

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009 年～2011 年

課題番号：21255001

研究課題名（和文）タワー観測のネットワーク化による東南アジアの大気－森林相互作用の解明

研究課題名（英文）Investigation interaction processes between the atmosphere and forest ecosystems in Southeast Asia using a tower flux network

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

研究成果の概要（和文）：

われわれは、東南アジアの熱帯林（熱帯雨林、熱帯季節林、熱帯泥炭林）の 11 ヲ所において、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の吸収（光合成）・放出（呼吸）や蒸発散の連続観測を行っている。得られた長期の観測データを用いて、熱帯林のガス交換過程（光合成、呼吸、蒸発散）の特性を解析し、ガス交換過程を規定する要因を明らかにするとともに、降雨パターンがガス交換過程に与える影響を評価した。

研究成果の概要（英文）：

We have continuously measured fluxes of CO<sub>2</sub> and water vapor above 11 tropical forests in Southeast Asia. Using the long-term monitoring data, gas exchange processes (photosynthesis, respiration and evapotranspiration) were examined. As a result, factors controlling the gas exchange processes were determined, and the effect of a precipitation pattern on the gas exchange processes was elucidated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	12,700,000	3,810,000	16,510,000
2010 年度	12,200,000	3,660,000	15,860,000
2011 年度	12,200,000	3,660,000	15,860,000
年度			
年度			
総計	37,100,000	11,130,000	4,8230,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：気候変動，環境変動，生物圏現象，水循環，炭素循環，自然現象観測・予測

## 1. 研究開始当初の背景

東南アジアには世界全体の約 10% を占める 200 万 km<sup>2</sup> の熱帯林が存在するが、毎年 1% 以上の割合で減少を続けている（FAO, 2005）。東南アジアの気候はモンスーンの影響を強く受け、場所によって降雨のパターンが大きく異なる。このような降雨パターンの地域性にともない、東南アジアには 2 種類の熱帯林（熱帯季節林と熱帯雨林）が存在する。熱帯

季節林は、インドシナ半島のタイやカンボジアなどの明瞭な乾季が存在する地域に分布し、乾季に落葉するタイプの森林も含まれる。一方、熱帯雨林は、マレーシアやインドネシアなどの乾期の影響が小さい地域に分布する。また、インドネシアを中心とした低平地には泥炭が堆積し、湿地林（熱帯泥炭林）が発達する。

東南アジア熱帯林の群落スケールでのガ

ス交換過程に関連した研究は、1970年代のIBP（国際生物圏研究計画）以降、日本の研究者が主導してきたといえる。しかし、個別の研究サイトでの短期間の観測をまとめた研究がほとんどで、多数の研究サイトの結果を統合的に解析した研究はない。東南アジアの熱帯林については、未解明の部分が多く残されている。一方、アマゾン川流域では、EU、米国、ブラジルが主体となる国際共同研究（LBA：大規模生物圏大気圏実験計画）が実施され、主要な学術誌の特集号などで熱帯林のガス交換過程に関する様々な研究成果が報告されている。現在、欧米の研究者も東南アジアの熱帯林に強い関心を示しており、日本の研究者による情報の蓄積を効率的にまとめ、効果的に発信する必要に迫られている。

参加研究者らは、現在、東南アジアの11地点でタワーによる熱帯林のフラックス観測（大気-生態系間のCO<sub>2</sub>、水蒸気および熱の交換速度の連続観測）を行っている。これらの観測サイトは、タイに4地点（熱帯季節林）、カンボジアに2地点（熱帯季節林）、マレーシアに2地点（熱帯雨林）、およびインドネシアに3地点（熱帯泥炭林（環境攪乱の程度が異なる））が存在する。年降水量は1000~3000 mmの範囲にあり、主要な気候帯と植生をカバーしている。このような観測サイトをネットワーク化し、各サイトの微気象、CO<sub>2</sub>フラックス、水蒸気フラックス（蒸発散）、生態学的情報などに関するデータを総合的・統合的に解析することで、東南アジアの熱帯林のガス交換特性の全体像を描くことが可能となる。

## 2. 研究の目的

陸域の植生は、代謝（光合成、呼吸）や水の蒸発（蒸散）などの生物・物理過程を通じて、大気との間で活発なガス交換（気孔を通じたCO<sub>2</sub>・水蒸気の交換）を行っている。光合成による陸域生態系の正味CO<sub>2</sub>吸収量は、化石燃料の消費などによるCO<sub>2</sub>排出量の37%を占め（Canadell *et al.*, 2007）、陸域植生が地球規模の炭素循環に果たす役割は非常に大きい。また、蒸散にともなう水蒸気放出と気化冷却は、地域規模の気象現象だけでなく、地球規模の水循環や気候システムにも影響を及ぼしている（Bonan, 2008）。東南アジア、中南米およびアフリカに広がる熱帯林は、地球上の森林面積の42%を占めるとともに、森林全体のNPP（純一次生産量）の67%に相当する量のCO<sub>2</sub>を吸収しており（Chapin *et al.*, 2002）、地球規模の大気環境に最も大きな影響を与えている陸域生態系であるが、現在、森林伐採や火災などの環境攪乱の脅威にさらされている。また、ほぼ周期的に発生するエルニーニョ現象はアマゾンや東南アジアに干ばつをもたらす。地球規模の炭素循環

や水循環を定量化するには、このような大規模な環境変動が生態系のガス交換特性に与える影響を理解する必要があるが、熱帯林は最も理解が進んでいない生態系のひとつでもある。そこで本研究では、日本の研究者によって管理・運営されている東南アジアの熱帯林におけるフラックス観測サイト（11地点）をネットワーク化し、観測およびデータ解析に統一的な手法を導入することでデータの品質および互換性を向上させる。また、マルチスケールの解析によりガス交換（光合成、呼吸および蒸散）と環境要因（降雨、気温、放射など）との関係を解析し、サイトごとにガス交換を規定する要因を明らかにする。

## 3. 研究の方法

参加研究者は、それぞれが管理・運営しているタイ、カンボジア、マレーシアおよびインドネシアの研究サイトにおいてフラックス観測および関連した気象・生態情報の計測を継続するとともに、得られた長期の観測データや関連した現地観測データを活用して、1) フラックスの観測・計算手法の高度化、2) 生態情報計測の標準化、3) 熱帯落葉季節林のガス交換過程の季節変動特性の解明、4) 熱帯常緑季節林の蒸発散特性の解明、5) ガス交換過程を規定する要因の解明、6) 降雨パターンがガス交換過程に与える影響の評価、7) 環境攪乱が熱帯泥炭林のCO<sub>2</sub>収支に与える影響の評価、8) 陸域生態系モデルの適用と検証、などを行う。

## 4. 研究成果

(1) フラックスの観測・計算手法の高度化  
熱帯林は、温帯林等と異なり多様性が大きく、樹冠高度も大きくばらついている。このような複雑な場所で得られる乱流変動量についてそのデータ解析の方法を考察した。一般に接地境界層ではモニン・オブコフ相似則が成り立つといわれている。この相似則を導出する際のパラメータの一つが摩擦速度( $u^*$ )であり、これは運動量フラックスの「平均値」が負の場合、その平方根をとることにより得られる。タワー観測の場合「平均値」は必然的に時間平均値となる。しかし、熱帯林のように複雑な場では運動量フラックスの時間平均値が負とならない場合も多く存在する。「平均値」としてのもう一つの可能性はアンサンブル平均をとることである。アンサンブル平均は「同じような場」が出現した際のデータを重ね合わせることにより得られるが、この場合「同じような場」の定義が難しくなる。ここでは過去に気象研のタワーで取得したデータを元に、地面にしか発生源を持たない地上付近のラドン濃度が上昇する際の数時間を「同じような場」とみなすことにより

アンサンブル平均をとってみた。具体的には2006年11月中・下旬の21日間のうち、ラドン濃度の上昇が起きた7回のデータについて、濃度上昇が起きる2時間前からの12時間の高度10mと25mの運動量フラックスデータについて解析を行った。

30分間ごとに区切った30平均値ではデータの約10%の運動量フラックスが正となった。一方、これらについて7つのアンサンブルを平均すると運動量フラックスのアンサンブル平均値はすべて負となった。このアンサンブル平均データについて無次元高度 $z = z/L$  ( $L$ はObkhov長)と無次元シア関数 $\varphi_m(\zeta)$ の関係を見ると、 $\zeta$ が大きいところで $\varphi_m(\zeta) \propto \zeta^3$ の関係が「きれいに」現れる。しかし、これは物理的に意味のあるものではなく、上式の両辺に $z$ が含まれることによる自己相関の関係が「きれいに」見えたものである。以上のことからモニン・オブコフ相似則が成り立つ、成り立たないにかかわらず時間平均から導いた $z$ は場を記述するパラメータとして適切ではないこと、アンサンブル平均をうまく使うことにより、より本質的な関係が見える可能性があることが示唆された。

## (2) 生態情報計測の標準化

衛星観測が難しい熱帯地域の植物季節(フェノロジー)等の生態情報計測手段として、林冠の定点映像を撮影・処理し、利用するシステムの開発と、タイの森林の既存データ解析を行った。

システム開発では、岐阜高山などで試作運用してきた定点映像記録装置に、熱帯での安定運用と広域多点観測を考慮した改良を施し、量産用パッケージ化と運転試験を行って、東南アジア各地に導入できる目途が立った。

既存データの解析は、日本の落葉広葉樹林の景観映像に表れた林冠の色の季節変化を符号化、季節状態を自動判定する手法を用い、タイの2種類の熱帯季節林について行い、適用可能性を検討した。タイ西部の混合落葉林では、群落スケールの平均と同時に、映像を樹種別に分割した解析を行った。ここは、構成樹種のほぼ全部が落葉樹で、毎年乾季の間に落葉し、葉のない期間を経て新葉を着ける森林だが、樹種により落葉・展葉時期に最大4ヵ月もの差があり、群落平均的な視野では乾季を通じて旧葉もしくは新葉を着けた樹木が常に林内に混在するという特徴を解析から見出した。タイ東北部の乾燥常緑林では、雨季の半ばに優占種の*Hopea*の新葉が樹冠表面に出現するのに伴う林冠の変色を上記手法で検出できた。この変色発生時期を5年分調査し、2009年の新葉出現が他の年より約2ヶ月遅れていたこと、異常気象による降雨と土壌水分の季節パターンの異常がその原因であることなどを明らかにした。

## (3) 熱帯落葉季節林のガス交換過程の季節変動特性の解明

タイの落葉性の熱帯季節林(人工林)を構成するチークは、雨季の開始にともなって一斉に展葉し、雨季終了後に落葉するというフェノロジーを示すが、日中の蒸散による潜熱放出のレベルは、雨季を通してほぼ一定に維持されていた。一方で、日中のCO<sub>2</sub>の純吸収量は、雨季前半にのみ大きく、雨季後半にはしだいに減少した。このような潜熱放出とCO<sub>2</sub>吸収の季節変化の違いは、雨季後半のチークの葉の光合成能力の低下によって生じたと考えられた。また、同人工林においてチャンパー法で計測した土壌呼吸量の長期データを用いて、4年間の土壌呼吸量を推定し、その年々変動を解析した。先行研究により、この森林の土壌呼吸量は雨季に大きく乾季に小さいという季節変化を示すこと、また、雨季の長さは大きく年々変動することがわかってきた。上で推定した年間の土壌呼吸量と各年の雨季の長さの関係を調べたところ、土壌呼吸量は、雨季が長い年で大きく、雨季期間長が短い年で小さいことがわかった。

## (4) 熱帯常緑季節林の蒸発散特性の解明

カンボジアの常緑林を対象にタワー観測を行い、蒸発散特性を明らかにした。

この地域は、11~4月にかけての乾季と、それ以外の雨季という明瞭な季節性を有している。そのため乾季后半には、表層土壌は極度の乾燥状態となる。それにもかかわらず乾季后半といえども、土壌が湿潤な状態にある雨季と同程度の蒸散量が観測された。土壌硬度プロファイルの季節変動から推定される土壌保水量の季節変動や深さ20mの土壌断面による根系分布調査から、乾季には高木が深部土壌中の水分を蒸散に利用することにより、乾季にも蒸散活動が可能であることが考えられた。蒸発散量と、気象要素から算出した可能蒸発散量(気象因子の状況を示す指標)と地下水位(土壌水分の状況を示す指標)の月平均量を、2004~2007年の4年間にわたって比較した。土壌の乾燥が特に著しい年においても、他の年と同程度の蒸散量が観測された。このことから、季節変動、年々変動のいずれにおいても、土壌乾燥の程度に係わらず、蒸散量は安定しており、森林群落周辺における水熱環境の安定化に寄与していると考えられた。そこで、高木による深部土壌水分の蒸散への利用が無くなった場合の水熱環境への影響を、Jarvis-Stewartモデルなどを用いて算出した。その結果、乾季末での蒸散量は20%前後に減少し、表面温度は日平均で1.0~1.2°C、最大で6°Cの上昇が算出された。このことから、深部土壌水分が乾季の蒸散量を維持するための重要な水源であ

り、ひいては常緑林の成立にとって重要な要因であることが考察された。

#### (5) ガス交換過程を規定する要因の解明

半島マレーシア熱帯雨林における長期のフラックス観測結果や同時に測定している土壌水分の観測結果との解析から、土壌深部からの水の供給により少雨期でも安定的な蒸発散が行われていることを明らかにした。半島マレーシア熱帯雨林は、多様な樹木によって構成され、莫大なバイオマスを有している生態系であるが、そのCO<sub>2</sub>交換特性の日変動は気孔の不均一な開閉によって制御されており、樹冠光合成量が日中低下していること、季節・年々変動レベルでは少雨期には生態系総生産量が若干減少するとともに、生態系呼吸量も減少し、純生態系生産量が安定的になっていることなどを明らかにした。

個葉レベルの観測では、様々な樹高の葉の電子伝達速度および呼吸量測定を高さ別に行った。その解析の結果、樹種ごとの電子伝達速度と呼吸量はおおむね樹高の高い樹種で高い値を示しており、積算葉面積指数によって、よく推定することができた。また、個葉の水利用効率は、不均一に気孔が開閉していたとしても、その炭素安定同位体分別に表されることをモデルによる解析により示した。

#### (6) 降雨パターンがガス交換過程に与える影響の評価

半島マレーシア熱帯雨林およびタイチーク季節林でのフラックスの長期変動とその制御要因について明らかにした。熱帯域では、降雨パターンが気候および植生を決定する重要な環境要因である。この点に特に着目し、比較解析を行った。

半島マレーシア熱帯雨林では、一見したところ、気候変動に対して非常に安定したCO<sub>2</sub>吸収量と蒸発散量を取ることが観測から明らかになったが、その一方で、小雨期には、気孔閉鎖による調整が行われ、また光合成量および生態系呼吸量がともに小さくなることによって補間された結果、このような安定した値となっていると考察された。一般に、熱帯雨林においては、降雨は十分にあり、CO<sub>2</sub>吸収量に対して降雨パターンの影響は小さいと考えられがちである。しかしながら、アマゾン熱帯雨林などでは比較的降雨の少ない少雨期と多雨期がはっきりと存在しており、両者の期間でCO<sub>2</sub>交換特性が大きく異なることが指摘されている。東南アジア熱帯雨林においても、境界域に位置する半島マレーシア熱帯雨林などでは、これと同様の兆候が見られることが、7年間におよぶタワーデータの解析から明らかになった。

熱帯季節林においては、乾季の長短が年間

のCO<sub>2</sub>吸収量や蒸発散量に多大な影響を与える。中でも、乾季に落葉する落葉樹林では降雨パターンの影響が顕著に現れる。特にチーク季節林において、タワーフラックスデータ・樹液流速や光合成特性などの生理データ・および衛星データを用いた解析により、雨季のはじめの降雨パターンが展葉パターンやCO<sub>2</sub>交換速度の年々変動を形成していることが明らかになった。また落葉期においては、土壌の乾燥に伴う気孔閉鎖が、落葉に先立ったCO<sub>2</sub>吸収量の低下を引き起こす主因であることが明らかになった。このように、熱帯季節林においては、特に降雨パターンと、フェノロジーおよびガス交換との関係が顕著に現れる。

これらの結果から、アジア熱帯域においては、多雨林から季節林への移り変わりの中で何れの植生においても、気孔開閉反応が、降雨パターンに起因する土壌水分変動パターンによって決定され、交換速度の特性に大きな影響を与えていることが明らかになった。

#### (7) 環境攪乱が熱帯泥炭林のCO<sub>2</sub>収支に与える影響の評価

インドネシア中部カリマンタン州にある人為攪乱（排水、火災）の程度が異なる3つの熱帯泥炭林において2001年から渦相関法によるCO<sub>2</sub>フラックス観測を継続するとともに、土壌呼吸量の連続観測も行った。これらの研究により、①ほとんど未攪乱の泥炭林でも年間のCO<sub>2</sub>放出量（呼吸、RE）はCO<sub>2</sub>吸収量（光合成、GPP）を上回る（CO<sub>2</sub>ソース）、②攪乱の程度が強いほど正味CO<sub>2</sub>放出量（NEE = RE - GPP）が大きい、③CO<sub>2</sub>放出量は地下水位（水文環境）の影響を強く受ける、④正味CO<sub>2</sub>放出量の年次変動は大きく、エルニーニョ年に多くのCO<sub>2</sub>が放出される、などが明らかになった。

また、火災で植生が焼失した泥炭林跡地において、チャンバー法を用いて泥炭の好氣的分解にともなうCO<sub>2</sub>放出量（RP）の測定を行った。RPは、乾期に上昇し雨期に低下した。RPは、地下水位の低下にともない対数的、あるいは直線的に上昇した。これは主に、地下水位の低下によって土壌の不飽和層が厚くなり、土壌中への酸素の供給量が増加したことによる。一方、地温とRPの関係は複雑で、RPの温度応答（ $Q_{10}$ ）は地下水位が下がるにつれて小さくなった。地下水位が高いときには $Q_{10}$ は大きかったが、飽和条件ではRPは大きく低下した。また、深くなるにしたがい地温の変動が小さくなる。したがって、RPに与える地温の影響はそれほど大きくないと考えられる。RPの年積算値は、382~362 gC m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>となった。これらの年積算値は、渦相関法で測定されたREの21~24%に相当した。モデルによる結果は、年平均地下水位が0.1 m低下す

るとRPが89 gC m<sup>-2</sup>上昇することを示唆した。

#### (8) 陸域生態系モデルの適用と検証

現地観測データ、全球気候モデル (GCM) シミュレーションの結果、先行研究 (年降水量を関数としたボルネオ熱帯雨林の水利用戦略) で確率過程生態水文モデルの援用により開発した“樹木枯死指標”を組み合わせ、ボルネオ熱帯雨林の乾燥ストレス枯死が将来予測された降水変化によってどのように変えられるのかを調べた。“樹木枯死指標”モデル中の全てのパラメータには明確な物理的意味があり、また、現地観測により取得されていることに注意されたい。モデルの第一駆動力としての降水統計変数は、20世紀後半の長期降水データと21世紀後半の14個のGCMモデル計算結果から構築された。これらの降水統計は、エルニーニョに対応して突発的な強い乾燥が起こること、その強い乾燥は1~3月に起きること、そして、降水の季節性をもっとはっきりしてくること (乾燥する1~3月はより乾燥、湿潤な10~12月はより湿潤になる) を示した。計算された“樹木枯死指標”は、1997~1998年のエルニーニョ期間における強烈的な乾燥で大量の枯死が生じたことをうまく表現できた。また、モデル計算は、現在の1~3月の高い枯死率と10~12月の低い枯死率を示し、この差が将来には甚だしくなることをも示した。さらには、湿潤期である10~12月の貯留土壌水分の利用があることで続く1~3月の乾燥ストレスが軽減される効果があったとしても (この効果は、21世紀後半には、さらに高まると予想されているが)、1~3月の枯死確率は将来強烈的に高まるだろうと予測された。

#### 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 36 件)

- ① Hirano T 他 5 名, Effects of disturbances on the carbon balance of tropical peat swamp forests. *Global Change Biology*, 18, 3410-3422, 2012 (査読あり)
- ② Ueyama M, Hirata R, Mano M, Hamotani, K, Harazono Y, Hirano T 他 3 名, Influences of various calculation options on heat, water and carbon fluxes determined by open- and closed-path eddy covariance methods. *Tellus*, 64B, doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02793.x, 2012 (査読あり)
- ③ Kumagai T and Porporato A, Drought-induced mortality of a Bornean tropical rain forest amplified by climate change. *Journal of Geophysical Research*, 117, G02032, 2012 (査読あり)
- ④ Nagai S, Maeda T 他 4 名, Using digital camera images to detect canopy condition of deciduous broad-leaved trees. *Plant Ecology & Diversity*, 4, 79-89, 2012 (査読あり)
- ⑤ Kamakura M, Kosugi Y, Takanashi S 他 3 名, Patchy stomatal behavior during midday depression of leaf CO<sub>2</sub> exchange in tropical trees. *Tree Physiology*, 31, 160-168, 2012 (査読あり)
- ⑥ Xue BL, Kumagai T 他 6 名, Influences of canopy structure and physiological traits on flux partitioning between understory and overstory in an eastern Siberian boreal larch forest. *Ecological Modeling*, 222, 1479-1490, 2011 (査読あり)
- ⑦ Tanaka N 他 5 名, Relationships between rainfall, fog and throughfall at a hill evergreen forest site in northern Thailand. *Hydrological Processes*, 25, 384-391, 2011 (査読あり)
- ⑧ Segah H, Tani H and Hirano T, Detection of fire impact and vegetation recovery over tropical peat swamp forest by satellite data and ground-based NDVI instrument. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 5297-5314, 2010 (査読あり)
- ⑨ Hotta N, Tanaka N 他 4 名, Changes in groundwater level dynamics after low-impact forest harvesting in steep, small watersheds. *Journal of Hydrology*, 385, 120-131, 2010 (査読あり)
- ⑩ Takanashi S, Kosugi Y 他 4 名, Water and heat fluxes above a lowland dipterocarp forest in Peninsular Malaysia. *Hydrological Processes*, 24, 472-480, 2010 (査読あり)
- ⑪ Kumagai T, Yoshifuji N, Tanaka N 他 2 名, Comparison of soil moisture dynamics between a tropical rainforest and a tropical seasonal forest in Southeast Asia: impact of seasonal and year-to-year variations in rainfall. *Water Resources Research*, 45, doi:10.1029/2008WR007307, 2009 (査読あり)
- ⑫ Kumagai T 他 3 名, Impact of stem water storage on diurnal estimates of whole-tree transpiration and canopy conductance from sap flow measurements in Japanese cedar and Japanese cypress trees. *Hydrological Processes*, 23,

2335-2344, 2009 (査読あり)

[学会発表] (計 33 件)

- ① Hirano T, Carbon dioxide balance of tropical peat ecosystems. The 14<sup>th</sup> International Peat Congress, 2012 年 6 月 4 日, Stockholm Congress City Center (Sweden)
- ② 前田高尚, タイ低地熱帯季節林の森林機能とその多様性(3) 樹木のフェノロジーと森林の炭素フラックス特性, 第 123 回日本森林学会大会, 2012 年 3 月 29 日, 宇都宮大学 (宇都宮市)
- ③ 近藤裕昭, モニン・オブコフ相似則の安定側の関数形について, 日本流体力学会年会 2011, 2011 年 9 月 9 日, 首都大学東京 (八王子市)
- ④ 高梨 聡, 気孔開閉の不均一性が同位体分別に与える影響, 第 121 回日本森林学会大会, 2010 年 4 月 4 日, 筑波大学 (つくば市)
- ⑤ 小杉緑子, 半島マレーシア Pasoh 熱帯雨林において気候の年々変動は蒸発散・樹冠上 CO<sub>2</sub> 交換・および Big-Leaf パラメータにどの程度影響を与えるか, 日本農業気象学会 2010 年全国大会, 2010 年 3 月 18 日, 名城大学 (名古屋市)

[その他]

特になし

## 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

近藤 裕明 (KONDO HIROAKI)  
産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・副研究部門長  
研究者番号: 60357051  
前田 高尚 (MAEDA TAKAHISA)  
産業技術総合研究所・環境管理技術研究部門・研究員  
研究者番号: 10357981  
小杉 緑子 (KOSUGI YOSHIKO)  
京都大学・大学院農学研究科・助教  
研究者番号: 90293919  
高梨 聡 (TAKANASHI SATORU)  
森林総合研究所・気象環境研究領域・研究員  
研究者番号: 90423011  
田中 延亮 (TANAKA NOBUAKI)  
東京大学・農学生命科学研究科・助教  
研究者番号: 10323479

玉井 幸治 (TAMAI KOJI)

森林総合研究所・水土保持領域・チーム長  
研究者番号: 50353769

熊谷 朝臣 (KUMAGAI TOMOOMI)

名古屋大学・地球水循環研究センター・准教授

研究者番号: 50304770

### (3) 連携研究者

三枝 信子 (SAIGUSA NOBUKO)

国立環境研究所・地球環境研究センター・副センター長

研究者番号: 00251017