

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06572

研究課題名(和文) 気象衛星ひまわり8号データを用いた農地モニタリングと作物用水量の推定

研究課題名(英文) Cropland monitoring and estimation of crop water requirements using Himawari-8

研究代表者

石平 博 (ISHIDAIRA, Hiroshi)

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号：80293439

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：作物生育段階に関する情報(農事暦)は、数値モデルによる農業水需要量推定における重要な入力情報の一つであり、その広域的な取得・整備には衛星観測情報の利用が有効である。本研究では、農作物の生育段階の把握を含む陸域植生の広域・高頻度監視に対する気象衛星ひまわり8号データの利用可能性の検討を行った。その結果、ひまわり8号に搭載されている可視赤外放射計データから算出される植生指標(NDVI)を用いた作物生育パターン抽出の可能性を示すことができた。また、本研究で開発した手法で作成されるNDVIプロダクトをより高解像化するための方法や、プロダクトの農地モデリングへの応用の可能性も示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

静止気象衛星ひまわり8号に搭載された可視近赤外域センサの持つ高分解能・高頻度観測の特性を生かした雲除去NDVIプロダクト作成とその農地モニタリング・モデリングへの応用の可能性を示した点が本研究の最大の特徴・成果である。このような農地の衛星監視技術は、広域・継続的な農作物の生育状況把握、農業用水量の高精度な推定などを通じて、農業生産性の改善・向上にも貢献することが期待される。

研究成果の概要(英文)：Information on the temporal change in crop growth stages (crop calendar) is important for numerical modeling for estimating crop water requirements. Remote sensing data can efficiently monitor the spatial distribution of crop growth conditions. The potential use of Himawari-8 Advanced Himawari Imager (AHI) data, which provides continuous, regular land surface observations with higher spatiotemporal resolution, for detecting cropping patterns has been evaluated. AHI data could detect the growth status of crops with higher temporal resolution than conventional orbital satellite observations (e.g., MODIS NDVI), and could be used to determine the crop calendar for each cropland. The possibility of 1) downscaling of AHI-derived NDVI products and 2) utility of AHI-derived crop calendars for cropland modeling were also demonstrated.

研究分野：水工学

キーワード：ひまわり8号 植生指標 作物用水量

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

流域水資源の適性配分を考える上で、水利用形態の中で最も水使用量が多い農業用水の定量的な把握は重要な課題である。しかしながら、農業用水量に関する実測データは十分に得られていないため、モデル計算等により推定する必要があり、その推定において農地・作物毎の生育期間を含む農事歴情報が必要となる。この農事歴情報を広域的に取得する方法の一つとして、衛星リモートセンシング技術の利用があり、これまでも人工衛星 Terra 搭載の MODIS センサーから得られる NDVI による作物種や作付け/刈取り時期の特定とそれに基づく農業水需要量の推定方法について検討が行われてきた。しかし、作物種判別や生育段階(ステージ)の把握のためにはより高頻度の NDVI 観測が必要となる。

そこで本研究では、2015年7月から運用を開始した気象衛星ひまわり8号に搭載されている可視赤外放射計(AHI: Advanced Himawari Imager)を用いた陸域植生の広域・高頻度監視手法の開発に取り組むこととした。AHIは、観測波長帯数(16バンド)を持ち、空間分解能(500m, 1km, 2km)、時間解像度10分(日本付近は2.5分)という高頻度・高分解能での観測が可能であることから、台風移動の把握などの気象分野での利用に加え、晴天時の地表面観測への応用も期待されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、農作物の生育段階の把握を含む陸域植生の広域・高頻度監視に対する「気象衛星ひまわり8号データ」の有効性を明らかにすることである。具体的には、ひまわり8号が提供する高頻度・高解像度の静止気象衛星画像を用いることで、どの程度の頻度でどのような作物種の生育ステージの監視が可能かを明らかにし、従来の軌道衛星搭載型のセンサーとの比較を通じてその有効性を定量的に示す。また、これにより得られる農事歴情報を作物用水量の算定に適用することで、その空間分布及び季節変動の推定手法の改善を試みる。さらに、一区画の面積が比較的小さい日本の農地での適用を想定し、AHIから得られる植生指標から、より細かな空間解像度へのダウンスケーリングの可能性についても検討を行う。

3. 研究の方法

気象衛星ひまわり8号データを用いた農地モニタリング手法の開発及びそれに基づく作物用水量の推定に関する以下の検討を実施する。なお、対象地域は山梨県甲府市・甲斐市・北杜市周辺(図-1)とした。

- (1) コンポジットによる雲除去処理の有効性に関する検討
- (2) 生育状況の地上検証データ取得と衛星データとの比較
- (3) 高解像度衛星情報を用いたひまわり8号データのダウンスケーリング手法の検討
- (4) 農業用水量推定等への応用

4. 研究成果

(1) コンポジットによる雲除去処理の有効性に関する検討

時間解像度10分のひまわり8号AHIデータを1日~数日の期間で合成(コンポジット)することで、MODISなど従来の軌道衛星搭載型のセンサーと比較してどの程度の雲除去能力の向上が期待できるかを明らかにした。

まず、甲府地方気象台の日照時間データ(10分値)を用いて、異なる期間(1~10日)に対する「晴れ間」の観測頻度を抽出することで、適切なコンポジット期間の選択に関する検討を行った。その結果、曇天日が多くなる梅雨期(本検討では2015年6月を対象)においても2~3日間のうちに少なくとも20分程度の晴れ間の生起が期待されることが明らかとなった。ただし、より安定した(1時間を超えるような)晴天期間と広域の雲無し画像を得るためには、これよりも少し長い期間のコンポジットが必要と考えられることから、広域(例えば山梨県全域をカバーするような領域)において、ひまわり8号データから雲除去画像を作成する場合には、5日程度のコンポジット期間が妥当と考えられる。

次に、ひまわり8号データから、異なるコンポジット期間で作成したNDVIの時系列変化と画像からコンポジットの有効性を検証した。なお、ひまわり8号データは、千葉大学の「ひまわり8/9号フルディスク(FD) gridded data」から取得したBand 3(空間解像度0.005deg.)及びBand 4(空間解像度0.01deg.)である。また、NDVI画像は0.005deg.解像度で山梨県全域を対象として2017~2019年の3年間分を作成した。



※①~③:インターバルカメラ設置地点

図-1 地上観測地点

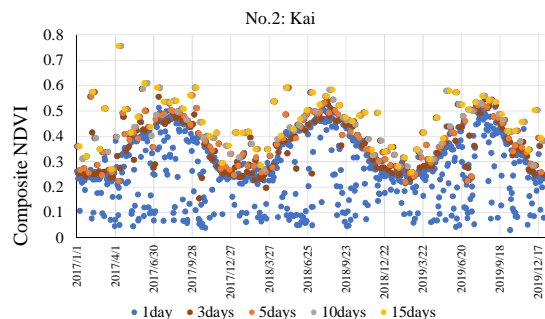


図-2 ひまわり8号データから得られたNDVIの時系列変化(甲斐市水田)

コンポジット画像作成に際しては、期間を1日、3日、5日、10日、15日とし、コンポジット期間中の10分値データから算出される各ピクセルのNDVIの最大値を採用した。図-2は、コンポジット画像から抽出した甲斐市水田地点におけるNDVIの時系列変化を示している。コンポジット期間1日の場合は、雲の影響が除去しきれず、極端なNDVIの低下が時折みられるが、コンポジット期間が5日でこのような雲の影響はほぼ除外できていることが確認された。ただし、コンポジット期間を長く取る場合、特異的に観測される高NDVI値がコンポジット処理において採用されNDVI値が高く出る期間が生じる傾向が見られることから、コンポジットの方法については今後改良の余地がある。また、ある地点における植物活性の時系列変化を抽出する場合には、1日程度のコンポジット期間で作成したNDVI値に対して時系列フィルターを適用することで、ある程度この問題を回避できると考えられる。また、本研究で作成したNDVIデータ(15日コンポジット)とMODIS NDVI(Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m, MOD13Q1)から抽出したNDVIの時系列を相互比較した結果、本研究で作成したプロダクトのNDVI値及びその季節・年々変動パターンはMODIS NDVIと良く一致しており、少なくとも既往のNDVIプロダクトと同程度の陸域植生監視能力があることが明らかとなった。

図3に、2019年8月下旬における異なるコンポジット期間で作成したNDVI画像を示す。コンポジット期間1日では、対象地域全域に雲の影響が残るため地表の植生状況を把握できていないが、5日以上コンポジットでほぼ全域の雲が除去されている。この結果から、面的な植被状態の変化を従来のMODIS NDVI(16日間隔)よりも短い5日程度の間隔で監視できる可能性を示すことができた。

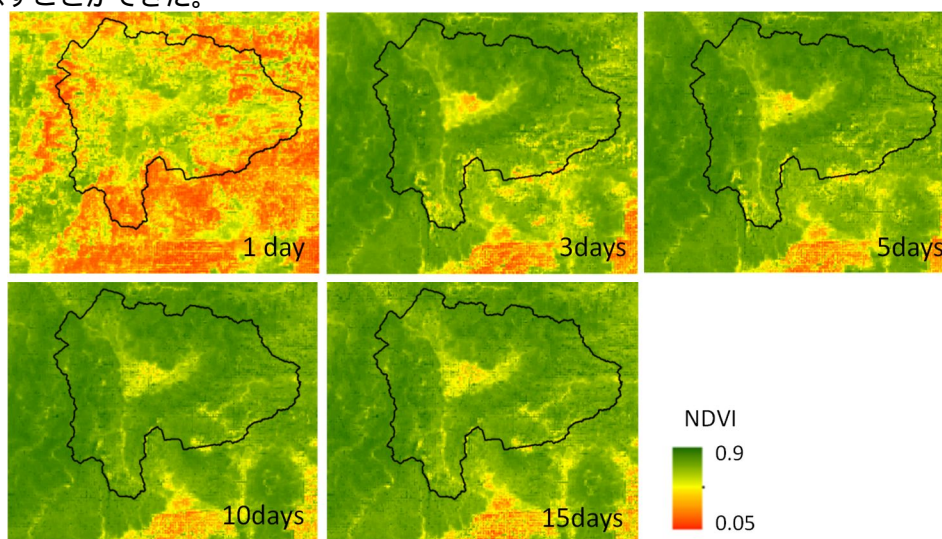


図-3 ひまわり8号データから作成したNDVI画像(2019年8月下旬)
コンポジット期間 1day:8/21, 3day:8/21~23, 5day:8/21~25, 10day:8/21~30, 15day:8/16~31

(2) 生育状況の地上検証データ取得と衛星データとの比較

山梨県内の複数の農地(圃場)において、作物生育状況や植被の時間変化に関する情報を取得し、これを上記(1)の手法で作成したNDVIデータセットと比較することで、衛星情報に基づく作物生育状況把握の妥当性を検証した。地上観測は山梨県内の複数の農地(水田:甲斐市,北杜市,ぶどう:甲府市)を対象とし、インターバルカメラによる作物生育状況の連続静止画撮影(1日間隔)を行うとともに、画像解析(GCC: Green Chromatic Coordinatesの抽出)により生育状況の時間変化を抽出した。

図-4は、甲斐市水田(2017年)と小曲農場ブドウ栽培地(2018年)におけるNDVIの時系列変化であり、比較対象として圃場に設置したインターバルカメラから得られたGCCの時系列変化も示している。なお、GCCはカメラで撮影した画像の各ピクセルにおける緑(G)の輝度値を赤・緑・青の輝度値の合計で除したものであり、GCCの値が高くなるにつれて緑色が卓越することを意味している。また、図中に示したGCCは、1時間間隔で撮影したカメラ画像から作物(イネ及びブドウの葉)撮影部分におけるGCCの空間平均値を求め、その中から日内中央値を抽

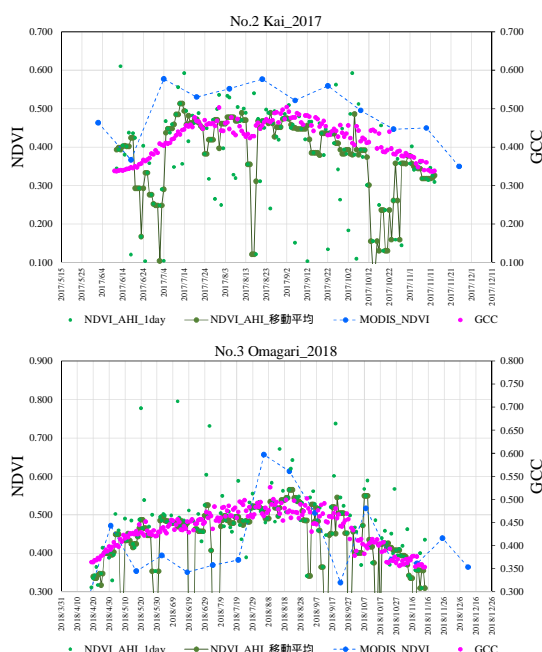


図-4 NDVI及びGCCの時系列変化
上:甲斐市水田,下:小曲農場(ブドウ)

出したものである。一方、ひまわり 8 号データから作成した NDVI 値は、1 コンボジット期間 1 日で作成した時系列データに対して 5 日間のメジアンフィルタを適用した値である。GCC と NDVI は物理的に同一の指標ではないが、どちらも緑被の時間変化を反映した値であることから、本検討では両指標の季節変化のパターンについて比較を行った。甲斐市水田、小曲農場ともにひまわり 8 号データから抽出した NDVI の季節変化パターンは、現地観測から得られた GCC の季節変化と良く一致しており、本研究で開発した手法による農作物生育ステージ監視の可能性が確認された。一方、北杜市水田においても本研究で作成した NDVI プロダクトから作物(イネ)の生育に対応した NDVI 値の時間変化を抽出することができたが、GCC の季節変動パターンとの対応関係は、図 - 3 ほど明瞭ではなかった。これは、北杜市水田近傍にはパッチ状の樹木群が散在しており、NDVI ピクセル内に異なる季節変動パターンを有する緑被が混在していたためと考えられる。このように、本研究で開発した手法により作成される NDVI プロダクトによる農作物生育ステージ情報を抽出する際には、対象となる場所(ピクセル内)における地被の不均一性、特に森林等の植被の混入程度に留意する必要があることが推察される。

(3) 高解像度衛星情報を用いたひまわり 8 号データのダウンスケーリング手法の検討

上記(2)で明らかとなったピクセル内の不均一性の影響を考慮するために、ひまわり 8 号 AHI から得られる高頻度の NDVI 画像から空間的に細かなデータへの変換(空間的なダウンスケーリング)の可能性について検討を行った。具体的には、2019 年に取得された 15 シーンの Sentinel-2A,2B 画像(空間解像度 10m)を用いて、地上観測地点及びその近傍の 7 区画における高解像度(10m)と低解像度(500m)の NDVI 値の対応関係について検討し、その結果からダウンスケーリングの方法とその実現可能性について考察した。なお、Sentinel-2 による NDVI 算出に際しては、Band8(中心波長 842nm)と Band4(中心波長 665nm)を用いた。まず、ひまわり 8 号データから算出した当該区域(ピクセル)の NDVI 値(NDVIc)と区画内の Sentinel-2 の Band8 及び Band4 のピクセル値(反射輝度)の空間平均値から算出した NDVI(cNDVI)を比較した結果、両者は概ね良く対応しているものの、区画及びシーン(画像取得時期)によっては両者の値に差が見られた。これは主にセンサーの違いに起因すると考えられることから、ダウンスケーリング手法開発においては Sentinel-2 をひまわり 8 号のピクセルサイズで平均化したデータを低解像度情報として用意し、これをもとに低/高解像度の NDVI 値の関連性の検討を行うこととした。

図 - 5 は、Sentinel-2 から得られる 10m 解像度の NDVI 値の区画内平均値(aNDVI_f)と、同じく Sentinel-2 から得られる 10m 解像度の Band8 及び Band4 の区画内平均ピクセル値(反射輝度)から算出した NDVI(cNDVI)とを比較した結果である。NDVI 算出に用いる 2 つの波長帯(Band)を平均化してから求めた NDVI と、高分解能の NDVI 値を最初に計算しそれを空間平均化した NDVI の間には大きな差はみられなかった。図 - 6 は、インターバルカメラによる現地観測地点を含む Sentinel-2 の 4 ピクセル平均の NDVI 値(NDVI_{pa})の aNDVI_f 及び cNDVI に対する比(NDVI_{pa}/aNDVI_f 及び NDVI_{pa}/cNDVI)の季節変化を表している。NDVI_{pa}/aNDVI_f 及び NDVI_{pa}/cNDVI の値の違いは非常に小さいが、季節によって大きく変化している。ダウンスケーリングする場合、NDVI 算出に用いる 2 つの波長帯(Band)をまず細密化してからそれをもとに高解像度の NDVI を計算する方法と、低解像度の NDVI 値と低解像度ピクセル内のある地点における NDVI 値(高解像度 NDVI 値)の関連性をモデル化することで、直接低解像度 NDVI から高解像度 NDVI 値に変換する方法の 2 つの方針が考えられるが、上記の結果より、どちらの方法も同様に機能すると考えられること、また低解像度情報(Band 値、NDVI 値)と高解像度情報の関連性をモデル化する際には季節性を考慮する必要があることが示唆された。具体的なダウンスケーリング方法として、以下 2 つの方法を挙げる。

ひまわり 8 号で観測される 2 バンドの低解像度ピクセル値を、Sentinel-2 などの高解像度衛星の 2 バンドの高解像度ピクセル情報を用いてダウンスケールし、その結果から高解像度 NDVI を算出する。また高解像度ピクセル情報は、10 日程度の間隔でしか得られないことから、1 日~5 日間隔となるよう高解像度ピクセル値を時間内挿し、ひまわり 8 号データ(コンボジット済み)と対応付ける。

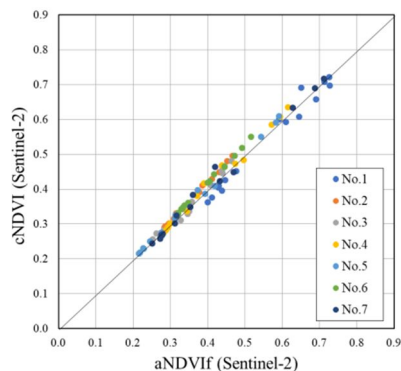


図 - 5 aNDVI_f と cNDVI の NDVI 値の比較

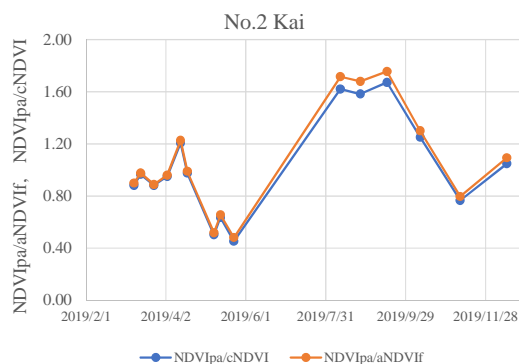


図 - 6 NDVI_{pa}/cNDVI, NDVI_{pa}/aNDVI_f の季節変化 (甲斐市水田)

ひまわり 8 号データから作成される低解像度 NDVI 値を、Sentinel-2 などの高解像度衛星の高解像度 NDVI 情報を用いてダウンスケールする。方法 1)と同様に高解像度 NDVI 情報は、10 日程度の間隔でしか得られないことから、1 日~5 日間隔となるよう高解像度 NDVI を時間内挿し、ひまわり 8 号データ(コンジット済み NDVI)と対応付ける。

(4) 農業用水量推定等への応用

作成した NDVI プロダクトから抽出される農作物生育ステージに関する情報の農業関連モデリングへの応用を試みた。まず 1 つ目の試みは、CROPWAT による農地(特に水田)における作物用水量の推定への応用事例である。CROPWAT は、国際連合食糧農業機関(FAO)により開発された農作物生産のための水需要計算モデルである。このモデルでは、気象データから FAO Penman-Monteith 式により計算される参照地表面蒸発散量に対して作物係数を乗ずることで、作物生産における水需要量(作物用水量)を推定する。この作物係数は、生育段階に応じて変化させる必要がある。本検討ではその変化パターン(農事歴)の決定に、1)現地観測から得られる GCC の時系列、2)本研究で作成したひまわり 8 号データから抽出した NDVI 時系列、3)従来の NDVI プロダクト(MODIS NDVI)を適用することで、それぞれから抽出した農事歴の違いが作物用水量推定結果に及ぼす影響の評価と提案した手法の有効性について検討した。なお、GCC 及び NDVI の時系列からの農事歴決定は、作業者の目視判読に基づき行われていることから、抽出した作付け開始日や生育期間には数日程度の揺らぎ(不確実性)が含まれている。図 - 7 は甲斐市水田(2017 年)を対象として CROPWAT により算出された作物用水量である。現地観測の GCC に基づく農事歴を基準とすると、ひまわり 8 号データを農事歴決定に用いた場合の推定結果は、これと良く一致していることがわかる。これに対して MODIS NDVI により作成した農事歴を利用した場合には、作物の発達期後半(6 月上旬)に差がみられる。これは、本研究で開発した NDVI プロダクトと MODIS NDVI の時間解像度の差が影響したものと考えられる。また、2 つ目の試みとして、ブドウ農地水収支モデル(VSIM)による葉面積の変化と NDVI 値の比較結果を図 - 8 に示す。NDVI の時間変化は、モデル計算で再現された葉面積指数(LAI)の変化と良く対応している。このように、時間分解能の高い NDVI データは、数値モデルによる農地の葉面積の時間発展再現結果に対する検証材料としての利用可能性も有している。

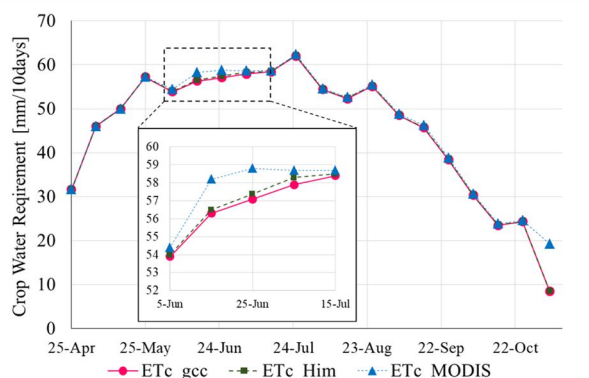


図 - 7 異なる農事歴に対する作物用水量の計算結果

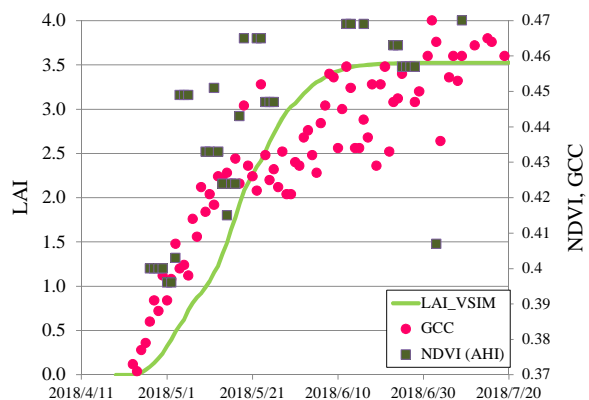


図 - 8 VSIM による LAI 計算結果と GCC、ひまわり 8 号 NDVI の比較(218 年,小曲農場)

(5)まとめ

本研究では、気象衛星ひまわり 8 号に搭載されている可視赤外放射計 (AHI: Advanced Himawari Imager) を用いた陸域植生の広域・高頻度監視手法の開発に取り組み、農地における作物生育パターン抽出の可能性を示すことができた。また、今後この技術で作成される NDVI プロダクトをより高解像化するための方法について検討を行うとともに、プロダクトの農地モデリングへの応用の可能性を示すことができた。今後の課題としては、コンジット方法の改善やダウンスケール手法の実装などが挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 齋藤裕雅、石平博、馬籠純、奥田徹、岸本宗和、美濃英俊、鈴木智博、本間聡
2. 発表標題 ブドウ農地水収支モデルVSIMを用いた土壌水分量の長期変動解析
3. 学会等名 水文・水資源学会2018年度研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 齋藤裕雅、石平博、馬籠純
2. 発表標題 山梨県におけるブドウ栽培地の気候・地理的特性の検討
3. 学会等名 水文・水資源学会2017 年度研究発表会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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