

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23540146

研究課題名(和文) ウェーブレット解析とその信号源分離への応用

研究課題名(英文) Wavelet analysis and its application to the blind source separation problem

研究代表者

藤田 景子 (FUJITA, KEIKO)

富山大学・大学院理工学研究部(理学)・教授

研究者番号：40274568

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：(1) 信号源を分離するためにまず信号を時間周波数空間に移しその時間周波数情報の商を考察することで信号源の数を推定してから信号を分離する、という手法には幾つかの問題点が存在する。我々はそれらの問題点を数学的に明確にした。そして信号源の数が増えると分離が難しくなるという問題に対しては、その原因となる根拠を数学の理論における誤差評価を基に示した。

(2) 信号源が球面上にある問題に対応するために、球面上のガボール変換について考えた。球面上の解析汎関数のガボール変換像を球面調和関数とベッセル関数を用いた無限級数和の形でどのように表示されるかを示した。

研究成果の概要(英文)：(1) A characteristics of our method on the blind source separation problem is to estimate of the number of sources in the first step. To estimate the number of sources, we transform the signals into the time-frequency domain and consider the quotient of the transforms of the observed signals. For this method, there are some problems. We formulated the problems mathematically. A problem is that it will be difficult to separate the sources when the number of sources is large. For this problem, we clarified the causes by an error evaluation in the theory of mathematics.

(2) To treat the case that the sources are on the sphere, we considered the Gabor transformation on the sphere. We expressed the Gabor transform of analytic functionals on the sphere as the infinite sum by means of the spherical harmonics (or extended Legendre polynomials) and Bessel functions.

研究分野：複素解析

キーワード：逆問題 信号源分離

## 1. 研究開始当初の背景

人間はパーティ会場など喧噪とした場所でも特定の人と会話ができる。それは我々が複雑に重なり合った音の中から、特定の音声(信号)のみを選択的に聞き分けることができる能力を持ち合わせているからである。この聴覚系の能力はカクテルパーティ効果と呼ばれ、工学的にも高い関心がもたれている。"カクテルパーティ問題"は、複数のマイクロフォンやセンサーで採取した複数の音源信号の混ざり合った観測信号から、個々の音源信号に分離するという逆問題の一例であり、人間の脳はこのような音源分離を行っているといえる。

音源分離の問題に対して1995年ごろ、独立成分分析という手法が開発された。独立成分分析的な手法では、観測信号から数理モデルを解いて得られる信号源の各々が確率的に独立になるように数理モデルのパラメータを少しずつ変更して信号源を求める方法である。しかし、この方法では、本来不必要なデータが過剰に使われるため計算処理にかかる時間やコストに無駄が生じる。この無駄を解消するために、何らかの方法でまず信号源の数を推定することができれば、必要最小限の観測データで逆問題を考察すればよいことになり、遥かに効率的に問題を解くことができる。この信号源の数をまず推定するというアイデアは、2000年ごろから用いられ始めた。

我々は2003年度より2年間、日米共同研究を行うことになり、上記のような独立成分分析的な手法を使わない信号源分離の研究が行われているという情報を米国側の研究協力者より得た。そして、既存の論文では、数値実験結果は詳しく記載されていても、その手法の正当性はきちんと示されていなかった。我々の日米共同研究の成果のひとつが、信号源の数を推定するという手法を論理的に記述しその証明を数学的に厳密に与えたことであった。しかし、この手法には、信号源の数が多くなるとうまく分離できない、といった幾つかの解決すべき問題が残されていた。

## 2. 研究の目的

ブラインド信号源分離とは、複数個の観測信号から信号源と観測信号の間の数理モデルを考え、信号源の情報(個数、方向、位置など)と数理モデルのパラメータを推定し、個々の信号源を割り出すという逆問題である。音声や雑音、心臓の鼓動など音源には様々なものがあり、脳波のようなものも信号源の一つである。さらに対象が二次元の画像であれば、重なり合った画像を分離するという画像分離の問題になる。従って、信号源分離の研究は、対象となる信号源によって、音響学、物理、医学など様々な分野の研究に係る重

要な研究テーマである。しかしながら、未知数が多いためこの問題に対する一般的な解法は存在しない。しかし、信号源に何らかの条件を仮定することで問題を解くことが可能となる。これまで、信号源が確率的な意味で独立であるという仮定の下で考察される独立成分分析という手法が主として研究されてきた。

我々は、独立成分分析的な手法を用いず、ウェーブレットを道具として時間周波数平面での信号源の独立性を新たに考案し、その独立性の仮定の下でまず信号源の数を推定してから信号源分離を行うという研究を日米共同研究がきっかけで始めた。独立成分分析の手法を用いない信号源分離の研究は新しく、この立場からの信号源分離の研究はあまり進んでいない。本研究の目的は、音響学、医学をはじめ物理、工学など他の分野への応用を念頭において、信号源分離に用いられる手法の正当性を保証するために必要となる数学的な理論を、ウェーブレットを用いた時間周波数解析の立場で構築することである。

## 3. 研究の方法

本研究は応用として信号源分離を念頭に置いた理論的研究である。これまでの研究から信号源分離を行う際、信号源の数が多くなったり、雑音が入ると分離が難しくなることは分かっている。実際、実測データを用いて実験を行った人達の講演を聴いても雑音や反響音などの影響があると"きれいに"分離することは難しいようである。現実問題としてこれらの要素を無視することはできない。

そこでまず、このような現状を考慮した数理モデルを考える。

ウェーブレット変換などにより時間周波数情報を利用して信号源分離を行う際に重要な過程は、信号源の数を推定することである。我々が信号源の数の推定に用いる手法は、観測信号を時間周波数空間に変換して2つの観測信号から得られた時間周波数情報の比を考えることであった。そこでまず、我々の信号源分離の第一段階である信号源の数の推定の過程で、時間遅れや雑音など様々な要因を加味した数理モデルを考える。すなわち、これまで時間遅れなどを考慮しない場合に対応する関数で考察してきたことを、雑音や反響音など様々な要因の影響を加味した場合に対応する関数で考察し、信号源の数が明確に特定できる自明な場合に対応する関数との誤差を評価する。

次に時間周波数空間に移したときに誤差の影響が小さくなるようなウェーブレットなどの変換を探す。

理論を基に数値実験で確かめる。数値実験でうまくいけば、現実の観測データを用いた実

験によって検証してみる。予想する結果が得られなければ、実験結果を分析し、理論で仮定する条件が現実の信号源を対象としたときに、どのような意味を持つのかを把握し理論に戻り再考を試み再度実験で検証する、といった過程を繰り返しながら研究を進める。

そして、様々な環境の影響のある場合でも信号源の数の推定がうまくできれば、元の信号源を特定する過程の効率化の考察に進む。

#### 4. 研究成果

- (1) 信号源を分離するためにまず信号を時間周波数空間に移しその時間周波数情報の商を考察することで信号源の数を推定してから信号を分離する、という手法には幾つかの問題点が存在する。我々はそれらの問題点を数学的に明確にした。そして信号源の数が増えると分離が難しくなるという問題に対しては、その原因となる根拠を数学の理論における誤差評価を基に示した。
- (2) 信号源が球面上にある問題に対応するために、球面上のガボール変換について考察した。球面上の解析汎関数のガボール変換像を球面調和関数とベッセル関数を用いた無限級数和の形でどのように表示されるかを示した。

#### 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 4 件)

① K. Fujita,  
Gabor transform of analytic functional on the sphere, Current Trends in Analysis and its Applications, Proceedings of the 9th ISAAC Congress, Krakow 2013, Springer International Publishing, 査読有, 451--458, 2015, DOI 10.1007/978-3-319-12577-0\_50.

② K. Fujita,  
Gabor transformation on the circle, Proceedings of the 2014 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, 122--126, 2014, DOI: 10.1109/ICWAPR.2014.6961302.

③ K. Fujita,  
On Blind Source Separation Problem in Time-Frequency Space, Progress in analysis, Proceedings of the 8th Congress of the ISAAC, Peoples' Friendship University of Russia, Publisher, 査読有, 258--265, 2012.

④ K. Fujita,  
Remarks on a method to estimate the number of sources on blind source separation, Proc. of the 2012 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, 査読有, 378--383, 2012, DOI: 10.1109/ICWAPR.2012.6294811.

[学会発表] (計 9 件)

① 藤田景子,  
ウェーブレット変換とその応用, 福島大学舟場町サテライト会議室, 2015. 2. 1.

② K. Fujita,  
Gabor transformation on the circle, International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, Crowne Plaza Lanzhou, Lanzhou (China), 2014. 7. 15.

③ K. Fujita,  
Gabor transform of analytic functional on the sphere, 9th International ISAAC Congress, Pedagogical University, Krakow, Krakow (Poland), 2013. 8. 6.

④ K. Fujita,  
Gabor transformation on the sphere, The Sixth International Conference on Information, Hotel Arcadia Ichigaya, Tokyo, 2013. 5. 8.

⑤ 藤田景子,  
信号源分離に関連する時間周波数解析, 富山大学理学部数学教室談話会, 2012. 11. 15.

⑥ K. Fujita,  
Complex Analysis related to the blind source separation problem, Geometric Complex Analysis Tokyo 2012, University of Tokyo, 2012. 7. 26.

⑦ K. Fujita,  
Remarks on a method to estimate the number of sources in blind source separation, International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition 2012, Xian, (Shaanxi, (China)), 2012. 7. 17.

⑧ K. Fujita,  
On blind source separation problem in time-frequency space, The 8th ISAAC Congress, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow (Russia), 2011. 8. 23.

⑨ K. Fujita  
An application of a quotient function in the time-frequency space, Conference on

several complex variables, Jagiellonian  
University, Krakow (Poland), 2011.7.11.

[その他]

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤田 景子 (FUJITA, Keiko)  
富山大学大学院 理工学研究部(理学)  
・教授  
研究者番号 : 40274568

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

守本 晃 (MORIMOTO, Akira)  
大阪教育大学 教育学部・准教授  
研究者番号 : 50239688