

KAIHUI: スマートフォンを用いたミーティング 活発度定量化の試み

王 亜楠[†] 宇佐美 格^{††} 狐崎 直文[†] 戸辺 義人[†]

ミーティングは、合意形成を含むあらゆる集団行動の場において必要不可欠であり、効率的で生産性の高いミーティングが望まれる。しかし、ミーティングの良し悪しというものは、定量的に表現することが困難である。我々は、発言の頻度と発言の遷移に基づく、ミーティング活発度の指標を定義し、ミーティングの良し悪しを判断するシステム KAIHUI を提案する。本研究では、活発度指標の定義、および KAIHUI の概要、設計、Android スマートフォンによる実装と評価について述べる。

KAIHUI: Towards Quantifying Activeness of Meeting Using Smartphones

YANAN WANG[†] ITARU USAMI^{††} NAOFUMI KITSUNEZAKI[†]
YOSHITO TOBE[†]

Meetings are considered to be indispensable for decision making of groups, and thus efficiency is required for meetings. However, it is difficult to discuss the efficiency of meeting in a quantitative way. Based on this background, we define metrics to quantify the meeting activity and we have designed and implemented a system to evaluate the metrics called KAIHUI by using the voice utterance of participants obtained by smart phones. In this paper, we describe the definition of the Meeting-Activity criterions, overview of KAIHUI's design, the implementation and evaluation for Android Smartphones.

1. はじめに

近年、インターネットの普及に伴い、コミュニケーションの多様化が進んでいる。従来のコミュニケーション形態である通話や電子メールだけでなく、ビデオ会議や SNS (Social Network Service) といった新たなコミュニケーションサービスが登場してきた。しかし、ブレインストーミングのように多彩なアイデアを出し、活発なコミュニケーションを行う場面では、いまなお対面ミーティングが有効である。

ミーティングは効率的で活発なものもあれば、一方で、ある特定の参加者が喋り続けて、ある参加者だけが沈黙しているようなものも存在する。従来では、ミーティングの様子を議事録、音声ログや映像ログにし、後から参照できるミーティング支援システムがあった。しかし、ミーティングの良し悪しを知らずにログ情報を参照するだけでは、ミーティングの根本的な改善方法とはならない。ミーティングの良し悪しというものを定量化指標によって表現できれば、ミーティングの改善を促す参考情報となり得る。

本研究では、簡便な手法を目指し、スマートフォンを用いてミーティングの音声情報をセンシングすることで、予

め定めたミーティング定量化指標を求める。そこで、ミーティングの良し悪しの主観的印象をミーティング活発度と定義し、参加者らのインタラクションに基づいて、参加者らが平等に発言しているかどうかを表す公平度、ミーティング全体をリードする人の数を表す支配度、参加者らの意見がリードする人のファシリテーションを表す調停度の 3 つの指標を用いて、ミーティング活発度を定量化する手法を提案する。さらに、本指標を抽出するシステム KAIHUI* を構築した。KAIHUI を利用することによって、ミーティング活発度の指標値がわかるだけでなく、指標値に基づいた、より活発なミーティングを促すアドバイスを行うことが可能となる。

本論文では以下、2 章では、既存研究について述べる。3 章では、活発度指標の定義について詳しく述べる。4 章では、KAIHUI の設計指針について述べる。5 章では、KAIHUI の実装について述べる。6 章では、KAIHUI の評価実験の内容、結果について述べる。7 章では、評価実験を踏まえての考察を述べる。8 章では、本研究のまとめを述べる。

2. 既存研究

本章では、既存研究および本研究の位置づけについて詳しく述べる。

[†] 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科
Department of Integrated Information Technology, College of Science and Technology, Aoyama Gakuin University
^{††} 青山学院大学理工学研究科理工学専攻知能情報コース
Intelligence and Information, Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

* KAIHUI は中国語で「ミーティングを開く」という意味である。

2.1 会話理解によるミーティング支援

これまで、ミーティングの様子を議事録、音声、映像などによって記録し、参照可能な様々なシステムが開発されてきた。例えば、長尾氏は、ミーティングの音声、映像が含まれる議論内容をコンテンツとして利用可能にし、ミーティングの参加者らは日付や参加者の情報から議事内容を検索するだけでなく、現在進行中の議論と類似の議論を過去の議論コンテンツから探し出したり、ある質問に対する回答を議事録の内容に基づいて生成したりすることを可能とした¹⁾。しかし、あらゆる話題に対応する知識データベースの構築が必要となり、会話を完全に理解するには困難である。

2.2 ミーティングプロトコルの定式化

ミーティングの効率を上げるためのガイドラインが多く存在する。しかし、正式なガイドラインがないため、ミーティングの改善は困難となっている。そこで、Catholijnらはミーティングの詳細をさらに詳しく解析するために、ミーティングのドメイン情報に基づいたミーティングプロトコルの手法を提案した²⁾。

2.3 非言語情報パターンによる会話状況の特徴抽出

対面的コミュニケーションの場においては、様々な情報伝達の手段が存在する。情報伝達といえば、言葉だけでなく、視線やジェスチャといった非言語的な要素がより重要である。中田氏は、会話における非言語情報の出現パターンをデータマイニングの手法を用いて、三者対面時の発話と視線の関係や発話者と聞き手による指さしの使われ方に関するパターンが自動抽出できることを示した³⁾。会話における非言語行動の構造の特徴を明らかにすることができれば、より活発なミーティングを促すエージェントの登場が期待できる。しかし、会話構造には多くの非言語行動に関わっており、より多くのパターンを抽出には容易ではない。本研究では、ミーティングの音声情報に基づく、参加者らのインタラクションを分析することで、ミーティング活発度の定量化を試みる。

2.4 音声情報に基づく会話活性度推定方法

守屋氏は、ミーティング参加者らの音声情報に基づく会話活性度の推定方法および自然会話における活性度の自動推定の可能性を検討してきた⁴⁾。すなわち、ミーティングの会話構造を反映するオーバーラップ率・平均発話潜時・発話率の3つの指標を用いて、会話活性度を推定する可能性を示した。また、豊田氏は、発話状態時間長に着目した対話雰囲気推定システムを提案した⁵⁾。しかし、対話雰囲気を推定するには、発話状態時間長だけでは不十分である。本研究では、発話状態時間長だけでなく、話者発話頻度や話者遷移確率に基づくミーティング活発度の定量化指標を定義し、本指標を求めるシステム KAIHUI を構築する。

2.5 VADを用いた会議音声話者識別システム

本研究ではミーティング参加者らのインタラクションを明白にするために音声解析に基づく話者識別が必要になる。荒木氏は、音声区間検出器 (VAD) で検出した音声区間における音声到来方法 (DOV) を分類することで、会議音声の話者識別を行う手法を提案した⁶⁾。しかし、この手法では、ステレオマイク3台を用いることと話者の位置情報を事前に固定することが必要となる。そこで、本研究はより利便性の高いシステムを構築するためにスマートフォンの低性能マイクを使用することが前提であり、VADによる話者識別が容易ではない。したがって、我々は話者らの声道特性を表す MFCC (Mel-Frequency Cepstrum Coefficients)^{7,8)}に基づく、K-means 法⁹⁾を用いて話者識別をする。

2.6 スマートフォンによるオーディオセンシング

スマートフォンを用いてオーディオセンシングのような累積処理をする場合には、スマートフォンのバッテリー消費が激しくなる。これに対し、Petkoらは低消費電力コプロセッサの性能を考慮した省電力化を図った¹⁰⁾。我々の研究はオーディオセンシングそのものではなく、ミーティングの定量化を目的としており、本研究においてもこの手法を用いることは可能である。

3. 活発度の定量化指標

我々は、活発なミーティングとは、あるテーマに対して多くの参加者が積極的に議論することができ、さらにミーティングをリードする人の意見に対する返事をするのできるものであると定義する。そこで、我々はミーティング活発度を測るために3つの指標を定義した。

3.1 指標1 議論公平度の定義

あるミーティングにおいて、参加者の発言時間が長いほど議論への参加度が高いと考えられる。しかし、ある参加者の議論参加度が高くても、他の参加者の議論参加度が低いなら、活発なミーティングかどうかを判断することは困難である。したがって、我々は、参加者らが公平に議論に参加しているかどうかを表す議論公平度と定義する。

ここで、各参加者の発言時間を $t_i (i = 1, 2, \dots, K)$ とする。 K は参加者の人数である。発言時間確率は各参加者の発言時間をミーティングの総合時間で割ったものとして定義し、以下の数式(1)で表される。

$$P_i^E = \frac{t_i}{\sum_{i=1}^K t_i} \quad (1)$$

議論公平度は、C.E.Shannon の情報理論¹¹⁾のエントロピーの性質を用いて定義する。参加者全員が同じ発言確率である場合、議論公平度が最大値になる。逆に、議論公平度が最小値0になった場合は、発言者が一意に決まる。しかし、

参加者数によってエントロピーの最大値が異なるため、人数による最大エントロピーの正規化が必要である。したがって、議論公平度 (Equity) を以下の数式 (2), (3) で表す。

$$H(E) = -\sum_i^K P_i^E \log_2 P_i^E \quad (2)$$

$$\text{Equity} = \frac{H(E)}{\text{MAX}_K H(E)} \times 100 \quad (3)$$

3.2 指標 2 議論支配度の定義

ある参加者の発言頻度が全体の平均以上である場合は、この参加者をミーティングの支配者であるとする。ここでは、議論を主導する人の指標として、支配者の数を正規化したものを議論支配度と定義する。

各参加者の発言頻度を $q_i (i = 1, 2, \dots, K)$ とし、参加者発言

頻度を全体の発言頻度で割ったものを発言頻度確率 P_i^C とする。以下の数式 (4) で示す。

$$P_i^C = \frac{q_i}{\sum_i^K q_i} \quad (4)$$

また、平均発言頻度確率を閾値 (threshold) とし、以下の数式 (5) で表す。

$$\text{threshold} = \frac{1}{K} \quad (5)$$

したがって、議論支配度 (Domination) については、以下の数式 (6), (7), (8) に示す。

$$N(i) = \begin{cases} 1 \cdots P_i^C \geq \text{threshold} \\ 0 \cdots \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$\text{Controller} = \sum_{i \in K} N(i) \quad (7)$$

$$\text{Domination} = \frac{\text{Controller}}{K} \times 100 \quad (8)$$

3.3 指標 3 議論調停度の定義

活発な議論をさせるためには、司会進行役である支配者の役割が重要である。支配者は意見を引き出すために、発言権を公平に与える必要がある。ここでは、支配者による発言権が平等に与えられているかどうかを表す議論調停度と定義する。

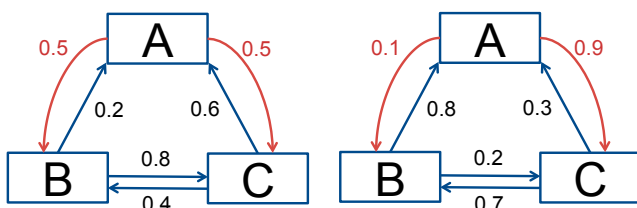


図1 参加者遷移図

参加者遷移が単純マルコフ連鎖であることを想定し、支配者 i における遷移確率を $P_{ij}^M (i \neq j)$ とする。図1の左図に

よると、支配者Aから参加者B, Cへの遷移確率が同じく0.5であるため、支配者Aが発言権を平等に回しつ、より活発な議論ができる。一方で、図1の右図では、支配者Aから参加者B, Cへの遷移確率がそれぞれ0.1, 0.9になっているため、支配者Aの意見に対する議論が偏る可能性があり、支配者Aのファシリテーションが十分に発揮していない。ここでは、遷移確率によるエントロピーを求めると、議論支配度 (Mediation) を算出する。議論支配度は、以下の数式 (9), (10) で表される。

$$H(M) = -\sum_{i=1, j \neq i}^{K-1} P_{ij}^M \log_2 P_{ij}^M \quad (9)$$

$$\text{Mediation} = \frac{H(M)}{\text{MAX}_{K-1} H(M)} \times 100 \quad (10)$$

4. KAIHUI の設計

KAIHUI はミーティング参加者らの発言時間、発言頻度や発言順番といったインタラクション情報を解析し、ミーティング活発度の指標がわかるようにすることを目的とするシステムである。

本章では、KAIHUI の全体像を示した上で、システム KAIHUI の設計にあたっての問題点を述べる。

4.1 KAIHUI の構成

図2はKAIHUIの全体構成を示し、動作を分担する各プロセスを示している。KAIHUIはクライアント側とサーバ側によって構成される。我々は有用性の高いシステムを構築するためにクライアント側では最近普及が進んでいるスマートフォンを用いる。サーバ側においては、スマートフォンより処理速度が速いクラウドサーバを用いる。以下、各プロセスの手順について述べる。

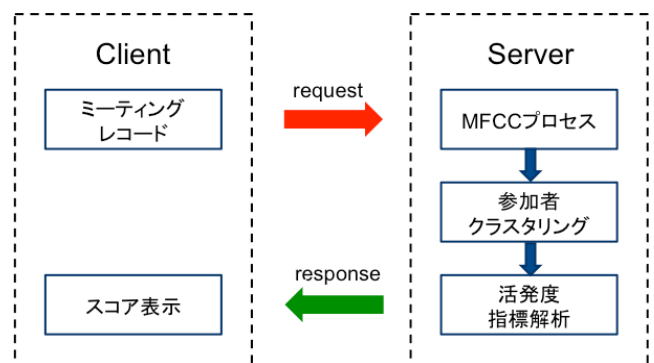


図2 KAIHUIの全体図

- Step1: スマートフォンを用いて発言ごとに録音し、音声データをサーバに送る。
- Step2: 参加者クラスタリングするための前処理を行う。MFCC (Mel-Frequency Cepstrum Coefficients) については 4.2 節で説明する。
- Step3: K-means 法を用いて、参加者クラスタリングする。K-means 法の詳細については 4.2 節で説明する。
- Step4: 参加者クラスタリングの結果に基づくミーティング活発度の指標解析をする。
- Step5: 3 つの指標値をクライアント側にレスポンスする。

4.2 設計にあたっての留意点

ミーティング参加者らのインタラクションを明らかにするために、参加者を特定する必要がある。信号処理、機械学習の研究が進み、話者識別の技術が成熟し、識別率の精度が向上してきた。しかし、より高い識別率を実現するためには、高性能のステレオマイクを用いることが前提となっている。本システムでは、スマートフォン内蔵マイクセンサを用いる。システムの利便性を追求する一方、識別率の精度を損なうおそれがある。

話者識別するにあたって、参加者らの MFCC 特徴量が必要である。MFCC (Mel-Frequency Cepstrum Coefficients) とは、メル周波数ケプストラム係数のことであり、人の周波数知覚特性を考慮した重みづけ特徴量として人の声道情報を表す。本システムでは、参加者らの音声情報を 12 次元 MFCC ベクトルで表し、参加者クラスタリングするための学習データとして利用する。

話者識別でよく用いられる GMM (Gaussian Mixture Model) ¹²⁾ アルゴリズムでは、教師あり機械学習となるため、多くの訓練データが必要になる。識別の精度がよくなる一方で実装が複雑になり、処理速度が遅くなるという欠点がある。そこで、本システムではミーティング参加者を特定しないことを前提におき、K-means 法での参加者クラスタリング手法を用いる。しかし、K-means 法を用いたクラスタリングの結果は初期値に依存する問題があるため、我々はミーティングの初めの各参加者の発言を初期値とした。

本システムでは、ミーティング活発度を定量化する指標値をクライアント側で示し、ミーティングを改善へと導くアドバイスを行うことが目的である。しかし、ミーティングの規模が大きくなるほどより活発な議論をすることが困難になるという事実があり、有意義な指標値を出すことが難しいと考えられるため、本システムではミーティング参加者数が 3 人から 5 人まで対応できるように設計されている。

5. KAIHUI の実装

本章では、システム KAIHUI の実装について述べる。第 4 章で述べたとおり、本システムはクライアント側とクラウドサーバ側によって構成される。まずは、システム KAIHUI を実装するにあたって、クライアント側やサーバ側の仕様を以下の表 1、表 2 で示す。

表 1 クライアント側の仕様

クライアント側	
Device	Samsung Galaxy S4
CPU	Quad-core/1.9 GHz
OS	Android 4.4.2
Recording	Mono-16 bit Sample rate 16 KHz

表 2 サーバ側の仕様

サーバ側	
CPU	Intel(R) Xeon(R) CPU 2.66 GHz
Memory	4 GB
OS	Linux Red Hat 4.4.7-4
Language	Python2.7

5.1 クライアント側の実装

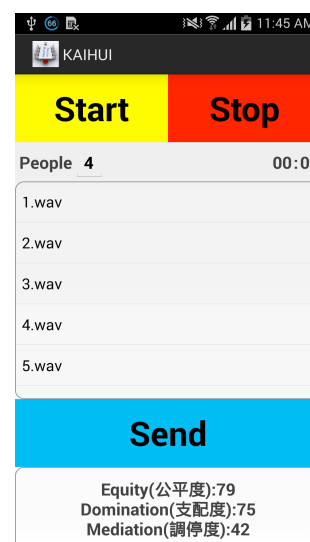


図 3 クライアント側インタフェース

本システムは、図 3 に示したようなクライアントインタフェースを用いる。インタフェースは音声データの録音を開始する Start ボタン、録音を停止する Stop ボタン、録音データを送信する Send ボタンの 3 種で構成されている。また、音声データをサーバに送信する前に、参加者数を指定する必要があり、それによって、サーバ側が参加者数に応

じての処理ができる。

本システムでは、参加者を特定するために、参加者それぞれの MFCC 特徴量が必要となる。音声データを発言ごとに分ける際、ミーティング全体を録音するのではなく、発言ごとに Start ボタンを押すことによって、音声データを分割する。その結果、参加者らの発言ごとの音声データ (1.wav, 2.wav, ..., N.wav) をサーバ側に送信することが可能となる。

クライアント側には、Samsung S4 Android スマートフォンを用いる。スマートフォンでデータ処理をするには限界があり、MFCC プロセスなど計算量の多い処理はサーバ側で行い、最後のミーティング活発度の指標値をクライアント側に返信するように実装する。

5.2 サーバ側の実装

サーバ側は MFCC プロセス、参加者識別や活発度指標解析を実装するため、Python プログラミング言語を用いた。Python はスクリプト言語であり、数値計算を容易に実装できる特徴がある。実装の詳細を図 4 に示す。

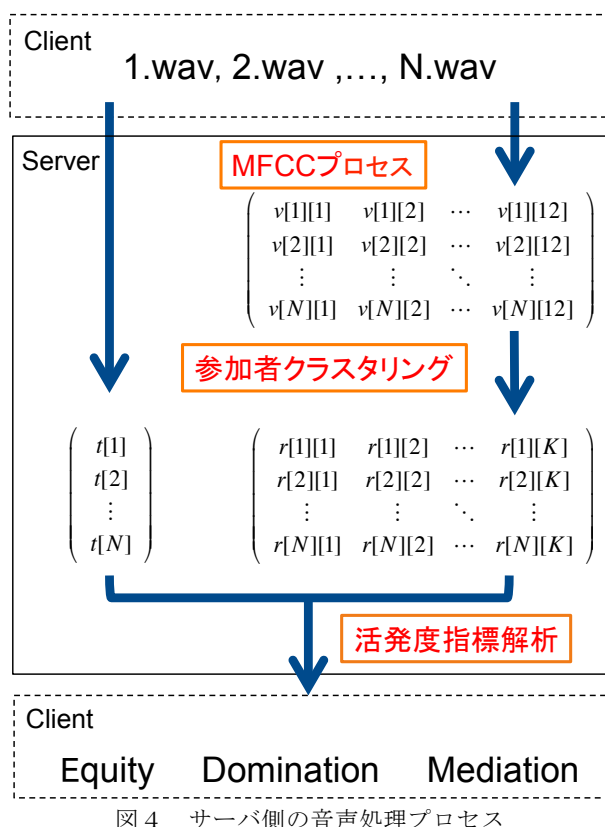


図4 サーバ側の音声処理プロセス

サーバ側は、1.wav ... N.wav の N 個の発言データをクライアント側から受け取り、MFCC プロセスによって音声処理を行う。その結果、 $t[1] \dots t[N]$ を成分に持つ N 次元の時間ベクトル $\mathbf{t}$ 、 $v[1][1] \dots v[N][12]$ を成分に持つ $N \times 12$ の MFCC 行列 $\mathbf{V}$ が生成される。参加者クラスタリングの処理においては、MFCC 行列 $\mathbf{V}$ を学習データとし、K-means 法のアルゴリズムを用いた参加者クラスタリングを行う。その結果、 $r[1][1] \dots r[N][K]$ を成分に持つ $N \times K$ の 2 値行列 $\mathbf{R}$

が表される。ここでの N は発言数、K は参加者数である。2 値行列は、各成分が 0 か 1 の値で表す行列であり、各参加者の発言頻度、発言順番といったインタラクション情報が含まれる。活発度指標解析の処理においては、時間ベクトル $\mathbf{t}$ 、2 値行列 $\mathbf{R}$ を用いて、第 3 章で述べたミーティング活発度の指標定義に基づく指標の解析が行われる。

5.3 クライアント側とサーバ側のデータのやり取り

クライアント側では、図 3 に示したように、Send ボタンを押すことで、ミーティングの参加者数や音声データをサーバ側にアップロードする。クライアント側から 3 つの指標を取得するには、HttpClient クラスを用いる。サーバ側は、PHP プログラミング言語を用いて、音声データの受け取り処理、MFCC プロセス、参加者数による参加者クラスタリングや活発度指標解析の実行コマンド命令を出す実装とした。

6. 評価実験

本章では、実際に KAIHUI システムを用いて、7 種類のミーティング (A,B,...,G) の活発度を測ることによって、KAIHUI システムおよびミーティング活発度指標を評価する。

6.1 KAIHUI システムの評価について

今回は、表 1、表 2 に示したシステム環境に基づいて、4 人でのミーティングを対象とし、MFCC プロセスの処理時間や参加者クラスタリングの誤識別率について評価する。

表 3 サーバ側のプロセス性能

ミーティング	ミーティング 発言回数	ミーティング 発言時間 (s)	MFCCプロセス 処理時間 (s)	参加者クラスタリング 誤識別率
A	27	738	350	37%
B	23	825	401	20%
C	54	498	240	0
D	79	405	196	35%
E	38	183	91	18%
F	23	272	127	22%
G	10	288	137	0

表 3 から分かるように、MFCC プロセス時間はおよそミーティング発言時間の 0.5 倍かかることが分かる。参加者クラスタリングにおいては、参加者誤識別率は平均で 19% となることが分かる。

6.2 ミーティング活発度指標の評価について

KAIHUI システムを用いたミーティング活発度の測定結果を表 4 で示し、公平度、支配度、調停度の 3 つの指標をレーダーチャートにしたものを図 5 に示す。

表 4 7 種類の評価実験の結果

ミーティング	公平度 (Equity)	支配度 (Domination)	調停度 (Mediation)
A	87	50	85
B	93	50	28
C	90	50	71
D	96	25	99
E	83	50	59
F	63	50	10
G	28	25	0

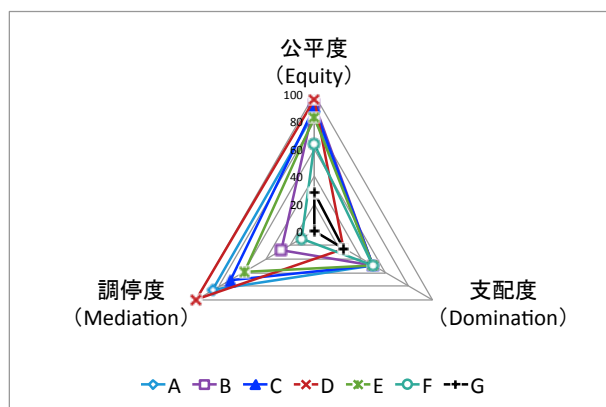


図 5 ミーティング活発度の指標値分布図

表 4 から、特に、支配度については 4 人ミーティングの場合は 1 人、2 人の支配者が存在するケースが多く、支配度は 25 点、または 50 点になる場合が多いということがわかる。

また、表 4 の詳細なデータを図 5,6,7,8 で表し、それぞれのミーティング活発度の指標である公平度、支配度や調停度の詳細を示し、ミーティング活発度を評価する。

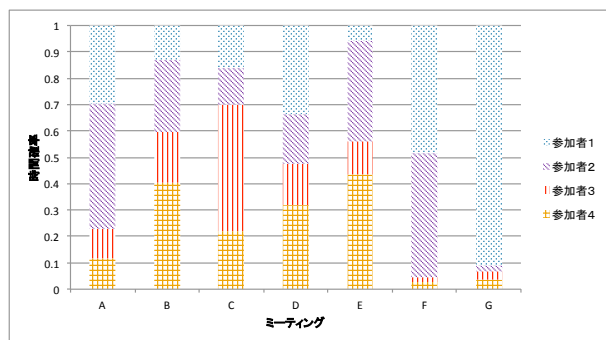


図 6 ミーティング参加者の発言時間確率分布図

図 6 においては、それぞれのミーティングにおいての各参加者の発言時間確率分布を表している。ミーティング D については、各参加者の発言時間確率がバランスよく分布されていたため、参加者らが平等に議論していたことがわかる。すなわち、議論公平度の点数が高くなっている。ミーティング G については、主に参加者 1 の発言時間が長かったため、議論公平度が最も低くなっている。

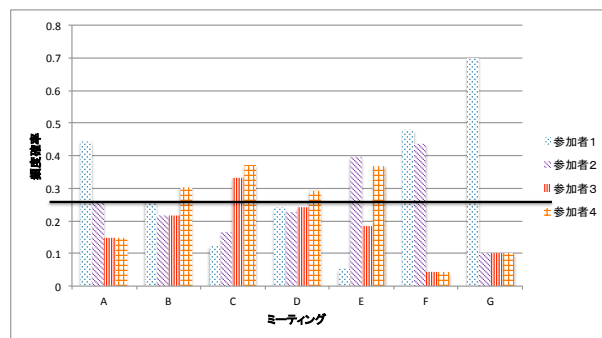


図 7 ミーティング参加者の発言頻度確率分布図

図 7 は、それぞれのミーティングにおいての各参加者の発言頻度の割合を表しており、閾値（黒い線）を超えている参加者はミーティングの支配者であることを示している。支配者の人数を支配度として表し、ミーティング A においては、参加者 1、参加者 2 は支配者であり、支配度は 50 点となる。以下の図 8 や図 9 は支配者による調停度について表す。

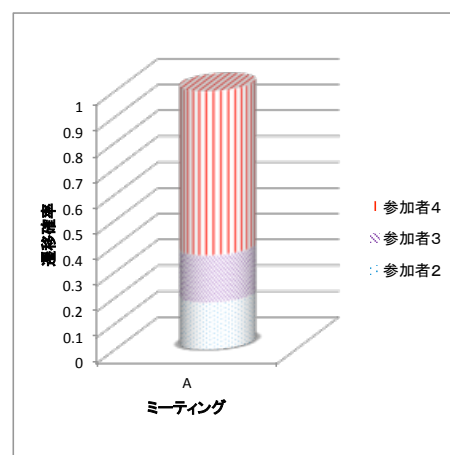


図 8 ミーティング A における参加者 1（支配者 1）の発言遷移確率分布図

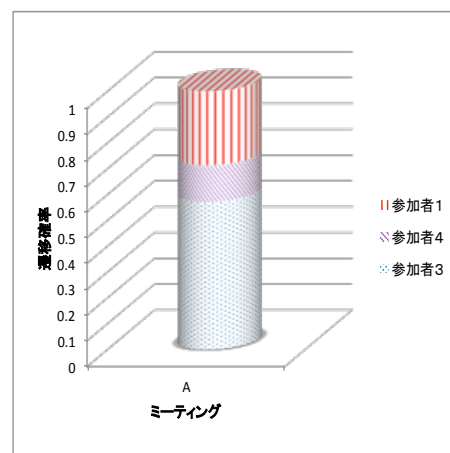


図 9 ミーティング A における参加者 2（支配者 2）の発言遷移確率分布図

支配者 1, 支配者 2 による発言遷移確率の分布は図 8, 図 9 に示されており, それぞれの遷移確率分布のバランスが良いほど支配者が発言権をうまく回すことができ, よりよい議論へ発展させることが可能である. ミーティング A においては, 2 人の支配者による総合的な調停度を判断することになる.

7. 考察

本章では, 評価実験に基づく考察をする.

7.1 KAIHUI システムの性能について

MFCC プロセスの処理速度は KAIHUI システム全体の処理速度を決めている. 表 3 から, MFCC プロセスの処理時間が長く, ミーティング総合時間の 0.5 倍であることが分かる. これは, Python プログラミング言語の処理速度が遅いためである. 特に, 行列演算においての for 文や配列内の要素を参照するのが遅いためである. 今後の課題としては, より早いシステムへの改善をするために, 他のプログラミング言語での実装することが求められる.

参加者クラスタリングでは, 表 3 のクラスタリング誤識別率はミーティングによって, 結果のばらつきが大きいことがわかる. 原因としては, スマートフォンのマイクセンサの質やミーティングを行うときの環境雑音による参加者クラスタリングするための学習データが損なう. K-means 法を用いた初期値の取り方に関係があり, 初期値に用いられた発言時間が長いほどクラスタリングの誤識別率が低くなる. 参加者らの音声特徴の差が小さい可能性がある.

7.2 各指標の妥当性について

議論公平度は, 発言時間を解析することによって求められるのに対して, 議論支配度は発言頻度に基づく指標であり, ある参加者の発言時間と発言回数には直接の関係がないことが分かる. また, 議論支配度と議論調停度には, ミーティングの支配者であることと支配者のファシリテーションとは別である. したがって, 本研究で提案した 3 つのミーティング活発度の指標は, 互いに相関がない.

図 5 では, 各ミーティングの指標値が一目でわかる. ミーティング A, B, C, D は 4 人がある程度平等に発言することを想定したミーティングであり, 議論公平度は良い結果となっている. それに対して, ミーティング E の場合は主に 3 人, ミーティング F の場合は 2 人がより平等に議論し, ミーティング G の場合は主に 1 人が意見を述べたような結果となった. 各ミーティングの支配度を見ると, 4 人ミーティングの場合では, ミーティングの支配者は 1 人か 2 人になっている場合が多いことがわかった. 活発なミーティングを行うためには, 支配者が少ないほうがよいということがわかった. 調停度については, 点数が高いほど, 発言権が平等に参加者に与えられ, よりよい結果が議論から得られることがわかった.

8. まとめ

本研究では, ミーティングの良し悪しをミーティング活発度と定義し, ミーティング参加者のインタラクションに基づくミーティング活発度を定量化する 3 つの指標を提案した. さらに, ミーティングの活発度を測定するためのシステム KAIHUI を実装し, より活発なミーティングへ導くアドバイスを行うことが可能となった.

今後の課題としては, スマートフォンのローカル環境で実装できるようにシステムを改善する. ミーティング活発度だけでなく, あらゆる対面コミュニケーションに適応できるシステムを考案する. さらに, 今回提案した指標を見直し, 新たな指標に基づく, より活発なコミュニケーションを支援するエージェントを開発する予定である.

参考文献

- 1) Katashi Nagao: Discussion Mining: Knowledge Discovery from Semantically Annotated Discussion Content, LANAI 3609, pp.158-168, 2007.
- 2) Catholijn M. Jonker, Martijn Schut, Jan Treur, Pınar Yolum: Formal Analysis of Meeting Protocols, LANI 3415, pp. 114-129, 2005.
- 3) 中田篤志 角康之 西田豊明: 非言語情報の出現パターンによる会話状況の特徴抽出, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.11 No.5, pp.89-96, 2009.
- 4) 守屋悠里英 田中貴紘 宮島俊光 藤田欣也: ボイスチャット中の音声情報に基づく会話活性度推定方法の検討, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.14 No.3, 2012.
- 5) 豊田薫 宮越喜浩 山西良典 加藤昇平: 発話状態時間長に着目した対話雰囲気推定, 人工知能学会論文誌, Vol.27 No.2 SP-B (2012).
- 6) 荒木章子 藤本雅清 石塚健太郎 澤田宏 牧野昭二: 音声区間検出と方向情報を用いた会議音声話者識別システムとその評価, 日本音響学会講演論文集 (2008).
- 7) Sunil Sharma, Naveen Jain, Isha Suwalka: Speech Analysis and Feature Extraction using SCILAB, IJMCTR, ISSN: 2321-0850, Vol.1, No.1, 2013.
- 8) Md. Rashidul Hasan, Mustafa Jamil, Md. Golam Rabbani Md. Saifur Rahman: Speaker Identification Using MEL Frequency Cepstral Coefficients, ICECE 2004, pp. 28-30 Dec. 2004.
- 9) Allam Mousa: MareText Independent Speaker Identification based on K-mean Algorithm, International Journal on Electrical Engineering and Informatics-volume3, Number1, 2011.
- 10) Petko Georgiev, Nicholas D. Lane, Kiran K. Rachuri, Cecilia Mascolo: Co-Processor Support for Continuous Audio Sensing on Smartphones, ACM SenSys, Nov. 2014.
- 11) C.E.Shannon: A Mathematical Theory of Communication, The Bell System Technical Journal, Vol.27, pp.379-423, 623-656, July, Oct. 1948.
- 12) Douglas A. Reynolds and Richard C. Rose: Robust Text-Independent Speaker Identification Using Gaussian Mixture Speaker Models, Vol.3, No.1, Jan. 1995.