

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2013～2016

課題番号：25257401

研究課題名(和文) タワー観測のネットワーク化による脆弱で巨大な熱帯泥炭炭素の動態解明

研究課題名(英文) Evaluation of the carbon balance of tropical peat ecosystems using a tower-flux network

研究代表者

平野 高司 (Hirano, Takashi)

北海道大学・農学研究院・教授

研究者番号：20208838

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,690,000円

研究成果の概要(和文)：東南アジアの様々な熱帯泥炭生態系(未排水の泥炭林、排水された泥炭林、泥炭林の焼跡、ゴム園など)で、泥炭分解にともなうCO₂放出量や生態系スケールでのCO₂収支、水の流動にともなう炭素(溶存有機炭素)流出量などの観測を行った。その結果、泥炭の好氣的分解の地下水位への依存性、泥炭分解がゴム園で大きいこと、地盤沈下に対する泥炭分解の寄与などが明らかになった。観測データを用いて陸域生態系モデルをカスタマイズし、ボルネオ島全域の熱帯泥炭生態系の炭素収支を評価した結果、年間のCO₂放出量が $1.8 \pm 12.9 \text{ Mt C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ となった。

研究成果の概要(英文)：In tropical peat ecosystems in Southeast Asia, including an undrained peat swamp forest, a drained swamp forest, a burned ex-swamp forest, a rubber plantation etc., various CO₂ or carbon fluxes were measured, and CO₂ emissions through oxidative peat decomposition, ecosystem-scale CO₂ balance and carbon leaching (dissolved organic carbon: DOC) through runoff were quantified. As a result, 1) the sensitivity of peat decomposition to groundwater level, 2) a large amount of peat decomposition in a peat plantation, and 3) the contribution of peat decomposition to total subsidence, were mainly elucidated. The field data of CO₂ fluxes were used to customize a terrestrial ecosystem process model (VISIT) to tropical peat ecosystems. Using the model, the carbon balance of tropical peatlands in whole Borneo Island was evaluated to be $1.8 \pm 12.9 \text{ Mt C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, which suggests that the tropical peat ecosystems have already changed to a carbon source.

研究分野：農林気象学

キーワード：熱帯泥炭林 環境攪乱 排水 土地利用変化 プランテーション 泥炭分解

1. 研究開始当初の背景

熱帯泥炭地の総面積は 44 万 km² に及び、地球上の泥炭が蓄積する土壤炭素の 18 ~ 19% に相当する 89 Pg の炭素を保持している。東南アジア (主にインドネシアとマレーシア) では、低平地を中心に 25 万 km² の熱帯泥炭地が熱帯泥炭林とともに発達してきた。しかし、1970 年代以降、森林伐採や農地開発などが進み、熱帯泥炭地の環境が大きく変化している。このような環境攪乱は泥炭地を乾燥させ、泥炭の好氣的分解を促進する。また、乾燥にともない泥炭の可燃性が上がるため、大規模な泥炭火災のリスクが高まる。このように、熱帯泥炭地は大きな人為圧力にさらされており、泥炭炭素の脆弱性が急速に上昇している。現在、熱帯泥炭地は陸域生態系における炭素動態のホットスポットとして認識されており、近い将来、大規模な CO₂ ソースになることが危惧されている。そのため、熱帯泥炭生態系の炭素循環を解明し、炭素収支を定量化するとともに、環境攪乱に関連した変化を予測することが地球温暖化抑制の観点から強く求められているが、科学的根拠に基づく成果は未だ得られていない。

熱帯泥炭生態系の炭素動態については、チャンパー法による泥炭土壌からの CO₂ 放出量 (土壌呼吸量) の測定、地面沈下量から泥炭の好氣的分解を推定、衛星リモートセンシングにより泥炭火災にともなう炭素放出量を推定、などの研究がかなりあるが、土壌 CO₂ 放出量の測定における手法の不統一性、地面地下量に対する好氣的分解の寄与の変動特性が未解明、生態系スケールでの炭素循環を定量化するための情報や知見が不足、といった問題を抱えており、炭素収支の定量評価における不確実性を低減するには多くの科学的課題が残されている。なお、森林を含む生態系スケールで炭素収支 (大気 - 生態系間の CO₂ 交換量) を長期にわたって連続的に評価した報告は、申請者らの研究 (Hirano *et al.*, 2007, 2009, 2012) 以外にない。

2. 研究の目的

本研究では、東南アジアの様々な熱帯泥炭生態系で行われている CO₂ フラックスに関連した観測研究をネットワーク化し、各サイトで得られたデータを統合的に解析することで熱帯泥炭生態系の炭素動態を明らかにする。また、熱帯泥炭生態系の炭素循環をモデル化して陸域生態系物質循環モデルに組み込むことで、東南アジアの熱帯泥炭地の炭素循環を広域評価する。

3. 研究の方法

インドネシアとマレーシアにまたがるボルネオ島の様々な熱帯泥炭生態系において、CO₂ フラックスや気象、土壤環境に関するフィールド観測を行うとともに、バイオマスなどを対象とした生態学的調査を行った。また、

得られたフィールドデータを用いて陸域生態系モデルのカスタマイズを行い、ボルネオ島全域の熱帯泥炭生態系を対象とした炭素収支の広域評価を行った。

フィールド観測は、インドネシア・中部カリマンタン州の 4 サイトとマレーシア・サラワク州の 3 サイトであり、それぞれ土地被覆や攪乱の程度が異なる。また、中部カリマンタン州とサラワク州のサイトでは泥炭の形成過程が異なる。なお、以下では主に中部カリマンタン州の 4 サイトで得られた成果について述べるが、ゴム園、ほぼ未排水の泥炭林 (UF)、排水された泥炭林 (DF) および泥炭林の火災跡地 (DB) からなる。各サイトで、土壌の根切り処理を行い、チャンパー法によって土壌 CO₂ 放出速度 (泥炭の好氣的分解による CO₂ 放出に相当) を測定した。また、ゴム園を除く 3 サイトでは、観測タワー上で、渦相關法による正味生態系 CO₂ 交換 (NEE) とエネルギーフラックス (顕熱フラックスと潜熱フラックス (蒸発散)) の連続観測を行った。同時に、気象環境 (気温、放射、降水量など) や土壤環境 (地温、土壤水分、地下水位) の観測も行った。さらに、バイオマスやリターフォールの測定も行った。

熱帯泥炭林の炭素収支をシミュレートするため、フラックス観測データを用いて生態系プロセスモデル (VISIT) の土壌サブモデルのカスタマイズを行った。また、炭素収支を広域 (ボルネオ島全体) で評価するため、入力データセットの整備と入力のためのコーディングを行った。モデルへの入力データは主に気象データ、土地利用変化、泥炭マップの 3 つである。気象データは、気象庁が提供する長期再解析データ JRA-55 を用い、4 km の空間分解能に内挿補間した。土地利用変化については、MODIS の地表面反射率プロダクト MOD09A1 の 8 日コンポジットデータから算出された植生指数 NDII6 を用いた。

4. 研究成果

(1) 熱帯泥炭地における散乱日射量の環境依存性と季節変化

日射の散乱成分が増加すると、森林などの植生光合成の光利用効率が増加することが知られている。そのため、生態系の CO₂ 吸収量を正しく評価するには、全天日射に対する散乱日射の割合 (R_d/R_0) を定量化することが重要であるが、散乱日射の観測は限られている。観測された全天日射量と計算で求められる大気圏外日射量の比 (R_0/R_0) と R_d/R_0 の実測値の間に有意な負の関係が認められ、「直線・閾値モデル」を用いて R_0 の観測値から R_d/R_0 を推定できることが明らかになった。得られたモデルと R_0 の長期観測データを用いて解析した結果、 R_d/R_0 は明瞭な季節変化を示し、雨季と乾季の移行時期にあたる 6 月に最低 (0.51) となり、乾季の終わりである 10 月に最高 (0.68) となった。雨季から乾季への R_d/R_0 の低下は、雲量の減少にともなうも

のであり、乾季の後半の R_d/R_g の上昇は、森林・泥炭火災によって発生した煙やエアロゾルによるものである。特に、エルニーニョ現象が発生して泥炭火災が大規模化した 2002, 2006, 2009 年の乾季には R_d/R_g が上昇し、月平均で 0.72 を超えた。

(2) 日射の反射特性の変化を利用した火災後の植生回復過程の評価

地表面における日射の分光反射特性を利用して植生指数を計算し、植生情報として利用することが広く行われている。本研究では、観測タワーの連続データと人工衛星 (MODIS) のデータを用いて、植生指数 (NDIV, EVI2) を計算し、両者の比較を行った。また、植生キャノピーを対象とした放射伝達モデルを用いて、タワーデータから葉面積指数 (LAI) を求めた。植生指数や LAI の計算には、全天日射量 (R_g) を光合成有効放射 (PAR) と近赤外放射 (NIR) に分離する必要がある。観測データから、 R_g に対する PAR の比が天頂角とともに上昇するが、正午前後では散乱成分の割合 (R_d/R_g) にかかわらず、その値がほぼ一定であることが示された。この研究サイト (DB) では、2002 年と 2009 年の火災によってほとんどの植生が焼失し、火災後にシダ類を中心とした植生が回復した。改良したモデルを用いて推定した LAI は、2009 年の火災直前に約 $1.5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ まで上昇したが、火災で大きく低下し、その後再び徐々に上昇した。このことは、火災を繰り返す熱帯泥炭林跡地の植生回復過程を定量的に示したといえる。一方、タワーデータを用いて計算した植生指数は、雨季の湛水条件下で低下する傾向を示したが、これは水面で NIR の反射率が低下したことに起因する。また、煙が濃い条件下でも植生指数が大きく上昇することがわかった。これらの条件を除外しても、タワーと衛星のデータから計算した植生指数は異なる経年変化を示し、タワーからのものには、衛星からの植生指数や LAI で示された 2009 年の火災後の大きな低下が現れなかった。このことは、泥炭火災によって土壌表面のバルク密度などの物理的特性が変化し、NIR の反射率が上昇したためであると考えられる。火災後の疎な泥炭植生において植生のみを分離するには、さらなる研究が必要である。

(3) 水の流動にともなう炭素流出量の評価

水の流動にともなう溶存有機炭素 (DOC) フラックスは、パラカラヤ近郊の UF, DF, DB の 3 サイトで観測された。DOC フラックスは水の DOC 濃度に地上水あるいは地下水の流量を乗じて計算した。各サイトで 2 週間おきに地下水を採取し、TOC 分析計で DOC 濃度を測定した。また、雨季には地上水の DOC 濃度も測定した。水の流量は、降水量、蒸発散量、GWL および土壌の比産出量から、タンクモデルを用いて推定した。UF, DF, DB サイトの GWL は、それぞれ $-0.53 \sim -0.18$, $-1.13 \sim -0.30$,

$-0.50 \sim 0.12 \text{ m}$ であり、DF サイトで最も低かった。地下水の DOC 濃度は、3 サイトでそれぞれ $6.4 \sim 54.0$, $13.4 \sim 78.6$, $10.83 \sim 38.5 \text{ mg L}^{-1}$ であり、DF サイトで高かった。また、3 サイトともに DOC 濃度は乾季で高かったが、これは乾季に泥炭の好気分解が促進されたためだと考えられる。地下水流量は、3 サイトでそれぞれ $0.59 \sim 3.19$, $-1.43 \sim 10.4$, $0.40 \sim 2.52 \text{ mm d}^{-1}$ であり、排水路の影響を受けた DF サイトで大きかった。年間の DOC 流出量 (リーチング) は、UF, DF, DB サイトでそれぞれ約 30 , 90 , $14 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であり、排水の影響を受けた森林 (DF) で最も高い値を示した。

(4) 泥炭の好氣的分解にともなう CO_2 放出量

中部カリマンタン州の土地利用条件が異なる 4 サイト (ゴム園, UF, DF, DB) において根切り処理を行い、チャンパー法を用いて泥炭の好氣的分解にともなう CO_2 放出速度を測定し、年間の分解量を評価した。泥炭の分解速度は地下水位に依存し、泥炭土壌が飽和して、さらに湛水するような高水位条件下で大きく低下したが、地下水位の範囲が $-0.4 \sim -0.1 \text{ m}$ くらいでは分解速度への影響ははっきりしなかった。しかし地下水位がそれ以上に下がると、分解速度は地下水位の低下にともなって直線的に上昇した。この傾向は地下水位が -1.7 m まで低下したゴム園で特に顕著であり、強力なエルニーニョ年であった 2015 年には年間の泥炭分解量 (CO_2 放出量) が $1408 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ となった。この量は、根切りをせずに測定した土壌呼吸量 (根呼吸と落葉層の分解を含む) の 46% を占めた。また、ゴム園の 2015 年の地盤沈下量は 5.96 cm yr^{-1} であり、泥炭の好氣的分解の寄与率は 25% と計算された。なお、ゴム園以外の UF, DF, DB サイトの泥炭分解量は、それぞれ 745 , 825 , $748 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ となり、3 サイトにおける泥炭分解速度は、これまでに報告された値 (オイルパーム園やアカシア植林地 (パルプ材) など) に比べて小さいことがわかった。ゴム園の値に比べても、5~6 割程度であった。この違いの理由として、施肥の有無を挙げることができる。これらの 3 サイトは未利用地であり、施肥などは行われていない。そのため貧栄養であり、他の農用地に比べて土壌微生物の活性が抑制されていた可能性が高い。なお、UF と DF で 2004~2005 年に行われた自動開閉式チャンパーシステムによる連続観測の結果によると、土壌呼吸の年積算値は、両サイトでそれぞれ 1321 , $1224 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であった。この報告に示された地下水位との間の関係式から 2015 年の土壌呼吸量を計算すると、UF で 1864 , DF で $1306 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ となり、泥炭分解が土壌呼吸に占める割合は、それぞれ 40, 63% となった。上述のゴム園の結果 (46%) と比べると、UF では低く、DF では高かった。

(5) 生態系スケールの CO_2 フラックス

中部カリマンタン州の3サイト(UF, DF, DB)における正味生態系CO₂交換(NEE), 生態系光合成(GPP)および生態系呼吸(RE)の年積算値の平均は, UFで190, 3466, 3559 g C m⁻² yr⁻¹, DFで424, 3166, 3591 g C m⁻² yr⁻¹, DBで470, 1270, 1741 g C m⁻² yr⁻¹となった。NEE = RE - GPPと定義され, NEEが負の場合は対象となる生態系が正味のCO₂シンクであることを意味する。3つのサイトでNEEの年間値を比較するとUF < DF < PDBとなり, 攪乱の程度が大きいほどCO₂放出量が大きくなった。また, ほぼ未排水の熱帯泥炭林においてもNEEは正となり, 正味のCO₂ソースであった。なお, この地域では, 乾季の後半に煙霧に覆われることが多かった。これは, 農家による火入れ(雑草防除や泥炭燃焼による施肥効果)や干ばつによる大規模泥炭火災による。その結果, 太陽光が減衰し, GPPが低下していた可能性が高い。

NEEにDOC放出量を加えると, 正味生態系生産(NEP, 炭素吸収・固定量)を求めることができる。その結果, UF, DF, DBサイトのNEPは, それぞれ-220, -514, -484 g C m⁻² yr⁻¹となった。

(6) 熱帯泥炭生態系の蒸発散

熱帯泥炭地は基本的に雨水涵養であり, 降水, 表面流出, 地下流出および蒸発散(地表面や水面からの蒸発と植物からの蒸発(蒸散)を足したもの)から計算される水収支の結果として地下水位が定まる。渦相関法によって測定した蒸発散量の年間値は, UF, DF, DBサイトでそれぞれ1636, 1553, 1374 mm yr⁻¹となり, 降水量の56~67%を占めた。また, 植物の少ない火災跡地(DB)で値が小さいとともに, 排水による地下水位の低下が蒸発散量を減少させることも示唆された。さらに, 泥炭湿地林の蒸発散量が他の東南アジアやアマゾンの熱帯雨林に比べて大きいことがわかった。

(7) バイオマス

中部カリマンタン州の3サイト(UF, DF, DB)に固定試験地を設置し, 立木にIDを付けて2013~2016年に, 毎年直径測定をおこなった。また, 試験地設置と同時にリタートラップも設置して毎月のリター回収をUFで40カ月間, DFで24カ月間, DBで11カ月間, 行った。UF, DF, DBのバイオマス炭素蓄積(地上部+地下部)は, それぞれ約110, 90, 5 t C ha⁻¹であった。3年間の平均変化量はそれぞれ+1.5, -0.30, +0.15 t C ha⁻¹ yr⁻¹(正は増加, 負は減少)であった。また, 年間リター量はUFとDFで4.5, DBで0.7 t C ha⁻¹ yr⁻¹程度と, 葉バイオマス炭素蓄積の約1.3倍となった。リターの年内変動は, 雨季始めの11~12月に平均の2~3倍と多かった。

(8) 陸域生態系モデルによる広域評価

モデルへ入力データセットとして作成さ

れた土地利用変化マップによると, 2001~2015年に, 全森林の17%が失われた。そのうち, 泥炭林の消失は50%に上った。2002, 2006, 2015年に特に泥炭林の減少が大きかったが, これらの年はエルニーニョ現象により降水量が極端に少なく, 森林火災が多発したためである。

ボルネオ島における広域の炭素収支を計算した結果, 正味生態系生産(NEP, 炭素吸収量)は, 概ね-1~-2 t C ha⁻¹ yr⁻¹の範囲にあったが, 10 t C ha⁻¹ yr⁻¹以上の大きな炭素吸収や炭素放出をする地点がパッチ状に分布していた。これは, 森林が消失した直後には炭素放出量は大きくなるが, 森林が消失した後10年ほど経過すると炭素吸収能力の高い若い樹木が生育し, 大きな炭素吸収を示すためである。ボルネオ島全体で平均すると, NEPの年積算値は15.7±5.4 Mt C ha⁻¹ yr⁻¹(平均±標準偏差)と吸収だった。しかし, 森林減少などの土地被覆変化による炭素損失量が17.5±10.4 Mt C ha⁻¹ yr⁻¹と非常に大きかったため, これを考慮するとボルネオ島の熱帯泥炭地はCO₂を1.8±12.9 Mt C ha⁻¹ yr⁻¹放出していたことになる。土地利用変化によるバイオマス消失を加味した炭素収支は, 特に大規模火災が発生した2002, 2006, 2015年に大きな炭素放出となった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計13件)

Kiew F, Hirata R, Hirano T (他7名), CO₂ balance of a secondary tropical peat swamp forest in Sarawak, Malaysia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 494-501, 2018 (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrfomet.2017.10.022>

Ishikura K, Hirano T (他10名), Soil carbon dioxide emissions due to oxidative peat decomposition in an oil palm plantation on tropical peat. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 254, 202-212, 2018 (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.025>

Wong G, Hirata R, Hirano T (他6名), Micrometeorological measurement of methane flux above a tropical peat swamp forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256-257, 353-361, 2018 (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.10.025>

Wakhid N, Hirano T, Okimoto Y, Nurzakiah S and Nursyamsi D, Soil carbon dioxide emissions from a rubber plantation on tropical peat. *Science of the Total Environment*, 581-582, 857-865, 2017 (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.025>

017.01.035

Itoh M, Okimoto Y, Hirano T and Kusin K, Factors affecting oxidative peat decomposition in different types of land use in a tropical peat swamp forest in Indonesia. *Science of the Total Environment*, 609, 906-915, 2017 (査読有)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.132>

前田佳子・都築勇人・末田達彦, 航空レーザー計測データを用いた熱帯泥炭湿地林の土地被覆分類, 写真測量とリモートセンシング, 55, 46-54, 2016 (査読有)
<https://doi.org/10.4287/jsprs.55.46>

Hirano T, Kusin K, Limin S and Osaki M, Evapotranspiration of tropical peat swamp forests. *Global Change Biology*, 21, 1914-1927, 2015 (査読有)
https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/65234/3/Final%20MS_GCB15-1.pdf

Hayashi M, Saigusa N, Yamagata Y and Hirano T, Regional forest biomass estimation using ICESat/GLAS spaceborne LiDAR over Borneo. *Carbon Management*, 6, 19-33, 2015 (査読有)

<https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/60762/1/71377%28hirano%ef%bc%89.pdf>

Mezbahuddin M, Grant RF and Hirano T, How hydrology determines seasonal and interannual variations in water table depth, surface energy exchange and water stress in a tropical peatland: Modelling vs. measurements. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120, 2132-2157, 2015 (査読有)

doi:10.1002/2015JG003005

Hirano T, Kusin K, Limin S and Osaki M, Carbon dioxide emissions through oxidative peat decomposition on a burnt tropical peatland. *Global Change Biology*, 20, 555-565, 2014 (査読有)

https://eprints.lib.hokudai.ac.jp/dspace/bitstream/2115/65233/3/Final%20MS_GCB14-1.pdf

Sakabe A, Ueyama M, Kosugi Y, Hamotani K, Hirano T and Hirata R, Is the empirical coefficient b for the relaxed eddy accumulation method constant? *Journal of Atmospheric Chemistry*, 71, 79-94, 2014 (査読有)

DOI 10.1007/s10874-014-9282-0

Marpaung F and Hirano T, Environmental dependence and seasonal variation of diffuse solar radiation in tropical peatland. *Journal of Agricultural Meteorology*, 70, 223-232, 2014 (査読有)
DOI:10.2480/agrmet.D-14-00028

Hiratsuka M, Iwanaga S, Tsuzuki H and

Yaginuma H, Estimation of potential GHG emission reduction through corresponded REDD plus activities in Remote Area in Central Kalimantan, Indonesia -Case Study in the Paduran Area-. *Open Journal of Forestry*, 4, 338-348, 2014 (査読有)
DOI: 10.4236/ojf.2014.44040

[学会発表](計60件)

都築勇人・沖元洋介・平野高司・Limin S, 中部カリマンタン州泥炭湿地における荒廃度の異なる森林のバイオマス変化, 日本森林学会第129回大会, 2018年3月28日, 高知市

平野高司・伊藤雅之(他3名), 熱帯泥炭の好氣的分解にともなう二酸化炭素排出量の評価, 日本熱帯生態学会第27回大会, 2017年6月17日, 奄美市

平野高司・伊藤雅之(他3名), 熱帯泥炭の好氣的分解にともなう二酸化炭素排出量の評価, 日本熱帯生態学会第27回大会, 2017年6月17日, 奄美市

甲山治, インドネシア泥炭地における大気汚染観測, 日本熱帯生態学会第27回大会, 2017年6月17日, 奄美市

伊藤雅之・沖元洋介・Kitso Kusin・平野高司, 熱帯泥炭湿地林の環境変化が泥炭分解呼吸に及ぼす影響, 日本農業気象学会2017年全国大会, 2017年3月28日, 十和田市

伊藤雅之・西村裕志・平野高司(他5名), 熱帯泥炭湿地の急速な環境変化が地中水中の溶存態有機炭素動態に及ぼす影響, 日本地球惑星学連合2016年大会, 2016年5月25日, 千葉市

平野高司, 熱帯泥炭林におけるフラックス研究, 日本森林学会第126回年大会, 2015年3月29日, 札幌市

平野高司(他4名), 熱帯泥炭林の蒸発散, 日本地球惑星学連合2014年大会, 2014年5月2日, 横浜市

[図書](計1件)

Hirano T, Sundari S and Yamada H, CO₂ balance of tropical peat ecosystems. *Tropical Peatland Ecosystems* (eds. Osaki M and Tsuji N), Springer, 329-337, 2016

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平野 高司 (HIRANO, Takashi)
北海道大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号: 20208838

(2) 研究分担者

山田 浩之 (YAMADA, Hiroyuki)
北海道大学・大学院農学研究院・講師
研究者番号: 10374620

甲山 治 (KOZAN, Osamu)

京都大学・東南アジア地域研究研究所・准教授

研究者番号：70402089

伊藤 雅之 (ITOH, Masayuki)

京都大学・東南アジア地域研究研究所・講師

研究者番号：70456820

都築 勇人 (TSUZUKI, Hayato)

愛媛大学・大学院農学研究科・准教授

研究者番号：70363257

(3)連携研究者

伊藤 昭彦 (ITOH, Akihiko)

国立環境研究所・地球環境研究センター・

主任研究員

研究者番号：70344273