

令和 2 年 6 月 17 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：17K05298

研究課題名(和文) 多次元マルチウェーブレット解析の応用における数学的諸問題

研究課題名(英文) Mathematical problems in application of multi-dimensional multiwavelet analysis

研究代表者

芦野 隆一 (ASHINO, RYUICHI)

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：80249490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：フーリエ変換を含む積分変換である線型正準変換に関して研究した。分数冪フーリエ変換、フーリエ・ラプラス変換等は線型正準変換の一種と見なすことができるため線型正準変換の離散化と数値計算について研究が進展し、工学的応用の研究が行われている。我々は、四元数値関数の合成積の線型正準変換について研究した。これにより、四元数値関数の分数冪フーリエ変換、フーリエ・ラプラス変換等の変換像や合成積に現れる影響を統一の見方で扱う方法を研究した。さらに、四元数値関数の両側フーリエ変換の双対性及び四元数値関数の右側フーリエ変換の幾つかの有用な性質について研究した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

カラー画像を四元数値関数の虚部と見なすことにより、人間の視覚情報処理システムを四元数値関数の様々な時間周波数解析を使って解析することができる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The uncertainty principles can be regarded as generalization of the uncertainty principles on complex Hilbert space. By applying the linear operators, it is shown that the right-sided quaternion Fourier transform is a unitary operator. The duality property of the right-sided quaternion Fourier transform which enables us to express the alternative form of the Hausdorff-Young inequality associated with the right-sided quaternion Fourier transform is presented.

The image separation problem is considered, where observed images are weighted superpositions of translations and rotations of original images. An algorithm to estimate the number of original images, relative rotation angles, and relative translation parameters for two observed images is proposed. Numerical experiments demonstrate the usefulness of the proposed algorithm.

研究分野：ウェーブレット解析

キーワード：ウェーブレット解析 信号源分離 フーリエ解析

## 1. 研究開始当初の背景

マルチスペクトル解析やハイパースペクトル解析は、観測衛星によるリモートセンシングで開発された。観測衛星によって地球上のある地域を観測した場合、いくつものスペクトル情報が異なる重みをかけられて重ね合わされた複数個の観測結果が得られる。これらの観測結果から、注目している資源が、その地域のどこにどの位存在するかを、解析することを目的としていた。現在では、ハイパースペクトル解析は、観測衛星や人工地震によって得られる観測以外にも、工場での生産や検査、品質管理におけるコンベヤー搬送やロールラインなどに設置されたハイパースペクトルセンサーカメラによって活発に行われている。これらの観測データを処理して目に見える形（画像）で表現することがハイパースペクトルイメージングである。

ある種のハイパースペクトルセンシングでは、非常に狭い範囲の周波数帯（スペクトルと呼ぶ）ごとの情報を行列系列  $\{X_j\}_j$  として得ることができる。これらの  $X_j$  ごとに適切なウェーブレットを選んでウェーブレット解析を適用し、得られた位置スケール情報を統合して解析することができれば、様々な情報を得ることができる。我々が最近発表したマルチウェーブレット解析では、時間周波数窓の中心の位置を一致させた複数個の異なるウェーブレットを使った連続ウェーブレット変換から得られる濃淡図（スケーログラムと呼ぶ）で、位置スケール情報を統合して扱うことができる。また、我々は別の論文において、周波数領域で方向性を持った複数のウェーブレット関数を使い、異なったタイプの複数のウェーブレット関数による位置スケール情報を比較することができる多次元連続マルチウェーブレット変換を提案し、その離散化を行い、以下に述べる画像分離問題に適用していくつかの成果を得てきた。

マルチスペクトル解析やハイパースペクトル解析は、観測衛星によるリモートセンシングで開発された。観測衛星によって地球上のある地域を観測した場合、いくつものスペクトル情報が異なる重みをかけられて重ね合わされた複数個の観測結果が得られる。これらの観測データを処理して目に見える形（画像）で表現することがハイパースペクトルイメージングである。このハイパースペクトルイメージングに応用できるマルチウェーブレット解析を研究する機運が高まっていた。

## 2. 研究の目的

ある種のハイパースペクトルセンシングでは、非常に狭い範囲の周波数帯（スペクトルと呼ぶ）ごとの情報を行列の系列として得ることができる。これらの行列ごとに適切なウェーブレットを選んでウェーブレット解析を適用し、得られた位置スケール情報を統合して解析することにより、様々な情報を多角的に表現し、解析できる方法を提案することを目

的とした。

画像分離問題で使われる多次元マルチウェーブレット解析は、ハイパースペクトルイメージングに応用できるポテンシャルを持っているので、本研究ではそのための数学的基礎について研究する。

### 3. 研究の方法

本研究は多次元マルチウェーブレット解析の数学的基礎理論とそのハイパースペクトルイメージングへの応用に関する研究であり、目的は下に挙げる4つである。

(i) 観測データを各スペクトルごとに適当な多次元マルチウェーブレットを選び、得られた多次元マルチウェーブレット解析の位置スケール情報を統合する。

(ii) 統合された情報の構造と特徴を調べ、構造のタイプによって観測データを分類する。

(iii) 選択した多次元マルチウェーブレットを用いて解析するアルゴリズムを提案し、シミュレーションにより提案する方法の妥当性を検証する。

### 4. 研究成果

数値計算が可能な多次元マルチウェーブレット解析とそのアルゴリズムを提案した。

未知の信号の線形結合が観測されたとして、この線形結合の係数が未知の場合、元の信号と線形結合の係数を推定できるアルゴリズムを提案できた。この問題は、ブラインド信号源分離と呼ばれている問題である。

さらに1次元の信号が、2次元の画像の場合にもブラインド信号源分離が適用できる多次元マルチウェーブレットと画像の場合のブラインド信号源分離のアルゴリズムを提案した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 0件）

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 該当する
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 該当する
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 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, Amir Amir Kamal, Ashino Ryuichi	4. 巻 1
2. 論文標題 Correlation formulation using relationship between convolution and correlation in linear canonical transform domain	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 2017 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR)	6. 最初と最後の頁 177 ~ 182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ICWAPR.2017.8076685	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 該当する

1. 著者名 Bahri Mawardi、Ashino Ryuichi	4. 巻 15
2. 論文標題 Logarithmic uncertainty principle, convolution theorem related to continuous fractional wavelet transform and its properties on a generalized Sobolev space	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing	6. 最初と最後の頁 1750050 ~ 1750050
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0219691317500503	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 該当する

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Akira Morimoto
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 Akira Morimoto
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
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 守本晃
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 守本晃
2. 発表標題 Image separation using wavelet analysis
3. 学会等名 2018 RIMS 共同研究, 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 Ryuichi Ashino
2. 発表標題 Duality property of two-sided quaternion fourier transform
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 Ryuichi Ashino
2. 発表標題 Some useful results associated with right-sided quaternion Fourier transform
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 Ryuichi Ashino
2. 発表標題 Correlation formulation using relationship between convolution and correlation in linear canonical transform domain
3. 学会等名 2017 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 芦野隆一
2. 発表標題 四元数値関数の時間周波数解析
3. 学会等名 釧路高専第7回若手理・工学セミナー
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 芦野隆一
2. 発表標題 四元数値関数の時間周波数解析
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

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



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 Linnaeus University, Vaxjo, Sweden (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 守本晃
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

〔図書〕 計2件

1. 著者名 M.W. Wong and Hongmei Zhu (Eds.)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer International Publishing AG	5. 総ページ数 239
3. 書名 Pseudo-Differential Operators: Groups, Geometry and Application	

1. 著者名 Dang, P., Ku, M., Qian, T., Rodino, L.G. (Eds.)	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Birkhauser Basel	5. 総ページ数 353
3. 書名 New Trends in Analysis and Interdisciplinary Applications: Selected Contributions of the 10th ISAAC Congress, Macau 2015	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

## 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	萬代 武史  (MANDAI TAKESHI)  (10181843)	大阪電気通信大学・共通教育機構・教授    (34412)	
研究分担者	守本 晃  (AKIRA MORIMOTO)  (50239688)	大阪教育大学・教育学部・教授    (14403)	