

# 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

大谷将<sup>†</sup>, 大山勝徳<sup>††</sup>, 金子正人<sup>††</sup>, 武内惇<sup>††</sup>, 藪田孝造<sup>†††</sup>

グループ討議におけるチームメンバーの行動を基にチーム内の協調度を可視化するためのフォローアウェアネスの提案を目的とする。チームメンバーの脳波と発話パターンからチーム協調度をモデル化し、さらにチーム協調度の測定法と分析法について紹介する。

## Team Situation Awareness for Analysis of Brain Wave Data and Speech Pattern

Masaru Otani<sup>†</sup>, Katsunori Oyama<sup>††</sup>, Masato Kaneko<sup>††</sup>,  
Atsushi Takeuchi<sup>††</sup>, Kouzou Sonoda<sup>†††</sup>

In this study, Follow Awareness is the technique to visualize team cooperation level based on behavior of team members in group discussions. Team cooperation level is modeled by analyzing brain wave data and speech pattern of team members. This paper introduce the analysis method and the measurement method of the team cooperation level.

### 1. はじめに

組織内で行う討議には、限られた時間内で生産性の高い議論が行えるチーム管理の技術が求められる。討議の成功要因の1つとして、討議者全員の状況を瞬時に見極め、討議の流れをコントロールできるリーダー（プロジェクトリーダー、或いは、司会進行役）の有無がある。しかし、リーダーが討議者1人1人の協調性を観察し、討議の流れの変化を見極めことは難しい。限られた時間内で討議者全員の協調性を観察する

<sup>†</sup> 日本大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Nihon University  
<sup>††</sup> 日本大学工学部  
College of Engineering, Nihon University  
<sup>†††</sup> 株式会社マイクロテクノ  
Microtechno Corp.

ことは、リーダーの討議の流れをコントロールするスキルが高い場合であっても容易ではない。

本研究は、建設的な意見を出し合うチーム行動の指標を「チーム協調度」と呼び、プロジェクトメンバーによる討議を事例にチーム協調度の可視化手法を提案する。チーム協調度を測るアプローチとして、討議者が他者の意見について行っているかどうか（討議者間のフォロー関係）に着眼し、脳波と発話パターンの時系列分析により討議者のフォロー関係を評価する。具体的には、討議者が他者の意見をトリガーとして発生する脳波の状態（本研究では「閃めき」と呼ぶ）と、その閃めきが誰の意見に反応して生じた時の発話パターンを認識することによって、フォロー関係を評価する。フォロー関係の評価指標（フォローアウェアネス）に基づいてチーム協調度を判別する方法を提案する。さらに、リーダーによる討議の流れのコントロールが可能なシステム支援を行うための今後の課題を考察する。

本稿では、2章でチーム協調度の可視化について課題を挙げ、3章でフォローアウェアネスの解析について述べる。4章では脳波と発話パターンによるフォローアウェアネスの測定をした結果を評価し、考察する。最後に、5章で本稿のまとめと今後の課題を述べる。

## 2. チーム協調度の可視化

### 2.1 チーム協調度

本研究は、チーム協調度を可視化するために、メンバー（討議者）間の閃めきを伴うフォロー関係を抽出する。フォロー関係を把握することにより、討議の進め方の協調できているパターンと討議の進め方の協調できていないパターンを判別する。例として、協調度の高い討議は、討議の流れに全員ついて行ける状態である。その一方、協調度の低い討議は、他者の意見にフォローができない状態、自己の意見が出せない状態である。フォロー関係に基づいて個人の協調度とチーム協調度の関連性からチーム協調度の高低に応じて3つの分類を定義する。最初に、個人の協調度は個々の脳波と発話パターンに基づいて計算される。次に、個人の協調度の総和からチーム協調度を算出する。

本研究は、脳波と発話パターンを用いてチーム協調度に着目した測定のアプローチをとる。脳波データは人間の五感や行動、発言から被験者の状態を瞬時に把握できる情報収集の手段となる。また、発話パターンの分析により、討議において、チームのリアルタイムな発言や会話の録音ができるためスムーズな討議の進行が可能になる。また、得られた協調度がチームとしての協調度となり、チーム協調度をリーダーに気付かせることが目標である。

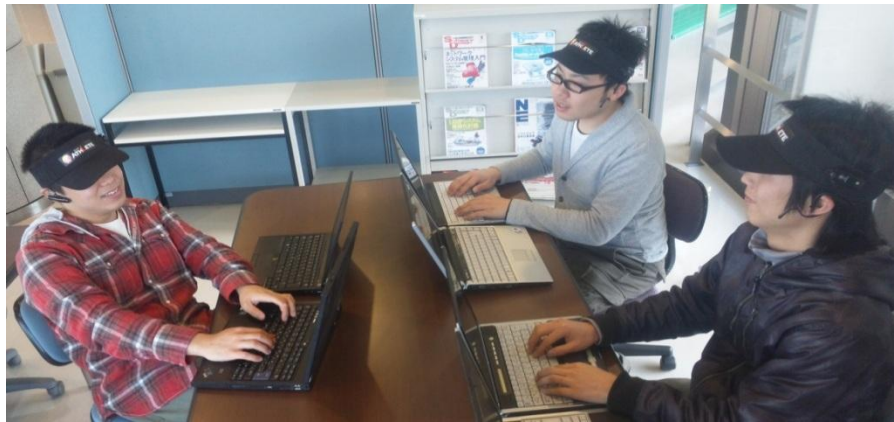


図1 測定環境

## 2.2 チーム協調度の3分類

グループ討議を行う際、個人の考えやチームの考え、また、討議中に交わされる発言や会話の内容や会話の順番などによって、討議の進行状況や個人の協調度が左右される問題がある。そこで、個人とチームそれぞれの場合に対応した協調度の定義を行うことで個人またはチームによる協調度の測定法の区別ができる。その中でも特に討議中に他のメンバーを納得させるような発言として、主にリーダーに対する意見の応答となるフォローに着目する。フォローに着目する理由として、討議中の進行状況をスムーズに行うためにリーダーに対する他のメンバーのフォローの状況と討議状況の変化を判断できることが挙げられる。

グループ討議における協調度との関連として個人、チーム、フォローの3つの要素を挙げる。個人協調度は個人において、自ら納得した確信のある意見や考えから納得

表1 チーム協調度の分類と説明

協調度	分類	説明内容
0	自己把握	内容理解中の状態、コミュニケーション量が少ない状態
1	意見交換	特定のメンバー間で意思疎通ができる状態
2	意見合致	チーム内の意見をフォローしている状態（討議に全員ついていけている状態）

した度合いを示す。チーム協調度はチームにおいて個人それぞれが納得したまたは確信のある意見や考えを意見交換し、チームとしての協調した度合いを示す。フォローはリーダーに対し、メンバー(フォロワー)が積極的に意見を述べている状態を示す。ここでいうフォロワーとはある発言に対して意見の応答を行う人のことを示す。

表1は協調度ごとの状態とその内容について表現しているものである。次に、各協調度についての説明を行う。協調度0の自己把握は自ら内容についてチーム内で把握している状態である。協調度1の意見交換は協調度0にある自己把握したものを他のメンバーに意見として説明できる状態である。協調度2の意見合致は協調度0、協調度1の内容に加え、他のメンバーの意見に協調し、チームとしての意見をまとめる状態である。

次に、チーム協調度の状況をモデル化した図の説明を行う。条件として図2のAの意見、Bの意見、Cの意見はそれぞれ討議のメンバーとする。

### 2.2.1 チーム協調度0のモデル

協調度0はチームメンバーが個人で状況把握し、コミュニケーション量がほとんどない状態である(図2)。

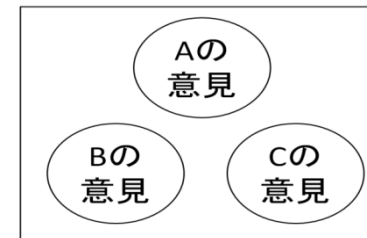


図2 チーム協調度0のモデル

#### (1) 個人協調度0の特徴

個人で自分なりに討議内容を把握している。他のメンバーの会話を聞いて、少し会話に参加している状態である。

#### (2) チーム協調度0の特徴

コミュニケーションが少ない状態である。チーム内であまり意見を出し合っていない状態、個人による意見の把握中または整理中の状態である。

#### (3) チーム協調度0のフォロー回数

フォローができず、個人で討議内容を把握しており、うなずきが多く、メンバー間の会話に参加していない、またはついていけない状態。自己意見に自信が持てていない状態である。

### 2.2.2 チーム協調度 1 のモデル

協調度 1 は個人として他のメンバーに意見を伝える状態や他のメンバーの意見を聞いている状態である(図 3).

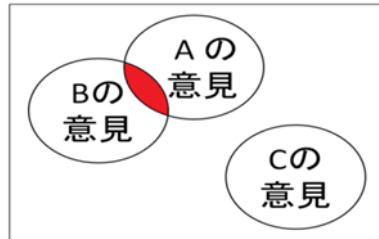


図 3 チーム協調度 1 のモデル

#### (1) 個人協調度 1 の特徴

自分なりの考えを他のメンバーに説明でき、討議内容を自分なりに把握しており、他メンバーの発言や会話を聞いて少し会話に参加している状態。他メンバーの意見から自己意見を見直すことができる状態である。

#### (2) チーム協調度 1 の特徴

チームメンバー間における内容把握の比較ができ、自分の持っている知識や情報をチームメンバーに説明できる状態である。

#### (3) チーム協調度 1 のフォロー回数

フォローをしているが、自己意見についても模索中の状態で、他者の意見を聞き、自分自身の考えをまとめている状態（メモを取る、目視など）である。

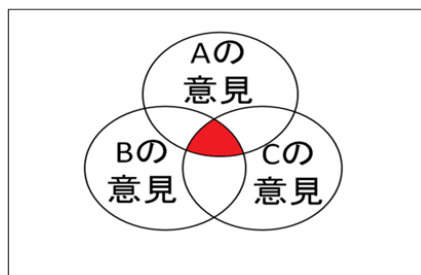


図 4 チーム協調度 2 のモデル

### 2.2.3 チーム協調度 2 のモデル

協調度 2 はフォロー回数の把握、意見がメンバー全員納得して意見合致が行われている状態である(図 4).

#### (1) 個人協調度 2 の特徴

討議内容を論理的根拠や理由の関連付けを示し、他メンバーの意見に対して意見や質問をしたりするなど、自己意見以外にも新たな提案や説明が言える状態。次の問題に対しても発言や会話が多い状態である。

#### (2) チーム協調度 2 の特徴

賛成または反対意見について相手を説得または共感させ、チーム内の活動（行動）回数が多い状態（討議に全員ついていける状態）でそれぞれ個人が意思決定を行っている状態。チームとしての目標が達成された状態である。

#### (3) チーム協調度 2 のフォロー回数

フォロー回数や自己意見が多く、他者を共感や説得できる状態でリーダーの発言に対して、全メンバー（フォロワー）がフォローをしている状態である。

## 3. フォローアウェアネスの解析

### 3.1 フォローアウェアネス

本研究は、メンバーのフォロー関係を抽出する手段として、フォローアウェアネスの手法を活用する。また、討議の流れのコントロールする方法を見つける手段としても活用する。フォローアウェアネスが良い例として、他者と自分の意見の比較ができ、チームの意見がまとまることある。悪い例として、意見交換をあまりせず、他者の意見を優先してチームの意見をすることがある。フォローにおいてリーダーの発言に対するメンバーのフォローをしている度合いをフォローアウェアネス（一般的には TSA[1]と定義される）とする。すなわち、グループ討議において、リーダーの発言に対して、メンバーの反応や返答をしているかを示す度合いをフォローアウェアネスと定義する。

協調度測定のためチームの会話状況やフォローの指標を示したチーム協調度と脳波の数値や発話パターンの情報から得られるフォロー回数や発言回数を数値化して協調度を測定する方法を考案する。フォロー回数はフォローの状態を回数で表し、チーム内のフォロー状況から協調度を分析するにはフォローアウェアネスを用いる。フォローアウェアネスとは、討議のリーダーに対して学習者がフォロー（意見の応答）をしている度合いや程度を表すことである。このフォローアウェアネスを評価することにより、協調度の分析に結びつけることができる。

### 3.2 フォローアウェアネスの評価式

フォローアウェアネスを評価する評価式を定義する。フォローアウェアネスは、リーダーとメンバー間の発言頻度が重要であり、コミュニケーションフローからリーダー、メンバーそれぞれの発言数を求める。また、脳波による協調度分析結果を含むことで、協調度とフォロー回数の状況を関連させることができるため、脳波もパラメータとして利用する(表 2)。

表 2 パラメータ説明表

記号	説明
y	リーダーの発言数
c	脳波協調度基準「閾値」を越えた箇所のカウント数
i	個人特定の為の添え字
$x_i$	リーダーに対する個人のフォロー回数[2]
n	グループ討議に参加している人数
$t_s$	分析開始時間
$t_f$	分析終了時間 (60 秒以内)
u	個人のフォローアウェアネス
U	チーム全体のフォローアウェアネス

#### (1) 個人のフォローアウェアネス評価式

リーダーに対する個人のフォローアウェアネスは以下の評価式で算出する。

$$u_i = (\log c \times x_i) - y \quad (0 < t_f - t_s \leq 60)$$

#### (2) チームのフォローアウェアネスの評価式

リーダーに対するチーム全体のフォローアウェアネスは以下の評価式で算出する。これは、個人のフォローアウェアネスを平均化したものである。

$$U = (u_1 + u_2 + \dots + u_n) / n$$

### 3.3 フォローアウェアネスを用いたチーム協調度の分類

定義した評価式の値をチーム協調度の分類に基づいて、どのレベルにあてはまるのか基準を定める。評価基準を定めたものが表 3 である。まず、U が負の値の場合では、チーム全体の発言数が少ないことを示しており、フォロー回数少なくなる。よって、U < 0 では、協調度 1 に相当する。U が正の値の場合では、チーム全体の発言数が多く、

フォロー回数も多い。より U の値が大きければ、リーダーよりもよく発言しており、討議内容をしっかりと理解できている状態である。よって、U > 0 では、協調度 2 に相当する。U が負の値であり、かつ個人のフォローアウェアネス  $u_i$  について、メンバー全員が負の値である場合、メンバー 1 人ひとりのフォロー回数が少ないことを示している。よって、 $u_i < 0$  かつ  $U < 0$  では、協調度 0 に相当する(表 3 参照)。

表 3 フォローアウェアネスの評価基準

協調度	チームのフォローアウェアネス
0	$u_i < 0$ かつ $U < 0$ (i は 0~n までの値)
1	$U < 0$
2	$U > 0$

## 4. 脳波と発話パターンによるフォローアウェアネスの測定と評価

### 4.1 目的

討議中の協調している状況を観測するため、脳波を用いて討議者間のフォロー関係の状況と議題に対する「協調している状態」と「協調できていない状態」を比較する。特に、メンバー間のコミュニケーションフロー(発話順序)の特徴に注視する。また、発話パターンはメンバー同士のフォロー関係の発話量、発言回数やキーボードタッチの状況からチーム内の関き状況を認識し、協調度との関連性を見つけることを目的とする。

### 4.2 測定のアプローチ

測定で使用した機材の名称と分析の際の使用目的及び測定から得られる抽出項目と測定環境について説明を行う(表 4, 図 5)。

#### (1) 測定機材

MindSet はキャップ型の脳波測定機器で従来使用していた Nuerosky MindSet のように耳に負担がかからずに測定できるため、ストレスによる脳波の変化が出にくい利点がある。Bluetooth headset は音声を録音するために耳にかけるだけのコンパクトな機器になっている。この機器の注意点としてステルスモード(低周波モード)にすることで周囲の雑音を防ぐことができるため、ステルスモードを推奨する。Amivoice は録音した音声を PC にテキストデータとして読み込むソフトである。データを読み込むことで、時間ごとのログとして発話パターンが分かるため分析が行いやすい。

表 4 測定機材の使用目的と抽出項目

測定機材名	使用目的	抽出項目
uLog Lite (Noldus 社製 PC ログ記録ソフト)	キーボードのタッチを PC 操作履歴として記録する	行動履歴
MindSet Logger	測定した脳波データを記録する	脳波データ
メモ帳	メモを記入する	テキストデータ
Mind Set (neurosky 社製)	脳波データを測定する	脳波データ
Finiti (motorola 社製)	音声を録音する (骨伝導マイク)	音声データ
Amivoice (アドバンストメディア社製音声認識ソフト)	headset で録音した音声を音声ログとして記録する	音声データ

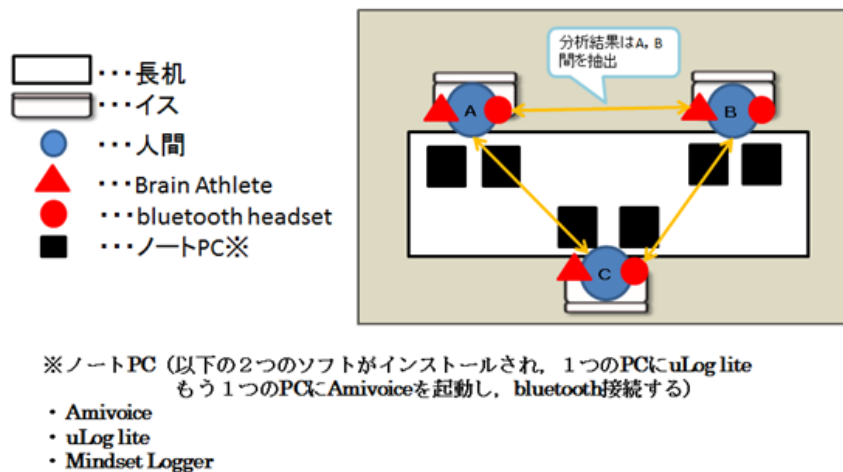


図 5 測定環境図

### 4.3 脳波の測定

脳波測定では、グループ討議中のメンバーそれぞれの脳波波形を取得し、PC 操作履歴 (Noldus 社製 uLog) と合わせて波形の特徴を分析する。

測定は被験者 3 人で行い、被験者には Brain Athlete を装着して、ノート PC×6 台 (1 人 2 台×3 人=計 6 台) で図 1 のような環境で測定を行う。測定ではリーダー (討議進行者) を 1 人決め、リーダーは図 1 の C の位置で他のメンバー (討議参加者) は A, B の位置に座り測定を行う。

#### (1) 脳波波形のグラフ化

脳波分析では、波形の上下の振れによって協調度を分析する。特に着目する部分は振れが上昇した箇所であり、振れが大きい箇所では、ひらめきやリラックスしている状態であるため、協調度が高い状態と判断する。反対に振れが小さい箇所については、思考中であるため、協調度が低い状態と判断する。また、PC 操作履歴の情報を脳波グラフに表記して照らし合わせて、振れの上昇を理由付けし、議論のどこでひらめきやリラックスする状態があったのかを分析する(図 5, 図 6)。

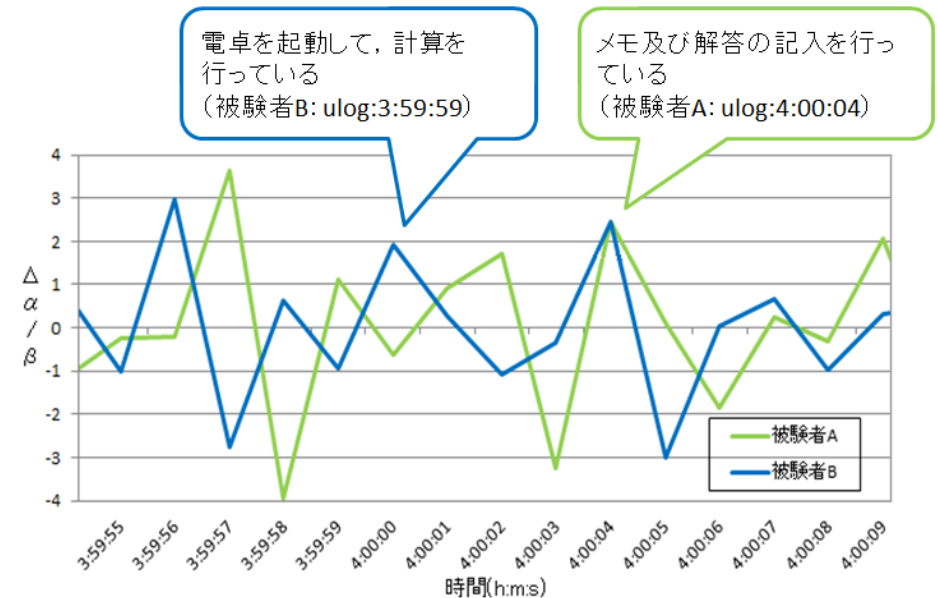


図 6 脳波グラフ(PC 操作履歴)

(2) 協調度基準「閾値」の算出

脳波グラフから協調度を抽出する方法として、脳波の高さから閾値を決めることで協調度の状態を判断する。ここでは、閾値以上の脳波が、協調度が高い状態とする。次に、脳波グラフから協調度の閾値を算出する手順の説明を行う。測定データを事例として説明する。

- i データ全体を1分間ごとに分割する。
- ii 分割した時間ごとに、 $\Delta \alpha / \beta$  の最大値を求める。
- iii ii で求めた最大値の中の最小値の値との比率を求めて、スケールの標準化を行う。表5は測定中のある1分間の数値である。表5で求めた比率でグラフ全体の $\Delta \alpha / \beta$  値を割り、その数値で再度グラフ化する。
- iv 最大値の標準化ができたので、共通の最大値(2.54)に0.5倍したものを閾値とする。
- v 分割してそれぞれ求めた閾値を平均化し、データ全体の閾値とする。ここでの閾値は1.27になる(図7)。

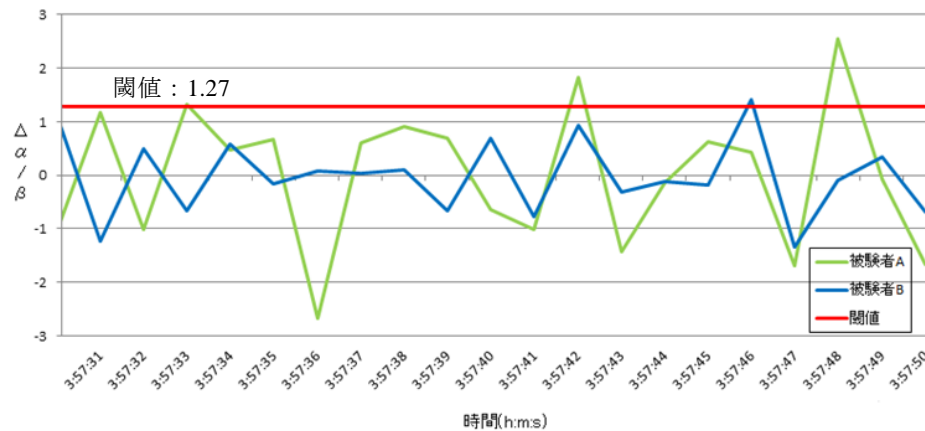


図7 脳波グラフ

表5  $\Delta \alpha / \beta$  値のスケール標準化

数値の説明	被験者 A	被験者 B
最大の $\Delta \alpha / \beta$ 値	2.54	2.68
A に対する比率	1.0	1.055

4.4 発話パターンの測定

発話パターンのログから、リーダーとメンバー間の会話順序を表すコミュニケーションフロー(図8)を作成する。発話箇所を発話タイミングとして単位時間ごとにプロットする。

(1) 反応活発箇所と反応低調箇所の抽出

測定より、脳波と発話パターンを用いて図9の脳波の反応が高い箇所(反応活発箇所)と図10の反応が低い箇所(反応低調箇所)の2つの反応について抽出を行う。抽出を行うことで分析時に被験者間のフォローアウェアネスの状況を分析することができる。

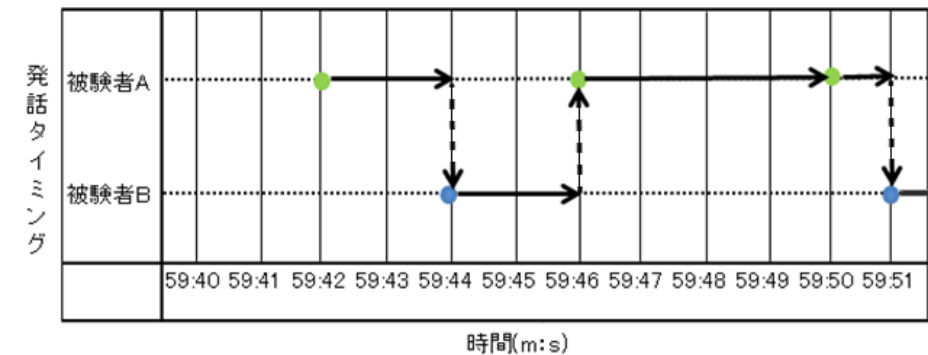


図8 コミュニケーションフロー

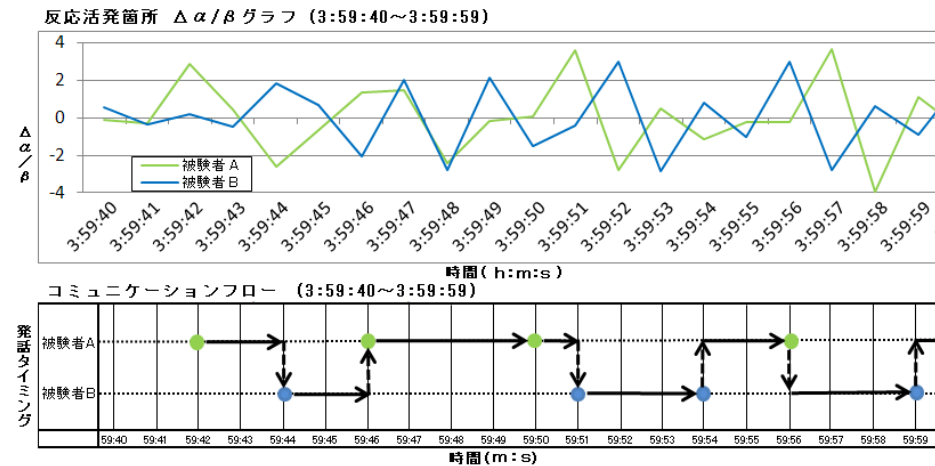


図9 反応活発箇所

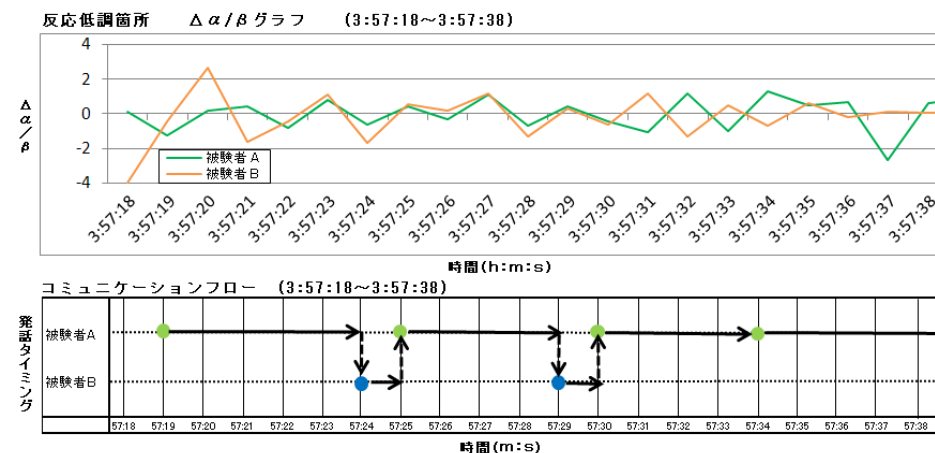


図10 反応低調箇所

(2) フォロアウェアネス分析結果

図9と図10に示された反応箇所の結果を用いて、チームのフォロアウェアネスを求める。今回は被験者Aをリーダーと仮定する。

① 反応活発箇所 (図9)

閾値の算出方法より、最大値は2.97、反応活発箇所の閾値は1.49となる。個人のフォロアウェアネスを求めると、図9(下)によれば、リーダーの発言回数  $y$  は4回、リーダーに対する個人のフォロア回数  $x$  は4回、脳波協調度基準「閾値」を越えた箇所のカウント数  $c$  は5回である。個人のフォロアウェアネスの評価式、すなわち、 $u_i = (\log c \times x_i) - y$  の式により、

$$u = (\log 5 \times 4) - 4 = -1.20$$

図9の個人のフォロアウェアネス  $u$  は-1.20となる。

一方、チームのフォロアウェアネスは今回リーダー以外のメンバーが1人である。チームのフォロアウェアネスの評価式、すなわち、 $U = (u_1 + u_2 + \dots + u_n) / n$  の式により、

$$U = (-1.20) / 2 = -0.6$$

図9のチームのフォロアウェアネス  $U$  は-0.6となる。ここで、表3のフォロアウェアネスの評価基準より、チームの協調度を求めると、チームのフォロアウェアネス  $U$  が  $U < 0$  であることから、チーム協調度1になる。

② 反応低調箇所 (図10)

閾値の算出方法より、最大値は2.55、反応低調箇所の閾値は1.28となる。個人フォロアウェアネスを求めると、図10(下)によれば、リーダーの発言回数  $y$  は4回、リーダーに対する個人のフォロア回数  $x$  は2回、脳波協調度基準「閾値」を越えた箇所のカウント数  $c$  は1回となる。上記と同様の計算法により、

$$u = (\log 1 \times 2) - 4 = -4.00$$

個人のフォロアウェアネス  $u$  は-4.00となる。

また、チームのフォロアウェアネスは今回リーダー以外のメンバーが1人であるため、上記の計算法と同様、

$$U = (-4.00) / 2 = -2.00$$

チームのフォロアウェアネス  $U$  は-2.0となる。表3のフォロアウェアネスの評価基準よりチームの協調度を求めると、チームのフォロアウェアネス  $U$  が  $U < 0$  であることから、チーム協調度1になる。

#### 4.5 考察

今回、反応活発箇所と反応低調箇所は共に協調度 1 という結果になった。しかし、計算結果の値を見た場合、反応活発箇所は 0 に限りなく近い値であるため、協調度 2 に近い値の協調度 1 の結果と判断することができる。フォローアウェアネスの評価基準が反応箇所どちらも同じ結果になった理由として、分析時間が短いことと反応箇所のカウント数が少ないことが挙げられる。また、チームメンバーの数が 1 人だけだったため、チームのフォローアウェアネスに与える影響が少ないと考えられる。今後の分析の改善として、分析時間を長く設定することとチームメンバーの数を増やすことによる、影響が出やすい時間での分析方法の設定が必要と考える。

#### 5. おわりに

本稿では、チーム協調度を可視化するために、脳波と発話パターンを用いてフォローアウェアネスを測定し、解析結果からチーム協調度を評価する方法について述べた。

今後の課題として、フォローアウェアネスの評価式をさらに検証し、改良をおこなう。検証結果の精度を高めるための測定手段（センサーの種類、ログ収集の方式）を工夫する必要がある。さらに、今回確認した協調度の解析結果を、議論中、リアルタイムにリーダーに気付かせる支援システムの実現が重要となる。

#### 参考文献

- [1] Mica R Endsley:THEORETICAL UNDERPINNINGS OF SITUATION AWARENESS:A CRITICAL REVIEW,Lawrence Erlbaum Associates,pp.1-24(2000)
- [2] 小磯花絵, 伝康晴:会話における(部分)復唱発話の分析, 国立国語研究所, 千葉大学文学部,pp.250-255(2011)