

# 音楽理論 GTTM に基づく 議論タイムスパン木の生成方式とその評価

三浦 寛也<sup>1,a)</sup> 森 理美<sup>2,b)</sup> 長尾 確<sup>3,c)</sup> 平田 圭二<sup>4,d)</sup>

受付日 2014年6月30日, 採録日 2014年11月10日

**概要:** ディスカッションマイニングとは、会議における活動を複数メディアで記録し、そこから再利用可能な知識を抽出するための技術である。音楽理論とは、音の時系列を構文解析する技術である。本研究の目的は、音楽理論 Generative Theory of Tonal Music (GTTM) の楽曲分析アプローチに基づき、会議記録の各発言の重要度を階層的に表現する議論タイムスパン木の自動獲得である。本稿では、議論タイムスパン木の生成方式について計算機上に実装する手法を提案し、プロトタイプシステムの有効性を評価した。

**キーワード:** 知識表現, 情報抽出・要約・再構成, 意味処理

## Generating Method and Its Evaluation of Discussion Time-span Tree based on Music Theory GTTM

HIROYA MIURA<sup>1,a)</sup> SATOMI MORI<sup>2,b)</sup> KATASHI NAGAO<sup>3,c)</sup> KEIJI HIRATA<sup>4,d)</sup>

Received: June 30, 2014, Accepted: November 10, 2014

**Abstract:** Discussion mining is a technology by which activities in meetings are recorded into some media, from which reusable data is extracted. Music theory is a technology that parses the chronological sequence of musical events. The aim of the research is automatic acquisition of discussion time-span tree, based on the approach to analysis music theory Generative Theory of Tonal Music (GTTM). It expresses a hierarchical importance of statements. The paper presents the method how to generate discussion time-span tree and the results of studying the prototyping system.

**Keywords:** knowledge representation, information extraction/summarization/restructuring, semantic processing

### 1. はじめに

実世界の重要な活動の1つである会議において、議論の

流れや結論を記録する議事録は、内容の共有や振り返りに有効である。研究室や会社などの組織においては、新しい研究のアイデアや経営戦略を打ち出すための研究ミーティングや会議が日々行われている [1]。組織における意思決定型の会議では、この議事録の編集は書記が担当することが多い。会議記録の主たる再利用法は議事録であるが、会議の参加者・欠席者に同一のドキュメントを配布することが一般的である [2]。また従来のスタイルでは、会議記録を整理しないまま議事録を作成、配布するため、閲覧者は決定事項や次回までの課題についての共通認識が弱くなる。予備知識も人脈も異なる関係者にとって、その会議について本当に記録しておくべき・知るべき情報は異なる。そのため、決定事項のみあるいは発言の要旨だけ記述した議事

<sup>1</sup> 公立はこだて未来大学大学院  
Graduate School of Future University Hakodate, Hakodate,  
Hokkaido 041-0803, Japan

<sup>2</sup> 株式会社ベーシック  
Basic Inc., Chiyoda, Tokyo 102-0082, Japan

<sup>3</sup> 名古屋大学  
Nagoya University, Nagoya, Aichi 464-8603, Japan

<sup>4</sup> 公立はこだて未来大学  
Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-0803,  
Japan

a) g2113031@fun.ac.jp

b) s-mori@basicinc.jp

c) nagao@nuie.nagoya-u.ac.jp

d) hirata@fun.ac.jp

録を作成し、参加者や関係者に配布するだけでは会議内容を十分に共有するのは難しい。

会議記録の主たる再利用法は議事録であり、議事録の内容を効率的に提示する要約技術はこれまでも数多くの手法が提案されてきた [3], [4] が、それらの多くは一定の目的を満たすような要約を実現するシステムであった。一方、議事録の有用性を高めるには、議論の意味を理解し、必要な情報を抽出することが重要であるが、その個人差に着目した研究はこれまでに十分されていない。そこで個別の目的のために提案されてきたこれまでの研究を効率的に統合させる技術が必要となる。

これらの問題に対処し、会議記録の再利用性を高めるためには、それぞれのニーズに応じた要約や議事録が必要になる。そこで本研究の目的は、議論の「構文解析」による展開の把握や重要発言の同定である。会議における活動を複数メディア、たとえば映像・音声情報やテキスト情報、メタデータなどで記録し、そこから再利用可能な知識を抽出するこの処理はディスカッションマイニング (DM) と呼ばれる [5]。DM によって提供される機能として自動要約や Q&A 型議事録を想定している。Q&A 型議事録とは、会議記録データに対する検索エンジンのようなインタラクティブシステムのことであり、以下のような質問を受けけることを想定している：「この話題はどのような結論だったのか?」、「この結論に至ったプロセスを教えてください」、「私は何を知った上で次の会議に臨めばいいか?」[6]。しかし従来の DM では、議論の意味を理解し、議事録を読む人にとって必要な情報を抽出することは難しい。これは時系列のまとめである会議において、発言どうしの集合や関係を分析する適切な手法が提案されていないためである。

ここで楽曲構造と会議構造を対比する。楽曲においては音イベントが、会議においては発言が時間の進行とともに発生しグループ (ゲシュタルト) を生成する点に着目すると、会議記録における時系列データの分析手法として音楽理論の応用が考えられる。そこで我々は、音の時系列イベントを構文解析する技術である音楽理論 Generative Theory of Tonal Music (GTTM) [7] の楽曲分析アプローチに基づき、会議記録における各発言の重要度を階層的に表現する議論タイムスパン木を提案した [8]。その自動生成は会議の深層構造の分析を可能とするだけでなく、過去の会議コンテンツを柔軟に検索や加工も可能となり、Q&A 型議事録への応用が期待できる。さらに議論タイムスパン木生成のためのルールを入れ替えることで、視点の切り替え可能な柔軟な意味表現法である新しい要約技術としての応用が期待できる。

本稿では、議論タイムスパン木の生成方式について計算機上への実装手法を述べる。議論タイムスパン木は会議記録の情報を基に、グループ構造の獲得、重要発言の選定の 2 段階の処理によって生成される。我々は議論タイムスバ

ン木の自動生成に向けて、この 2 段階の処理を実行するルール群を提案した。また議論タイムスパン木生成の実装において、局所的/大域的な階層構造を獲得する際に生じるルール競合の問題に対処するため、適切なルールの実行管理を行うアルゴリズムを構築した。さらにその有効性を評価するため、議論タイムスパン木生成システムのプロトタイプングを行った。

本稿の構成を以下に示す。2 章では DM システム (2.1 節) と音楽理論 GTTM の概要 (2.2 節) を述べる。3 章では議論タイムスパン木の定義 (3.1 節) と表現 (3.2 節)、自動獲得のためのルール群を提案する (3.3 節)。4 章では議論タイムスパン木の生成アルゴリズムとケーススタディについて、5 章では実装上での問題点とその解決手法、プロトタイプシステムの評価について結果を考察する。6 章では本稿で得られた成果と課題を要約し、結論とする。

## 2. 関連研究

### 2.1 ディスカッションマイニングシステム

DM システム [9] とは、会議記録から映像・音声情報やテキスト情報、メタデータ、アノテーションなどの実世界情報を獲得し、それらから半自動的に構造化した会議コンテンツを作成することで、議論の内容を効率的に閲覧できるシステムである [10]。このシステムが取り扱う会議は限定的であり、会議参加者自ら議論の要素にタグ付けを行うことに関して若干のオーバーヘッドを強要する。そのトレードオフとして、構造化された議論データが取得できる。会議参加者は議論札と呼ばれる専用デバイスを用いることで、発言者の ID と発言タイプを自ら申告し、議論の構造化を補助する。発言タイプは議事録構造化の視点から導入発言と継続発言の 2 つに分類される。先行する発言がないものを導入発言と呼び、そうでないものを継続発言と呼ぶ。これを議論の構造化の主要な手がかりとしている。このようにして各発言間の関係を木構造として表現したものをディスカッションマイニング木 (DM 木) と呼ぶ。DM 木の根は導入発言であり、先行する発言の後に続く発言はすべて継続発言である。ある 1 つの発言に対して、同時に複数の継続発言が付くと DM 木の分岐が増える。先行発言に継続発言が付く、さらにそれを先行発言として継続発言が付くと DM 木の枝が伸び、木が深くなる。

さらに土田らは、記録された会議の再利用性を向上させるため、閲覧の目的に応じた重要性の高い発言を選別するシステムを Web 上に実現した [11]。具体的には、各発言を活性値とし、発言メタデータを利用した活性拡散アルゴリズムを用いて各発言の重要度を算出して順位付けさせた。この方法により、議論セグメントの要約として、発言全体から多くの賛成を得た発言群の取得が可能となった。しかし現在の技術では、議論の意味を理解し、ユーザの要求に柔軟に対応し、情報を抽出することは一般に困難であった。

これは会議において、発言どうしの集合や関係といった議論構造の発見や、分析を行うための適切な手法が提案されていないためである。この問題に対処すべく、時系列データである会議記録から議論の意味を十分に理解し、より柔軟で正確な知識抽出を行う手法が必要である。

## 2.2 音楽理論 GTTM

音楽理論とは、音イベントの時系列を「構文解析」する技術である。これにより時間の進行に沿って生じる音イベント列を様々な時間長のレベルで分節し重要な音を発見することができる。中でも、LerdahlとJackendoffにより1983年に提案されたGenerative Theory of Tonal Music (GTTM) [7]は現在最も正しい音楽理論の1つとされ、音楽認知や音楽情報処理の多くの研究において参照され続けている。GTTMの特徴には、音楽が備える多様な側面を包括的に表象すること、楽曲を簡約(reduction)するという概念があること、そして楽曲中に現れる音楽的な構造や関係を詳細に検討し得られた知識や手順をルールとして記述していることなどがあげられる[12]。

GTTMでは、旋律の区切りを表現するグルーピング構造とリズムや韻律を表現する拍節構造とともに、旋律や和声を本質的な部分と装飾的な部分に区別する簡約構造を抽出する分析(グルーピング構造分析・拍節構造分析)が行われる。その結果からタイムスパン簡約と呼ばれる簡約木が生成される。タイムスパン簡約とは、メロディの重要な部分と装飾的な部分を分離するもので、構造的に重要な部分が幹になるような2分木(タイムスパン木)を求める分析である。これら各々の構造分析や簡約は以下の2種類のルールから構成される。構成ルール(well-formedness rules)：基本的な構造特性を明らかにするルール。選好ルール(preference rules)：構成ルールを満たす複数の構造のいずれかが好ましいかを示すルール。

GTTMの分析結果から得られるタイムスパン木(図1)は、時間的なまとまりを構成する木構造であり、楽曲形式に対応するような階層構造を表現する。タイムスパン木の構造では、枝(branch)が幹(stem)の従属部となっており、幹が枝より構造的に重要な音であることを階層的に示

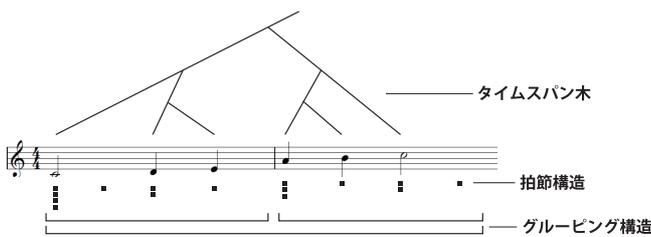


図1 グルーピング構造・拍節構造の分析結果から得られるタイムスパン木

Fig. 1 Time-span tree obtained from the analysis of the grouping structures and metrical structures.

す。GTTMの分析では、以下の2段階の処理によってタイムスパン木が生成される。(1)グルーピング構造分析：楽曲に含まれるグループ(ゲシュタルト)の発見、(2)拍節構造分析：あるグループ全体の時間幅(タイムスパン)を代表する重要音の選定。グルーピング構造分析には、2つ以上の音が1つのグループを作るかどうか、2つの音の間にグループ境界が生じるかどうかを判定するルールが含まれる。また拍節構造分析には、各拍節レベルにおける強拍と弱拍を同定するルールが含まれる。

## 3. 議論を表現するタイムスパン木

GTTMを時系列データの分析手法と見なし、その楽曲分析のアプローチに基づき会議記録の分析への応用を行うと、発言時間を各タイムスパンとし、重要な発言に関する階層構造を表現する議論タイムスパン木(図2)が生成できるだろう。本章では、この議論タイムスパン木の定義(3.1節)や表現(3.2節)、生成するためのルール(3.3節)について検討する。

### 3.1 議論タイムスパン木の定義

本節では、議論タイムスパン木(DTS)の帰納的定義を示す(図3)。ある発言を(n) (n=発言番号)とすると、初期段階では、(n)がDTSとして構成される。これは、単一の発言(n)が議論タイムスパン木を構成することを表す。

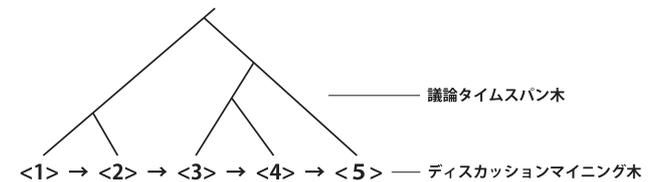


図2 ディスカッションマイニング木と議論タイムスパン木  
Fig. 2 Discussion mining tree and discussion time-span tree.

初期段階：

DTS = <n>：時間幅を持つ発言

帰納段階：

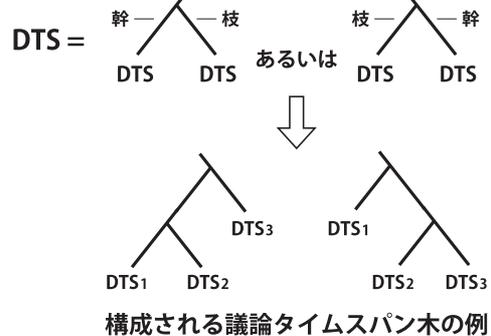


図3 議論タイムスパン木の帰納的な定義と例

Fig. 3 Inductive definition and examples of discussion time-span tree.

帰納段階では、2つの初期段階 DTS で構成される 2分木であることを表現する。生成される議論タイムスパン木は、左から昇順に時間幅を持つ発言番号と対応づけられる。

さらに正確な木構造の表現を実現するためには、枝と幹の従属関係を適切に表現する必要がある。議論タイムスパン木では重要な発言を木の幹、そうでない発言を木の枝として、隣接する 2つの発言の従属関係を表現する。たとえば、2つの発言 DTS1 と DTS2 (DTS1 が DTS2 よりも先に生じた発言) が存在する場合、DTS1 が重要な場合は、 $\wedge$ 型の議論タイムスパン木が生成され、DTS1 が木の幹、DTS2 が木の枝として表現される。対して DTS2 が重要な場合は、 $\vee$ 型となる。図 3 下段左の例では、DTS1 が DTS2 に対する木の幹および DTS3 に対する木の枝として構成される議論タイムスパン木である。

ここで我々は仮想時間軸というものを導入し、重畳を許す複数のタイムスパン木を提案する。仮想時間軸とは、DM 木の根である導入発言から各末端までの継続発言の連鎖のことである。議論が分岐する DM 木では、各仮想時間軸で異なる話題が展開されるため、仮想時間軸ごとにタイムスパン木を作成し、それら重畳するタイムスパン木を最終的に 1つのタイムスパン木に統合する。

### 3.2 議論タイムスパン木の表現

図 2 の DM 木は、導入発言 (1) から継続発言 (2) が生じ、(3)、(4)、(5) とさらなる継続発言が生じていることを表す。議論タイムスパン木はこの DM 木を基に構成され、次のような内容を表現する。(i) 隣り合った関連のある発言を 1つのグループにする、(ii) 各発言の重要度を階層的に表現する、(iii) 議論の起承転結、発散・収束を表現する。まず (i) では、発言 (1)-(2) と (3)-(4) がそれぞれ 1つのグループとなっており、さらに階層が上がると (3)-(4) と (5) がグループとして構成される。これは会議記録における内容の近さを表現する。次に (ii) では、生成された木構造における枝と幹の関係から各発言の重要度が階層的に表現される。図 2 では、各発言の重要度は高い方から順に (1)、(5)、(3)、(4)、(2) となっている。最後に (iii) では、生成された木構造によって議論の話題が (1) で発散し、(5) で収束するといった起承転結が表現される。

### 3.3 議論タイムスパン木生成のルール提案

議論タイムスパン木は会議記録の情報に基づき、以下 2段階の処理によってボトムアップに生成される。(1) グルーピング獲得：会議構造に含まれるグループ (ゲシュタルト) の発見、(2) 重要発言の選定：あるグループ全体の時間幅 (タイムスパン) を代表する重要発言の選定。各々は GTTM と同様に構成ルールと選好ルールの 2種類のルールから構成される。議論タイムスパン木生成のルール提案は、重複や漏れが生まれないよう以下の 2点を考慮し

表 1 GTTM のルール構成  
Table 1 Rules construction in GTTM.

GPR1 : Alternative Form	MPR4 : Stress
GPR2 : Proximity	MPR5 : Length
GPR3 : Change	MPR6 : Bass
GPR4 : Intensification	MPR7 : Cadence
MPR1 : Parallelism	MPR8 : Suspension
MPR2 : Strong Beat Early	MPR9 : Time-Span Interaction
MPR3 : Event	MPR10 : Binary Regularity

た上で行った。(a) 抽象的な表現の回避、(b) 正確かつ簡潔な記述法のトレードオフへの対処。上記の課題に対し、GTTM のグルーピング構造分析の選好ルール (Grouping Preference Rules ; GPR) および拍節構造分析の選好ルール (Metrical Preference Rules ; MPR) (表 1) [7] の体系的な表現に倣い、新たに議論を分析するルールとして、グルーピング構造分析の選好ルール (GPR) と重要発言選定の選好ルール (Significance Preference Rules ; SPR) を提案した。

#### グルーピング構造分析の選好ルール (GPR)

GPR1 (Alternative form) : 小さなグループの解析は避ける。

GPR2 (Proximity), GPR3 (Change) : 連続した 4つの発言をそれぞれ  $n_1, n_2, n_3, n_4$  とすると、以下の条件が成立するとき  $n_2, n_3$  間でグループの境界と認識される場合が多い。

- GPR2a : 発言間の間隔が一定以上開く場合
- GPR2b : 発言予約タイミングの間隔が一定以上開く場合
- GPR3a : 発言者の順序が変化する場合  
( $n_1$  と  $n_3$  の発言者が同一人物)
- GPR3b : 情報量に変化する場合
- GPR3c : 発言における賛同数が変化する場合
- GPR3d : 重要単語の初出箇所

なお、GPR3b の情報量とは以下 1~3 の発言を意味する。

- 1 : 発話量の多い発言
- 2 : 発言時間の長い発言
- 3 : モデレータの発言
- 4 : 社会的ステータスの高い人物の発言

GPR4 (Intensification) : GPR2, 3 で示される効果が比較的明白なところは大きなレベルにおいても境界が生じやすい。

GPR5 (Parallelism) : グループ間で並行した部分を形成することができる 2つ以上のグルーピングは、並行性のあるグルーピングを行う。

#### 重要発言選定の選好ルール (SPR)

SPR1 (Parallelism) : 複数のグループやその各部を平行的と解釈できる場合、並行的な重要発言の選定を優先する。

SPR2 (New) : 新しく概念を表す発言は重要度が高い.  
 なお, ここで指す概念とは以下 1・2 の発言を意味する.

- 1 : 導入発言
- 2 : 重要単語の初出箇所

SPR3 (Volume) : 情報の大きい発言は重要度が高い.  
 なお, 情報の大きさは以下 1~3 の発言を意味する.

- 1 : 発言時間の長い発言
- 2 : 発言量の多い発言
- 3 : 後続数/分岐数の多い発言

SPR4 (Metadata) : 発言が内包する情報が大きい場合は重要度が高い.  
 なお, 発言が内包する情報とは以下 1~4 の発言を意味する.

- 1 : 賛同を多く得た発言
- 2 : 社会的ステータスの高い人物の発言
- 3 : モデレータの発言
- 4 : 重要単語を含む発言

SPR5 (Stability) : 議論においては安定した構造を優先し,  
 局所的な SPR の違反は避けなければならない.

### 3.4 ルール適用における問題点

議論タイムスパン木の自動生成は, 前節で提案したルール群に基づき実装されるが, その際, 様々な問題が想定されるため, 適切なルールの実行管理が必要となる. たとえば階層構造の獲得に関して, 提案した選好ルールは, 局所的/大域的な観点からボトムアップ/トップダウンに生成するルールが混在する. このため, 両者をどのように組み合わせる適切な階層構造を生成するかを判断することは難しい.

また選好ルールに関して, 適用順序が決まっていないため, ルール間に競合が生じる場合が考えられる. 発言量は短いが多く賛同数を得られた発言の場合, 「GPR3c : 発言における賛同数の変化」, 「GPR3d : 重要単語の初出箇所」の2つのルールが競合し, 両者を正しく境界判定することは難しい.

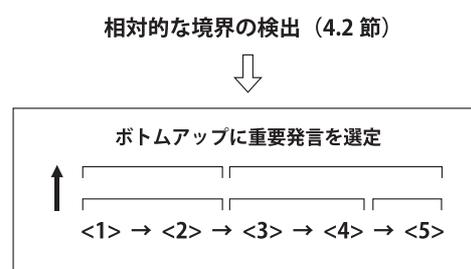
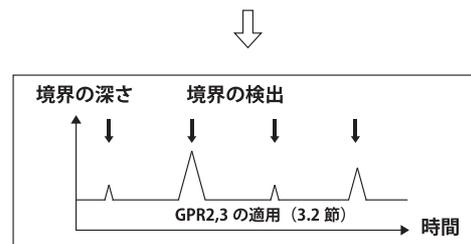
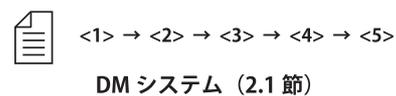
## 4. 議論タイムスパン木の生成アルゴリズム

本章では, 議論タイムスパン木生成方式について 3.3 節で提案した GPR と SPR の各ルールを実装するうえでの問題とその解決方針について述べる.

### 4.1 アプローチ

GPR は大域的な構造に関するルールと局所的な構造に関するルールが混在するため, 両者のルールを適切に実行することは難しい [13], [14]. 我々はこの問題に対処するため, 局所的/大域的な処理を適切に組み合わせるアルゴリズムを構築した. 議論タイムスパン木は, 以下のステップで生成される (図 4).

- (1) DM システムにより DM 木を取得する.



### 重要発言の選定 (4.2 節)

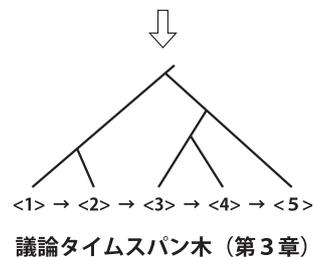


図 4 議論タイムスパン木の生成方式

Fig. 4 Generating method of discussion time-span tree.

- (2) 1 セクションを 1 つのグループにする.
- (3) 局所的な構造に関するルール (GPR2・3) を適用する.
- (4) 相対的な観点から高次の境界の強さを算出する.
- (5) 最も強い境界でグループを 2 つに分類する.
- (6) 局所的境界がある場合, (3), (4), (5) を繰り返す.
- (7) 重要発言の選定ルール (SPR1~4) を適用する.
- (8) グループ内での重要発言をボトムアップに選定する.

ここでは, ある導入発言から次の導入発言までの継続した発言群を 1 セクションと呼ぶ. 階層的なグルーピング構造は, ボトムアップ処理により求めた局所的境界を用いて, トップダウンに獲得する必要がある. そのためには, グループ全体に局所的な構造に関するルール (GPR2・3) を適用し, 境界判定によって高次の境界の強さを算出する (3), (4). この結果から最も強い境界でグループを 2 つに分類し, そのグループがその内部に局所的境界を含んでいる場合, この処理を繰り返す (5), (6). このアプローチによって, 局所的/大域的な階層構造が獲得できるだろう. また議論タイムスパン木は, 上記の手順で得た局所的/大域的な階層構造と, 重要発言の選定ルール (SPR1~4) をグループ全体に適用して得られる各発言の重要度合からボトムアップに生成する (7), (8).

表 2 各適用範囲における重要単語選定の F 値

Table 2 F-measure of the selecting important statements in each application range.

適用範囲	会議全体	セクション	仮想スレッド
F 値	0.449	0.444	0.463

#### 4.2 各ルールの実行管理

前節で述べたアプローチでは、GPR と SPR を適用する際に競合が生じる場合がある。その具体的な要因として、各ルール間での優先度が明確に決まっていないことや、グルーピング境界の判定基準が曖昧であることが上げられる。これらの問題に対処するためには、適切なルール実行管理が必要となる。

そこで我々は、目的や観点によって重み付けを変更することでルールの優先順位を管理する。また判定基準の曖昧性に関しては、以下 2 つの評価項目に関する選好ルールを与えて、さらにその選好ルールがどの程度成立しているかを定量的に定義する；発言間に生じる境界、発言の重要度合。3.3 節で提案した GPR を発言間に生じる境界の選定、SPR を発言における重要度合の選定を行うための評価項目として導入する。

#### 4.3 発言における重要単語の同定

重要発言の選定ルールの中には、発言内容の意味を考慮する必要がある。テキストデータにおける単語の重要度を求める方法として、一般に TF-IDF 法 [16] が用いられるが、形式や内容があらかじめ整えられているテキストとは性質が異なるため、会議記録の性質を考慮した重要単語の抽出手法が求められる。そこで 1 つの話題から複数の話題が派生する [15] という会議記録の性質から、TF-IDF 法の適用範囲について以下の 3 つの範囲を提案した。会議記録全体：1 つの議題に対する議論全体。セクション：導入発言から次の導入発言までの継続した発言群。仮想スレッド：DM 木の根である導入発言から各末端までの継続発言で構成される仮想時間軸上の連鎖。DM システムで公開されている全 25 議論 (1 議論あたりの平均議論時間：1 時間 57 分、平均発言数：65.5、平均セクション数：13.4) を対象とし、適用範囲内に出現する全単語の TF-IDF 値を計算し、正解データの重要度を比較した。正解データは事前に準備しており、適合率 P (precision rate) と再現率 R (recall rate) を組み合わせた F 値を求めた (表 2)。

表 2 の結果から、適用範囲による F 値に大きな差はなかった。しかし、重要単語が会議記録内の複数のセクションに出現する場合、その重要単語は会議全体の特徴となる単語として認識される可能性がある。また適用範囲を仮想スレッドのみに制限した場合、範囲内に出現しない単語に対処しなければならない。そのため会議記録における重要単語を取り扱うルールでは、TF-IDF 法の適用範囲をセク

表 3 例 1 の各発言要旨

Table 3 Outline of each statement in example 1.

(1), O	危険ではない状況というのは、目と目があっている状況のことでないか。
(2), W	お互いに目が合っていないでも大丈夫。目が合うというか、認識できているかどうかだと思う。
(3), O	ずっと認識している必要はないが、一度は相手が何処にいてどの方向に動いているか分からないといけない。
(4), W	その人が次にとる行動を予測するところまで考えないと「認識して回避する」といえないのではないか。
(5), N	相手がこちらを認識していないときはその行動を予測できないと思うが、そこは従来研究に譲る。
(6), W	相手が人間だと認識したら、AT がやるべきは回避ではなくて人間に AT の存在を知らせることである。
(7), N	人間に乗り物の存在を気づいてもらえるクラクションなどの何らかのアクションをしなくてはならない。
(8), W	安全走行のためには、そういうことに気をつけることも必要だと思う。

<1> → <2> → <3> → <4> → <5> → <6> → <7> → <8>

図 5 例 1 の DM 木

Fig. 5 Discussion mining tree in example 1.

ションごとに定めて実装を行う。

#### 4.4 ケーススタディ

本節で述べた議論タイムスパン木の生成アプローチに基づくケーススタディから生成方式に関する妥当性を検証する。ここで、議論セクションは話題の派生の仕方によって 3 タイプに分類でき、頻出傾向の高い順に、直線的な議論、途中から二股に分岐する議論、根元から分岐する議論となっている。本ケーススタディでは、直線的な議論セクションである例 1 を対象とする。例 1 の発言要旨を表 3、DM 木を図 5 に示す。表 3 の各発言要旨の左側は、左上が発言番号 (例：(1))、右上が発言者 (例：O)、左下が賛成ボタンが押された回数 (例：1)、右下が発言に要した時間 (例：0:33 (33 秒の意)) である。発言者 O による導入発言 (1) を聞いて、発言者 W による継続発言 (2) が生じ、さらなる継続発言が生じたことを表す。

発言番号 (1) から (8) までの 1 セクションを 1 グループとする。このグループ全体に局所的な構造に関するルール (GPR2, 3) を実行すると、GPR2a, GPR2b, GPR3a, GPR3b が各所に適用される。たとえば (4)-(5) の間には、GPR3a：「発言者の順序が変化する場合、前後で境界が生じやすい」や、GPR2a, GPR2b が適用され、境界の深さが 3 となる。GPR の各発言への適用結果から (4)-(5) の間に最も深い境界が生じ、それを境界とした (1)-(4) と (5)-(8) のサブグループが検出される。また (2)-(3), (6)-(7) の間にも境界が生じる。この一連の処理をサブグループ内で繰り返すと、最終的に (1)-(4) のグループでは、(1)-(2),

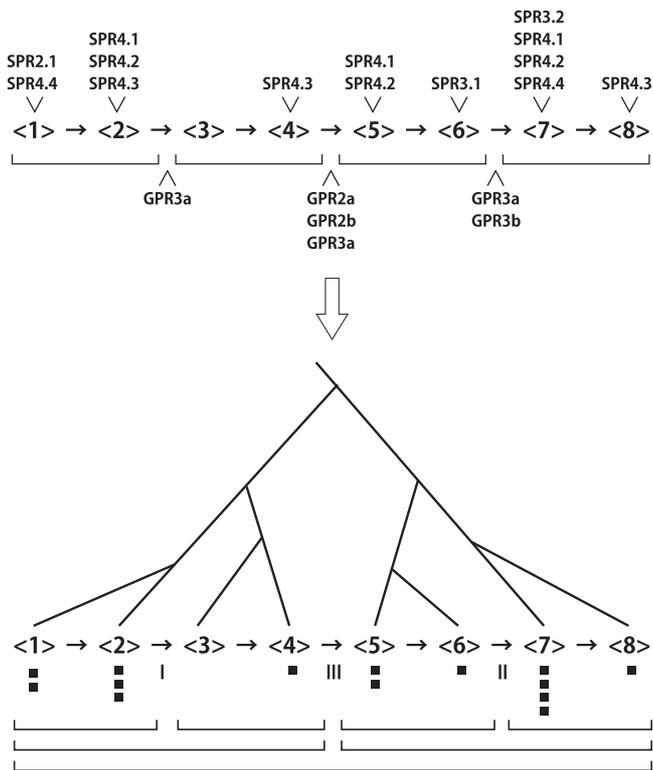


図 6 GPR・SPR 適用結果と得られる議論タイムスパン木  
 Fig. 6 Application result of GPR and SPR, and discussion time-span tree obtained from its analysis.

(3)-(4) と細かく分類され、局所的/大域的な階層構造が得られる。

同様に重要発言の選定に関するルール (SPR1~4) をグループ全体に適用する。たとえば (5) では、SPR4.1:「賛同を多く得た発言は重要である」と、SPR4.2:「社会的地位の高い人物の発言は重要である」のルールが適用される。この処理によって各発言の重要度合が分かる。以上より得られた局所的/大域的な階層構造と各発言の重要度合を基に、議論タイムスパン木をボトムアップに生成する。(1)-(4) のグループにおいては、(1)-(2) と (3)-(4) のそれぞれで重要発言の選定を行う。この処理を繰り返し、最終的には (1)-(4) と (5)-(8) でトーナメント式に得られた重要発言の比較を行い、このセクションにおける最重要発言が決定する。このようにして議論タイムスパン木が生成される (図 6)。

## 5. 実験と評価

前章で述べた議論タイムスパン木の生成アルゴリズムを自動化したプロトタイプシステムを構築した。本章ではその有効性を評価するため、DM システムでの議論データを分析対象とし、評価実験を行った。

### 5.1 アルゴリズム実装上の問題点

前述した問題に対して、以下の実装を行う。まず我々

はルール実行の曖昧性をできるだけ排除する。たとえば SPR2.1 というルールは成立するか否かが排他的に決まるので、成立すれば値を 1, 不成立ならば 0 に対応づける。ルールが成立する度合いが連続的な場合は重み付けを行う。また議論が分岐するセクションでは、各仮想時間軸で異なる話題が展開されるため、発言内容のみを重視して発言どうしを比較することは難しい。そこで発言の時間長や発話者の社会的ステータスといった、発言に対するメタデータを取り扱うルールを優先的に適用する。この方法により、階層構造の獲得とルール競合の問題に対処する。

### 5.2 実験の条件と結果

本節では、グルーピング構造分析と重要発言選定の性能の評価を適合率 P と再現率 R を組み合わせた F 値で評価する。グルーピング構造分析ではグループが所属する階層に関係なく、システム出力と正解データの両方に同じグループがある場合を適合とした。一方、重要発言選定では、システムの出力と正解データにおける枝と幹の接点と同じレベルかつ同じ位置にある場合を適合とした。

このような F 値による評価を行うため、新たに評価用データを作成した。評価用データは、DM システムで公開されている異なる議論タイプ (直線的、途中から二股に分岐、根元から分岐) 各 40 件、全 120 件の議論データと、手作業でグルーピング構造分析および重要発言選定を行った正解データである。ここで取り扱う議論データ 1 件あたりの総発言時間は 5~30 分程度、総発言数は 4~18 発言程度である。また、1 発言あたりの発言時間は 1~5 分程度、テキスト量は 20~300 文字程度である。議論データは、発言数や発表者数、分岐数など議論構造の異なるセクションを選定する。また本実験では、GPR2a と GPR2b の実行管理に関して、発言間の間隔および発言予約タイミングの間隔が 15 秒以上開く場合、ルールを適用する。正解データは、GTTM や議論タイムスパン木をよく理解している本研究報告の筆者の 1 人が作成した。その中でも本実験で選定したデータは、議論展開を把握する要約としての機能が高いことが証明された議論タイムスパン木を用いた。プロトタイプ出力のグルーピング構造獲得分析と重要発言選定の精度をまとめたものを表 4 に示す。

### 5.3 考察

本節では、実験結果に基づき階層構造の獲得とルール競合の解消について考察する。

#### 5.3.1 階層構造の獲得における問題

実験結果では、GPR2a, GPR3a, GPR3c が頻繁に適用され、正解データの適用箇所と一致する場合が多く見受けられた。この結果から、発言に対するメタデータを取り扱うルールは、発言内容にかかわらず機械的に話題の境界を判定するため、局所的なグループ構造の獲得に有効である

表 4 グルーピング構造分析および重要発言選定の結果に関する F 値  
 Table 4 F-measure of the results of analyzing grouping structures and the selecting important statements.

議論タイプ	発言数	発表者数	分岐数	グルーピング構造分析	重要発言選定
直線的	7.9	3.6	-	0.59	0.56
根元から分岐	7.1	4.1	1.8	0.74	0.58
途中から分岐	8.7	4.2	1.2	0.71	0.61
全体平均	7.9	4.0	1.5	0.68	0.58

と推測した。その一方で、大域的なグループ構造を獲得する場合には、特定の話題の終止箇所や新しく展開された箇所を判別する必要があるため、発言内容を十分に理解し、境界を判定する必要がある。しかし今回実装したプロトタイプシステムでは、発言のメタデータを取り扱うルールを重視する仕様としていたため、適切にグルーピングすることができなかった。

この結果は、直線的な議論セクションのグルーピング構造分析に対する F 値が低い理由と関連すると推測できる。直線的な議論では、同様の話題が一貫して展開されるため、話題の大域的なグループ構造を一意に同定することは難しい。一方で分岐する議論では、仮想時間軸によってあらかじめ話題ごとにセクションが割り振られているため、両者の F 値に大きな差が生じたと考えられる。このように局所的/大域的なグルーピング構造分析では、異なる観点により境界を判定する必要があるため、発言内容に関するルールと発言のメタデータに関するルールを適切に管理するアルゴリズムを新たに設計する必要がある。

### 5.3.2 ルールの競合における問題

全 120 件の議論データに対するグルーピング構造分析の F 値は 0.68、重要発言選定の F 値は 0.58 であった (表 4)。ルールの競合が解消されなかった代表例として、発表者数と発言数がともに多い、直線的な議論セクションがあげられる。この議論の特徴は、前半と後半で、議論の中心人物と話題が大きく変わっていることである。実験結果では、議論前半は正解データと一致しているものの、後半は一致していない箇所が多かった。現在のルール実行管理では、一律のルールを全範囲に適用しているため、ルールの重み付けを局所的に振り分けることが今後の課題となる。

ルールの競合がうまく解消されなかったほかの例として、分岐する議論に対する重要発言選定があげられる。ここでは、議論の分岐数が増えると、低次の重要発言選定に対する正解率は高いが、高次の選定では低下する傾向が見られた。これは、仮想時間軸ごとに作成された議論タイムスパン木を最終的に 1 つに統合していく際のルール管理に問題があるため、競合が生じていると推測できる。この問題に対処するとともに、今後は外部からルールの優先順位や重み付けを管理できるパラメータの導入を行う。

## 6. おわりに

本稿では、音楽理論の時系列データ分析への応用として、GTTM の楽曲分析アプローチに基づく、議論タイムスパン木の生成方式について述べた。議論タイムスパン木生成における計算機上への実装に対する問題は、階層構造の獲得とルール競合であった。これらの問題に対処するため、局所的/大域的な階層構造を獲得するためのアルゴリズム提案と適切なルール実行管理方法を考案し、プロトタイプシステムを作成した。さらにこのシステムの有用性を評価するため、グルーピング構造分析および重要発言選定の結果に関する F 値を評価した。今後の課題として、本研究で提案したモデルの妥当性を検証するため、制約最適化問題などの一般的な定式化との関連性についても検討する。

本研究の展望として、会議記録データに対する検索エンジンである Q&A 型議事録の実現を想定している。議論タイムスパン木の生成による過去の会議コンテンツの柔軟な検索や加工や、木構造に含まれる様々な情報をユーザの意図に沿った変換や抽象化により、Q&A 型議事録への応用が期待できる。そのためには、ユーザの直感に合った演算の発見が必須である。平田らは、楽曲の分析結果であるタイムスパン木に対して代数演算 (join, meet など) を適用する体系を提案している [17]。議論タイムスパン木に対しても join, meet のような演算を適用し、会議記録の多種多様な再利用の実現を目指す。

謝辞 本研究の一部は科研費 (基盤研究 (C) 23500145 および基盤研究 (B) 26280089) の助成を受けたものである。また本稿執筆にあたり、実験と評価手法に対する助言や、論文の推敲方法に関して多くの指導をいただいた公立はこだて未来大学の竹川佳成准教授に心より感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Nonaka, I. and Takeuchi, H.: *The Knowledge Creating Company*, Oxford University Press (1995).
- [2] 鈴木 健: 究極の会議, ソフトバンククリエイティブ (2007).
- [3] Waibe, A., Schultz, T., Bett, M. and Denecke, M.: SMaRT: the Smart Meeting Room Task at ISL, *Proc. ICASSP*, pp.752-755 (2003).
- [4] Conklin, J. and Begeman, M.L.: A HypertextTool for

Exploratory Policy Discussion, *Proc. CSCW'88*, pp.140-152 (1988).

- [5] 長尾研究室：ディスカッションマイニングプロジェクト，入手先 (<http://dm.nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp/>).
- [6] 平田圭二，長尾 確，東条 敏，浜中雅俊：音楽理論を会議記録の分析に応用したディスカッションマイニング，情報処理学会デジタルコンテンツクリエーション研究会，2012-DCC-1, No.16 (May 2012).
- [7] Lerdahl, F. and Jackendoff, R.: *A Generative Theory of Tonal Music*, The MIT Press (1983).
- [8] 三浦寛也，富樫健太，浜中雅俊，長尾 確，東条 敏，平田圭二：音楽理論を応用したディスカッションマイニングにおけるタイムスパン木と延長木の自動生成について，情報処理学会デジタルコンテンツクリエーション研究会，2013-DCC-3, No.9 (2013).
- [9] 土田貴裕，大平茂輝，長尾 確：対面式会議コンテンツの作成と議論中におけるメタデータの可視化，情報処理学会論文誌，Vol.51, No.2, pp.404-416 (2010).
- [10] Nagao, K., Kaji, K., Yamamoto, D. and Tomobe, H.: Discussion Mining: Annotation-Based Knowledge Discovery from RealWorld Activities, *Proc. 5th PacificRim Conference on Multimedia (PCM2004)*, pp.522-531 (2004).
- [11] 土田貴裕：議論内容の獲得と再利用に基づく知識活動支援システムに関する研究，名古屋大学大学院情報科学研究科学位論文 (2011)，入手先 (<http://www.nagao.nuie.nagoya-u.ac.jp/papers/tsuchida doctor thesis11.xml>).
- [12] 平田圭二，東条 敏，浜中雅俊，平賀 譲：計算論的音楽理論について，情報処理学会誌，道しるべ：計算の視点から音楽の構造を眺めてみると (1)，Vol.49, No.7, pp.824-830 (2008).
- [13] 浜中雅俊，平田圭二，東条 敏：音楽理論 GTTM に基づくグルーピング構造獲得システム，情報処理学会論文誌，Vol.48, No.1, pp.284-299 (2007).
- [14] 浜中雅俊，平田圭二，東条 敏：GTTM グルーピング構造分析の実装：ルールを制御するパラメータの導入，情報処理学会音楽情報科学研究会，2004-MUS-55, pp.1-8 (2004).
- [15] 松村真宏，三浦麻子：人文・社会科学のためのテキストマイニング，誠信書房 (2009).
- [16] 天野真家，石崎 俊，宇津呂武仁，成田真澄，福本淳一：IT Text 自然言語処理，オーム社 (2007).
- [17] Tojo, S. and Hirata, K.: Structural similarity based on time-span tree, *Proc. 9th International Symposium on Computer Music Modeling and Retrieval* (2012).



三浦 寛也 (学生会員)

2014年公立はこだて未来大学システム情報科学部卒業。同年同大学大学院システム情報科学研究科に進学。現在，修士課程2年。会議記録における知識表現や意味処理に関する研究に従事。



森 理美 (学生会員)

2014年公立はこだて未来大学システム情報科学部卒業。言語の統計的性質に興味あり。



長尾 確 (正会員)

1987年東京工業大学大学院総合理工学研究科システム科学専攻修士課程修了。1987年より日本アイ・ビー・エム株式会社東京基礎研究所。1991年より株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所。1996~1997年にかけて米国イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校客員研究員。1999年より日本アイ・ビー・エム株式会社東京基礎研究所。2001年より名古屋大学工学研究科助教授。2002年より名古屋大学情報メディア教育センター教授。2009年より名古屋大学情報科学研究科メディア科学専攻教授。コンテンツとエージェントを基盤とした人間の知識の共有と再利用に関する研究に従事。



平田 圭二 (フェロー)

1987年東京大学大学院工学系研究科情報工学専門課程博士課程修了。工学博士。同年NTT基礎研究所入所。1990~1993年(財)新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)に出向。2011年より公立はこだて未来大学教授。1993年音楽情報科学研究会初代主査。2005~2007年および2011~2013年本会理事。2010年よりデジタルプラクティス誌編集委員長。シニア会員。現在，音楽情報学に加え，うつ病家族看護者のICT支援，スマートシティの研究に従事。