

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23401003

研究課題名(和文)ユーカリ林を組み込んだ土地利用連鎖系による持続的土地利用の実証と体系化

研究課題名(英文) Establishment of sustainable production systems by coupling eucalyptus plantation in land-use sequences

研究代表者

田瀬 則雄 (TASE, Norio)

筑波大学・名誉教授

研究者番号：40133011

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円、(間接経費) 4,050,000円

研究成果の概要(和文)：ユーカリ林の環境・生態学的悪影響などを評価し、ユーカリの特性を利用し、農地からの栄養塩溶脱による地下水汚染とサトウキビの大規模耕作による土壌侵食の防止などを、ユーカリ林の植林地の配置・土地利用連鎖系などによる営農法を提案することを目的とした。ブラジル、サンパウロ州のRio Claroにおいて、水文、土壌調査、土地利用・営農調査などを行い、ユーカリ植林の体系や配置を工夫することにより、環境の保全に資する可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：This project evaluated backgrounds and conditions to environmental mal-impacts of eucalyptus and sought sustainable crop producing systems with coupling with eucalyptus plantation in land-use sequences in order to prevent groundwater contamination by nitrate and soil erosion, through field surveys of water and soil, and land-use and farm operation.

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：地理学

キーワード：ブラジル トウキビ 持続的土地利用 調和型農林水産 土地利用連鎖 水循環 硝酸性窒素 ユーカリ植林 サ

1. 研究開始当初の背景

紙の需要の増大とともに、温暖化対策、薪炭材、あるいはバイオエネルギーなどと関連して木材資源が注目を集めている中で、成長速度が著しく速いユーカリの植林が世界の多くの地域で広く行われている。とくにブラジルでは、南東部(サンパウロ州、ミナス・ジェライス州など)を中心に 350 万 ha がすでにユーカリ林となっており、世界第2位のユーカリ植林国となっている。

ユーカリの木材資源としての有用性は高いが、一方でユーカリの環境への悪影響、生態学的な影響が指摘されてもいる。すなわち、①土壌の栄養分の消費が大きく、土壌の劣化が生じる、②土壌水分を多量に吸収し、周辺の乾燥化を促進する、③外来種の広域植林により生態系の多様性が失われる、そして④ユーカリの出す化学物質が有害である場合がある、などである。これらについては Whitehead and Beadle(2004)などのレビューがあり、オーストラリアなどの半乾燥地では弊害が出ているところもあるが、ブラジルではこれらの問題がほとんど顕在化していないというのがブラジルでの認識となっている(桜井、1996)。この大きな要因は年平均降水量が多く、比較的湿潤な地域に主に植林されていることが想定されるが、詳細な条件については科学的に検討する必要がある。

ブラジルの植林企業は、農地や牧草地を借り上げてユーカリを植林している。パルプ用の品種は7年、薪用(製鉄用)の品種は5年で伐採されている。伐採後は、基本的にもとの状態にして地主に返還されるが、一部では土壌侵食や水資源の枯渇により、以前と同じ生産性を上げることが難しくなる場合なども指摘されている。

ブラジル南東部は、サトウキビの主要産地でもあり、農地からの硝酸性窒素による地下水汚染が顕在化しつつあるとともに、近年強度の激しい降雨頻度が増加する傾向にともない畑地からの土壌侵食・流亡も深刻な問題となってきた。前者の地下水汚染については、都市域の発展にともない、大都市郊外での地下水資源の競合が発生し始めている中で、実効性のある防止対策が求められている(Hirata 私信、2010)。また、後者の土壌侵食の問題は、新しい問題ではないが、ブラジルではサトウキビの絞りかすや廃液の農地還元の問題と関連して、農用地における土壌保全として総合的に取り組むべき課題となってきた。

2. 研究の目的

本研究の目的は以下である。

(1)ユーカリ植林の実態の解明：本研究の基礎として、ユーカリ植林がどこで、どのように行われ、管理されているのかを、地主あるい

は企業主への聞き取りを含めたフィールド調査を中心に地理学的記載、解析により明らかにする。GISにより立地条件、農地との配置関係なども解析する。

(2)ユーカリ植林の環境科学的・生態学的影響の評価：上述のようにユーカリ林には環境・生態系への影響が懸念されている。成長速度が速い、すなわち水分・栄養分を大量に吸収するため周辺への影響が強く、オーストラリアなどの半乾燥地では問題となっている例もあるが、ブラジルでは比較的多くの研究例(Stape et al., 2004; Cabral et al., 2010 など)が支持しているように悪影響はほとんど顕在化していない。世界およびブラジルでの研究例のさらなるレビューとともに、現地での観察・観測を併せて、主に水文および土壌条件の閾値、許容条件を明らかにする。

(3)ユーカリ林の環境保全機能の評価：ユーカリ林は上述のように水分・栄養分を大量に吸収するため(2)のような懸念もあるが、この特性を利用して環境を保全することも可能である。すなわち、上流側の農地から流入してくる地下水中の高濃度の栄養塩(硝酸イオン)を吸収することにより、汚染の浄化と清浄な地下水源を確保することが可能となる。農地とユーカリ林を地形、地下水流動などを考慮して適切に配置することにより、環境保全と木材生産を持続的に実現できることになる。

また、土壌保全については、ブラジルでも近年高強度の降雨の頻度が増加している状況下で、サトウキビ畑からの土壌侵食・栄養塩の流亡が深刻な問題となってきた。林地の配置、サトウキビの絞りかす(バガス)・廃液(ヴィナーゼ)の施用などによる対策も行われており、前者の問題と併せて総合的に取り組む必要がある。

(4)植林地の最適配置および管理による環境負荷低減・浄化：上記の(2)(3)の成果に基づき、ユーカリ植林と農地の組み合わせと配置—**土地利用連鎖系の形成**—により、環境と農地の保全を計りながら、食料と木材の生産を最適化する方策を検討し、提示する。

(5)これまでのセラード開発を通して築き上げられた日本とブラジルの協力関係を生かしながら、開発途上国への農業開発援助の中で活かせるような提言を行う。

3. 研究の方法

ユーカリ林の環境・生態系への影響を文献調査と現地観察による科学的知見・情報による評価をもとに、ブラジル・サンパウロ州のユーカリ植林、サトウキビの栽培が盛んな地域で土地利用連鎖系(負荷源である農地の下流側に保全・浄化機能を持つユーカリ林を配置することにより保全機能を発揮させるシステム、図1)が形成されているプロットで詳細な現地調査観測(水文、土壌、地形、土

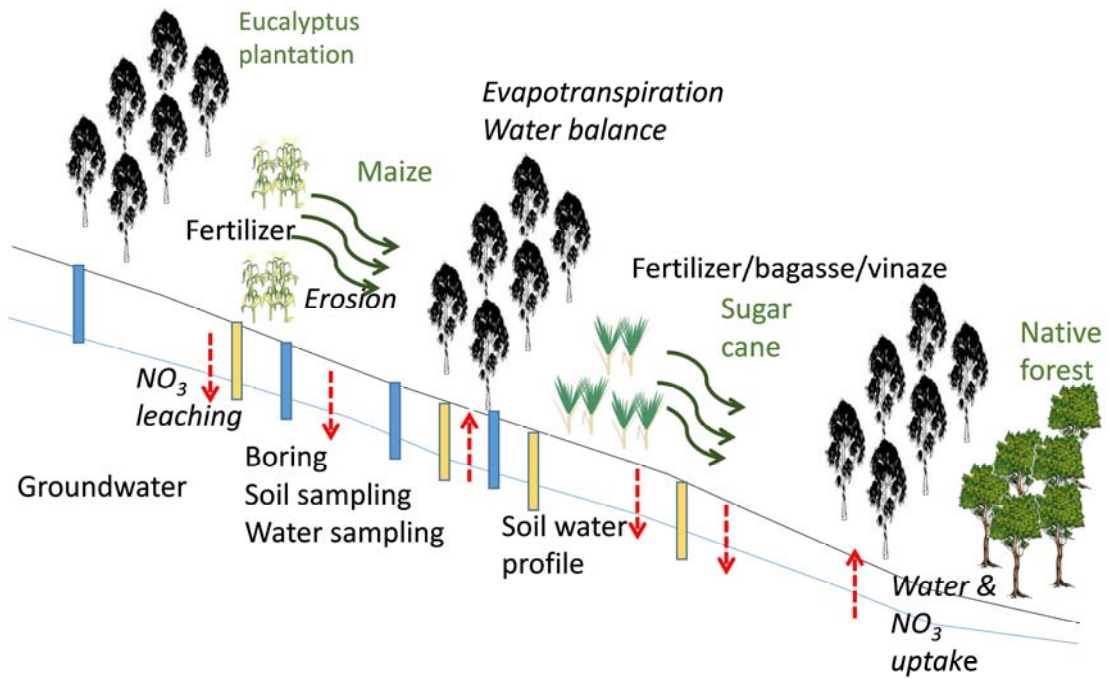


図1 ユーカリを組み込んだ土地利用連鎖系の概念図

地利用・管理)を行い、ユーカリ林の地下水汚染浄化機能、土壌侵食防止機能など環境保全機能を定量的に評価し、植林と農地の持続的で、保全機能を最大に発揮できる適正な配置、組み合わせ、管理などを明らかにした。

研究対象地域(図2)はPiracicaba周辺としたが、サトウキビ畑とユーカリ林が隣接し、地下水面が浅いサンパウロ州のRio Claro市郊外を主な観測サイトとした。調査地一帯はシルト質砂層からなる標高600mの波状の準平原で、年平均気温は21.8℃、年降水量は1367mmである。上流側にサトウキビ畑が存在し、下流側にユーカリが植林され、その樹齢はおよそ5年、樹高は20m程度である。100m x 200mの範囲に、1~20mほどの地下水観測井網を掘削し、地下水位、水質を分析した。また、周辺地域で、湧水、井戸水、河川水なども採水・分析するとともに、サンパウロ大学農学部圃場にて、安定同位体測定のための降水の定期的採水を実施した。

表層土壌については、土壌断面調査を行い、粒径組成、TC、TN、CECなどの一般理化学特性を分析し、ユーカリ林およびサトウキビ畑の土壌の特性を比較検討した。

ユーカリおよびサトウキビの栽培、営農形態などについては、サンパウロ州・ピラシカーバを中心に土地利用などのフィールドワークと、ユーカリ栽培農家、サトウキビ栽培農家、野菜栽培農家、製糖工場、製粉工場、ブラジル農牧業公社、サトウキビ技術開発センター(CTC)、カンピーナス農業研究所(IAC)、ユーカリ博物館(Museu do Eucalipto、

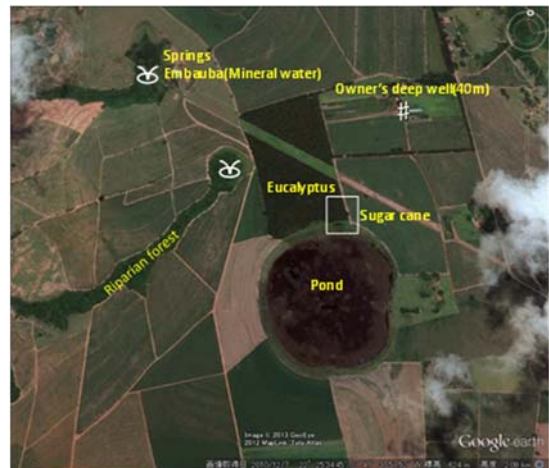


図2 研究対象地域(Rio Claro)の状況

Rio Claro)などで聞き取り調査を行い、農業の作業体系、農業技術の発展、革新技術の開発など、ブラジルの土地利用連鎖系を考察するために必要な基礎的なデータを収集した。

ユーカリの環境への影響については、文献調査のほかに、地表面熱収支モデルと根系吸水モデルをカップリングさせた新たなモデルを開発し、蒸発散量の制御因子を検討し、地下水の枯渇をもたらすか否かを検討した。

4. 研究成果

調査地域一帯は、セラードの南縁部で、現在はサトウキビ畑、ユーカリ植林、放牧地が広がっている。サトウキビ畑では、石灰、堆肥と化成肥料などが施用され、窒素としては150~200kgN/ha程度である。ユーカリについて

ても植え付け初期に 50~100kgN/ha の施肥が行われている。

一帯のユーカリ林における水収支は、降水量の 80~90%が蒸発散で消費される (Lima, 2011)ため、地下水位の低下、基底流量の減少などが懸念される。研究サイトでは、下流側に存在する池に向かって地下水が流動していると想定していたが、観測の結果では地下水は池を涵養源としてユーカリ林へ流入していた。これは酸素安定同位体比の値からも支持された。ユーカリ林の土壤水分・地下水吸収により、水文環境が大きく影響されていることが明らかになった。このユーカリ林は 2013 年 11 月に伐採されたので、伐採後の地下水変動を現在モニタリングしており、影響を評価できると考えている。

土壌断面調査と一般理化学性の結果から、全地点で気候と風化の影響を受けており、酸性で非常に粗粒質な土壤であることがわかった。土壌は交換性塩基、CEC などが少なく、溶脱が進んでいた。硝酸態窒素の分析より、サトウキビ畑で窒素が溶脱され、ユーカリ林ではユーカリのリターによって表層で含有量が多く、下層ではユーカリの吸収によって含量が少ないことが明らかとなった。耐水性団粒分析と土壌微細形態観察より、ユーカリ林において植物根と有機物が多く、団粒構造が発達していることが明らかになった。なお、この地域一帯の土壌侵食の状況は、サトウキビ畑で、とくに収穫後に散見されたが、ユーカリ林内ではほとんど認められなかった。

サトウキビ畑が広がる周辺地域の地下水・湧水、河川水は溶存成分、栄養塩類が少なく、貧栄養の状態、水質は概して良好である。サトウキビ畑や一部のユーカリ林内では施肥と考えられる地下水中の硝酸性窒素濃度の上昇が認められたが、ユーカリ林や深層 (数十 m) の地下水では硝酸性窒素濃度は低かった。これは長年の溶脱により土壌が貧栄養状態にあり、近年の施肥が過剰でなく、作物の肥料効率も高く、またユーカリ植林や河畔林による吸収により、環境へ流出していない状況と考えられ、隣接するミネラルウォーター (Embauba) の水質は、硝酸イオンの濃度は低い、経年的には上昇しており、また組成割合は異常に高くなっており、周辺のサトウキビ畑からの肥料の溶脱が懸念され、長期的には汚染問題となる可能性がある。

サトウキビ栽培の営農面では、機械化や経営規模の拡大により、経済性を追求した生産構造の存在が確認できた。なかでも収穫機の導入、新品種の普及、耕地の貸借、製糖工場によるエタノール残渣の施肥に特徴があった。ユーカリ栽培でも製紙工場による大規模な生産が増加している。ある工場では育苗・定植・収穫・加工の一環経営により、10 万 ha を栽培していた。そのためサトウキビの産地ではサトウキビ、ユーカリの産地ではユーカリというように、特定の品目に特化した土地利用が広がり、相互に関連がほとんどないことが問

題である。

土地利用連鎖を利用する場合、サトウキビなどの畑の下流側にユーカリ林(あるいは原生の河畔林)を配置することが必要である。現状では、河畔林を法律上保存しなければならない地域では、このような配置がなされているが、ユーカリ林が上流側、とくに傾斜地ではその傾向が強い。また、サトウキビの収穫において、火入れの禁止が実施されつつあり、機械収穫が可能でない、12 度以上の傾斜地(一般に上流側)では、サトウキビ畑がユーカリ林に変換され、土地利用連鎖を活用できなくなる可能性が高いことが懸念される。

地表面熱収支モデルと根系吸水モデルを結合させ開発したモデルを、オーストラリア西部・同北部・インド・南アフリカ・ブラジルの 5 地点についてユーカリ蒸発散量観測データをもとにその有効性を検証し、ユーカリからの蒸発散量の制御因子として、気候条件よりも生育状況に大きく依存し、林齢が高く深部根系が多くなるほど地下水枯渇のリスクが高まることが示された。

これまでの水文、土壌調査、土地利用・営農調査などから、農地からの栄養塩溶脱による地下水汚染とサトウキビの大規模耕作による土壌侵食の防止などを、ユーカリ林の植林地の配置—土地利用連鎖系—などによる営農により、環境の保全に資する可能性を見いだした。とくに、河畔林・原生林を一定の割合で残存維持させる政策との組み合わせ、7 年程度で伐採し、根系域が土壌深部へ侵入しないようにし、さらにはユーカリの連作は回避し、地下水の回復を促すなどの配慮も必要である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 仁平尊明 (2014) : ブラジル・サンパウロ州における農業調査. 人文地理学研究, 34, 185-201. (査読なし)
- ② 田瀬則雄 (2013) : ブラジルの水問題—豊かであるが、脆弱でもある水資源. 『歴史と地理 地理の研究』 No. 189, 20-27. (査読なし)

[学会発表] (計 20 件)

- ① 林 久喜・仁平尊明・シロタ ヒカルド・田瀬則雄 (2014) : ブラジルサンパウロ州におけるサトウキビ栽培とその動向について. 日本農作業学会 2014 (平成 25) 年度春季大会 (第 49 回講演会), 神戸大学, 2014 年 5 月 15 日
- ② R. SHIROTA (2014) : The past, present and the challenges facing agriculture in the State of São Paulo. Workshop on "Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil", Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.

- ③ H. HAYASHI(2014):Present status of sugar cane production system in the State of Sao Paulo and its future. Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.
- ④ T. NIHEI, H. HAYASHI, N. TASE, S. ONODERA, T. YAMANAKA, K. TAMURA, R. SHIROTA, R. HIRATA, and F. SARAIVA. Characteristics of sugar cane and eucalyptus production in the State of São Paulo. Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.
- ⑤ R. HIRATA, C. VARNIER, S. PROCEL, and F. CAGNON(2014): Groundwater contamination by nitrate in São Paulo, Brazil. Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.
- ⑥ F. SARAIVA (2014) : Geophysical research and present results at Rio Claro study area. Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.
- ⑦ S. TAKIZAWA, K. TAMURA, and N. TASE (2014) : Soil properties of Eucalyptus forest and Sugarcane field in the State of São Paulo. Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.
- ⑧ T. YAMANAKA (2014) : Water use by eucalyptus trees: climatic or root-morphological control ? Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.
- ⑨ N. TASE, S. ONODERA, T. YAMANAKA, F. SARAIVA, R. TERADA, R. HIRATA, R. SHIROTA, T. HOSONO, and S.W. LEE (2014): Dynamics of water and nutrients around border of eucalyptus forest and sugar cane field in Rio Claro, São Paulo. Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.
- ⑩ S. ONODERA, N. TASE, R. TERADA, F. SARAIVA, R. HIRATA, M. SAITO, and Y. MARUYAMA(2014) : Nutrient component of groundwater in agricultural land. Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.
- ⑪ R. TERADA, R. HIRATA, and F. SARAIVA(2014) : Eucalyptus phytoremediation capacity to attenuate groundwater contamination by nitrate. Preliminary results from Rio Claro and Itatinga (São Paulo state, Brazil) study areas. Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of Sao Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan. Feb. 28, 2014.
- ⑫ 田瀬則雄・小野寺真一・山中 勤・林 久喜・田村憲司・瀧澤紗史・仁平尊明・R. HIRATA ・ F. SARAIVA ・ R. TERADA ・ R. SHIROTA(2013):ユーカリ林周辺の水と栄養塩の動態—その2. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ, 2013 年 5 月 22 日.
- ⑬ 瀧澤紗史・田村憲司・東照雄・田瀬則雄・リカルド シロタ・リカルド ヒラタ (2013):サンパウロ州におけるユーカリ林を組み込んだ土地利用連鎖系下の土壤微細形態的特徴. 日本ペドロジー学会 2013 年大会, 東北大学, 2013 年 10 月 25 日.
- ⑭ 林 久喜・仁平尊明・田瀬則雄・山中 勤・田村憲司・小野寺真一・ R. SHIROTA ・ R. HIRATA ・ F. SARAIVA (2013) :ユーカリ林を組み込んだ土地利用連鎖系による持続的土地利用の実証と体系化-その4-ブラジル サンパウロ州におけるサトウキビ栽培体系の特質. 日本熱帯農業学会第 113 回講演会, 茨城大学, 2013 年 3 月 30 日.
- ⑮ 仁平尊明・林 久喜・田瀬則雄・小野寺真一・山中 勤・田村憲司・瀧澤紗史・ R. SHIROTA ・ R. HIRATA ・ F. SARAIVA (2013) :ユーカリ林を組み込んだ土地利用連鎖系による持続的土地利用の実証と体系化-その3-サンパウロ州におけるサトウキビ生産の展開と課題. 日本地理学会 2013 年春季学術大会, 立正大学, 2013 年 3 月 29 日.
- ⑯ 田瀬則雄・山中 勤・林 久喜・田村憲司・瀧澤紗史・小野寺真一・仁平尊明・R. HIRATA ・ F. SARAIVA ・ R. TERADA ・ R. SHIROTA (2013) :ユーカリ林を組み込んだ土地利用連鎖系によ

る持続的土地利用の実証と体系化-その2
- 水質特性. 日本地理学会 2013 年春季
学術大会, 立正大学, 2013 年 3 月 29 日.

- ⑰ F. SARAIVA, R. TERADA, R. HIRATA, N. TASE, R. SHIROTA, H. Hayashi, T. Yamanaka, K. Tamura, S. Onodera, T. Nihei, S. Lee, and S. Takizawa(2012): Bioremediação de áreas impactadas pelo cultivo de cana de açúcar com uso de eucalipto. 46th Congresso Brasileiro de Geologia, Santos, Brazil, Oct. 1, 2012.
- ⑱ 田瀬則雄・山中 勤・林 久喜・田村憲司・瀧澤紗史・仁平尊明・小野寺真一・R. HIRATA・F. SARAIVA・R. TERADA・R. SHIROTA (2012): ユーカリ林周辺の水と栄養塩の動態. 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ, 2012 年 5 月 22 日.
- ⑲ 田瀬則雄・小野寺真一・山中 勤・林 久喜・田村憲司・瀧澤紗史・仁平尊明・R. HIRATA・F. SARAIVA・R. TERADA・R. SHIROTA (2012): ユーカリ林を組み込んだ土地利用連鎖系による持続的土地利用の実証と体系化-その1-. 日本地理学会 2012 年春季学術大会, 首都大学東京, 2012 年 3 月 29 日.
- ⑳ 瀧澤紗史・田村憲司・田瀬則雄(2012): ブラジル連邦共和国サンパウロ州におけるユーカリ植林地とサトウキビ畑の土壌の比較. 日本ペドロロジー学会 2012 年大会, 首都大学東京, 2012 年 3 月 6 日.

[その他]

ホームページ等

<http://samerica.envr.tsukuba.ac.jp/kaken/mt-fuji.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田瀬 則雄 (TASE, Norio)

筑波大学・名誉教授

研究者番号: 40133011

(2) 研究分担者

山中 勤 (YAMANAKA, Tsutomu)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号: 80304369

林 久喜 (HAYASHI, Hisayoshi)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号: 70251022

田村 憲司 (TAMURA, Kenji)

筑波大学・生命環境系・教授

研究者番号: 70211373

小野寺 真一 (ONODERA, Shinichi)

広島大学・総合科学研究科・准教授

研究者番号: 50304366

仁平 尊明 (NIHEI, Takaaki)

北海道大学・文学研究科・准教授

研究者番号: 60344868

(3) 研究協力者

HIRATA, Ricardo

サンパウロ大学・地球科学研究科・教授

SARAIVA, Fernando

サンパウロ大学・地球科学研究科・上級研究員

SHIROTA, Ricardo

サンパウロ大学・農学部・教授

細野 高啓 (HOSNO, Takahiro)

熊本大学・大学院先端機構・特任助教

研究者番号: 30367065

李 盛源 (LEE, Seongwon)

立正大学・地球環境学部・助教

研究者番号: 90466665

瀧澤 紗史 (TAKIZAWA, Sachika)

筑波大学・生命環境科学研究科・院生

TERADA, Rafael

サンパウロ大学・地球科学研究科・院生