

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26730079

研究課題名(和文) 遠隔共同作業間の話者交替と脳活動の比較による意思疎通の失敗とその兆候の発見

研究課題名(英文) Discovery of Conversational Errors by Comparison between Turn Taking and Brain Activity during Remote Collaboration

研究代表者

大山 勝徳(OYAMA, Katsunori)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：50615606

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、共同作業環境における意思疎通の失敗(おもに1分以上継続する沈黙)の分析を研究目的として研究を進めてきた。

1) ペアプログラミング中の話者交替の頻度と脳波変動差を比較し、意思疎通の活性化から停滞へ変化する時点で脳波変動差が極端に大きくなることを発見した。このことにより、共同作業間での意思疎通の失敗が及ぼす脳活動の影響は可視化できることが明らかとなった。

2) 次に、暗算課題に関する対話を事例とし、脳波と脳血流の同時計測の結果について自己組織化マップを用いて分析を行った。計算と安静の他に、閉眼中、聞き取り中、解答の書き込み中の状態を含めてクラス分類は可能であることを考察した。

研究成果の概要(英文)：This study conducted the analysis on conversational errors, i.e., falling into silence for more than 1 minute as undesirable situation in collaborative environments.

1) This study compared between temporal changes in frequency of turn taking and variation of brain waves during the exercise of pair programming. From the experimental result, variation of brain waves is larger at the point the transition from active conversation to falling into silence. In other words, the effects on brain activity by conversational errors between the collaborators can be visualized by the index, variation of brain waves.

2) This study also conducted the experiment of mental arithmetic task by simultaneous EEG and NIRS monitoring, and classified the brain states using Self-Organizing Maps (SOMs). From the experimental result, our discussion concluded that not only the states of calculating and resting, but also the states of eye-closing, listening and writing are classifiable.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：EEG NIRS BCI 自己組織化マップ 意思疎通

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 共同作業は、企業や教育機関における技術学習やプロジェクト活動の効率化などの多面的効果がある一方で、技術的な問題と社会的な問題の条件によっては低い生産性に陥ることがある。特に、遠隔の共同作業の場合、対面に比べて意思伝達手段が限られることから、意思決定に障害が生じやすい。

(2) 脳科学の分野において、対話中の脳活動は前頭前野や側頭葉に見られることは指摘されてきた。EEG (Electroencephalogram) の解析結果から、対話リズムに合わせて波と波を含む帯域成分の脳波リズムに同期が現れることが報告されている。その一方で、意思疎通の失敗が生じた場合にもまた、脳波リズムに対する一時的な影響があると考えられるが、これまで詳しい議論はされてこなかった。

## 2. 研究の目的

本研究は、共同作業環境における意思疎通の失敗、すなわち、望ましくない対話状況として1分以上継続する沈黙に関する兆候の分析を研究目的とし、意思疎通に関する情報共有モデルや実験の検討を進めてきた。

(1) 最初に、NIRSとEEGのハイブリッド計測による精神作業負荷の推定量の精度向上を1つ目の研究課題とする。EEGのアプローチは計測結果の検証時にアーチファクト(脳波以外から由来する波形成分)が障害となってきた。本研究によるNIRSとEEGの同時計測は、時間分解能の高い精神作業負荷の変化量の差を比較し、それぞれの特徴を分析する。

(2) 次に、教師なし学習による意思疎通の分類を2つ目の研究課題とする。従来研究として形式概念分析と呼ばれる教師無し学習は、異常に対する潜在要因の因果関係の可視化を得意とする代わりに、データ規模の増大つれて結果の見通しが悪くなる。その解決として、話者交替の近傍時間(それぞれ1分間、5分間、10分間)に潜在要因に分析範囲を絞った自己組織化マップを表現し、意思疎通の成功と失敗の分類可能性を考察する。

## 3. 研究の方法

(1) プログラミング共同作業中の話者交替の頻度と脳活動計測による精神作業負荷の変化量から対話状況の種類について3チームを比較する実験と考察を行う。

次に、共同作業中の意思決定(発見事実の共有、行動方針の決定、結果の評価)に関わる話者交替から意思疎通の成功と失敗の教師なし学習による分類を行う。形式概念分析は異常に対する潜在要因の因果関係の可視

化を得意とする代わりに、データ規模の増大に伴い結果の見通しが悪くなるのが課題であった。その解決として、話者交替の近傍時間(それぞれ1分間、5分間、10分間)に潜在要因に分析範囲を絞った自己組織化マップを表現する。ペアプログラミング演習を事例として、時間的に変化する潜在要因の可視化を試みる。意思疎通の成功と失敗のクラスが分類可能である場合、意思疎通の状況認識アルゴリズムを提案し、実用性を評価する。

(2) 脳波と脳血流の同時計測結果が高精度で分類可能であることを確認するため、より単純な脳活動の検証事例として暗算課題に関する実験を行い、比較考察を重ねる。特に、意思疎通の失敗の種類と要因に注目し、話者交替の頻度、脳血流量、脳波、頭部動作の加速度のマルチモーダル対話データから意思疎通の失敗に関わる潜在要因を可視化し、その潜在要因1つ1つについて分散分析を行う。

## 4. 研究成果

(1) ペアプログラミングを事例とする2者間の話者交替の頻度と脳波変動差の比較を行った。最初に、プログラミング共同作業中の話者交替の頻度と脳活動計測による精神作業負荷の変化量から区別可能な対話状況の種類(おもに意思疎通の活性化と停滞)について比較と考察を行った。本研究のアプローチはEEGデータから精神作業負荷と2者間の変動差(脳波変動差)を求めることを特色としている。精神作業負荷と脳波変動差は、共同作業中のイベント(コンパイルのコマンド)と関連付けられた時系列データとして分析される。

実験においては、ペアプログラミング中の話者交替の頻度と脳波変動差を遠隔のPC端末上に表示し、意思疎通の活性化から停滞へ変化する時点で脳波変動差が極端に大きいことを示した。この研究成果により、共同作業中の意思疎通の失敗が及ぼす脳活動の影響は可視化可能であることが明らかとなった。

ただし、残された課題として、ペアプログラミングは比較的複雑な脳活動であることに對し、実験結果は30秒単位の区間に対する分析であった。より鮮明な時間解像度で共同作業中の時系列イベントがそれぞれ脳波変動差に結びついていることを証明する必要がある。

(2) 脳波と脳血流の同時計測による脳活動の種類に関する実験と分析を行った。すなわち、以下のように、最初に脳波と脳血流の特徴量の変化を記録し、次にその特徴量の変化についてクラス分類を行った。

脳波と脳血流の同時計測の有用性を検討するために実験を行った。本実験では、2

分間の安静状態と2分間の計算状態を3セット繰り返す形で暗算課題を実施し、その時の脳波と脳血流を同時計測した。被験者は、10名の20代男性である。実験中の被験者は、暗算の問題用紙の閲覧と解答のみの行動が許されている。

一元配置の分散分析を行った結果、参加者10名の安静中と計算中における脳波と脳血流の両方の変化量に有意な主効果 ( $p < 0.1$ ) があることを確認した。さらに、多重比較の結果、脳波と脳血流の変化量を選択的に用いた場合、計算と安静において有意差が見られた。

本実験の結果から、暗算課題における特徴量のサンプリングに最適なセグメント長は、脳波に対しては30秒以下、脳血流に対しては1分以上であり、脳血流は脳波よりも比較的長時間の脳活動(ストレスなどの持続的な情動変化)を識別することに向く一方で、脳血流は秒単位で変化する脳活動の識別に向かないことが明らかとなった。安静状態から計算状態に遷移する時のHbO濃度の変化に要する時間は、脳波の変化に要する時間よりも長いことがおもな要因として考えられる。

分散分析による有意差判定の後、自己組織化マップの学習アルゴリズムを用いてクラスタリングを行った。具体的には、ERS/ERD(事象関連同期/非同期)に關与する周波数のパワースペクトル密度を特徴量の1つとし、一方で、左前頭前野と右前頭前野の酸素化ヘモグロビン(HbO)の比較によって得られる右偏化指数を脳血流に関する特徴量とした。その結果から、計算と安静の状態だけでなく、聞き取り中(Listening)と解答の書き込み中(Writing)を含めて状態が区別可能であることを確認した。

また、自己組織化マップによるクラスタ分析で求められる量子化誤差は、分散分析の結果との関連性を示唆していた。即ち、クラスタ分析と分散分析の組み合わせによって、サンプリング時の最適なセグメント長や窓時間を決定することに役立つことが期待される。ただし、クラスタ分析で得られたQEと分散分析の結果の関連性を考察するために、暗算課題だけでなく別の種類の共同作業に関する課題についても検証を行う必要があると考えられる。今後、さらに分析結果の関連性を考察し、いくつかの適用事例において、脳活動の識別に適する効率的な分析方法を開発していきたい。

#### 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 1 件)

Katsunori Oyama, Kaoru Sakatani, Temporal Comparison between NIRS and EEG Signals

during a Mental Arithmetic Task Evaluated with Self-Organizing Maps, Oxygen Transport to Tissue XXXVIII、**査読有**、923 巻、2016 (掲載決定)  
DOI: 10.1007/978-3-319-38810-6

〔学会発表〕(計 4 件)

Katsunori Oyama, Kaoru Sakatani, Hua Ming, Carl K. Chang, Hierarchical Self-organizing Maps of NIRS and EEG Signals for Recognition of Brain States, International Conference on Smart Homes and Health Telematics (ICOST2016), 2016.5.27(採択済み), Wuhan, China.

大山勝徳, 西園敏弘, 暗算課題における脳波と脳血流の特徴量の比較, 第58回日本大学工学部学術研究報告会, 2015.12.5, 日本大学工学部70号館, 福島県郡山市.

Katsunori Oyama, Kaoru Sakatani, Temporal Comparison between NIRS and EEG Signals during Mental Arithmetic Task Evaluated by Self-Organizing Map, 43rd Annual Meeting of the International Society on Oxygen Transport to Tissue (ISOTT2015), 2015.7.11, Wuhan, China.

Katsunori Oyama, Hiroyuki Watanabe, Atsushi Takeuchi. Visualization of turn-taking and mental workload in collaborative working environment. IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD2014), 2014.5.21, Hsinchu, Taiwan.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究代表者

大山 勝徳 (OYAMA, Katsunori)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：50615606

(2)研究分担者

(3)連携研究者

(4)研究協力者

Carl K. Chang

Iowa State University・Department of

Computer Science・教授

渡邊 博之 (WATANABE, Hiroyuki)

日本大学・工学部，教授

研究者番号：40147658