

令和 2 年 7 月 14 日現在

機関番号：14403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05363

研究課題名(和文) ウェーブレット解析に基づいた画像分離

研究課題名(英文) Image separation based on wavelet analysis

研究代表者

守本 晃 (Morimoto, Akira)

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：50239688

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：複数の元画像を回転・平行移動・重み付けして得られた画像の重ね合わせを複数回観測する。観測画像たちから、元画像の数、回転角度、平行移動量、重みというパラメータを推定する画像分離問題について研究した。二次元ウェーブレット解析に基づき、二枚の観測画像から元画像の数、相対回転角度、相対平行移動量、相対重みを推定する方法を提案した。複数の観測画像の同一元画像に対するパラメータを対応づける方法を提案した。その過程で、連続ウェーブレット相関や円環分割マルチウェーブレット変換の偏角とスケールとの関係などの新しい知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究での画像の重ね合わせは、レントゲン・電波・赤外線などの透過型撮影で得られる。いろいろな波長で撮影された観測画像(ハイパースペクトル画像)を解析する場合に本研究は役に立つことが期待される。また、回転・平行移動・重みを推定する方法を研究する過程で、連続ウェーブレット相関や円環分割マルチウェーブレット変換の偏角などについての知見を得た。

研究成果の概要(英文)：We observe superpositions of rotated, translated, and weighted original images. From observed images, we have been studying to estimate such parameters which correspond to the number of original images, rotation angles, translation parameters and weights. We proposed a method for estimating the number of original images, relative rotation angles, relative translation parameters, and relative weights from two observed images. We also proposed a method for gathering parameters which belong to one original image, from several observed images. We got new knowledge on continuous wavelet correlation and relationship between the arguments of annular sector multiwavelet transforms and a scale parameter.

研究分野：ウェーブレット解析

キーワード：画像分離 重ね合わせ 2次元ウェーブレット解析 位置・スケール解析 回転画像 平行移動画像 重み付き重ね合わせ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 1. 研究開始当初の背景

パーティ会場のように複数の音声や背景雑音が混ざった場所でも、人間は少なくとも一つの音声信号は理解できる。この聴覚上の特性は、実験心理学者の Cherry [A] によりカクテルパーティ効果と名付けられた。工学では、この問題はブラインド信号源分離と呼ばれ、1990 年頃から独立成分分析 [B] を用いた解法が試みられている。2000 年には、信号源に厳しい条件を付けて、時間周波数解析に基づいた解法が提案された [C]。Haykin-Chen のレビュー [D] によると、時間周波数解析を用いたブラインド信号源分離問題の解法もあるが、広範囲に利用されていない。

我々は、ブラインド信号源分離問題を題材にして、時間（空間）スケール解析である 1 次元および 2 次元の連続（または離散）ウェーブレット変換の様々な性質を研究してきた。時間遅れの入った音声信号のブラインド信号源分離問題には、解析ウェーブレット変換 [E] が適していた。これは、フーリエ変換像が負の周波数領域で 0 となるようなウェーブレット関数を用いた連続ウェーブレット変換である。

画像の分離問題には、我々が提案した円環分割マルチウェーブレット関数 [F] を用いた連続マルチウェーブレット変換が適していた。円環分割マルチウェーブレット関数は、そのフーリエ変換像が原点を通るある直線で切った半平面上での値が 0 になる関数であり、解析信号の 2 次元拡張版とみなせる。2013 年頃から、図 1 のような平行移動・重みの入った画像の重ね合わせを分離する画像分離問題の研究を始めた（詳しくは文献 [G] 参照）。

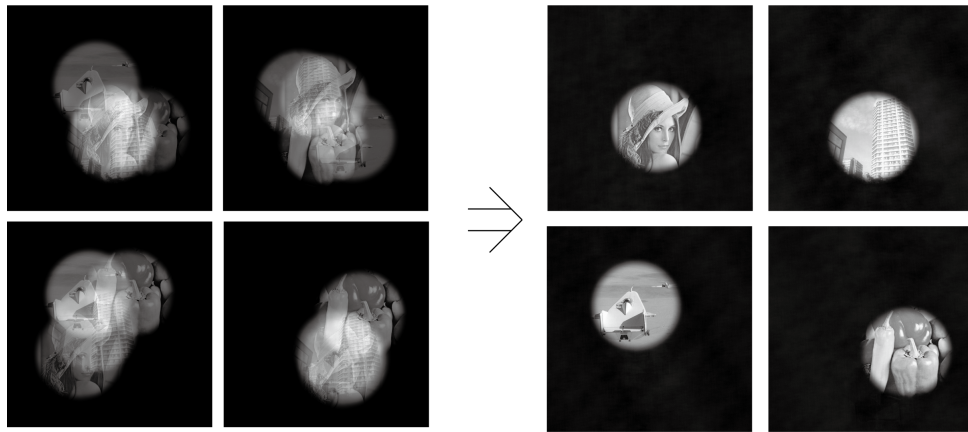


図 1: 平行移動・重みの入った画像の重ね合わせとその分離例。

本研究で考察する図 2 のような画像の重ね合わせがおこるのは、レントゲン・電波・赤外線などの透過型撮影の場合である。近年、人工衛星などから、赤・緑・青の光の 3 原色だけでなく複数のスペクトル（異なる波長の電磁波）で撮影したハイパースペクトル画像が得られている。そのような画像の解析には、観測する際に元画像に回転・平行移動・重みなどの変形作用が加わった場合の画像分離問題がかかわってくる。

## 2. 研究の目的

本研究では、図 2 のような回転・平行移動・重みの入った画像の重ね合わせを分離する画像分離問題を考察した。研究期間内に次の 4 点を明らかにし、その解決方法をとおして、2 次元のウェーブレット解析に対する新たな知見を得ることを目的に研究を行った。

- (1) 2 つの観測画像から、元画像の枚数・相対回転角度と大まかな相対平行移動量を求める方法
- (2) 2 つの観測画像から、より正確な相対平行移動量と相対重みを求める方法

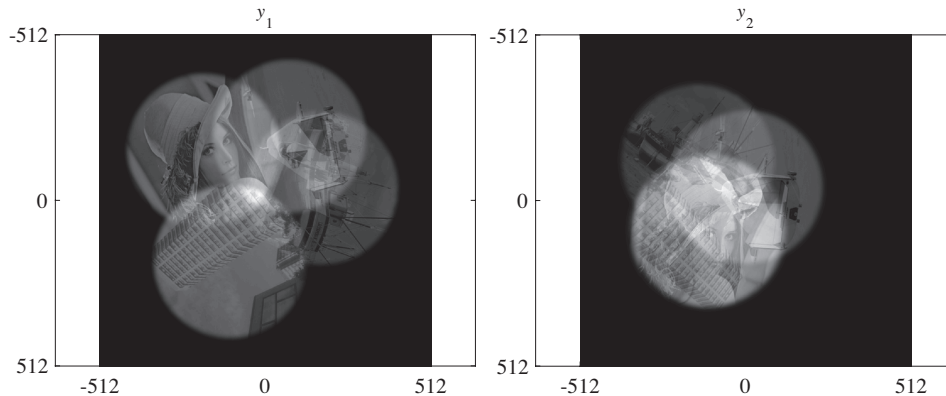


図 2: 回転・平行移動・重みの入った画像の重ね合わせ例.

- (3) 複数の観測画像から，同一の元画像に由来する相対回転角度・相対平行移動量・相対重みを対応づける方法
- (4) 観測画像が元画像より多いときに，元画像に分離する方法

### 3. 研究の方法

- 本研究は応用とそれを支える理論の二つに大別できる．応用は，数値実験を行い，試行錯誤しながら，観測画像から相対回転角度・相対平行移動量・相対重みを推定するアルゴリズムなどを開発する．理論は，応用で用いたアルゴリズムの妥当性や用いたウェーブレット関数・解析の手法を裏付けする．理論的に良さそうなウェーブレット関数を応用で使うなど理論と応用で相互作用しあいながら研究を進める．
- 研究代表者は研究分担者および連携研究者の総括を行う．応用は研究代表者の守本晃が責任者となって分担する．理論はウェーブレット解析や時間周波数解析に詳しい研究分担者の芦野隆一が責任者となって分担し，連携研究者の萬代武史がそれを補佐する．

### 4. 研究の方法

研究成果は，以下の通りである．

- (1) 観測画像  $y_1$  の連続ウェーブレット変換（輪郭線）と回転・画素単位で平行移動した観測画像  $y_2$  の連続ウェーブレット変換（輪郭線）との内積を計算することにより，両者の輪郭線の重なり具合が測定できる．この内積を，連続ウェーブレット相関とよぶ．連続ウェーブレット相関の絶対値（輪郭線の重なり具合）が大きくなるパラメータを抽出することにより，元画像の枚数・相対回転角度・大まかな相対平行移動量が推定できる．この内積の計算は，回転角度毎に連続ウェーブレット相関をフーリエ空間で計算することにより高速化されるが，高速フーリエ変換を用いるため平行移動の精度が画素単位になる．
- (2) 観測画像  $y_1$  と (1) で求めた相対回転角度・大まかな相対平行移動量で変換した観測画像  $y_2$  それぞれの円環分割マルチウェーブレット変換（複素数値）を求める．円環分割マルチウェーブレットの方向とスケールを固定したウェーブレット変換の偏角の差のヒストグラムを作成する．ヒストグラムのピークに対応する偏角の差をもつ位置で，ウェーブレット変換の絶対値の比を取ることで，相対重みを推定する方法を提案した．

- (3) 観測画像  $y_1, y_2, y_3$  に対して,  $(y_1, y_2)$  の組と  $(y_1, y_3)$  の組でそれぞれ相対回転角度と大まかな相対平行移動量を求める.  $y_2$  のある元画像が  $y_1$  の同じ元画像と重なるように  $y_2$  を変型する.  $y_3$  のある元画像が  $y_1$  の同じ元画像と重なるように  $y_3$  を変型する. 変型した  $y_2, y_3$  の連続ウェーブレット変換の内積の絶対値が大きければ (輪郭線が重なる), 同一の元画像に対応した相対回転角度と大まかな相対平行移動量であることがいえる. このようにして, 複数の観測画像から得られた各相対パラメータを同一の元画像に由来するパラメータにグループ分けできる.
- (4) (1), (2), (3) の方法で画像混合モデルのパラメータが全て推定できた. 観測画像の枚数が元画像の枚数以上であれば, 元画像に分離することが可能であると思われるが, 回転変換が入っているため簡単に解くことはできない. 元画像の初期値を仮定して, 推定したパラメータを持つ画像混合モデルにしたがって推定観測画像を作成し, 実際の観測画像との誤差を減らすように機械学習を行う方法を思い描いている. 元画像に分離することは, 今後の研究課題である.

#### 参考文献

- [A] C. CHERRY, Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears, *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 25 (5), 975–979, 1953.
- [B] C. JUTTEN, J. HERAULT, P. COMON, AND E. SOROUCHYARI, Blind separation of sources: Part I, II, III, *Signal Processing*, Vol. 24, 1–30, 1991.
- [C] A. JOURJINE, S. RICKARD, AND O. YILMAZ, Blind separation of disjoint orthogonal signals: Demixing  $n$  sources from 2 mixtures, in *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2985–2988, June 5–9, 2000, Istanbul, Turkey, IEEE Press, 2000.
- [D] S. Haykin and Z. Chen, The cocktail party problem, *Neural Computation*, Vol. 17 (9), 1875–1902, 2005.
- [E] R. ASHINO, T. MANDAI, A. MORIMOTO, F. SASAKI, Blind source separation of spatio-temporal mixed signals using time-frequency analysis, *Appl. Anal.*, 425–456, 2009.
- [F] R. ASHINO, S. KATAOKA, T. MANDAI, A. MORIMOTO, Blind image source separations by wavelet analysis, *Appl. Anal.*, 617–644, 2012.
- [G] 守本 晃, 画像分離と 2 次元ウェーブレット解析, *数理解析研究所講究録* **2147**, 49–76, 2020,

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 守本 晃	4. 巻 2147
2. 論文標題 画像分離と2次元ウェーブレット解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 49 ~ 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Morimoto Akira, Ashino Ryuichi, Mandai Takeshi	4. 巻 1
2. 論文標題 An Estimation of Mixing Coefficients in Image Separation Problem Using Multiwavelet Transforms	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2019 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 128 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR48189.2019.8946487	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikawa, Nobuko / Morimoto, Akira / Ashino, Ryuichi	4. 巻 2147
2. 論文標題 Wavelet analysis of auditory evoked potentials recording human vertex responses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 14 ~ 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Bahri Mawardi, Ashino Ryuichi	4. 巻 18
2. 論文標題 Uncertainty principles related to quaternionic windowed Fourier transform	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing	6. 最初と最後の頁 2050015 ~ 2050015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0219691320500150	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morimoto Akira, Ashino Ryuichi, Mandai Takeshi	4. 巻 1
2. 論文標題 An Estimation of Rotation and Translation in Image Separation Problem	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 113 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR.2018.8521267	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikawa Nobuko, Morimoto Akira, Ashino Ryuichi	4. 巻 1
2. 論文標題 A New Detection Method for Short Latency of Auditory Evoked Potentials Using Stationary Wavelets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 82 ~ 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR.2018.8521272	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikawa Nobuko, Morimoto Akira, Ashino Ryuichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Application of Complex Continuous Wavelet Analysis to Auditory Evoked Brain Responses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analysis, Probability, Applications, and Computation, Proceedings of the 11th ISAAC Congress	6. 最初と最後の頁 543 ~ 550
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-04459-6_52	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morimoto Akira, Ashino Ryuichi, Mandai Takeshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Detection of Rotation Angles on Image Separation Problem	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analysis, Probability, Applications, and Computation, Proceedings of the 11th ISAAC Congress	6. 最初と最後の頁 551 ~ 558
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-04459-6_53	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Bahri Mawardi, Ashino Ryuichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Duality Property of Two-Sided Quaternion Fourier Transform	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR.2018.8521310	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Bahri Mawardi, Ashino Ryuichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Some Useful Results Associated with Right-Sided Quaternion Fourier Transform	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 161~167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR.2018.8521394	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 井川信子・守本晃・芦野隆一	4. 巻 27
2. 論文標題 離散定常ウェーブレット解析による高速聴性脳幹反応ピーク潜時検出	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本応用数学会論文誌	6. 最初と最後の頁 216--238
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/jsiamt.27.2_216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ryuichi Ashino, Takeshi Mandai, and Akira Morimoto	4. 巻 1
2. 論文標題 Continuous Multiwavelet Transform for Blind Signal Separation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Pseudo-Differential Operators: Groups, Geometry and Application, M.W. Wong and Hongmei Zhu (Eds.), Springer International Publishing AG	6. 最初と最後の頁 219--239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 0.1007/978-3-319-47512-7_12	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ashino Ryuichi, Mandai Takeshi, Morimoto Akira	4. 巻 1
2. 論文標題 Image Source Separation Based on N-tree Discrete Wavelet Transforms	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 New Trends in Analysis and Interdisciplinary Applications Selected Contributions of the 10th ISAAC Congress, Macau 2015, Dang, P., Ku, M., Qian, T., Rodino, L.G. (Eds.) Birkhauser Mathematics	6. 最初と最後の頁 595 ~ 601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-48812-7_75	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikawa Nobuko, Morimoto Akira, Ashino Ryuichi	4. 巻 1
2. 論文標題 A Model of Relationship Between Waveform-Averaging and Slow Auditory Brainstem Response by Using Discrete Stationary Wavelet Analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 New Trends in Analysis and Interdisciplinary Applications Selected Contributions of the 10th ISAAC Congress, Macau 2015, Dang, P., Ku, M., Qian, T., Rodino, L.G. (Eds.) Birkhauser Mathematics	6. 最初と最後の頁 581 ~ 587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-48812-7_73	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Akira Morimoto, Ryuichi Ashino, Takeshi Mandai
2. 発表標題 An estimation of mixing coefficients in image separation problem using multiwavelet transforms
3. 学会等名 the 2019 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Morimoto, Ryuichi Ashino, and Takeshi Mandai
2. 発表標題 Image separation based on multiwavelet analysi
3. 学会等名 2019 International Conference on Machine Learning and Intelligent Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 守本晃
2. 発表標題 Mellin 変換を用いた, 画像の拡大・縮小率を求める数値実験について
3. 学会等名 大阪教育大学・AIMaP 共催ワークショップ「ウェーブレット理論と工学への応用」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 守本晃, 芦野隆一, 萬代武史
2. 発表標題 平行移動回転ありの画像分離問題における重みの推定方法について
3. 学会等名 日本応用数理学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 守本晃
2. 発表標題 画像分離問題とウェーブレット解析
3. 学会等名 第9回 若手理・工学セミナー, 釧路工業高等専門学校
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Morimoto, Ryuichi Ashino, Takeshi Mandai
2. 発表標題 An Estimation of Rotation and Translation in Image Separation Problem
3. 学会等名 2018 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nobuko Ikawa, Akira Morimoto, Ryuichi Ashino
2. 発表標題 A New Detection Method for Short Latency of Auditory Evoked Potentials Using Stationary Wavelets
3. 学会等名 2018 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 守本晃, 芦野隆一, 萬代武史
2. 発表標題 画像分離問題における回転角度と平行移動量の同定について
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年度 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Morimoto
2. 発表標題 Image separation using wavelet analysis
3. 学会等名 2018 RIMS共同研究&AIMaPワークショップ, 「画像解析と多次元ウェーブレット解析」(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 守本晃
2. 発表標題 ウェーブレット解析を用いた画像分離問題について
3. 学会等名 第8回 若手理・工学セミナー, 釧路工業高等専門学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Morimoto
2. 発表標題 Detection of rotation angles on image separation problem
3. 学会等名 the eleventh International Society for Analysis, its Applications and Computation (ISAAC) congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 守本 晃 (大阪教育大学), 芦野 隆一 (大阪教育大学), 萬代 武史 (大阪電気通信大学)
2. 発表標題 回転画像の重なる分離法について
3. 学会等名 日本応用数理学会2017年度 年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 守本 晃 (大阪教育大学), 芦野 隆一 (大阪教育大学), 萬代 武史 (大阪電気通信大学)
2. 発表標題 画像の平行移動量と回転角度の検出について
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年研究部会連合発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 守本晃
2. 発表標題 ウェーブレット解析に基づいた信号源分離問題の解法について
3. 学会等名 大阪市大・大阪府大合同 第40回「南大阪応用数学セミナー」(招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪教育大学教員総覧 <a href="http://kenkyu-web.bur.osaka-kyoiku.ac.jp/Profiles/2/0000184/profile.html">http://kenkyu-web.bur.osaka-kyoiku.ac.jp/Profiles/2/0000184/profile.html</a> 守本晃のHP <a href="https://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~morimoto/">https://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~morimoto/</a> OKU & AllMap ワークショップ「ウェブレット理論と工学への応用」予稿集または発表資料 <a href="https://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~morimoto/WSPRO/index.html">https://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~morimoto/WSPRO/index.html</a>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	芦野 隆一  (Ashino Ryuichi)  (80249490)	大阪教育大学・教育学部・教授    (14403)	
連携研究者	萬代 武史  (Mandai Takeshi)  (10181843)	大阪電気通信大学・工学部・教授    (34412)	