

# 共同作業者の発話パターンと脳波変動の 共起頻度に基づくフォローの量の評価

大山勝徳<sup>†1</sup> 金子正人<sup>†1</sup> 武内惇<sup>†1</sup>

共同作業者の意思疎通の解析には、発話パターンを詳細に抽出してもなお、話者間の会話とその結果との因果関係の発見に難しさがある。それらの意思疎通の重要な状況は、全てが共同作業や議論の最中に協調学習者や監督者によって気付かれるとは限らない。本研究は、議論中の話者交替と精神作業負荷の対話解析から意思疎通の状況の評価可能性を検討する。特に本稿では、共同作業中に交わされる意見に対する理解の伴った返答、または、解決方法の共有のために助言を行う等の協調行為を「フォロー」と呼び、意思疎通の定量的評価の手段として解析する。グループ協調学習の実験事例では、フォローの量と作業進捗の因果関係を考察し、実験結果から、問題読解の時点に比べ、問題解答の時点で共同作業者のフォローの量が増加する傾向を確認した。

## Evaluation of Follows between Collaborative Workers Using Co-occurrence Rate of Utterance Pattern and EEG Changes

KATSUNORI OYAMA<sup>†1</sup> MASATO KANEKO<sup>†1</sup>  
ATSUSHI TAKEUCHI<sup>†1</sup>

Techniques of communication support for cooperative work has a big challenge to measure temporal rate of communication between collaborative workers in which message contexts and utterance patterns can be interpreted in many meanings. This study's approach focuses on situation recognition based on time series analysis using collection of EEG (Electroencephalogram) changes with utterance patterns. We argue in this paper how to visualize temporal distribution of follows between collaborative workers, and propose a formal model to visualize distribution of *follows* (i.e., responses to one of collaborative workers while affective states in the collaborative workers change discomfort to comfort). Causality between temporal distribution of follows and work progress are examined in a case study of cooperative learning. Our evaluation results suggest that follows between collaborative workers tend to disappear at the point a problem is difficult for them whereas more follows show up at the point the problem is answered.

### 1. はじめに

失敗プロジェクトの圧倒的多数の問題は、技術的な問題よりも、社会的な問題（意思疎通の問題、構成要員の問題、意欲の欠如など）に分類される[1]。特に、意思疎通の問題は、失敗要因の1つとして普遍的に現れる。身近な事例として、共同作業中の意思疎通の量の低下による作業ミスの発見が挙げられる。作業ミスの発見は、さらに、共同作業者の緊張感の発生やストレス蓄積の要因となり、意思疎通の量の低下に影響することがある。小さな作業ミスや不具合の発生が大きな失敗へつながるときに、意思疎通の問題の多くは表面化する。

共同作業のコミュニケーション支援の分野では、話者間の相互関係について可視化する研究がある。例えば、発言量、視線、ジェスチャー等のマルチモーダル会話データから会話構造の抽出を行う研究[2]や、発話パターン（発話の韻律変化やタイミング）から会話の活発さや話者間の親密さを推測する研究がある[3]。最近の携帯端末の進化に伴い、より小型化したヘッドセットやマイクロフォンが普及し、

それらの機器は発話の韻律変化やタイミングの解析アプローチを可能にしている。しかし依然として、意思疎通の量に関する報告は少ない。会話構造や発話パターンが正しく解析できたとしても、意思疎通の量の推定には、話者間の会話とその結果との因果関係の発見に難しさがある。

共同作業中の会話の場合、意思疎通によって共同作業の円滑化が成功する会話と失敗する会話の両者の間では、共同作業によるストレス蓄積の速度に差がある。一方で、意思疎通が成功する会話には、共同作業間で似た精神作業負荷の変化が頻繁に見られることが多い。そこで本研究は、共同作業者の発話パターンだけでなく、EEG (Electroencephalogram) 計測による精神作業負荷 [4][5]に注目する。

本研究は、議論中の話者交替と精神作業負荷の対話解析から意思疎通の状況の評価可能性を検討する。特に本稿では、共同作業中に交わされる意見に対する理解の伴った返答、または、解決方法の共有のために助言を行う等の協調行為を「フォロー」と呼び、意思疎通の定量的評価の手段として解析する。さらに、SPI テストの協調学習の事例からフォローの頻度を評価し、作業進捗の状況との因果関係を見出すことにより、共同作業支援の可能性と今後の課題を考察する。

<sup>†1</sup> 日本大学工学部 情報工学科  
Department of Computer Science, Nihon University

以下、本稿の構成について説明する。最初に、2 節でフォローの概念とそのモデルを紹介する。3 節では、グループ協調学習の事例を用いて、共同作業者の発話パターンと脳波変動の測定手段について述べ、次に、フォローの量を評価する。4 節では、実験結果に基づいて話者交替の頻度やフォローの量の変化と作業進捗の相関性を考察し、今後の実験課題を議論する。最後に、5 節において本稿のまとめを述べる。

## 2. フォローアウェアネス

本研究のアプローチは、時系列上で変化する共同作業者の意思疎通の量を状況認識[6][7]の視点でモデル化する方法をとる。以下、意思疎通の量の尺度として、共同作業のコミュニケーション支援を目的とするフォローのモデルについて述べる。

### 2.1 状況認識

「状況」は、1980 年頃から J. Barwise や K. Devlin により状況理論[8]として科学的に研究されている。1990 年代からは、遠隔地の軍事行動や病院の介護対象者に対する支援等を応用分野として、状況認識（シチュエーションアウェアネス）[6]と呼ばれるようになった。状況の定義は、研究の目的によって少しずつ異なるが、論理的手法と統計的手法のアプローチに分かれて議論されてきた [9]。

情報科学において、状況は、主にコンピュータ利用者の身の回りにある機器から取得できる時系列データの解釈である[10]。コンピュータ利用者の状況は、ある時点における行動コンテキストと環境コンテキストの組み合わせで識別される。行動コンテキストがユーザインタフェースを操作する行動の時系列であるのに対し、環境コンテキストは、

行動コンテキストに伴うコンピュータ利用者の位置や身体状態の変化の時系列に相当する。それらのコンテキストを組み合わせるとコンピュータ利用者の意図の変化を推測する研究もある[11]。しかし、現在においてもなお、個人の状況のみを観測するアプローチが多く、センサデータから共同作業者の状況変化を可視化する事例はまだ少ない。特に、ある行動や発言をきっかけに、共同作業者の環境コンテキストに影響が及ぶときの状況認識は、コミュニケーション支援に応用する上で重要な課題となる。

共同作業者のフォローは、解決すべき課題の共通認識の成立後に見られる協調行為であり、例えば、共同作業中に交わされる意見に対する理解の伴った返答、または、解決方法の共有のための助言として観察される。対照的に、解決すべき課題やその議論内容の認識が一致しない場合、平静ではなく気まずい沈黙、同意のない一方的な発言の繰り返しを観察される。これらの行為は、フォローではなく、意思疎通を失う時点で現れる。したがって、上記のようなフォローは、共同作業者の意思疎通の成功と失敗の判断材料となりうる。本研究は、共同作業者の意思疎通の変化に焦点を絞り、話者交替の頻度と EEG の脳波測定による精神作業負荷の量の変化（脳波変動量）を比較する。

### 2.2 フォローのモデル

図 1 は、共同作業者の発話パターンに加えて、 $\alpha$ 波（脳が発生する電気的信号の中から 8Hz から 13Hz の成分）と  $\beta$ 波（13Hz から 35Hz の成分）の比の区間差分（ $\alpha/\beta$ 差分）をプロットした結果の例を表す。この例は、1 区間の長さを 1 秒としたとき、 $n$ 区間の共同作業者の発言に対するターンテイキング（話者交替）の数と脳波変動量の関係を図示している。作業 2 の応答時、作業 1 と作業 2 それぞれの脳波変動量（ $t_0$ から $t_n$ の区間における $\alpha/\beta$ の増減量）は、 $t_0$ 以前の脳波変動量より大きい。この場合、 $t_0$ から $t_n$ の間、作業 1 と作業 2 の間にフォローがある。すなわち、共同作業者のフォローの量は、共同作業者の発言に対する $t_0$ から $t_n$ の応答の数と、脳波変動量の推移から評価される。

フォローには、共同作業者の発言に対し相づちを打って同意を示す場合もあれば、反対意見を述べて作業内容に修正を与える場合もある。フォローのある状況では、作業時の問題が解決し、快の情動を伴った意思疎通が見られることは多い。その一方で、フォローにより、共同作業者に意見の対立が発生し、緊張感が見られる可能性がある。特に、ペアプログラミング学習の実験事例[12]では、何らかの問題によりプログラミング作業の途中で失敗がある場合（特に、デバッグ中の失敗の場合）、一方的に発言を繰り返す回数は増加する傾向にあることが報告されている。

以上の考察から、共同作業者の応答の数や精神作業負荷の変化により、共同作業者のフォローは以下 2 種類に分かれる。

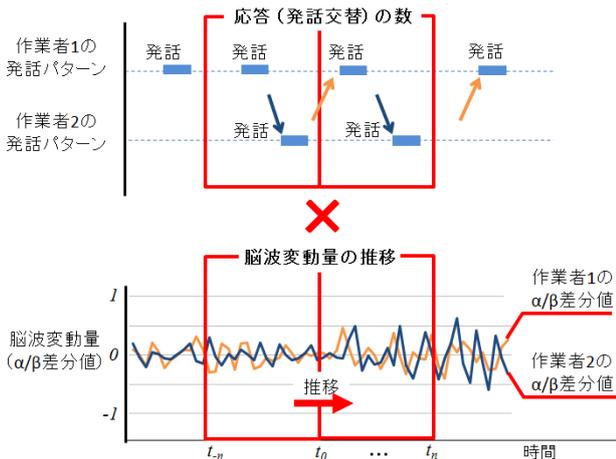


図 1 共同作業の発話パターンと脳波変動量の時系列

Figure 1 Temporal sequence of utterance patterns and EEG changes in cooperative work.

**正のフォロー (Positive Follow)** : 会話中に両者の脳波変動量の差が減少するときの応答を表す。正のフォローは、共同作業の作業進捗に寄与すると考えられる。この場合、単位時間あたりの話者交替の数が多く、快の情動を伴うときに高い頻度で見られる。

**負のフォロー (Negative Follow)** : 正のフォローと反対に、両者の脳波変動量の差が上昇するときの応答を表す。フォローの結果、共同作業者に緊張感やストレスを与える例として、意見の対立が発生した場合が考えられる。特に、作業中のエラーを修正する時点の会話、または、作業進捗が予定よりも遅れる場合の会話で見られる可能性がある。

精神作業負荷は、 $\alpha$  波と  $\beta$  波の周波数帯域の脳波に強く影響する。このことは、いくつかの実験 (ソフトウェアのユーザビリティ比較[13], 学習者の音読による脳波律動の評価[14], 車運転時の心的疲労の評価[15]) で報告されている。 $\alpha$  波、 $\beta$  波、 $\theta$  波の組み合わせで精神作業負荷の状態は表される。特に、心的負荷によって  $\alpha/\beta$  は下降し、反対に、作業を終えて体のリラックスと共に快を感じる時、 $\alpha/\beta$  は上昇することが 6 割以上の分類精度で見られることが共通して報告されている。本研究は、 $t$  から  $t_n$  における  $\alpha/\beta$  差分の総和を脳波変動量とし、過去の脳波変動量からの推移により精神作業負荷を区別する。時間  $t$  から  $n$  区間の作業  $i$  の脳波変動量  $v_i(t)$  は、以下の差分の形をとる。

$$v_i(t) = \left\{ \sum_t^{t+n} I_t - I_{t-1} \mid n \geq 1, I_t = \alpha_t/\beta_t \right\}$$

ここで、 $I_t$  は、時間  $t$  における心的負荷を表す脳波の指標  $\alpha_t/\beta_t$  [13][15] を表す。以上の式において、 $v_i(t)$  の値の上昇は、 $\beta$  波の出現頻度より  $\alpha$  波の出現頻度が大きく変化する場合を表す。一方、 $v_i(t)$  の値の下降は、 $\beta$  波の変化と比べて  $\alpha$  波の変化が小さい場合、または、 $\alpha$  波と  $\beta$  波の比が一定に保たれる場合を表す。

本稿で考察するフォローのモデルは、共同作業を行う個人とチーム全体を評価の対象とする。以下のように、個人のフォローの量と共同作業チームのフォローを定義する。

(1) 個人のフォローの量

$f_{ij}(t)$  は、話者  $i$  に対する話者  $j$  のフォローの量を表す。以下のように、話者交替の頻度 ( $u_{ij}(t)/u_j(t)$ ) に対する脳波変動量の差の比から求める。

$u_i(t) > 0$  のとき

$$f_{ij}(t) = \frac{u_{ij}(t)}{u_i(t) \cdot |v_i(t) - v_j(t)|}$$

$u_i(t) = 0$  のとき

$$f_{ij}(t) = 0$$

この中で、 $u_{ij}(t)$  は話者  $i$  の発言の中で話者  $j$  が応答した数を表すので、常に  $0 \leq u_{ij}(t) \leq u_i(t)$  となる。ただし、 $u_{ij}(t) = 0$  または  $u_j(t) = 0$  のとき、脳波変動量の推移に関わらず、 $f_{ij}(t) = 0$  となる。すなわち、無応答をフォローとして数えない。

一方、脳波変動量の差 ( $v_i(t) - v_j(t)$ ) は、共同作業区間の  $t$  から  $n$  区間の脳波変動量の差で求められる。以降、特に断りがない限り、 $n = 30$  として時間  $t$  を中心に前後 30 秒間の脳波変動の推移を求める。

(2) チームのフォローの量

$f_{ij}(t)$  は、図 1 のように 2 人の共同作業者がいる場合、 $f_{21}(t)$  (話者 2 に対する話者 1 のフォロー) と  $f_{12}(t)$  (話者 1 に対する話者 2 のフォロー) の 2 方向が数えられる。そのため、 $f_{21}(t)$  と  $f_{12}(t)$  の平均は以下の形をとる。

$$F(t) = \frac{1}{2}(f_{21}(t) + f_{12}(t))$$

特に共同作業区間の応答の数が 1:1 に近づくほど、または、脳波変動量の差が減少するほど、 $F(t)$  の値は高くなる。

$m$  人の共同作業者の場合、 $F(n)$  は作業  $i$  と  $j$  の双方向のフォローを併せた相加平均で求める。

$$F(t) = \left\{ \frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m f_{ij}(t) \mid i \neq j, m \geq 2 \right\}$$

2 人の共同作業が最も単純な実験事例であることから、以降、 $m = 2$  のときの  $f_{ij}(t)$  と  $F(t)$  の変化を考察する。

2.3 チーム全体のフォローの分類

$F(t)$  は、チームの意思疎通に関する指標の 1 つと見たとき、以下の 2 つに分類できる。

(1)  $F(t) = 0$  の場合

チーム全体の発話の数が少ない場合、 $F(t)$  は低い値をとり、特に、 $n$  区間に発話が全く見られない場合、 $F(t) = 0$  となる。この場合の共同作業は、コミュニケーションのない状況を表す。共同作業区間の意見の対立に起因する精神作業負荷の変化の可能性と、単純な作業ミスや異常の発見等の作業進捗の状況変化に起因する精神作業負荷の変化の両方の場合が考えられる。特に、共同作業者の全員が作業に集中して取り組んでいるとき、または、共同作業者の思考に伴う沈黙が続くとき、 $F(t) = 0$  になることが考えられる。

(2)  $F(t) > 0$  の場合

共同作業中、話者交替が活発かつ脳波変動量の差が少ないとき  $F(t) > 0$  となる。共同作業区間の発言と応答をきっかけとして精神作業負荷の変化に緩やかな曲線が見られる場合、共同作業区間で安心感を持って会話を行う状況である可能性がある。もう一方で、会話中、作業上で見つかる

問題の解決による解放感に起因する精神作業負荷の変化である可能性もある。

### 3. 評価実験

本実験では、前節で議論した  $F(t) = 0$  や  $F(t) > 0$  の状況変化について評価する。具体的には、作業進捗に関するイベント（作業上の問題や異常の発見等）と  $f_{ij}(t)$  や  $F(t)$  の変化との相関を確認する。そのため、SPI テストの協調学習の事例を用いて、ボランティアとなった大学生（2名）の実験ログデータ（約15分）を詳細に分析した。

図2の実験環境で、コーチ（左）は協調学習の進め方についてガイダンスを行う。被験者（右）は、コーチによるガイダンスを聞いた後、練習問題（全4問）の解答を進める。指定のヘッドセットを装着し、コンピュータ端末を用いて問題解答を進める点を除き、被験者は自由に作業を進めることができる。一方、コーチは、ヘッドセット装着の注意点と問題の解答方法を確認した後、共同作業に参加せずに測定状況を見守る。

#### 3.1 測定機器の構成

発話パターンと脳波変動量の同時計測は、測定機器の方式、重量、形状の考慮を要する。今回は以下の測定機器を構成し、実験を進めた。

##### (1) コンピュータ端末

作業進捗（協調学習においては問題の読取りと解答の作業）は、コンピュータ端末上の操作履歴により簡易記録される。この操作履歴は、以下に挙げる発話パターンと脳波変動量のログデータと併せて、コンピュータ端末上に CSV 形式ファイルとして蓄積する。

##### (2) 発話パターンの測定手段

実験環境は対面作業となるため、マイク入力に本人以外の音声が入る問題がある。周囲の雑音は、対面と非対面に関わらず、常に発話認識の障害となる。



図 2 実験環境

Figure 2 Experimental environment.

本実験は、音声録音のときに周囲の雑音を防ぐために、骨伝導方式ヘッドセットを採用した。骨伝導方式ヘッドセットによる音声録音結果は、Bluetooth 通信でコンピュータ端末に記録される。音声波形解析をコンピュータ端末側で行い、各発言を息継ぎのタイミング（1秒間以上の無音区間）で区切ることによって発話をカウントした。

##### (3) 脳波変動量の測定手段

脳波計測器には、機器の重量や装着方法によっては、装着時に身体へ負担を与えるリスクがある。そのため、実験時に装着の容易な脳波計測器の利用が望ましい。

ヘッドバンド式の EEG センサは、基準電極を外耳に付け、もう一方の電極を額の前頭部（Fp1, Fp2）へ当てて脳波を計測する装置である。近年では頭皮に導電体の付着を要しない小型ヘッドセット型の脳波計測装置（Emotiv または Mindset）を用いた実験報告も増えている。本実験では、Mindset から出力されるノイズフィルタ適用後の波形をコンピュータ端末へ記録した。

#### 3.2 フォローの解析

フォローの量の求め方は、任意の  $n$  区間のログデータを選択した後、以下のように発話パターン解析、脳波変動解析、フォローの量の計算（フォロー計算）からなる。

##### (1) 発話パターン解析

図3(a)は、協調学習を進める2人の被験者間の発話パターンを表す。最初に、Wav形式データから各発言を区切った後、共同作業間の発話と応答の数を抽出する手順をとった。このときの発話と応答の数の抽出では、 $n$ 区間の時間における話者  $i$  の発話の数  $u_i(t)$  を集計する。同時に、話者  $j$  の応答の数  $u_{ij}(t)$  を集計した。2人の共同作業について、以上の集計作業を繰り返す。最後に、発話開始の時間を時系列上にプロットした。

##### (2) 脳波変動解析

図3(b)は、 $v_i(t)$  の値を時系列上にプロットしたデータであり、時間単位あたりの脳波変動量の大きさを表す。元データとなる  $\alpha/\beta$  の振幅には個人差があるため、そのままでは作業間の脳波を容易に比較できない。本実験では、 $\alpha/\beta$  の上限値を1、下限値を0に標準化して計測を行い、その後、 $n$ 区間について脳波変動量  $v_i(t)$  を求めた。2人の共同作業について、以上の計算を繰り返した。

##### (3) フォロー計算

$f_{ij}(t)$  と  $F(t)$  は、(1)と(2)の手順で得られたパラメータを用いて計算される。2人の共同作業について、 $f_{ij}(t)$  を求めた後に、 $F(t)$  を算出した。

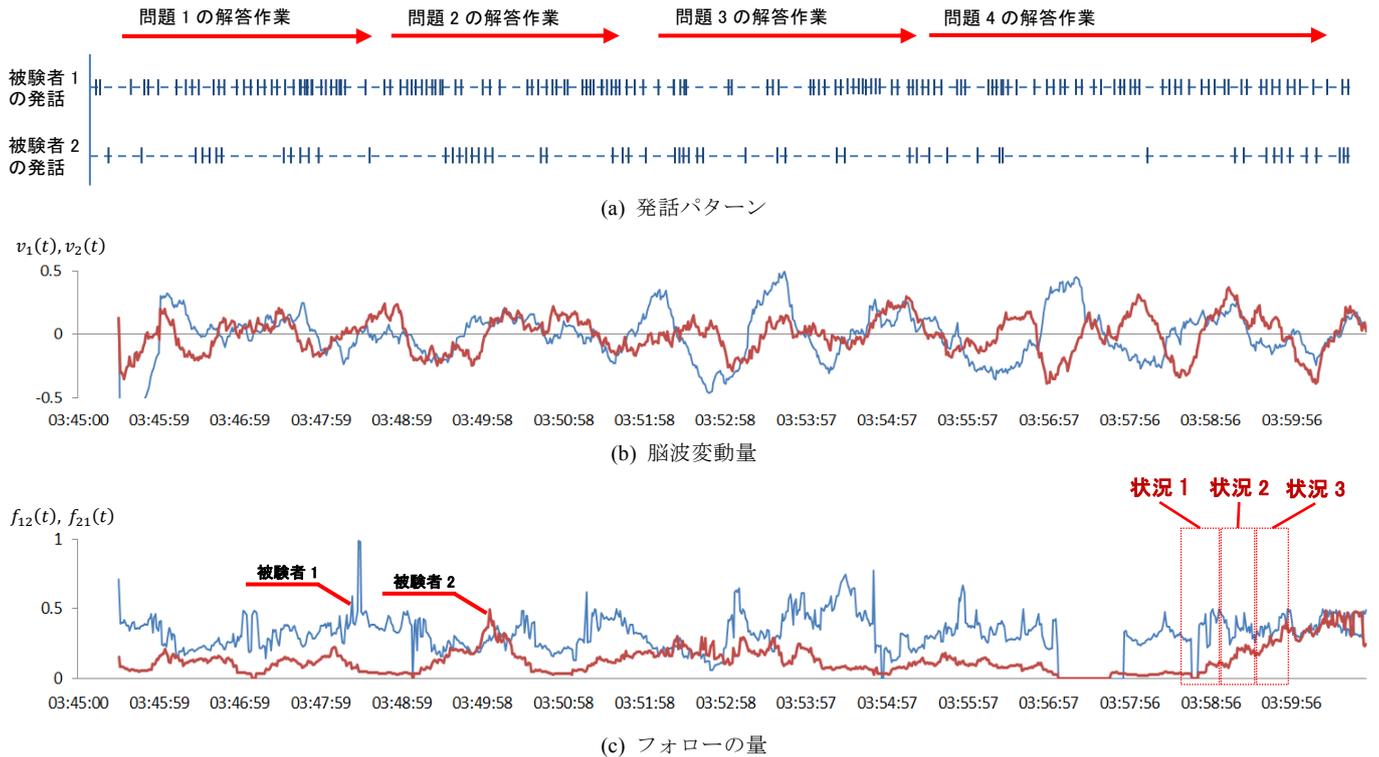


図 3 協調学習中の時系列データ

Figure 3 Overview of time-series data in the collaborative learning.

### 3.3 実験結果の比較

図 3 は、コンピュータ端末上に表示された全 4 問の問題について、被験者 2 名による全作業の時系列データを表す。1 つの問題を着座したままコンピュータ端末上で読解し、解答するまでの時間（午後 3 時 45 分から午後 4 時）の発話パターンと脳波変動の変化のプロットを表す。

図 3(a)の中で、被験者 1 の発話パターンは、協調学習の進行役であったため、全作業を通して被験者 2 に比べて発話の数が多し。一方の被験者 2 の発話パターンには、問題 4 の読解後（3:56:00 から 3:59:00 の間）に思考中のため沈黙した箇所がある。問題 4 では、午後 3 時 59 分の時点で解答が判明し、その 1 分後にその解答が選択されている。図 3(b)、または、図 3(c)の脳波変動に注目すると、問題 2 と問題 4 で解答をする時の波形に重なりが多い一方で、問題 3 と問題 4 で読解をする時の波形に大きな食い違いが見られた。

実験の結果、全 4 問を通して問題解答の時点で共同作業間でのフォローの量が増加する傾向が見られた。表 1 は、それぞれ各問題を読解する 30 秒間と解答を行う直前の 30 秒間の  $f_{ij}(t)$  と  $F(t)$  の平均を表す。  $f_{21}(t)$  は、全体に発話数が多いため相対的に高い傾向にある。  $F(t)$  の平均値は、最初の問題 1 を除き、問題読解の時点で 0.24 であるのに比べて、その直後の問題解答の時点で 0.31 に上昇した。

また、問題 4 の読解後（3:56:00 から 3:59:00 の間）には、沈黙が続き、被験者 2 の応答が見られない箇所がある。図 3 の状況 1（停滞の時点）において、被験者 2 の脳波変動量は、3:59:00 の時点までの間に減少した。その後、状況 2（会話開始の時点）で被験者 2 の応答が見られるようになり、4:00:00 までには被験者 2 人も問題の解答が得られている。3:59:30 前後の状況 2 と状況 3 において、問題 4 に取り掛か

表 1  $f_{ij}(t)$  と  $F(t)$  の変化

Table 1 Temporal changes in  $f_{ij}(t)$  and  $F(t)$ .

問題番号	時刻 $t$	$f_{12}(t)$	$f_{21}(t)$	$F(t)$
問題 1	3:45:30	0.10	0.51	0.31
	3:48:00	0.14	0.45	0.30
問題 2	3:49:10	0.13	0.28	0.20
	3:52:00	0.24	0.25	0.24
問題 3	3:52:30	0.23	0.19	0.21
	3:55:00	0.21	0.48	0.35
問題 4	3:56:00	0.06	0.39	0.23
	3:59:30	0.31	0.42	0.36

る被験者の発話パターンや脳波変動量の差は減少する結果となった。

以下、図4の状況1(停滞の時点)、状況2(会話開始の時点)、状況3(問題解答の時点)について話者交替の頻度とフォローの量をそれぞれ比べる。 $m = 2$ (2人の共同作業)、 $n = 30$ (30秒間のサンプルデータ)の条件で詳細に観察した。

#### 状況1 停滞の時点 (3:58:30)

(1) 被験者1

$$u_{21}(t)/u_2(t) = 1.00$$
$$f_{12}(t) = 0.37$$

(2) 被験者2

$$u_{12}(t)/u_1(t) = 0.13$$
$$f_{21}(t) = 0.05$$

(3) 両者の平均値

話者交替の頻度 : 0.56  
フォローの量 : 0.21

#### 状況2 会話開始の時点 (3:59:00)

(1) 被験者1の話者交替の頻度とフォローの量

$$u_{21}(t)/u_2(t) = 1.00$$
$$f_{12}(t) = 0.46$$

(2) 被験者2の話者交替の頻度とフォローの量

$$u_{12}(t)/u_1(t) = 0.25$$
$$f_{21}(t) = 0.11$$

(3) 両者の平均値

話者交替の頻度 : 0.63  
フォローの量 : 0.29

#### 状況3 問題解答の時点 (3:59:30)

(1) 被験者1の話者交替の頻度とフォローの量

$$u_{21}(t)/u_2(t) = 1.00$$
$$f_{12}(t) = 0.41$$

(2) 被験者2の話者交替の頻度とフォローの量

$$u_{12}(t)/u_1(t) = 0.80$$
$$f_{21}(t) = 0.33$$

(3) 両者の平均値

話者交替の頻度 : 0.9  
フォローの量 : 0.37

以上の計算から、3:58:30から3:59:30の間で話者交替の頻度とフォローの量の上昇が共に見られた。ただし、状況1から状況3の間における話者交替の頻度の平均は1.6倍

の変化率であるのに対し、フォローの量の平均は1.76倍の変化率であった。より信頼性の高い実験結果を得るため、さらにサンプルデータを要する。以上の実験結果では、話者交替の頻度よりもフォローの量による指標の方が、停滞の時点と問題解答の時点の間で意思疎通の状況の分類精度において比較的高い可能性を示唆している。

## 4. 考察

本実験では、SPIテストの協調学習の事例を用いてフォローの量を評価した結果、問題読解の時点に比べ、問題解答の時点で話者交替の頻度とフォローの量の増加傾向が見られた。協調学習においては、問題の解法が得られる時点で共同作業間の意思疎通が活発である傾向があると考えられる。

一方で、本実験は話者交替の頻度とフォローの量の精度差が判明するまでの比較検証を行っていない。今後、沈黙を続ける共同作業と話者交替の多い共同作業のフォローの量の比較を繰り返し、意思疎通の量と作業イベントの相関性を詳しく評価する必要がある。同様に、共同作業中の明らかな意見の対立とフォローの量の相関性の検証もまた重要な課題と考えられる。

また、本実験内のタスクは、問題の解答時間が多くても4分以内であるため、30秒の区間で比較をすることに十分な長さとなった。より長い区間(1時間以上)についても、フォローの統計量の計算は可能であると考えられる。適用分野の拡張のため、今後はプログラミング演習の事例やコールセンターの事例等を比較的長い区間を対象とするフォローの評価も課題として考えられる。適用分野の中には共同作業者の人数が3名以上となる場合もあり、実用的な計測対象の上限数についても今後考察する必要は生じる。

本稿では、共同作業間の話者交替と精神作業負荷の変化に基づいてフォローの量を評価した。一方で、フォローの概念は、これまでTwitterの用語として広く認知されてきた。この概念は、インターネット上の指定した特定のユーザから全てのメッセージを受け取るという単方向のリンクである[16]。インターネット上のリンクとして実装されるので、ブラウザ上のボタンを押すだけでこの関係は確立し、自動的かつ実時間に発信したメッセージをユーザに送り続ける。この意味で静的なフォローとも呼べる。本研究のフォローの量のモデルは、インターネット上のコミュニケーションに限らず、対面と非対面の対話における動的なフォローの定義の1つとして捉えることができる。

## 5. 結論

本稿では、共同作業間の発話パターンと脳波変動量に注目し、共同作業間のフォローの量を評価する方法について述べた。SPIテストの協調学習の事例からフォローの頻度分布を評価し、問題の読み取りから解答を決定するま

での状況変化を解析した。実験の結果、問題読解の時点で比べ、問題解答の時点で、共同作業間の話者交替とフォローが多く見られる傾向を確認した。

今後の課題として、より複雑化した実験環境におけるフォローの量の検証が考えられる。実験結果のフィードバックに基づいてフォローの可視化を行い、共同作業支援ツールとして発展した適用事例を提示したい。

## 参考文献

- 1) Tom Demarco and Timothy Lister. *Peopleware. Productive Projects and Teams (Second Edition)*, Dorset House Publishing Company, Incorporated, 1999.
- 2) 角 康之: マルチモーダルデータに基づいた多人数インタラクシオンの構造理解, 情報処理学会研究報告. ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告 2011-HCI-145(7), p.1, 2011.
- 3) 西村良太, 北岡教英, 中川聖一: 音声対話における韻律変化をもたらす要因分析, 日本音声学会 音声研究, Vol.13, No.3, pp.66-84, 2009.
- 4) 大谷将, 大山勝徳, 金子正人, 武内惇, 菌田孝造: 脳波と発話パターンを用いたチームシチュエーションアウェアネスの提案. 情報処理学会研究報告. ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告 2012-HCI-147(7), pp.1-8, 2012.
- 5) 川崎真弘, 北城圭一, 山口陽子: 協調タッピング課題時の「間(ま)」に関する2名の脳リズム解析, 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, Vol.111, No.60, pp.171-175, 2011.
- 6) Endsley, M. R.: Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37(1), pp.32-64, 1995.
- 7) Endsley, M. R.: *Theoretical Underpinnings of Situation Awareness - A Critical Review*, Lawrence Erlbaum Associates, pp.1-24, 2000.
- 8) Barwise, J. and Perry, J: *The Situation Underground*, Stanford Working Papers in Semantics, Vol.1, pp.1-55, 1980.
- 9) Ye, J. et al.: Situation identification techniques in pervasive computing - A review, *Pervasive and Mobile Computing*, Vol.8, No.1, pp.36-66, 2012.
- 10) Chang, C. K.. et al.: *Situ - A Situation-Theoretic Approach to Context-Aware Service Evolution*, *IEEE Transactions on Services Computing*, Vol.2, No.3, pp.261-275, 2009.
- 11) Oyama, K. et al. *A Concept Lattice in Real User Monitoring for Recognition of User Problems*, *Proceedings of 18th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC '11)*, pp.163-170, 2011.
- 12) 平井佑樹, 井上智雄: ペアプログラミング学習における状態の推定 — つまずきの解決の成功と失敗に見られる会話の違い, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.1, pp.72-80, 2012.
- 13) 上野秀剛, 石田響子, 松田侑子, 福嶋祥太, 中道上, 大平雅雄, 松本健一, 岡田保紀: 脳波を利用したソフトウェアユーザビリティの評価 - 異なるバージョン間における周波数成分の比較, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.10, No.2, pp.233-242, 2008.
- 14) 平田恵啓: 心的負荷が脳波律動に及ぼす影響, *北海学園大学大学院工学研究科紀要工学研究*, No. 10, pp.33-37, 2010.
- 15) Punsawad, Y. et al.: *Weighted-Frequency Index for EEG-Based Mental Fatigue Alarm System*, *International Journal of Applied Biomedical Engineering*, Vol.4, No.1, pp.36-41, 2011.

16) Kwak, H. et al.: What is Twitter, a social network or a news media?, In *Proceedings of the 19th international conference on World Wide Web (WWW '10)*, pp.591-600, 2010.

正誤表

訂正箇所	訂正前	訂正後
著者名 (和)	大山勝徳 <sup>†1</sup> 金子正人 <sup>†1</sup> 武内惇 <sup>†1</sup>	大山勝徳 <sup>†1</sup> 渡邊博之 <sup>†2</sup> 金子正人 <sup>†1</sup> 武内惇 <sup>†1</sup>
著者名 (英)	KATSUNORI OYAMA <sup>†1</sup> MASATO KANEKO <sup>†1</sup> ATSUSHI TAKEUCHI <sup>†1</sup>	KATSUNORI OYAMA <sup>†1</sup> HIROYUKI WATANABE <sup>†2</sup> MASATO KANEKO <sup>†1</sup> ATSUSHI TAKEUCHI <sup>†1</sup>