

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04543

研究課題名(和文) 農業収益を最大化する統合的な農業意思決定支援方法の基礎理論の構築

研究課題名(英文) Developing a Basic Theory for Integrated Agricultural Decision Support Methods to Maximize Agricultural Profits

研究代表者

前田 康成 (Maeda, Yasunari)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：30422033

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、作物選択問題と栽培管理問題をマルコフ決定過程を用いて、1つの統合的な農業意思決定問題として解く。提案方法では、価格変動も考慮したもとの農業収益を最大化する。さらに、履歴データ不足の地域に対応するため、確率が未知のもとの農業収益を最大化する方法も提案した。また、異なる地域と異なる年代の組の間の類似度も定義した。提案した類似度を用いて、異なる地域と異なる年代の組の間の類似性を確認した。この類似度を利用することによって、地球温暖化の影響を受けた地域に適した新たな作物の発見が期待される。本研究で得られた数理工学の知見を、設備保全等の他分野に適用する検討も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の作物選択と栽培管理を分けた検討では、農業収益の真の最大化は不可能である。本研究では、作物選択と栽培管理を1つの統合的な意思決定問題として定式化し、収益の真の最大化を可能にした。近年、農業分野のデータの標準化やデータベースの構築が検討されているが、必ずしも整備は順調ではない。本研究の各種確率が未知の場合の農業意思決定方法によって、履歴データが存在しない(不足する)地域の収益最大化も可能になる。地球温暖化によって、以前は適切だった作物の栽培に適さなくなる地域がある。本研究で提案した異なる地域と年代の組の間の類似度は、当該地域での栽培に適した新たな作物の発見への応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this research, crop rotation problem and cultivation management problem are solved as one integrated agricultural decision problem using Markov decision processes. Agricultural profits are maximized in consideration of price fluctuations by the proposed method. In order to deal with areas where historical data is lacking, I also proposed a method to maximize profits when the probability is unknown. I also defined the similarity measure for the region and age pair. Using the proposed similarity measure, I confirmed the similarity between pairs of different regions and different ages. This similarity could lead to the discovery of new crops suitable for regions affected by global warming. I also considered applying the mathematical engineering knowledge obtained in this research to other fields such as equipment maintenance.

研究分野：統計的決定理論、知識情報処理、機械学習

キーワード：農業 作物選択 栽培管理 履歴データ不足 気候変動 マルコフ決定過程 動的計画法 ベイズ統計学

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

従来から、農業収益の最大化を目的として、栽培作物の選択問題や、既に植えられた(選択された)作物に対する日々の栽培管理(農薬散布等の農作業の選択)問題が検討されている。しかし、作物の選択問題と栽培管理問題は独立に検討されている。本来、作物の選択と栽培管理は統合的に検討すべきである。また、一般的に作物の市場価格は市場動向に従って変動する。よって、市場動向を考慮したもとの栽培作物の選択と栽培管理を統合的に実施し、農業収益を最大化する必要がある。

近年の情報通信技術等の発展に伴い、日本国内でも農業データの標準化や栽培履歴データ等のデータベース整備が検討されている。しかし、必ずしも、データベース整備が全国でまんべんなく順調に進んでいるとは限らない。少なからず、栽培履歴データが不足する(または存在しない)地域もある。本研究を含め、数理工学に基づく農業意思決定方法では栽培履歴データ等に基づいて収益を最大化するが、このような栽培履歴データが不足する地域の収益最大化の検討も必要である。

また、近年の地球温暖化に伴い、温暖化前は当該地域での栽培が適切だった作物の栽培に適さなくなった地域もある。このような地域では、新たに栽培に適した作物を発見する必要がある。

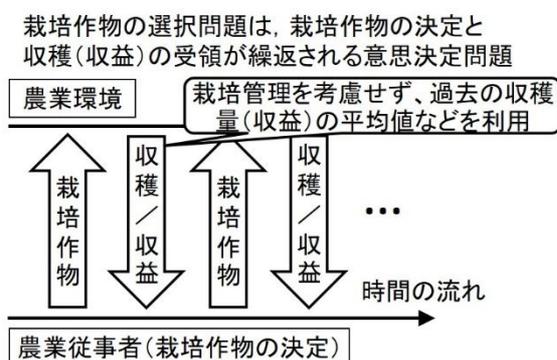


図1. 従来研究の栽培作物の選択

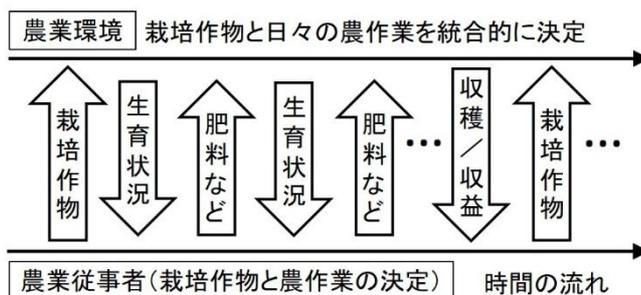


図2. 本研究の統合的な意思決定

2. 研究の目的

本研究では、作物の選択と栽培管理を1つの意思決定問題として統合的に検討することによる、農業収益を最大化する統合的な農業意思決定支援方法を研究対象とする。また、市場動向に従って市場価格が変化するモデルを採用し、市場動向を考慮した収益の最大化を可能にする。地域ごとの収益最大化のためには地域ごとのモデル化が必要になるが、履歴データの少ない地域も存在する。このような場合には、類似性の高い他地域の履歴データを有効活用し、履歴データの少ない地域の収益最大化も可能にする。また、地球温暖化で気候が変化した当該地域に対応するため、異なる地域と異なる年代の組の間での類似性を利用する。

3. 研究の方法

(1) 市場価格の変動を考慮した、統合的な農業意思決定支援方法

マルコフ決定過程を用いて、作物選択と栽培管理を統合した、統合的な農業意思決定をモデル化する。また、マルコフ連鎖を用いて作物の価格変動をモデル化する。両モデルを融合して、市場価格変動を考慮した、統合的な農業意思決定問題の期待収益最大化を統計的決定理論に基づき定式化し、期待収益を最大化する動的計画法によるアルゴリズムを提案する。

作物選択履歴/生育状況/市場状況で決まる状態に応じて、収益が最大になるように作物/農作業を選択
生育状況/市場状況が確率的に変化

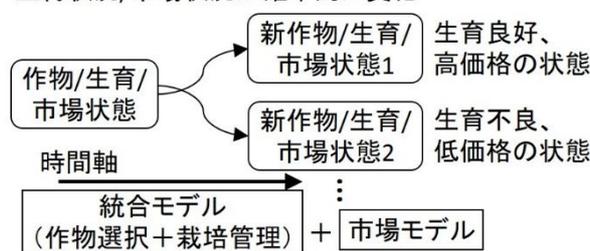


図3. マルコフ決定過程による作物/農作業選択

(2) 履歴データ不足の地域への対応

履歴データ不足の対象地域の複数の近隣地域の履歴データを有効活用する。具体的には、対象地域の各種確率は未知のもとで、複数の近隣地域の各種確率（履歴データより推定）と、対象地域と各近隣地域の類似性に基づいてベイズ基準のもとで期待収益を最大化する（上記（1）のアルゴリズムを確率未知の場合に拡張した）アルゴリズムを提案する。

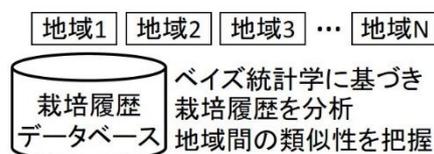


図4. 地域間の類似性

(3) 地球温暖化への対応

上記（2）のベイズ統計学に基づく地域間の類似性を、異なる地域と異なる年代の組の間での類似性に拡張した類似度を提案する。

4. 研究成果

下記の（1）～（3）が当初の研究計画に基づく成果で、（4）以降は追加の成果である。

(1) 市場価格の変動を考慮した、統合的な農業意思決定支援方法

上記3の（1）記載の、市場価格変動を考慮した、統合的な農業意思決定問題の期待収益を最大化する農業意思決定方法を提案した。提案方法は、従来は別々に検討されていた作物選択と栽培管理を統合的に扱い、さらに作物の価格変動を考慮することによって、従来は不可能だった農業収益の真の最大化を実現するための基盤的なアルゴリズムである。また、数値計算例によって提案方法の有効性を確認した。今後は、下記（2）～（6）もふまえ、大規模農業経営に対応可能な問題設定への拡張が必要である。

(2) 履歴データ不足の地域への対応

上記3の（2）記載の、対象地域の各種確率は未知のもとで、複数の近隣地域の各種確率（履歴データより推定）と、対象地域と各近隣地域の類似性に基づいてベイズ基準のもとで期待収益を最大化する統合的な農業意思決定方法を提案した。提案方法により、農業データの収集/データベース化が遅れている地域でも、近隣地域のデータを有効活用することによって農業収益の最大化が可能になる。また、数値計算例によって提案方法の有効性を確認した。

(3) 地球温暖化への対応

異なる地域と異なる年代の組の間での類似度をベイズ統計学に基づいて提案した。古くからブドウの産地として知られる長野県松本市、山形県高畠町と、昔はブドウの栽培に適していなかったが近年の温暖化の影響で新たにブドウの良好な産地となった北海道余市町の気象データを利用して、提案した類似度を検証した。検証において、温暖化の影響を受けた地域における新たに栽培に適した作物の発見に提案類似度が利用可能であることを確認した。

(4) コスト制約（予算限度額）の考慮

栽培中の作物の栽培管理では、人手や肥料など、さまざまなコストが必要である。潤沢な資金があれば単純に収益最大化を目指すことも可能だが、実際には栽培管理に支出できるコストに制約（予算限度額）があることも多い。そこで、本研究では、コスト制約がある場合の栽培管理方法を提案し、その有効性（適応的な予算調整）を数値計算例で確認した。さらに、問題設定を栽培作物の選択まで含めた統合的な農業意思決定方法に拡張した提案方法も提案し、その有効

性を数値計算例で確認した。

(5) センサを伴うスマート農業への拡張

近年のスマート農業では、熟練の農業従事者が目視で把握可能な適切な作物状態の把握を、センサ技術の応用で代替する試みがある。本研究では、センサによる観測値を利用して未知の作物状態を学習する機械学習問題として定式化し、センサを伴うスマート農業に対応する統合的な農業意思決定方法を提案し、その有効性を数値計算例で確認した。

(6) 複数圃場(畑)での予算調整

本研究を含め、数理工学に基づく農業に関する従来研究では、特に明記していなくても一つの圃場(畑)を対象として定式化した研究がほとんどである。しかし、実際にはある程度以上の規模の農家では複数の圃場を持ち、圃場ごとに日々の栽培管理等の意思決定の必要がある。特に、予算限度額の制約がある場合には、上記(4)の時系列間での予算調整に加えて、圃場間での予算調整も必要になる。そこで、本研究では栽培管理問題を対象として、複数圃場向けのコスト制約付きの栽培管理方法を提案し、数値計算例において適応的な圃場間での予算調整が可能であることを確認した。今後は栽培作物の選択も含めた統合的な農業意思決定問題をコスト制約付きの複数圃場に拡張する必要がある。

(7) 本研究の知見の他分野への適用

本研究で得られた機械学習、ベイズ統計学、マルコフ決定過程、動的計画法等に関するさまざまな知見を他分野の意思決定問題(設備保全、感染症対策、デジタルサイネージによる販売促進戦略、ダイナミックプライシング、レシピ推薦、ヘルスケア・ソフトウェア等)に適用し、数値計算例等においてその有効性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計26件（うち査読付論文 26件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.25, No.1
2. 論文標題 コスト制約がある栽培管理におけるベイズ学習	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 21-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24466/jbfsa.25.1_21	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 -
1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.25, No.2
2. 論文標題 農業におけるコスト制約を伴う統合管理	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 45-55
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24466/jbfsa.25.2_45	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 -
1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.144, No.3
2. 論文標題 センサを用いたコスト制約を伴う栽培管理に関する一考察	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 36-43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejsmas.144.36	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.J105-D, No.9
2. 論文標題 栽培履歴データがない地域における栽培管理	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D	6. 最初と最後の頁 518-522
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14923/transinfj.2021jdl8009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.24, No.2
2. 論文標題 履歴データがない地域の農業における統合管理	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 23-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.143, No.4
2. 論文標題 ヘルスクエアを考慮した料理レシピ推薦に関する一考察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 455-464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.143.455	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.143, No.8
2. 論文標題 購買意欲の変化を考慮したデジタルサイネージによる販売促進戦略に関する一考察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 842-847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.143.842	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.J106-D, No.8
2. 論文標題 センサーを伴うデジタルサイネージを利用した販売促進戦略に関する一考察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D	6. 最初と最後の頁 431-434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2022JDL8012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.25, No.2
2. 論文標題 複数人向けヘルスケア・ソフトウェアにおける目標状態での滞在確率の最大化	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 35-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24466/jbfsa.25.2_35	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 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.144, No.4
2. 論文標題 追加食材購入日とレシピ推薦日を任意に設定できるヘルスケア視点のレシピ推薦方法	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 316-325
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.144.316	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.25, No.1
2. 論文標題 教育目的のすごろくとその拡張ゲームの数理に関する一考察	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 33-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24466/jbfsa.25.1_33	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 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.143, No.8
2. 論文標題 ダイナミックプライシングと製造数の選択を考慮した保全	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 786-792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.143.786	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.24, No.1
2. 論文標題 敵が適応的に行動選択するロールプレイングゲームの攻略法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 13-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.24, No.1
2. 論文標題 消費期限を考慮したダイナミックプライシングを伴う仕入戦略	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 27-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.142, No.7
2. 論文標題 製品選択を伴う保全へのマルコフ決定過程の適用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 788-795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.142.788	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.142, No.8
2. 論文標題 食材の追加購入コストの限度額のもとでの食品ロスの最小化	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 877-883
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.142.877	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.24, No.2
2. 論文標題 健康状態が未知のヘルスケア・ソフトウェアにおける目標状態滞在確率の最大化	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 15-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.141, No.4
2. 論文標題 ヘルスケア・ソフトウェアにおける目標状態滞在確率の最大化に関する一考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 pp.584-585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejieiss.141.584	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.23, No.1
2. 論文標題 消費期限を考慮したレシピ推薦と食材の追加購入	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.9-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.23, No.1
2. 論文標題 マルコフ決定過程を用いた輪作と栽培管理	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.17-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol. J104-D, No.12
2. 論文標題 ダイナミックプライシングを考慮した保全へのマルコフ決定過程の適用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌D	6. 最初と最後の頁 pp.830-833
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transinfj.2021JDL8001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol. 23, No. 2
2. 論文標題 健康状態の遷移確率が未知のヘルスケア・ソフトウェアにおける目標状態での滞在確率の最大化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.23-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol. 23, No. 2
2. 論文標題 センサを伴うスマート農業における統合管理	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌	6. 最初と最後の頁 pp.31-41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.142, No.2
2. 論文標題 ダイナミックプライシングを伴う仕入戦略	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 pp.145-146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.142.145	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.142, No.2
2. 論文標題 マルコフ決定過程を用いた栽培管理の能動学習に関する一考察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 pp.147-148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.142.147	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 前田康成	4. 巻 Vol.142, No.3
2. 論文標題 マルコフ決定過程を用いた感染症対策に関する一考察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C	6. 最初と最後の頁 pp.339-340
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.142.339	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>北見工業大学 学術機関 リポジトリ https://kitami-it.repo.nii.ac.jp/</p> <p>農業収益の最大化を目指す、統合的な農業意思決定支援方法 (北見工業大学の研究シーズ集) https://www.kitami-it.ac.jp/wp-content/uploads/2023/12/seeds_Part47.pdf</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

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
---------	---------