

日本化学会第 79 春季年会（神戸，平成 13 年 3 月 28 日～3 月 31 日）および，第 41 回化学関連支部合同九州大会（北九州，平成 16 年 7 月 17 日）においてポスター発表賞を受賞している。

以上，本論文は有機化学的手法により，独自のオリゴヌクレオチドコンジュゲート合成法を確立し，その手法により合成した様々なオリゴヌクレオチドコンジュゲートを応用して，分子生物学的知見を元にヒト細胞における特定の標的遺伝子の発現制御を達成している点で，研究分野の壁を越えた卓抜した学際領域研究であると評価できる。実際の研究は綿密な実験計画の下に正確な実験とデータを集積した優れた研究成果であり，遺伝子医薬実用化に向けての大きなブレークスルーをもたらす可能性のある研究として，工学博士の学位論文として値するものと評価できる。

氏 名	古 屋 武 志
学位の種類	博 士 (工学)
学位記番号	産 第 18 号
学位授与の日付	平 成 17 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規程第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	独立成分分析に基づく耐高残響雑音除去法に関する研究
論文審査委員 (主 査)	教授 五 反 田 博
(副主査)	教授 久 良 修 郭
(副主査)	教授 中 野 吉 正

## 論文内容の要旨

近年、音声認識技術は目覚しく向上しており、雑音のない理想的な環境下なら、話者音声を殆ど間違いなく認識できる。しかし、実環境下では様々な雑音が存在するため、必ずしも良好な音声認識結果が得られるとは限らない。そのため、これまで様々な雑音除去法が提案され試みられているが、まだ決定的な解決策はない。

そこで、独立成分分析 (ICA: Independent Component Analysis) 法に基づいて、雑音を除去する試みが注目を集めている。ICA 法は、音源が統計的に独立ならば、音源や伝達経路の特性が未知の場合でも、幾つかの音源が混じって観測された混合信号から元の音源を分離する手法として期待されており、音源や伝達経路の特性に関する事前情報を必要としないことから、ブラインド信号分離 (BSS: Blind Source Separation) とも呼ばれている。

ICA 法は、時間領域で分離を行う時間領域 ICA (TDICA: Time Domain ICA) 法と周波数領域で分離を行う周波数領域 ICA (FDICA: Frequency Domain ICA) 法の 2 つに大別される。音源とマイク間に時間遅れや畳み込みがなく、混合行列の要素が実定数で表される瞬時混合の場合、いずれの方法でも音源を完璧に分離することができる。しかし、実環境下では、音源とマイク間の距離の違いから、個々のマイクで受信される信号に時間差があり、反射や残響が畳み込まれて観測されるため、TDICA 法で混合信号から元の音源を分離しようとすると、フィルタ次数が数千にも及ぶことになって安定性や計算負荷の問題が生じる。

時間差や畳み込みがあるときの分離問題はブラインドソースデコンボリューション (BSD: Blind Source Deconvolution) と呼ばれ、一般に、FDICA 法で解かれることが多い。これは、時間領域での畳み込みが周波数領域では積として表現できるため、瞬時混合のときと同様に平易に扱えることによる。つまり、個々の周波数における混合信号は、瞬時混合のときと同様に、定数値の混合行列と信号の積として表現できて、瞬時混合信号に対する分離法がほぼそのまま踏襲できることによる。

しかし、残響が多くなると音源分離性能は著しく低下する。これは、信号を短時間離散フーリエ変換により周波数領域に変換する際、フーリエ変換の分析窓幅が短

いとインパルス応答のすべてを包含できないので、音源の直接音部分は分離できても、それに続く反射や残響部分が分離できないことによる。そこで、逆に分析窓幅を長くすれば残響成分も除去できると考えられる。しかし、分析窓幅を長くすると十分な統計データが得られなくなるため、この場合も分離性能は劣化する。また、観測信号が長ければ、分析窓幅を長くすることにより残響成分を除去できるが、実用的な応用を考えた場合、長時間にわたって同じ音環境が持続するとは考えにくい。また、移動音源については、短時間の観測データで分離する必要がある。

残響問題について、Serviere は分割畳み込みの概念を導入して、混合過程のインパルス応答を分割することにより、それまで周波数領域で瞬時混合として近似的にモデル化されていた FDICA 法を畳み込み混合として厳密にモデル化した。そして、通常、時間領域畳み込み混合に対する TDICA アルゴリズムを周波数領域に適用して、畳み込み FDICA (ConvFDICA) 法を提案した。この方法では、分析窓幅を  $N$ 、各周波数ビンでの分離行列のタップ長を  $K$  として、時間領域で長さ  $L$  の分離フィルタを周波数領域で  $L=KN$  と各周波数ビンに分解することで、適度な分析窓幅 (短時間の観測データでも十分な統計量が得られる程度) で高残響下でも機能する収束性に優れた分離フィルタを実現している。このことから、ConvFDICA 法は、高残響下での雑音除去問題に対して、一つの解決指針を示唆していると考えられる。しかし、ConvFDICA 法は、TDICA の性質を継承しているため、TDICA 固有の白色化歪みの問題を伴う。さらに、周波数領域で必然的に起こるスケージングの不定性や成分置換の課題が残る。

本論文では、まず、TDICA の観点から成分置換の初期値に対する依存性を検討し、FDICA 法で得られた値を初期値として採択することで成分置換問題が解決できることを示した。また、TDICA 法の範疇で定式化されている最小歪み原理 (MDP: Minimum Distortion Principle) について検討し、白色化歪みやスケージングの不定性を解消した新たな ConvFDICA 法を提案した。さらに、本論文では実環境下で、音源や音響伝達関数が未知ということに起因して SN 比の評価が不可能という従来からの問題に対処するため、分離後の信号は周波数帯域により分離が良い帯域と悪

## 論文審査結果の要旨

い帯域が存在するという性質を利用して、実環境下での SN 比評価法を実現した。また、音声認識能力は音声の始端と終端の検出結果に敏感に影響されるという問題に対して、エントロピーを尺度に分離の良い周波数帯域だけを選択して、音声区間を検出する方法を定式化した。

以下に本論文の流れを示す。

第 1 章では、これまでの本研究分野での発展の推移、研究の背景、目的について述べた。

第 2 章では ICA 法の定義や基本的性質について述べ、ICA 法を様々な問題に適用するための混合過程のモデル化について説明した。また、音源を分離するためには独立性を測る評価量を決め、それから評価関数（コスト関数）を導いて、それを最小にするようなアルゴリズムを導く必要がある。そこで、FDICA 法に必要な瞬時混合に対するコスト関数や、TDICA 法に必要な畳み込み混合に対するコスト関数について説明した。

第 3 章では、ICA アルゴリズムを自然勾配法（Natural Gradient）の観点から説明し、TDICA 法について概観する。第 4 章では、FDICA 法について説明し、第 5 章でコスト関数が瞬時混合のとき単峰性となるのに対して、畳み込み混合のとき多峰性となることを述べるとともに、FDICA 法を厳密な畳み込み混合モデルとして分離フィルタを構成する Serviere の方法について説明した。

第 6 章で時間領域で定式化された MDP を周波数領域に発展させて、MDP を ConvFDICA 法に取り込んだ方法（EC-FDICA：Extended-ConvFDICA）を提案した。また、第 7 章で実環境で収録した信号に対して ICA アルゴリズムの分離能力を測るための SN 比測定法を提案した。そして、第 8 章で実環境を模擬した混合データを EC-FDICA 法で分離し、その分離能力を SN 比測定法で評価して、EC-FDICA 法の有効性を検証した。最後に第 9 章で以上を総括した。

独立成分分析法（ICA：Independent Component Analysis）に基づくブラインド信号分離（BSS：Blind Source Separation）は、周波数領域において分離行列を推定する周波数領域 ICA（FDICA：Frequency Domain ICA）と時間領域において分離フィルタを推定する時間領域 ICA（TDICA：Time Domain ICA）に分類される。一般に、TDICA においては、すべての残響を包含できるように分離フィルタ長を長くすると、推定すべきフィルタ係数が多くなって解が収束しない。そのため、残響時間の長い混合系へ適用することは非常に困難である。一方、FDICA は、優れた収束性をもつが、窓幅を大きくすると、狭帯域信号間の独立性が崩れるため、長い残響を含む信号の分離は難しい。また、最小歪み原理（MDP：Minimum Distortion Principle）による TDICA 法は、TDICA 法に固有の白色化歪みは軽減できるが、本質的に TDICA 法と同じアルゴリズム構造になっているため、分離フィルタ長が大きくなると、解が収束しないという問題が残る。さらに、Serviere の畳み込み FDICA（ConvFDICA）法は、TDICA 法と FDICA 法を統合した方法であるが、TDICA 法の性質を継承しているため、白色化による歪みの影響を受ける。

また、ICA の雑音除去能力を調べる評価量として SN 比が考えられるが、SN 比を計測するには音源や部屋のインパルス応答が既知でなければならない。しかし、実環境下では音源や部屋のインパルス応答が簡単に得られないため、SN 比を計測することはこれまで不可能とされていた。

本論文は、FDICA 法の残響に脆弱という問題を解決して、高残響下でも有効に機能する雑音除去法とその除去能力を評価する SN 比の計測法を提案したものである。

まず、残響に脆弱という問題については、ConvFDICA 法を検討して、混合過程を周波数領域で畳み込みモデルとして厳密に定式化することにより、高残響下でも機能するアルゴリズムとなっていることを明らかにしている。

次に、ConvFDICA 法に MDP の概念を適用することにより、ConvFDICA 法で問題となっていた白色化による歪みを解消する方法を提案して、白色化歪みのないことを検証している。

さらに、音声区間を検出して音声区間と非音声区間を分けることにより、実環境下でも実現できる SN 比測定法を提案し、その有効性を検証している。

そして、この SN 比計測法をもとに、新たに提案した ConvFDICA 法の分離能力を

評価している。

また、実環境下での雑音除去能力について、提案法と既存法を比較実験して、提案法が従来法に比べて優れていることを示している。

以上のように、本論文では、従来型 FDICA 法の抱える残響に脆弱という問題を解決する方法と実環境下で雑音除去能力を評価する簡易 SN 比計測法を提案したものであり、信号処理の分野に寄与するところが大きい。よって本論文は、博士（工学）の学位論文に値するものと認める。