

NAIST-IS-MT1651048

修士論文

農作業負荷軽減のための作業計画手法

小牧 真子

2018 年 3 月 14 日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報科学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士（工学）授与の要件として提出した修士論文である。

小牧 真子

審査委員：

中村 哲 教授	（主指導教員）
安本 慶一 教授	（副指導教員）
鈴木 優 特任准教授	（副指導教員）
田中 宏季 助教	（副指導教員）

農作業負荷軽減のための作業計画手法*

小牧 真子

内容梗概

日本の農業における人手による農作業の割合は欧米と比較し遥かに多い。作業者の平均年齢が65歳以上となっている現状において作業者に対してその作業負荷が大きいことが重要な課題であるといえる。これまでの作業軽減の手法として、農機具や農作業用パワースーツといった人間の労働者を補助する機械を導入することで作業の軽減を図ることが主であった。また、作業を軽減しつつも、作物の品質や、作業者の負担が考慮される必要がある。そこで、本論文では作業者の作業耐性と作物の品質といった制約下での作業時間を最小化する手法を提案する。また、作業そのものを効率化する手法として、必要な作業系列を抽出する手法を提案する。1つ目の手法として、作物及び人的コストと作業者の作業耐性を制約とする作業時間の最小化を行う目的関数を設定し、線形計画法を用いて最適な作業時間を出力する。また、2つ目の手法として複数の圃場データから作物の成長度合いに応じた農作業系列の抽出を行うための手法を考案した。この系列データの取得方法に関してはまず、実際の作業履歴データから系列データを抽出する。異なる圃場データと圃場データから生成した部分系列データを編集距離を用いたクラスタリングを行い、クラスタの中で圃場データを最も多く含むクラスタから、作業負荷の小さい系列を1つ抽出する。その結果、これまでの一般的に知られている作業系列である作型よりも詳しくかつ、他の作業系列よりも労働負荷の少ない作業系列が得られた。また、抽出された作業系列は元の圃場データとの順位相関の結果より、他のクラスタの系列データよりも相関が高い結果が示された。また、実際の農作業従事者による評価より出

*奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科情報科学専攻修士論文, 修士論文, NAIST-IS-MT1651048, 2018年3月14日.

力された系列の妥当性が確認された。

キーワード： 精密農業，作業計画法，動的計画法，オペレーションズリサーチ

Scheduling method to reduce work load*

Komaki Masako

Abstract

It is important for farmers to reduce their heavy workload . Conventionally, agricultural machinery and a power suit have been utilized to spare farmers the efforts. In addition, it is necessary not only to reduce the works but also to keep crop quality high enough. Therefore, in this thesis, we suggest a method to minimize a working hour under the condition to keep the quality of the crops and work-resistance of the worker. In addition, we propose a technique to extract a series of necessary work to improve efficiency of the works themselves. First, we create an object function to minimize the working time under the condition of the crops and human cost and the work-resistance of workers . It outputs the optimal working time using linear programming. Second, we propose a technique to extract a series of farming tasks, which depends on the growth of the crops from multiple farm data. In order to obtain these sequential data, we use data of real work history. Clustering based on the edit distance was performed to partial sequential data from different farming data and farming data. From the cluster which contains of the most amount of data we extract partial sequential data of the smallest workload. As a result, we are able to obtain more informative sequential data than the cropping type, which is the most widely used sequential data. Moreover, It has less workload than original data provided. Furthermore, the result of Spearman's rank correlation between the resulting sequential data and original farm sequential data is higher than

*Master's Thesis, Department of Information Science, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT1651048, March 14, 2018.

that of other sequential data from other clusters. Finally, the validity of the result was confirmed by a real farming worker.

Keywords: Farm work, Precision agriculture, Work planning, Dynamic programming method, operations research, agriculture and IT

目次

図目次		viii
表目次		ix
第 1 章	はじめに	1
1.1	背景	1
1.2	研究目的	1
1.3	関連研究	2
1.3.1	農作業における作業最適化手法	2
1.3.2	オペレーションズリサーチにおける最適化手法	2
1.4	本稿の構成	3
第 2 章	基本的知識	4
2.1	農作業	4
2.1.1	圃場	4
2.1.2	作型	4
2.2	作業強度	5
2.3	データ, アルゴリズム	6
2.3.1	クラスタリング	6
	k -medoids 法と k -means 法	6
2.3.2	編集距離	7
2.3.3	スピアマンの順位相関係数	8
第 3 章	提案手法	9
3.1	基本的な考え方	9
3.2	提案手法 1: 線形計画法を用いた農作業の最適化	10
3.2.1	手法	11
	目的関数	11

	計算量	12
3.2.2	実験	13
	実験内容	13
3.2.3	実験結果	14
3.2.4	小括	15
3.3	提案手法 2: 実データからの作業系列取得	16
3.3.1	代表系列を作るための集約方法	19
	データの性質を考慮した評価方法	20
	作型と作業ごとの作業時期の一致	20
3.3.2	評価実験	21
	目的	21
	実験設定	21
	農作業データ	21
	作業強度	22
	評価	22
3.3.3	クラスタリング	23
3.3.4	評価方法	23
	連続データの除去	23
	クラスタリング結果と作業強度比較による代表系列選択	24
	代表系列の評価結果	24
3.3.5	小括	28
	今後の展望	28
	今後の課題	29
第 4 章	総括	30
4.1	今後の展望	30
4.2	今後の課題	31
謝辞		32

参考文献	33
発表リスト	35

図目次

2.1	作型の例	5
3.1	作業計画最適化のための手順	10
3.1	共通データ作成例	16
3.2	共通データ作成方法	19
3.3	k-medoids 法による代表系列作成	20

表目次

2.1	RMR の値と作業の分類	6
3.1	作業情報と作業内容情報	11
3.2	作業情報と作業内容情報	13
3.3	f(w) の実行結果 (小数点第 2 位で切り捨て)	14
3.4	サンプルデータ: 圃場 A で行った作業履歴	17
3.5	サンプルデータ: 圃場 B で行った作業履歴	17
3.6	サンプルデータ: 圃場 C で行った作業履歴	18
3.7	サンプルデータ: 圃場 A と圃場 B の作業履歴集約	18
3.8	各圃場名と各作業数	22
3.9	作型から抽出した作業区分	23
3.10	熟練の作業による作業と作業時期のアノテーション	25
3.11	各圃場名と除去後のデータ数	26
3.12	各圃場名とデータ数 (下線部は圃場データ)	26
3.13	Cluster2 の作業系列ごとの作業強度と系列数	26
3.14	各データとスピアマンの順位相関係数 (小数点 5 位以下切り捨て)	27
3.15	作業系列ごとの作業強度と系列数	28
3.16	field 1and field 22 の時系列順作業データの作型とアノテーション データの作業時期	28

第 1 章 はじめに

1.1 背景

日本における農業の現場では農作業の従事者は平均年齢 67 歳，高齢者の割合が 64.6% [6] と高齢化が進んでおり，従事者の身体への負担が大きい農作業の軽減が求められている．これらを解決するため，農作業の軽減技術とロボティクス分野における作業軽減と作業計画を最適化することにより不要な労働を減らし，労働力を削減する手法が考えられている．ロボティクス分野における作業軽減の方法として，これまでに農作業の機械化，パワーアシストスーツによる作業補助に関する研究が盛んに行われている [15] [16]．対して，作業計画を立てる際考慮すべき制約条件は，天候条件，田畑の位置関係，作業内容，作業能率など，多種多様である．これらの制約条件は，大規模農業で用いられるビニールハウスや暖房器具の活用によって取り除くことができ，温湿度などの条件がすべて管理された上での研究が進められている．

農作業の補助や自動化が行われているが，人手により行われる農作業は日本の圃場の特性より残ると考えられる．そのため，人手で行われる作業の軽減は必要であると考え．そこで本研究では，人手により農作業を行うとき，作業負担の少ない農作業計画を作成する方法について提案する．

1.2 研究目的

本研究は，作業軽減を目的とした作業計画のうち，必要となる手順に関して二つの手法を提案する．農作業計画の負荷軽減を農作業計画によって行う際，以下の手順を踏むことが必要である．

手順 1 作業を行わなかった場合の損失を考慮した作業時間を出力

手順 2 作物の成長度合いによって行う作業系列の取得

第一の手法として目的関数を設定し計算量が膨大となることを確認したものである．これによって，今後の作業内容だけではなく，作業の候補選定条件を考案するための足がかりとして考案する．第二に実際の作業データを集約し，クラスタリング手法を用いることで，標準的な作業データを抽出することを目的とする．

1.3 関連研究

1.3.1 農作業における作業最適化手法

Fowler らは，大規模農業での灌漑に関するについて，作業内容の最適化を行っている．これは，大規模農業での農作業の最適化に関する研究である．また農機具の田畑勘移動の距離最適化に関する研究として，野口ら [7] は圃場内での農機具の動きを数理モデル化し，福知山市と和知町の圃場データを用いて，遺伝的アルゴリズムによって農作業の最適化を行い圃場の数が多い場合に有効であることを明らかにしている．また，大土井らの研究 [8] では，最適経路生成法を確立することを研究の狙いとしており，ニューラルネットワークによって記述されたシミュレータを前進・後退について作成し，遺伝的アルゴリズムにより作業経路を計画している．また目標地点までの経路を複数のセグメントに分割する方式で，圃場内移動の最短経路を得ることを可能としている．

1.3.2 オペレーションズリサーチにおける最適化手法

オペレーションズリサーチとは複数の運行や操作を数学的または統計学的な手法やアルゴリズムを用いて効率良く行うことが可能となるようにシミュレーションをすることを指す．オペレーションズリサーチにおける最適化手法として線形計画法，非線形計画法 [1]，動的計画法 [2] 等が知られている．これらの研究では，農作業リストとその順序が与えられたとき，最も低い労力で農作業を行う手順を出力することができる．

これらの最適化における問題点は，農作業に関するデータを得ることが難しく，

不完全なデータしか得ることができないため、そのまま適用することが難しい点である。線型計画法などでは、完全な情報が与えられたときに、はじめて適切な農作業を選ぶことができる。ところが実際には、作業検出のミスや作業結果記録の欠落など、十分な元データを得ることができない場合が多い、そのため、そのままこれらの最適化手法を用いることが難しい。

1.4 本稿の構成

以下、本論文では、農作業計画の最適化手法について述べる。第2章では、本研究に関する農作業やアルゴリズムなどに関する基礎的な知識について述べる。第3章では、我々が考案した手法として、作業効率の高い作業計画の構築方法、および作物の成長度合いに応じて行う作業系列の取得方法について述べる。第4章で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

第 2 章 基本的知識

本章では，本論文を理解する上で必要となるキーワードや手法についての説明を行う．

2.1 農作業

2.1.1 圃場

圃場 (ほじょう) とは，作物を栽培する田畑のことを指す．一つの大きな農地があったとき，道路や農場などで区切られている場合があるが，本論文ではその一つひとつを圃場と呼ぶ．

圃場とは区切られた農地を指す．同じ作物を同じ環境で，同じ圃場で生育するとき，同じ作業を行うことにより作物が生育すると考えられる．ところが圃場が異なるときには取水環境や日光照射量，土壌成分などは差異があるため，同じ農作物を育成していても必要な作業に差異が出る場合がある．多くの異なる性質を持つ圃場を管理しなければならないとき，圃場ごとに作物を管理する必要がある．

2.1.2 作型

作型とは，地域や季節に応じて異なる自然環境において，作物の経済的栽培を行うための、類型的技術体系である．図2.1*のように示される．花や野菜などについては農業研究機構[†]や，都道府県が所轄する農業試験場など，および種苗を販売するメーカーについて作成されていることが多い．ところが，これらの作型は播種（種まき）や収穫など重要な作業についてだけ記載されていることが多く，水やりや草

* 農研機構野菜茶業研究所研究資料第 5 号野菜の種類別作型一覧 (2009 年度版)

[†] 農研機構: <http://www.naro.affrc.go.jp/>

表2.1 RMR の値と作業の分類

RMR	作業強度
1.0 未満	極軽作業
1.0-2.0	軽作業
2.0-4.0	中等作業
4.0-7.0	重作業
7.0 以上	激作業

どにより異なると考えられる．ところが，作業者ごとに作業強度を適切に測定することは困難であることから，本研究では多くの作業者により測定された平均的な作業強度を用いる．

2.3 データ，アルゴリズム

2.3.1 クラスタリング

クラスタリングとは教師なし学習の一つである， n 次元のベクトルで与えられた点の集合を分類する手法である．本稿では特に，手法内で使用した k -medoids 法，および k -means 法について述べる．

k -medoids 法と k -means 法

k -means 法と k -medoids 法は教師なし学習であり，クラスタ分析手法のうち非階層クラスタリングにあたる．クラスタリングを行う対象の集合をデータ間の類似度や距離にもとづいて幾つかのクラスタに分けるための手法である． k -means 法はセントロイドを設定し，クラスタリングを行う．これに対して k -medoids 法では medoid と呼ばれるセンター点を設定する．は k -means 法と k -medoids 法は手法として類似しているが，クラスタ中心の設定方法が異なる． k -means 法は 2 乗距離によってクラスタ中心を設定する．これに対して， k -medoids 法は 1 乗距離でクラ

スタ中心を適用するため、はずれ値の影響が少なく、類似度ではなく、各データに対して距離が定められている距離であれば適用できる。また、時系列データの部分的時系列の抽出方法として部分時系列クラスタリングが知られている。subsequence time-series clustering (STSC) と呼ばれる。これはある時系列データから複数個の部分系列を生成し、各部分時系列データをそれぞれ独立したベクトルとしクラスタリングを行い、クラスタの中心を時系列データにおけるパターンの一つをして抽出する手法である。しかしながら、 k -means 法のクラスタリングは連続時系列データでの抽出を行う際に k -means 法のクラスタ中心が入力時のベクトルとは無関係の独立したベクトルを出力することが Keogh ら [18] によって示されている。

2.3.2 編集距離

編集距離 [3] とは、文字列の類似度を測定するための指標として用いられている。二つの文字列が与えられたとき、ある一方のテキストの部分を削除、挿入を行いもう一方のテキストを作成するための最小の手順を距離として表現したものである。例えば、二つのテキスト $t_A = \text{"abcde"}$ と $t_B = \text{"ebcda"}$ が与えられたとき、 t_A について最初の “a” と最後の “e” を削除し、最初に “e”、最後に “a” を付け足すことによって t_B を作成することができるため、4 個の手順によって文字列を変換することができたと考え、編集距離は 4 と算出することができる。

編集距離には様々な定義があり、置き換えることを距離 1 とする場合もあれば 2 とする場合もある。つまり、ある文字を別の文字に置き換える場合には、最初に文字を削除し別の文字を追加することにより実現できるため、二つの手順が必要であると考えれば編集距離は 2 となる。一方で、文字の置き換えを一つの手順であると考える場合には、編集距離は 1 となる。

本研究では、一つの圃場において行われた作業手順の流れをテキストとみなし、複数の圃場における作業手順の差異を測定する方法として用いている。

2.3.3 スピアマンの順位相関係数

スピアマンの順位相関係数 [5] は、順位付きリストが二つ与えられ、その二つのリストにおける要素が共通するとき、そのリスト相互がどの程度相関関係があるかを示す値である。

例えば、歌の人気順が二つあり、一つはカラオケでよく歌われる曲の順位、もう一つは CD として売れた曲の順位であったとする。二つの順位相関係数が高い場合には、カラオケで売れる曲と CD で売れる曲は似ていることを表しており、低い場合には異なる曲がそれぞれのときに売れていることを表している。

スピアマンの順位相関係数 ρ は以下の式で表すことができる。

$$\rho = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2.3.1)$$

この時、順位付きリスト X と Y における要素 d の順位の差を、 n は値のペアの数を示している。

第 3 章 提案手法

本研究では、農作業の最適化を行うために手法 1，手法 2 の二つの方法を提案する．1 つ目の手法として，作物及び人的コストと作業者の作業耐性を制約とする作業時間の最小化を行う目的関数を設定し，線形計画法を用いて最適な作業時間を出力する．

また，2 つ目の手法として複数の圃場データから作物の成長度合いに応じた農作業系列の抽出を行うための手法を考案した．この系列データの取得方法に関してはまず，実際の作業履歴データから系列データを抽出する．異なる圃場データと圃場データから生成した部分系列データを編集距離を用いたクラスタリングを行い，クラスタの中で圃場データを最も多く含むクラスタから，作業負荷の小さい系列を 1 つ抽出する．その結果，これまでの一般的に知られている作業系列である作型よりも詳しくかつ，他の作業系列よりも労働負荷の少ない作業系列が得られた．

3.1 基本的な考え方

農作業の負荷軽減を行うことが可能な作業計画を，以下の手順で出力する．

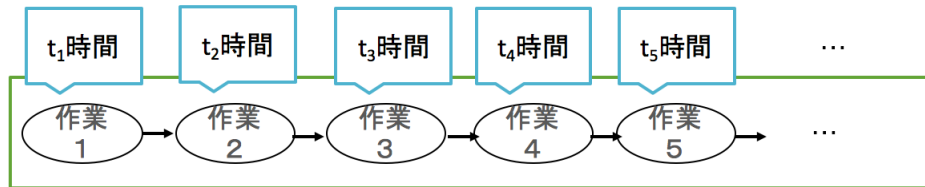
手順 1 作業者の体力を考慮したうえで作物にかかるコストを最小化する作業時間を出力

手順 2 作物の成長度合いによって行う作業系列の取得

まず，作物の成長度合いに対して行う作業系列を取得し，その作業系列に含まれる作業それぞれに作業時間を出力する．本稿では手順 1 に対して，作業者の作業強度と作業可能時間，作業可能強度に対して作業計画法を示した提案手法 1 を，手順 2 に対して従来使用されていた，作業系列である作型よりもより詳細な作業手順系列を取得する提案手法 2 を示す．提案手法 1 は 3.2 節，提案手法 2 は 3.3 節に示す．

提案手法1: 作業者の体力を考慮したうえで作物にかかるコストを最小化する作業時間を出力

提案手法2: 作物の成長度合いによって行う作業系列の取得



複数の作業を含む農作業計画は先行研究にはない

図3.1 作業計画最適化のための手順

3.2 提案手法 1: 線形計画法を用いた農作業の最適化

本研究では、動的計画法を用いて農作業の最適化を行う方法について述べる。ここで最適な作業計画とは、それ以上作業を行わないと作物が十分生育しない最低限の作業計画であると定義する。

この作業計画を立てるため、時間、労力、および作物への影響の三つの要素を考える。ある作業を行ったとき、作業者の時間および労力を消費する。一方ある作業を行わなかったとき、作物が枯れる、必要とする農作物が得られないなどの影響があると考えられる。このとき、最適な作業計画は、作業者の必要な時間および労力が一番小さく、さらに作物への影響が最小限に抑えられる場合であると考えられる。

そこで本手法では、農作業をどの程度行うのか、農作物にどの程度影響を与えるのかについて目的関数を設定し、作業者ごとの作業時間をグリッドサーチにより変化させることにより、最適な農作業計画を得ることを考える。

表3.1 作業者情報と作業内容情報

作業者情報	
作業人数	h
作業可能時間	$\boldsymbol{w} = \begin{pmatrix} w_1 & \cdots & w_n \end{pmatrix}$
作業可能強度	S
作業内容	
作業数	n
作業名	$\boldsymbol{fname} = \begin{pmatrix} name_1 & \cdots & name_n \end{pmatrix}$
作業強度	$\boldsymbol{s} = \begin{pmatrix} s_1 & \cdots & s_n \end{pmatrix}$
必要作業時間	r

3.2.1 手法

目的関数

最適な作業時間 w を求めるため、目的関数 $f(w)$ を以下のように定める.

$$f(w) = a(w) + b(w) + c(w) \quad (3.2.1)$$

なお $a(w), b(w), c(w)$ は以下のように定義する.

$$a(w) = \begin{cases} \sum_{i=0}^n |(r - w)| \cdot P & (\sum_{i=0}^n (r - w) > 0) \\ 0 & (\sum_{i=0}^n (r - w) \leq 0) \end{cases} \quad (3.2.2)$$

$$b(w) = \begin{cases} 0 & (\sum_{i=0}^n (r - w) \leq 0) \\ \sum_{i=0}^n |(w - r)| \cdot S & (\sum_{i=0}^n (r - w) > 0) \end{cases} \quad (3.2.3)$$

$$c(w) = \begin{cases} \sum_{i=0}^n |(r - w)| \cdot W & (\sum_{i=0}^n (r - w) > 0) \\ 0 & (\sum_{i=0}^n (r - w) \leq 0) \end{cases} \quad (3.2.4)$$

P は作物ごとの一定時間あたりに生じるロス, W は作業者ごとの一定時間あたりに生じるロスを示す. また, ここで示すロスとは, 作業をしなかった場合に生じる経済的損失を想定している. なお, 式 (3.2.2) は作業必要時間に対して作業時間が短い場合に生じる作物にかかるロスを算出するものである. 作業必要時間と作業

時間の差に作物毎に定義したロスを重みとして付ける．式 (3.2.3) は作業者が耐える作業強度が実際の作業強度を下回った場合にかかる荷重労働の度合いを算出したものである．ここで示す作業強度とは作業毎に生じる身体的な負担を示す．算出した作業時間に対して作業の度合いを示したものである．式 (3.2.4) は作業できたにも関わらず行わなかった時間の人件費の損失を人員毎に表す．作業必要時間に対して作業者ごとに生じる人件費のロスを算出する．以上，式 (3.2.2)(3.2.3)(3.2.4) の 3 式の和を目的関数とし，この値が最小になる場合の w を最適解として算出する． $a(w), b(w), c(w)$ で得られた値に対して，とりうる値の範囲を調整するために，スケーリングを行った．グリッドサーチ法で各パラメータから得られた値に対して， $a(w)$ であれば $a(w)$ の最小値を $a(w)_{min}$, $a(w)$ の最大値を $a(w)_{max}$ としたとき，

$$\hat{a}(w) = \frac{a(w) - a(w)_{min}}{a(w)_{max} - a(w)_{min}} \quad (3.2.5)$$

の式から各格子点の $\hat{a}(w), \hat{b}(w), \hat{c}(w)$ を求めその和を $f(w)$ とした．以上の操作から関数から得られた値を標準化し， $N(0, 1)$ の正規分布に従った値を使用した．

例えば， $n = 1, h = 1, r = 3, s_1 = 1, P = 1, W = 2$ であるとき， $a(w) = 3 - w_1, b(w) = w_1 - 3, c(w) = 2(3 - w_1), f(w) = (3 - w_1) + (w_1 - 3) + 2(3 - w) = 2(-3 + w_1)$ となる．

各作業の作業時間パラメータに対して，格子点を 0.5 時間刻みで引き，その格子点の目的関数の値を評価することで $f(w)$ が最小となる値を導出し，出力として得た．

計算量

本手法では，グリッドサーチ法で設定した格子点ごとに目的関数を算出する．そのため，作業時間とグリッドサーチで設定した格子点に比例して計算量が大きくなる．そのため，グリッドサーチで設定した格子点の数を k としたとき本手法の計算回数は k^n 回となる．実際に計算した場合を考えると，例えばレタスの作業を例に挙げると 25 程度の作業がある．合計 8 時間の作業をするとして 0.5 時間刻みでグリッドを引いた際，格子点の数 k は $(8/0.5) * (8/0.5) = 256$ となる．このす

すべての作業について計算した際、 256^{25} 回となる。このとき、さらに圃場を複数とすると計算回数は $(256 \cdot \text{圃場数})^{25}$ 回となる。さらに複数人で作業を進めていた場合、より大きな計算量となるため作業計画を立てる際に膨大な処理時間がかかることになってしまうことが予想される。次の実験で計算時間の算出と、農作業の最適な作業時間を求める。

3.2.2 実験

本節では提案手法の計算手順とその計算時間をまとめる。今回は最適値を出力するための実験と作業数ごとの計算時間を出力する実験を行った。

実験内容

実験内容について本節ではまとめる。

- 実験環境
作業者情報と作業内容情報の二つのデータセットを表 3.2 のように与えた。
- グリッドサーチ

表3.2 作業者情報と作業内容情報

作業者情報	
作業人数	$h = 1$
作業可能時間	$w = 3$
作業可能強度	$S = 3$
作業内容	
作業数	$n = 1$
作業名	$fname = \begin{pmatrix} A & B \end{pmatrix}$
作業強度	$s = \begin{pmatrix} 1 & 2 \end{pmatrix}$

グリットサーチにおける格子点の 刻み幅を 0.5 時間とし，最も $f(w)$ の値が小さくなる格子点を最小の組み合わせであるとして最適な作業毎の作業時間を求める．各格子点の座標の組み合わせの出力において 2 次元配列であるとし，行を A，列を B の 0.5 刻みの格子点ごとに $f(w)$ の値を出力した．

3.2.3 実験結果

実行結果は表3.3のようになった．作業可能時間に近い時間でかつ作業強度が作業者の限界に近い値をとる作業分の作業を行うことができたとき，最適な作業時間であるといえる．3.2で示した入力データでは作業者のデータでは作業可能時間 $w = 3$ ，作業強度 $S = 3$ とし，作業強度を $A = 1$ ， $B = 2$ と与えている．作業者が何時間でも作業ができる場合は，すべての作業必要時間を行うことができるが，作業者が 3 時間のみしか作業が出来ず，作業強度が 3 までしか耐えられないため，作業時間に制約がある．これより，本手法では制約条件を考慮して最適な作業時間は $A = 1$ ， $B = 2$ であると予想できる．表3.3 では，A と B のそれぞれの作業時間毎に目的関数 $f(w)$ の値を出力している．実行結果から A が 1 時間，B が 2 時間のときの $f(w) = -2.25$ が最小値となっている．以上の結果からこの時が最適な時間であると示すことが出来た．

表3.3 $f(w)$ の実行結果 (小数点第 2 位で切り捨て)

A \ B	0	0.5	1.0	1.5	2	2.5
0	0.35	0.09	-0.17	-0.43	-0.69	-0.43
0.5	-0.43	-0.69	-0.95	-1.21	-1.47	-1.21
1.0	-1.21	-1.47	-1.73	-1.99	-2.25	-1.14
1.5	-0.43	-0.69	-0.95	-1.21	-0.72	0.39
2.0	0.35	0.09	-0.17	1.91	0.80	1.92
2.5	1.13	0.87	4.56	3.44	2.33	3.44

3.2.4 小括

本手法は、これまで不確定要素とされてきた気候・天候、また個人の作業能率などのデータを評価するための農作業計画の最適化における候補選定手法を示すために、目的関数を設定し計算量が膨大となることを確認したものである。これによって、今後の作業内容のみならず、農作業の候補選定条件を考えるための足がかりとなりえる。天候、人的資源などの要素を考慮する際に計算量が膨大となってしまうことを原因としてこれらを踏まえ、本研究ではこれまで不確定要素であるとされてきた気象や天候、人的資源に関するデータのうち、人的資源に関するデータを作業計画に用いることが可能となる。本手法では作業可能時間や人間の作業可能強度を農作業計画の最適化における候補選定に役立てるための数理モデルを考案した。手法として、作業内容と作業選定方法、作業強度などの入力を用いて目的関数を設定、これをある制約条件に基づいて候補を選定できる意思決定システムとして考案した。この農作業計画の最適化における候補選定アルゴリズムを用いることで農作業の身体的な負荷の軽減、人件費などの人的コストの削減を期待することができる。今後の課題として以下の点を挙げる。

入力データ 本研究では、作業員 1 人と作業内容 2 つというアルゴリズムを構築した、これを実データにて応用する際には複数の作業員とより多くの作業内容が必要になる。また、実際の農作業は 1 日のうち複数回の田畑で作業することは多いため、それらの状況を考慮した実験をする必要があるといえる。

計算量の削減 本手法では、人的資源を作業数の中に組み込む際に、計算量が膨大となることを確認した。計算量を減らすためには制約条件を設けることが考えられる。

検証実験の必要性 本手法では実現の可能性を見つけるためのものであり、検証実験は行っていない。この手法を実現するためには、本研究がアルゴリズムとして適切であることを確かめるために実際の農作業にて適用する必要がある。

パラメータの設定 ロスを設定する際のパラメータは今回シミュレーションデータを用いたが具体的なパラメータを設定する方法が今後の課題である。

3.3 提案手法 2: 実データからの作業系列取得

本手法では、複数の圃場で共通して行われる作物の成長度合いに対応して行う農作業時系列データのパターン取得を目的とする。欠損や誤りのある系列データが、収穫後に定植を行うなどの作型とは異なる順序を含む作業履歴データを入力とし、出力として圃場の違いに関わることなく行われる農作業の時系列データを取得する。代表系列は圃場の作業履歴から生成したデータをクラスタリングし、作業強度の最も小さくなるパターンを選ぶことによって得る。

これによって、作業履歴データが定植から収穫までのデータを含んでいない圃場データがあった場合であっても代表系列を抽出することが可能となる。

ここで、図3.1に例を示す。

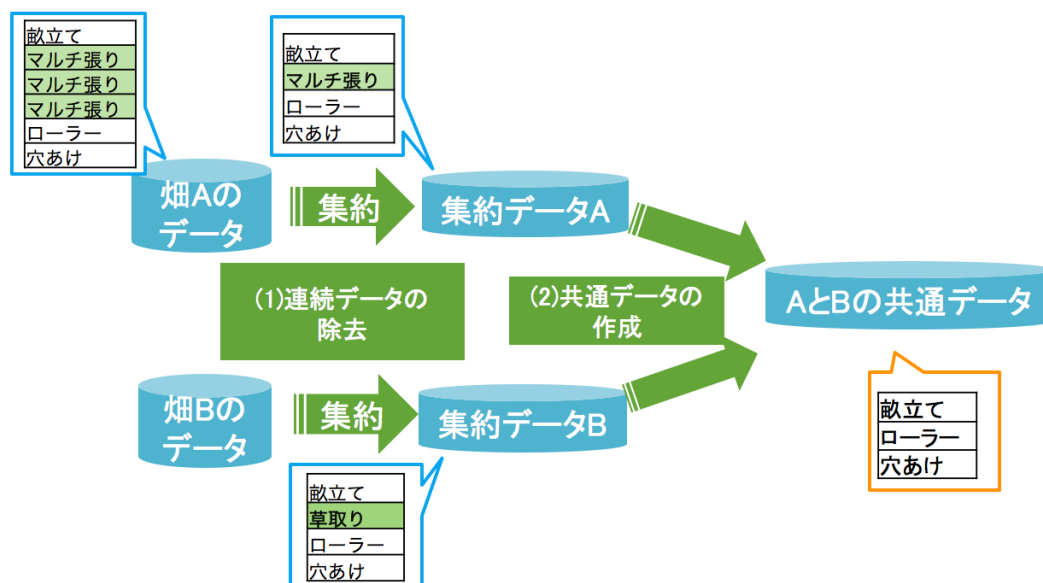


図3.1 共通データ作成例

圃場 A では表 1(a) の作業履歴、圃場 B では表 2 の作業履歴が取得されていたとする。これらの作業履歴は欠損している場合もあり、全ての作業が必ずしも記録されているわけではない。

このような複数の圃場データより、表 3.3のような代表系列を作成する。表 3.3 は、圃場 A と圃場 B の両方で行われている作業を集約したものである。代表系列には、圃場 A と圃場 B に共通した作業のみが並んでいる。圃場 C を表 3.3に示す。この例では収穫が記録されていない。ところが、圃場 A や B など他の圃場の記録されている農作業として記載されているため代表系列には記載する必要があると考える。一方、水やりや草取りなどは作物の成長度合いに関わらず行う作業である。その順序や頻度が代表系列には必要でないとみなし、本手法では代表系列から排除すべきであるものとみなす。

表3.4 サンプルデータ: 圃場 A で行った作業履歴

作業	日時
代掻き	5/29
定植	5/30
灌漑	6/1
草取り	6/2
灌漑	6/3
肥料	6/4
収穫	6/20

表3.5 サンプルデータ: 圃場 B で行った作業履歴

作業	日時
代掻き	6/ 8
定植	6/10
防除	6/12
灌漑	6/17
植える	6/19
収穫	6/30

表3.6 サンプルデータ: 圃場 C で行った作業履歴

作業	日時
定植	6/19
灌漑	6/10
草取り	6/12
灌漑	6/17

表3.7 サンプルデータ: 圃場 A と圃場 B の作業履歴集約

定植
灌漑
草取り
収穫

3.3.1 代表系列を作るための集約方法

標準型を作成するための集約方法について述べる．本手法の集約手法では以下の手順をとり，代表系列を作成する．

1. 作業履歴データの分割
2. 圃場データごとの成型
3. データの共通する部分の抽出
4. 共通データの集約
5. 編集距離を用いた k-medoids 法によるクラスタリング
6. クラスタ内の系列より作業強度をもとに代表系列を選択

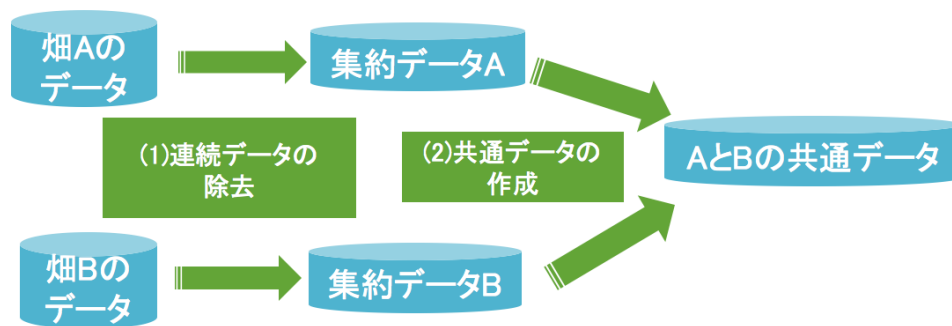


図3.2 共通データ作成方法

まず，図3.2のように，作業履歴データから各圃場で行われたデータ毎にデータを分割する．次にデータを作業の時系列を損なわない程度に連続する作業内容を削除する．例えば，収穫のようにある一定期間行われる作業を1つにまとめる．このようなある一定期間行われている作業を削除したとしても重要な情報である作業種類のデータの情報は損なわれない．このとき，作業種類別に最初に行われた作業の

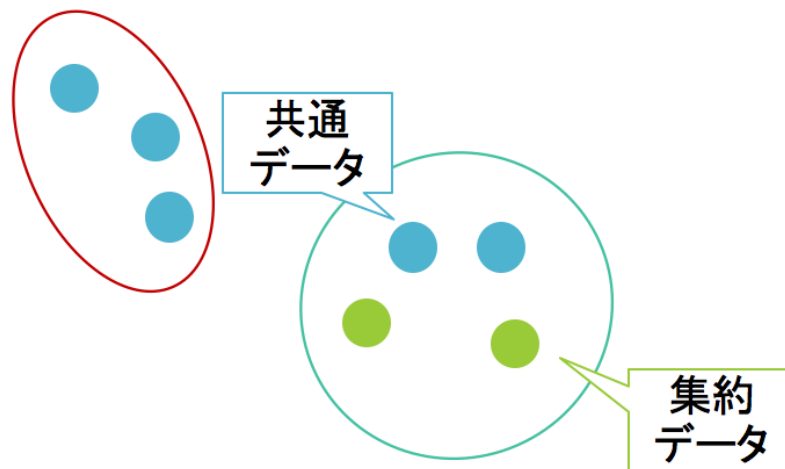


図3.3 k-medoids 法による代表系列作成

みを抽出する。続いて、作業データの共通する部分を取り出し共通データを作る。その後、抽出した共通データと連続データを削除した圃場データを k-medoids 法によって似ている作業系列ごとにクラスタを作る。

実データと集約データで構成されるクラスタのうち、実データを多く含むクラスタを選択する。このとき選択したクラスタに含まれる集約データに着目する。集約データのうち作業強度の総和が最小である系列を代表系列として抽出する。(図3.3)

データの性質を考慮した評価方法

本手法で使用するデータは時系列を伴うカテゴリカル変数である。時系列表現とカテゴリカル変数であるということから、それぞれの時系列データの異なり具合をスピアマンの順位相関係数をもちいて評価する。

作型と作業ごとの作業時期の一致 代表系列で得られた農作業データの時系列と作業時期が妥当であるか検証する。10 年以上対象となる作物を育てた経験のある熟練

の農業従事者に農作業を行う時期を推定していただいたデータを用いる。代表系列の時系列と時系列データの作業時期の並びを比較し、妥当な系列が代表系列となっているか検証を行う。

3.3.2 評価実験

今回行った実験によって作業の工程を示す。今回の実験では、提案手法の実装手順を実際の農作業データに適用しデータの集約が精度良く行われているかどうかを示した。

目的

今回行った実験では今回用いた手法を用いて代表作業系列の抽出を行う。圃場データ毎から時系列データを生成し、クラスタリングと作業強度の比較によって作業強度が小さく系列を代表系列とする。これにより圃場ごとの特性を排除し、各圃場に共通して行われている作業の系列を抽出できていることを検証する。

実験設定

提案手法を実際の作業データに適用し、代表系列を抽出する。今回行った実験に用いた農作業データ、作業強度、評価データと評価手法について示す。

農作業データ

本実験で用いた農作業データは、長野県のレタスを栽培する農業団体から得たデータである。レタスのみを栽培する圃場ごとに作業時系列としてデータを分割した。対象となる圃場は作型に含まれる作業のうち、定植と収穫を含む圃場を今回用いた、レタスを栽培する四つの圃場は 2016/7/20-2016/12/20 の期間に、作業者によって収集されたものである。各圃場名と各圃場の作業数は表3.8 に示す。

表3.8 各圃場名と各作業数

圃場名	各作業数
field1	53
field2	112
field8	80
field22	33

作業強度

作業強度に関しては農作業学会が配布する農作業強度表を元に各作業に対してアノテーションを行った [16]. これは農作業に関して, RMR を用いて各作業の強度を評価したものである.

評価

評価に関しては得られた代表系列に対してスピアマンの順位相関係数を用いて各圃場との相関を見ることによって代表系列の妥当性を見た. また, 得られた代表系列に対して熟練の農作業従事者による作業系列の妥当性を示したデータを元に, 代表パターンを評価した. 作型から抽出した期間名を表3.9のように示す. 今回用いたデータは作型から期間名を考慮する. 作型は実際の圃場データに用いた地方と同じ気候に属し, 同じ季節に同種類の農作物を育成する作型を使用する. term は蒔種, 育苗, 定植, 本圃生育期間, 収穫からなり各作業ごとに term1-5 とする. 成長度合いごとに行うべき作業区分は以下のように示すことができる. 生育週は種を植えてから何周目なのかを表す. 例えば育苗であれば 1 週目から 6 週目にかけて育苗時に行う作業を示している.

この作型から抽出した期間名を元に, レタスを栽培する他地方の熟練の作業従事者にアノテーションを依頼した. (表 3.10) これは各農作業が表 3.9 における term1-5 のどの時期に行われたのかを表している. 例えば収穫とその後の作業である term5 では, 収穫とマルチ剥ぎを行う. 作業時期が定まっていない作業は term99 としている.

3.3.3 クラスタリング

本実験では、圃場の連続データを削除した 4 系列とそれら 2 系列の共通する部分を抽出した 6 系列をクラスタリングする。今回クラスタリング手法として、編集距離を距離とする k -medoids 法の 1 手法である PAM を用いた。また、クラスタリングを行う際、事前にクラスタ数を任意の数で設定する必要があるがクラスタ数を 1-6 に設定しそれぞれ medroid からそのクラスタに属するデータ間距離の総和をとり、この総和の減少率を元に決定する。この際決定したクラスタ数で再度 k -medoids 法を適用し多くの実データと、集約データを含むクラスタから最も作業強度の小さい系列データを代表系列とする。

3.3.4 評価方法

連続データの除去

レタスの栽培を行っていた 4 圃場に対して実データ数と連続データの除去後のデータは表 3.11 のようになった。各圃場に対して連続データを削除し、各作業データ毎に時系列順に抽出した結果である。

表3.9 作型から抽出した作業区分

term	期間名	生育週
1	蒔種	1
2	育苗	1-6
3	定植	7
4	本圃生育期間	8-15
5	収穫	16-21

クラスタリング結果と作業強度比較による代表系列選択

k -medoids 法によって、表 3.12 の結果が得られた。クラスタを比較すると実データである field2, field22 が含まれている Cluster2 の集約データの中に代表系列が含まれていると考えられる。このとき、Cluster2 に含まれている集約データは field 1 and field 2, field 2 and field 22, field 8 and field 22, field 1 and field 22 である。この 4 系列の作業強度を比較し、最も作業強度が小さくなる系列を代表系列として選択する。Cluster2 に関して作業強度を比較すると表 3.13 が得られる。これより、最も作業強度が小さい field 1 and field 22 が代表作業系列として得られた。

代表系列の評価結果

圃場データと連続データの相関を表 3.14 として以下に示す。相関係数としてスピアマンの順位相関係数を用いた。代表系列として得られた系列を太字で示している。このとき、代表系列として得られた field 1 and field 22 の相関係数を比較すると、field 8 and field 22 と同じ相関係数の値を示しているが表 3.15 において作業強度を比較すると field 1 and field 22 の作業強度がより小さな値を示しているため field 1 and field 22 の方がより代表作業系列として適していると考えられる。また、表 3.16 に代表作業系列を示す。アノテーションデータと比較したときマルチ張りの作業以外の時系列は妥当であるといえる。作業時期の異なる term2 のマルチ張りのデータは field 1 で行っていた次期のレタスを栽培するための作業が混合したためであると考えられる。代表系列として得られた field 1 and field 22 の系列は field 1, field 22 との相関が他の系列に比べ高いが、これは field 1 と field 22 の系列を集約しているため、当然であるといえる。これに加え、field 8 と field 22 に対しても他の集約系列に比べ高い相関を示している。また、熟練の熟練の従事者によって作業時期を推定したデータと field 1 and field 22 を比較しても一部次期の作物を栽培するために作業であるマルチ張りが含まれている。しかし、他の作業系列は作型と比較しても妥当な同じ作業時期を示しているため、代表作業系列として妥当であるといえる。

表3.10 熟練の作業者による作業と作業時期のアノテーション

term	作業名
1	ローラー
1	蒔種
2	施肥 (元肥)
2	ロータリー
2	畝立て
2	マルチ張り
2	穴あけ
2	サブソイラー
3	定植
4	パスライト掛け
4	草取り
4	ビーバー
4	防除
5	収穫
5	マルチ剥ぎ
99	移動
99	見回り
99	散水
99	その他
99	石拾い
99	整備
99	地域活動
99	パスライト剥がし
99	トリミング

表3.11 各圃場名と除去後のデータ数

圃場名	データ数	除去後データ数
field1	53	13
field2	112	15
field8	80	15
field22	33	14

表3.12 各圃場名とデータ数 (下線部は圃場データ)

クラス名	実データ	集約データ
Cluster1	field1	1 and 8
Cluster2	field2,field22	1 and 2 ,2 and 22, 8 and 22, 1and 22
Cluster3	field8	2 and 8

表3.13 Cluster2 の作業系列ごとの作業強度と系列数

作業系列	各作業強度
field 1 and field 2	24.6
field 2 and field 22	22.8
field 8 and field 22	19.5
field 1 and field 22	16.1

表3.14 各データとスピアマンの順位相関係数 (小数点 5 位以下切り捨て)

	field 1	field 2	field 8	field22	1 and 2	1 and 8	1 and 22	2 and 8	2 and 22
field 2	0.4732								
field 8	0.5011	0.5911							
field 22	-0.2409	0.7554	0.3516						
field 1 and field 2	0.423	0.7768	0.6054	0.7253					
field 1 and field 8	0.8681	0.5679	0.6518	0.4549	0.3409				
field 1 and field 22	0.8434	0.7375	0.7500	0.7319	0.750	0.2738			
field 2 and field 8	0.6978	0.5768	0.8268	0.3956	0.5455	-0.3095	0.6909		
field 2 and field 22	0.8434	0.7375	0.7500	0.7319	0.8434	0.5476	0.8434	0.6182	
field 8 and field 22	0.7885	0.7857	0.6143	0.7099	0.8227	-0.0857	0.8227	0.7455	0.9429

表3.15 作業系列ごとの作業強度と系列数

系列名	作業強度	系列数
作型	-	5
field 1 and field 2	24.6	11
field 1 and field 8	13.8	8
field 1 and field 22	16.1	6
field 2 and field 8	22.6	11
field 2 and field 22	22.8	6
field 8 and field 22	19.5	9

表3.16 field 1and field 22 の時系列順作業データの作型とアノテーションデータの作業時期

作業名	作型との比較	アノテーションデータの時期
定植	term3	term3
防除	-	term4
草取り	-	term4
収穫	term5	term5
マルチ剥ぎ	-	term5
マルチ張り	-	term2

3.3.5 小括

今後の展望

クラスタリングによって複数の作業系列に分けることができたことより、同じ地域の圃場データを集約することによってその地域や作業団体毎に新しく作型を作ることができるようになる。また、今後進められる農業の自動化に関しても、屋内で育成することができない野菜の栽培やこれまで全自動で作ることができなかった果

物や作業工程の複雑で必要な作業工程の多い野菜の自動栽培にも作業系列が明らかになることで実用化の可能性が広がると考える。

今後の課題

結果の考察より，1 時期の作業だけではなく，次期の作業が含まれた状態の結果が出たことから，定植から収穫までのデータを推測する必要がある．今回用いたデータは 1 団体であり，同じ地域の 1 年分の作業データである．異なる作業者，地域，期間，作物等といった条件の異なるデータでの適用が求められる．作業の適性として作業内容を知るための要約手法を考慮する必要がある．新たに，天候や，圃場の土壌情報，作業者の適性を考慮する必要がある．

第 4 章 総括

本研究では、農作業計画の軽減を目的とした作業計画最適化のための 2 手法を提案した。本研究は、これまで不確定要素とされてきた気候・天候、個人の作業能率などのデータを評価するための農作業計画の作業軽減を目的とした最適化における候補選定手法を示した。

第一の手法として目的関数を設定し計算量が膨大となることを確認したものである。本手法では作業可能時間や人間の作業可能強度を農作業計画の最適化における候補選定に役立てるための目的関数を設定、これをある制約条件に基づいて候補を選定した。この農作業計画手法を用いることによって、農作業の身体的な負荷の軽減、人件費などの人的コストの削減を期待することができる。

第二の手法では複数の圃場で共通して行われる作物の成長度合いに対応して行う農作業時系列データのパターン取得を目的とし、検証実験では妥当な代表系列が得られている結果が示された。複数の農作業の成型していない収穫や定植の順序を含む作業履歴データを入力とし、出力として圃場の違いに関わることなく行われる農作業の時系列データを取得した。代表系列は圃場の作業履歴から生成したデータをクラスタリングし、作業強度の最も小さくなるパターンを選ぶことによって得た。

4.1 今後の展望

作業系列に関して報酬関数を設定し、強化学習を行うことができる。時系列データを確率モデル等のデータ生成手法を用いたのち機械学習により実際に栽培が可能である時系列データを分類し、最小強度のものを最適な時系列データとして得る手法が考えられる。また、本手法は農業分野に関わらず欠損データが多くまた未だデータの集積が十分ではないといえる林業や漁業といった分野にも活用が可能である。

4.2 今後の課題

提案手法 1 に関しては，計算量の削減，検証実験の必要性，入力パラメータの設定に関して課題が挙げられる．

提案手法 2 に関しては今回用いたデータは 1 年分の 1 作業団体のものであるであり，実験として作業データの堆積と多様な作業者データでの更なる実験が必要である．

また，2 手法に共通する課題として実際に実験結果から作業を行い圃場に適用できることを示すことが必要であると考ええる．

クラスタリングによって複数の作業系列に分割することができたことより，同じ地域の圃場データを集約することによってその地域や作業団体毎に新しく作型を定めることが可能となる．また，今後進められる農業の自動化に関しても，屋内で育成することができない野菜の栽培やこれまで全自動で作ることができなかった果物や作業工程の複雑で必要な作業工程の多い野菜の自動栽培にも作業系列が明らかになることで実用化の可能性が広がると考える．

謝辞

本学情報科学研究科の中村哲教授には、主指導教員として研究に対する貴重なご助言や情報提供をいただきました。研究内容のみならず研究に関する環境構築に至るまで手厚いご支援を頂き、心より感謝申し上げます。

本学情報研究科の安本慶一教授には、ご多忙中にも関わらず副指導教員として貴重なご助言をいただきましたことを感謝申し上げます。

本学情報科学研究科の鈴木優特任准教授には研究に関し右も左もわからない入学時から修論を執筆する際まで終始に渡り研究に関するご助言をいただきました。心より深く感謝申し上げます。

本学情報科学研究科の田中宏季助教には、副指導教員として研究内容から学会の発表練習に至るまでご助言を頂き感謝申し上げます。

本学情報科学研究科の須藤克仁准教授，Sakriani Sakti 特任准教授，吉野幸一郎助教には、研究に関する貴重なご助言や、様々な理論や手法への理解を深めるにあたってのアドバイスをいただきましたことを感謝いたします。

フューチャー株式会社の皆様のご協力なくしては本研究は成り立ちませんでした。心より感謝申し上げます。

本学知能コミュニケーション研究室の松田真奈美秘書，林美保秘書には、庶務の手続きを始めとし，お茶菓子や余った野菜の交換，焼き芋会用のさつまいも育成まで様々な面でお世話になりました。感謝申し上げます。

本学知能コミュニケーション研究室の皆様には感謝申し上げます。苦楽を共にし，研究に対する多くのご助言をいただきました。

最後になりましたが，今まで多大なる支援をいただきました家族，友人に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Nocedal, Jorge and Wright, Stephen J, “Numerical Optimization,” Springer,p250 - p274,(1999).
- [2] Cormen, T. H. Leiserson, C. E.Rivest, R. L.Stein, C,“Introduction to Algorithms (2nd ed.),” MIT Press , McGraw-Hill, p.344,(2001).
- [3] Gusfield, D. “Algorithms on Strings, Trees, and Sequences: Computer Science and Computational Biology,” Cambridge University Press, p.215-p223,(1997).
- [4] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. Friedman, “The Elements of Statistical Learning,” Springer , p468 -p469,(2001).
- [5] B. S. Everitt, A. Skrondal, “Cambridge Dictionary of Statistics,” the cambridge university press, p404 (2010)
- [6] 2015 年農林業センサス報告書, <http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/>
- [7] 野口伸, 石井一暢, 寺尾日出男,“ニューラルネットワークによる農用車両の最適制御（第 2 報）遺伝的アルゴリズムを用いた作業経路計画,” 農作業学会誌, Vol56:p83-p92,(1994)
- [8] 大土井克明, 笈田昭,“ 農作業計画の最適化に関する研究 (第 2 報) 圃場割り当ての最適化,” 農業機械学会誌,Vol63,No.2: p100 - p108,(1999)
- [9] M. Jurou,“Modelling and optimization for agricultural production systems:Systems, control and information ,” SYSTEMS, CONTROL AND INFORMATION, 54(4): p138 - p143,(2010).
- [10] K. Kenzo , H. Keiichi, K. Takashi, S. Tatsunori, “Work Scheduling Method by Applying Knowledge Engineering Supported by Mathematical Programming Technique,” 情報処理学会論文誌,30(8):p976 - p989,(1989).
- [11] 農林水産省,2015 年農林業センサス結果の概要（確定値）（平成 30 年 2 月 1 日現在） <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noucen/index.html>

- [12] M. Hirafuji , “Creating comfortable, amazing, exciting and diverse lives with CYFARS (CYber FARmerS) and agricultural virtual corporation, ” Proc. the Second Asian Conference for Information Technology in Agriculture,p424-p431.(2000)
- [13] Bennett, John McL. and Woodhouse, Nathan P. and Keller, Thomas and Jensen, Troy A. and Antille, Diogenes L, “Advances in cotton harvesting technology: a review and implications for the John Deere round baler cotton picker. , ” Journal of Cotton Science,Vol 19 (2). p225-p249. (2015)
- [14] Hae Sang Park, Chi Hyuck Jun,“A simple and fast algorithm for K-medoids clustering“,Expert Systems with Applications, Vol 36, Issue 2, Part 2,p3336-p3341,2009.
- [15] Masao Yoshida,“The Methodes of Understanding the Actual Condition of Agricultural Labour (I) , ” Japanese Journal of Farm Work Research ,Vol 32 (1): p67-p74.(1997).
- [16] Chika Tanimura, Miyoko Matsuo,“The Present Status of Physical Fitness,Health Status and Situation of Their Farm Work in Elderly Agricultural Laborers, ” Japan Academy of Nursing Science,27(2), p101-p110,(2006)
- [17] 各作業の作業強度による分類, 神奈川県農作業労働の合理化に関する試験成績書,http://www.jsfwr.org/fw_data/data/05-001.html,(1972).
- [18] E. Keogh, J. Lin, and W. Truppel. “Clustering of time series subsequences is meaningless: Implications for previous and future research. ,” In Proc. IEEE Intl. Conf. on Data Mining, p115 – 122. IEEE, (2003).

発表リスト

- [1] 小牧 真子, 鈴木 優, 中村 哲, “農業データと分析手法について”, 関西データベースワークショップ, KDBWS2016 2016.9
- [2] 小牧 真子, 鈴木 優, 中村 哲, “農作業計画の最適化における候補選定,” 人工知能学会全国大会, JSAI2017 2017.5
- [3] 小牧 真子, 鈴木 優, 中村 哲, “農作業データを用いたスケジュール細分化手法,” 関西データベースワークショップ, KDBWS2017 2017.9 (学生奨励賞)