

ドローンとセンシング技術を活用した稲作農業の バリューチェーンの変容に関する研究

The Research on the Transformation of Value Chains for Rice Farming
using UAV and Sensing Technology

小酒井正和*, 岡田穰**, 山田義照***

Masakazu Kozakai*, Minoru Okada** and Yoshiteru Yamada ***

*玉川大学工学部マネジメントサイエンス学科, 194-8610 東京都町田市玉川学園6-1-1

**専修大学商学部マーケティング学科, 101-8425 東京都千代田区神田神保町3-8

***玉川大学工学部エンジニアリングデザイン学科, 194-8610 東京都町田市玉川学園6-1-1

*Department of Management Science, College of Engineering, Tamagawa University,
6-1-1 Tamagawagakuen Machida-shi Tokyo 194-8610

** Department of Marketing, School of Commerce, Senshu University,
3-8 Kanda-Jimbo-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8425

***Department of Engineering Design, College of Engineering, Tamagawa University,
6-1-1 Tamagawagakuen Machida-shi Tokyo 194-8610

Abstract

The purpose of this paper is to clarify the methodology of data sensing utilizing UAVs and Sensing Technology in rice farming, and to explore the ideal way of value chain management of rice farming from the complex viewpoints of engineering, agriculture, business management, and cartography. In addition to the analysis of growth information using UAVs and environmental data analysis, it is useful to integrate and analyze topographic maps, aerial photographs, and the know-how of farm workers. This will help transform the agricultural value chain, including land improvement.

Keywords: Drones, UAV, Precision Agriculture, Smart Agriculture, Remote Sensing, Value chain

1. はじめに

日本では農業従事者の減少と高齢化が激しい。令和2年度の農業従事者の平均年齢は67.8歳(概数値)となっており、新規就農者は平成29年で55.7千人と先細りを続けている(農林水産省, 2021) 1)。

後継者不足が慢性化することによって、熟練者のノウハウ継承問題が生じている。それにともない、農業法人の設立やIT化が叫ばれており、ITを活用したノウハウ継承問題の解決への期待が高まっている。本論文ではドローンやセンシング技

術などのテクノロジーを手段として捉え、スマート農業経営の効率的かつ効果的な実現という目的をいかに達成できるかについての検討を行う。

2. 研究の目的

本論文の目的は、稲作農業におけるドローンやセンシング技術を活用したデータセンシングの方法論を明らかにし、工学、農業、経営、地図学の複合的な観点から稲作農業のバリューチェーンマネジメントのあり方を探究することである。

具体的には、ドローンを用いた生育情報の分析、データロガーによって取得された環境データの分析、地形図や航空写真の分析、農場従事者へのヒアリング情報を統合させ、バリューチェーンを変容させるスマート農業経営の実現可能性を探る。

最終的には、地方創生に関連するビジネスにおけるドローン関連技術の活用方法を模索し、今後のドローン関連ビジネスの姿を明らかにする一助となることが目標である。その一環として、本論文では、主としてドローンを用いたスマート農業におけるデータセンシングの活用方法に着眼した。

3. 先行研究と研究方法

3. 1. 先行研究レビューと本論文の意義

田中らの研究(2018)では、自作ドローンによるリモートセンシングを行い、精密農業におけるドローンの活用方法について議論している²⁾。当該研究では、NDVIデータを用いて生育情報をモニタリングし、ドローンによるリモートセンシングの情報を追肥判定、倒伏リスク診断、収量推定に活用できることを示唆している。

川原ら(2021)の研究では、スマート農業の実現方法として、土壌水分センサとドローンによる生育情報モニタリングについて議論している³⁾。当該研究では、機械学習を用いたデータの分析、LiDAR (Light Detection And Ranging) を用いて構築した3次元マップの活用方法について考察を行っている。

近藤(2021)の研究では、農作業と情報の流れに着眼し、農業におけるセンシング技術の活用について議論している⁴⁾。当該研究では、土壌センサ、苗生産ロボット、生育管理ロボット、収穫ロボット、選果ロボットについて言及し、それらから得られた情報の活用方法について論じている。

これらの研究では、テクノロジーによるスマート農業の効率的かつ効果的な実現の方法につい

て有益な示唆を行っている。しかしながら、研究の性質上、どのように情報を取得し、それらの情報を農業従事者が担当するバリューチェーン(農作業のプロセス)に統合させて活用できるかといった方法論までは言及しきれていない。本論文では、稲作農業のバリューチェーンマネジメントにおいて、農業のセンシング情報を、農業従事者が担当するバリューチェーン(農作業のプロセス)に統合させて活用するための方法論について考察する。

3. 2. 研究方法とリサーチサイト

(1) 研究の範囲と研究方法

本論文では、図1の通りに、稲作農業のサプライチェーンと農業従事者(もしくは農業法人)にわたる稲作農業のバリューチェーンを想定している。本論文の研究対象は、農業従事者にとっての稲作農業のバリューチェーンとする。

稲作農業におけるバリューチェーンは、製品である米に価値を付加する主活動と、主活動を全般的に支援する支援活動に分類できる。バリューチェーンにおける各活動のマネジメントは、遂行的マネジメントと構造的マネジメントに分けられる。稲作農業における構造的マネジメントは、土地改良や水源の確保といった構造的要因に関するマネジメントである。他方、遂行的マネジメントは、構造的マネジメントによって決定、計画された条件下で、耕起、収穫、出荷作業、水管理などの農作業の遂行に関わる要因のマネジメントである。

また、図1ではドローンなどのロボットやIoTの活用シーンの例を挙げてある。主活動においては、自律トラクターによる耕起、播種や移植に代わるドローンの直播、ドローンを用いたNDVIデータによる生育分析、自律ローバーによる除草、ドローンによる空中からの追肥や農薬散布による病害虫対策、自律コンバインによる収穫がある。支援活動においては、生産プロセスにおける水管理

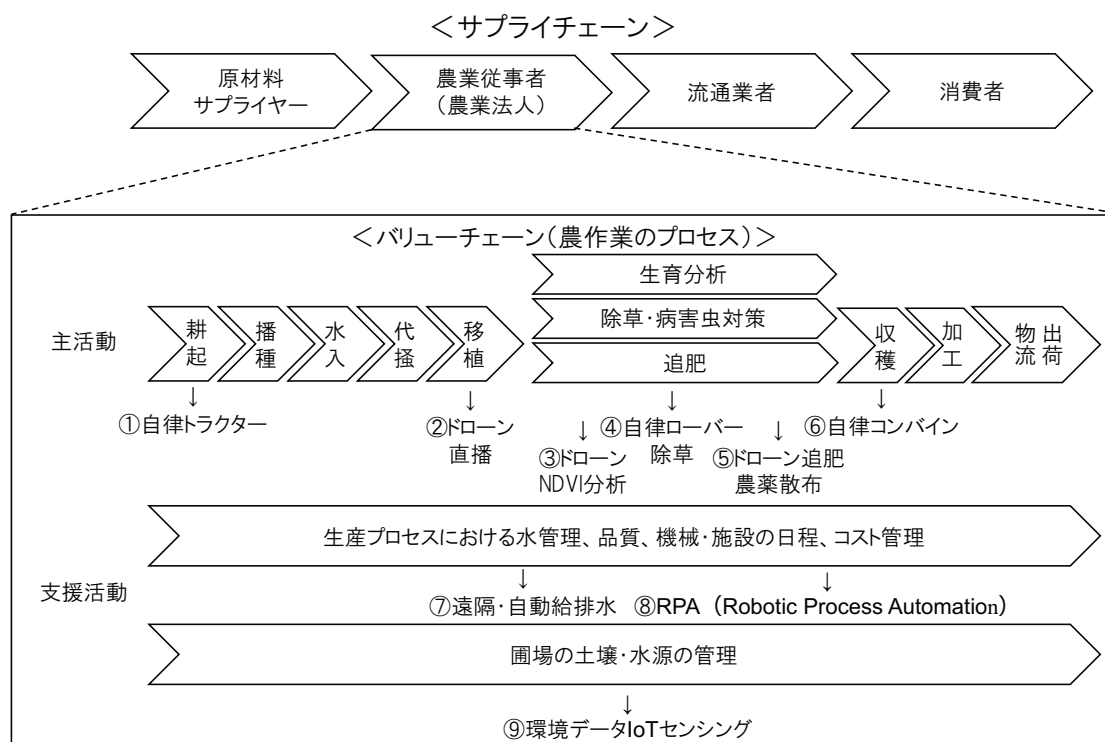


図1 本論文で想定するサプライチェーンとバリューチェーン

のための遠隔・自動給排水のほか、製品の品質、機械・施設の日程、コスト管理などの経営問題解決のためのRPA (Robotic Process Automation) の活用、構造的な水田の土壌管理や水源の管理のための環境データのIoTセンシングなどがある。

もちろん、これらのテクノロジーの活用がDX (Digital Transformation) なのではなく、テクノロジー活用の先にあるサプライチェーン全体やバリューチェーンの変容があつてのDXであろう。本論文では、ドローンによるリモートセンシングに基づく生育分析とデータロガーによる環境データの分析に焦点を絞ってバリューチェーンの変容の可能性を検討する。したがって、本論文での研究方法として、(1) マルチスペクトルカメラ搭載ドローンによるリモートセンシング、(2) データロガーによる水温、気温、湿度、気圧、風速などの環境データのセンシングなどの実験、(3) 農業従事者へのヒアリング、(4) 地形図や航空写真の収集を通じて得られたデータを基に分析を行う。

2019年度はまず予備的研究として、産業調査や地域ニーズの分析を行い、稲作に関するスマート農業におけるドローンの活用方法について研究することとした。次に、マルチスペクトルカメラ搭載ドローンによるリモートセンシングのテストなどを行い、実際の水田においてリモートセンシングを行うとともに、農業従事者へのヒアリングを行った。そのほか、国土地理院の地形図、航空写真、土地改良区に残る史料の分析を行った。

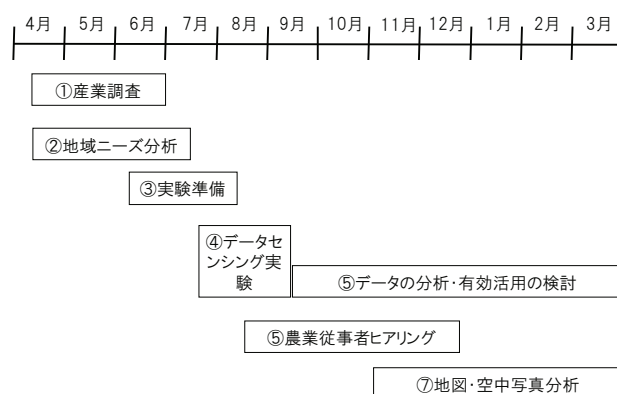


図2 2019年度の研究スケジュール

2020年度は、稲作のシーズン全体にわたってドローンによるリモートセンシングを行う予定だったが、コロナ禍の影響にて8月に定点調査を行うだけとなった。水温、気温、湿度、気圧、風速などの環境データのセンシングについてはシーズン全体にわたって行うことができた。同時に、2019年度と2020年度のドローンによるリモートセンシングから得られた情報の比較を基に、農業従事者へのヒアリングを行った。

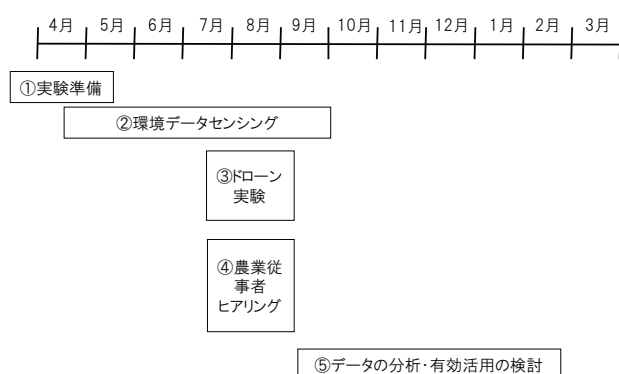


図3 2020年度の研究スケジュール

(2) 実験ツールと利用データ

ドローンによるリモートセンシング実験のために、Parrot Bluegrassを使用した。このドローンには、マルチスペクトルカメラParrot Sequoiaが搭載されており、自動飛行と自動撮影が可能である。

取得した画像データは、Pix4D Fieldsを用いて解析し、オルソ画像、NDVIデータ、DSM（高低差画像）などを作成した。また、通常のスチール写真を撮影する場合は、DJI Phantom 4も使用した。

環境データのセンシングには、2種類のデータロガーを使用した。水温については、おんどとり Jr. TR-52iを使用した。気温、湿度、気圧、風速などについてはKestrel 5500を使用した。



図4 Parrot Bluegrass



図5 おんどとり Jr. TR-52iとKestrel 5500



図6 おんどとり Jr. TR-52iの設置風景



図7 おんどとり Jr. TR-52iのセンサー部



図8 Kestrel 5500の設置風景

(3) 研究サイト

実験は、秋田県仙北市の水田で行った。当該水田は横手盆地北部にある仙北平野にあり、卒田南土地改良区に属する約6haの水田である(図9)。当該水田は、北に才津川、南に玉川には囲まれている地区にある。当該水田の保有者はA氏である。この水田を研究サイトとして選定した理由は、住宅や鉄道から一定の距離があるので、フェールセーフを考慮しやすい点にある。

仙北平野は、国営仙北平野土地改良事業(昭和44年度～昭和60年度)により、大規模に土地改良された地域となる。土地改良事業前は、用水路は複雑多岐にわたり、なかには水源・水利権が確定

していない部分もあったそうである。また、排水面では、河川の多くが未改修で、毎年のように湛水被害があったそうである。

このような土地が大規模な土地改良事業によって圃場として整備され、近代的な農業へシフトしていった。現在では、後継者問題もあり、休耕田も増えている。なお、本実験期間中、休耕田を掘り起こして、その土壌の下にある玉砂利を採取したことを確認できた。これは玉川の砂利には商業的な価値があるため、販売目的で掘り起こしているそうである。これらの砂利が埋蔵されたままとなっていたのは、かつて当地において、才津川や玉川が頻繁に氾濫し、流路がたびたび変化していた証左でもあろう。



図9 研究サイトとなる水田の区画

4. ドローンによるセンシング実験と考察

4. 1. NDVIデータによる生育分析

2019年および2020年において、ドローンに搭載したマルチスペクトルカメラを用いたリモートセンシングの実験を行い、取得された画像をPix4d Fieldsを用いて解析したNDVI(正規化植生指数: Normalized Difference Vegetation Index)を画像化した。

NDVIとは、植生の分布や活性度を示す指標である。植物は光合成色素の働きにより可視域の電

磁波を吸収するので反射が弱くなり、近赤外域の電磁波を強く反射するというスペクトル反射特性がある。NDVIはそれを応用した指標であり、NDVIの値が高いほど活性度が高いことを示す。計算式は以下となる。

$$\text{NDVI} = ((\text{IR} - \text{R}) / (\text{IR} + \text{R}))$$

IR = 近赤外波長帯のピクセル値
R = 赤色波長帯のピクセル値

マルチスペクトルカメラ搭載ドローンによるリモートセンシングは表1の日程で実施した。なお、リモートセンシングの際は、ドローンは横向きに風を受けるように飛行させる必要があるため、飛行ルートは毎回異なる。

表1 リモートセンシングの日程と天候

1回：2019年8月21日，晴れ
2回：2019年8月29日，曇り
3回：2020年8月4日，晴れ

リモートセンシング後、NDVI値を算定して画像化（図10, 12, 14）するとともに、NDVI値に基づくゾーニング画像（図11, 13, 15）も作成した。ゾーニング画像はNDVI値の分布から7段階に区域（ゾーン）を分類した画像である。

図表10, 12（2019年）比較すると、NDVI値の傾向はさほど変わりがないように見受けられる。図表11, 13（2019年）を比較しても、傾向の違いはあまり見受けられない。

次に、図14（2020年）と図表10, 12（2019年）を比較すると、時期が異なるので適切に比較できないものの、ある程度類似した傾向が見てとれる。ゾーニング画像である図表15（2020年）と図表11, 13（2019年）を見ると、北側の区画の中央付近（区画03～08）、南側の区画の中央付近（区画15～19）に差が見受けられる。

4. 2. ヒヤリング調査と地形の調査

2019年10月28日に、研究サイトとなる卒田南土地改良区に属する圃場を経営するA氏と黒倉堰土地改良区に属する別の圃場を経営するB氏に、実験で得た画像に基づくヒヤリング調査を行った。ヒヤリング調査の場所は、当該実験場の近隣にある、あきた芸術村内デジタルアートファクトリー事務室である。また、実験協力者である株式会社わらび座の長瀬一男氏も同席して議論に参加していただいた。

A氏によると、当該水田は才津川と玉川の合流だったとのことである。また、水田になる前は谷地になっていた可能性があると示唆された。さらに、水田の下の土壌は砂利の可能性があるとのことであった。

また、A氏が着目したのは、とりわけ2回分のゾーニング画像（図11と図13）において、赤～オレンジのゾーン（活性化が低い区域）であった。A氏によると、「下の（赤やオレンジの）方が（土地が）低いところだった。水はけが悪いエリア。」とのことである。また、以前は乾田にすると水が足りなくなるため、常に水を張り込んでおり、昔は水を入れていた状態で耕していたという。

A氏からは、「土地改良をしたけれども、表面上のことで、今後土地改良するなら、こういったことを考える必要があろう。現状、データが示すように、成長にムラがあるので、今後のためにも現状を把握する意味はある」とコメントを得た。

次に、ヒヤリング調査の結果から、地形図や航空写真を用いた地形の調査を行った。図16は1975年時点での土地利用形態の図に、2020年3月14日時点（休耕期）でのDSM（高低差画像）を合わせた図である。なお、緑色は土地が高い箇所、赤は土地が低い箇所を示す。図16から判断すると、面影は残すものの、土地改良によって道が無くなり、大規模に水田として整備されたことがわかる。

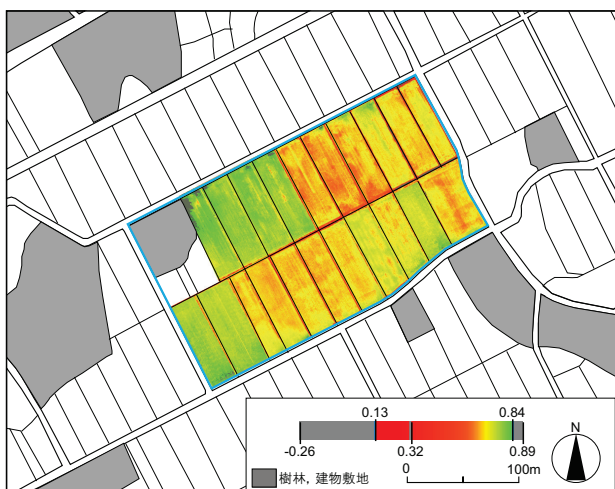


図10 NDVI画像 (2019年8月21日)

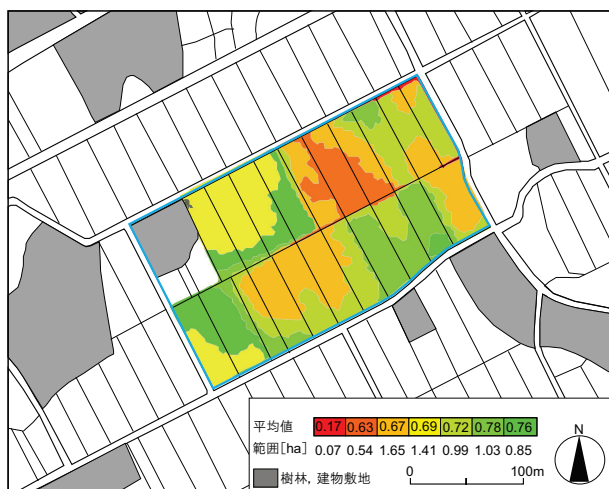


図11 ゾーニング画像 (2019年8月21日)

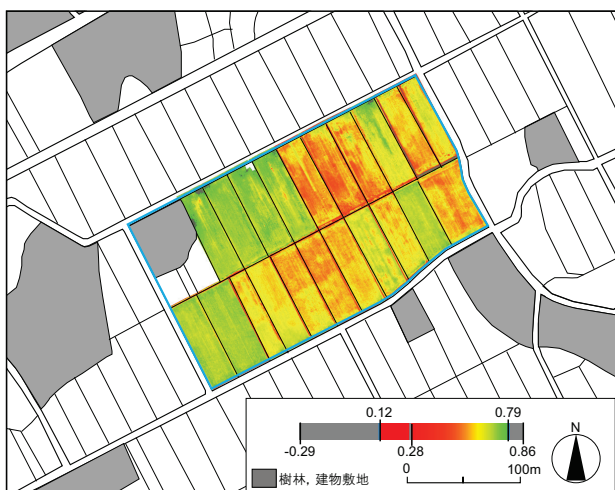


図12 NDVI画像 (2019年8月29日)

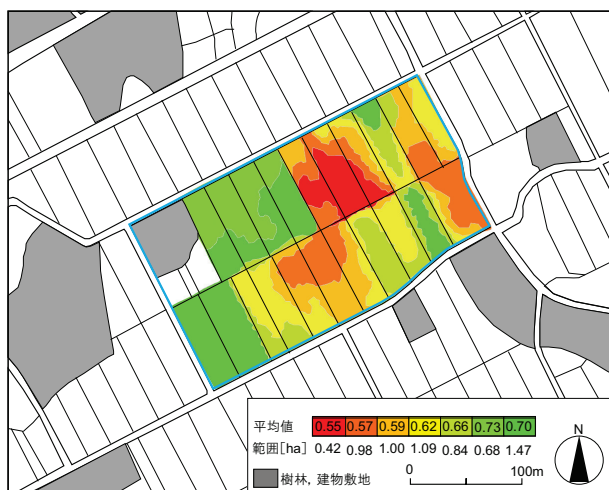


図13 ゾーニング画像 (2019年8月29日)

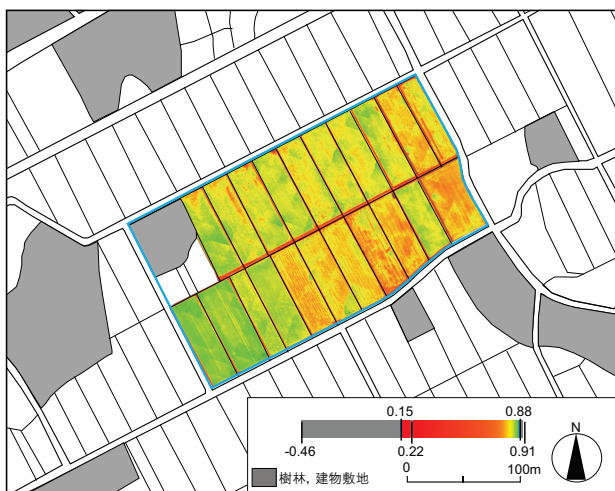


図14 NDVI画像 (2020年8月4日)

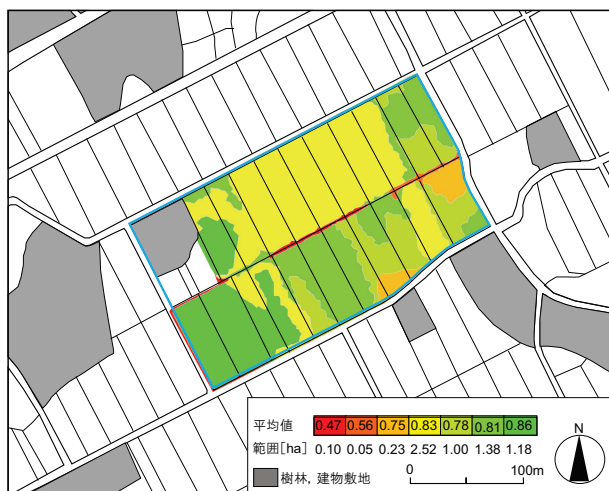


図15 ゾーニング画像 (2020年8月4日)

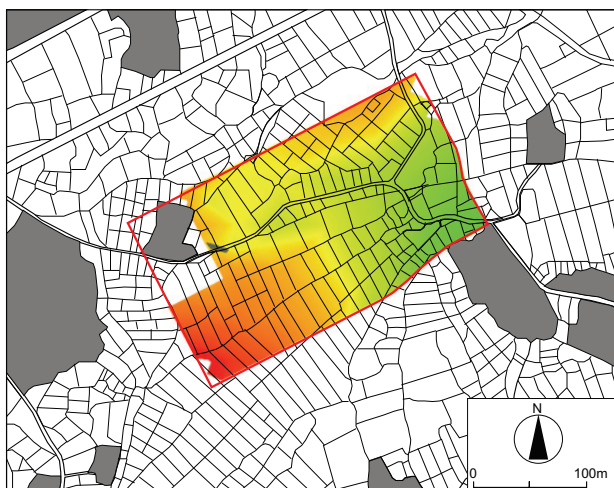


図16 1975年時点での土地利用形態および2020年時点でのDSM（高低差画像）

出所：国土地理院空中写真 CTO-75-25 C6-64
より作成

4. 3. 2019年の生育分析からの考察

実地調査は2019年8月21日と8月29日（リモートセンシング実験と同日）、および10月29日（休耕期）に行った。2019年8月21日のNDVI値に基づく判断から生育が活性化している区画と不活性化区画を選定し、重点的に調査した。図17は、その際に撮影した地点と方向を示す図である（NDVI値は2019年8月21日時点）。図18は、その際に撮影した地点①～③の写真を示す。

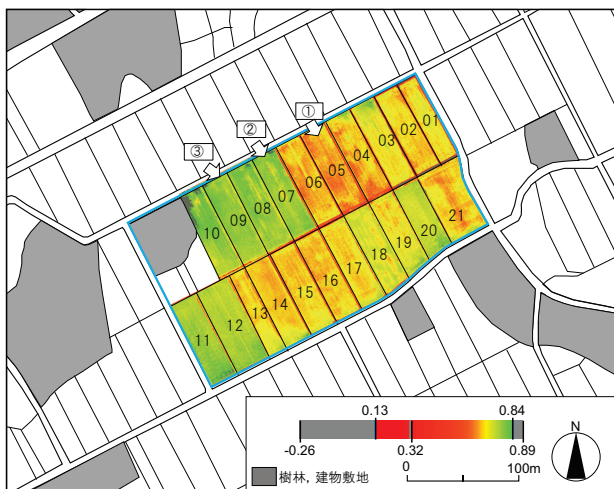


図17 NDVI値に基づく実地調査（2019年）



図18 稲の状況（2019年8月21日）

実地調査の結果（図18）、①区画05は相対的に生育が早く、②区画07と③区画09は、区画05と比較すると生育が遅れ気味に見えた。ここで、図10のNDVI値および図11のゾーニング画像と照合すると、稲の生育が早く、稲穂が育ち、活性度が落ちてきている区画05は、赤～黄色が目立ち、実地調査の結果と一致する。

以上の通り、NDVI値に基づく判断と実地での確認作業を照合した結果、収穫時期が近くなると、収穫時期の判断情報として利用することができると考えられる。ただし、今回の実験では8月下旬に時期を限ったスナップショットの実験となってしまう。今後、リモートセンシングを定期的に行い、時系列に把握することによってより精緻な分析ができるようになるだろう。

4. 4. 地形分析からの考察

休耕期である2019年10月29日に再び実地調査を行った。その狙いは、NDVI値が低かったエリアの地表面の状況確認である。

図19は、その際に撮影した地点と方向を示す図である（NDVI値は2019年8月21日時点）。図20と図21はドローンからの空撮（④、⑤）、図22は地上から撮影した写真（⑥）である。

図20を見ると、区画05と区画06は水はけ悪いといった点は見られない。図21を見ると、北側の区画07、08と南側の区画15、16を比較すると、地表

面の色合いに相違が見られる。図22の通り、区画16では多少の水が残っていることが確認できた。これは農業従事者へのヒアリングの結果と一致する。

以上の実地調査の結果と、図10～15から得られる考察を総合すると、水はけの悪さを含めた、なんらかの土壌の問題があると推察できる。

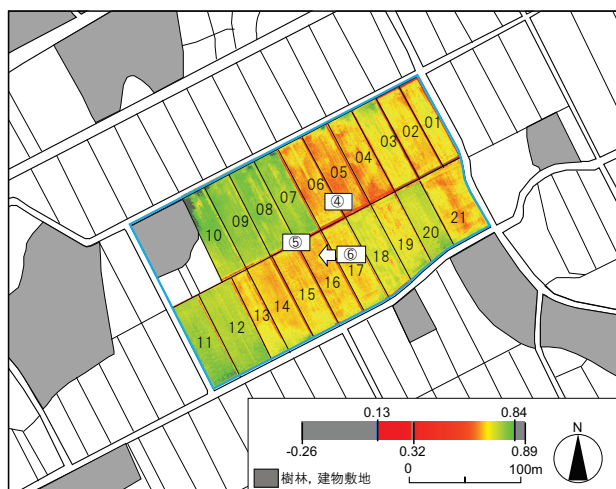


図19 休耕期の実地調査（2019年10月29日）



図20 空中からの地表面の状況④



図21 空中からの地表面の状況⑤



図22 地上からの地表面の状況⑥

4. 5. 2020年の生育分析と実地調査からの考察

2020年も実地調査を行った。実地調査は2020年8月4日（リモートセンシング実験と同日）、および8月5日に行った。

図23は撮影した地点と方向を示す図である。図24～27は、その際に撮影した写真（⑦～⑩）である。図24と図25では、2019年8月21日の実地調査と比較できる。図26と図27は2019年10月29日の実地調査において水はけの悪さを確認した区画の写真である。

実地調査では、区画05と区画06とでは生育に明確な差は確認できなかった（図24）。また、区画07は区画06よりも全体的に生育が遅れており（稲穂がない）、生育が活性化している途中であると見えた（図25）。

区画16と区画17は際だった差は見られなかった(図26, 図27)ので, 区画16の水はけの悪さと稲の生育の関係性については確認できなかった. なお, 図14(図23)における区画16の緑色の箇所(図26の中央部分)は, 周りより稲の背が高かった.

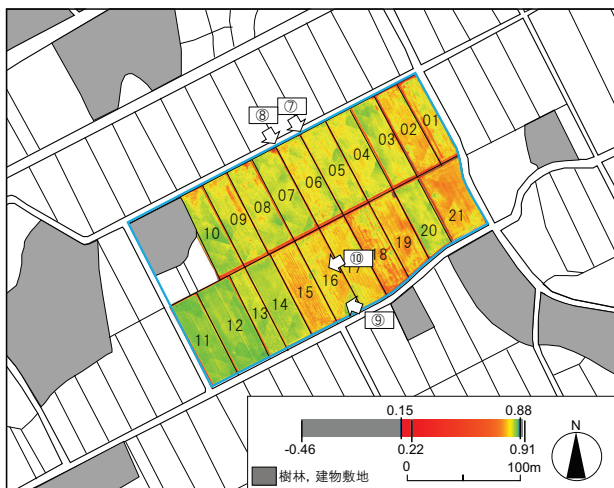


図23 NDVI値に基づく実地調査(2020年)



図24 稲の状況⑦



図25 稲の状況⑧



図26 稲の状況⑨



図27 稲の状況⑩

5. 環境データのセンシング実験と考察

5. 1. 水温の観測データ

前述のリモートセンシングの実験, ヒヤリング調査, 実地調査のほかに, 2020年には環境データのセンシングを行った. 分析対象データは, 2020年7月10日16:00~9月2日23:30の55日間分である. 30分毎のデータをセンシングし, 2608件のデータを取得した. 測定箇所は図28の通り, 流入口, 水田A(2019年8月21日, 2019年8月29日の実験, 2020年8月4日の実験で比較的活性度が低かった区画06に設置), 水田B(同時期において比較的活性度が高かった区画07に設置)である.

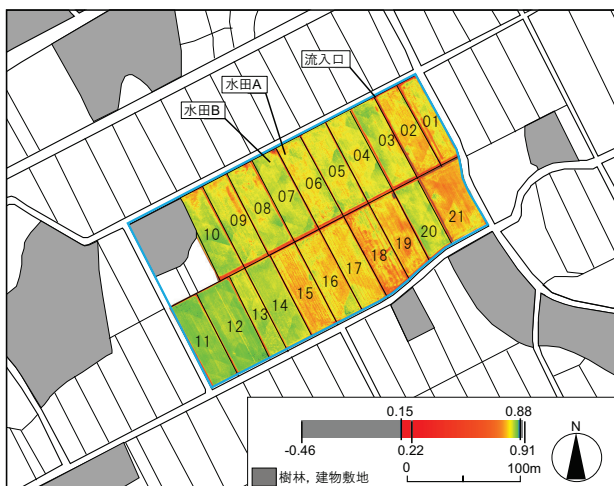


図 水温の観測地点とNDVI値(2020.8.4)

図28 水温観測地点とNDVI値 (2020年8月4日)

3地点の観測期間中の水温の平均値をみると、流入口が19.97℃であるのに対し、水田Aは24.08℃、水田Bは23.97℃とAの方が0.1℃ほど高く、 t 検定によっても有意差が確認された。また、日毎の水温について水田Aと水田Bについて比較すると、日平均水温および日最高水温では差が見られなかったものの、日最低水温は水田Aが21.99℃であったのに対し、水田Bは21.42℃と水田Bの方が約0.5℃低く、これは t 検定によっても有意差が確認された(表2)。

表2 各観測地点における水温値
(2020年7月10日～9月2日)

	流入口	水田A	水田B
N	2608	2608	2608
平均値[℃]	19.97	24.08	23.97 ** ※1
標準偏差[℃]	2.519	2.157	3.009
最大値[℃]	28.9	33.2	34.2
最小値[℃]	14.7	19.1	17.2
日平均水温(平均値)[℃] ※2	19.98	24.07	23.99
日最高水温(平均値)[℃] ※2	22.12	27.20	27.40
日最低水温(平均値)[℃] ※2	18.45	21.99	21.42 ** ※1

流入口の水温を説明変数とした回帰分析

回帰係数	0.4913 ***	0.8340 ***
切片	14.265	7.314
自由度調整R2乗	0.3292	0.4876

: $p < 0.01$, *: $p < 0.001$

※1 水田Aと水田Bの差の平均

※2 7/11～9/2の日平均(N=53)

流入口の水温と各水田の水温との関係性について、流入口の水温を説明変数とした回帰分析を

実施した結果、回帰係数は水田Aが0.4913、水田Bが0.8340 (いずれも0.01%水準で有意) となり、水田Bの方が流入口の水温の変化の影響が大きかった(表2)。

水田A(区画06)と水田B(区画07)の水温の差について時刻毎にみると、夜間、とりわけ日照による気温の影響が小さくなる深夜に水田Aの方が高く最大で0.58℃の差が、日中、とりわけ日照による気温の影響が大きい午後に水田Bの方が最大で0.59℃高かった(図29)。そして、各時刻において平均の差について t 検定を実施したところ、1:30～8:30で有意差が確認された(図30)。

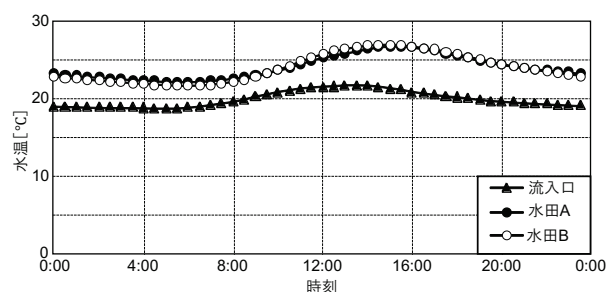


図29 時刻毎にみた水温の平均値

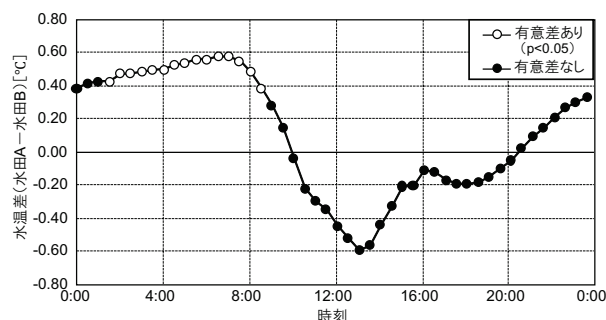


図30 時刻毎にみた水田Aと水田Bとの水温の差

5. 2. 水温の観測データからの考察

以上より水田Aと水田Bとの水温の特徴の違いを考察する。水田Aと水田Bの平均水温は0.1℃ほど水田Aの方が高かったが、時刻毎で見た場合にはその差はさらに大きくなり、約0.6℃の差がみられた。次に水温差についてみると、全体では水田Aは水温の変化幅が小さく、水田Bは水温の変化幅が大きいと言える。これも時刻毎で見ると水田

Aは夜間の水温が高めで日中の水温が低めであるのに対し、水田Bは夜間の水温が低めで日中の水温が高めであると言える。また、水田Aと水田Bとの間で違いが見られたのが日最低水温であり、これは水田Bの方が統計的に有意な低さが確認された。したがって、両水田の水温の違いは「低い水温」であり、寒冷地における水稻生育において冷害対策として水温を高め維持する水温管理の重要性の知見（大塚ら）⁹⁾からも、これが生育の差の要因の一つとなっているのではないかと推測できる。そして、水田Aの水温と水田Bの水温との間で統計的に有意差が見られたのが夜間であり、この2つの水田の水温差の要因としては夜間が重要であるということがわかる。これは日照による

影響ではなく、それ以外の影響による差であると考えられ、地下部分の温度が影響しているのではと推測できる。その理由としては、地下の温度が水田Aの水温を上げているか、あるいは水田Bの水温を下げているということになる。ここで過去（1975年）の空中写真から各水田の土地利用形態をみると（図31）、水田Bの部分には水路が2本流れている（1本は水田Aと共通）ことが確認でき、うち1本については谷地部分も含まれ、この地下水路の影響の可能性が推測できる。これは「冬暖かく夏冷たい」という地下水の性質（高見ら）⁹⁾を水田Bでは影響を受け、水田Bのほうが日最低水温の平均値が低くなり稲の生長に悪影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

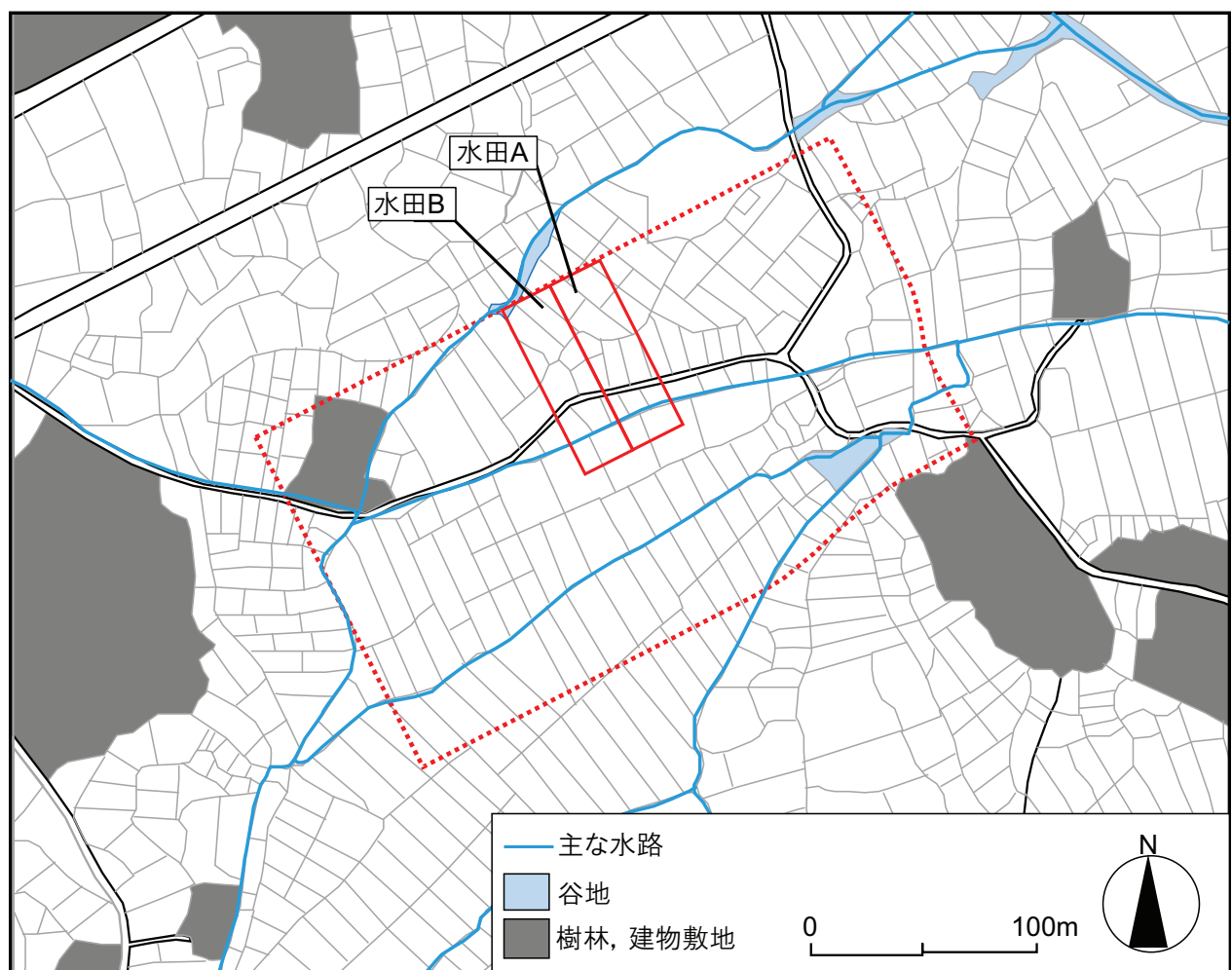


図31 1975年時点での土地利用形態および主な水路等の位置

出所：国土地理院空中写真 CTO-75-25 C6-64より作成

農業従事者への聞き取り調査では、水田A（区画06）では過去に砂利の採取による土壌改良が実施されたという証言があり、それによる土壌粒径の差違が地下の温度、とりわけ地下水の温度の影響の受けやすさに関係していることも推測できる。

ただし、今回の観測では水田自体に農業用水が入る位置と各水田の水温観測地点との距離については考慮していないほか、両水田の土壌粒径の違い、気温・水温と並んで水稻の生育・収量を左右する重要な環境要因である地温、水田水深（高見ら）⁷⁾の差は把握しておらず、今回の結果はあくまで推測の域を出ることができないかもしれないため、さらに調査環境の条件を揃えての観測・比較が求められる。

6. スマート農業実現へのインプリケーション

ドローンによるリモートセンシングから得られるNDVIデータを用いることで、収穫時期の判断、追肥判断、倒伏や病害虫などによる悪影響の予兆発見などへの活用が期待されるが、肝要なのは定期的にリモートセンシングすることで、生育の時系列データを蓄積することである。今回のドローンによるリモートセンシング実験では、コロナ禍の影響もあり、定期的に実験を行うことができなかったため、定期的な実験が今後の課題となる。

本論文では、農業従事者のバリューチェーン（農作業のプロセス）に焦点を当て、ドローンのリモートセンシングに基づく生育分析と環境データの分析に焦点を絞った実験を行い、それらの分析の複合的な活用について大きなインプリケーションを得ることができた。NDVIデータや環境データを個別に確認するだけでは判断できないことも多い。データのセンシングの分析だけでなく、実地調査、地形図や航空写真の分析から得た情報から判断する現場の状況、農業従事者のノウハウや地域の伝承（農業従事者からのヒヤリ

ンク調査内容）と照合して、複合的に分析する重要性を確認できたことは大きな成果である。

2019年～2020年における研究を通じて、水はけの悪さと生育の悪さには何らかの関係があるかもしれないという仮説を得た。さらに、生育の良し悪しにおいて、地下部分の温度が影響しているかもしれないという仮説を得た。本論文では、これらの仮説を検証するところまではできなかったが、この研究サイトにおける土地改良について重大な示唆を得ることはできた。

このことから、センシングされたデータの分析だけに止まらず、さまざまな視点からの複合的な分析することによって、バリューチェーンにおける土地改良（土壌・水源）などの構造的な要因のマネジメント（構造的マネジメント）に必要な情報を得られ、農業従事者（農業法人）のバリューチェーンの変容にも役立つことが期待される。このことが、本論文による最大の貢献であろうと考えられる。

7. まとめ

本論文の目的は、稲作農業におけるドローンやセンシング技術を活用したデータセンシングの方法論を明らかにし、工学、農業、経営、地図学の複合的な観点から稲作農業のバリューチェーンマネジメントのあり方を探究することであった。ドローンを用いた生育情報の分析やデータロガーによって取得された環境データの分析のほか、地形図、航空写真の分析、農場従事者へのヒアリング情報を統合して分析することで、土地改良までを含めた農業従事者によるバリューチェーンの変容に役立つことを期待できる。

謝辞

本論文は、令和元年度および令和2年度玉川大学共同研究助成による支援を受けたものである。ここに謝意を表する。また、実験の実施にあたり多大なるご協力をいただいた株式会社わらび座

の長瀬一男様に深く感謝する。

参考文献

- 1) 農林水産省: 農業労働力に関する統計(2021)
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>
(2021/03/10閲覧)
- 2) 田中圭, 濱侃, 近藤昭彦:「精密農業実現に向けたドローンの活用」電子情報通信学会誌, 101 [12] , 1181-1185(2018)
- 3) 川原圭博, 仙田薫:「農業生産者の勘と経験を補完する計測技術」電子情報通信学会誌, 104 [2] , 104-109(2021)
- 4) 近藤直:「スマート農業におけるセンシング技術」電子情報通信学会誌, 104 [2] , 115-122(2021)
- 5) 大塚嘉一郎, 本庄一雄, 梅田安治, 角野三好:「寒冷地における水田水管理の特性」農業土木学会誌, 52 [11] , 9-15(1984)
- 6) 竹内篤雄:「地温調査 —あるがままの地下水の姿を求めて—」農業土木学会誌, 67 [11] , 49-56(1999)
- 7) 高見晋一, 菅谷博, 鳥山和伸:「水田水・地温の簡易測定法」農業気象, 45 [1] , 43-47(1989)

2021年3月15日原稿受付, 2021年3月21日採録決定
Received, March 15th, 2021; accepted, March 21st, 2021