

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19300310  
 研究課題名 (和文) 積雪と植生が混在する地表面状態に対するリモートセンシングに関する基礎的研究  
 研究課題名 (英文) Observational study on the remote sensing of mixture surface of snow and vegetation  
 研究代表者  
 松山 洋 (MATSUYAMA HIROSHI)  
 首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授  
 研究者番号：50268546

## 研究成果の概要 (和文)：

本研究の主な成果は以下の通りである。(1) 葉面積指数をよりよく推定する新植生指標を提案した。(2) 常緑針葉樹であるオオシラビソの分布規定要因を定量的に示した。(3) 太陽高度の低い時期における衛星画像の地形効果補正法を提案した。(4) 集中型モデルであっても融雪一流出量を精度よく推定できることを示した。(5) 北方常緑針葉樹林の生育開始に融雪が影響している可能性を示した。(6) タブレット PC を用いた高速マッピングシステムを構築した。

## 研究成果の概要 (英文)：

The main results obtained in this study are summarized as follows. (1) We proposed a new vegetation index to better estimate Leaf Area Index. (2) We quantitatively clarified the factors to determine the distribution of *Abies mariesii*. (3) We developed a new topographic correction method, applicable to satellite images in the season of low solar elevation. (4) We showed a good performance of snowmelt-runoff with the use of even a lumped model. (5) We pointed out the possibility that the snowmelt can affect the beginning of the growing period of the boreal evergreen forest. (6) We developed a rapid digital mapping system using a tablet PC, digital map, GPS, and GIS.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2008 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
年度			
総計	8,300,000	2,490,000	10,790,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：常緑針葉樹林、積雪水資源量、地形効果補正、デジタルマッピングシステム、新潟県中越地域、融雪一流出解析、葉面積指数、リモートセンシング

## 1. 研究開始当初の背景

近年、地表面状態を把握するうえで、人工

衛星データの利用が不可欠であると言っても過言ではない。人工衛星データにも空間分

解能が異なるものがあるが、空間分解能が粗くなるとミクセル（1つのピクセル内に分光反射特性の異なる物体が混在して、ピクセル全体としてはどちらの物体ともつかない分光反射特性を示すこと）の問題が生じてくる。特に、本研究で対象とする積雪域のリモートセンシングでは、積雪が針葉樹と共存することが多く、ミクセルの問題が深刻である（図1）。これは、積雪と針葉樹では、可視域・近赤外域・中間赤外域のいずれの波長帯においても分光反射特性が異なるためであり、その結果、積雪が針葉樹と混在するところでは、衛星データから推定される地表状態は積雪でも針葉樹でもない「謎の物体」になってしまう。

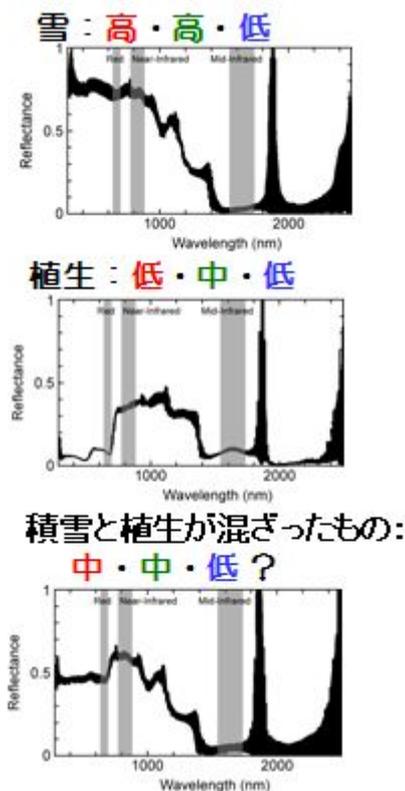


図1: 積雪と植生が混在する地表面状態に関する分光反射特性（斎藤・山崎, 1999, 水文・水資源学会誌）

この問題を解決すべく、本研究では、積雪と植生が混在する地表面状態に対するリモートセンシングに関する基礎的研究を行なった。

## 2. 研究当初の目的

本研究の目的は、葉面積指数(単位面積に占める片側葉面積の割合、単位  $m^2/m^2$ ) がどの程度の値まで、森林の林床に広がっている積雪(林床積雪)を把握することができるのかを、地上観測と衛星データの解析により明ら

かにすることであった。このために、(1) 無雪期には、針葉樹林の樹冠上に出られる観測タワーにおいて新しい観測手法(方向別分光反射特性の観測)に基づいて葉面積指数を高精度で推定する手法を確立し、(2) 積雪期には、林床積雪がみられる地域において衛星同期実験を行なうことを、研究開始当初の目的とした。

## 3. 研究の方法 (5. 主な発表論文等と対応)

研究目的を達成するための具体的な方法を以下の通りであった。

### (1) 八ヶ岳カラマツ林観測タワーにおける各季節の方向別分光反射観測および葉面積指数の調査

衛星 (Landsat, Terra, QuickBird, Ikonos など) が飛来する日時に合わせて、暖候期に八ヶ岳観測タワー (宇宙開発研究機構所有) で観測を行なった。現場では以下の作業を行なった。

- ①タワー上から観測角度を変化させながら、植生の分光反射観測を行なった（図2）。これは、我々が2006年度に構築したシステムである。
  - (a) 高さ25 mのタワーから更に5 mのポールを鉛直方向に伸ばす。
  - (b) そこからアームを水平方向に3 m程度伸ばしてその先に分光放射計を取り付ける。
  - (c) 分光放射計の観測角度をリモートコントロールで変えながら分光反射観測を行なう。

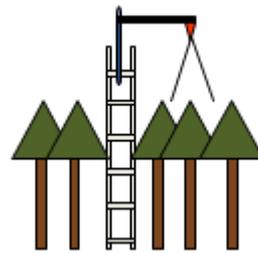


図2: 八ヶ岳観測タワーにおける方向別分光反射観測システムの概要

### ② 間接推定法によるカラマツ林の葉面積指数の推定

森林内の光環境の計測に基づき、葉面積指数の推定を行なった。具体的には、プラント・キャノピー・アナライザー(LAI-2000)や全天写真を用いた計測を行なった。また、樹木の胸高直径や樹高の計測も同時に行なった。

### (2) 主要な常緑針葉樹の一つであるオオシラ

### ビソの分布規定要因の解明

冬季にも落葉しない常緑針葉樹は、積雪を抽出しようとする場合にノイズとなる(図1)。そのため、常緑針葉樹林がどのような地形・気候条件のところ分布しているかを事前に知っておくことは、画像を判読する際の重要な手がかりになる。そこで、本研究では決定木を用いて、主要な常緑針葉樹の一つであるオオシラビソの分布が何によって規定されているのかについて調べた。研究対象地域は、後述する融雪一流出解析や、リモートセンシングの地上検証実験を行なう範囲を含む上越山地とした。

#### (3) 太陽高度の低い時期における衛星画像の地形効果補正法に関する検討

光学リモートセンシングでは、太陽高度の低い時期(本研究で対象とする積雪期など)における、地物の影が反射率に与える影響を無視できない。そのため、分光反射特性を解析する場合には、事前に地物の影の影響を取り除いておく必要がある。本研究では、日本有数の大起伏である赤石山脈を対象に、太陽高度の低い時期における衛星画像の地形効果補正法に関する検討を行なった。

#### (4) 積雪面積情報を入力とした融雪一流出解析

積雪と植生が混在する地表面状態に対する衛星データから、積雪面積情報が得られれば「それで終わり」というわけではない。これに関する応用研究の一つとして、得られた積雪面積情報を入力として、融雪一流出量を精度よく推定するということが挙げられる。本研究では、新潟県の魚野川上流域を対象として、積雪面積情報を入力とする集中型モデル SRM (Snowmelt-Runoff Model) を動かし、その実用性について検討した。

#### (5) 常緑針葉樹林の生育開始時期と、各種衛星指標との関係に関する解析

常緑針葉樹林は、冬季も落葉しないがゆえに常緑なのであるが、生態学的には暖候期に光合成をして炭素固定を行なう。そのため、常緑針葉樹林の生育開始時期を特定することは非常に重要である。常緑針葉樹林であるために、暖候期の生育開始時期を分光反射特性の観測だけを用いて特定することは非常に難しいのであるが、生態系純生産量のデータと組み合わせることで、生育開始時期を特定できるよう可能性がある。本研究では、カナダの北方常緑針葉樹林帯にあるフラックスサイトのデータと衛星データを用いて、この点について検討した。

#### (6) 屋外で使用可能な高速デジタルマッピングシステムの開発

リモートセンシングはあくまで遠隔探査であるから、その結果の妥当性を検討するためには、地上検証データが必要である。人工衛星は、短時間に広範囲の地表面状態を記録できるため、地上検証データを取得する際も、短時間で広範囲の地図を作成できるようにしなければならない。そこで本研究では、屋外で使用可能な高速デジタルマッピングシステムを開発し、これを用いて実際に、新潟県中越地方で積雪リモートセンシングの地上検証実験を行なった。

### 4. 研究成果

#### (1) 新植生指標 NHVI の提案

NDVI と比較して葉面積指数 (LAI) をより精度よく推定するための新植生指標 (NHVI) を提案した。NHVI は、方向別分光反射率から計算される HDS (Lacaze et al., 2002, Remote Sensing of Environment) に NDVI を乗じたものであり、HDS は NDVI だけでは表しえない樹冠構造を反映している。NDVI と比較した場合の NHVI の有効性は、現地調査および特別観測 (BOREAS) の結果から実証された。すなわち、NHVI の方が NDVI よりも幅広い範囲において LAI との間に線形性がみられた(図3、論文5.①)。

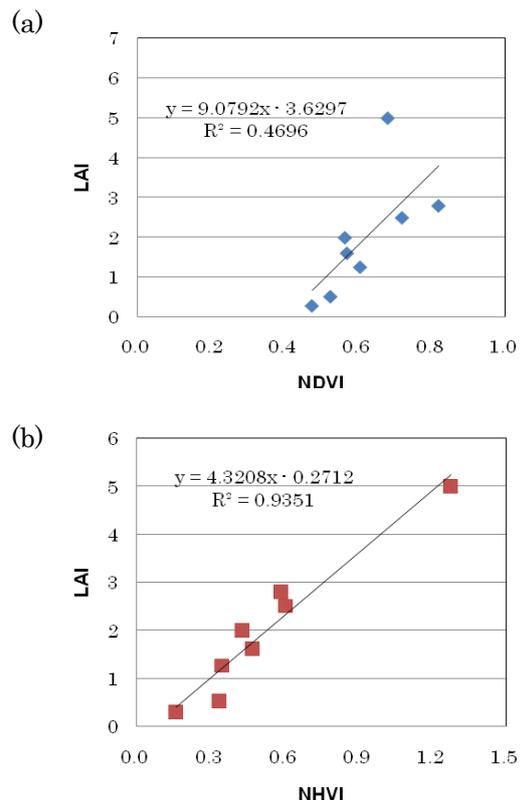


図3: (a) NDVI と LAI、および(b) NHVI と LAI との関係

(2) オオシラビソの分布規定要因の解明

主要な常緑針葉樹の一つであるオオシラビソの分布規定要因を、決定木を用いて明らかにした。解析対象としたのは上越山地周辺であり、(1) 暖かさの指数、(2) 積雪深、(3) 傾斜、もしくは (1) 暖かさの指数、(2) 積雪深、(3) 暖かさの指数が、この順に重要な変数として挙げられた。これらの中には気候変動の影響を受けるものもあり、地球温暖化によってオオシラビソの分布が変化する可能性も示唆された (図 4、論文 5. ②)。

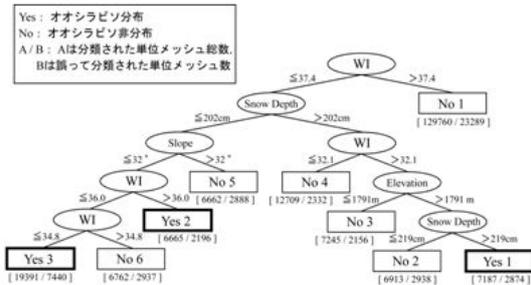


図 4: 本研究で構築された決定木

(3) 太陽高度の低い時期における衛星画像の地形効果補正法の提案

太陽高度の低い時期における衛星画像の地形効果補正法を提案した。これは、既存の補正方法では、斜面の法線ベクトルと太陽入射角の余弦 ( $\cos i$ ) が負となる領域では、理論的に地形効果補正ができなかったり、過剰補正となったりするためである。この問題を解決するために、DPR法(Dual Partitioning Regression)を提案した。これは、 $\cos i$ が正の領域と負の領域で、地形効果を別々に行うものであり、既存の補正方法と比較してその優秀性が認められた (図 5、論文 5. ③)。

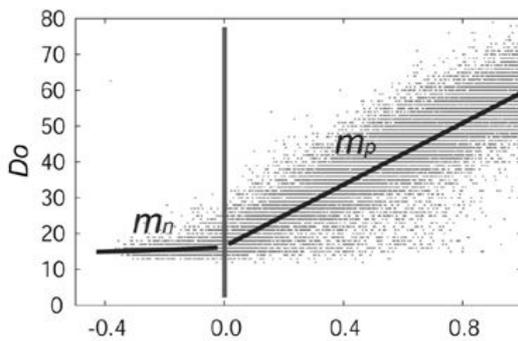


図 5: DPR 法による地形効果補正の例

(4) 積雪面積情報を入力とした融雪一流出解析

実測流量を使ってパラメータの最適化を行わなくても動かせる集中型モデル SRM (Snowmelt Runoff Model) を新潟県魚野川

上流域に適用し、融雪一流出量を推定・検証した。魚野川上流域で分布型流出モデルを用いて融雪一流出量を推定した先行研究との比較のため、六日町流量観測点で観測された河川流量と SRM の推定値を用いて Nash-Sutcliffe 指標を計算したところ、上述したような集中型モデルであるにも関わらず SRM の推定結果は良好であった。また、SRM は短期～中期の流量予測にも適用できる可能性を指摘した (図 6、論文 5. ④)。

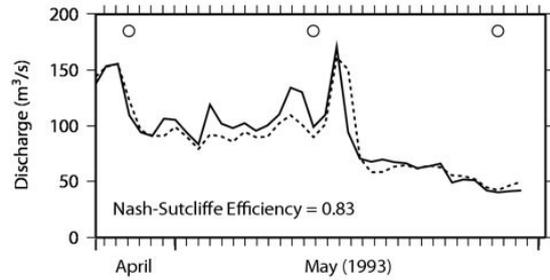


図 6: 1993 年 4 月 23 日～5 月 30 日における六日町の流量観測値 (実線) と SRM による推定値 (点線)。白丸は、Landsat/TM による積雪面積情報取得日。

(5) 常緑針葉樹林の生育開始時期と、各種衛星指標との関係に関する解析

カナダの北方常緑針葉樹林帯にあるフラックスサイトにおいて、人工衛星 Terra/MODIS から計算された各種衛星指標の季節変化の傾向を、植生の生育開始時期に着目して考察した。生育開始時期は生態系純生産量が正に転じる時と定義した。その結果、積雪指標 S3 (斎藤・山崎, 1999, 水文・水資源学会誌) が最後に負に転じる時と植生の生育開始時期との間により対応関係がみられた。S3=0 は雪の有無を判断する閾値であることから、対象地域における生育開始と消雪との間に関係がある可能性がある。すなわち、衛星から積雪の有無を判断することで、対象地域における植生の生育開始時期を推定できる可能性が示唆された (図 7、論文 5. ⑤)。

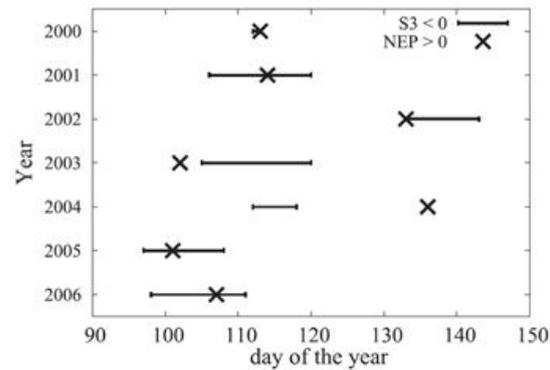


図7: 植生の生育開始時期とS3が最後に負に転じる時期との関係。バーはS3が最後に正から負に転じた時の衛星データの取得日を示している。

(6) 屋外で使用可能な高速デジタルマッピングシステムの開発

タブレット PC、電子地図、GPS、GIS を組み合わせて、屋外で使用可能なデジタルマッピングシステムを構築した。このシステムを用いて、高速で移動する車内から地表面状態を記録することができる。新潟県中越地方で実際に積雪分布に関する調査を行なったところ、紙地図を用いた場合と比較した場合、現地調査の時間は約 60%短縮された。しかしながら、調査結果を清書する手間は紙地図の時代とあまり変わらず、約 20%しか時間が短縮されなかった。結論として、本システムを用いることにより、既存の方法より約 30%時間短縮が可能になった (図 8、論文 5. ⑦)。

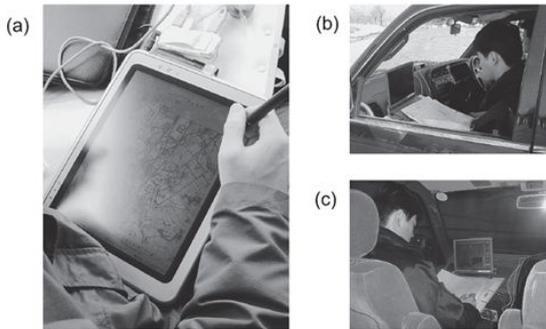


図 8: マッピングの様子

- (a) タブレット PC を用いたマッピング  
(b), (c) 紙地図とノートパソコンを用いたマッピング

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 7 件)

- ① Hasegawa, K., Matsuyama, H., Tsuzuki, H., and Sweda, T., Improving the estimation of leaf area index by using remotely sensed vegetation index with BRDF signatures, Remote Sensing of Environment, 査読有り, 114 巻, 2010, 514-519.
- ② 比留間祐太・齋藤 仁・中山大地・泉 岳樹・松山 洋, 決定木を用いたオオシラビソの分布規定要因に関する定量的研究, GIS—理論と応用, 査読有り, 17 巻, 2009, 155-165.
- ③ 坂本健二・中山大地・松山 洋, 太陽高度の低い時期における衛星画像の地形効

果補正法の提案, 日本リモートセンシング学会誌, 査読有り, 29 巻, 2009, 471-484.

- ④ 松山 洋・泉 岳樹, SRM (Snowmelt Runoff Model) を用いた融雪—流出解析—新潟県魚野川上流域を事例に—, 水文・水資源学会誌, 査読有り, 22 巻, 2009, 409-418.
- ⑤ 尾身 洋・長谷川宏一・泉 岳樹・松山 洋, Terra/MODIS を用いた北方常緑針葉樹林における各種衛星指標の変化—植生の生育開始時期に着目して—, 水文・水資源学会誌, 査読有り, 22 巻, 2009, 141-158.
- ⑥ 松山 洋, 山地流域の積雪水資源量の把握: 新潟県巻機山周辺を事例に, 電力土木, 査読無し, 333 号, 2008, 6-11.
- ⑦ 島村雄一・泉 岳樹・松山 洋, タブレット PC を用いた高速マッピングシステムの構築とこれを用いたグラントゥールの取得—新潟県中越地方の積雪調査の例—, 地学雑誌, 査読有り, 116 巻, 2007, 749-758.

[学会発表] (計 15 件)

- ① 長谷川宏一・尾身 洋・泉 岳樹・松山 洋, 衛星画像から算出されたテクスチャ特徴量と林分構造パラメータとの関係. 第 121 回日本森林学会, 2010 年 4 月 2-5 日, 筑波大学 (発表予定).
- ② 長谷川宏一・尾身 洋・泉 岳樹・松山 洋, 高空間分解能衛星画像を用いた林分構造因子推定の試み—葉面積指数の空間分布推定にむけて—, 第 12 回 CERE S 環境リモートセンシングシンポジウム, 2010 年 2 月 12 日, 千葉大学.
- ③ 松山 洋・泉 岳樹, SRM (Snowmelt Runoff Model) を用いた融雪—流出解析—新潟県魚野川上流域を事例に—, 日本地理学会 2009 年度秋季学術大会, 2009 年 10 月 25 日, 琉球大学.
- ④ 比留間祐太・齋藤 仁・中山大地・泉 岳樹・松山 洋, 決定木を用いたオオシラビソの分布規定要因に関する定量的研究—リモートセンシングによる積雪域抽出の高精度化に向けて—, 水文・水資源学会 2009 年度研究発表会, 2009 年 8 月 21 日, 石川県文教会館.
- ⑤ Nakayama, D., Sakamoto, K., and Matsuyama, H., New topographic correction method of satellite image in the season of low solar elevation, 7th International Conference on Geomorphology, July 6-11th, 2009, Melbourne (Australia).
- ⑥ 長谷川宏一・泉 岳樹・松山 洋・梶原康

- 司・本多嘉明, カラマツ林における方向別分光反射特性と植物フェノロジーの関係, 第120回日本森林学会, 2009年3月27日, 京都大学.
- ⑦ 松山 洋 (代理発表: 長谷川宏一), ハヶ岳カラマツ林における方向別分光反射特性の季節変化と植物フェノロジーの関係, 第11回CEReS環境リモートセンシングシンポジウム, 2009年2月23日, 千葉大学.
- ⑧ 長谷川宏一・泉 岳樹・松山 洋・梶原康司・本多嘉明, カラマツ林における方向別分光反射特性の日変化と季節変化, 水文・水資源学会2008年研究発表会, 2008年8月27日, 東京大学.
- ⑨ 尾身 洋・長谷川宏一・泉 岳樹・松山 洋, Terra/MODISを用いた北方常緑針葉樹林における各種衛星指標の変化～植生の生育開始時期に着目して～, 水文・水資源学会2008年研究発表会, 2008年8月27日, 東京大学.
- ⑩ 坂本健二・中山大地・松山 洋, 衛星画像の地形効果軽減に関する考察ー太陽高度の低い時期を対象としてー, 日本地球惑星科学連合2008年大会, 2008年5月25-30日, 幕張メッセ.
- ⑪ 尾身 洋・泉 岳樹・松山 洋, Terra/MODISを用いた北方常緑針葉樹林における各種衛星指標の変化～植生の生育開始時期に着目して～, 日本気象学会2008年度春季大会, 2008年5月21日, 横浜市開港記念館.
- ⑫ 中山大地・坂本健二・松山 洋, 太陽高度の低い時期における衛星画像の新しい地形効果補正法の提案, 日本地理学会2008年度春季学術大会, 2008年3月29日, 獨協大学.
- ⑬ 松山 洋 (代理発表: 長谷川宏一), カラマツ林における方向別反射特性の季節変化と日変化～光合成モデルに必要な樹冠構造パラメータ推定にむけて～. 第10回CEReS環境リモートセンシングシンポジウム, 2008年2月28日, 千葉大学.
- ⑭ 泉 岳樹・長谷川宏一・松山 洋・梶原康司・本多嘉明, カラマツ林における方向別反射特性の季節変化～日向葉・日陰葉の反射率の差に注目して～, 日本気象学会 2007年度秋季大会, 2007年10月14日, 北海道大学.
- ⑮ 長谷川宏一・松山 洋・都築勇人・末田達彦, 多方向放射観測データを用いた葉面積指数推定手法の提案, 第118回日本森林学会大会, 2007年4月1日, 九州大学.

〔図書〕 (計1件)

- ① 松山 洋・谷本陽一, UNIX/Windows/Macintosh を使った 実践 気候データ解析 第二版, 2008, 126p, 古今書院.

〔産業財産権〕 なし

〔その他〕

首都大学東京 都市環境科学研究科 地理環境科学域 地理情報学研究室ホームページ  
<http://www.comp.tmu.ac.jp/lagis>

サイエンスチャンネル「未来を創る科学者達」 (72) 水から見える地球の姿  
[http://sc-smn.jst.go.jp/8/bangumi.asp?i\\_series\\_code=I056904&i\\_renban\\_code=072](http://sc-smn.jst.go.jp/8/bangumi.asp?i_series_code=I056904&i_renban_code=072)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

松山 洋 (MATSUYAMA Hiroshi)

研究者番号: 50268546

首都大学東京・都市環境科学研究科・准教授

### (2)研究分担者

泉 岳樹 (IZUMI Takeki)

研究者番号: 10336516

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

中山 大地 (NAKAYAMA Daichi)

研究者番号: 90336511

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

### (3)連携研究者: なし

研究者番号:

### (4)研究協力者

島村 雄一 (SHIMAMURA Yuichi)

元 東京都立大学・理学研究科・大学院生 (博士課程)

長谷川 宏一 (HASEGAWA Kouichi)

首都大学東京・都市環境科学研究科・大学院生 (博士後期課程)

尾身 洋 (OMI Hiroshi)

首都大学東京・都市環境科学研究科・大学院生 (博士前期課程)