

Title	A study on the dynamical role of EEG phase for speech recognition(Abstract_要旨)
Author(s)	Onojima, Takayuki
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2018-03-26
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k21213
Right	許諾条件により本文は2019-02-23に公開
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	小野島 隆之
論文題目	A study on the dynamical role of EEG phase for speech recognition (音声認識における脳波位相のダイナミクスとその役割に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は脳波として観測される周期的な脳活動の脳機能的な役割と脳波間/脳波—外部刺激間の同期のメカニズムに関する研究をまとめたものである。特に脳機能の中でも音声認識に着目し、音声聴取中における周期的な脳活動の役割と脳波と音声の同期のメカニズムを考察している。</p> <p>第1章では、頭皮脳波などで観測される脳内の周期的な活動と、脳活動間または脳活動と外部刺激間で見られる同期現象について紹介している。</p> <p>第2章では、音声認識における周期的な脳活動の役割を検証するために、音声の聴取成績に影響を与える頭皮脳波を特定している。本論文では、脳波位相に依存して課題の成績が変化した大きさを示す指標としてPUB(Phase utility on behavior)を提案している。この指標を用いて音声刺激提示前後のデルタ波 (1-3 Hz) と刺激提示前のシータ波 (4-8 Hz) の脳波位相が音声聴取成績に影響を与えていることを示している。さらに、頭皮脳波と磁気共鳴機能画像法 (fMRI) の同時計測実験を行うことで脳波の活動と関係のある脳領域の同定を行い、聴取成績に影響を与える脳波の活動が運動野の活動と関係があることを示している。更に、これらの結果をもとに周期的な脳活動が聴取成績に影響を与える機序を考察している。</p> <p>第3章では、脳波間または脳波と外部刺激間の同期の機序を検証するために、時系列データから異なる周波数間の同期を説明する力学系を推定する手法を提案している。脳波で観測される同期現象には、同一の周波数間の同期と、異なる周波数間の同期の存在が報告されている。既存の研究として、時系列データから位相振動子モデルを推定する手法が報告されているが、この推定手法は同一周波数間の同期にしか適用することができない。本論文では異なる周波数間の同期現象である1:p (pは2以上の自然数) の位相同期にも適用できるように推定手法を拡張している。この手法を用いて、数値シミュレーションと電子回路実験のデータから、位相振動子モデルが正しく推定されることを確認した。一方、脳波データに関しては、そもそも正解の位相振動子モデルを特定するのが困難であり、推定結果の正しさを直接確認する方法は無い。これに対して、因果関係が明確である (相互作用が一方向的) 実際の脳波データと音声データを用いて位相振動子モデルの推定を行い、推定結果の妥当性を検証している。その結果、脳波実験で得られた時系列データに対しても提案した手法を用いて脳波の同期を説明できることを示した。この手法を用いることで脳波間の同期を引き起こす相互作用を同定できる可能性があり、これによって周期的な脳活動間の同期と脳機能の関係の解明に貢献することが期待できる。</p> <p>第4章では、位相振動子モデルを用いた推定の結果から脳波と音声間の同期のメカニズムを考察し、本研究全体のまとめを述べている。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文では周期的な脳活動が認知機能を実現する上でどのような役割を担っているかについて論じられている。脳内で観測される周期的な電位変化は神経活動に影響を与えることが知られており、また、この周期的な活動は同一周波数、複数周波数間で同期することも知られている。しかし、このような活動が脳機能に対してどのような役割を果たしているのかについては未だ明らかになっていない。これを明らかにするためには、脳波として観測される周期的な活動がどのような脳機能に影響を与えるのか、どのような相互作用によって同期が引き起こされるのかということと同定する必要がある。

第一の研究では、音声認識に対して、運動野の活動と関係のある音声聴取前後のデルタ波と音声聴取前のシータ波の位相が影響を与えることを示した。音声聴取中に聴覚野のシータ、デルタ波と言う脳波が音声言語学的な成分である音節、韻律と同期することが報告されており、この同期現象が音声認識の機序に深く関係していることが示唆されている。しかしながら従来の研究では、なぜ音声と脳波位相が同期するかの機能的な意味は報告されていない。この問題に取り組むために、音声認知成績に影響を及ぼす脳波位相を特定するための定量指標を新たに提案することで、脳波の位相により音声の聞き取りやすさが変化することが、脳波と音声の同期の機能的理由であることを突き止めた点は評価に値する。また、先行研究から、音声を認識する上で話し手の口や舌の運動を同定することで音声認識が増強されると考えられているが、人間の脳がどのようにして音声認識の増強を行っているのかについては明らかになっていない。この論文では、音声認識成績を変化させる脳波成分が運動皮質の活動と関係することを、機能的MRIと脳波の同時記録という国際的なレベルとしても高度な脳計測技術に基づいて示しており、運動野の音声認識への寄与のメカニズムを考察する上で有用な結果を得ており評価できる。

第二の研究では、同一周波数、複数周波数間の位相同期を引き起こす相互作用を推定する手法を提案し、実験データに適用することでその有効性を確認している。特に1:p (pは2以上の自然数) 位相同期に適用可能な拡張を行った推定手法としては世界的に見ても初めてのものである。数値シミュレーションと電子回路実験で得られた1:2位相同期を対象に手法を適用し、正しいモデルが推定されることを確認している。さらに、実際の脳波と音声の時系列データに対して、相互作用の因果関係が明確である実験デザインを用いて手法を適用し、正しく推定できることを確認している。この推定手法は同期に直接的に影響を与える相互作用を推定することが可能であり、リズムを示す脳活動間の因果関係を、非線形力学系の観点から明確な意味で特定することに適している。移動エントロピーなどの他の推定手法を用いても、脳波間の相互作用を推定することは可能ではあるが、その相互作用が同期に対してどのような影響を与えるのかについて定量的に示すのは困難である。この点においてこの論文で説明されている推定手法は、脳活動データを解析する実用性のある研究成果として高く評価できる。

上記の研究内容は、音声認識という具体的認知課題における脳活動の同期の機能的役割を明確にし、単純な同期ではない1:p同期など現実の脳活動データで必ず直面する状況に適用可能な手法を提案しており、実験的観点からの価値は高い。結論として、本論文は、博士(情報学)の学位論文として、価値あるものと認める。また、平成30年2月9日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認められた。