

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450392

研究課題名(和文) 外来牧草の侵略性を抑制する種多様性と在来植物の遺伝子型の影響

研究課題名(英文) Effects of species diversity and genotypes of native plants on resistance to invasive foreign plants

研究代表者

西脇 亜也 (Nishiwaki, Aya)

宮崎大学・農学部・教授

研究者番号：60228244

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)： 外来牧草を含む外来植物の増加には、放牧家畜による蹄傷などによる裸地形成や糞中種子が大きく関わっていた。外来植物の侵入などによる草地の荒廃に対する高い種多様性草地が持つ安定性・頑強性には、匍匐性の遺伝子型の在来植物が外来牧草よりも先に裸地侵入することが大きく関わることが一連の研究で明らかとなった。高い種多様性が保たれた夏季の放牧による草地荒廃は生じにくかったが、冬季における放牧によって裸地率の増加が進行することが明らかとなった。蹄傷によって生じた裸地への侵入・定着能力の高い在来植物の遺伝子型が発見され、これら匍匐性の高い新規な遺伝子型の植物は外来牧草の雑草化抑制に機能していると考えられた。

研究成果の概要(英文)： Bare land formation and fecal seed by grazing livestock were greatly related to increase of invasive foreign plants. In Toimisaki-pasture, high species diversity has the high stability and robustness against to invasion of foreign plants due to quick recovery of bare land by creeping genotypes of native plants. Bare lands did not formed during summer grazing but formed during winter grazing. Genotypes of native plants with high invasion and colonization ability in bare plants were discovered and it is thought that these novel genotypes have high resistance ability for invasive foreign plants.

研究分野：草地生態学

キーワード：生物多様性 種多様性 外来生物 頑健性 遺伝子型 匍匐性 在来植物 外来牧草

1. 研究開始当初の背景

2010年に「生物多様性条約」第10回締結国会議(Cop10)が日本国の名古屋で開催されている。生物多様性の重要性は世界の共通認識になってきている。生物多様性の維持機構や機能に関する研究や侵略的外来生物による生物多様性の危機に関する研究は数多く展開されている。生物多様性の高い生態系では侵略的外来種の侵入・定着を抑制するなど安定性が高い場合があることが次第に明らかとなってきたが、安定性・頑強性が高い理由については不明な点が多い。

イタリアンライグラスなどの外来牧草は、草地からエスケープして増殖し生態系や人間活動への影響が特に大きい「侵略的外来種」とみなされており、2005年に施行された外来生物法(特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律)でも要注意外来生物にリストされている。さらに厳しい規制がなされる可能性もある。しかし、外来牧草が禁止の対象となれば、穀物価格が上昇して厳しい経営状況の畜産農家にとっては深刻である。このような規制の動きに対応するためには、外来牧草が雑草化する条件を明確化し、それを回避する管理方法の開発が重要である。

2. 研究の目的

本研究は「**外来牧草の侵略性を抑制する種多様性と在来植物の遺伝子型の影響**」を、野外調査と野外実験によって解明することにより、高い種多様性草地が持つ安定性・頑強性を評価する試みである。

宮崎県串間市都井岬の岬馬の放牧地(国指定天然記念物)における草地生産力の場所、季節、年次における変動と岬馬の放牧頭数との関係についての調査過程で、小松ヶ丘地区(都井岬では小松ヶ丘地区と扇山地区が大面積での放牧地である)では外来牧草(暖地型牧草)が雑草化して増加し、日本在来の野草の優占度は次第に低下していることが明らかとなった(西脇, 2012)。現在の小松ヶ丘地区の放牧地の多くは外来牧草に覆われている。都井岬の岬馬生息地が国の天然記念物に指定された理由の一つである、「シバ型草原の南限地」は危機的状況にある。当初は地球温暖化の影響を疑ったが、扇山地区ではシバなどの日本在来の野草が優占する植生が持続しているため必ずしも温暖化だけが原因とは断定できない。

また、野外調査によって、扇山地区には外来牧草が侵入しているが雑草化は進行していないことが明らかとなった。扇山地区のシバ型草地は外来牧草の侵入に対する抵抗力が高いようである。扇山では、様々な草種が混在する種多様性の高い草地群落が持続している。扇山のような種多様性の高い草地群落では、外来牧草が侵入してもニッチ(生態的地位)の空白が無いために優占できず、侵略性の高い雑草化が困難であると考えられ

た。

扇山では、匍匐性の高い遺伝子型のコマツナギやハイメドハギなど裸地の修復能力が極めて高いと考えられる植物が豊富に存在し、これらによる裸地の速やかな修復が草地の安定性に貢献している可能性が高い。

Tilman et al. (1996)は、種の多様性が高いほど草地生態系の生産性、持続性、安定性が向上することを大規模野外実験によって明らかにしている。この種多様性が外来種の侵略・雑草化の成否に与える影響が大きいこと、そして種多様性を構成する植物の匍匐性の進化の程度が重要であると考えて検証実験を行うことに本研究の特色と独創的な点がある。匍匐性を進化させた遺伝子型の在来植物を多く含む種多様性が高い草地は、ニッチの空白が少なく裸地の修復速度が速いので外来種の侵略性を抑制すると予想される。本研究の結果によって、種多様性の高い生態系を保全すること、そして匍匐性を進化させた遺伝子型の在来植物による「速やかなニッチ先取り」は、外来牧草の侵略・雑草化を防止する上で極めて重要であることが明らかになる意義があると考えられる。

3. 研究の方法

1) 植生調査: 50×50cmのコドラートを設定し、出現種毎の草高、被度を調べた。1999年は小松ヶ丘で10月と11月にそれぞれ3カ所で、2000年から2014年には4月から12月の毎月、小松ヶ丘3ヶ所、扇山3ヶ所で移動枠法によりプロテクトケージの内外の植生調査と地上部現存量を行った。

2) 禁牧: 2008年に外来牧草の侵入と優占化が進行する草地(小松ヶ丘)の3カ所に縦横高さ、それぞれ50cmの固定プロテクトケージ(以降ケージ)を設置した。設置直前にケージ内と、各ケージから1m離れた位置に設定した定点調査枠(50×50cm)内の植生調査を行った。その後、2011年と2016年に固定プロテクトケージ内と定点調査枠内の植生調査を行い、外来牧草と野草の被度%および

種数/枠について、ケージ内外と調査年を要因とする分散分析を用いて検討した。

3) 糞中種子: 2014年12月に都井岬・小松ヶ丘で見られた新鮮な4つの糞塊からそれぞれ1個の糞粒を採集し、糞粒表面に付着したゴミや種子などを取り除いた後に、糞粒を砕いたものを、黒ボク土(宮崎焼土)を充填した直径12cmのポットに散布し、宮崎大学農学部附属フィールド科学教育研究センター・木花フィールドのガラス温室内で栽培した(自動灌水)。その後、2015年8月12日と2016年9月3日に発芽した植物の種類と個体数を記録した。

4) ポット栽培試験: 都井岬の小松ヶ丘草地から匍匐性の在来種4種(シバ、ハイメドハギ、シバズゲ、チドメグサ)、外来牧草2種(カーペットグラス、バヒアグラス)を採

取し黒ボク土を充填したワグネルポット(1/5000a,)に植え付け、宮崎大学の温室内で無施肥栽培した。ポットの中央にそれぞれの植物を植栽し、外来牧草と在来種の被度の測定を7月～11月まで毎月一回行った。放牧を想定した模擬放牧として、毎月一回、地上高2cmで刈り取ったが、被度の測定は刈り取り前後で行った。

5) DNA解析：都井岬の匍匐性のコマツナギ3個体に加えて串間市の直立性の2個体、兵庫県篠山市の直立性の4個体、宮崎市の道路法面緑化地の6個体、計15個体の栽培中のコマツナギから生葉を採集し、Qiagen DNeasy Plant MiniKitを用いて速やかにDNA解析を行った。得られたDNA塩基配列情報はフリーソフトのMEGA5.2.2を用いてアライメントを行った後にNJ法を用いて系統樹を作成した。その際、DDBJ(DNA Data Bank of Japan)から得たIndigofera属を構成する数百種の核rDNA 18S-26SのITS(internal transcribed spacer)領域および5.8SのDNA塩基配列情報と比較することで、日本のコマツナギ系統の系統的位置を検討した。

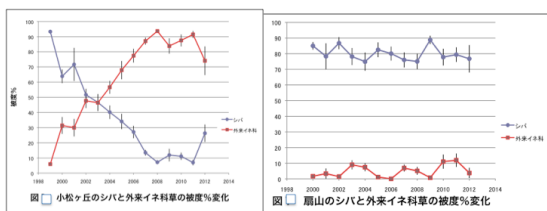
6) 放牧家畜による裸地形成：中国青海省玉樹蔵族自治州玉樹県の玉樹市曲麻菜県の標高約4350m付近の放牧地で放牧実験を行った。優占種はKobresia parvaとStipa purpureaであった。雪解け直後の2014年6月に約6haの草地を6等分してヤク放牧区3区とヒツジ放牧区3区を設置し、各区に草地生産量調査用プロテクトケージをそれぞれ3個設置した。その後、約10日間間隔でのローテーション放牧によって体重約100kgのヤク3頭と体重約30kgのヒツジ10頭を9月末まで昼夜放牧した。2015年、2016年も同様に放牧実験を行った。2014年8月、2015年5月、6月、7月、8月、9月に放牧区毎に200mの固定調査ラインを6牧区分の6本と実験牧区外で1本設定し、5m間隔毎に鉛直上1.5mから写真をデジタルカメラで撮影した。この結果、牧区毎に数十枚の写真を用いて草地の荒廃状況を判断した。

4. 研究成果

1) 外来牧草の雑草化が進行する草地(小松ヶ丘)と進行しない草地(扇山)

小松ヶ丘：1999年にはシバの被度は平均で90%以上と高かったが、その後は経年的にシバの被度は減少し、2005年以降は40%を下回った。一方、バヒアグラスやカーペットグラスなどの暖地型の外来牧草の被度は経年的

外来牧草が侵略する草地としない草地
(移動枠法による調査結果)



に増加し、2008年以降は90%前後で変動した。

扇山：2000年から調査を開始した。シバの平均被度は、どの調査年もほぼ80%を維持した。それに対し、バヒアグラスやカーペットグラスのような外来牧草の被度は常に10%以下であった。

2) 8年間の禁牧処理による外来牧草の減少と野草の増加

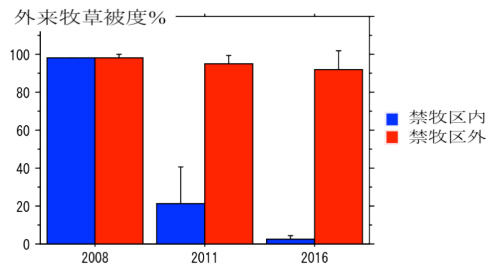
外来牧草：2008年にはケージ内外で、カーペットグラス、バヒアグラスなどの外来牧草の被度が約90%と極めて高かった。2011年にはケージ外では外来種の被度は高く維持されたが、ケージ内の被度は約30%と大きく減少した。2016年にはケージ外での外来種の被度は高く維持されたが、ケージ内の被度は約2%と大きく減少した。

野草：2008年にはケージ内外で、野草の被度は約2%と極めて低かった。2011年にはケージ外では野草の被度は低く維持されたが、ケージ内の被度は約80%と大きく増加した。2016年にはケージ外での野草の被度は低く維持されたが、ケージ内の被度は約90%と大きく増加した。

種多様性：2008年から2016年までの種数はケージ外では、6～8種/枠で維持されたが、ケージ内では2011年には9～10種/枠と増加し、2016年には11～20種/枠と大きく増加した。

分散分析：外来牧草と野草の被度%、種数/枠について、ケージ内外と調査年を要因として二元配置分散分析を行った結果、どの変数の場合も、ケージ内外間と調査年間で有意差が認められた。

上記の結果から、過去数十年間にミサキウマの頭数が増加して放牧圧が増加したことが、小松ヶ丘における外来牧草の侵入と優占化、および種多様性の減少の一因であると考えられた。また、扇山における外来牧草の非優占化の理由としてはミサキウマの頭数が少ないことが考えられた。



分散分析表：外来牧草

	自由度	平方和	平均平方F値	p値
処理	1	13284.5	13284.5	160.1<.0001
調査年	2	8624.8	4312.4	52.0<.0001
処理*調査年	2	6826.3	3413.2	41.1<.0001
残差	12	996	83	

表1 2014年12月に採集した馬糞からの発芽個体数

2015年8月12日	糞塊1	糞塊2	糞塊3	糞塊4	平均
キンゴジカ	5	2	2	2	2.75
カーペットグラス	1	1	0	0	0.50
バヒアグラス	0	1	0	0	0.25
ヒメクグ	6	7	4	10	6.75
ヨモギ	0	2	0	0	0.50
ヤハズソウ	0	1	1	0	0.50
メヒシバ	1	2	0	0	0.75
メドハギ	0	0	0	4	1.00
2016年9月3日	糞塊1	糞塊2	糞塊3	糞塊4	平均
キンゴジカ	12	3	3	4	5.50
カーペットグラス	9	1	0	0	2.50
バヒアグラス	2	2	0	0	1.00
ヒメクグ	1	10	8	7	6.50
ヨモギ	0	1	0	0	0.25

3) 表1によると、糞粒を採集した糞塊によって発芽した種の構成は若干異なっていたが、全体で8種が確認され、外来植物はキンゴジカ、カーペットグラス、バヒアグラスの3種であった。カーペットグラスやバヒアグラス、ヨモギ、ヤハズソウ、メヒシバ、メドハギなどでは発芽しない糞塊もあったが、キンゴジカとヒメクグは全ての糞塊から発芽していた。

キンゴジカ、カーペットグラス、バヒアグラス、ヒメクグでは2015年8月12日より2016年9月3日に出現していた個体数の方が多かったが、ヨモギ、ヤハズソウ、メヒシバ、メドハギは個体数が減少した。最も多く発芽したのは在来植物のヒメクグで平均6.5個体であったが、次に多かったのはキンゴジカで平均5.5個体であった。他の外来植物のカーペットグラスは平均2.5個体、バヒアグラスは平均1.0個体と比較的多く、これらの外来植物の種子は御崎馬の糞によって散布されて拡散・増殖していることが明らかである。

4) 匍匐性の在来種と外来牧草の裸地侵入比較

裸地侵入能（裸地の占有被度）は、草種によって有意に異なっていた（表2）。

外来牧草（カーペットグラス、バヒアグラス）の裸地侵入能（裸地の占有被度）は在来植物であるシバやシバズグよりも高かったが、ハイメドハギやチドメグサよりも低かった。

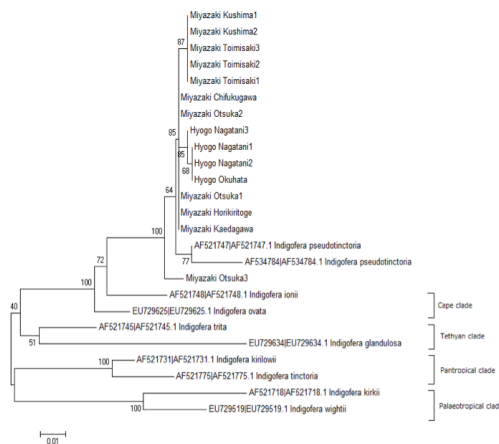
表2 裸地への侵入能力(占有面積)の分散分析表

	自由度	平方和	平均平方	F値	p値
種	5	60176.8	12035.4	65.9	<.0001
調査日	4	51704.1	12926.0	70.8	<.0001
刈取	1	31908.1	31908.1	174.8	<.0001
種 * 調査日	20	35206.2	1760.3	9.6	<.0001
種 * 刈取	5	5921.6	1184.3	6.5	<.0001
調査日 * 刈取	4	15810.4	3952.6	21.6	<.0001
種 * 調査日 * 刈取	20	4935.3	246.8	1.4	0.1525
残差	180	32863.3	182.6		

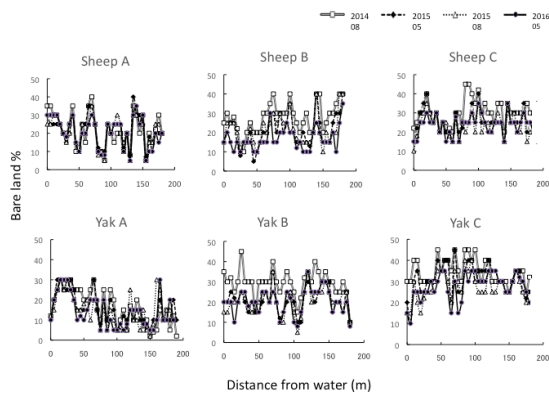
先の実験で、外来植物の種構成が多様ハイメドハギやチドメグサな4種(シバ+3種)の場合に外来牧草の侵入・優占化を抑制する効果が高かったが、これには、裸地侵入能(裸地の占有被度)が高いハイメドハギやチドメグサによる効果が高かったためだと考えられる。

5) 今回検討した日本のコマツナギはデータベースから得た2個体の *Indigofera pseudotinctoria* とともにクレードを形成していた(ブートストラップ確率97%)。このクレード中には兵庫県のクレードと都井岬のコマツナギを含む串間市のクレードがそれぞれ存在していた。しかし、兵庫県産の個体、串間市産の個体とその他の緑化地等に産する個体それぞれ間の塩基置換数は最大でも3塩基であった。

日本のコマツナギは Schrire ら (2009) の Cape clade の構成種と同じクレードに属していた。



6) 裸地率の変動: 裸地率 (%) に及ぼす放牧家畜とブロックの影響を二元配置分散分析によって検討した。その結果、放牧初年の2014年8月には放牧家畜の違いによる差は検出されなかったが、ブロック間の差は検出されたこの結果から、この草地の荒廃の程度は、空間的な変動が大きいことが明らかであった。ブロック1に比較してブロック2と3は傾斜度が低く、放牧区設置以前に局地的な放牧圧が高かったことが要因の一つと考えられる。2015年5月には、いずれの放牧区も裸地率が減少したが、冬期間もヤクとヒツジの混牧が継続された区では裸地率が増加した。2015年5月から2014年8月にかけての裸地率の変化は少なく、夏季の放牧による草地荒廃は生じていなかった。冬季放牧によって草地荒廃が進行する可能性は極めて高いと思われた。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- 1) 西脇亜也 (2016) 都井岬における外来植物の増加に及ぼす御崎馬の排糞による種子散布の影響. 宮崎の自然と環境, 1, 8-10 (査読無)
- 2) Yasuyuki Ishii, Aya Nishiwaki (他 7 名, Aya Nishiwaki は 7 番目) (2016) Adaptability of Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach.) for weed control in site of animals buried after Foot-and-Mouth Disease infection. Scientifica, Article ID 6532160, 8 pages URL: <http://www.hindawi.com/journals/scientifica/2016/6532160/abs/> (査読有)
- 3) Xiaoqin Li, Weiru Song, Rende Song, Guomei Li, Aya Nishiwaki (2016) Aboveground net primary production in high altitude pastures on the Tibetan plateau. Proceedings of the 2016 International Rangeland Congress, X, 824-825 (査読有)
- 4) Yo Toma, Toshihiko Yamada, Fabián G Fernández, Aya Nishiwaki, Ryusuke Hatano, J Ryan Stewart (2016) Evaluation of greenhouse gas emissions in a *Miscanthus sinensis* Andersson - dominated semi-natural grassland in Kumamoto, Japan. Soil Science and Plant Nutrition, 62 (1), 80 - 89 (査読有)
- 5) 西脇亜也 (2015) 日本の在来野草は外来牧草の替わりになるか? - 「外来牧草をめぐる諸問題」とは - . 酪農ジャーナル, 68 (3), 26-29 (査読無)
- 6) Katarzyna Głowacka, Aya Nishiwaki (他 12 名 Aya Nishiwaki は 6 番目) (2015) Genetic variation in *Miscanthus × giganteus* and the importance of estimating genetic distance thresholds for differentiating clones. GCB Bioenergy, 7 (2), 386-404 (査読有)
- 7) Lindsay V. Clark, Aya Nishiwaki (他 13

名 Aya Nishiwaki は 3 番目) (2015) Genetic structure of *Miscanthus sinensis* and *Miscanthus sacchariflorus* in Japan indicates a gradient of bidirectional but asymmetric introgression. Journal of Experimental Botany, 66(14), 4213-4225, doi: 10.1093/jxb/eru511 (査読有)

- 8) Marhamah Nadir, Aya Nishiwaki (他 7 名 Aya Nishiwaki は 7 番目) (2014) Variation of DNA contents in *Miscanthus sinensis* and *Miscanthus sacchariflorus* in Japan. Journal of Warm Regional Society of Animal Science, 57 (2), 147 - 152 (査読有)
- 9) Masahiro Tasumi, Kiyomi Hirakawa, Nobumi Hasegawa, Aya Nishiwaki and Rikako Kimura (2014) Application of MODIS Land Products to Assessment of Land Degradation of Alpine Rangeland in Northern India with Limited Ground-Based Information. Remote Sensing, 6 (10), 9260 - 9276 (査読有)
- 10) 西脇亜也, Marhamah Nadir (2014) ススキ属植物の系統進化における交雑の影響. 日本草地学会誌, 60 (2), 111-117 (査読有)
- 11) Maria S. Dwiyantri, J. Ryan Stewart, Aya Nishiwaki and Toshihiko Yamada (2014) Natural variation in *Miscanthus sinensis* seed germination under low temperatures. Grassland Science, 60 (3), 194 - 198 (査読有)
- 12) Marhamah Nadir, Aya Nishiwaki (他 7 名 Aya Nishiwaki は 7 番目) (2014) Comparison of relative DNA content estimated using DAPI and PI-FCM in *Miscanthus sinensis*, *Miscanthus sacchariflorus*, and their hybrids. Journal of Warm Regional Society of Animal Science, 57 (1), 53 - 57 (査読有)

[学会発表] (計 10 件)

- 1) 西脇亜也 (2017年3月21日) 8年間の禁牧処理による外来牧草の減少と野草の増加. 日本草地学会大会. 弘前大学 (青森県・弘前市)
- 2) 西脇亜也・李 曉琴・宋 維茹・宋 仁徳・李 国梅 (2016年10月23日) チベット高原の過放牧草地におけるヤクとヒツジの放牧が裸地率に及ぼす影響. 植生学会第21回大会. 大阪産業大学 (大阪府・大阪市)
- 3) Xiaoqin Li, Weiru Song, Rende Song, Guomei Li, Aya Nishiwaki (2016年7月20日) Aboveground net primary production in high altitude pastures on the Tibetan plateau. 10th International Rangeland Congress. Saskatoon (Canada)
- 4) Xiaoqin Li・西脇亜也・Weiru Song・Rende Song・Guomei Li (2016年3月30日)

Seasonal changes of herbage mass production in Yak and Sheep pastures in the Tibetan plateau. 日本草地学会大会. 石川県立大学 (石川県・金沢市)

- 5) 西脇亜也 (2015年10月11日) 都井岬草原における外来牧草の侵略性に及ぼす匍匐性の在来種の影響. 植生学会第20回大会. 高知大学 (高知県・高知市)
- 6) 西脇亜也・岡本庄平・石黒美穂 (2015年3月26日) コマツナギの複数系統における分子系統学的解析. 日本草地学会大会. 信州大学 (長野県・南箕輪村)
- 7) 李曉琴・西脇亜也・宋仁徳・李国梅 (2015年3月26日) チベット高原のヤク・ヒツジ放牧地における裸地率の空間変動. 日本草地学会大会. 信州大学 (長野県・南箕輪村)
- 8) 李曉琴・宋仁徳・李国梅・西脇亜也・長谷川信美 (2014年4月1日) 青海チベット高原野草放牧地におけるヤクとヒツジの行動の比較. 日本草地学会大会. 宮崎観光ホテル (宮城県・宮崎市)
- 9) Marhamah Nadir・田中有理佐・西脇亜也・山田敏彦・Ryan Stewart (2014年4月1日) ススキとオギのDNA量の変異から推定された種間雑種形成. 日本草地学会大会. 宮崎観光ホテル (宮城県・宮崎市)
- 10) 西脇亜也・井上万希 (2014年4月1日) 都井岬放牧地に分布する矮性コマツナギの高いクローン繁殖能. 日本草地学会大会. 宮崎観光ホテル (宮城県・宮崎市)

[図書] (計1件)

- 1) 高橋 佳孝・西脇亜也 (2017) 阿蘇草原の生態系サービスの評価と保全. in 阿蘇地域における農耕景観と生態系サービス. 横川洋・高橋 佳孝(編) 農林統計出版

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

<https://srhumdb.miyazaki-u.ac.jp/webopen/search?method=view&id=366>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西脇 亜也 (Aya Nishiwaki)

宮崎大学・農学部・教授

研究者番号: 60228244