者番号：70462207

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,600,000円

研究成果の概要(和文)：土地改良区スケールの農業水管理をスマート化する農業情報システム(作付け情報、用水量、洪水時の氾濫低減)の開発を行った。合成開口レーダ(Sentinel-1)画像を用いることで、6月中旬までに水稲・非水稲の判別が高精度で可能になり、用水量の調整に資するほか、低平地の氾濫低減モデルに入力することが可能となった。扇状地の水田水収支の観測結果、期間平均で浸透量と同量から20mm/d多めの取水が行われていることが明らかになった。物理モデル出力を教師データとしてANNモデルを学習させることにより、内水氾濫低減モデルの計算速度を飛躍的に向上することに成功した。これらを複合して順応的な水管理が可能になった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

管理のスマート化とは観測に基づいて管理規範を変化させる順応化を指す。本研究では土地改良区の水管理の順応化を可能とするため、土地利用判別や計算モデルの出力の早期化、迅速化に注力したことが学術的に大きな特徴である。リモートセンシングについては土地改良区に限らず、全県レベル、全国レベルの圃場毎判別が本研究の成果により可能になった。本研究成果により土地改良区は作付けに応じた柔軟な配水や少ない人員での極端気象現象対応が可能になる。

研究成果の概要(英文)：We have developed an agricultural information system (cropping information, water consumption, flood reduction) that makes agricultural water management smarter on a land improvement district scale. By using synthetic aperture radar (Sentinel-1) images, it will be possible to distinguish between paddy rice and non-paddy rice with high accuracy by the middle of June, which will contribute to the adjustment of water usage and will be input to the flood reduction model for low-lying areas. Observation results of the paddy water balance in the alluvial fan revealed that the average amount of water intake during the period was the same as the infiltration amount was equivalent to or 20mm/d more than infiltration rate. By training the ANN model using the physical model output as training data, we succeeded in dramatically improving the calculation speed of the inland flood reduction model. By combining these, adaptive water management has become possible.

研究分野：農村計画学・リモートセンシング

キーワード：土地改良区 水管理 スマート化 農業情報システム リモートセンシング 氾濫低減

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本では土地改良区が受益地区全体の灌漑排水管理を担う。近年、i)冬季の積雪量減少による代掻き期の水不足、ii)人手・熟練不足による地区の灌漑効率の低下、iii)企業の参入による作物の多様化、iv)頻発化する干ばつと豪雨・洪水、vi)高温障害など、施設設計時に想定されていなかった水管理秩序の攪乱要因が増えつつある。しかし、土地改良区は管内の農地利用や作物の生育状況を把握する役割をもたない上、水路系統毎の経時的な用水需要を正確に算定できないため、不測の事態に柔軟に対応することができない。

2. 研究の目的

本研究は衛星リモートセンシングとそれを入力値とする水文モデルにより土地改良区用の農業情報システムを開発することを目的とした。これは i)水田の水入れ状況、ii)作付け分布、iii)末端水路用水量、iv)予想収量、v)大雨時浸水予測情報を準リアルタイムで提供するものである。土地改良区職員はこのシステムにより圃場での営農状況を反映した農業水利施設(水源施設、調整施設、送配水施設、末端の分水工、排水施設など)の運用が可能になり、特に干ばつや大雨時の緊急調整に大きな効力を発揮することが期待できる。

3. 研究の方法

(1) 研究対象地

研究対象地は滋賀県の愛知川沿岸土地改良区、新潟県上越市の吉川土地改良区、新潟県中越地方刈谷田川土地改良区、新潟市の亀田郷土地改良区とした。

(2) 衛星リモートセンシング

農林水産省が提供する農用地の筆ポリゴン、ESA が提供する C-band SAR、Sentinel-1 画像(空間解像度 5×20m、回帰日数 12 日)、可視光画像 Sentinel-2 画像(空間解像度 10×10m、回帰日数 10 日) JAXA が提供する高精度 DEM、Alos3D30(空間解像度 30m)を使用した。いずれもオープンデータである。Sentinel-1 画像は SLC プロダクトから独自に前処理を施し、VH 偏波後方散乱係数画像を作成した後、筆ポリゴンで各圃場の代表値を取得した。水稻は移植期の湛水により地表の粗度が大幅に低下する。そこで閾値法の適用により水稻・非水稻の判別を行い、その後非水稻の中から大豆と耕作放棄地の判別を試みた。判別精度の向上のため時系列フィルタリングを適用した。

(3) 自動水栓の用水量調査

滋賀県愛知川沿岸土地改良区管内の 2 地区(自動給水栓導入・非導入)を対象として水管理の実態把握を行い、それらの比較から、自動給水栓の導入が水田水管理に与える影響を評価した。調査地区内の圃場(非導入地区 6 か所、導入区は自動給水栓導入圃場 2 か所、非導入圃場 2 か所)に水位計を設置し、式(1)にて圃場水収支を計算した。

$$I - D = ET + P - R + \Delta H \quad (1)$$

ここで、 I は取水量、 D は地表排水量、 ET は蒸発散量、 P は浸透量、 R は降水量、 ΔH は 0 時から 24 時までの湛水深変化量(単位はいずれも mm/d)である。蒸発散量はペンマン式にて、浸透量は各圃場の夜間減水深より推定した。地表排水量は自動給水栓非設置地区では測定できなかったため、取水量との差が負のときに排水されたと判断し、設置地区では排水枡内の水位から推定した。

(4) 浸水予測に関する新たなモデル開発

土地改良区などの水管理組織による順応的水管理の実現に向けて、氾濫予測の逐次性を高めるため、物理プロセスに基づく「内水氾濫解析モデル」と機械学習を組み合わせた新たな浸水予測手法を確立した。入力（降雨）に対する出力（浸水域）を内水氾濫解析モデルによって多数生成し、この入力と出力を機械学習モデル（長短期記憶ニューラルネットワーク：LSTM モデル）に学習させ、短時間で浸水深を予測するモデルである。機械学習の予測精度は学習する教師データに依存し、大量かつ高精度なデータが必要である。しかし、再現期間の長い事象に対する観測データは存在しないため、入力データである降雨は、模擬豪雨データを使用した。対象の領域は内水氾濫解析モデルによる検証済みである亀田郷流域とした。

4. 研究成果

(1) リモートセンシング

表 1 に 6 月中旬以前の早期判別水稻の結果を示す。ここで精度評価に用いられる κ 係数は偶然の一致によらない精度指標で 0.6 以上は良好、0.8 以上は実用可能精度である。どの地域でも 20a 以上の農地では実用精度を確保した。この結果は(3)の物理氾濫モデルの入力値として利用される。水稻・非水稻、大豆と耕作放棄地の判別には逐次判別のフローを確立した。栄養生長周期に向けた粗度の増加と登熟期に稲が黄変することを特徴とした判別を再度行うことで水稻・非水稻判別精度の向上を図った。図 1 に水稻・大豆・耕作放棄地の判別精度を示す。

表 1 水稻・非水稻早期判別精度の比較(係数)

対象地	中山間地		平地
	篠山	吉川	刈谷田
0-10a	0.44	0.60	0.56
10-20a	0.77	0.87	0.84
20a-	0.81	0.90	0.96

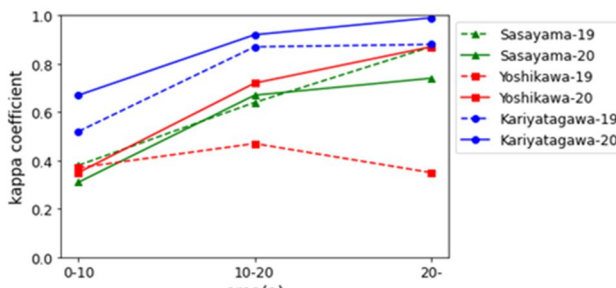


図 1 水稻・大豆・耕作放棄地判別の精度(係数)

早期水稻・非水稻判別法において後方散乱係数が設定した閾値を下回る日を移植日と仮定し、地域別の統計値をとることで、図 2 に示すように広域の移植日の推計が可能となった。兵庫県の農協や農業生産組合へのアンケート調査で検証した結果、推計移植日の標準偏差は 4.7 日であった。

(2) 扇状地内の水田地区の用水量

滋賀県愛知川扇状地内の水田地区における 2020～2022 年の観測データから取水量と浸透量の関係を整理した。その結果、中干し後の水管理に着目すると、水管理システムの整備状況の違い（自動給水栓の有無）や浸透量の多少に関わらず、期間平均では、浸透量とほぼ同量の取水量が行われる圃場と、浸透量より 20mm/d 程度多い取水量が確認された圃場があり（図 3）、この場合は排水量が増加していた。つまり、整備状況の違いに関わらず、地表排水が生じないような管理を行うことができれば、蒸発散量による損失は少なくとも降雨量によって補填でき、必要用水量は浸透量とほぼ同量になるが、実際の圃場水管理では、20mm/d 程度の栽培管理用水量が発生することが推察された。

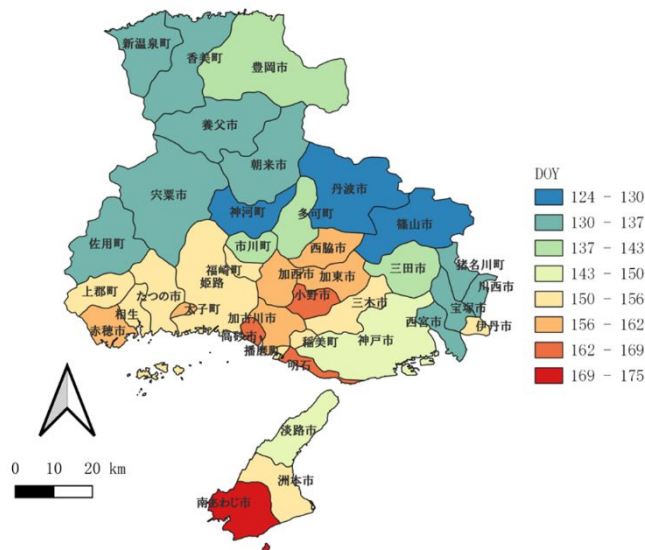


図2 兵庫県における移植日の推定結果 (DOYは1月1日からの積算日数)

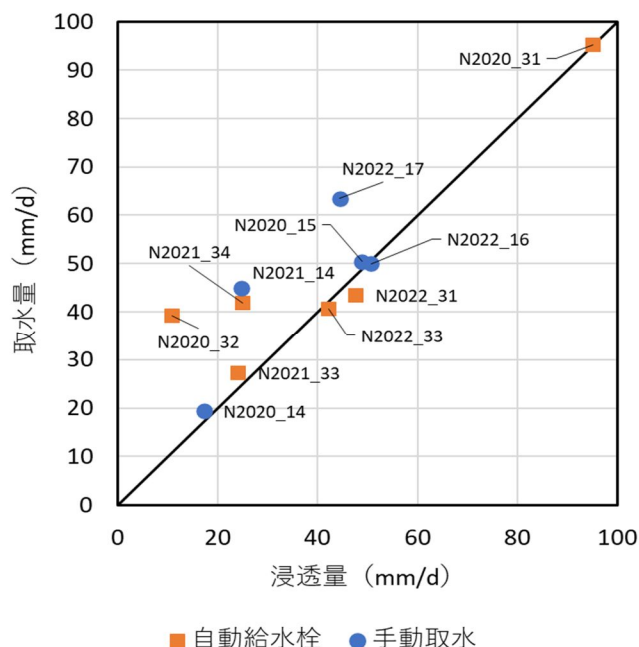
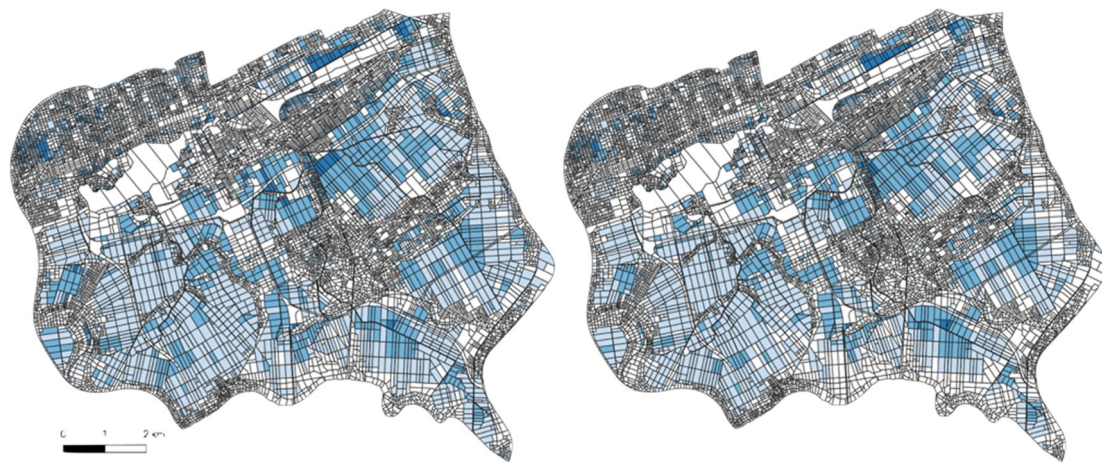


図3 中干し後の期間平均での浸透量と取水量の関係

(3) 浸水予測に関する新たなモデル開発

本研究で開発した機械学習による手法は、図4に示すように精度良く内水氾濫解析モデルによる出力値を再現できることが明らかになった。また、複数降雨規模が同割合で含まれる学習データを教師とすることが精度向上に寄与することが明らかになった。このモデルを管理者が施設の運転操作に活用するには、数時間先までの雨量の予測が必要となるが、商業ベースで提供されている30分単位の「降雨短時間予報」等の利用を想定している。機械学習モデルの入力データの生成には、物理プロセスに基づく数値計算モデルの出力結果が必要であることを踏まえ、内水氾濫解析モデルに用いる施設諸元やシナリオ(降雨データ、施設諸元および配置、水路の分合流設定、外水位、排水機場運転操作規則等)を外部入力できる仕様に改良した。また、モデル構築の方法を記したマニュアルを整備した。こうした社会実装を前提とした普及性向上も本研究の成果と言える。



内水氾濫解析モデルの出力値

機械学習 (LSTM) モデルの出力値

図 4 亀田郷における降雨規模 500mm/3days シナリオの出力結果の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 中村公人, 堀野治彦, 松澤拓海, 吉岡有美, 濱 武英	4. 巻 63(3)
2. 論文標題 扇状地水田地域における補助水源としての地下水利用の実態 - 愛知川扇状地を事例として -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地下水学会誌	6. 最初と最後の頁 105-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5917/jagh.63.105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松澤拓海, 中村公人, 濱 武英
2. 発表標題 自動給水栓による水田湛水深管理に関する考察
3. 学会等名 2021年度 (第70回) 農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高山侑也, 長野宇規, 吉川夏樹
2. 発表標題 合成開口レーダによる土地利用判別が困難な圃場区画の検出法
3. 学会等名 2021年度 (第70回) 農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高山侑也, 長野宇規, 吉川夏樹
2. 発表標題 時系列SAR画像を利用した水稲・大豆・耕作放棄地の判別
3. 学会等名 第78回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 隋岳 穎, 長野 宇規, 高山 侑也
2. 発表標題 Sentinel-1データを用いた水稲移植日の推定
3. 学会等名 第78回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高山 侑也, 長野 宇規, 吉川 夏樹
2. 発表標題 マルチセンサー使用による水田判別精度の向上
3. 学会等名 2020年度(第69回)農業農村工学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島村 優, 中村 公人, 濱 武英
2. 発表標題 自動給水栓導入圃場の水田水収支の実態調査
3. 学会等名 2022年度(第71回)農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松澤 拓海, 中村 公人, 濱 武英
2. 発表標題 愛知川扇状地内の末端分水工掛における水田水管理の実態解明
3. 学会等名 第77回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩村祐暉, 吉川夏樹, 宮津進, 高野陽平
2. 発表標題 流域治水対策の評価に向けた氾濫解析モデルの開発
3. 学会等名 2022年度(第71回)農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高野陽平, 吉川夏樹, 赤堀悦朗, 佐藤賢治
2. 発表標題 境変化条件下における農業用排水機場ポンプ能力の簡易評価手法の開発
3. 学会等名 2022年度(第71回)農業農村工学会大会講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森口里南, 長野宇規, 井上隆之, 吉川夏樹
2. 発表標題 合成開口レーダ画像によるため池貯水量監視の可能性
3. 学会等名 第79回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 陳 尚煜, 長野宇規, 吉川夏樹
2. 発表標題 アジアの多様な稲作に適用できる判別法の開発
3. 学会等名 第79回農業農村工学会京都支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chen Sangyu, Takanori Nagano, Natsuki Yoshikawa
2. 発表標題 Development of field-specific discrimination method for various paddy rice
3. 学会等名 PAWEES 2022 Conference in Fukuoka
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 長野宇規	4. 発行年 2021年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 640
3. 書名 -1 水循環システムと気候変動 5 灌漑農業に対する水危機の影響と適応の見える化, 水環境の事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究プロジェクト, 神戸大学大学院農学研究科地域共生計画学分野 https://rpww.net/project</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中村 公人 (Nakamura Kimihito) (30293921)	京都大学・農学研究科・教授 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	吉川 夏樹 (Yoshikawa Natsuki) (90447615)	新潟大学・自然科学系・教授 (13101)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	高山 侑也 (Takayama Yuya)		
研究 協力者	隋 岳穎 (Sui Yueyin)		
研究 協力者	陳 尚煜 (Chen Sangyu)		
研究 協力者	松澤 拓海 (Matsuzawa Takumi)		
研究 協力者	島村 優 (Shimamura Yu)		
研究 協力者	伊藤 真幸 (Ito Masayuki)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	岩村 祐暉 (Iwamura Yuuki)		
研究協力者	高野 陽平 (Takano Yohei)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
インドネシア	ボゴール農科大学			
ベトナム	Institute of Water Resources Planning			