

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26300006

研究課題名(和文) ブラジル・セルトンの急激なバイオ燃料原料の生産増加と水文環境からみた旱魃耐性評価

研究課題名(英文) Evaluation of an acquired resistance to drought with the increase of biofuel material products and the change of hydrological environment in Sertão, Brazil

研究代表者

宮岡 邦任 (MIYAOKA, KUNIHIDE)

三重大学・教育学部・教授

研究者番号：70296234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、セルトンに展開される持続可能な社会を構築するための統合的な水資源管理のあり方について検討した。地域振興のための大規模灌漑施設の拡充や画一的インフラ整備は、ペトロリーナ市の経済発展に貢献しており、この地域で頻発する干魃に対する一定の耐性を構築出来た結果と捉えることができ、現状で灌漑による水資源管理は効果を発現できていると考えられた。一方で、貯水池や土壌の塩類化やカーチングの植生構造の変化といった自然環境への影響が現れている。地域住民の干魃に対する意識は低下しており、現状では灌漑・生活用水としての水資源の枯渇以上に、インフラに必要な水力の確保の問題が顕在化しつつある。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the integrated water resources management to construct the sustainable society in Sertão, Brazil. Installation of large-scale irrigation facilities and the development of uniform infrastructure contribute to the economic development of Petrolina City. It can be a result of establishing certain resistance to drought in this area. In this situation, it shows that present water resource management by irrigation has been effective for regional development. On the other hand, these improvements affect the natural environment such as the salinization of reservoirs and soils and the changes in vegetation structure of caatinga. Consciousness of drought by residents is decreasing. Under the current situation, securing the hydraulic power for infrastructure is emerging more urgent problem than securing of water resources as irrigation and living water.

研究分野：自然地理学

キーワード：セルトン カーチング 灌漑 果樹農業 干魃耐性 住民意識 画一的インフラ整備

1. 研究開始当初の背景

BRICs の中でも最も経済発展の著しい国であるブラジルにおいて、北東部（ノルデステ）の熱帯半乾燥地域内陸部（セルトン）は、世界の砂漠化危険地域の中でも特に人口稠密な干ばつ常習地域である。一方で 1980 年以降の貧困救済のための国策によるバイオ燃料原料生産の増大に伴い、今後セルトンが大規模に開発されることで、従来の水循環システムや伝統的な人間社会環境に大きな変化をもたらされる懸念がある。

本研究対象地域であるセルトンのカーチンガを流れるサンフランシスコ川中流域のペルナンブコ州西部は、地質的な理由から地下水利用に適した帯水層が形成されておらず、水質的にも悪い地域が広がっている。これらの地域では、16～17 世紀にサトウキビ栽培によって繁栄した大西洋沿岸地域への食料供給地として牧畜業が発達した（丸山, 2013）。農場では干ばつのたびに土地を所有しない貧農は、排斥によるアマゾンや沿岸諸都市への移住を余儀なくされ、不安定な生活を強いられてきた歴史がある。

1980 年代以降、バイオディーゼル燃料の普及と北東部貧困地域の小規模農家救済の目的から、サンフランシスコ川からの灌漑により、セルトンでも大資本による大豆をはじめとした優良作物の栽培が行われるようになる。さらに 2005 年以降、ブラジルでのバイオ燃料生産が急拡大しサトウキビの作付面積が急拡大する中、環境規制区域であるアマゾン地域、パンタナール、パラグアイ川流域における環境への危惧が生じ始めた。これを受け、2009 年にサトウキビ農業生態学的ゾーニング制度が発表された。これは、将来のバイオエタノールおよび砂糖生産の増加に伴うサトウキビ作付面積の拡大が、生物多様性と調和した持続可能な耕作を計画するためのデータベース構築を目的としたものである。しかしながら、本研究課題対象地域であるペルナンブコ州をはじめとする北東部地域におけるゾーニング調査結果では、サトウキビ栽培への適性が高い土地の州における対象面積に対する割合は非常に低く、対象となっている現在の土地利用のほとんどを農牧地が占めているというのが現状である（小泉, 2012）。制度導入より、持続可能な方法で環境と調和するバイオ燃料の生産とこれによる炭素クレジット活用の促進、温室効果ガスの排出量の低下、土壌浸食の軽減による土壌保全の促進といった効果が期待されるとしているが、一方で牧草地からの農地転用に伴う地下水使用量の増加による地下水流動形態や水位への影響、施肥による周辺地下水や河川水水質への影響と安全な水の確保と健康被害の状況、農業経営形態の変化による地域住民の生活様式をはじめとする社会経済機構等への影響については触れられていない。これらのことは、本研究課題対象地域におけるサトウキビなどのバイオ燃

料原料栽培の是非を人間社会環境、自然環境の両面から議論する必要があることを示している。

地理学分野におけるブラジル北東部での科学研究費による研究は、1966 年以降継続的に 11 回実施されている。先行研究でも、研究遂行時点におけるカーチンガにおける牛や山羊の牧畜を主体とした牧畜業から灌漑による大資本によるアグリビジネスによる優良作物生産と、それに伴う自然環境や社会への負荷の現状について検証が行われてきた。しかし、1997 年を最後に最近 15 年あまりはこの地域を対象とした本格的な調査研究は実施されていない。その間のブラジルの急速な経済発展とバイオ燃料の需要増加を背景にした本研究対象地域における水文環境の変化による人間社会環境の早魃への耐性を評価することは、今後の持続的開発と自然環境変化の中で、ブラジルが安定した社会構造の構築を進めていくための喫緊の課題である。

2. 研究の目的

ブラジル北東部（ノルデステ）の熱帯半乾燥地域（セルトン）では、1980 年代以降のバイオ燃料需要の増加と小規模農家の貧困救済政策に伴う急激なバイオ燃料原料作物の増産の結果、環境負荷の低減、貧困農民の定住化等への効果が期待される一方で、牧草地からの農地転用に伴う地下水使用量の増加による地下水流動形態や水位への影響、施肥による周辺地下水や河川水水質への影響と安全な水の確保と健康被害、農業経営形態の大きな変化による地域住民の生活様式をはじめとする社会経済機構等への影響が懸念されている。本研究では、セルトンの典型的な土地利用変化を経験した事例農場を主な研究対象として地域住民の生活様式、社会経済機構、栄養・衛生状態への影響検証および地下水および河川水の水質・賦存量の実態検証を行い、それぞれの問題点の抽出から水資源・人間社会環境の早魃への耐性について評価する。

3. 研究の方法

本研究は、ブラジル北東部半乾燥地域（セルトン）のうち、早魃の頻発地帯でありながら灌漑によって急激な土地利用変化が顕在化しているペルナンブコ州西部地域を研究対象地域とする（図 1）。平成 26 年度は、対象地域の土地利用形

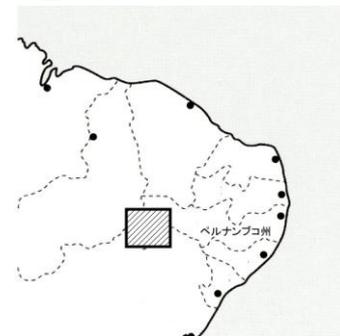


図 1 研究対象地域の位置

態と灌漑による水循環形態の実態を把握し、平成 27 年度以降の具体的な調査を効果的かつ効率的に実施するための原野（カーチンガ）、牧草地、バイオ燃料原料栽培地を有する事例農場の選定を行う（課題 1）。その上で、研究代表者および研究分担者の専門分野ごとに、水資源・水利用、植生（地表面環境変化）、農業生産（社会経済機構）、社会問題（生活様式、栄養摂取、健康被害）の柱となる 4 研究領域を設け（図 2）、河川水からの灌漑用水の利用とセンターピボット方式による地下水利用の現状と問題点の抽出（課題 2）、対象地域の社会経済機構、周辺住民の生活様式・栄養と衛生状態の現状と問題点の抽出（課題 3）について役割分担を明確にしながらか協働していく。セルトンに展開される人間社会環境を守るための統合的な水資源管理のあり方の検討（課題 4）として総括し、成果を広く社会に発信する。

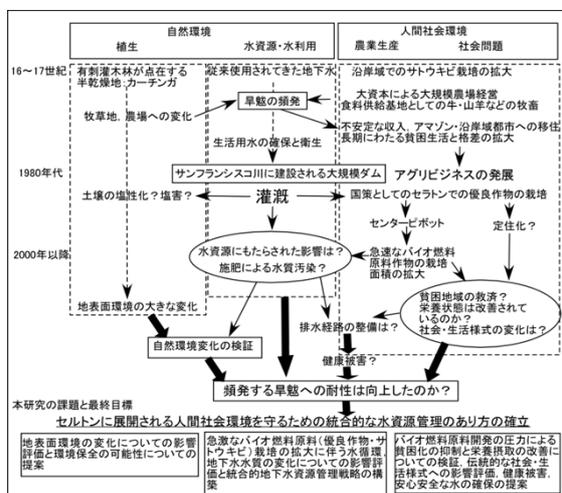


図 2 本研究の枠組み：セルトンにおける水資源にまつわる諸課題間の相互関係

4. 研究成果

(1) 灌漑による水環境、植生環境への影響
 灌漑用水からの導水がないアスーデの電気伝導度は、サンフランシスコ川から灌漑用水を介して導水されたアスーデと比較して値が非常に高く、この傾向は研究遂行期間のいずれの調査でも認められた。今回の調査で、カーチンガに分布する旧来の周辺から地表水や地下水を集水しているアスーデでは、水質濃度に大きな差が認められ、周辺に農地への変更がされていない地域では電気伝導度は低く、過去に農地として利用されていたところがあったり、カーチンガが伐採され裸地が広がっている地域では相対的に電気伝導度が高いことがわかった。溶存イオン濃度で、濃度に大きな地域的差異が認められたのは Cl⁻であった。サンフランシスコ川の灌漑水が導水されているアスーデや地表面の改変が行われていないカーチンガ地域のアスーデでは Cl⁻濃度が低いのに対し、農場内を流れる小河川では Cl⁻濃度は

非常に高く、小河川が流れる谷筋に沿って掘削した観測井では、河川水ほどの濃度ではないものの深度が浅いほど Cl⁻濃度は高い傾向にあった。施肥の影響と考えられる NO₃⁻は農地の近傍で特に顕著に検出されており、地表面の改変が行われていない地域では検出されていない。これらのことから、カーチンガの伐採と農地開発により、農地や裸地を中心に塩類集積が起こっている可能性が高いことが考えられた。

カーチンガの変化が農場周辺で顕著であることに注目し、農場に隣接したカーチンガの植生構造や種組成と土壌水分条件との対応関係をみたところ、以下の結果が得られた。

DAN 農場では、設定した測線上において土壌水分量と植生構造とが対応して変化した。雨季の土壌水分量は測線に沿った土壌水分量の明瞭な傾度はみられなかった一方で、厳しい乾燥環境下に晒される乾季には、農場との境界から距離が離れるに従って土壌水分量が低下した。すなわち、測線上に沿って、農場内から 20m 地点までの 3%程度から、400m 地点以降では土壌水分量が 1%程度に推移した（図 3 左上）。こうした乾季にみられる測線上での土壌水分量の明瞭な傾度は、隣接した農場での灌漑による水供給によるものと推察された。カーチンガの植生構造も、測線に沿って農場との境界からの距離にしたがい同様に変化していた。構成樹木の樹高は農場との境界から 20m 地点までは 6~8m であったのに対し、50m 地点以降は 4~5m 程度に低下した（図 3 左下）。また、個体密度は 30 個体/100m²程度から 10 個体/100m²に減少し（図 3 右上）、胸高断面積合計（BA）も同様に農場から離れるほど低下した（図 3 右下）。

NIAGRO 農場においても、灌漑が行われている農場に隣接する場所とそれ以外の場所とで植生構造が異なっていた（表 1）。農場に隣接する場所のカーチンガでは、樹木の個体密度が 50~70 個体/100m²で、樹高は 5~6m であったのに対し、離れた場所の樹木の個体密度は 10~20 個体/100m²と少なく、樹高は 3~5m と低下した。

どちらの調査地においても、隣接した農場で行われている灌漑の影響によりカーチンガの植生構造の変化が生じたものと考えられた。既に述べた通り、カーチンガの構成樹

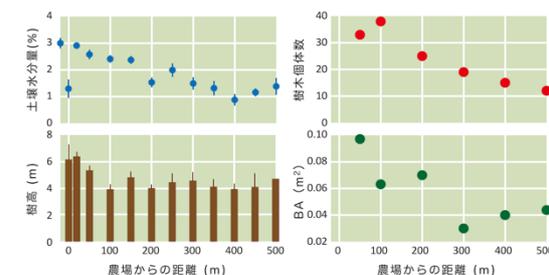


図 3 DAN 農場に隣接するカーチンガにおける土壌水分量（左上）、樹高（左下）、樹木個体数（右上）、胸高断面積合計（右下）

種は、水文環境の変化に対する感受性が極めて高く、わずかな土壌水分量の変化でも展葉する。二つの調査地では、現地での観察から、灌漑が行われている農場に近い場所で、構成する樹木のほとんどが乾季でも落葉せず葉をつけたままであった。一年の大半が厳しい乾燥環境に晒されるカーチングの構成樹種にとって、葉をつけて活動する期間が長いほど、一次生産量が多くなると考えられ、その結果として樹高や胸高断面積合計などの植生構造に差異が生じたものと推察された。

表1 NIAGRO農場における灌漑農場から離れた場所と隣接した場所におけるカーチングの植生構造

	灌漑農場からの距離	
	離れた場所 (n=4)	隣接した場所 (n=3)
出現種数	4.3	7.0
主な出現種	<i>Caesalpinia microphylla</i> <i>Mimosa verrucosa</i>	<i>Anadenanthera colubrina</i> <i>Caesalpinia pyramidalis</i> <i>Jatropha mutabilis</i>
林冠高 (m)	4.1	5.5
個体数密度 (No.)	15.8	59.3
胸高断面積合計 (m ²)	322.1	498.8

以上の結果から、灌漑による水供給により、農場周辺のカーチングにおいて、開発の程度に比例して、水体や土壌の塩類化が発生しているとともに、樹木が利用できる水資源量が増加して、水文環境が変化した結果、カーチングの植生構造を変化させていたことが明らかになった。これは、熱帯半乾燥地域（セルトン）では水資源が著しく制限されていることで、人間活動の水・土壌環境や植生環境に対する影響が相対的に大きくなるため、顕在化したものと考えられる。

調査対象地のサンフランシスコ川中流域では、自然度の高いカーチングのほとんどは灌漑農地に隣接した場所に残存するのみとなっている。カーチングの保全を考えていく上では、伐採や農地への転換といった直接的な影響だけでなく、本研究テーマで明らかにした水循環システムの変化を通じた人間活動の間接的な影響についても今後考慮していく必要がある。

(2) 対象地域の社会経済機構、周辺住民の生活様式の現状と課題

気候データから、当地域は周期的に干ばつに見舞われており、とくに 2011 年以降は、毎年の雨季の少雨により深刻な水不足状態にあることが示された。そのような現状においても、灌漑用水を供給する側の公社 (DINC) も農家の側も、少雨時に水を節約することよりも、常に作物に一定量の水を与えることを優先している。しかしながら当地域では、1990 年代頃から節水灌漑が広く普及しているので今のところ問題化していない。あるいは、従前から節水灌漑が広く普及しているからこそ、水不足だからといって目に見えて水使用量を減らすことができないとも言える。

そういう意味では干ばつ耐性はあるともいえるが、水力発電に電力の大半を依存する当地域においては、濁水に伴う水使用料（電力コスト）の高騰という別の問題がある。節水灌漑は水不足への耐性はあるといえるが、最先端の灌漑方式と大規模灌漑プロジェクトは、電力に依存するものであり、電力料の高騰に対しては別の対策が必要である。

果樹農業については、農業経営の変遷、出荷先との関係性、特に新品種の普及といった技術革新の視点から、以下のように纏められる。

サンフランシスコ川中流域では 1990 年前後よりマンゴーおよびブドウを中心に複数の果樹品目が栽培されるようになった。マンゴーおよびブドウは国内流通だけでなく、欧米諸国を中心に輸出されており、当該地域はブラジル有数の輸出地域へと発展していた。しかし、2000 年代後半に世界金融危機が発生すると、輸出果実の価格が低迷し、特にブドウの輸出に関わる地域の農業関係者は経営転換を余儀なくされた。輸出用ブドウの生産者では、外国で育種された品種を自農園にて栽培するようになり、品種更新が活発化していた。なかでも、自農園で生産から流通まで手掛けるような大規模農園では、周囲の生産者よりも早期に新品種を栽培するようになっており、さらに、サンフランシスコ川中流域における新品種の開発にも大いに関わっていた。こうした先駆的な生産者の協力を得ながら地元で開発された新品種は、サンフランシスコ川中流域の気候や土壌に適しており、海外で開発された新品種とは違いロイヤリティの支払いも必要としないことから、広くサンフランシスコ川中流域のブドウ生産者に普及し始めていた。他方、サンフランシスコ川中流域で普及し始めているブドウの新品種の品種特性をみると、当該地域の気候条件を生かし、1年で2作の品種が中心となっていた。こうした品種は1年で1作の品種よりも年間の水使用量が多い。節水灌漑が普及しているサンフランシスコ川中流域であっても、近年の早魃の中で、水使用量が増加する新品種を普及させ続けることは、今後の当該地域における果樹栽培農業の持続に不安を感じさせた。したがって、今後のサンフランシスコ川中流域における果樹栽培農業の展開を注視していく必要がある。

(3) セルトンに展開される人間社会環境を守るための統合的な水資源管理のあり方

地域振興のための大規模灌漑施設の拡充やそれに伴う画一的インフラ整備は、ペトロリーナ市の経済発展や果樹農業を中心とした住民の定住化と生活レベルの向上に貢献しており、この地域で頻発する干ばつに対する一定の耐性を構築できたと捉えることができる。このような結果は、現状で灌漑による水資源管理は地域の持続社会の維持に効果を発現できていると考えられる。しかし、研

究遂行期間を含めて数年来続いている干魃により、ソブラジエニョ湖の貯水率が非常に低下しており、発電への影響が出始めている現状に対し、灌漑・生活用水としての水資源の枯渇以上に、発電に必要な水力の確保の問題が顕在化しつつあるにもかかわらず、地域住民に干魃に対する災害リスク拡大の意識は存在しない。

未開発地域に向けて開発の最前線地帯は進行しており、灌漑施設とそれに伴う郊外への住民の定着による大規模かつ画一的インフラ整備地域の拡大は、旧来の伝統的な自然災害に適応した生活習慣・文化を持つ集落を吸収し、中心市街地と同質化した集落が形成されている。このような状況から、現在、本地域で進行している開発に伴うカーチングをはじめとする自然資源の劣化を引き起こすとともに、地域特性に適応できる形で培われてきた地域固有の伝統的生活様式の劣化や消失を招いており、将来の環境変化に対する災害リスクの拡大の懸念が今後の課題である。

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 1 件)

山下亜紀郎・羽田 司 (2016)「ブラジル北東部ペトロリーナにおける果樹農業の発展と灌漑方式の変遷」『人文地理学研究』36, 43-53. (査読無)

[学会発表] (計 11 件)

- ① 宮岡邦任, 吉田圭一郎, 山下亜紀郎, 羽田 司, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2018) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (11) —灌漑による塩類集積の検討—. 日本地理学会 2018 年春季学術大会, 2018 年 3 月 22 日, 東京学芸大学.
- ② 吉田圭一郎, 宮岡邦任, 山下 亜紀郎, 羽田 司, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2018) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (10) —灌漑による水文環境の変化が 周辺植生に与える影響—. 日本地理学会 2018 年春季学術大会, 2018 年 3 月 22 日, 東京学芸大学.
- ③ 山下亜紀郎, 羽田 司, 宮岡邦任, 吉田圭一郎, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2018) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (9) —日系入植者たちの社会・経済の変遷—. 日本地理学会 2018 年春季学術大会, 2018 年 3 月 22 日, 東京学芸大学.
- ④ 吉田圭一郎, 宮岡邦任, 山下亜紀郎, 羽

田 司, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2017) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (8) —土壌水分に応答するカーチング構成樹木の葉フェノロジー—. 日本地理学会 2017 年春季学術大会, 2017 年 03 月 28 日, 筑波大学.

- ⑤ 山下亜紀郎, 羽田 司, 宮岡邦任, 吉田圭一郎, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2017) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (7) —水利事情からみた灌漑果樹農業の持続性—. 日本地理学会 2017 年春季学術大会, 2017 年 03 月 28 日, 筑波大学. (招待講演)
- ⑥ 羽田 司, 山下亜紀郎, 宮岡邦任, 吉田圭一郎, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2017) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (6) —世界金融危機後の灌漑果樹生産地域の変容—. 日本地理学会 2017 年春季学術大会, 2017 年 03 月 28 日, 筑波大学.
- ⑦ 吉田圭一郎, 宮岡邦任, 山下亜紀郎, 羽田 司, Marcelo Eduardo Alves, Olinda, Armando Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2016) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (5) —灌漑によるカーチング植生への影響—. 日本地理学会 2016 年春季学術大会, 2016 年 03 月 21 日, 早稲田大学.
- ⑧ 山下亜紀郎, 羽田 司, 吉田圭一郎, 宮岡邦任, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2016) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (4) —ペトロリーナにおける果樹農業の発展と節水灌漑の普及—. 日本地理学会 2016 年春季学術大会, 2016 年 03 月 21 日, 早稲田大学.
- ⑨ 宮岡邦任, 吉田圭一郎, 山下亜紀郎, 羽田 司, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2016) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (3) —貯水池 (アスーデ)・河川水の水質分布—. 日本地理学会 2016 年春季学術大会, 2016 年 03 月 21 日, 早稲田大学.
- ⑩ 吉田圭一郎, 宮岡邦任, 山下亜紀郎, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando, Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes, 大野文子 (2015) ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動 (2) —カーチングの現状と人間活動による影響—. 日本地理学会 2015 年春季学術大会, 2015 年 03 月 28 日, 日本大学文理学部.
- ⑪ 宮岡邦任, 吉田圭一郎, 山下亜紀郎, Marcelo Eduardo Alves Olinda, Armando, Hideki Shinohara, Frederico Dias Nunes,

大野文子(2015)ブラジル・セルトンの水文環境と人間活動(1) —プロジェクトが目指すもの—. 日本地理学会 2015 年春季学術大会, 2015 年 03 月 28 日, 日本大学文理学部.

Armando Hideki Shinohara
UFPE-Federal University of Pernambuco

Frederico Dias Nunes
UFPE-Federal University of Pernambuco

大野 文子
UFPE-Federal University of Pernambuco

[図書] (計 4 件)

- ①山下亜紀郎 (2016)「ノルデステの環境と開発：農牧業の推移」ブラジル日本商工会議所編『新版現代ブラジル事典』新評論, 254 (p170-171).
- ②山下亜紀郎 (2016)「ノルデステの環境と開発：大規模灌漑農業の現状と課題」ブラジル日本商工会議所編『新版現代ブラジル事典』新評論, 254 (p173).
- ③吉田圭一郎、2016、「熱帯林の減少」「宇宙からのアマゾン監視」、ブラジル日本商工会議所編：『新版現代ブラジル事典』新評論, 254 (p162-163).
- ④吉田圭一郎 (2016)「アンデスの氷河後退域における植生発達—種多様性と生育型の標高変化」水野一晴編：『アンデス自然学』古今書院、228 (p121-129)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮岡 邦任 (MIYAOKA, Kunihide)
三重大学・教育学部・教授
研究者番号： 7 0 2 9 6 2 3 4

(2) 研究分担者

吉田 圭一郎 (YOSHIDA, Keiichiro)
横浜国立大学・教育学部・教授
研究者番号： 6 0 3 7 7 0 8 3

山下 亜紀郎 (YAMASHITA, Akio)
筑波大学・生命環境系・助教
研究者番号： 6 0 3 9 6 7 9 4

仁平 尊明 (NIHEI, Takaaki)
北海道大学・文学研究科・准教授
研究者番号： 6 0 3 4 4 8 6 8

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

Marcelo Eduardo Alves Olinda
IF-Sertão, Pernambuco