

オンライン大学等のクラス内議論のグラフマイニングによる特徴の可視化の研究

伊藤泰史⁺¹⁺²⁺³ 五嶋研人⁺² 遠山元道⁺²

概要: ビジネス・ブレイクスルー大学(BBT 大学)をはじめ BBT グループでは、クラス内の議論は非同期かつテキストベースで行なっている。本研究では、クラス内議論への積極的な参加を評価する科目において、議論の流れの特徴を抽出し、分類する。分類された特徴量は、グラフマイニングを用いて可視化する。可視化されたもののパターンからクラスごとの学習の特徴を評価する。

キーワード: グラフマイニング, グラフデータベース, 可視化, オンライン教育, グループ学習, 大学教育

A Study on Visualization of Features of In-Class Discussions in Online Universities by Graph

YASUSHI ITO⁺¹⁺²⁺³ KENTO GOTO⁺² MOTOMICHI TOYAMA⁺²

Abstract: At Business Breakthrough University (BBT University) and other BBT Group companies, in-class discussions are asynchronous and text-based. In this study, we extract and classify features of the discussion flow in a course that evaluates active participation in in-class discussions. The classified features are visualized using graph mining. From the patterns of what is visualized, we evaluate the characteristics of learning in each class.

Keywords: Graph Mining, Graph Database, Visualization, Online Education, Group learning, University education

1. はじめに

2020年4月、新型コロナウイルス感染症拡大防止のため、緊急事態宣言が発出してから、日本の教育機関のデジタル化が一気に進んだ。教室の中での対面方式の授業と同等の機能を持った授業をPCとインターネット環境であればWeb会議システムなどを活用し、自宅でも教室と同等の機能が実現できるようになった。形式的には対面方式の授業と同等のことができるが、教育の質に関して生徒、学生の性善説に頼っているとんでもない。そこで、クラス内の議論を重視する科目群に対し、議論の流れの特徴を抽出し、分類する。分類された特徴ごとの学習効果を分析し、学習目標に達成している特徴を把握することによって学習支援の方式を決めることができれば、議論を重視する科目の教育の質を担保できるかどうかを調査する。尚、議論を重視する科目のデータに関しては、ビジネス・ブレイクスルー大学(BBT 大学)の科目、及び、株式会社A B

Sが運営する「アタッカーズ・ビジネススクール」の科目から選択する。BBT大学の運営母体の株式会社ビジネス・ブレイクスルー(BBT)は、1998年の設立以来、オンライン教育の方式で教育を実現してきており、オンライン教育に関して約20年間分の受講データを蓄積している。

2. BBT 大学におけるオンライン教育

大学は全ての学生の科目受講、及び、履修管理を独・クラスルームで議論をし、理解を深めたり、新しい見解を導き出すなどしてきた。クラス全体、あるいは、グループ全員BBTの理解度向上が重要である。

教育方式に応じて科目を[表1]のようにグループ議論方式、1on1(1対1)方式、知識獲得方式、スキル修得方式の4つの方式に分類できる。

表 1. 教育方式と科目

1 ビジネス・ブレイクスルー大学
Faculty of Business Administration, Business Breakthrough University

2 慶應義塾大学理工学部情報工学科
Department of Information and Computer Science, Keio University

3 アタッカーズ・ビジネススクール
Attackers Business School

情報処理学会研究報告

IPSJ SIG Technical Report

教育方式	科目（上段：BBT 大学／下段：ABS）
グループ議論	経営戦略、組織人事、マーケティング、企業倫理など
	起業論、構想力、ビジョンメイキング、経営者講義など。
lon1	自由研究、卒業研究など
	ビジネスプラン演習
知識獲得	経済、金融、会計など
	ビジネスプラン、起業実践
スキル習得	英語、問題解決など
	プログラミングなど

表1でグループディスカッション方式に対応した科目群について当該科目のクラス内議論の流れを分析し、そのお特徴を見出す。

3. 先行事例

3.1 オンライン教育システム

世界的な流れからいうと2012年に米国ではインターネット環境があればだれでもアクセスできる、大学レベルの高等教育オンライン講義を提供するMOOC (Massive Open Online Course) として、Coursera, edx, Udacityの3社がサービスを提供している。

MOOCが提供する大学レベルの高等教育のオンライン教育としてMOOC教育方法が多く教育機関の考案で受講生が様々な教育環境で知識や経験を共有できるように、複数の教育方法を柔軟に組み合わせるといふ混合教育という概念が出てきた[1]。教育効果の観点から見ると、混合教育は、オンライン教育とリアルでの対面教育の長所を組み合わせたものであり、単一の教育方法よりも多くの利点がある[2]。このような背景のもとMOOC混合教授法は、次の3つの基本要件を満たすものとした。(1)ネットワークティーチングとローカルティーチングの組み合わせ、(2)教師が主役で学生が主体の組み合わせ、(3)自律学習と協調学習の組み合わせ。[3]。

また、受講生の中に学習テーマに高い関心を持つ受講生が数人いるだけで、他の受講生は情報の共有と比較など限定的なことしかできず、時間の経過と共に活動が減少し、最終的には大きく彼らに依存することになる[4]。多様性のある受講生がなるべく均等に発言することが必ずしも学習効果が高いとは限らないかもしれないことを事前に受講生の属性を見て考慮に入れることも指導上の留意点になる。

4. 議論の流れとモデル化

4.1 発言と議論

クラス内議論は1つ1つの発言の積み重ねによって構成されており、その構成要素の最小単位を発言とする。発言には返信の付く発言と付かない発言がある。返信が付いてはじめて議論となる。返信が付いた場合、先にあった発言を親発言、その発言に返信した場合、その発言を子発言という。親発言を遡って一番上位の親発言のことをルート発言と定義する。子発言に返信が付いた場合その子発言をつなぎ発言と定義する。返信が付かない発言でかつルート発言の場合は、孤立発言と定義する。また、返信が付かない発言でかつ返信の発言の場合は底発言と定義する。以上のように定義すると議論はある課題や論点について問題提起するルート発言（親発言）とその発言に返信(レス)する子発言から構成されることになる。議論の構成と議論の流れの中で発生する発言間の関係性として孤立、継続、分岐の3つの基本的な関係がある。

- ① 孤立：親発言（親発言のみ）
- ② 継続：親発言—子発言—子発言
- ③ 分岐：親発言—子発言
 +子発言

テキストベースの議論はこの3つの組み合わせで構成され流れていく。議論は発言の関係性の組み合わせから構成されることが分かった。つまり、各課題やテーマごとの発言の集合体が議論を形成しているのである。議論が発言の集合体になる時には、発言間の関係性の①孤立は排除され、②継続と③分岐の組み合わせで議論は形成され流れていく。この議論の流れ、展開パターンは次の3通りとなる。

1) Deepening discussion

課題の一部について深掘した議論をする。

2) Widening discussion

課題について網羅的に議論する。

3) Growing discussion

課題について広く深く議論する。

情報処理学会研究報告
IPJS SIG Technical Report

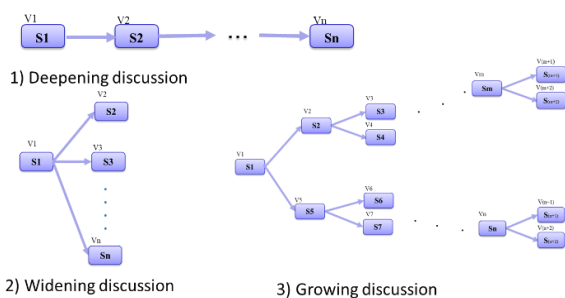


図 1 議論の展開パターン

4.2 議論の流れのモデル化

論は発言の関係性の組み合わせから基本的に図 1 に示す 3 つの展開パターンから構成されるものとする。つまり、各課題やテーマごとの発言の集合体が議論を形成している。ここで、オンライン教育によるクラス内議論やグループ学習の議論は、テーマごとに発展し、一つの発言をノードとみなし、議論に沿って繋げていくと木構造の形式で発展していく。更にオンラインで非同期の方式で議論を進めていくので 1 つ 1 つの発言のノードはタイムスタンプという時系列の属性を持つ。この属性が故、各ノードに時系列の付番をすることが可能である。これによってテーマごとに隣接行列として表現することができる。[5] また、隣接行列は行と列の入れ替えに対して等価であるので、発言者毎に纏めることも可能であり、個別の評価、クラスの評価に繋げていくこともできる。

ここで行列 $A=[a_{ij}]$ は以下のように定義される。

行列 $A=[a_{ij}]$ は、発言 i に対する発言 j が存在する場合には、 $[a_{ij}]=1$ とし、存在しない場合には、 $[a_{ij}]=0$ とする。

また、発言はどの発言からどの発言か、誰から誰への発言かの方向性が明確なので有向グラフとなる。図 1 に示した基本構造の組み合わせは、正方行列に整列した隣接行列で表すことができる。[6] 更に、時間軸通りに並んでいるルート発言毎に作成された隣接行列は、行と列の要素数が同じ正方行列に揃えることができるので、時間軸の概念を取り払い 1 つの集合内の隣接行列からグラフ化した辺の多重化とも考えられる。また、元の隣接行列で 1 が入っているところに、つまり、発言に対してその発言の文字数に置き換え、辺の重みと仮定すれば、重みつき有向グラフとなる。これを重みつき有向グラフの作業ネットワークと捉えると最適な重みづけを算出することも可能になる。以上のようにクラスの受講期間中、時間軸上重複しながら複数のテーマの議論が並行して実行されていても議論のテーマごとにグラフで表現することができる。

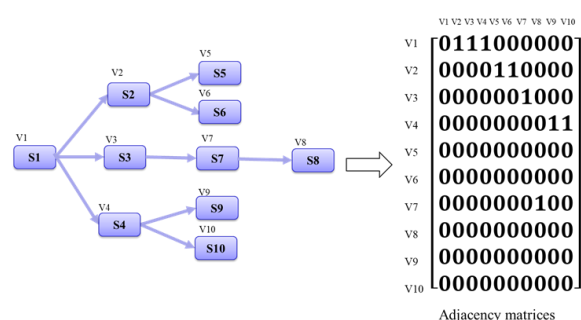


図 2 隣接行列へモデル化

5. グラフ化された議論の可視化

5.1 可視化の狙い

受講生それぞれの発言や議論の流れを講座講師等は把握できる。また、受講生の 1 人 1 人の評価をすることもできる。しかしながら、クラス全体の理解度をリアルタイムで把握することは非同期方式のオンライン教育では容易ではない。その為、講座終了後の受講満足度調査などのアンケート結果を分析することなどが必要となる。が、講座終了後ではなくなるべく講座受講中にフィードバックできるようにするために議論の流れをグラフマイニングし、クラス内の議論の取り組み状況を可視化する[7][8]。この可視化されたものからクラス内理解度を講師、及び、受講生が把握できるようにすることが可視化の狙いである。

5.2 可視化の実践事例

アタッカーズ・ビジネススクールで下記の通り実施した授業の結果を紹介する。

対象講座：起業家養成プログラム 「構想力講座」

“「0 から 1」の発想術” 講座

	受講期間	受講者数
#1	2020 年 10 月～2021 年 4 月	15 名
#2	2021 年 1 月～2021 年 7 月	9 名
#3	2021 年 4 月～2021 年 10 月	17 名
#4	2021 年 7 月～2022 年 1 月	14 名

利用データ項目[フォーラム名、発言者 ID、発言 ID、

返信先 ID、タイトル、本文文字数、送信日時、URL、

削除フラグ、添付ファイルのデータ、マーク情報]

※個人情報に該当する情報は使用していない。

クラス内議論の全発言や Deepening, Widening, Growing Discussion の 3 つの基礎パターンの可視化は次のようになった。

(1) 発言を木構造で可視化した場合

a. クラス全体の可視化

情報処理学会研究報告
IPJS SIG Technical Report

クラス内議論の発言を木構造の形で可視化すると図3のようになる。各ノードは「発言 ID (発言者 ID, 送信日時, 発言文字数*, ポイント**)」となっていて、ルート発言から底発言までの発言の流れを表している。

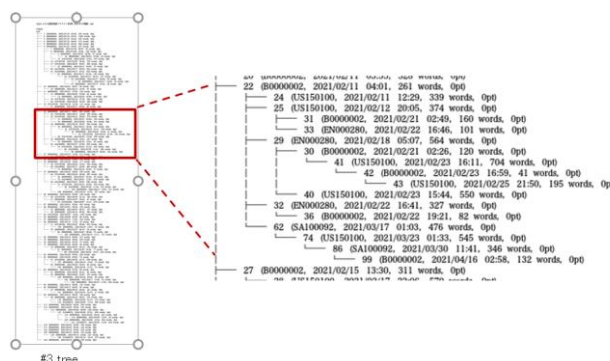


図 3 クラス全体の発言の木構造による可視化

(2) 発言ベースでグラフマイニングして可視化した場合

a. クラス全体の可視化

クラス内議論を発言ベースでグラフの形で可視化すると図4のようになる。各ノードは「発言 ID」で、ルート発言から底発言までの発言の流れを表している。

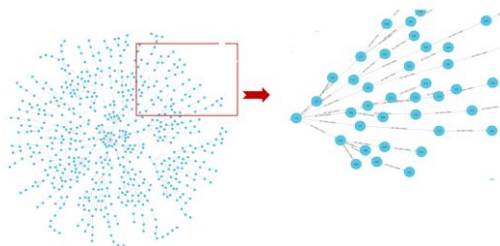


図 4 クラス全体の発言のグラフ化による可視化の全体像と詳細

b. Deepening Discussion の場合

クラス内議論の中から「ルートノードを起点として5ホップ以上続いているノードのみ」をDeepening Discussionのパターンとして抽出すると図5のようになる。

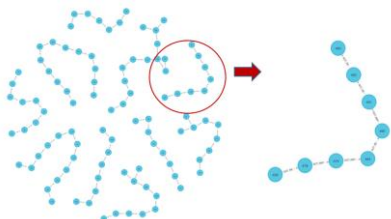


図 5 Deepening Discussion のパターンによる可視化の全体像と詳細

c. Widening Discussion の場合

クラス内議論の中から「6つ以上の子をもつノードのみ」をWidening Discussionのパターンとして抽出すると図6のようになる。

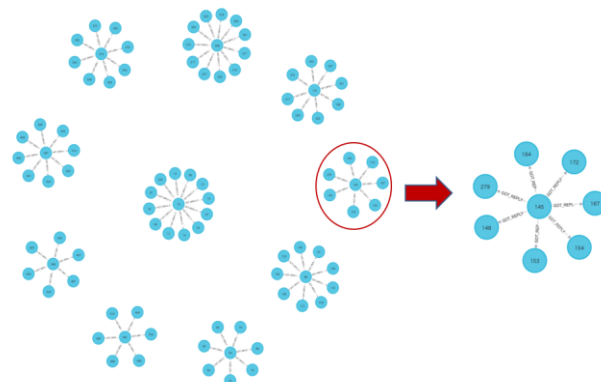


図 6 Widening discussion パターンのグラフ化による可視化の全体像と詳細

d. Growing Discussion の場合

クラス内議論の中から「ルートノードを起点として5ホップ以上続いているノード」かつ「5子以上の子をもつノード」のみをGrowing Discussionのパターンとして抽出すると図7のようになる。

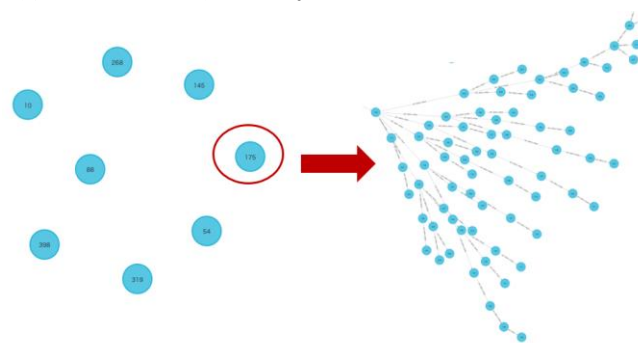


図 7 Growing discussion パターンのグラフ化による可視化の全体像と詳細

(3) 発言者ベースでグラフマイニングして可視化した場合

a. クラス全体の可視化

クラス内議論を発言者ベースでグラフの形で可視化すると図8のようになる。各ノードは「発言者 ID」となり、エッジは発言者間の返信の流れを表している。

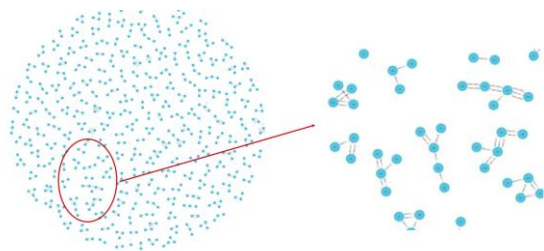


図 8 発言者ベースのグラフ化による可視化の全体像と詳細

b. 発言者毎にノードの色を付けた場合

発言者毎にノードに色を付けてグラフの形で可視化すると図9のようになる。

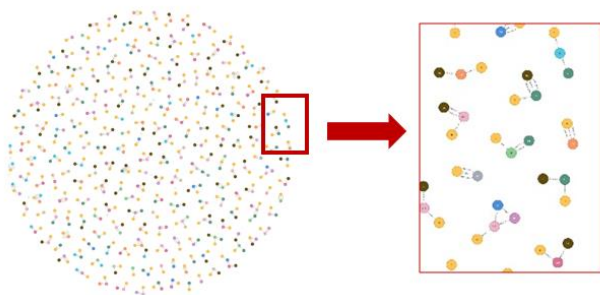


図 9 発言者毎に色付けしたグラフ化による可視化の全体像と詳細

(4) 発言ベースのグラフのノードに発言 ID 以外に意味を持たせ可視化した場合

a. 発言毎にノードの色と大きさを変えた場合

発言毎のノードに発言者を識別できるように色を付け、かつ、そのノードの発言に対する発言文字数に応じてノードの大きさを変えたものをグラフの形で可視化すると図10のようになる。

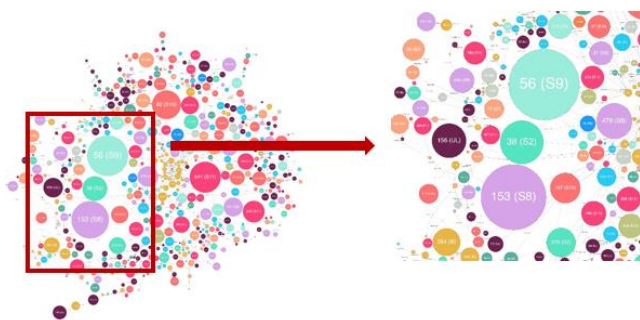


図 10 発言者と発言量を識別できるグラフ化による可視化の全体像と詳細

5.3 本稿紙面に掲載できなかったの参照 URL

本稿に掲載しているグラフ及びページ数の都合上省略したグラフは、下記に配置している。

https://github.com/ToyamaLab/edtech_Visual_Dscs

6. 学習支援への応用

6.1 グループ学習の狙いと観点

グループ学習の狙いは多様な価値観があることを知ること、その多様性の中から議論を重ね新しい価値観を生み出すことである。そして如何にして問題を解決するのか、その問題解決力を求められている。そのために必要なスキルは、1) 論拠に基づいた議論をする力、2) 多様な価値観を尊重する姿勢、3) 集合知を合意形成する調整力が必要である。これからの時代、グローバルな社会で成果を出すためにグループ学習で押さえておくべき観点は、A) 多様性、B) 議論の深み、C) 熱意の3つである。議論を重要視するグループ学習の講座においてオンライン教育システム上でこれらのスキルと観点をクラス内の教育の質を保証する為に管理する指標を表2に示す。また、クラスの受講生が自律的に、協調的に学んでいく為にシステム上で管理できる指標として纏めたものを表3に示す。

表 2 クラス内議論の質管理指標

観点	測定項目	
A.多様性	(A-1) 有効発言数:h	(A-4) 繋ぎ発言受講生数
	(A-2) 発言受講生数:n	(A-5) 単純平均発言数:H/N
	(A-3) 多様化比率	(A-6) 受講生平均発言数:h/n
B.議論の深み	(B-1) 議論の縦方向node数	(B-3) 親node数
	(B-2) 議論の横方向node数	(B-4) 発言総文字数
C.熱意	(C-1) 親発言数	(C-5) 底発言数
	(C-2) 親発言受講生数	(C-6) 底発言受講生数
	(C-3) 受講生別親発言数	(C-7) 有効発言比率
	(C-4) 受講生別親発言受講生数	(C-8) 発言間隔

表 3. 自律的グループ学習を促す管理指標

スキル \ 観点	A. 多様性	B.議論の深み	C.熱意
1)本質を見出す論理力	発言者数	横方向のnode数 縦方向のnode数	発言間隔
2)気付きを与える質問する力	親発言数 多様化率	親node数	平均発言文字数
3)合意形成する調整力	つなぎ発言者数 多様化率	横方向のnode数	底発言者数

6.2 実践事例結果

前述“5.2 可視化の実践事例”と同じ事例でのクラス内議論の質を管理する指標の測定結果を表4に示す。

情報処理学会研究報告
IPJS SIG Technical Report

表 4 指標測定結果

項目	#1	#2	#3	#4
H: 全発言数	291	123	579	211
N: 学生総数	14	9	17	14
A-1. 有効発言数(h)	291	123	579	211
A-2. 発言学生数(n)	8	6	14	9
A-3. 多様化比率 = n/N	57.1%	66.7%	82.4%	64.3%
A-4. つなぎ発言学生数	8	6	14	9
A-5. 単純平均発言数 = H/N	20.8	13.7	34.1	15.1
A-6. 学生平均発言数 = h/n	36.4	20.5	41.4	23.4
B-1. 議論の縦方向ノード数(max)	12	5	11	7
B-2. 議論の横方向ノード数(max)	12	8	27	23
B-3. 親node数	41	39	35	30
B-4. 発言総文字 (max)	20,815	5,317	24,073	30,696
C-1. 親発言数	41	39	35	30
C-2. 親発言学生数	39	37	33	28
C-3. 学生別親発言数 (max)	1	2	0	0
C-4. 学生別親発言学生数	1	1	0	0
C-5. 底発言数	100	65	219	90
C-6. 底発言者数	7	6	14	9
C-7. 有効発言比率	95.5%	82.9%	97.9%	92.9%
C-8. 発言間隔	606.3	596.4	583.6	708.1
発言群数 = 親node数(B-3) - isolate	28	18	23	15

発言をベースにした議論のパターン毎に議論がどのように流れているかその状況を可視化したものを図 11~図 13 に示す。発言者をベースに受講生同士がどう絡んでいるかその状況を可視化したものを図 14~図 16 に示す。

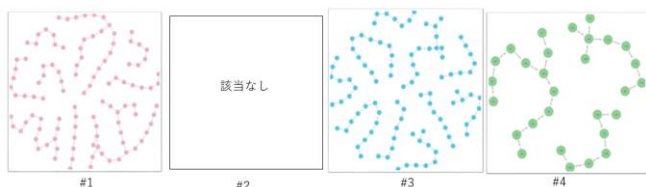


図 11 Deepening Discussion パターンのグラフ化による可視化

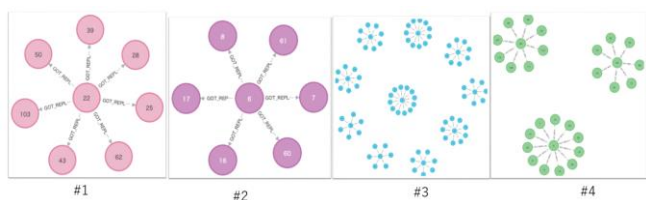


図 12 Widening Discussion パターンのグラフ化による可視化

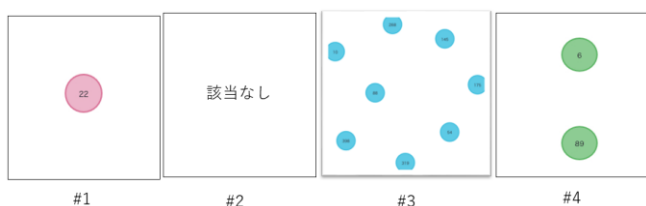


図 13 Growing Discussion パターンのグラフ化による可視化



図 14 発言者ベースのグラフ化による可視化

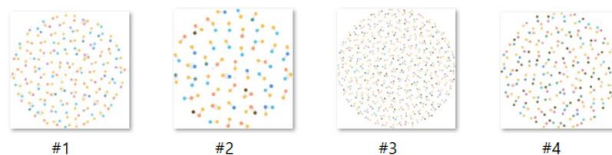


図 15 発言者毎に色付けしたグラフ化による可視化



図 16 発言者と発言量を識別できるグラフ化による可視化

6.3 学習支援方式への可視化の検証

4回の講座を実施してきた結果について以下に纏める。まず、議論の展開の仕方として Deepening, Widening, Growing の3つのパターンがあると図 1 に示したが、4回の講座のクラス内議論のデータを使って検証したところ図 5~図 7 に示すようにグラフ化による可視化によって想定通りできていることが確認できた。

また、図 11~図 15 まで4回の講座の議論の活発度が可視化した其々の図において比較してみると#3の時の講座が一番良く、次に#1の時の講座ということが視覚的に分かる。

一方、クラス内議論の質を管理する指標の測定結果を表 4 から読み解こうとしても受講者数や発言数の多い、少ない、多様化率の高低は分かるがどのような質の議論が行われているのかまでは分からない。発言回数分かるが議論が受講生同士で対話になっているのかは結果の数字だけ見ても分からない。

以上より、オンライン教育システムで学習効果を高める為に取得している表 4 の指標測定結果の数値データを見るより、受講状況を可視化したグラフを見た方がその時の状況を把握し易いことが分かる。

情報処理学会研究報告
IPJS SIG Technical Report

6.4 学習支援方式への応用

学習支援の方式への応用策の1つとして、議論の活性化がある。議論を活性化するに当たって受講生がどの程度やればいいのか分かる仕組みが必要である。そこで測定指標を見える化し、意味ある議論が一定の水準に達したら受講生に分かるようにする。ここで、意味のある議論とは、複数人で1つのことについて纏まった議論をすることである。纏まった議論かどうかを判断するには、現在はオンライン教育システムの管理データ(図18)を使っている。

閾値3 (3ホップ/3子以上)					
項目	#1	#2	#3	#4	
発言総数	291	123	579	211	
議論数	87	44	207	75	
意味ある議論	①Deepening 親ノード起点に3ホップ以上	49	11	149	43
	②Widening 3つ以上の子を持つノード数	14	3	38	8
	③Growing ①と②の条件を両方とも満たしてい	12	2	35	6
	④クラス合計 ①+②+③	51	12	152	45
発言総数	155	18	447	102	
意味ある議論率 = 意味ある議論の発言総数/発言総数 (%)	53.3%	14.6%	77.2%	48.3%	

閾値4 (4ホップ/4子以上)					
項目	#1	#2	#3	#4	
発言総数	291	123	579	211	
議論数	87	44	207	75	
意味ある議論	①Deepening 親ノード起点に4ホップ以上	34	8	71	22
	②Widening 4つ以上の子を持つノード数	5	2	15	5
	③Growing ①と②の条件を両方とも満たしてい	5	2	10	4
	④クラス合計 ①+②+③	34	8	76	23
発言総数	88	15	221	65	
意味ある議論率 = 意味ある議論の発言総数/発言総数 (%)	30.2%	12.2%	38.2%	30.8%	

閾値5 (5ホップ/5子以上)					
項目	#1	#2	#3	#4	
発言総数	291	123	579	211	
議論数	87	44	207	75	
意味ある議論	①Deepening 親ノード起点に5ホップ以上	22	2	40	9
	②Widening 5つ以上の子を持つノード数	2	2	12	3
	③Growing ①と②の条件を両方とも満たしてい	2	2	8	2
	④クラス合計 ①+②+③	22	2	44	10
発言総数	36	10	152	30	
意味ある議論率 = 意味ある議論の発言総数/発言総数 (%)	12.4%	8.1%	26.3%	14.2%	

閾値6 (6ホップ/6子以上)					
項目	#1	#2	#3	#4	
発言総数	291	123	579	211	
議論数	87	44	207	75	
意味ある議論	①Deepening 親ノード起点に6ホップ以上	16	0	15	6
	②Widening 5つ以上の子を持つノード数	1	1	10	3
	③Growing ①と②の条件を両方とも満たしてい	1	0	8	2
	④クラス合計 ①+②+③	16	1	17	7
発言総数	25	0	75	20	
意味ある議論率 = 意味ある議論の発言総数/発言総数 (%)	8.6%	0.0%	13.0%	9.5%	

※発言総数: isolate含む, deleteは除く
※議論数: 1つでもレスが付けば議論成立とみなす

図18 議論に関する管理データ

このような類似例から類推して判断している。これを将来的には、グラフを使って判断したい。つまり、一定の水準はグラフを使って可視化したDeepening(図5)、Widening(図6)、Growing(図7)のそれぞれの図形の密度が一定水準を越したら達成とする。

継続的に議論をするように促すべく、議論のパターンを可視化した生成図の図4~図7を受講生にも見せるようにする。図4でクラス全体の状況が分かり、図5でDeepening、図6でWidening、図7でGrowingのフェーズで後どのくらい議論すると一定の水準をクリアできるのかが分かればモチベーション維持にもつながる可能性がある。

具体的には、①発言数、②多様化率、③Deepening 議論数、④Widening 議論数、⑤Growing 議論数の5つの管理指標を作り、受講生のオンライン教育システムで見えるようにする。それぞれ目標値を決め、5つの指標が100%になる

ことを目指すレーダーチャートとDeepening、Widening、Growingの可視化のグラフのデザインを使い、右記の図17のようなユーザーインターフェイス(U/I)とする。本U/Iによって、個人的には自律的に、そして、同じクラスで学ぶ受講生は協調的に動き出し、相乗効果が出てくる可能性も期待できる。

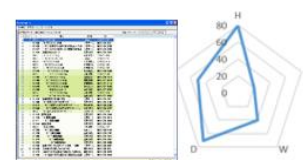


図17 受講生画面 I/F

7. これからの課題

最後に、本論文では、オンライン大学等においてアウトプット型、創造型、グループ学習型の多様性の中で議論を促すような教育方式を求められている科目群についてその学習効果を上げるための学習支援方式を引き続き検討することとしたい。そこで学習目標に達成したクラス内議論の流れの特徴に注目し、クラス内の議論をモデル化し、グラフマイニングすることによって、現在進行形の授業の学習効果の到達点を想定し、どのようなアクションを起こせば学習効果が高くなるかダイナミックに学習できるようにしたい。下記図19は、発言者と発言量が分かるクラスの状況を示すグラフで、講座受講開始から①発言回数が100回時点、②3ヶ月後、③全期間終了後の状況を一覧にしたものである。

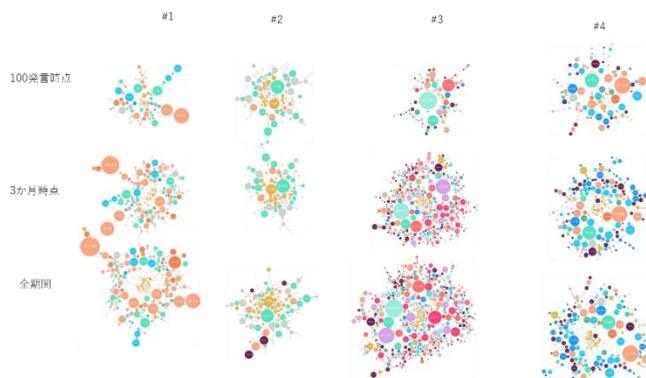


図19 クラス状況の時系列グラフ

このようにグラフ化されたデータを使ってどの時点で発言のエッジが繋がったら一定の水準に達したか、あるいは、どの時点で発言のエッジが切れたら一定の水準に達しないかをシュミレーションできるようにし、学習効果を高めることに貢献したい。

参考文献

- [1] Wilson, L., & Gruzd, A. (2014). MOOCs—international information and education phenomenon?. *Bulletin of the Association for Information Science and Technology*, 40(5),
- [2] Metcalfe, M., & Sastrowardoyo, S. (2016). Sense-making innovative systems: Prestigious MOOCs. *Systems Research & Behavioral Science*, 33(3), 437–451. <http://dx.doi.org/10.1002/sres.2344>
- [3] Xie Jian, Xu Binbin, Zych Izabela(2018)."Application of the MOOC Mixed Teaching Method Under the Background of Internet + Education" *Educational sciences : theory & practice*, Vol.18 (6), p.2611-2616 Xie Jian, Xu Binbin, Zych Izabela(2018)."Application of the MOOC Mixed Teaching Method Under the Background of Internet + Education" *Educational sciences : theory & practice*, Vol.18 (6), p.2611-2616
- [4] Andrew A. Tawfik, Todd D. Reeves, Amy E. Stich, Anila Gill, Chenda Hong, Joseph McDade,
- Venkata Sai Pillutla, Xiaoshu Zhou, Philippe J. Giabbanelli,(2017). "The Nature and Level of Learner-Learner Interaction in a Chemistry Massive Open Online Course (MOOC)"
Springer Science+Business Media New York 2017
- [5] Robin J. Wilson(1996) "Introduction to Graph Theory 4t edition"
Pearson Educatioin Limited, England.
- [6] Reinhard Diestel(2018)
Graph Theory (Graduate Texts in Mathematics)
Springer
- [7] Donald E. Knuth(1993)
The Stanford GraphBase: A Platform for Combinatorial Computing
Addison-Wesley Professional
- [8]Charu C. Aggarwal , Haixun Wang(2010)
Managing and Mining Graph Data (Advances in Database Systems Book 40) Springer