

## 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24年 5月 7日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22760301

研究課題名（和文） マイクロ波偏波合成開口レーダの陸域に注目したデータ解析法の検討

研究課題名（英文） A study on data analysis method for land data acquired by polarimetric synthetic aperture radar using micro waves

研究代表者

森山 敏文（MORIYAMA TOSHIFUMI）

長崎大学・工学研究科・助教

研究者番号：20452873

研究成果の概要（和文）：本研究では、1）実データによる周波数による偏波回転角の影響調査と、2）偏波回転角の逆回転による散乱特性の変化の理論的な検討と偏波行列分解への応用を行った。さらに、3）偏波データの固有値分解を行ったデータに有井らが提案する特徴抽出法を適用し、その特徴の評価を行った。1）に関しては、L-band帯のPALSARとC-band帯のRADAR-SAT2のデータで調べた。2）に関しては、Freemanらの三成分分解の論文を元に、偏波回転角を受けた表面散乱・2回散乱・体積散乱のCovariance行列と、回転が受けけない場合のCovariance行列を求め、それら差を導出した。この結果を元に、さらに粒子群最適化を用いて表面散乱と2回散乱の偏波回転角の影響が大きい場合の三成分分解によるモデル分解を検討した。3）については、固有値と固有ベクトルの特徴を解釈するために、一つの有用な方法であることが確認できた。

研究成果の概要（英文）：In this research, I have considered three topics for data analysis of land area acquired by polarimetric synthetic aperture radar using micro waves, which are 1) polarimetric orientation angle between urban and forest areas with respect to L-band and C-band, 2) new decomposition technique considering polarimetric orientation angle and 3) polarimetric data estimation based on Arie's scattering model. In the case 1), the differences of the polarimetric orientation angle between urban and forest areas were confirmed. Then, I made new decomposition technique of the polarimetric SAR data based on the property of 1). Moreover, other polarimetric estimation method which is related to Arie's method was examined for data analysis of land areas.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：合成開口レーダ，偏波，散乱行列分解能，陸域，多周波

## 1. 研究開始当初の背景

マイクロ波を利用した合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) は、天候や時間に左右されず観測でき、可視光や赤外線などの電磁波と異なるターゲットの情報が得られることから、災害観測や地球環境計測の新しい手段として期待されている。また、現在複数の偏波(電波の振動方向: 例えば水平・垂直偏波など)を観測する機能を有する SAR が打ち上げられ、運用されている。日本では衛星”だいち”に搭載された Phased Array Type L-band SAR(PALSAR, L-band) があり、その他にはドイツの TerraSAR-X(X-band)、カナダの RADARSAT-2(C-band)がある。これにより、世界中の偏波データを多周波で定期的取得可能となった。このようにして得られた多偏波データを解析する技術はレーダポーラリメトリと呼ばれ、研究代表者はその研究に従事してきた。この技術の最大の利点は、分解能の制約により SAR 画像から形状として抽出できないターゲットの情報を、偏波による散乱・透過特性の差異により、複素数で構成される画像の偏波間の振幅比・位相差情報から得られることである。実際に偏波データを解析する手法(図 1)には、大きく二つに分けられる。

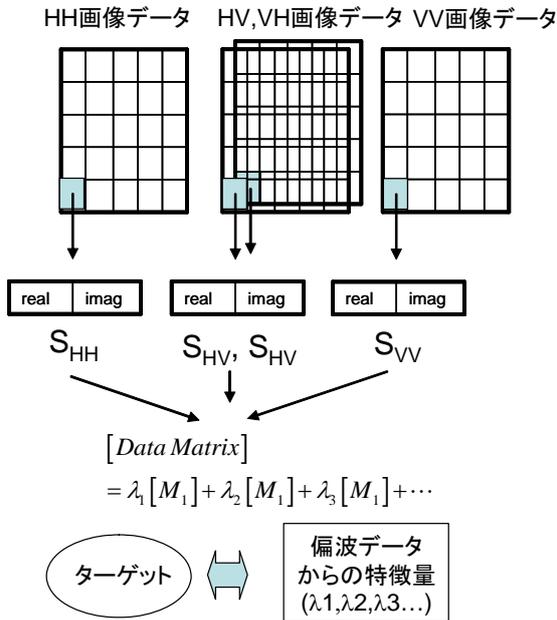


図1 偏波データ解析

①固有値・固有ベクトル解析を基にして偏波行列データを分解する方法

②散乱メカニズムに対応したモデル行列を基にして偏波行列データを分解する方法

②の方法では、モデル行列は自然植生の散乱メカニズムが利用されており、①の方法よりも直感的に分解結果が理解しやすい方法で

ある。また、モデルの拡張が現在も行われており、非常に偏波解析に有用な方法である。一方で、この方法の欠点は、都市域のモデル行列が与えられていないため、自然植生域と都市域からなる陸域をまとめて解析することはできないことである。例として、住宅地の一部が田圃と同じ体積散乱特性なる場合がある。そこで、研究代表者は、電磁界解析法の一つの手法である幾何光学法を基に、都市域の散乱によるモデル行列を提案してきた。しかし、提案したモデルを利用するためには、自然植生域と都市域を識別する作業が必要となる。以前は、二つのモデルを使い分けるために、ライク偏波(HH, VV)データとクロス偏波(HV, VH)データ間の偏波間相関係数を利用して識別を行った。しかし、航空機搭載偏波合成開口レーダの Pi-SAR データを利用して検証した結果、X-band で識別でき、L-band では識別できなかった。X-band の場合、住宅地のある都市域は、2 回散乱特性が主要な散乱メカニズムになった。そこで、この公募の提案では、偏波回転角シフトを利用し、周波数に依存しない自然植生域と都市域を識別する方法を検討する。偏波回転角シフトとは、地面のアジマス方向の傾斜や都市域のビルの壁の向きにより、交差偏波が発生することである。この偏波間のバランスの変化と地面の傾斜角やビルの向きは理論的に関係付けられ、逆に観測偏波データから地面の傾斜やビルの方向が推定できる。そこで、偏波合成開口レーダで得られた偏波観測データで偏波回転角を推定し、場所による偏波回転角の統計的性質、算出された偏波回転角による偏波データの数学的逆回転による偏波特性の変化などの情報をもとに、自然植生域と都市域の識別を目指す。もし、周波数に依存せず両領域の識別が可能ならば、現在利用可能な PALSAR, Terra-SAR X, RADARSAT-2 の陸域観測データを併用し、解析場所に適したモデルで分解した結果をもとに、注目箇所の特徴量比較や、特徴を統合して画像分類・識別の精度を向上させることが期待できる。以上から、この研究では、偏波回転角シフトを利用し、周波数に依存しない都市域と自然植生領域の識別法を検討し、陸域のデータをまとめて解析できるような偏波データ解析法の汎用化を試みる。また、自然植生や都市の散乱モデルの改良も併せて検討する。

## 2. 研究の目的

本研究では、マイクロ波偏波合成開口レーダによる陸域に注目したデータ解析法の検討を行う。偏波データ解析法では、偏波行列データを散乱メカニズムに対応したモデル行列毎に分解する方法が注目されている。し

かし、このモデル行列は、自然植生を基にしており、都市域には当てはまらない。そこで、自然植生域と都市域を総合的に取り扱う解析方法が必要となる。この研究では、研究代表者が既に提案した都市域のモデル行列を自然植生のモデル行列と組み合わせるため、主に都市域と自然植生を区別する方法を検討する。その方法として、偏波回転角シフトを利用する。この研究により、陸域のデータをまとめて解析でき、偏波データ解析法の汎用化が行える。

### 3. 研究の方法

#### 3. 1 偏波合成開口レーダ

合成開口レーダは、レンジとアジマス方向で分解能が数mから数十mの地表の画像を与える。また、送受信の偏波を組み合わせることにより、偏波を考慮した画像を得ることができる。水平偏波(H)と垂直偏波(V)を送受信できるアンテナを使った偏波合成開口レーダの場合、ピクセル毎に送受で4つ偏波の組み合わせのデータ(図2)が得られる。この4つのデータを散乱行列の各要素とみなし、次のように置くことができる。

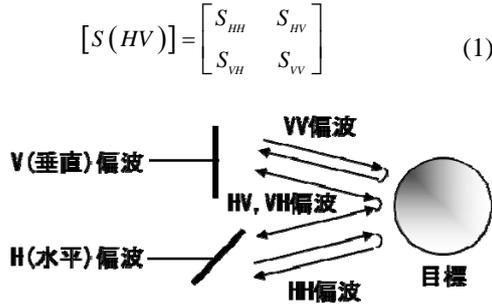


図2 偏波観測

次に、提案する偏波回転角と偏波回転角を利用したモデル分解法について述べる。

#### 3. 2 偏波回転角とモデル分解

観測された散乱行列を散乱メカニズムに対応したモデルの行列に分解させて、各散乱メカニズムの電力を評価する方法がある。これはモデル分解と呼ばれ、測定した散乱行列を既知の散乱メカニズムの行列の和で表現しようとするものである。固有値展開と同じ考えかたであるが、与えるモデルの行列が理論値や実験に基づいたものであるところが大きく違う。実際には、散乱行列でなく、以下に示す Covariance 行列を用いて、モデル分解を行う。

$$\langle C(HV) \rangle = \begin{bmatrix} \langle S_{HH} S_{HH}^* \rangle & \sqrt{2} \langle S_{HH} S_{HV}^* \rangle & \langle S_{HH} S_{VV}^* \rangle \\ \sqrt{2} \langle S_{HV} S_{HH}^* \rangle & 2 \langle S_{HV} S_{HV}^* \rangle & \sqrt{2} \langle S_{HV} S_{VV}^* \rangle \\ \langle S_{VV} S_{HH}^* \rangle & \sqrt{2} \langle S_{VV} S_{HV}^* \rangle & \langle S_{VV} S_{VV}^* \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

ここで、 $\langle \rangle$ は、ピクセル間の平均を表す。Freeman と Durden は、式(2)の Covariance 行列を以下のように表面散乱、2 解散乱、体積散乱に関する三つのモデル分解することを提案した。

$$\langle [C(HV)] \rangle \approx f_s [C]_{surface}^{hv} + f_d [C]_{double}^{hv} + f_v [C]_{volume}^{hv} \quad (3)$$

ここで、 $f_s$ 、 $f_d$  と  $f_v$  が三つのモデルの係数で、ターゲットの特徴を表す。但し、観測した Covariance 行列は山間部の傾斜地や都市域の人工構造物間で、azimuth rotation 角と呼ばれる回転角が、以下の式から観測求められる。

$$\begin{cases} S_{LL} = \frac{1}{2}(S_{HH} - S_{VV} + j2S_{HV}), \\ S_{LL} = \frac{1}{2}(S_{VV} - S_{HH} + j2S_{HV}) \end{cases}, \text{Arg}(-S_{LL} S_{RR}^*) \approx -4\theta \quad (4)$$

この角度が生じる山間部や都市域では、式(3)で提案されているモデルが満たさなくなり、モデルの不一致が顕著になることが分かってきた[7]。厳密ではないが、式(3)が、以下の式のようにアジマス方向の回転により生じた $\langle [C(HV(\theta))] \rangle$ と考える。

$$\begin{aligned} \langle [C(HV(\theta))] \rangle &= [U_\theta] \langle [C(HV)] \rangle [U_\theta]^T, \\ [U_\theta] &= \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \sqrt{2} \sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta \\ -\sqrt{2} \sin \theta \cos \theta & \cos 2\theta & \sqrt{2} \sin \theta \cos \theta \\ \sin^2 \theta & -\sqrt{2} \sin \theta \cos \theta & \cos^2 \theta \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

そして、式(5)から式(4)で求めた角度を逆方向に回転するとアジマス回転角が 0 度の Covariance 行列 $\langle [C(HV(0))] \rangle$ が得られる。そこで、以下の式(6)の要素が全てゼロに近くなる  $f_s$ 、 $f_d$  と  $f_v$  を PSO で求めることを行った。

$$| \langle [C(HV(\theta))] \rangle - \langle [C(HV(0))] \rangle |_{\text{measure}} - | \langle [C(HV(\theta))] \rangle - \langle [C(HV(0))] \rangle |_{\text{model}} |^2 \quad (6)$$

#### 3. 3 Particle Swarm Optimization(PSO)

PSO では、多数の粒子の位置を、粒子間の情報交換に基づいて更新し、最適解を求める手法である。このアルゴリズムは、Kennedy と Eberhart によって1995年に発表された最適化手法であり、鳥や魚などの群れを形成して移動する生物の行動パターンを、最適化に応用したものである。次に、アルゴリズムを簡単に説明する。粒子が問題空間にランダムに配置され、また粒子は初期値としてランダムな速度を持つとする。この時の各粒子(n)の位置と速度を  $\mathbf{x}_k^n$ 、 $\mathbf{v}_k^n$  とする。ここで、上付き文字を粒子の番号を表し、下付き文字を時間ステップ数とする。 $\mathbf{x}_k^n$  を用いて、問題の評価関数の計算を行う。 $k+1$  ステップでの

粒子の位置と速度は、以下のように計算される。

$$v_{k+1}^n = \omega_k v_k^n + c_1 r_1 (p_k^n - x_k^n) + c_2 r_2 (g_k - x_k^n) \quad (7)$$

$$x_{k+1}^n = x_k^n + v_{k+1}^n \quad (8)$$

ここで $\omega_k$ は慣性を意味する。 $p_k^n$ は、粒子 $n$ が個人で過去に最良の結果を得た位置であり、 $g_k$ は、グループ内で最良の結果を得た位置である。また、 $c_1$ と $c_2$ は、個人またはグループのどちらの結果を速度に反映させるかの係数であり、 $r_1$ と $r_2$ は、0から1までの範囲を値とする乱数の値である。タイムステップの進行に伴って、式(7)と(8)を用いて粒子群の位置を更新しながら最適位置を見つける。

#### 4. 研究成果

数値計算結果は、2007年12月に長崎を観測しただいちのPALSARのポリメトリックデータを用いて解析を行った。解析領域は、長崎市内の三菱重工の工場付近のデータを使用した。画像のピクセル数は400x400であり、この画像を12x3の領域で平均化を行ったCovariance行列に対して、3で述べた偏波回転角やモデル分解を行っている。図3にポリメトリック観測による疑似カラー画像を示す。HH偏波を赤、HV偏波を緑、VV偏波を青としてRGB合成を行っている。参考に図4にGoogleによる光学画像を併せて示す。中心の大きな三菱重工の工場が図3では、緑色に映っている。一方で、左側の住宅街は紫色になっており、色の違いより散乱メカニズムが異なっているように判断できる。図3のデータから偏波回転角を求めた画像を図5に示す。工場や住宅街がある領域、また海などは偏波回転角が一定の角度で表れている。但し、場所により角度は異なる。これは、ビルや住宅の壁の向いている方向が領域により異なるためである。今回の観測では、電波は左から右側に入射している。三菱重工の工場付近の建物のビルの向きは、レーダの方向とは異なる向きを向いており、偏波回転角が大きく観測されている。一方、その左側の住宅街は、ビルや住宅の向きがレーダの方向を向いており、偏波回転角は小さくなっている。この結果から、偏波回転角の大きい人工物の存在する領域はクロス偏波(HV偏波)が多く発生していることが、図3の疑似カラー画像から確認できる。一方で、上部や左側の山間部では、偏波回転角はランダムに変化している。よって、図3の工場付近と山間部は同じ緑色をしているが、散乱のメカニズムが異なることが推測できる。これは、RadarSAT-2のC-bandデータでも同様の傾向を確認した。

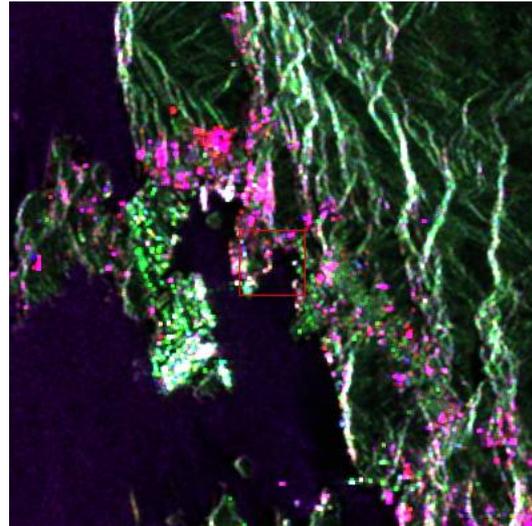


図3 PALSARによる長崎市内の偏波画像



図4 図3と同じ領域のGoogle画像

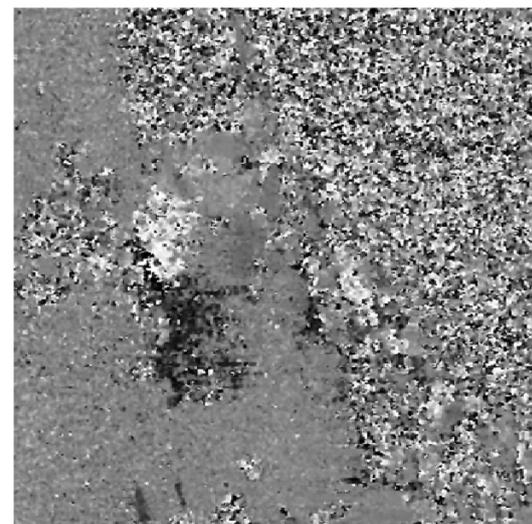
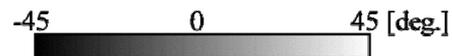
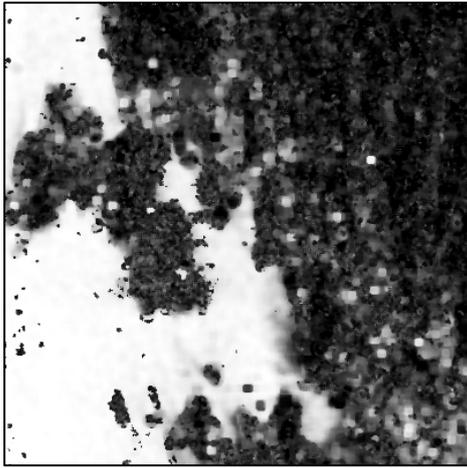
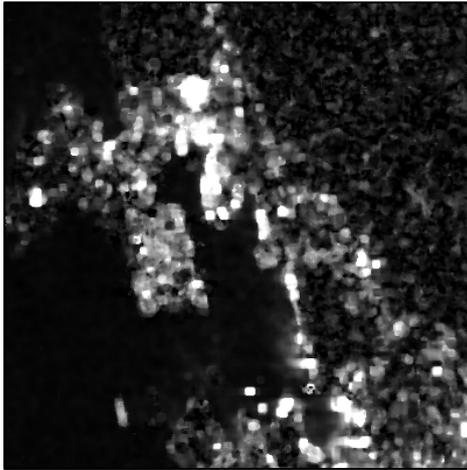


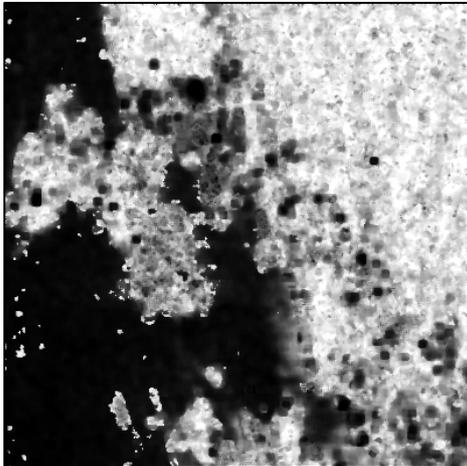
図5 偏波回転角画像



(a) 表面散乱

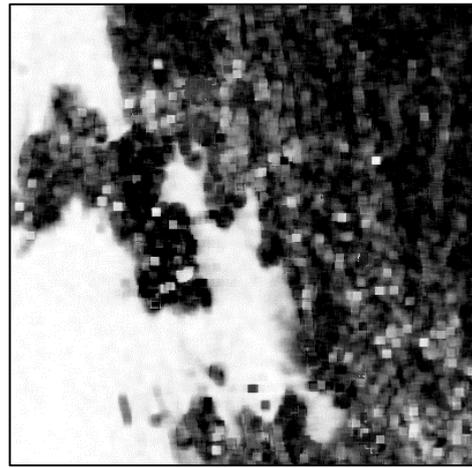


(b) 2回散乱

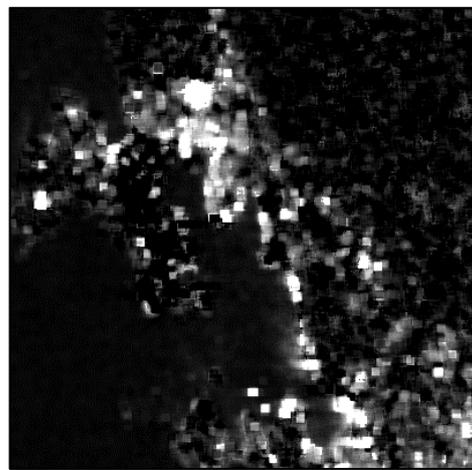


(c) 体積散乱

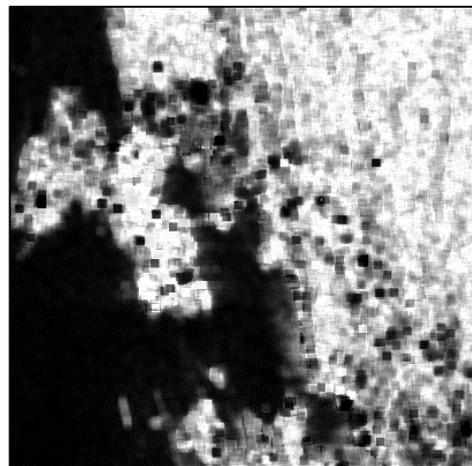
図6 偏波回転角を利用したモデル分解



(a) 表面散乱



(b) 2回散乱



(c) 体積散乱

図7 従来のモデル分解

次に、PSOを用いた3.2のモデル分解法の結果を図6に示す。併せて、従来のFreemanとDurdenによる結果を図7に示す。図6と図7を比べると、三菱重工業の工場付近の偏波回転角が大きい領域で結果が異なる。

この領域では、図7の体積散乱の成分が、図6では偏波回転角により2回散乱として評価されている。住宅や工場などのビルディングでは、表面散乱や2回散乱が主な散乱メカニズムであり、森林のような体積散乱成分は発生しない。そこで、偏波回転角を利用した本

提案手法の方が、より散乱メカニズムと合った解析結果となっており、データの評価を行いやすい。よって、従来の方法よりも優れていると言える。また、工場付近のモデル分解結果の割合を表1に示す。

表1 散乱メカニズムの割合(パーセント)

	Freeman Durden	提案手法	他の手法 (回転考慮)
表面	30.7	38.5	40.5
2回	4.4	18.7	16.6
体積	61.5	42.1	39.5

参考に、提案手法と同様に偏波回転を利用する手法の結果も表1に示している。その結果、提案手法と他の偏波回転角を利用する方法は、同様な結果を示した。

今後は、実際の分類等にこの解析法を利用していくことが課題である。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① Moriyama Toshifumi and Hiroaki Matsushita, Decomposition technique considering azimuth rotation for polarimetric SAR image analysis, Proceedings of International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2010, 査読有, vol. 110, pp.81-85, 平成22年(2010).
- ② Moriyama Toshifumi and Hiroaki Matsushita, Modified decomposition technique for polarimetric SAR image analysis, Proceedings of International Symposium on Antenna and Propagation 2010, 査読有, pp.143-146, 平成22年(2010)
- ③ Toshifumi Moriyama, Polarimetric Decomposition Based on Particle Swarm Optimization and Its Data Analysis, Proceedings of Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar 2011, 査読有, pp. 479-482, 平成23年(2012)

[その他]

ホームページ等

<http://research.jimu.nagasaki-u.ac.jp/IST?ISTActId=FINJPDdetail&ISTKidoKbn=&ISTErrorChkKbn=&ISTFormSetKbn=&ISTTokenChkKbn=&userId=100000153>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森山 敏文 (MORYAMA TOSHIFUMI)

長崎大学・工学研究科・助教

研究者番号：20452873