

協調学習のための対話支援
インタフェースに関する研究

林 佑樹

目次

第1章	序論	1
1.1	研究の背景	1
1.2	研究の目的	3
1.3	本論文の構成	6
第2章	円卓場インタフェース	9
2.1	協調学習対話空間の構築	9
2.1.1	注目意識に応じた情報取得	11
2.1.2	参加意識の向上	14
2.2	円卓場インタフェースの枠組み	16
2.2.1	システムの全体像	16
2.2.2	システムの構成	18
2.3	本章のまとめ	23
第3章	注目意識に応じた視線・視野の反映	25
3.1	参加者の視線・視野	25
3.2	システムの概要	26
3.3	注目度に応じた視線・視野の反映手法	27
3.4	システムの動作	30
3.5	評価実験	33
3.5.1	実験内容	33
3.5.2	実験結果と考察	35
3.6	本章のまとめ	38

第4章	参加者の行為に基づく注目対象の推定手法	39
4.1	参加者の注目意識の変化	40
4.2	注目対象の推定手法	42
4.3	注目度に応じた参加者の視線・視野	44
4.4	評価実験	45
4.4.1	実験内容	45
4.4.2	実験結果と考察	47
4.5	本章のまとめ	48
第5章	発言における注目意識の反映	49
5.1	協調学習における注目発言	49
5.2	発言者・対象者を把握できる発言表示	52
5.3	注目発言の検出手法	54
5.3.1	発言に含まれるキーワードと発言意図の特定	54
5.3.2	発言の注目度の計算	55
5.4	学習空間における発言の反映手法	57
5.4.1	発言の移動方法	57
5.4.2	注目発言/通常発言の表示	58
5.5	システムの動作	61
5.6	評価実験	62
5.6.1	実験内容	62
5.6.2	注目発言検出機能の妥当性	64
5.6.3	発言表示の有効性	67
5.7	本章のまとめ	68
第6章	協調学習における参加意識の向上	71
6.1	協調学習における貢献への気づき	71
6.2	発言参照動作の反映手法	72
6.3	貢献発言の可視化手法	73
6.3.1	参照発言の貢献度の計算	73
6.3.2	貢献度に基づく貢献発言の可視化	75

6.4	システムの動作	77
6.5	評価実験	78
6.5.1	実験内容	78
6.5.2	発言参照動作反映手法の結果	82
6.5.3	貢献発言可視化手法の結果	83
6.6	本章のまとめ	86
第7章	結論	89
7.1	本論文のまとめ	89
7.2	今後の課題	92
	謝辞	95
	参考文献	97
	研究業績	103

目次

1.1	対面環境における協調学習	4
1.2	本論文の構成	8
2.1	参加者配置における情報取得	11
2.2	円卓場インタフェースにおける協調学習	17
2.3	円卓場インタフェースのシステム構成	19
2.4	円卓場インタフェース利用時の様子	20
2.5	メイン・ウィンドウ	20
2.6	チャット・ウィンドウ	21
2.7	円卓場ウィンドウ	22
2.8	ノート・ウィンドウ	23
3.1	参加者の注目度合いを反映した円卓場ウィンドウ表示の概要	26
3.2	注目対象が変化したときの視線移動	27
3.3	システムの概要	28
3.4	円卓場の中心からの参加者の距離	29
3.5	他者のカメラ画像方向の決定	30
3.6	HARMONY のチャット画面	31
3.7	参加者の注目対象と X の円卓場ウィンドウ表示例	31
3.8	注目対象に応じた視線・視野の移動例 (1)	32
3.9	注目対象に応じた視線・視野の移動例 (2)	32
3.10	注目対象に応じた視線・視野の移動例 (3)	33
3.11	グループ 3 の視線固定ウィンドウの表示例	34
3.12	表 3.4 に対する各質問項目の結果	36

4.1	発生元と対象先に応じた参加者の行為	42
4.2	円卓からの視線の角度	45
4.3	自身の注目度に応じた視野の変化例	45
5.1	発言履歴と発言意図の例	52
5.2	発言者と対象者に応じた発言移動	53
5.3	注目発言テキストの移動	53
5.4	キーワードと発言意図の抽出例	55
5.5	キーワードに対する理解度の更新フローチャート	56
5.6	発言の移動方法	58
5.7	注目発言表示のための表示属性値の種類	60
5.8	発言表示のフローチャート	62
5.9	他者から他者への発言の表示例	63
5.10	注目発言の表示例	64
5.11	「説明」の発言意図を持つ発言履歴例	66
5.12	注目発言の検出失敗例	66
6.1	発言参照動作における光球移動の軌跡	74
6.2	貢献度の算出例	75
6.3	貢献発言の可視化例	76
6.4	発言参照動作の処理フローチャート	78
6.5	貢献発言可視化の処理フローチャート	79
6.6	円卓場ウィンドウにおける発言参照動作の表示例	80
6.7	ノート・ウィンドウにおける参照発言の編集例	81
6.8	貢献発言可視化ウィンドウ	81
6.9	貢献発言ノードの表示例	82
6.10	実験終了時の貢献発言可視化ウィンドウ	84
6.11	貢献発言可視化ウィンドウ情報に基づく発言例 (グループ1)	86
6.12	貢献発言可視化ウィンドウ情報に基づく発言例 (グループ2)	86

表目次

1.1	研究課題	6
3.1	図 3.8, 図 3.9, 図 3.10 における各参加者の注目対象	33
3.2	実験の議論内容と利用したウィンドウ	34
3.3	各グループの学習順番	35
3.4	質問内容	35
3.5	各グループの質問項目結果	37
3.6	グループの発言数	38
4.1	行為における注目変化対象	41
4.2	注目度の計算例	43
4.3	各行為における注目度更新定数の初期値 α_i	46
4.4	グループの発言数	47
4.5	検出された注目対象に対する発言, ノート・クリックの割合	47
5.1	発言意図の種類及び定義	50
5.2	発言の対象者における注目発言数	51
5.3	発言意図における注目発言数	51
5.4	発言意図の手掛かり語	56
5.5	注目発言表示手法の結果	59
5.6	注目発言と通常発言の表示属性値	61
5.7	システムが検出した発言意図の再現率・適合率	65
5.8	システムが検出した注目発言の再現率・適合率	65
5.9	発言表示に関するアンケート内容と結果	68

6.1	貢献への気づきの種類及び期待される効果	73
6.2	2 グループの実験結果	83
6.3	発言参照動作に関するアンケート項目	83
6.4	貢献発言可視化ウィンドウに関するアンケート項目	84
6.5	可視化ウィンドウの利用情報に基づく発言の種類	85

第 1 章

序論

1.1 研究の背景

近年の情報通信技術 (ICT: Information Communication Technology) の飛躍的な発展に伴い、教育・学習の支援を目指した教育支援システムが盛んに研究されている [1, 2] . 教育学習現場では、教員による知識の教授だけでなく、学習課題や興味ある事柄を仲間同士で自発的に議論して、互いの知識の理解を深める協調学習 (collaborative learning) が重要視されている . 生涯学習という言葉が定着した現在、他者との相互作用を通して学習する機会はますます増えることが予想され、ICT により情報ネットワーク環境で学習活動を支援することは非常に重要な課題となっている [3] .

協調学習はグループ学習の一種であり、参加者が同一の課題について議論することで個人の知識獲得を目指す学習形態である [4] . インターネットや LAN の普及により、計算機を用いた協調学習支援に関する研究領域 (CSCL: Computer Supported Collaborative Learning) に多くの研究者が取り組んでいる [5] . CSCL の発展に伴い、教師からの一方通行的な知識の教授だけではなく、参加者相互の議論、理解を通して知識の構築が可能となった . 議論を介して互いに自身の考えを交換し、その内容を理解、質問、反論する過程を構成する協調学習の効果は古くから認識されており、自己の知識を外化することによる知識の強化や理解の深化、他者の問題解決行動や振舞いの観察による協調的な態度の育成など、他者との相互作用を通じた教育・学習効果の有用性は多岐に渡る [6] . CSCL は、複数人による作業の効率化や生産性の向上を目指した共同作業支援に関する研究領域 (CSCW: Computer Supported Cooperative Work) を技術的な背景とする . とともに参加者間の協調的な活動を対象としている点は同じであるが、CSCW がグループ全体の生産

性を高めることを目指す一方で、CSCL では学習過程における参加者の相互作用の質や学習目的に至るプロセスを支援することに主眼を置く [7]。すなわち、グループに与えられた学習課題の達成そのものよりも、その議論過程が重要であり、円滑なコミュニケーションを達成できる学習環境が不可欠である。

参加者が協調学習に集中して取り組むためには、相互作用を通して他者の存在を意識し、共存していることを自覚できる協調学習環境が望ましい。しかし、情報ネットワークを介した協調学習では、グループの雰囲気や状況といった情報を的確に把握できず、対面環境のように他者の存在を意識することが困難である。例えば、テキスト・チャットを用いて協調学習を行った場合、文字情報のみがやり取りされるため、個々の参加者の特性を把握しにくい。また、他者の表情や動作がわからないため、円滑な意思疎通も困難である。一方、ビデオ画像を利用したテレビ会議システムでは、他者の姿や行動が視覚的に表現されるが、固定カメラから撮影された他者の映像が一様に表示されるだけであり、同一の学習空間に他者と共存しているという感覚を持つことが難しい [8]。

分散環境で円滑なコミュニケーションを実現するためにアウェアネス支援 (awareness support) に関する研究がある [9]。アウェアネスとは、作業場に誰がいて、どのような活動があり、誰と誰が話しているかといった状況情報への気づきであり、CSCW やグループウェアにおける研究分野を中心に探求されてきた。対面環境におけるコミュニケーションでは、言語情報に加えて視覚や聴覚から得られる非言語情報が重要な情報となり [10]、同期的な対話では特に非言語的な情報への気づきが重要である。石井は、共同作業を行う過程を、コラボレーション、コミュニケーション、アウェアネスの3つからなる階層構造として捉えている [11]。コラボレーションはコミュニケーションの上位概念であり、コラボレーションを円滑に行うためには情報交換や意思疎通などのコミュニケーションが要求される。このコミュニケーションの契機となるのがアウェアネスである。アウェアネスが不足した状況では、参加者間の一体感を維持しにくくなり、孤立感を味わうことにもなりかねない。國藤は、協調的な活動におけるアウェアネスを「グループで共同作業を行う際の状況情報への気づき」とし、コミュニケーションの開始やプロセスの保持に重要な概念としている [12]。対話を通して共に学びあう協調学習では、円滑なコミュニケーションに繋がる学習環境のアウェアネス情報に参加者が気づくことが必要である。一方で状況情報にも様々な情報があるため、それら全てを網羅した支援は難しい。また、限られた仮想空間に過度にアウェアネス情報を表現し過ぎると、認知的負荷による効率的な活動を妨げる

要因になることが指摘されており [13]，参加者個々の活動意識に応じた適切なアウェアネス情報に参加者自身が気づけることが必要である。

協調学習における効果的な学習過程を実現するための学習環境への要求として，Watanabe は「空間の共有」(space sharing) と，「場の共有」(field sharing) の概念を提唱している [14, 15]．空間の共有は，物理的に異なった場所にいる参加者が論理的に一つの空間にいるかのように仮想的な構成を実現するという概念であり，従来の face-to-face の下に探求されてきた概念でもある．協調学習では数名程度の参加者が同じ立場のもとで議論する．したがって，全ての参加者の表情や行動などの特徴を自身の位置から自然に取得できる学習空間の構成が求められる．場の共有は，個々の参加者が同一空間で活動している仲間と共存していることを実感しつつ，自身の存在性を他者に知らしめる環境を実現する概念である．参加者間の相互作用がもたらす意識の変化に応じて，学習環境にいる仲間や対話のやり取りを直接的に観察できることを必要とし，face-to-face を超えた hand-in-hand の実現が求められる．ここでは，他者と共存しているという「他者との共存感」，自身が学習に参加しているという「自己の存在感」を参加者が実感できることが必要であり，学習活動によって変化する参加者の注目意識に応じた情報を提供し，新たなコミュニケーションに繋がる仕組みが要求される。

1.2 研究の目的

情報ネットワークが普及した現在，教育現場だけでなく自宅にしながら共通の目的を持つ仲間が仮想環境に気軽に集い，協調学習を行う機会はますます増えることが予想される．このような協調学習を支援するためには，学習過程における円滑なコミュニケーションを達成するための対話基盤が必要となる．本研究の目的は，遠隔分散環境下の同期的な協調学習時のコミュニケーションを達成できる対話インタフェースを構築することである．協調学習に集う他者の存在を認識できる学習空間の構成を議論し，参加者が円滑に議論するためのアウェアネス情報を参加者の対話窓口となるインタフェースに表現することで，空間の共有，場の共有を達成した協調学習環境を実現する．本研究では数名程度で構成される参加者を対象とし，教育現場で実施されているグループ学習のように教師役などの役割を担う参加者は想定しない．また，大規模な装置等を用いるのではなく，一般的な計算機と安価な Web カメラを利用しながらテキスト・チャットにより対話する状況を対象とし，汎用性の高い対話インタフェースを実現する。

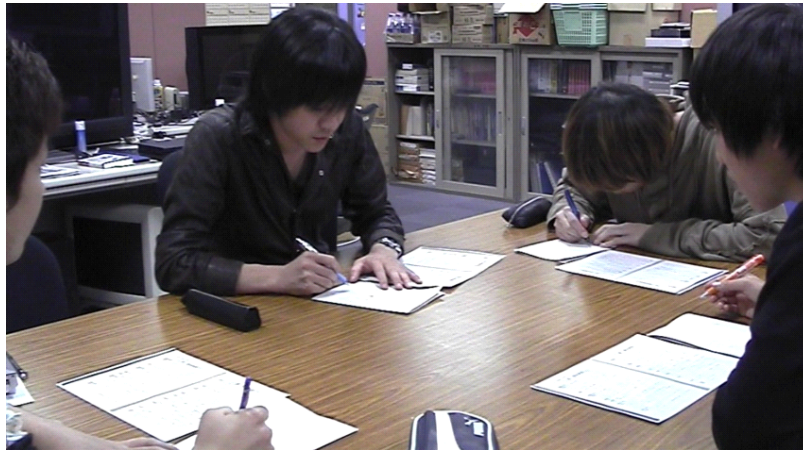


図 1.1 対面環境における協調学習

対面環境の協調学習は、複数人の参加者が同一空間、同一時間に存在する状況で実施される。図 1.1 に対面環境における協調学習時の様子を示す。参加者は学習状況に応じて変化する関心のある他者の表情や動作を観察することで、その空間に集う仲間を身近に感じ、共に学習していると実感できる。また、発言のやり取りのなかでも理解に役立つ発言に注目することで、互いの知識や知見を深め合うことができ、仲間と共存しながら対話しているという実感を得る。一方、他者がいるという安心感から協調学習への参加意識が低下し、他者や議論内容を踏まえた発言への意識が低下してしまう恐れがある。ここでは、仲間と共に学習しているという実感を持ちながら、参加意識を高めるための仕組みが求められる。以上をまとめると、(1) 協調学習に集う仲間の存在を意識できる学習空間のなかで、(2) 参加者の注目意識に応じた他者の表情や動作、発言に対する情報取得を達成し、(3) 協調学習への参加意識を高めながら議論できる対話インタフェースを実現することが必要である。

以下、協調学習時のコミュニケーションを支援するために、本論文で実現する目的を説明する。

(1) 協調学習対話空間の構築

協調学習で参加者が同一の立場で議論する場合、全ての参加者の表情や動作を、個々の参加者の位置から自然に取得できる空間の構成が望ましい。本研究では、席順による序列に関係なく、参加者相互に相手の顔を観察でき、対等の関係で自由に発言できる「円卓」(round-table) の概念を協調学習に導入した協調学習対話ブ

ラットフォームとなる円卓場インタフェースを構築する。

(2) 注目意識に応じた情報取得

本研究では、参加者が注目する他者を自動的に推定した上で、円卓場インタフェースに表現される学習空間で参加者の視線・視野を動的に変化させる。時々刻々と変化する、注目している他者への気づきをインタフェースに表出することで、注目意識に応じて他者の情報を取得する手段を実現する。また、参加者の認知負荷とならない直感的な発言のやり取りを意識させるために、発言者と、その対象者を直感的に認識できる発言表示手法を実現する。発言のやり取りの中で参加者が注目する発言を特定し、その注目意識に応じた発言への気づきを表現することで、他者との共存感を高める支援をする。

(3) 参加意識の向上

協調学習では、議論を通して学習課題に関連する知識を得ることができる。個々の参加者がメンバの一員として学習に参加していると自覚し、学習課題を意識した多くの発言がやり取りされることで有益な議論を達成できる。我々は、参加者が他者の知識獲得に貢献しているという実感を得ることで、自己の存在感を自覚できると仮定する。本研究では、有益な発言への動機付けを支援するという目的のもとで、議論時の貢献への気づきを表現する手法を提案する。

表 1.1 に、研究課題をまとめる。本研究が提案する円卓場インタフェースは、特定の学習に特化した機構ではなく、協調学習で最も本質的な行為である対話を支援することに焦点を当てている。また、学習目標ごとに設定された対話プロセスをシステムが主導的に制御するのではなく、コミュニケーションを促すための気づきをインタフェースに表現することで、参加者の主体的な対話を保証する。様々な協調学習への拡張を意識した協調学習用の学習環境を実現することで、学習内容に特化した仕組みやアプリケーションを拡張機能として付加することが可能となり、分散環境で展開される様々な協調学習を支援するための対話プラットフォームとなる。

表 1.1 研究課題

	空間の共有	場の共有	
達成目標	学習環境の構築	注目意識に応じた 情報取得 (他者との共存感)	参加意識の向上 (自己の存在感)
アウェアネス の種類	-	・他者への気づき ・発言への気づき	・貢献への気づき
アプローチ	・個々の参加者を 容易に認識できる 空間構成	・他者/発言の注目意識 変化のモデル化 ・注目意識に応じた 学習空間の情報提示	・発言参照動作 情報の提示 ・参加者の貢献 度合いの可視化

1.3 本論文の構成

本論文の構成を図 1.2 に示す。本論文では、まず 2 章で我々が提案する仮想協調学習環境となる円卓場インタフェースの枠組みを示す。円卓場インタフェースでは、協調学習における参加者のコミュニケーションを促進するために、他者への気づき、発言への気づき、そして貢献への気づきが反映される。2 章では、協調学習におけるコミュニケーション支援に求められる機能について議論し、個々の気づきを提供するための機能を明らかにする。

3 章、4 章では、参加者の視野が表現された円卓場インタフェースにおける個々の参加者への注目意識の反映手法を議論する。実空間の協調学習では、発言や動作、そして相手の表情といった学習活動情報を、特定の他者や所有物に注目することで獲得できる。3 章では、発言に基づく注目している他者（注目対象）の推定手法 [16, 17] に基づき、円卓場インタフェースにおける参加者の注目対象に応じた視線・視野の反映手法を提案する。また、4 章では、参加者の注目意識は、議論時の発言だけでなく、他者を見る、ノートをとるといった学習時の非言語的な行為によっても変化するという仮定のもと、これらの学習時の行為に応じて変化する注目対象の推定手法について述べる。

5 章では、協調学習時の発言に対する注目意識の反映手法を議論する。協調学習では、他者と発言を交わし合うことで知識や知見を深めることができる。一方、テキスト・チャットを用いた同期的な協調学習では、誰が、誰に、何を話しているか、即時に理解できない

状況が頻繁に発生してしまう。5章では、発言者・対象者を直感的に把握できる発言表示を提案し、予備実験に基づき定義された協調学習における重要な発言（注目発言）を円卓場インタフェースに反映させる手法を述べる。

6章では、協調学習における貢献への気づきを反映した議論支援手法を提案する。有益な議論を達成するためには、学習課題を意識した多くの発言が出されることが望ましい。本研究では、議論時の貢献への気づきとして即時的/包括的な貢献への気づきを反映させるための手法を提案する。即時的な貢献は、リアルタイムに進行する話題への貢献を表し、包括的な貢献は議論全体における参加者全体の貢献を表す。6章では、貢献への気づきを反映した円卓場インタフェースを構築する。

最後に、7章で本研究で得られた知見、成果をまとめ、円卓場インタフェース全体に関する今後の研究課題について述べる。

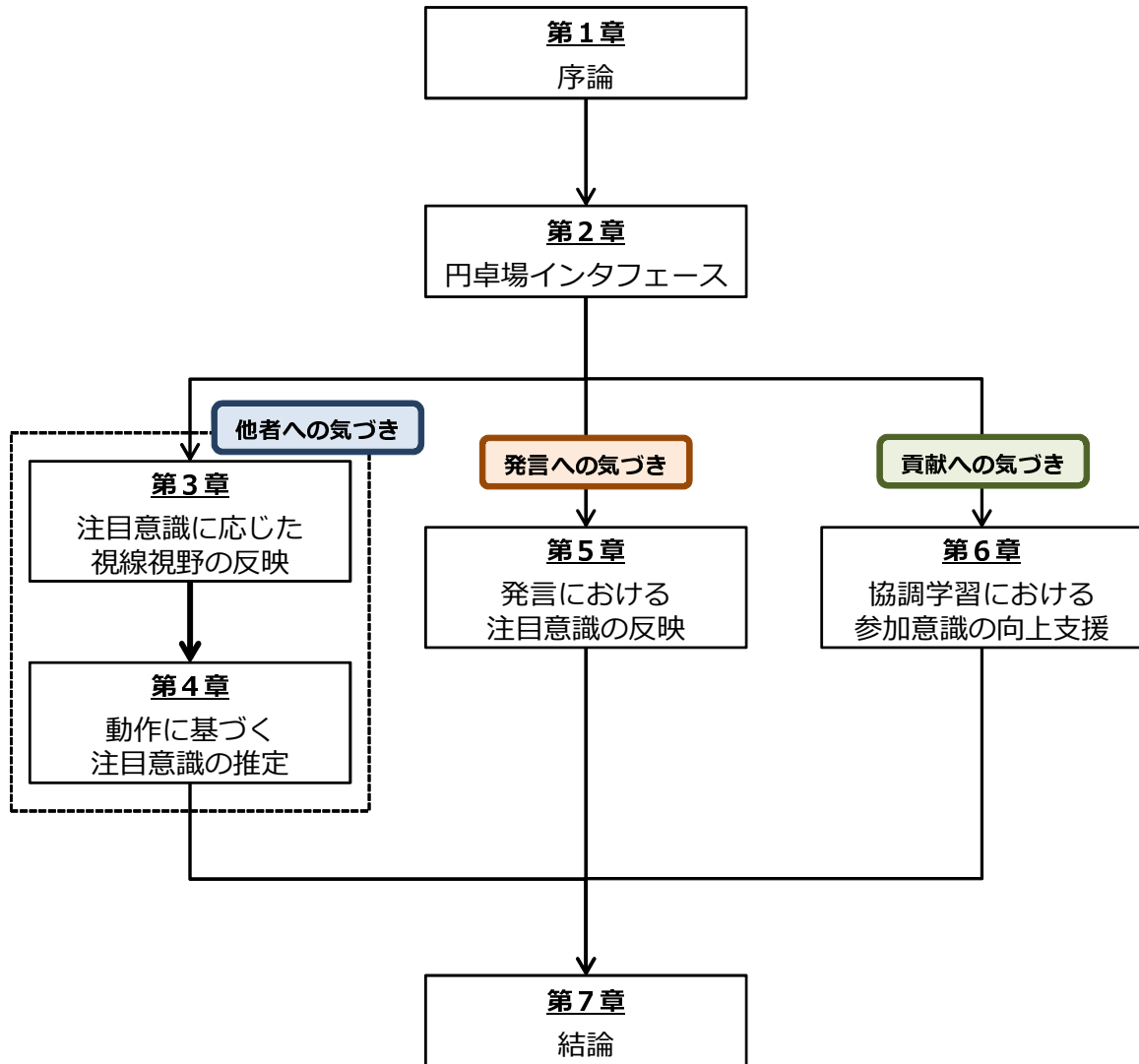


図 1.2 本論文の構成

第 2 章

円卓場インタフェース

協調学習とは、参加者が同一の課題について意見を交換し、協力しながら進める学習である。このような協調学習を ICT により支援することを目指した研究分野は CSCL と呼ばれ、分散環境にしながら仲間と共に学習するための仕組みが研究されている。情報ネットワークを介した環境で効果的な協調学習を達成するためには、協調学習の主体となる個々の参加者が共に学習を進める仲間の存在を意識でき、能動的に学習に参加していることを実感できる学習環境が必要となる。

本章では、協調学習時の参加者のコミュニケーションを支援するために、まず 2.1 節において協調学習の対話空間構成について述べ、対話環境における参加者の注目意識に応じた情報取得及び、参加意識の向上に向けたアプローチを議論する。そして、2.2 節で本研究で構築する円卓場インタフェースの枠組みとその機能の概要を示す。

2.1 協調学習対話空間の構築

グループウェアの観点から協調学習支援システムを捉えた場合、その支援対象に応じて空間と時間の軸に分類できる [18]。空間の軸では参加者全員が同室で作業する対面型、参加者が物理的に分散して作業する遠隔分散型という性質で捉えることができる。また、時間の軸では参加者が独立した時間に作業する非同期型、全員が同時に作業する同期型に分けられる。本研究は分散環境における同期的な協調学習に焦点を当て、協調学習時における参加者間のコミュニケーション支援環境の構築を目標としている。分散環境で同期的な協調学習を支援するためには、学習課題に向けて円滑に学習活動できる空間が求められる。一方、情報ネットワークを介した環境では、実空間の対面的なコミュニケーションのように同一空間を他者と共有しているという実感を持ちにくく、他者や他者の発言を意識

しながら議論することが難しい。

協調学習に集中して取り組むためには、参加者が学習空間内に存在する他者や所有物などの対象を物理的に認知できることが必要である。ユーザの仮想空間への没入感を高めるために、ゲームを初め、様々な分野でバーチャル・リアリティや現実空間を模写したコンピュータ・グラフィックスが追及されている [19–21]。これらの研究は、リアリティのある仮想空間を構築することで、実空間と同じような感覚で他者と対話できることを目指している。したがって、協調学習の物理的特徴を仮想環境に反映させることは、実空間に近いコミュニケーションを参加者に体感させることが可能となる。協調学習では全ての参加者が等しい立場で参加するため、仲間の存在を意識でき、学習状況をどの位置からでも等しく観察できるような学習空間の構成が求められる。我々は、効果的な対話を実現するための協調学習空間の特徴として以下の要素を挙げる。

- 他者と同一の空間を共有していると実感できる学習空間
- 協調学習の状況を等しく観察できる参加者配置

対面環境の協調学習は、複数の参加者が存在する空間で実現する。学習空間における参加者の物理的構成には様々な形状を想定でき、発言や周辺にいる参加者の情報取得のしやすさは参加者の位置に依存する。図 2.1(a) のように、四角形の机周りに参加者が配置された状況では見えやすい人と見えにくい人が生まれ、同じ辺の隣接していない参加者の情報取得は困難となる。一方、円卓状に参加者を配置した場合、図 2.1(b) のように参加者が互いに向かい合う構成となり、全ての他者の表情や行動などの特徴を個々の位置から自然に取得できる。円卓状の参加者配置を取り入れたものに、中世の騎士道物語の一つである、アーサー王と円卓の騎士が利用した円卓がある [22]。席順による序列がないため、対等の関係で自由に発言する場合によく用いられており、近年、国際会議などでも Round table の討論会が企画されている。野口らは対面会議における座席配置について、対面条件の座席配置に関する知見が複合現実空間内においても有効であるかを評価した [23]。その結果、各参加者が同じ立場で自由に討論する場合、参加者を表すアバタを一行に並べるよりも、机を囲むようにして表示したほうが適切な位置関係を築くことができ、議論相手との一体感が生まれやすいことを示した。したがって、円卓を囲んだ参加者配置は協調学習に最も適していると言える。

本研究では、円卓の概念を取り入れた仮想協調学習空間を構築する。参加者が円卓の周

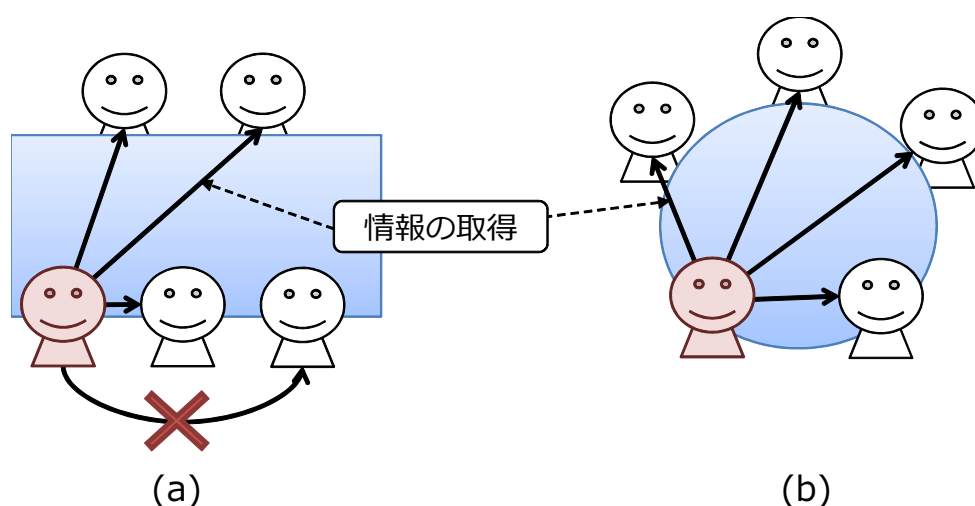


図 2.1 参加者配置における情報取得

囲に静的に配置された三次元空間を構築し，参加者の位置と他者との物理的關係から学習空間における他者との關係を認知できるようにする．円卓では参加者間に物理的な仕切りがなく，全員の存在を認識でき，全ての参加者の表情や動作を等しく観察することができる．また，円卓では全員が同じ立場で自由に意見を交換しやすい．このように円卓を囲んだ協調学習では，参加者が同一空間で協調しながら対話できる．本論文では，参加者が円卓の周辺で協調的に学習する空間を「円卓場」とし，円卓場の特徴を反映した対話インタフェースを「円卓場インタフェース」と定義する．

2.1.1 注目意識に応じた情報取得

注目意識に応じた参加者の視線・視野

仮想空間内のコミュニケーションを支援するため，様々なアプリケーションが利用されている [24–27]．これらのシステムは，テキスト・チャットや音声チャット，共有ホワイトボードなどのコミュニケーション手段に加え，他者の情報を取得するためのカメラ画像を用いている．しかし，固定されたカメラから撮影された他者の映像が一様に表示されるだけであり，単純な face-to-face を実現するだけでは同一空間を他者と共存しながら対話しているという感覚を持つことができない [8]．

協調的な作業では，参加者は無意識のうちに他者の視線情報を利用しながらコミュニケーションを維持している [12]．このような視線情報は他者の着眼点などを把握する上で

重要である．大規模な装置を用いて大型ディスプレイと実空間をシームレスに接続し，リアリティを追求した研究が数多くなされている．Kauffらは，三次元仮想空間で円卓を囲んだ参加者間の仮想的な視線一致を実現するビデオ会議システムを提案した [28]．2地点における画面上部4箇所を設置されたカメラ映像を合成して視点位置を求め，視線を一致させた参加者の視線方向をディスプレイに表現している．福井らの多地点遠隔会議システム e-MulCS では，モーションプロセッサにより検知した参加者の視線方向をアバタの向きに反映し，誰が誰を見ているかという参加者の視線関係を仮想空間に表現している [29]．Vertegaal は，参加者が共有するドキュメントにおいて，個々の参加者が見ている箇所を赤外線 LED により検出し，参加者のスナップショットが配置された仮想対話空間内に提示する GAZE Groupware System を開発した [30]．参加者が何に着眼しているかを伝達するための視線情報への気づき (gaze awareness) を提供することで，実空間に近い対話状況を実現している．参加者の動作情報をリアリティのある形でディスプレイに表現することは，コミュニケーション支援において重要な要素である．一方で，他者との共存感を分散環境で達成するためには，リアリティを追求することで対話を支援するだけでなく，個人の意識を反映した情報を積極的に提供できる対話空間であることが要求される [14,15]．学習活動に応じて変化する，参加者の注目意識に応じた他者を対話インタフェースに強調して表現することで，単純な対面感とならない相互共存性による情報取得が実現できる．

参加者の注目意識に応じた情報獲得を目指した研究として，伊藤らは協調学習における注目している他者を推定し，そのカメラ画像を表示するインタフェースを提案している [16,17]．推定機能では，発言に付加された対象者・種類などの情報から他者の注目度を計算し，最も注目度の高い他者を注目対象として推定する．しかし，インタフェースに表示される参加者は1人であるため，参加者同士が同室で協調学習しているという意識を持つことができない．本研究では，2.1節で提案した円卓場インタフェースに参加者の視野を表現し，他者に対する注目意識を「他者への気づき」として表出する．システムは，参加者の注目している他者を「注目対象 (focusing target)」として特定し，参加者の注目対象情報に対応してインタフェースに表示する他者の情報を変化させる．注目している仲間があたかも傍にいて，その仲間の情報を適宜取得できることで，共に学習しているという実感を参加者は得ることができる．

発言における注目意識の反映

協調学習で参加者は、他者に発言することで意見やアイデア、質問に対する回答を得る。また、他者が悩んでいる部分や疑問点に対して助言を与えることができる。このように、協調学習では他者と発言を交わし、理解に役立つ重要な発言に注目することで、互いの知識や知見を深め合うことができる。CSCL 分野では、参加者のコミュニケーション手段としてテキスト・チャットを利用する機会が多い [31]。参加者は自身の考えをまとめてから発言できるため、集中して対話できる。また、音声を利用した対話と比べて対話時の発言履歴を閲覧できる。一方、同期的な協調学習でテキスト・チャットを用いた場合、誰が、誰に、何を話しているかを、即時に理解できない状況が頻繁に発生する。この現象はチャット混乱 (chat confusion) と呼ばれ、対話内容の把握や理解の妨げに繋がることが知られている [32]。また、理解に役立つ重要な発言は個々の参加者に応じて異なると考えられるが、発言がテキストで画一的に表示されるため、発言内容が重要であるかどうかを理解した上で判断しなければならない。実空間の対話では、複数人が雑談していても自身が関心のある発言を自然と聞き取ることができる聴覚効果 [33] が働き、他者の発言を即時的に区別・判断し、自身に関係する発言を取捨選択することができる。したがって、仮想空間で円滑に対話するためには、発言者・対象者を意識することで発言のやり取りを理解し、個々の参加者が重要な発言を即時的に把握できることが重要である。

テキスト・チャットでは、連続して表示された発言対が必ずしも前の発言を受けているとは限らない [34]。これは、発言の内容が入力されてから他者に送信されるまでに時間差が生じるためである。発言の対応を把握させるために、Smith らは対象となる発言を発言履歴から選択して構造化し、発言構造をスレッドで表示するシステムを提案した [35]。構造化された発言系列を見ることで、新たな話題や質問、コメントといった情報を理解できる。しかし、スレッド表現では表示される発言間の時間的な情報が失われると同時に、複数の興味のある話題が同時に進行するため参加者に認知的負荷が掛かり、対話のやり取りをリアルタイムに支援することは難しい [31]。

発言履歴に含まれる重要な発言を検出する研究として、山口らは患者と医者との発言履歴から、対話時に注目されるべきだが無視されてしまった発言を例外発言として抽出する手法を提案した [36]。同手法では、対話内に出現する単語をベクトル化して、ある発言とその前後の発言群との類似度を計算し、類似度が低い発言を例外発言としている。西田ら

は、リアルタイムコンテンツ視聴時のコミュニケーション支援システムを提案した [37]。同システムでは、配信された画像上にチャット・ウィンドウを作成することで、コンテンツと発言の関係を明示化する機能を持っており、発言に付加される同意/非同意ボタンを押すことで、参加者が注目している発言が強調表示される。これらの研究では、重要な発言を検出・強調するために前後の発言群を利用したり、参加者のフィードバックを利用しているため、リアルタイムに発言を評価・提示できない。また、全ての参加者にとって一様な表現となっており、個々の参加者によって異なる注目発言を識別することができない。

本研究では、テキストチャット・コミュニケーションにおけるチャット混乱に代表される問題点を解決するために、参加者の集う学習空間内で発言テキストを移動させることで、誰が、誰に対して発言しているかを直感的に表現する。また、個々の参加者が対話時に注目すると考えられる重要な発言を「注目発言 (focusing utterance)」とし、発言に対する注目意識を「発言への気づき」として表現する。一般に、コミュニケーションは“言葉のキャッチボール”と言われる。単に言葉のボールを相手に投げるだけでなく、それを相手が受け止め、ボールを投げ返すことで、相手の存在を意識した対話が成立する。発言のやり取りを効果的に表現し、注目すべき発言を他の発言と区別して表現することで、無味乾燥な対話とならない、参加者同士の言葉のキャッチボールを実現する。

2.1.2 参加意識の向上

2.1.1 節では、他者との共存感を共有するためのアプローチを示した。協調学習の目的は学習課題に関する知識の獲得であり、議論は知識を獲得するための手段である。参加者は単にメンバの一員としてその場に存在し、周りの様子を観察するだけでは議論が進まない。他者に知識を与える立場でもあるということを常に意識し、学習課題に対して積極的に発言することが求められる。ここでは、仲間と共に学習しているという実感に加えて、協調学習への参加意識そのものを高める、すなわち、自己の存在感を意識できることが必要であると考えられる。

分散環境における同期的な協調学習時の議論支援を目的に、これまでに多くの研究がなされている [38]。協調学習における発言内容を制御する研究として、Baker らが提案した C-CHENE システムがある [39]。参加者が発言するときに、「I propose to...」、
「Because...」などの伝達意思がカテゴリ分けされた文頭語句を付加して発言することで、

議論内容に関連した対話を進めることができる。また、議論戦略をデザインする研究として、会議を円滑に進行させるために、6色ハット発想法 [40] を協調学習に適用したシステムがある [31, 41]。6色ハット発想法は、参加者が現在被っている帽子の色に合わせて思考し、発言内容を切り替えることで発想の隔たりを減らす手法である。これらの研究は、システムが意図的に発言内容を制御することで効果的な議論の進行を狙いとしている。

一方、参加者の議論状況を可視化し、発言への動機づけを高めることを目指した研究がある。小谷らは、参加者の議論における影響度を定量化してチャット画面に表示する議論支援システムを提案した [42]。影響度を計算するために、参加者の発言回数や発言に付加された「提案」、「賛成」などの発言意図、発言の対象者、予め定められた議論内容を表すキーワード情報などを利用している。望月らは、協調学習におけるコミュニケーション活動の内省やモニタリングを支援するために、議論内容を可視化する手法を提案している [43]。同手法では、学習内容を表すキーワード集合を予め設定し、個々の参加者が各キーワードを含む発言を何回したかという集計データを対応分析 (correspondence analysis) することで、参加者とキーワードに対する関係が2次元平面に可視化される。また、議論時の参加者間のインタラクションを支援するために、Ogataらは協調学習環境 Sharlok を提案した [44, 45]。知識を参照している/参照したという行動や、学習者がある知識について議論している/議論したという行動への気づきをナレッジ・アウェアネス (knowledge awareness) と定義し、参加者に気づかせることで、参加者間の議論を誘発している。これらのシステムでは、他者の知識理解に参加者がどのように影響を与えて議論を進めているかは扱っておらず、他者や議論全体を意識した発言を誘発させてはいない。

協調学習では、自身の発言に対する頷きや各自の発言内容が他者に参照されるといった状況に気づくことで、参加者の一員として学習に参加しているという実感が得られる。自身の発言が他者の知識理解に注目・評価されたという事実が、仲間の一員としての自覚を促し、内発的な議論の動機付けに繋がるのが期待できる [46]。本研究では、協調学習における参加意識が高まる状況として、参加者自身の発言が他者のノートに参照される動作 (発言参照動作) に着目する。ここでは、発言参照動作がもたらす、他者に知識を与えたという実感を「貢献への気づき」として表出する手法を導入する。他者の知識理解に自身の発言が役立っている、すなわち他者の学習に貢献していることに参加者自身が気づくことで、参加意識をより向上させ、効果的な議論が展開されるという枠組みを想定する。

2.2 円卓場インタフェースの枠組み

2.2.1 システムの全体像

2.1 節で示した学習空間を実現するため、本研究では協調学習の対話基盤となる円卓場インタフェースを提案する。図 2.2 に、円卓場インタフェースを利用した協調学習の概念図を示す。情報ネットワークを利用している参加者が仮想協調学習環境で一つの円卓を囲むように配置されることで、空間の共有が実現される。円卓場インタフェースでは、仮想空間を一人称視点で見たときの個々の参加者独自の視野が表示されている。

本システムには、2.1.1 節、2.1.2 節で示したアプローチを達成するために、(i) 注目意識に基づく視線・視野の反映機能、(ii) 発言における注目意識の反映機能、(iii) 貢献動作情報の反映機能の 3 つの機能が組み込まれている。(i) と (ii) の機能では、注目意識に応じた学習活動情報として注目する他者、発言情報を円卓場インタフェースに強調して表示することで、場の共有における他者との共存感を高めるための支援を実現する。また、(iii) の機能では、他者の知識理解に貢献していることを示す発言参照動作に基づく情報を円卓場インタフェースに表示することで、場の共有における自己の存在感を高める支援を実現する。

以下に各機能の概要を示す。

(i) 注目意識に基づく視線・視野の移動機能

円卓場インタフェースで、参加者自身の注目対象に応じた視線・視野を「他者への気づき」として表現する [47, 48]。本機能では、学習時の発言や参加者のノートに対する行為といった協調学習時に行う参加者の行為をトリガとして、個々の参加者の注目度を算出し、最も高い注目度を持つ参加者を注目対象として特定する。インタフェースでは、参加者と円卓場との距離を注目対象の注目度に応じて変化させ、その位置から注目対象を視線方向として、自身の視野が決定される。3 章では視線・視野の表現手法を、4 章では参加者の行為に基づく注目対象の推定手法の詳細を述べる。

(ii) 発言における注目意識の反映機能

学習空間で展開される発言のやり取りに基づいて、注目発言を参加者に印象づけるよう

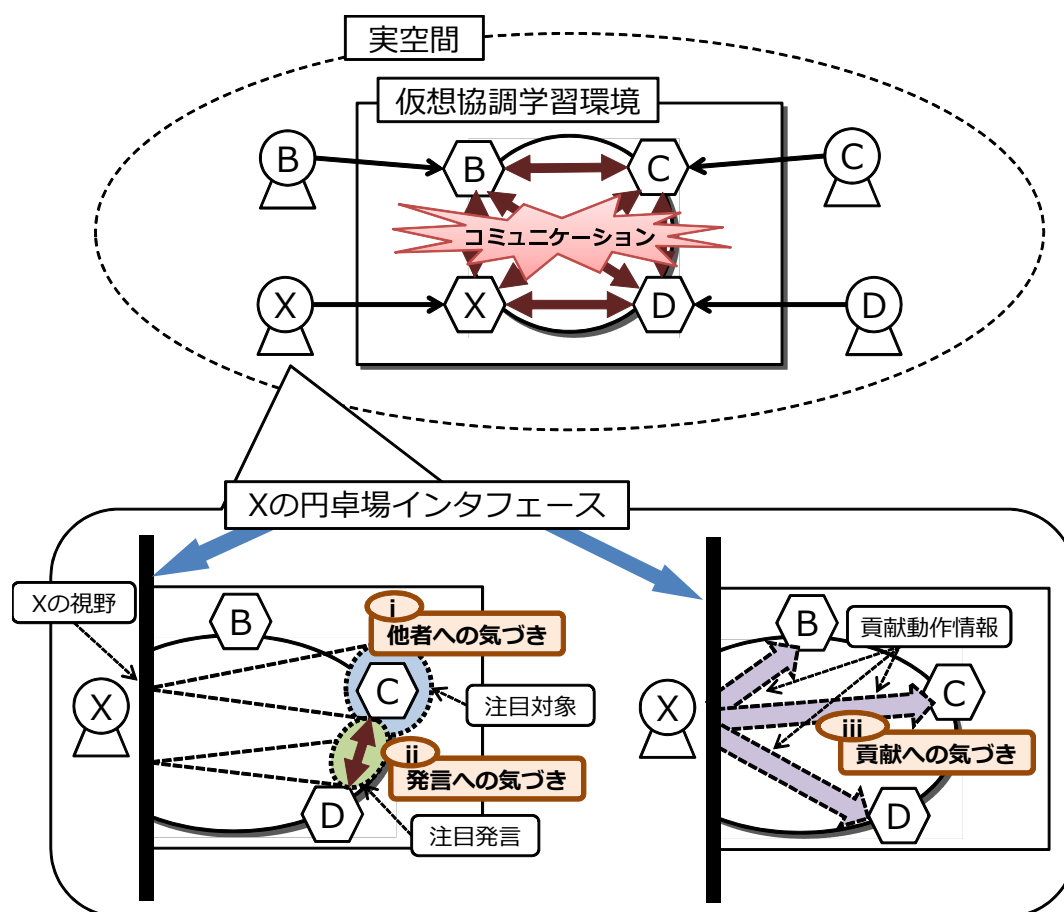


図 2.2 円卓場インタフェースにおける協調学習

に強調して表示することで、「発言への気づき」を直感的に表現する [49]。本機能では、選択された発言の対象者情報に応じて、発言者から対象者に向けて発言テキストを移動させる。注目発言は、形態素解析エンジンにより抽出される単語情報と、予備実験で定義された手掛かり語を用いて特定される発言意図情報からリアルタイムに検出される。5 章では、発言への気づきを円卓場インタフェースに表出する手法を議論する。

(iii) 貢献動作情報の反映機能

参加者の発言参照動作を、「貢献への気づき」として円卓場インタフェースに反映する [50]。本機能では、「即時的な貢献への気づき」、「包括的な貢献への気づき」を区別して扱う。即時的な貢献は、リアルタイムに進行する話題への貢献を表し、包括的な貢献は議論全体における参加者全体の貢献を表す。即時的な貢献への気づきを反映するために、発言参照動作に基づき被参照者から参照者の位置まで光球を移動させる。また、包括的な

貢献への気づきを表現するために、参照された発言を貢献発言ノードとして可視化する。参照された発言の編集テキストに含まれる語の組合せからノードの半径を計算し、関連するノードをエッジで結ぶことで、各話題について、誰が、どれほど有益な発言をしてきたかを表示する。6章では、即時的/包括的な貢献への気づきを反映させるための手法を述べる。

2.2.2 システムの構成

本研究で提案する円卓場インタフェースには、これまでの研究を通して2つのバージョンが存在する。1つは、Kojiriらが提案した協調学習支援システム HARMONY [51] に円卓場ウィンドウを付加したバージョンである。もう一つは、独自に開発しているバージョンであり、協調学習用の対話基盤となる拡張性に富んだインタフェースを目指して、前バージョンの機能を引き継いだ上で、今後追加されるであろう機能を付加しやすいシステム構成となっている。本節では、現行バージョンのシステムについて説明する。

円卓場インタフェースのシステム構成を図 2.3 に示す。システムはサーバと、Adobe AIR アプリケーション¹⁾として構築したクライアント・アプリケーションに分かれている。AIR アプリケーションは、Adobe AIR ランタイムを計算機にインストールすることで実行できる。本システムの実行時には、参加者の映像を配信するための Web カメラをクライアントとなる計算機に接続する必要がある。サーバでは、RTMP(Real Time Message Protocol) に準拠したオープンソースの Red5 サーバ [52] と、AIR アプリケーションへのリアルタイムなメッセージ送信が可能な BlazeDS サーバ [53]、参加者の認証のための OpenID consumer サーバが Apache Tomcat 5.5 上で動いている。OpenID 認証 [54] として、Mixer²⁾、Google³⁾、Yahoo!⁴⁾などの ID を利用できる。また、Web カメラのストリーム画像を配信するために、Adobe 社の Flash Media Server を利用している。発言や参加者などの履歴は、リレーショナル・データベースに保存されている。

クライアント・アプリケーションは、メイン・コンポーネント、チャット・コンポーネント、円卓場コンポーネント、そしてノート・コンポーネントから構成される。また、2.2.1 節で示した、注目意識に基づく視線・視野の移動機能、発言における注目意識の反

¹⁾ <http://www.adobe.com/jp/products/air.html>

²⁾ <http://mixi.jp/>

³⁾ <http://www.google.com/>

⁴⁾ <http://www.yahoo.com/>

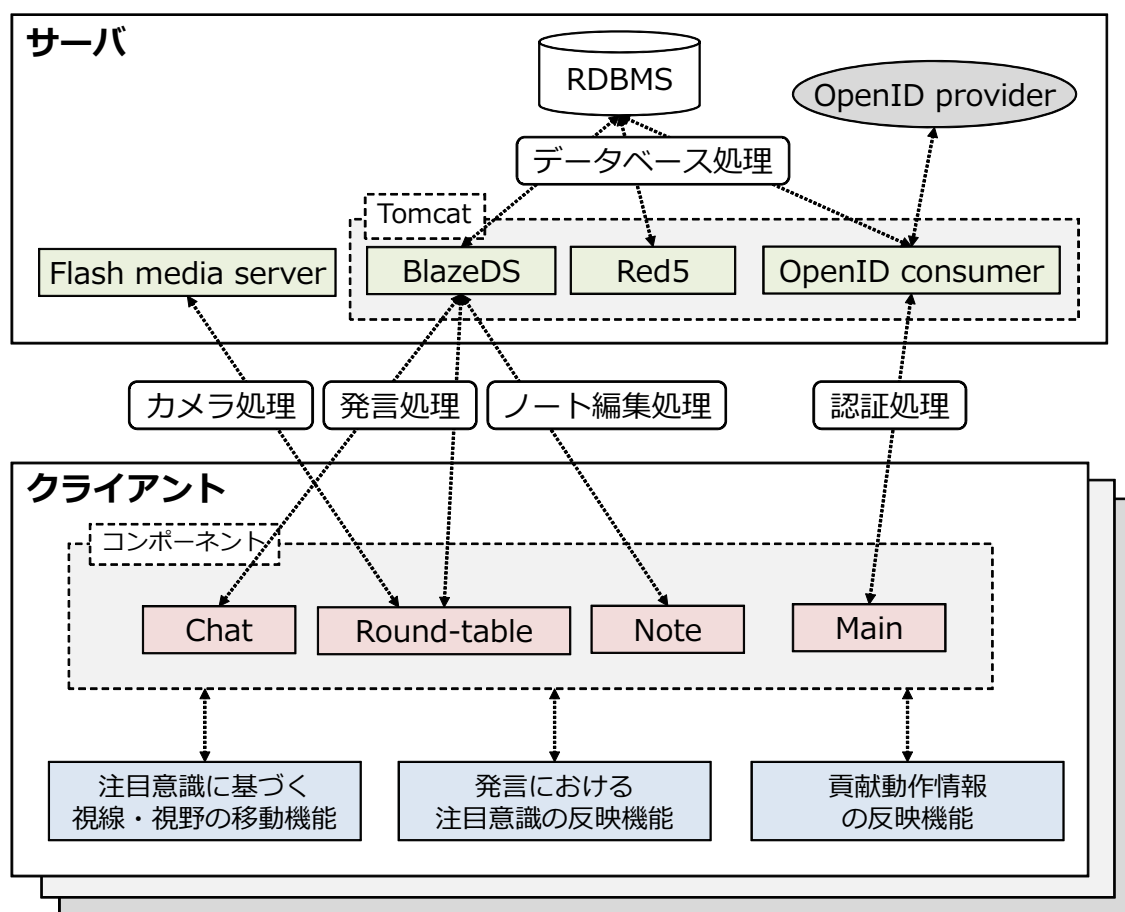


図 2.3 円卓場インタフェースのシステム構成

映機能，貢献動作情報の反映機能が実装されている．図 2.4 に，円卓場インタフェースを実際に利用している状況を示す．参加者は通常の計算機と Web カメラを用いて本システムを利用することができる．

以下，各ウィンドウについてその機能を説明する．

メイン・ウィンドウ

図 2.5 にシステムを起動した時に表示されるメイン・ウィンドウを示す．メイン・ウィンドウでは OpenID プロバイダを選択して認証することで，協調学習を行うための学習部屋及び，参加者名を設定できる．参加者は学習部屋一覧リストから参加する学習部屋を選択して入室し，学習を開始する．現在のシステムでは，学習部屋に入室後，円卓場ウィンドウ，テキスト・チャット，ウィンドウ，そしてノート・ウィンドウが表示される．



図 2.4 円卓場インタフェース利用時の様子



図 2.5 メイン・ウィンドウ

チャット・ウィンドウ

図 2.6(a) にチャット・ウィンドウを示す．参加者は図 2.6(a) で表されるデフォルト・ビューで対話する．発言内容入力欄へ発言を入力する際，参加者の名前リストから発言の対象者を選択できる．対象者は，「Shift+ キー」または，「Shift + キー」でも選択することができる．対象となる発言がある場合には対話内容一覧から発言をクリックして対象発言を選択できる．また，参加者が現在の対話構造を把握できるように，対話内容を木構造で表現する機能も付加した．デフォルト・ビューにあるツリー・ビュー切替ボタンを

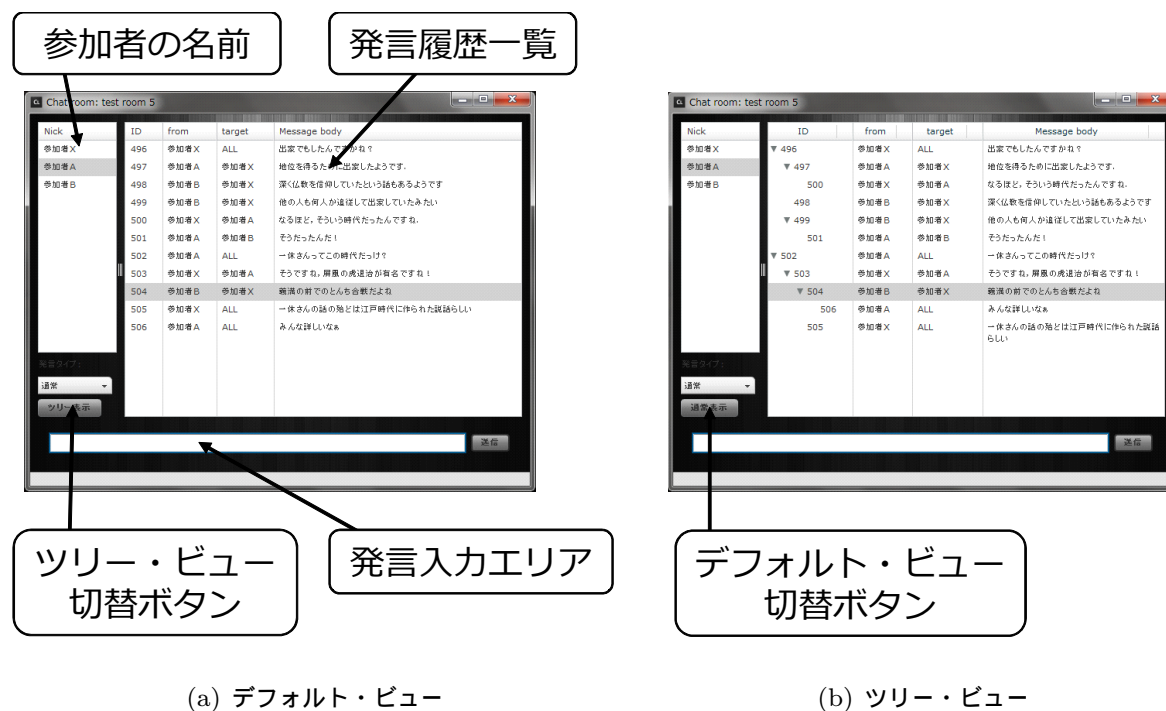


図 2.6 チャット・ウィンドウ

押すことで、ツリー・ビューに切り替えることができる。図 2.6(b) にツリー・ビューを示す。対象発言情報から親発言を特定し、発言の親子関係を階層的に表現できる。

円卓場ウィンドウ

図 2.7 に円卓場ウィンドウを示す。円卓場ウィンドウには学習環境に対する個々の参加者の視野が表現される。円卓場ウィンドウでは、ActionScript で 3D の描画を実現するための Papervision3D ライブラリ⁵⁾と、オブジェクトに円滑な動きを付ける Tweenler ライブラリ⁶⁾を利用して実装している。中心に表示される画像は注目対象を表し、円卓の周囲には参加者の視野に存在する他者のカメラ画像が均等に配置される。他者のカメラ画像は、Web カメラを通して取得される。また、参加者は円卓場ウィンドウから直接発言することができ、チャット・ウィンドウと同様に、発言の対象者情報を発言対象選択コンボボックスから選択して発言できる。発言は円卓場ウィンドウの発言履歴一覧エリアに表示される。

本論文では「円卓場インタフェース」と「円卓場ウィンドウ」の言葉を区別するために、

⁵⁾ <http://www.osflash.org/papervision3d/>

⁶⁾ <http://code.google.com/p/tweener/>



図 2.7 円卓場ウィンドウ

「円卓場ウィンドウ」を参加者自身の視野を指す言葉とし、「円卓場インタフェース」を円卓場ウィンドウを含めたシステム全体を指す言葉として用いる。

ノート・ウィンドウ

参加者自身の解やアイデアを記述するためのノート・ウィンドウを、図 2.8(a) に示す。テキスト・エリアは HTML 形式で表示可能であり、下部にある各装飾ボタンを押すことで文章を装飾できる。また、学習終了時にノート内容を HTML 形式で保存できる。一方、他者のノート内容を閲覧したい場合は、円卓場ウィンドウにある他者のノート閲覧ボタンをクリックすることで、その時点における円卓場ウィンドウの中心に存在する他者のノート内容を見ることが出来る。図 2.8(b) に注目対象のノート・ウィンドウを示す。他者のノート・ウィンドウは閲覧のみ可能であり、円卓場ウィンドウで視線が変化した時に自動的に消滅する。

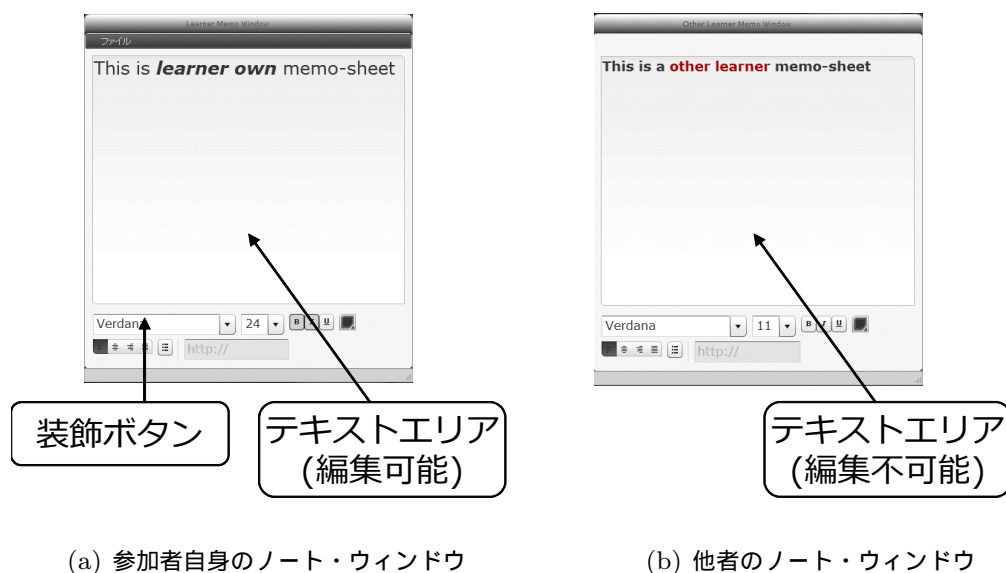


図 2.8 ノート・ウィンドウ

2.3 本章のまとめ

本研究では、分散環境における協調学習時のコミュニケーションを支援することを最終目標としている。本章では、情報ネットワーク上の協調学習環境における支援機能を学習活動の枠組みから検討し、その対話基盤となる円卓場インタフェースを示した。ここでは、参加者の表情や動作を自然に取得できる学習空間を構成するために、円卓の概念を仮想空間に導入した。

3章～6章では、本章で簡潔に述べた注目意識に基づく視線・視野の移動機能、発言における注目意識の反映機能及び、貢献動作情報の反映機能について詳しく述べる。

第3章

注目意識に応じた視線・視野の反映

本章では、2章で提案した他者の存在を容易に認識できる円卓場ウィンドウで、「他者への気づき」を表出する手法について議論する。実空間において参加者は注目している他者を中心に据え、注目の度合いに応じて自身の視野の大きさを変化させている。本研究では、参加者自身の注目対象となる他者と、その他者に対する注目の度合いに応じて学習空間内の視線・視野を動的に変更する手法を提案する。学習時に注目している他者の情報を円卓場ウィンドウに強調して表示することで、仲間と共に学習しているという実感を参加者に与える。

以下、3.1節で参加者の視線・視野を移動させるためのアプローチを示し、3.2節で本研究が利用する注目対象推定機能の概要とシステムの概要を述べる。3.3節では、円卓場ウィンドウにおける注目意識に応じた視線・視野の反映手法を示し、3.4節で構築したシステムにおける視線・視野移動の表示例を示す。3.5節で評価実験を通して提案手法の有効性を議論し、3.6節で本章の結果をまとめる。

3.1 参加者の視線・視野

円卓場ウィンドウに表示される情報は、個々の参加者の視野に対応する。対面環境の協調学習では、参加者は関心のある他者を注目対象として注視することで、相手の表情や動作といった情報を集中的に獲得できる。また、注目の度合いに応じて、注目対象が視野を占める割合が変化する。すなわち、注目の度合いが高くない場合、注目対象の周囲に存在する情報も同時に認識できる。一方、注目対象に意識が集中している場合、周囲の情報は全く無視される。

本研究では、注目対象とその注目度の変化に応じて、視線方向と視野を円卓場ウィンド

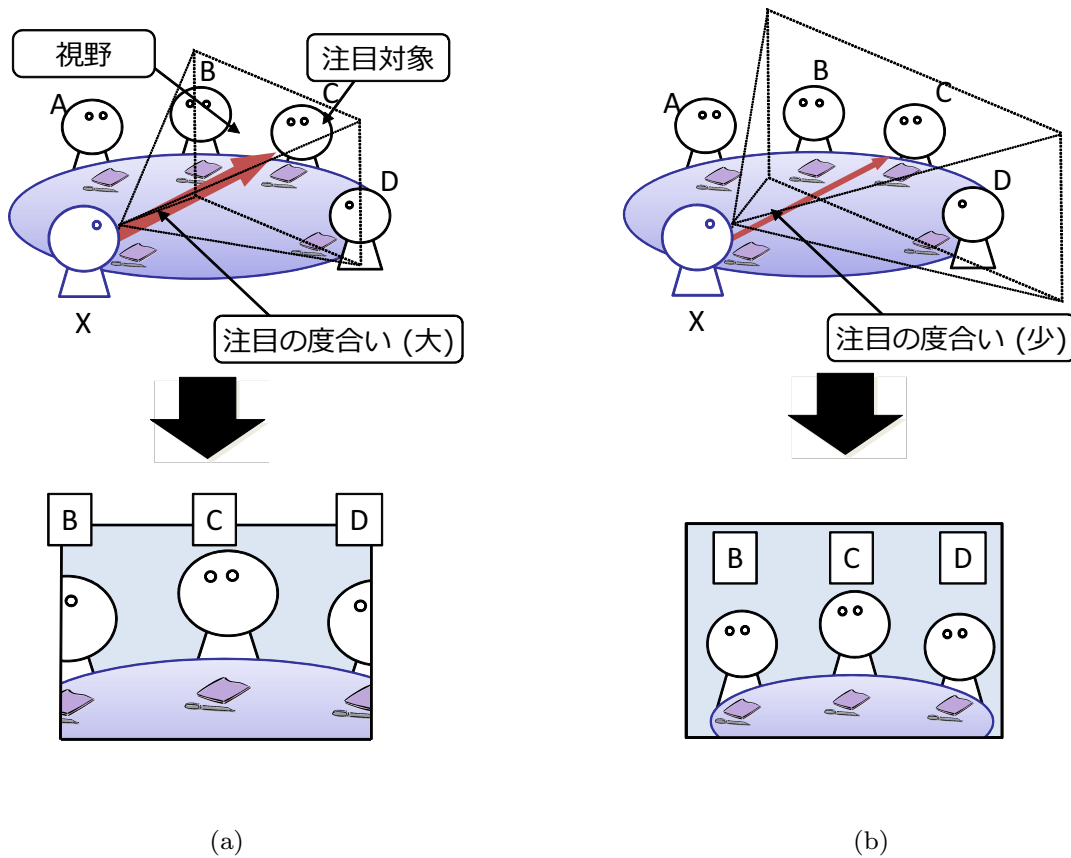


図 3.1 参加者の注目度合いを反映した円卓場ウィンドウ表示の概要

ウで動的に変化させる．図 3.1 に参加者 X の他者に対する注目度を反映した円卓場ウィンドウ表示の概要を示す．この例では， X の注目対象は C である． C に対する注目度が大きい場合，図 3.1(a) のように X の視野を占める C の割合が大きくなる．一方， C に対する注目度が小さい場合，図 3.1(b) に示されるように X の視野における C の割合が小さくなり，周囲の他者 B , D も表示される． X の注目対象が C から B に変化した場合は，図 3.2 に示されるように視野の中心が C から B に移動し， B とその周囲が表示される．このように， X の注目対象情報に応じて視野に表示する他者を動的に変更させることで，協調学習の対話を妨げることなく，注目する他者に関する情報取得を実現する．

3.2 システムの概要

本研究の注目対象の推定には，先行研究として提案されている，発言の対象者とその発言意図に基づく他者の注目度の計算手法を利用する [16, 17]．同手法では，他者への注目の変化量を発言意図ごとに表現し，他者注目ルールとして用意している．発言があった場

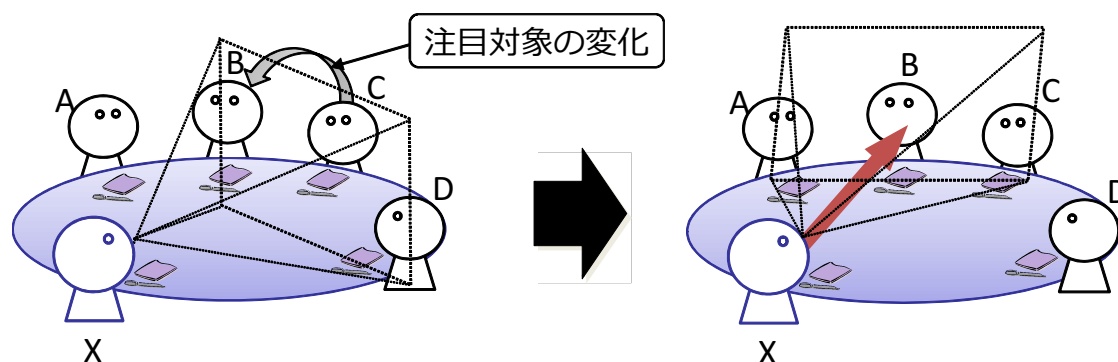


図 3.2 注目対象が変化したときの視線移動

合，その発言意図に対応する他者注目ルールを用いてその時点の全ての他者に対する注目度を計算し，注目度が一番高い他者を注目対象として決定する．例えば，他者 A から B に対して発言意図が「提案」となる発言が生じ，他者間の「提案」となる他者注目ルールの割合が $A : 0.5, B : 0.3, C : 0.2$ である場合，その時点の他者の注目度にこれらの値を加え，0 から 1 の値となるように正規化した値が新たな注目度となる．他者注目ルールは，参加者自身の他者に対する注目傾向を表している．同手法は，参加者が手動で注目対象を変更することで，他者注目ルールの注目の変化量を修正する機能も備えている．

図 3.3 に，システムの概要を示す．注目対象決定機能では，いずれかの参加者がテキスト・チャット上で発言を入力・送信した，あるいは参加者が円卓場ウィンドウの注目変更コンボボックスから注目対象を手動で変更した動作をトリガとして注目対象が特定される．注目対象と注目度の値の情報により，参加者の注目意識反映機能で視線方向と注目対象との距離が決まる．同時に，他者の計算機で算出された注目対象情報から他者の視線方向を決定する．これらの情報を基に，参加者の位置から注目対象へ視線を向けたときの参加者の視野を円卓場ウィンドウに表示する．

3.3 注目度に応じた視線・視野の反映手法

参加者の注目対象に対する注目度は，参加者と注目対象との距離により表現される．他者との距離は，学習空間内に存在する参加者の位置によって異なる．注目度の割合に応じて一意に距離を決定するために，円卓の中心から参加者までの距離を注目度の値に応じて変更する．円卓場ウィンドウには，注目度に応じて配置された参加者の位置から注目対象

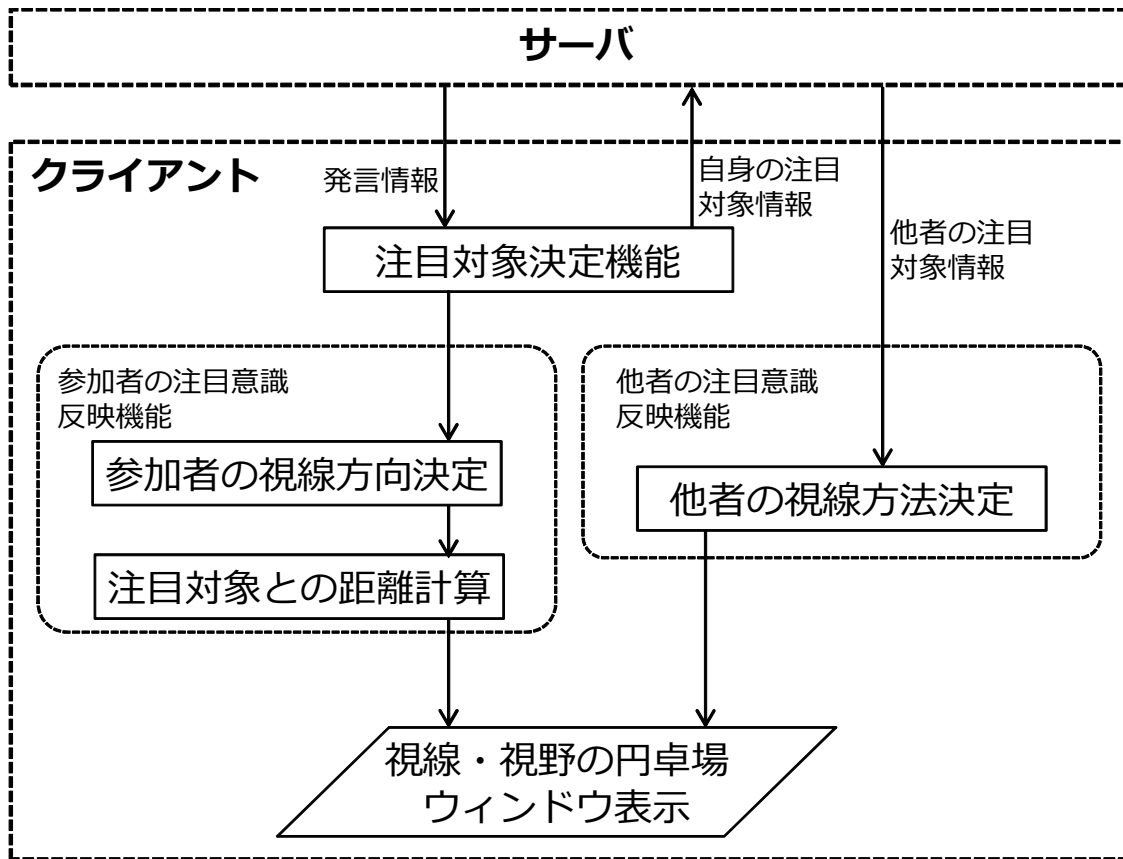


図 3.3 システムの概要

に視線を向けたときに見える情報が表示される。

参加者 X の円卓の中心からの距離は、図 3.4 の d_{min} と d_{max} の間に位置付けられる。 X が d_{min} にいるときは、注目対象を最も注目している状況であり、 d_{max} に近づくと注目をあまり注目していないことを表す。 X の時点 t における円卓の中心座標からの距離 $d(t)$ は、 d_{min} , d_{max} , そして注目対象の注目度の値 $fv(t)$ を用いて以下に示す式 3.1 より計算される。注目度の値が大きくなるほど、 X は円卓の中心に近い位置に割り当てられる。このように決定された X の位置から注目対象に視線を向けたときに見える学習空間が円卓場ウィンドウに表示される。

$$d(t) = (1 - fv(t)) \times d_{max} + fv(t) \times d_{min} \quad (0 \leq fv(t) \leq 1) \quad (3.1)$$

視野に表示される情報は、 d_{min} と d_{max} の値に依存する。 d_{max} が小さいときは、注目度の値が変化しても視野に映る注目対象の大きさはあまり変化しない。一方、 d_{max} が大きい場合、注目対象の注目度が低いときに周囲の他者情報が多く入りすぎる。したがって、 d_{max} の値はグループを構成する参加者の人数に応じて適切に設定する必要がある。

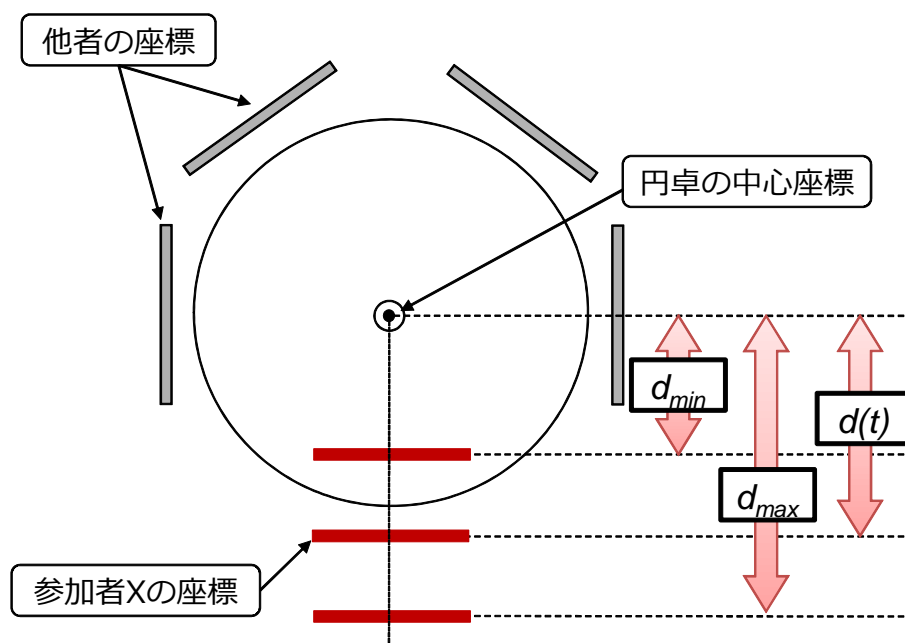


図 3.4 円卓場の中心からの参加者の距離

また、 d_{min} の値は、注目対象の注目度が最も大きいときにその画像が円卓場ウィンドウの大部分を占めるように、経験的に設定している。

一方、他者の注目意識は、時点 t における他者の注目対象への向きにより表現される。図 3.5 に他者 D を表すカメラ画像が他者 A を向いている例を示す。ここで、 D の注目対象が他者 B に変化した場合、 D のカメラ画像を θ 度回転させることで、 B を向くようにする。 θ は以下に示す式 3.2 で計算される。ここで \vec{a} は D から円卓の中心に向かうベクトルであり、 \vec{b} は D から B へのベクトルを表す。

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|} \quad (3.2)$$

参加者が手動で注目対象を変更した場合、変更した対象者を新たな注目対象とし、その参加者が中心になるように視線方向を変化させる。同時にシステムが推定した注目対象が参加者の注目対象ではなかったとして、注目対象推定機能により選択された注目対象に対する注目度が大きくなるように、他者注目ルールが保持する注目変化量を更新する。

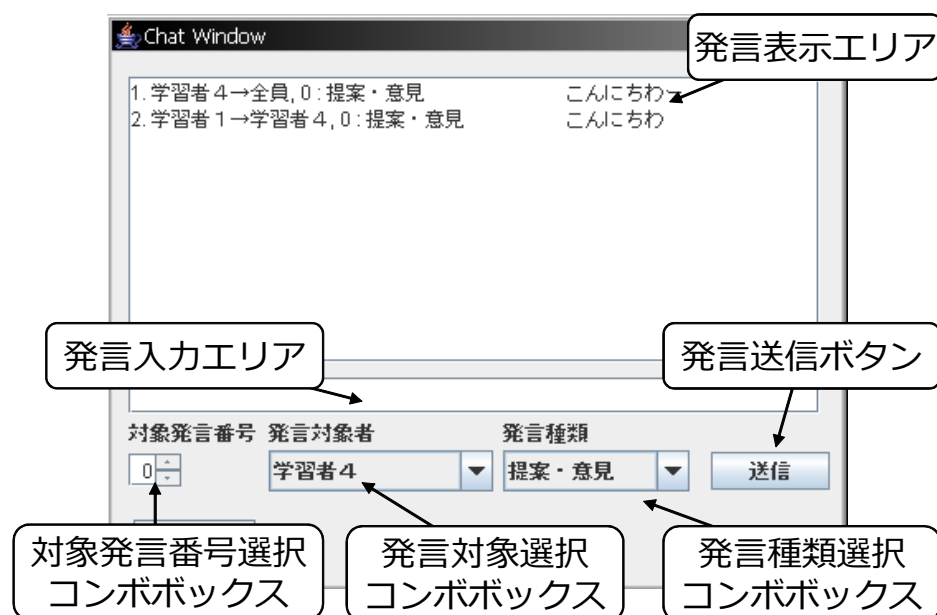


図 3.6 HARMONY のチャット画面

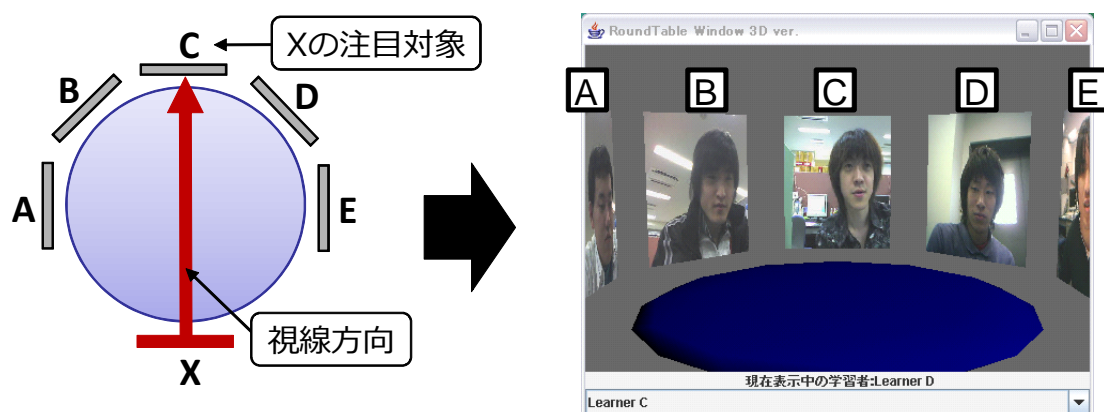


図 3.7 参加者の注目対象と X の円卓場ウィンドウ表示例

3.9, 図 3.10 の各時点における各参加者の注目対象を示す。ここでは視野に表示されている他者の注目対象のみを記載している。

図 3.8 は, X の注目対象が D(注目度の値: 0.55) の状況である。この時点で, 円卓場ウィンドウに表示されている他者 C, D, E の注目対象は X でないため, それぞれのカメラ画像は各々の注目対象の方向を向いている。図 3.9 は, X が D に発言したことで, D の注目度の値が 0.55 から 0.87 に上がった状況である。注目度の値が上昇したことで, D

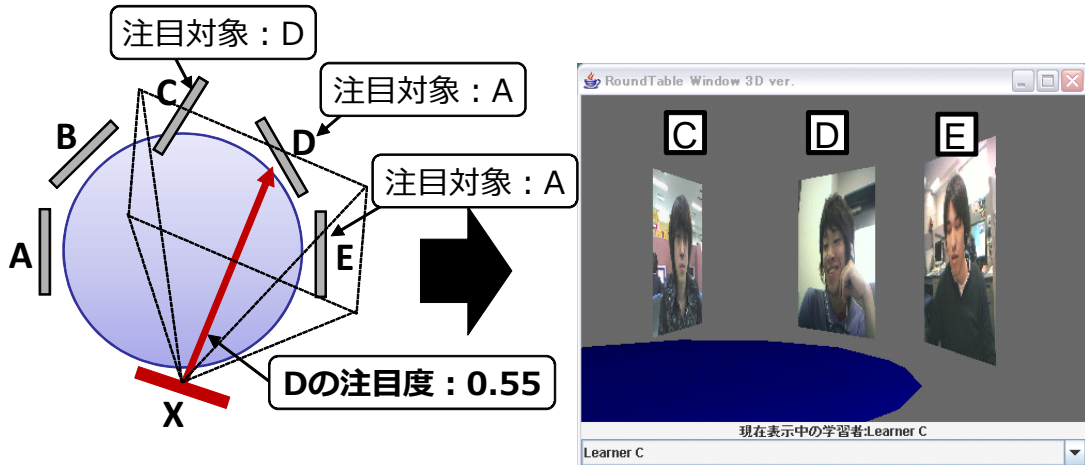


図 3.8 注目対象に応じた視線・視野の移動例 (1)

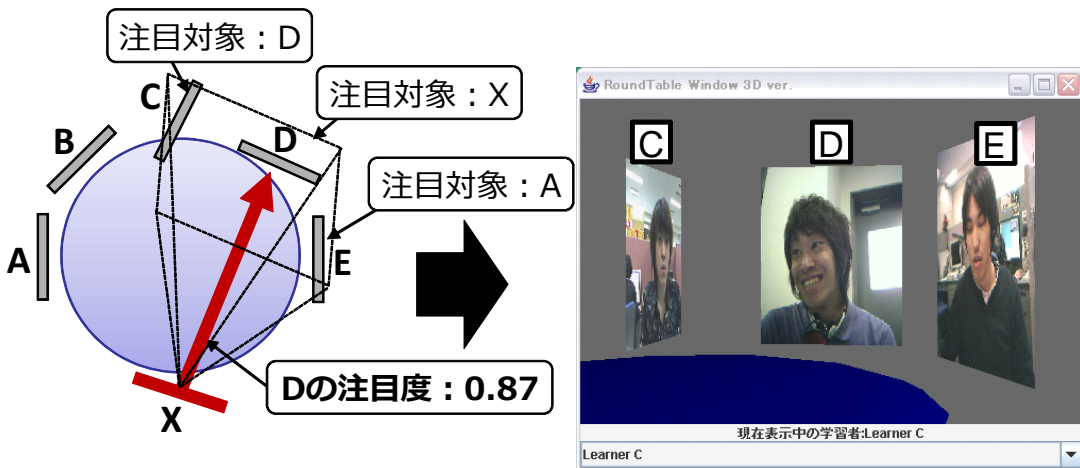


図 3.9 注目対象に応じた視線・視野の移動例 (2)

が視野を占める割合が大きくなっていることがわかる。また、この発言により D の注目対象が X に変化したため、 D のカメラ画像が X を向くように変化している。一方、 X の注目対象が C に変化した場合、図 3.10 のように C を中心とした視線方向に変化する。このように、推定された注目対象及び、その注目度に応じて、仮想学習空間における参加者の視野が変化する。

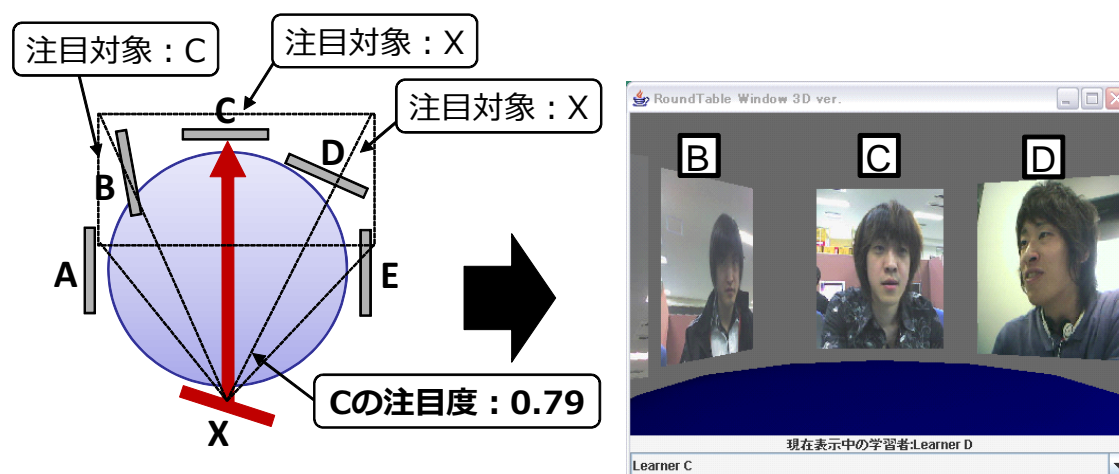


図 3.10 注目対象に応じた視線・視野の移動例 (3)

表 3.1 図 3.8, 図 3.9, 図 3.10 における各参加者の注目対象

参加者	X (注目度の値)	A	B	C	D	E
図 3.8	D (0.55)	-	-	D	A	A
図 3.9	D (0.87)	-	-	D	X	A
図 3.10	C (0.79)	-	C	X	X	-

3.5 評価実験

3.5.1 実験内容

円卓場ウィンドウにおける視線・視野の反映手法を評価した。ここでは、参加者自身の注目意識の変化を評価することに焦点を当て、参加者の視線方向と視野は変化するが、他者のカメラ画像の向きが変わらない円卓場ウィンドウを用いた。

実験では、円卓場ウィンドウと、円卓場上で視線を固定した視野を提示する視線固定ウィンドウを比較した。視線固定ウィンドウでは、全ての被験者を常に観察できるように他者のカメラ画像が表示される。異なる3つのグループ(グループ1, 2, 3)を設定し、円卓場ウィンドウと視線固定ウィンドウを用いてそれぞれ協調学習させ、視線・視野表示に関するアンケートに回答させた。グループ1は研究室内の6名の被験者から構成され、グループ2及び、グループ3の被験者は、互いをよく知らない被験者から構成される。こ

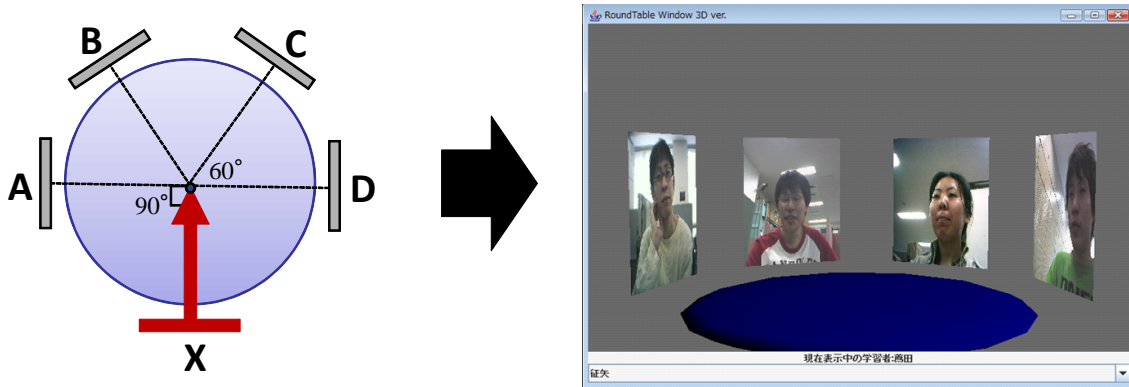


図 3.11 グループ 3 の視線固定ウィンドウの表示例

表 3.2 実験の議論内容と利用したウィンドウ

問題	議論内容	ウィンドウ
A	初等教育における英語授業の導入	視線固定ウィンドウ
B	ゆとり教育の見直し	円卓場ウィンドウ

で、グループ 1 は既知の参加者による協調学習、グループ 2、グループ 3 は未知の参加者による協調学習と捉えることができる。グループ 3 の視線固定ウィンドウを図 3.11 に示す。視線・視野が変化しないかわりに、全ての参加者が円卓を囲むようにして表示される。

実験前に、円卓場インタフェース全体の操作方法について被験者に説明し、実際に操作させた。その後、2 つの問題に対して、視線固定ウィンドウと円卓場ウィンドウを用いて 15 分間議論させた。実験で用いた問題と、利用したウィンドウを表 3.2 に示す。また、各グループの実験の順番を表 3.3 に示す。グループ 1、グループ 3 は問題 A を議論した後に問題 B を、グループ 2 では問題 B を議論した後に問題 A を議論させた。学習終了後、被験者に表 3.4 の質問に回答させた。質問 (1)、質問 (2)、質問 (3) は、円滑な対話に関する質問項目であり、質問 (4) は情報取得のし易さに関する質問である。また、質問 (5)、質問 (6) は他者との協調的な対話に関する質問である。各質問項目に対し、(i) 視線固定ウィンドウ、(ii) 円卓場ウィンドウ、(iii) どちらでもない、のいずれかを選択させた。また、円卓場ウィンドウにおける視線・視野移動に関する自由記述欄も設けた。

表 3.3 各グループの学習順番

	一回目	二回目
グループ 1	問題 A (視線固定)	問題 B (円卓場)
グループ 2	問題 B (円卓場)	問題 A (視線固定)
グループ 3	問題 A (視線固定)	問題 B (円卓場)

表 3.4 質問内容

質問番号	質問内容
(1)	相手と実際に発言を交わしているように感じたのはどちらか。
(2)	発言しやすい環境だと感じたのはどちらか。
(3)	対話が円滑に進んだと感じたのはどちらか。
(4)	他者の表情がわかりやすかったのはどちらか。
(5)	自分も学習空間にいる一員だと感じたのはどちらか。
(6)	参加者と協力しながら理解を進める姿勢が取れたのはどちらか。

3.5.2 実験結果と考察

表 3.4 に対する各グループの回答結果を図 3.12 に示す。横軸の値は被験者の総数を表す。また、各グループにおける選択項目の内約を表 3.5 に示す。各実験の総発言数を表 3.6 に示す。「どちらでもない」を選択した被験者の割合は全体で 23% (22/96) であった。「どちらでもない」を選択した被験者の自由記述欄には、「議論が活発になるに従い、チャット画面に集中してしまい円卓場ウィンドウを見なかった」という意見が挙げられた。これは、チャット・ウィンドウと円卓場ウィンドウが分かれて表示されていることに起因する。以下、「円卓場ウィンドウ」、「視線固定ウィンドウ」を選択した被験者数に基づき実験結果を考察する。

図 3.12 の質問 (1)、質問 (4)、質問 (5)、質問 (6) の結果では、各グループともに、多くの被験者が「円卓場ウィンドウ」を選択している。被験者は円卓場ウィンドウの方が視線固定ウィンドウより意見を交換しやすく、議論が円滑に進むと感じていた。円卓場ウィンドウを通した視線・視野の変化により、他者と同一空間内で共存しているという意識が高まっていたことが明らかである。さらに、注目対象の注目度を視野の大きさとして円卓場

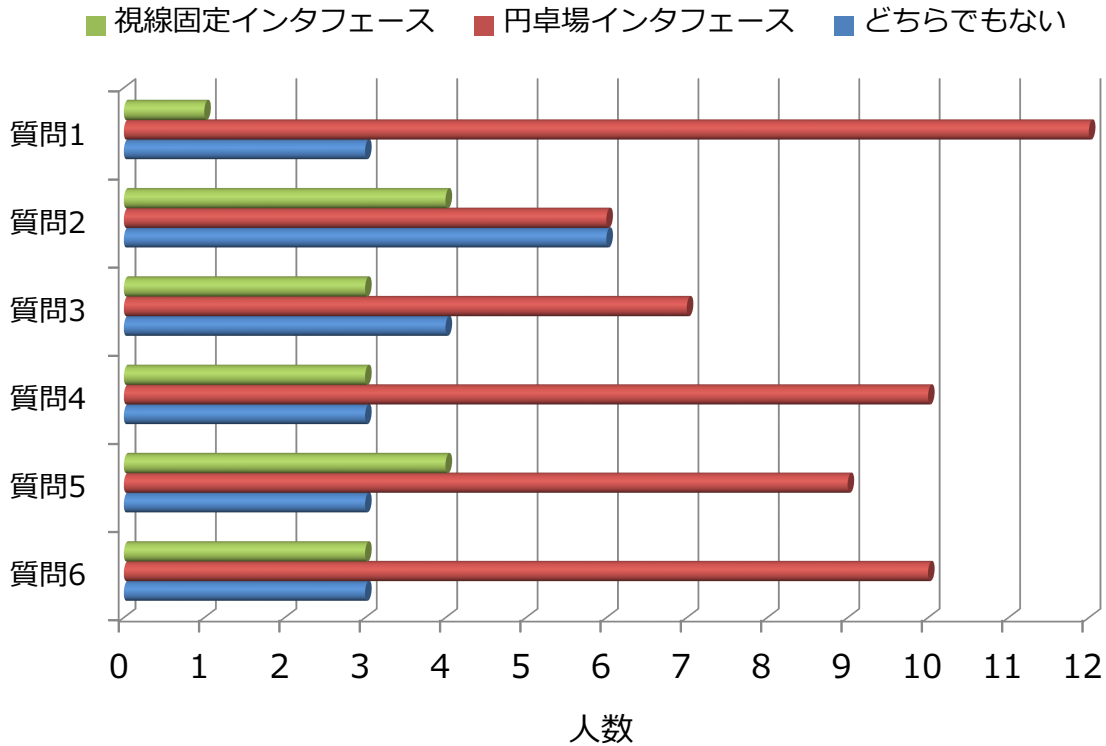


図 3.12 表 3.4 に対する各質問項目の結果

ウィンドウに反映させることで、より自然に他者の表情や動作情報を観察できていた。

質問 (2) の結果として、表 3.5 ではグループ 1, グループ 2 では円卓場ウィンドウが多く選択されているが、グループ 3 では視線固定ウィンドウが多く選択されている。本実験で利用した注目対象の推定機能では、参加者の注目意識が発言をトリガとして変化する。長い間発言が参加者から出されない状況では、算出された注目度の値が変化しないため、時間経過と共に不適切な注目対象となる可能性がある。このような理由により、グループ 3 の被験者が視線固定ウィンドウを選択したと考えられる。したがって、発言情報だけでなく、参加者の非言語的な動作情報を考慮することで、注目対象をより正確に推定できる。

また、質問 (3) の結果として、グループ 2 では、1 回目の円卓場ウィンドウを用いた学習よりも、2 回目の視線固定ウィンドウを用いた学習の方が対話が円滑に進んだと判断した被験者が多かった。グループ 2 の被験者の自由記述欄では、「知らない被験者がおり、話しかけ方がわからなかった」、「2 回目の方が他者の性格や立場に慣れて話しやすかった」という意見が挙げられた。一方、グループ 2 同様に互いをよく知らない被験者で構成されたグループ 3 では、円卓場ウィンドウの方が多くの被験者に選択されている。グループ 3

表 3.5 各グループの質問項目結果

質問	グループ	視線固定 ウィンドウ	円卓場 ウィンドウ	どちらでもない
1	グループ 1	0	4	2
	グループ 2	1	4	0
	グループ 3	0	4	1
2	グループ 1	0	3	3
	グループ 2	1	3	1
	グループ 3	3	0	2
3	グループ 1	1	3	2
	グループ 2	3	2	0
	グループ 3	1	2	2
4	グループ 1	0	4	2
	グループ 2	2	3	0
	グループ 3	1	3	1
5	グループ 1	1	3	2
	グループ 2	2	3	0
	グループ 3	1	3	1
6	グループ 1	1	2	3
	グループ 2	2	3	0
	グループ 3	0	5	0

は視線固定ウィンドウから学習を開始している。しかし、グループ 2 同様にグループ 3 の被験者からも、最初の学習で他者の特徴を理解した上で、2 回目の学習ではある程度慣れて話すことができたという感想が挙げられた。したがって、議論の円滑さは本研究で提案した円卓場ウィンドウの表示方法に加え、学習グループを構成する参加者の親密さにも依存すると推測できる。

各被験者の円卓場ウィンドウに関する自由記述欄には、注目度に応じて参加者との距離が変わることによって「対話している感じがよくわかる」という意見が得られた。一方で、注目対象が「大きすぎるときがある」という意見も挙げられた。円卓場ウィンドウでは、学習グループを構成する参加者数に応じて、同じ距離でも表示される情報の量が異なる

表 3.6 グループの発言数

	視線固定ウィンドウ	円卓場ウィンドウ
グループ 1	74	81
グループ 2	58	37
グループ 3	51	54

る。すなわち，参加者数が多い場合は，距離が近くても複数の参加者の情報が表示されるが，参加者数が少ない場合は，距離が近いときに一人の参加者の情報しか表示されない。学習グループの構成数を考慮し，注目度に応じた適切な距離を設定することで解決できると考えられる。

3.6 本章のまとめ

本研究では，参加者の注目意識に応じた視野が自動的に提示される対話インタフェースを提案した。注目対象を視線方向とし，注目対象の注目度の値に応じた視野を円卓場ウィンドウに表示することで，参加者の他者に対する注目意識を反映した。評価実験では，視線・視野を動的に変更することで他者と一緒に学習しているという意識が高まり，協調して学習に取り組むことができるという結果が得られた。学習空間を一様に表示するのではなく，参加者が注目する他者をシステムが把握した上で強調して表示することで，仲間の存在を意識しながら協調学習に取り組める学習環境を実現した。

評価実験で用いた円卓場インタフェースは，チャット・ウィンドウと円卓場ウィンドウが分かれて表示されている。したがって，学習環境の様子を対話しながら観察するためには両方のウィンドウを交互に見る必要がある。実験では，被験者が議論に集中した場合に，円卓場ウィンドウをあまり見なくなるという問題点が生じた。実空間では，発言のやり取りに耳を傾けると同時に，発言者や発言を受ける相手の様子をリアルタイムに観察しながら対話を進める。5章では，視線・視野が移動する円卓場ウィンドウで発言のやり取りを直感的に表現することで，注目する他者を身近に感じながら，より自然な対話ができるインタフェースを提案する。

第4章

参加者の行為に基づく注目対象の推定手法

3章では、参加者の注目対象に応じた視線・視野を円卓場ウィンドウに表示する手法を提案した。注目対象は、発言に付加された対象者・発言意図などの情報から計算される注目度から特定される。一方、対面環境で実施される協調学習では発言のやり取りだけで学習が進むのではなく、「ノートを記述する」といった個人の行為や、「他者のノートを見る」、「他者を観察する」などの他者や他者の所有物に対する非言語的な行為も参加者の注目意識に影響し、それに応じて視線・視野を変化させている。ノートにはその所有者の意見や解答が記述されており、ノートに対する行為はその所有者に関心があることを示している。これらの参加者の行為は参加者の理解状態や思考を反映しており、他者の表情やノートの内容などの情報を取得することで、他者とのコミュニケーションを円滑にしている。したがって、このような多様な行為を考察することで、注目対象をより正確に推定できると考えられる。

本章では、協調学習における「参加者の行為」を注目意識の変化と捉えた注目対象の推定手法を提案する。注目対象を推定するために、参加者の行為対象に応じた注目変化対象の分析に基づき、行為をトリガとして全参加者の注目度を計算する。また、算出した注目度を用いて参加者の視線・視野を表示する機能を実現する。

以下、4.1節で協調学習時の行為に基づく参加者の注目意識の変化について説明し、4.2節で注目対象の特定手法を説明する。4.3節では、3章で提案した注目意識に応じた視線・視野の移動機能を本手法に適応する。4.4節で、参加者の行為に基づく注目対象の推定手法の妥当性を評価実験を通して議論し、3.6節でその推定結果をまとめる。

4.1 参加者の注目意識の変化

本研究では、協調学習時の参加者の所有物としてノートを利用する状況を想定する。このような学習環境では、参加者の行為として「特定の他者あるいは全体に対して発言する」、「参加者自身のノートに解答を記述する」、「他者のノートの内容を観察する」などが考えられる。全ての行為において、参加者は行為の発生元であると同時に、行為を受ける対象である。一方、記述される/観察されるノートは、参加者の行為対象となる。したがって、特定の他者の表情や動作を見たい場合、注目意識の変化対象は観察したい他者となる。

参加者の行為を、発生元と対象先に応じて分類した図を図 4.1(a), (b) に示す。X は参加者自身, A, B は他者を示す。矢印の元ノードは行為の発生元を示し、先ノードは行為の対象先を表す。表 4.1 に、行為 1-7 の具体的な内容と、個々の行為における X の注目の変化対象をまとめる。ここで、注目変化対象とは、ある行為が起こったときに X の注目意識が高くなると考えられる参加者を指し、実際の注目対象とは異なる。行為 1 が生じた結果、X 自身が注目変化対象となる。一方、行為 3-7 の場合は、その行為に関連する他者が注目変化対象となる。行為 2 は、X が全体に発言するという行為に対応するが、自身の発言に対して誰が応答するかわからないため注目変化対象は変わらない。各行為における注目変化対象の指針を以下に記載する。

行為 1

X が自身のノートを記述/観察したとき、X の視線方向は自身のノートに向くため、X 自身が注目変化対象となる。

行為 2

X が全体 (A, B) に発言したとき、X は他者からの反応を期待する。しかし、発言に対してどの他者が返答するかを推定できないため、注目変化対象は変わらない。

表 4.1 行為における注目変化対象

	行為	発生元	対象	注目変化対象
1	X 自身のノートを記述/観察	X	X	X
2	全体に発言	X	全体	変化無し
3	B に発言, B のノートを観察	X	他者 B	他者 B
4	X に発言, X を観察, X のノートを観察	他者 B	X	他者 B
5	全体に発言	他者 B	全体	他者 B
6	B のノートを記述/観察	他者 B	他者 B	他者 B
7	A に発言, A を観察, A のノートを観察	他者 B	他者 A	他者 A

行為 3

X が B に対して発言や観察行為をしたとき, X は B から得られる情報を期待している。したがって, B が注目変化対象となる。

行為 4

B が X に対して発言や観察行為をしたとき, X は B のその時点の表情や動作情報を観察すると考えられるため, B が注目変化対象となる。

行為 5

B が全参加者に対して発言したとき, X は B の表情や動作情報を観察したいと考えられる。よって B が注目変化対象となる。

行為 6

B が B 自身のノートを記述/観察したとき, X は B や B のノートに関心を持っていると考えられる。したがって, 注目変化対象は B となる。

行為 7

B が A に対して発言や観察行為をしたとき, X は A の反応を観察すると考えられる。よって, A が注目変化対象となる。

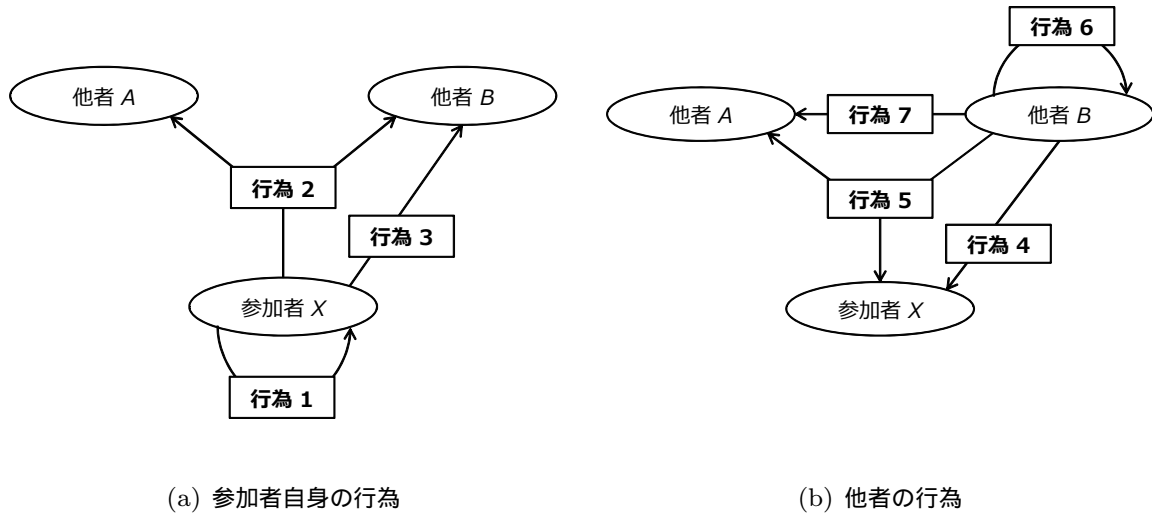


図 4.1 発生元と対象先に応じた参加者の行為

4.2 注目対象の推定手法

表 4.1 にまとめた注目変化対象を基に，行為をトリガとしてその時点の参加者の注目対象を決定する．個々の参加者の注目度の計算方法を式 4.1 に示す．ここで，参加者の総数を N とする．新たな行為 i が発生した時刻 $t+1$ における参加者 n に対する注目度 $F(n, t+1)$ は，1 つ前の行為により算出された時刻 t における n に対する注目度 $F(n, t)$ と，行為 i の注目に対する変化量を表す注目度更新定数 α_i から求められる．

行為 i が発生した場合，注目変化対象の注目度が大きくなるように，注目変化対象の注目度に α_i を加える．注目変化対象でない参加者の注目度は時刻 t のままとし，全ての参加者に対する注目度の合計が 1 となるように正規化する．ここで，最も注目度の大きい参加者を注目対象とする． α_i の値は，「発言」，「視線移動」，「参加者自身のノートを記述」，「他者のノートを観察」の各行為について定めている．協調学習開始時の注目度 $F(n, 1)$ は，式 4.2 より全ての参加者に対して等しくなるように計算される．

$$F(n, t+1) = \begin{cases} \frac{F(n, t) + \alpha_i}{\sum_{\forall n' \in N} F(n', t) + \alpha_i} & (\text{参加者 } n \text{ が注目変化対象の場合}) \\ \frac{F(n, t)}{\sum_{\forall n' \in N} F(n', t) + \alpha_i} & (\text{参加者 } n \text{ が注目変化対象でない場合}) \end{cases} \quad (4.1)$$

$$0 \leq \alpha_i \leq 1, \quad 0 \leq F(n, t+1) \leq 1$$

表 4.2 注目度の計算例

参加者の行為	X からみた各参加者の注目度			
	X	他者 A	他者 B	他者 C
	0.250	0.250	0.250	0.250
X が A に発言	0.156	0.531	0.156	0.156
X が B に発言	0.098	0.331	0.472	0.098
X が自身のノートを記述	0.436	0.207	0.295	0.061
C が全体に発言	0.273	0.129	0.184	0.413
B が C のノートを観察	0.171	0.081	0.115	0.633

$$\alpha_i = 0.6$$

$$F(n, 1) = \frac{1}{N} \quad (4.2)$$

ここで、行為 i は $i \in \{ \text{発言, 視線移動, 参加者自身のノートを記述, 他者のノートを観察} \}$ を表す。

行為に基づく注目度の計算例を表 4.2 に示す。参加者自身 X と他者 A, B, C が学習に参加していると仮定し、 X からみた各参加者の注目度を計算している。太字で示された最も高い注目度を持つ他者が各時点の注目対象となる。ここで、各行為の注目度更新定数 α_i は全て 0.6 とした。参加者は 4 名であるため、学習開始時の各参加者の注目度は 0.25 に設定される。 X が A に発言した場合、式 4.1 から A の注目度は 0.531 となり、他者の注目度は 0.156 に変化する。したがって、 X の注目対象は A となる。また、 X が B に発言したとき、 B の注目度が最も高くなるため、注目対象は A から B に変化する。同様に、参加者の行為をトリガとして注目度が計算される。

注目度更新定数 α_i は、個々の参加者によって異なると考えられる。ここでは、 α_i が参加者の注目意識と異なっている場合、不適切な注目対象を特定してしまう可能性がある。正確な注目対象を推定するために、本システムでは推定された注目対象が参加者の注目対象と異なる場合に、手動で注目対象を変更できる機能を加える。注目変化対象が A となる行為 i が発生し、システムにより注目対象が他者 B から A に変化した状況を考える。ここで、 X が手動で B を注目対象に戻した場合、注目度更新定数 α_i は大きすぎると判断され、 α_i は小さい値に更新される。一方、注目対象が B であり、注目変化対象が A とな

る行為 i が発生した状況を考える．ここで，推定された注目対象が B から変化せず， X が注目対象を A に変えた場合， α_i は大きい値に更新される．これらの要件を満たす α_i を修正する計算式を式 4.3 に示す．

$$\alpha_{next\ i} = \begin{cases} \alpha_{current\ i} - \beta & \text{(注目対象が直前の注目対象に変更された場合)} \\ \alpha_{current\ i} + \beta & \text{(注目対象が行為 } i \text{ の注目変化対象に変更された場合)} \end{cases} \quad (4.3)$$

行為 i により変更された注目対象を X が変更前に戻した場合， α_i から定数 β を引く．また，行為 i により注目対象は変化しなかったが， X が注目対象を行為 i の注目変化対象に変更したとき，これまでの α_i に定数 β を足す．これら以外の他者に X が手動で注目対象を変更した場合は α_i を修正しない．

4.3 注目度に応じた参加者の視線・視野

4.2 節で示した注目対象の特定手法では， X 自身を含めた注目度が計算される．ここでは，自身のノートに対する行為により X の注目度が上昇する．実空間の協調学習では， X が自身の作業に集中すればするほどノートを見下ろすようにして作業に取り組む．一方，特定の他者に注目した場合， X は顔を上げて注目対象を向き，その詳細な情報を獲得する．本研究では，このような X の視線・視野の移動を円卓場ウィンドウで表現するために，3 章で示した視線・視野の変化手法を拡張する．

X に対する注目度を円卓に配置された X の位置とそのノート・オブジェクトとの間の角度で表現するために，注目度が最も大きい他者とノート・オブジェクト間の角度 $\phi(t)$ を変化させる (図 4.2)．時刻 t における X の注目度を $F(X, t)$ ，水平方向と X のノート・オブジェクトとの角度を ϕ_{max} としたとき， $\phi(t)$ は，式 4.4 により計算される．

$$\phi(t) = \phi_{max} \times F(X, t) \quad (4.4)$$

図 4.3 に， X 自身の注目度を反映した視野の変化例を示す．図 4.3(a) の状況で X の注目対象は D である．ここで， X が自身のノート・ウィンドウを編集し， X の注目度が上昇した結果，図 4.3(b) に示すように視線方向が下を向くように変化する．

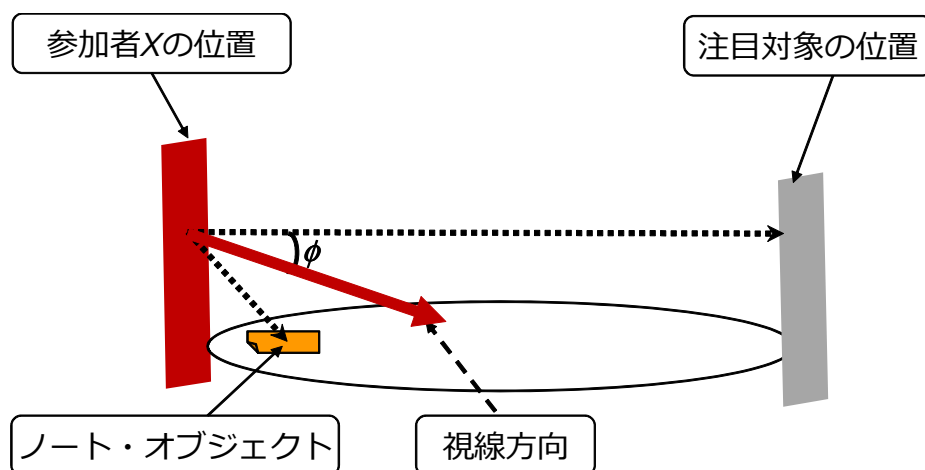


図 4.2 円卓からの視線の角度

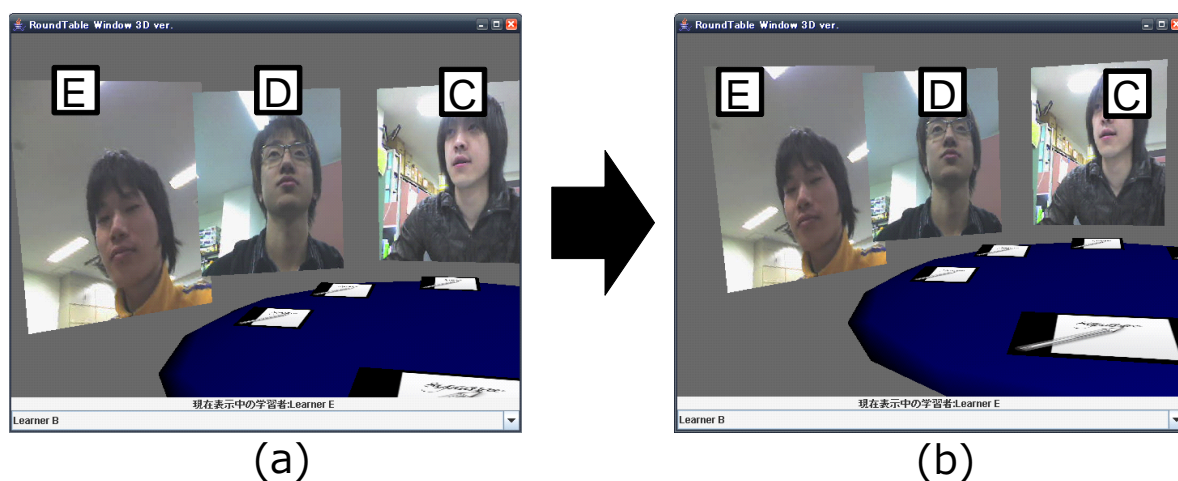


図 4.3 自身の注目度に応じた視野の変化例

4.4 評価実験

4.4.1 実験内容

参加者の行為に基づく注目対象の推定機能の妥当性を評価するために、被験者の行為対象と本システムが検出した注目対象が等しいかを調査した。本実験では、3章の3.5節で用いた協調学習支援システム HARMONY [51] に円卓場ウィンドウを付加している。異なる4人の被験者からなる2つのグループに、円卓場インターフェースを用いて協調学習させた。グループ1は本研究室の学生から構成されており、グループ2はお互いをよく知らない学生から構成されている。実験前にシステムの操作方法について説明し、その後、大

表 4.3 各行為における注目度更新定数の初期値 α_i

行為 i	α_i の値
1: 発言	0.6
2: 参加者自身のノートへの操作	0.7
3: 他者の視線移動	0.4
4: 他者のノートへの操作	0.3

学入試の英語長文問題の全訳に関して 20 分間学習させた。学習に使用した問題はグループ 1, グループ 2 と同じである。解答は各自のノート・ウィンドウに記述させた。今回の実験では、被験者の各行為における注目度更新定数の初期値 α_i を表 4.3 のように定めている。

参加者の注目対象は参加者の行為対象となる可能性が高いため、個々の時点における被験者の行為対象が本手法で特定された注目対象と等しいかを調べた。発言とノート・クリックの 2 つの行為に対して、注目対象を正しく特定した割合を式 4.5, 式 4.6 を用いてそれぞれ評価した。注目対象推定手法において、「全体への発言」では注目度が変化しないため、式 4.5 では、この発言を除く特定の他者への発言のみを評価した。また、注目対象以外のノートを見たいときは、円卓場ウィンドウにある注目対象変更コンボボックスで被験者を変更してから相手のノートを見る必要がある。そこで、注目対象が変更された後にノート・クリックがなされた場合は、被験者の注目対象が正確に表示されていなかったと考える。したがって、式 4.6 では、注目対象を変更せずにノート・クリックした回数のみを注目対象へのノート・クリックとみなす。式 4.5, 式 4.6 の値が大きいほど、システムの算出した注目対象が被験者の注目対象と一致していたことを意味する。また、実験終了後に、被験者から円卓場インタフェース全体の利用に関する感想や実際の注目対象に対する意見を収集した。

$$\text{発言の割合} = \frac{\text{注目対象への発言数}}{\text{特定の他者への発言数}} \quad (4.5)$$

$$\text{ノート・クリックの割合} = \frac{\text{注目対象へのノート・クリック数}}{\text{他者へのノート・クリック数}} \quad (4.6)$$

表 4.4 グループの発言数

	グループ 1	グループ 2
全体への発言数	36	19
特定の他者への発言数	22	5
総発言数	58	24

表 4.5 検出された注目対象に対する発言，ノート・クリックの割合

	発言の割合	ノート・クリックの割合
グループ 1	77.3 % (17/22)	82.6 % (19/23)
グループ 2	80.0 % (4/5)	56.3 % (9/16)
合計	77.8 % (21/27)	71.8 % (28/39)

4.4.2 実験結果と考察

表 4.4 に実験で交わされたグループ毎の総発言数を示す．また，表 4.5 に発言とノート・クリックの割合に関する実験結果を示す．括弧内の数字は，式 4.5 と式 4.6 に対応する実際の発言数，ノート・クリック数である．

表 4.4 より，グループ 1 と比べて，グループ 2 の発言数が極端に少ないことが読み取れる．この結果はグループ構成に起因すると考えられる．グループ 1 は互いを良く知る被験者であったのに対して，グループ 2 は互いをあまり知らない被験者同士で構成されていた．グループ 2 の被験者からは，「誰に話しかけてよいか，わからなかった」，「話しかけにくかった」という意見が挙げられた．これが，発言数が少なかった直接の原因と考えられる．

注目対象に対する発言，ノート・クリックの割合は，全体として約 7 割を超えており，被験者の注目対象を高い精度で円卓場ウィンドウに表示できていた．発言の割合はグループ 1，グループ 2 とともに高い値を示している．協調学習時に発言対象となった他者がどのような被験者であったかを質問したところ，「話かけた/かけられた参加者」という意見が多数であった．これは，本研究で定義した「話かけられた参加者」，「全体に話しかけた参加者」という行為に応じた注目変化対象と一致しているため，定義した注目変化対象は参加

者の注目意識の変化を正しく反映していると言える。

一方、グループ2のノート・クリックの割合は53.6%であり、グループ1のノート・クリックの割合と比べて低い値を示している。グループ2の被験者に、能動的に注目対象を変更してから他者のノートを見た理由を聞いたところ、「全ての参加者の学習の進捗を知りたかった」という意見が得られた。また、ノートを見た他者はどのような被験者であったかを聞いたところ、「それまでの学習中の対話から学習を理解していると考えられる他者」という意見が挙げられた。このことから他者の理解状態や他者への嗜好も注目意識の変化に影響していることが明らかとなった。問題に関する知識を持つ他者や、学習の進捗状況といった学習活動の積み重ねにより生じる注目も考えていく必要がある。

4.5 本章のまとめ

本章では、協調学習における学習時の行為を注目意識の変化と捉えた注目対象の推定手法を提案した。協調学習空間に存在する参加者とそのノートに対する行為に応じた注目変化対象をモデル化し、行為が生じるごとに、その注目変化対象の注目度の値が大きくなるように全参加者の注目度を算出した。また、3章で提案した視線・視野の移動方法について、自身の注目度を円卓場ウィンドウに反映できるように拡張した。評価実験では、被験者の実際の行為対象と本手法で推定された注目対象が約7割の精度で一致しており、個々の被験者の注目対象をある程度正しく推定できた。

被験者の行為対象には、問題に関する知識を持つと考えられる他者といった、学習課題に踏み込んだ要素も注目対象に影響があることが評価実験により確認された。現在の注目対象の推定手法は参加者の行為に基づいており、個々の参加者の学習進捗状況や理解状況などは考慮していないため、このような参加者の理解状態までは反映できていない。米谷らは高校数学を学習課題とした協調学習において、問題知識間の関連性を解導出ネットワークとして表現し、問題知識を特徴付けるキーワードを発言した参加者の理解状態を推定する手法を提案している [55, 56]。同手法では、学習課題に応じて問題知識の関連とそのキーワードをあらかじめ設定する必要があるが、発言内容や参加者のノート内容から参加者の理解状態を推測することで、より正確に注目対象を特定できる可能性がある。

第5章

発言における注目意識の反映

3章, 4章では, 協調学習に参加する他者への気づきとして, 仲間と共に学習しているという実感を参加者に意識させるために, 参加者の注目意識に応じた視線・視野を円卓場ウィンドウに表現した。

本章では, 参加者の発言に対する注目意識を, 「発言への気づき」として円卓場ウィンドウに表出することを目指す。本研究では, テキスト・チャットを用いた協調学習に焦点を当て, 学習時の発言のやり取りを直感的に表現するための手法を提案する。また, 個々の参加者に応じた対話時の注目発言を参加者に意識させるために, 形態素解析エンジンにより抽出されたキーワードに対する参加者の理解度と手掛かり語に基づく発言意図から注目発言を検出し, 通常の発言と区別して円卓場ウィンドウに表現することで, 相手の存在を意識した対話を実現する。

まず 5.1 節で協調学習における注目発言を予備実験に基づき定義し, 5.2 節で発言者・対象者を把握できる発言表示を示す。5.3 節及び 5.4 節で, 注目発言を特定する機能と円卓場ウィンドウに発言を反映させる手法を示し, 5.5 節で発言の表示例を示す。注目発言検出機能の妥当性と円卓場ウィンドウにおける発言表示の有効性を評価するために, 5.6 節で評価実験し, その結果を考察する。最後に 5.7 節で本章をまとめる。

5.1 協調学習における注目発言

協調学習では, 対話を通して様々な情報が交わされる。参加者がどのような特徴を持つ発言に注目し, 対話を進めているかを調査するために, 我々の研究室で実施した協調学習

表 5.1 発言意図の種類及び定義

発言意図	定義
提起	新たな話題の提示
説明	現在の話題に関する付加・詳細情報， 質問に対する答え
質問	他者に対する質問
同意	賛成の立場表明
非同意	反対の立場表明
その他	上記に分類できない発言

の発言履歴を分析した。本調査では、時事問題¹⁾を取り上げ、4人の被験者から構成される2グループに円卓場ウィンドウとチャット・ウィンドウを用いて対話させた。発言時には、発言の対象者(特定の他者・全体)情報を発言時に付加させるようにした。終了後に、話題に関する理解を深めるために発言時に注目した発言を選別させた。また、発言の特徴として、各発言に対して発言意図を付加した。

発言意図を扱う先行研究として、意思決定における問題点の設定や構造化に向けた討論を支援するために、発言意図を明示的に付加する研究 [57] や、伝達会議における対話構造の理解を支援するために、発言履歴に発言意図を手動で付加する研究 [58] がある。本研究では協調学習時の対話を想定しているため、協調作業時の議論状態を発言意図情報から同定することを目指した発言意図の分類 [59, 60] を参考にした。ここでは、文献 [59, 60] に共通する、「提起」、「説明」、「同意」、「非同意」、「質問」、「その他」の6つを発言意図としている。表 5.1 に発言意図の種類とその定義を示す。分類の手続きとして、対話に参加していない本研究室の学生1名に各発言意図の種類とその定義を説明した上で、2グループの対話履歴の各発言について発言意図を選択させた。なお、分類の正しさを確認するために発言意図が定義通りとなっているかを著者らにより二重にチェックしている。

2グループあわせた発言総数は241個であり、個々の被験者の注目発言の総数は重複を含めて116個であった。表 5.2 に発言の対象者に対する注目発言の割合を示す。被験者が注目発言として選別した発言では、自身に対する発言だけでなく、他者/全体への発言が合わせて約半数あり、発言者/対象者の観点における明確な特徴は得られなかった。表 5.3

¹⁾ 定額給付金について理解を深めるというテーマを設定した。

表 5.2 発言の対象者における注目発言数

発言の対象	注目発言数	割合
自身に対する発言	54	46.6% (54/116)
他者に対する発言	38	32.8% (38/116)
全体に対する発言	24	20.7% (24/116)

表 5.3 発言意図における注目発言数

発言意図	発言数	注目発言数	割合
提起	10	7	70.0% (7/10)
説明	45	38	84.4% (38/45)
質問	34	11	32.3% (11/34)
同意	21	6	28.6% (6/21)
非同意	1	0	0.0% (0/1)
その他	130	22	16.9% (22/130)

に各発言意図の出現回数と、一人以上の被験者が注目発言として選別した発言の割合を示す。また、図 5.1 に発言履歴の一部とそれらの発言意図の付加例を示す。本発言履歴では「その他」に分類された発言が多くなっている。これは、図 5.1 に示したように、テーマに関して被験者個人の感情などに直結する発言が多かったことに起因する。この結果から、発言意図が「提起」、「説明」となる発言の 7 割以上が注目発言とされ、「その他」となる発言を除く総発言数に対する「説明」の割合は特に高い。また、「説明」発言の特徴として発言テキストに含まれる新たな単語（キーワード）が何個出現していたかを調査したところ、「説明」であるが注目発言ではなかった 9 個の発言には新たに 17 個のキーワードが現れ、平均して 1.89 個 (17/9) のキーワードが含まれていた。一方、注目発言となった「説明」には平均して 2.64 個 (95/36) のキーワードが出現しており、新たに出現したキーワードが多く含まれる「説明」が注目発言として選択される傾向がみられた。この傾向は参加者の知識の有無に依存すると考えられる。すなわち、自身が説明した内容や対話に出現した知識についてはある程度理解しているが、自身の質問の内容や出現していない内容については理解していないと思われる。

本研究では、発言意図が「説明」であり、新たなキーワードを多く含む発言を注目発言

発言者：発言内容	発言意図
A：懐かしい	その他
B：うんうん，それと似た雰囲気だ	同意
A：今回は現金だったっけ？	質問
B：たしか現金のはず	説明
C：役所に行ってもらわなきゃいけないですよ	説明
B：まじで	その他
D：もらえるならいくよね	その他

図 5.1 発言履歴と発言意図の例

と定義する．参加者の注目発言を特定するために，対話時に現れるキーワードに対する参加者の理解度を用いる．理解度は参加者ごとに異なり，自身の発言意図が「説明」である場合は発言に含まれるキーワード全てを既知とし，「質問」である場合は未知とする．このように発言意図とキーワード情報から参加者の理解度を更新し，他者の「説明」発言の中から未知のキーワードを多く含む発言を注目発言として検出する．

5.2 発言者・対象者を把握できる発言表示

実空間で行われる協調学習では，他者の位置情報，発言された方向や声の大きさで表現される情報に基づき，誰が誰に対して発言したかを知覚できる．テキスト・チャットでは，誰が，誰に，何を話しているかを理解しながら対話することは困難であり，対話内容の理解の妨げになってしまうという問題がある [32]．したがって，発言者と対象者を直感的に把握でき，重要な発言に気づきながら対話できることが理解の助けに繋がる．参加者が発言者・対象者を直感的に認識できるように，発言内容を表すテキストを学習空間内で移動させる．

発言のやり取りを学習空間内で視覚的に表現するため，発言内容を表すテキストを発言の遷移情報に応じて学習空間にいる参加者の位置から移動させる．図 5.2 に発生元と対象先に応じた発言の移動例を示す．特定の他者への発言は，図 5.2(a) のように発言者の位置から対象者の方向へ移動する．参加者自身 X は，発言の移動方向を自身の視野から認識できる．図 5.2(b) は， X と他者 B から全体への発言を示す．全体への発言の場合，その発言テキストを全ての参加者が把握できるように，各自の視野の中心方向へ移動させ

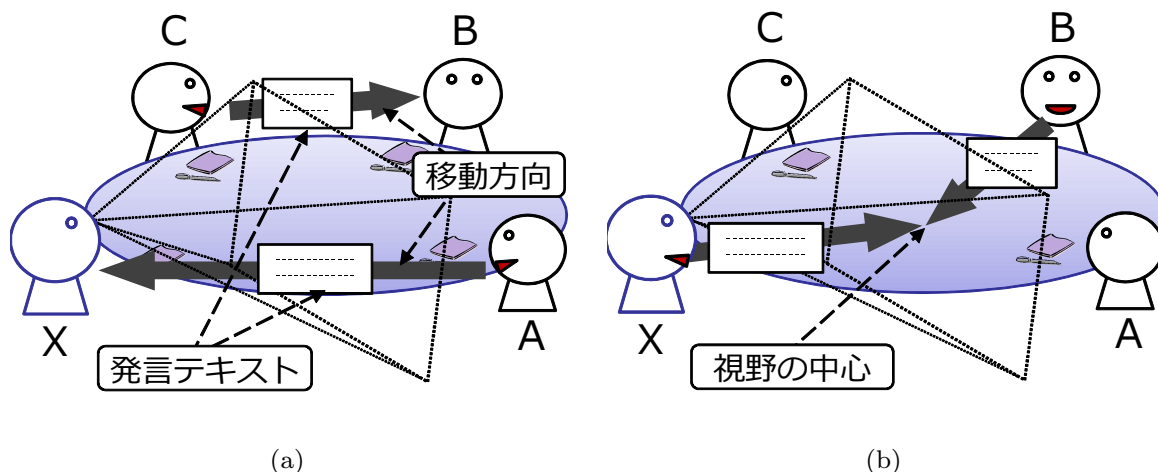


図 5.2 発言者と対象者に応じた発言移動

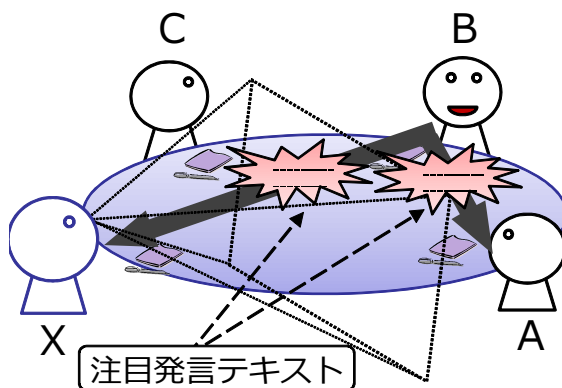


図 5.3 注目発言テキストの移動

る．他者から X への発言の場合，発言を表すテキストが徐々に大きくなりながら X の方向へ向かってくる．一方， X から他者，または全体への発言は，テキストが小さくなりながら対象先へ移動する．

発言が注目発言である場合は，他の発言と比べて参加者自身の記憶に残るように表現する必要がある．図 5.3 に X への注目発言テキストの移動例を示す． X がその発言の内容を十分に読み取れるようにするために，発言テキストの表示属性値を変更し，強調表示する．このように，3次元空間の中で発言者・対象者を意識させながら，注目発言と他の発言を区別して表示することで，参加者の対話の弊害とならない，集中した対話を実現する．

5.3 注目発言の検出手法

5.3.1 発言に含まれるキーワードと発言意図の特定

発言内に含まれるキーワードは、形態素解析エンジン Sen [61] により名詞と未知語の連続する語として抽出される。図 5.4 の例では、発言 1 から「定額給付金」が、発言 2 から「国民全員」、「12000 円」、「政策」というキーワードが抽出されている。発言意図は、発言テキスト内の手掛かり語に基づいて推測される。発言「説明」が発生した場合、その発言に含まれるキーワードを発言者が知っている可能性が高い。一方、発言意図が「質問」である場合、そのキーワードについてあまり知らない可能性がある。本研究では参加者のキーワードに対する理解度を推定するために「説明」、「質問」の発言意図を用いる。発言意図を発言時に手動で付加する場合、参加者の作業負荷となることが想定されるため、これらの発言意図を発言に含まれる手掛かり語を用いて自動的に検出する。

手掛かり語は、5.1 節の調査より得られた発言履歴を分析して抽出した。分析は以下に示す a. から d. の手順で行った。

- a. 手掛かり語の候補として、発言意図が「説明」、「質問」となる、発言テキストの文頭/文末に現れる文字列を抽出
- b. 候補間で他の発言意図にも含まれる文字列を削除
- c. 候補間で、文字列 a が他の文字列 b を包含している場合、文字列 a を候補から削除 (例：“ あったような ”, “ ような ” “ ような ”)
- d. 候補を漢字変換しても意味が同じとなる文字列 (例：“ きがする ” “ きがする ”, “ 気がする ”) を含めた候補の集合を最終的な手掛かり語として設定

表 5.4 に発言意図検出のための手掛かり語を示す。「説明」の手掛かり語は 31 語、「質問」は 1 語を定義している。図 5.4 の例では、手掛かり語 “ ? ” から発言 1 の発言意図を「質問」、手掛かり語 “ だよ ” から発言 2 の発言意図を「説明」として判断する。手掛かり語を含んでいない発言は、発言意図を「未分類」として判断する。

<p>発言と形態素解析結果</p> <p>発言 1. <u>X</u> : <u>定額給付金</u>ってなんだっけ？ (定額：名詞), (給付：名詞), (金：名詞), (って：助詞), (なん：動詞), (だ：助動詞), (っけ：助詞), (? : 記号)</p> <p>発言 2. <u>A</u> : <u>国民全員が 12000 円</u>もらえる政策だよ (国民：名詞), (全員：名詞), (が：助詞), (12000：未知語), (円：名詞), (もらえる：動詞), (政策：名詞), (だ：助動詞), (よ：助詞)</p> <p>キーワード</p> <p>発言 1. 定額給付金 発言 2. 国民全員, 12000 円, 政策</p> <p>発言意図</p> <p>発言 1. 手掛かり語：? 質問 発言 2. 手掛かり語：だよ 説明</p>

図 5.4 キーワードと発言意図の抽出例

5.3.2 発言の注目度の計算

発言内のキーワード・発言意図情報に基づいて参加者のキーワードに対する理解度を推定し、他者の発言から注目発言を検出する。ここで、あるキーワード k_i の理解度を ud_{k_i} としたとき、 X の ud_{k_i} の集合を U_X として表す。発言をトリガとして新たに出現した k_i の理解度 ud_{k_i} は、その発言意図情報から決定される。ここでは、発言者と出現したキーワードが既に存在するかどうかによって理解度を変化させる。図 5.5 に、発言時の理解度 ud_{k_i} の更新フローチャートを示す。理解度は *High*, *Middle*, *Low* の 3 つの値で表現される。発言者が X 自身の場合、発言意図が「説明」ならば、その発言に含まれるキーワードを理解していると判断して理解度を *High* に設定する。一方、発言意図が「質問」の場合、そのキーワードを理解していないとみなして理解度を *Low* とする。「未分類」のときは、新たに出現したキーワードならば *Middle* を、既に U_X 内に存在している場合は理解

表 5.4 発言意図の手掛かり語

発言意図	手掛かり語
説明	みたいだ, みたいな, しね, じゃんね, とか, じゃない, だよ, 気がする, きがする, ですか, ッスカ, ような, からね, はず, そうです, ことね, ないかな, ですよ, らしい, でしょう, ですよ, ね, だから, ですから, やつ, 言ってた, いった, 確か, たしか, 恐らく, おそらく, たぶん
質問	?

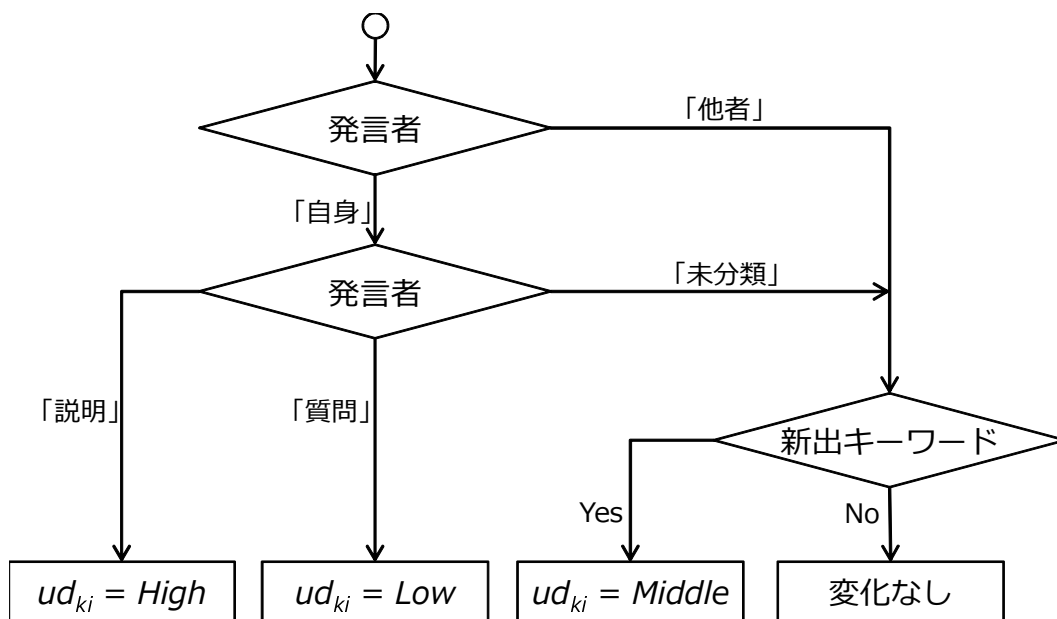


図 5.5 キーワードに対する理解度の更新フローチャート

度を変化させない。発言者が他者である場合、 U_X に出現したキーワードが存在していない場合は理解度を *Middle* に、既に存在している場合は理解度を変化させない。ここで、各理解度は $0 \leq Low < Middle < High \leq 1$ を満たすように設定する。

発言者が他者で、発言意図が「説明」である場合、その発言に対する X の注目度 F_u を計算する。ここで、新たに出現した発言 u に含まれるキーワード群を T_u とし、 T_u に含まれかつ U_X に存在するキーワード群を T_{U_X} としたとき、発言の注目度 F_u は式 5.1 に

より算出される．

$$F_u = \frac{|T_u| - \sum_{\forall i \in T_{U,X}} ud_i}{|T_u|} \quad (5.1)$$

算出された注目度が，ある一定値以上の発言を X の注目発言として検出する．注目発言であるかどうかを判定した後， T_u に含まれるキーワードの理解度を *High* として更新する．

5.4 学習空間における発言の反映手法

本節では，円卓場ウィンドウに表示された学習空間内で，発言の直感的なやり取りを実現するための手法を説明する．また，5.3 節の注目発言の検出手法により抽出された注目発言を円卓場ウィンドウに強調して表現するために，注目発言の強調表示手法に関する調査実験を示す．

5.4.1 発言の移動方法

学習空間における発言の移動方法を図 5.6 に示す．図中の矢印は，発言テキストの移動方向を表す．発言の対象者情報は，2.2.2 節に示した円卓場ウィンドウ上の発言対象者選択コンボボックスから「全体への発言」，「特定の他者への発言」を参加者に指定させることで取得する．以下に，図 5.6(a), (b), (c) の発言テキスト移動の方法を述べる．

全体への発言

発言の対象者が「全体への発言」である場合，発言者の位置からその時点の視線方向となる注目対象と X を結ぶ中点位置へ発言テキストが移動する．図 5.6(a) は X の注目対象が C である状況を示し， X ， B の全体への発言は X と C を結ぶ中点位置まで移動する．

X 自身と他者の発言

X が特定の他者を指定して発言した場合， X の位置から対象者の位置へ発言テキストが移動する．一方，他者が X を対象者とした発言は，発言者の位置から X に発言テキストが移動する．図 5.6(b) は， X が B を， C が X を発言の対象者としたときの発言テキストの移動方向を表す．

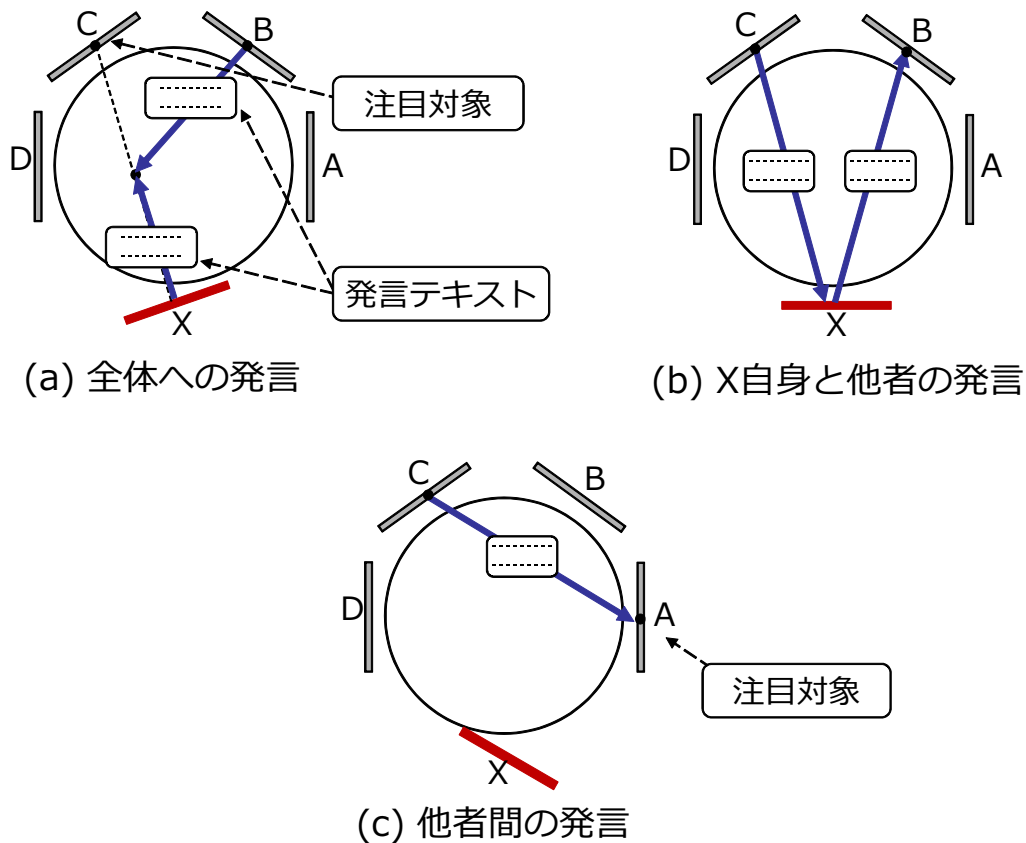


図 5.6 発言の移動方法

他者間の発言

他者間で発言が生じた場合、発言者から対象者の位置まで発言テキストが移動する。Xの注目対象がその発言の対象者でない場合は、移動経路が視野に存在するときのみ表示される。図 5.6(c) は、Xの注目対象がAである状況で、CがAを対象者としたときの発言テキストの移動例を表す。

5.4.2 注目発言/通常発言の表示

発言が注目発言となる場合、通常の発言テキストと比べて強調して表示することで、重要な発言への気づきを表現する。注目発言の強調表示手法を決定するために、一般的な発言テキストにおける強調表示の属性値を調査した。ここでは、(a) 斜体、(b) 太字、(c) フォントサイズ大、(d) 下線、(e) 強調色 (赤色) の5つの属性値を変更したテキストと、

表 5.5 注目発言表示手法の結果

項目	変化させた表示属性値	全体平均
(a)	斜体	1.50
(b)	太字	1.17
(c)	フォントサイズ大	4.67
(d)	下線	1.83
(e)	強調色	4.83

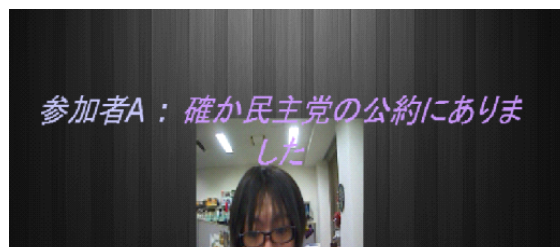
通常の発言テキスト表示を比較した。図 5.7 に各属性値を変化させた円卓場ウィンドウの表示例を示す。本実験は我々の研究室に所属する学生 6 名により実施した。実験の手順として、円卓場ウィンドウに表示された他者から被験者への発言となる通常の発言テキスト(薄紫色)と、各属性値を変更した発言テキストを交互に 5 回ずつ表示したものを観察させた。その後、各属性値について、通常の発言テキスト表示と比べて「1: 全く強調されていない」「5: 強く強調されている」という 5 段階評価形式のアンケートに回答させた。

表 5.5 に各表示手法の結果を示す。(a), (b), (d) の項目はどの被験者も非常に低い値を選択していた。被験者からは、テキストが移動して表示される場合、通常の発言表示とほとんど大差なかったという意見が挙げられた。一方、(c), (e) の項目は非常に高い値を示しており、通常の発言表示と比べてインパクトがあり、強く強調されていると感じたという意見が多く挙げられた。本研究では、(c) フォントサイズ大、(e) 強調色(赤色)を注目発言のための強調表示特性として採用し、通常発言と区別して円卓場ウィンドウに強調表示することで注目発言への気づきを表現する。

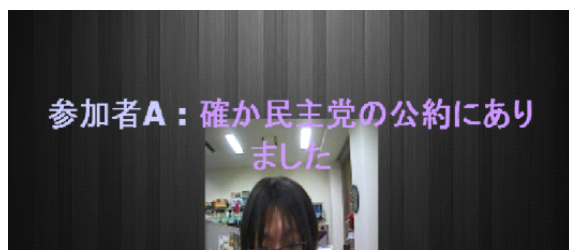
表 5.6 に注目発言と通常発言の表示属性値を示す。移動先へ到着した発言テキストは、一定時間経過した後にフェード・アウトする。他者の発言が注目発言となる場合は、発言テキストの色を強調色(赤色)で表現し、フォントサイズを他の発言と比べて大きくする。また、発言がフェード・アウトするまでの時間を通常よりも長く設定することで、注目発言を他の発言と区別する。



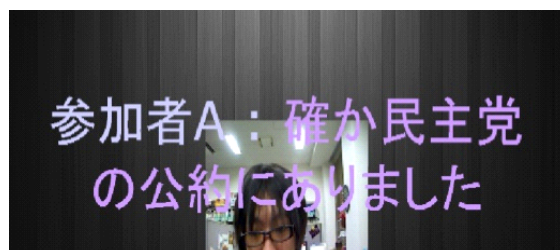
通常表示



(a) 斜体



(b) 太字



(c) フォントサイズ大



(d) 下線



(e) 強調色

図 5.7 注目発言表示のための表示属性値の種類

表 5.6 注目発言と通常発言の表示属性値

発言種類	文字色	サイズ	フェード・アウト
注目発言	強調色 (赤)	大	長い (10 秒)
通常発言	通常色 (薄紫)	小	短い (4 秒)

5.5 システムの動作

図 5.8 に、5.3 節、5.4 節で説明した発言テキストを、円卓場ウィンドウに表示するための処理フローチャートを示す。サーバから発言が送られてきた場合、まず手掛かり語を用いて発言意図を特定し、図 5.5 に従って参加者がそれぞれに保持しているキーワードの理解度を更新する。ここで、発言意図が「説明」でないとき、表示属性値を通常発言として設定し、発言者から対象者に向けて発言テキストを移動する。一方、発言意図が「説明」かつ他者による発言の場合、その発言の注目度を計算し、注目発言かどうかを判断する。注目発言である場合は、発言テキストの表示属性値を注目発言として設定した上で表示する。

X に対する発言テキストの表示例を図 5.9 と図 5.10 に示す。図 5.9 では、 D が A を発言の対象者とした発言を表している。発言時点の X の注目対象は A であり、 A の注目対象は X であった。発言が D の位置から A の座標まで移動するため、 X の円卓場ウィンドウで左側から右側に発言テキストが移動する (図 5.9)。発言の結果、視野に表示されている A, B の注目対象がそれぞれ D, A と変化したため、 A の画像が D を、 B の画像が A を向くように変化している。図 5.10 は、 C が X に発言した様子である。発言テキストが 3 次元空間の C の座標から、 X の座標まで移動している。この発言は X の注目発言であったため、フォント・サイズが他の発言よりも大きくなり、発言テキストの文字色が赤く強調して表示される。

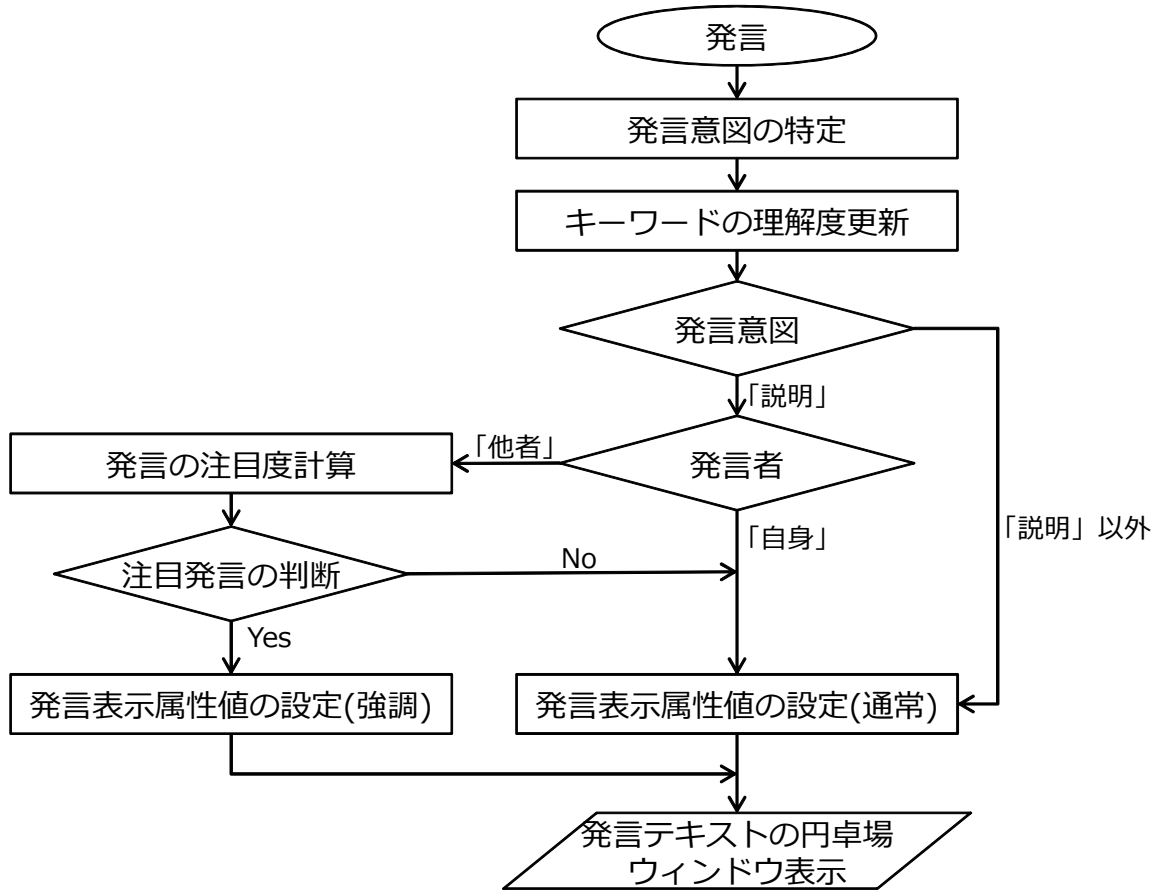


図 5.8 発言表示のフローチャート

5.6 評価実験

5.6.1 実験内容

注目発言検出機能の妥当性を調べるために、本機能で検出した注目発言と、被験者が発言履歴から実際に選別した注目発言を比較した。また、発言表示の有効性を評価するために、円卓場ウィンドウにおける発言の表示手法に関してアンケートで意見を取得した。本実験では、被験者がある程度知識を持っている時事問題「事業仕分け」に関して、日常的にテキスト・チャットを利用している学生4人で構成される2グループ(グループ1, 2)にそれぞれ協調学習させた。

実験前に、システムの操作方法を説明し、実際に操作させた。発言時には発言の対象者を選択することを確認させ、注目発言として特定した場合には発言テキストが強調されることも説明した。対話に集中させるために、ノート・ウィンドウは用いなかった。実験終

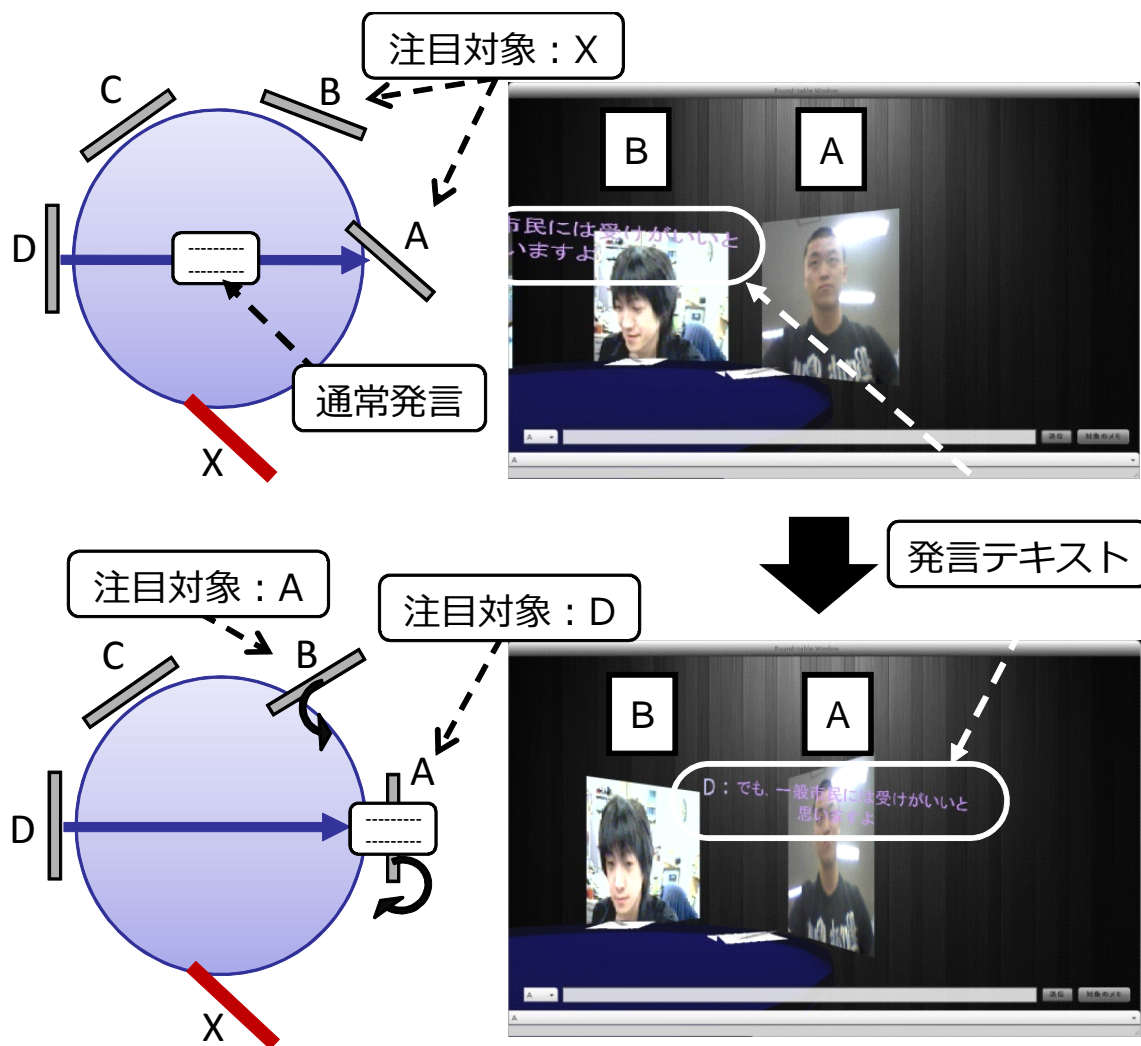


図 5.9 他者から他者への発言の表示例

了後、発言者、発言の対象者、発言内容が掲載された発言履歴の一覧を被験者に渡し、注目発言を「問題に関する理解を深めるために注目した発言」と説明して、システムが検出した注目発言の中で適しているものを選別させた。さらに、全ての発言から注目発言を複数選別させた。また、発言表示に関する4項目のアンケートに回答させた。回答は1が最も悪く、5が最も良いという5段階評価形式を採用した。なお、本実験では理解度として $High=1.0$ 、 $Middle=0.5$ 、 $Low=0.0$ 、注目発言として判断するための閾値を0.5とした。また、発言がフェード・アウトするまでの時間は、通常発言を4秒に、注目発言を10秒として設定した。

システムが手掛かり語を基に検出した発言意図の分類結果を評価するために、5.1節で発言意図を付与した学生に、対話履歴の各発言に表5.3の定義に従い「説明」、「質問」の



図 5.10 注目発言の表示例

発言意図を特定させた。検出した注目発言と被験者の注目発言を評価するために、式 5.2 と式 5.3 で定義される再現率と適合率を用いる。再現率は、被験者が発言履歴から注目発言として選別した総発言に対して、システムが検出した各被験者の注目発言がどれだけ正しかったかを表す指標である。一方、適合率は、システムが検出した各被験者の注目発言のうち、被験者の選別した注目発言がどれだけ一致していたかを表す。

$$\text{再現率} = \frac{\text{一致した総注目発言数}}{\text{被験者が選別した総注目発言数}} \quad (5.2)$$

$$\text{適合率} = \frac{\text{一致した総注目発言数}}{\text{システムが検出した総注目発言数}} \quad (5.3)$$

5.6.2 注目発言検出機能の妥当性

グループ 1、グループ 2 の総発言数はそれぞれ 112、130 であった。発言意図の再現率及び適合率を表 5.7 に示す。また、検出した注目発言と被験者が選別した注目発言の再現率と適合率をそれぞれ表 5.8 に示す。

表 5.7 において、システムが検出した発言意図「質問」は、9 割程度の再現率、適合率であった。現在「質問」の手掛かり語として“？”のみを用いているが、テキスト・チャットにおいて「質問」を検出するには非常に有効であることが示された。発言意図「説明」に関しては、特定された発言のうち 7 割程度を正しい「説明」として検出していた。一方、再現率はそれほど高くなく、実際の「説明」となる発言を十分に検出できていない。

表 5.7 システムが検出した発言意図の再現率・適合率

	「説明」	「質問」	「未分類」
検出した発言意図	56	39	147
正しい発言意図	73	42	-
一致数	39	38	-
再現率	53.4%	90.0%	-
適合率	69.6%	97.4%	-

表 5.8 システムが検出した注目発言の再現率・適合率

	グループ 1	グループ 2	全体
検出した注目発言	68	63	131
被験者の注目発言	64	72	136
一致数	41	42	83
再現率	64.1%	58.3%	61.0%
適合率	60.2%	66.7%	63.4%

再現率を高めるためにはより多くの手掛かり語を設定する必要があるが、「説明」以外の発言も検出されてしまう可能性があるため、手掛かり語情報のみを用いて発言意図を検出することの妥当性について検討が必要である。

表 5.8 の再現率の結果より、被験者が選別した注目発言のうち半数以上を正しく検出できた。本機能では、168 個の発言意図「説明」のうち、37 個の発言は注目発言として検出できなかった。このうち 32 個の発言は被験者も注目発言として選別せず、発言意図情報に加えて参加者の理解度を考慮することで、被験者の注目発言ではない 8 割以上の発言を「説明」発言中から正しく取捨選択できていた。したがって、問題に関する理解を深める発言への気づきをある程度円卓場ウィンドウに表示できた。

グループ 2 における発言履歴の一部を図 5.11 に示す。発言 32、発言 33(発言意図「説明」) は注目発言として検出されず、被験者も注目発言として選別していなかった。一方、発言 115(発言意図「説明」) は注目発言として検出されなかったが、1 名の被験者が注目発言として選別していた。この発言が検出されなかったのは、キーワードが発言中に存在しなかったことが原因である。形態素解析を利用した本検出機能では、キーワードを含ま

番号	発言者：発言内容
30	C：財務省の差し金ってこと？
31	B：文科省の人たちは知っていたのだろうか？
32	A：どうなんですかね．
33	A：知ってたら，許さないような気がしますね．
...	...
114	C：100 くらいはあるのかな？
115	D：仕分けた後で翻ったのもありましたしね

図 5.11 「説明」の発言意図を持つ発言履歴例

番号	発言者：発言内容
5	A：事業仕分けっていつごろからやってましたっけ？
6	B：最近 2 回目の仕分けが終わったのは知っているんですが...
7	A：個人的にはレンホウ議員の印象しかないからなあ
8	B：同じくです．
9	C：たしか政権が民主党になってからじゃありませんか？
...	...
20	A：テレビの情報だと，事業仕分けの裏には財務省関係者がいるんだとさ．
21	A：つまり，最初からシナリオが決まっていたわけだ
22	C：財務省の事業だけあんまり減らされてないんでしたっけ？
23	A：そうそう！

図 5.12 注目発言の検出失敗例

ない発言を注目発言として検出することは難しいと考えられる．被験者が選別した注目発言には，システムが発言意図を「質問」，「未分類」としていた発言が存在した．図 5.12 にグループ 2 の発言履歴の一部を示す．太字で示された発言 9，発言 22(発言意図「質問」)を，注目発言とした被験者がいた．これは，内容自体は説明にもかかわらず発言内容に自信がなかったために，発言意図が「質問」となる“？”を含む発言をしていたことに起因する．

表 5.8 の適合率の結果から，システムが検出した注目発言のうち 6 割以上を正しく検出できていた．システムが誤って検出した注目発言には，「そんな感じだった気がする」，「時間も確かに短い印象があるね」，といった被験者の個人的な意見を「説明」としていた

発言が存在した。手掛かり語を用いた発言意図により、「説明」となる発言をある程度抽出することに成功したが、このような被験者の個人的な意見や感情を誤検出しないように改善することが必要である。

グループ 2 では、他の被験者の質問や意見に対して積極的に発言する被験者 A(総発言数 60 個) が 1 名おり、A の発言の中で発言意図が「説明」であった発言は 19 個であった。すなわち、グループ 2 全体の「説明」28 個のうち、半数以上を A が占めていた。他の被験者からは、A が議論の中心的な役割を担っていたという意見があった。グループ 2 では、A の再現率・適合率はそれぞれ 40.0%、50.0% であり、他の被験者の平均の再現率 61.3%、適合率 69.1% と比べて低い値を示していた。この結果は、議論において説明者側の役割となる被験者よりも、説明を受ける機会が多い被験者の注目発言を検出できていたことを表す。したがって、新たな知識を取得する被験者にとって、本手法はある程度妥当であるといえる。

5.6.3 発言表示の有効性

表 5.9 に、発言表示に関するアンケートの項目内容と回答の平均を示す。全ての項目で 3 以上の値を示しており、全体的に良い結果が得られた。

質問項目 (a) の結果より、注目発言を通常の発言と区別して円卓場ウィンドウに表示することで、対話内容の理解に繋がる重要な発言に気づきながら対話できていたことがわかる。質問項目 (b) では、文字数が多い発言の場合、全ての発言内容を読むことができなかったという理由から低い値をつけた被験者がいた。システムが検出する注目発言はキーワードを多く含むため、単純な相づちなどの発言と比べて文字数が全体的に多くなる傾向がある。発言内容を容易に把握するために、発言テキストが長い場合にフェード・アウト時間を動的に変更したり、テキストにおける改行挿入に関する研究 [62, 63]などを参考にし、文字数に応じて複数回に分けて表示することで解決できると考えられる。

質問項目 (c) の結果から、発言テキストの移動表示から発言者と対象者をおおよそ認識できていた。被験者からは、日常利用するテキスト・チャットのように発言内容から対象者を判断する必要がなく、チャット・ウィンドウを見なくとも直感的に対話できたという意見が得られた。一方、他者間の発言は理解できたが、「他者から自身への発言」と「他者から全員への発言」の違いが把握しにくかったという意見が得られた。質問項目 (d) の結果は高い値を示しており、一緒に表示されている他者のカメラ画像と発言テキストを問

表 5.9 発言表示に関するアンケート内容と結果

質問項目	質問内容	全体平均
(a)	注目発言の把握	3.875
(b)	発言テキストの読みやすさ	3.625
(c)	発言者/対象者の把握	3.625
(d)	発言表示の自然さ	4.500

題なく観察できていた。円卓場ウィンドウでは発言時の他者の表情を Web カメラを通してリアルタイムに観察できる。被験者からは、発言を読む相手の表情の変化がわかり、非言語的な情報をリアルタイムに見ることで他者の意向を把握できたという意見が得られた。以上の結果から、発言テキストを円卓場ウィンドウに表示される学習空間内で移動させることで、その場に集う仲間を意識し、自然で直感的な対話を支援できていたことを確認した。

5.7 本章のまとめ

本章では、発言への気づきを表出可能な対話支援インタフェースを提案した。話題に関する理解を深めるために発言時に注目した発言の特徴を分析し、「説明」の発言意図を持つ発言の中で未知のキーワードを多く含む発言を注目発言として検出する機能を提案した。また、発言のやり取りを視覚的に表現するために、学習時の発言テキストを発言者と対象者に応じて学習空間で移動させた。発言を一様に表現するのではなく、システムが特定した注目発言を通常の発言と区別して強調表示することで、重要な発言への気づきを参加者に与えた。

注目発言検出機能の妥当性に関する評価実験では、被験者の注目発言の 6 割強を正しく検出し、円卓場ウィンドウに表示できた。また、発言表示に関する評価実験では、発言者・対象者を発言テキストの遷移から直感的に把握でき、かつ他者の表情や動作の観察の弊害とならない表示ができたことが示された。円卓場ウィンドウ上の発言テキストを他者が観察し、表情に変化が現れたことを他者のカメラ画像から把握できた被験者がおり、発言テキストを学習空間に表現することで参加者の表情や動作情報の取得の手助けができた。3 章、4 章で示した他者への気づきに加えて、本章で提案した発言への気づきを円卓

場ウィンドウに表現することで、その場に集う仲間を意識した自然な対話を達成できる学習環境を実現した。

第6章

協調学習における参加意識の向上

本章では、協調学習における参加者の参加意識を高めるための気づきを表出できる対話インタフェースを提案する。協調学習時の議論では、自身の発言内容が他者のノートに記述されるといった状況を観察することで他者への影響を感じることができる。発言が仲間の知識理解に貢献していると自覚することで、学習への参加意識が向上し、より多くの学習課題や他者に役立つ発言への動機付けが高まる。本研究では、参加意識が高まる状況として、参加者自身の発言が他者のノートに参照される動作（発言参照動作）に着目し、有益な議論に繋がる発言への動機付けを高める目的のもとで、協調学習における「貢献への気づき」を表現する。貢献への気づきとして、リアルタイムに進行する議論で発言が参照されている状況を「即時的な貢献への気づき」として参加者に認知させることで、その場の話題を意識した発言の動機付けを狙う。一方、参照された発言がどれほど参照者の知識理解に役立ったかはその参照内容に応じて異なる。議論された話題において、誰がどれほど有益な発言をしてきたかを「包括的な貢献への気づき」として可視化することで、議論全体を意識した発言を動機付ける。

本章の構成は以下のとおりである。まず6.1節で協調学習における即時的/包括的な貢献への気づきを説明する。6.2節、6.3節において即時的・包括的な貢献への気づきを反映するための手法を述べ、6.4節で構築したシステムの動作例を説明する。6.5節で評価実験を通して提案手法の有効性を議論し、6.6節で本章をまとめる。

6.1 協調学習における貢献への気づき

本研究では、歴史や公民、環境問題など、学ぶべき内容や様々な知識が関係する学習課題について協調学習を行い、知識理解に役立つ他者の発言をノートに記録しながら議論す

る状況を想定する。このような協調学習では、学習課題に現れる語句の意味を知るだけでなく、語句間の関係を理解することが重要である。他者との対話を通して、個々の参加者が持つ知識を互いに補完しあい、関連する新たな知識を得ることができる。参加者は、他者の会話をただ呆然と眺めているだけでは有益な協調学習を達成できない。各々の参加者が学習に参加しているという自覚を持ちながら、学習課題を意識した活発な発言をやり取りする必要がある。

本研究では、議論に貢献している発言（以後、貢献発言）への気づきを円卓場インタフェースに表現することで、学習課題を意識した有益な発言への動機付けを参加者に持たせる。有益な発言を誘発させるために、「即時的な貢献への気づき」、「包括的な貢献への気づき」を考える。即時的な貢献は、その時点でなされている話題における貢献を表す。参加者は他者の発言参照動作によって即時的な貢献を実感できる。一方、包括的な貢献は、議論全体における貢献を表す。全ての参加者が議論全体を通してどのように貢献しているかを参加者が知ることで、包括的な貢献を実感できる。即時的な貢献への気づきを表現することで、現在の話題に関する発言意識を向上させる。また、包括的な貢献への気づきを表現することで、議論全体を通じた参加者や話題を意識した発言の動機付けを狙う。

即時的な貢献を反映させるために、円卓場ウィンドウ上で発言参照動作を表示する。発言参照動作は議論時に頻繁に発生することが予想されるため、発言が参照された参加者（以後、被参照者）の位置から参照した参加者（以後、参照者）に向けて光球を移動させることで、誰が誰の発言を参照したかを直感的に表示する。また、参照された発言を議論における貢献発言として可視化することで、包括的な貢献を明示化する。貢献発言は参加者ごとに決まった色を持つ円（ノード）で表現される。多くの参加者に理解を与えた発言ほどノードの半径が大きくなり、同じ話題に関するノードをエッジで結ぶことで話題のまとまりを表現する。参加者は可視化された貢献発言情報によって、各話題ごとに、誰のどのような発言が貢献しているかを把握できる。表 6.1 に本研究で対象とする貢献の種類及び、貢献への気づきをもたらす効果をまとめた。

6.2 発言参照動作の反映手法

誰が誰の発言を参照したかを即時的な貢献として表現するために、円卓場ウィンドウに表現される学習空間で発言参照動作に基づき光球を移動させる。図 6.1 に光球の移動例を示す。X は参加者自身を、A, B, C は他者を表し、図に示す矢印は光球の移動方向であ

表 6.1 貢献への気づきの種類及び期待される効果

貢献の種類	アプローチ	期待される効果
即時的な貢献への気づき	直感的な発言参照動作の表示	現在の話題を意識した発言への動機付け
包括的な貢献への気づき	各話題における貢献発言の可視化	議論全体の参加者/話題を意識した発言への動機付け

る．光球オブジェクトの軌跡は，参照者と被参照者の位置を円卓の中心座標で補間したパラメトリック曲線の一つである Bezier 曲線によって決定される．図 6.1(a) は A が X の発言を有益な発言として参照した状況である． X の位置から A のノート・オブジェクトの位置まで光球オブジェクトが移動する． X は円卓場ウィンドウを通して発言参照動作を観察できる．図 6.1(b) は X が C の発言を参照した状況である．図 6.1(a) とは逆に， C の位置から X の方向に光球オブジェクトが移動する．一方， X に関わる発言参照動作だけでなく，他者間に生じる参照動作も同様に円卓場ウィンドウに表現する．図 6.1(c) に B が C の発言を参照した状況を示す．このように，誰が現在の話題に貢献しているかを，学習時に生じる発言参照動作に基づき直感的に表現する．

参加者の発言参照動作をシステムが検知するために，理解に役立つ発言を発言履歴から選択できる機能を提供する．2.2.2 節に示した円卓場ウィンドウに表示されている発言履歴の中から役立つ発言をダブルクリックすることで，その発言内容が参照者のノート・ウィンドウに複写される．システムでは参照者のダブルクリックをトリガとして，発言参照動作を検知する．また，現在の話題における発言参照動作を表現するために，円卓場ウィンドウに表示される最新の発言履歴を選択した場合のみ光球が表示される．

6.3 貢献発言の可視化手法

6.3.1 参照発言の貢献度の計算

包括的な貢献への気づきを表現するために，発言参照動作で参照された発言を貢献発言として貢献発言可視化ウィンドウに表示する．様々な関連知識が存在する学習課題では，語句そのものを覚えるのではなく，語句と関連する語句との関係を理解することが重要である．参照者は参照した発言を理解に応じてノート・ウィンドウにまとめるため，より多くの語句間の関係が編集内容に参照された発言ほど貢献した発言と言える．

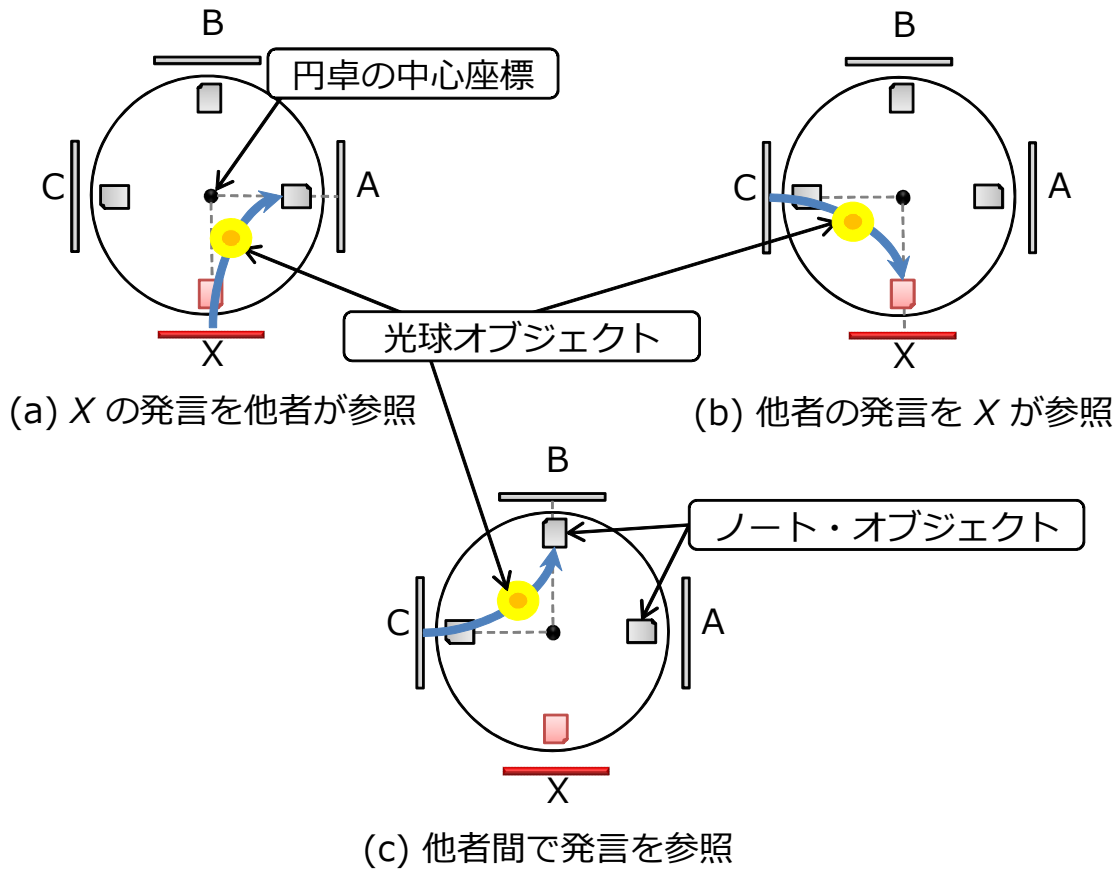


図 6.1 発言参照動作における光球移動の軌跡

参照発言が参照者の知識理解にどの程度役に立ったかという貢献の度合いを表現するために、参照された発言の編集内容情報に基づき貢献発言の貢献度を算出する。語句と語句の組を獲得知識の最小単位として捉え、参照者の編集内容に記述された語句（以後、キーワード）の組合せ数を獲得知識数として近似する。発言は複数人に参照される可能性があり、個々の参照者が得た獲得知識数は異なると考えられる。そこで、ある発言の参照者の編集内容から得られる獲得知識数の総和を貢献度として算出する。

編集テキストに含まれるキーワードを特定するために、日本語形態素解析エンジン Sen [61] を用いた。ここで、名詞と未知語の連続する言葉がキーワードとして抽出される。参加者 p が発言 u_i を編集した場合、テキストに含まれるキーワードの集合 $\mathbf{k}(u_i, p)$ を (k_a, k_b, \dots, k_n) として表す。発言 u_i の貢献度 $cd(u_i)$ は、以下に示す式 6.1 により算出される。

$$cd(u_i) = \sum_{\forall p \in P} |\mathbf{k}(u_i, p)| C_2 | \quad (6.1)$$

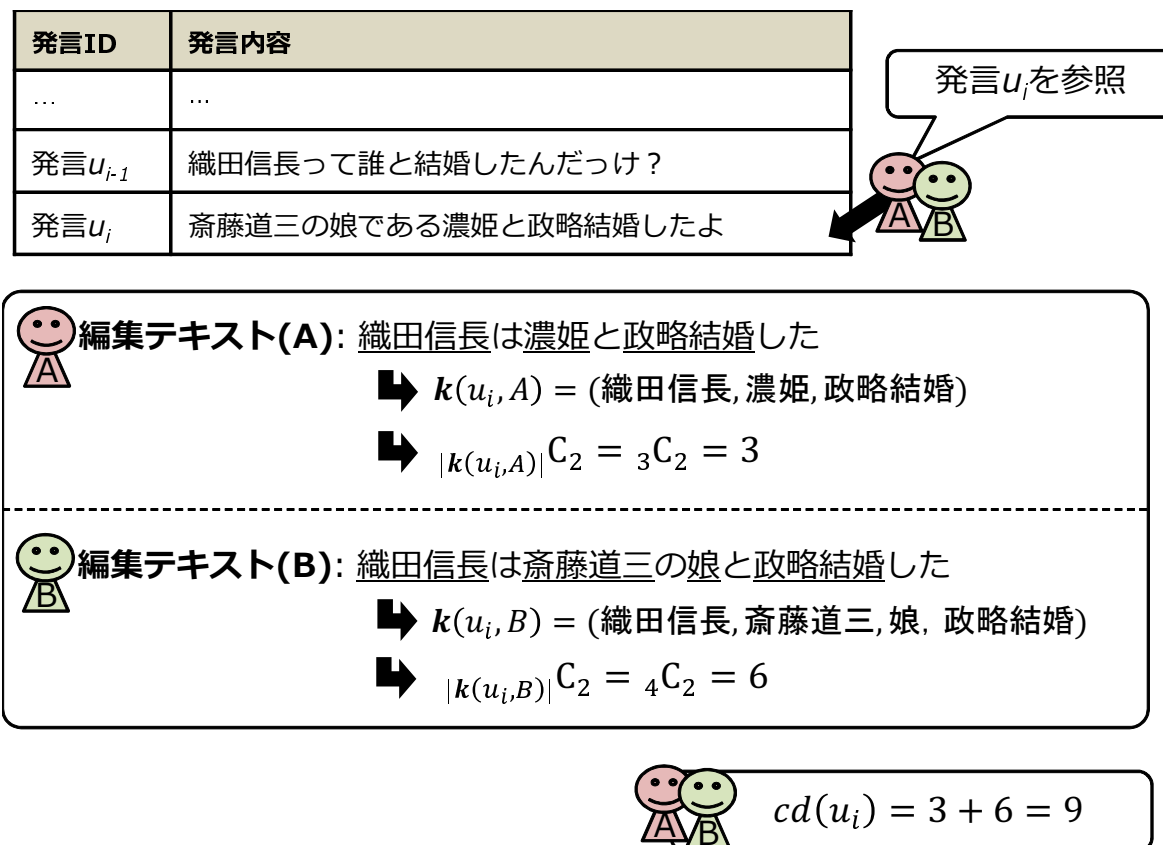


図 6.2 貢献度の算出例

ここで、 P は発言 u_i の発言者以外の参加者集合を表し、 $|k(u_i, p)|C_2$ は発言 u_i を p が編集したテキストのキーワードの組合せ集合数となる。多くの参加者が多くのキーワードを用いて発言 u_i を編集することで、 $cd(u_i)$ の値が大きくなる。図 6.2 に貢献発言 u_i の貢献度の算出例を示す。この例は参加者 A, B が発言 u_i を参照した状況を表す。 A, B の編集内容に含まれるキーワードは、形態素解析により $k(u_i, A) = (\text{織田信長}, \text{濃姫}, \text{政略結婚})$ 、 $k(u_i, B) = (\text{織田信長}, \text{斎藤道三}, \text{娘}, \text{政略結婚})$ として抽出される。キーワードの組合せの総数は、それぞれ $|k(u_i, A)|C_2 = {}_3C_2 = 3$ 、 $|k(u_i, B)|C_2 = {}_4C_2 = 6$ となり、総和となる 9 が u_i の貢献度として算出される。

6.3.2 貢献度に基づく貢献発言の可視化

貢献発言可視化ウィンドウでは、貢献度に応じた個々の貢献発言がノードとして表示される。ノードの色は参加者ごとに決まっており、ノード数を見ることで参加者の貢献発言の総数を把握できる。貢献発言がどれほど貢献していたかを表現するために、 u_i のノ

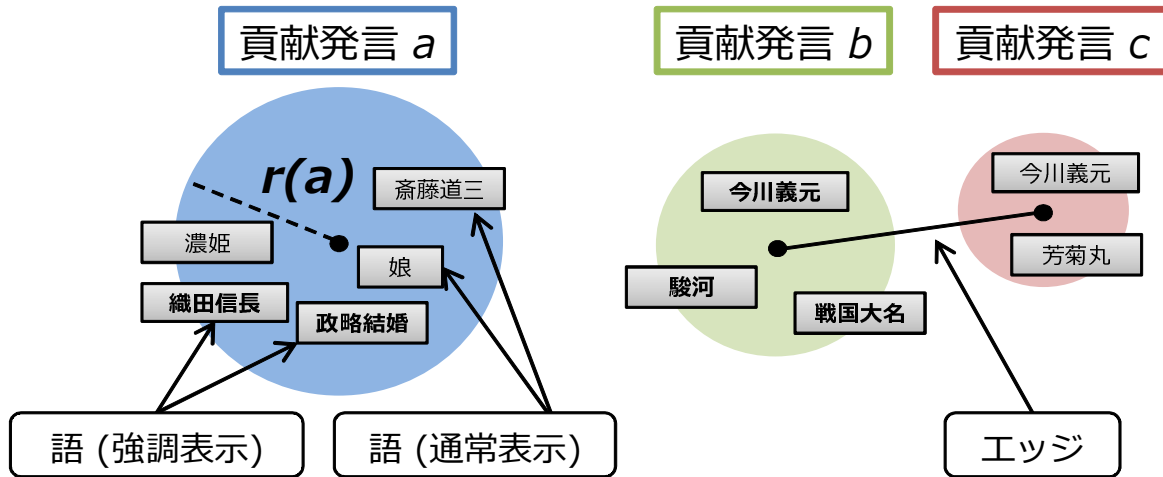


図 6.3 貢献発言の可視化例

ド半径 $r(u_i)$ の大きさを貢献度 $cd(u_i)$ によって変化させる．貢献度は編集内容に含まれるキーワードの組合せから算出されるため，キーワード数に対して二次関数的に値が増加する．ノードの半径を貢献度に正比例するように表現した場合，半径が大きくなりすぎる恐れがある．そこで， u_i のノード半径 $r(u_i)$ を貢献度 $cd(u_i)$ の対数関数として式 6.2 により計算する．

$$r(u_i) = (1 + \log(cd(u_i) + 1)) \times \alpha \quad (6.2)$$

ここで， α は可視化ウィンドウ上のノードの最小半径を表す． $cd(u_i)$ の値に対数比例して，ノード半径 $r(u_i)$ の値が大きくなる．

貢献発言がどのような内容で参加者に役立ったかを表現するために，編集テキストに含まれるキーワードをノード上に表示する．ある発言について複数の参加者が同じキーワードを用いて編集した場合，そのキーワードが太字で強調表示される．また，話題のまとまりを表現するために，異なる貢献発言間で同じキーワードを含む場合はそれらのノードがエッジで結ばれる．図 6.3 に貢献発言の可視化例を示す．貢献発言ノード a では 2 つのキーワード「織田信長」，「政略結婚」が強調表示されており，複数の参加者がこれらのキーワードを編集時に利用していることがわかる．貢献発言ノード b, c はそれぞれキーワード「今川義元」を含むため，エッジで接続されている．貢献発言可視化ウィンドウでは，新たに出現した貢献発言ノードが中心部に表示され，エッジで接続された各ノードはバネモデルにより自動的に再配置される．

6.4 システムの動作

図 6.4 は発言参照動作の処理フローチャートを示す。参加者が発言履歴から発言を参照した場合、その発言が最新発言であるかを判断する。最新発言である場合、参照者 ID、被参照者 ID、参照した発言 ID 情報がサーバに送られる。これらの情報を各クライアントに送信した上で、円卓場ウィンドウに光球が参照者から被参照者の位置まで移動する。最新発言かどうかを判断するために、現在 $n = 4$ としている。

図 6.5 は貢献発言を可視化するための処理手順である。ノート・ウィンドウで参加者が参照発言の内容を編集した場合、形態素解析によりキーワードが抽出される。キーワード情報から獲得知識数を計算し、編集発言 ID、編集者 ID、獲得知識数及びキーワード情報がサーバに送信される。サーバは各クライアントに同情報を送信し、同じ発言を参照した参加者の獲得知識数から発言の貢献度を求めた上で貢献発言の表示内容を設定する。貢献発言可視化ウィンドウに編集対象となった発言が既に存在する場合、その表示内容を更新する。また、新たに追加された場合は、ノードの初期位置を可視化エリアの中心座標とした上で、貢献発言ノードを表示する。

図 6.6 に、発言参照動作の表示例を示す。図 6.6(a) は、 A が X の発言を発言履歴中からダブルクリックした状況である。 X の位置から A の位置まで光球が移動する様子を円卓場ウィンドウを通して観察することで、自身の発言が他者に参照されたことがわかる。図 6.6(b) は B が C の発言を参照した状況である。このように、円卓場ウィンドウを通して議論の中で誰が誰の発言を役立つ発言として参照しているかを視覚的に表現する。

参照した発言内容は、参照者が持つノート・ウィンドウの参照発言編集エリアに複写される(図 6.7 左)。発言内容は自由に編集することができる。送信ボタンが押されることで、編集内容表示エリアに編集した内容がリスト形式で表示される(図 6.7 右)。編集内容を再編集したい場合は、コンテキスト・メニューから修正または削除できる。

図 6.8 に貢献発言可視化ウィンドウの表示例を示す。また、図 6.9 に貢献発言ノードの表示例を示す。参加者が参照発言を編集した場合、その発言が貢献発言ノードとして可視化ウィンドウに現れる。ノード上には、編集テキストに含まれる語が表示される。ドラッグすることでノードの位置を自由に変更できる。すでに可視化ウィンドウに存在する発言を他の参加者が編集した場合は、新たに抽出された語がノード上の語に加えて表示される。複数の参加者が同じ語を用いて同じ発言を編集した場合、その語は太字で強調表示さ

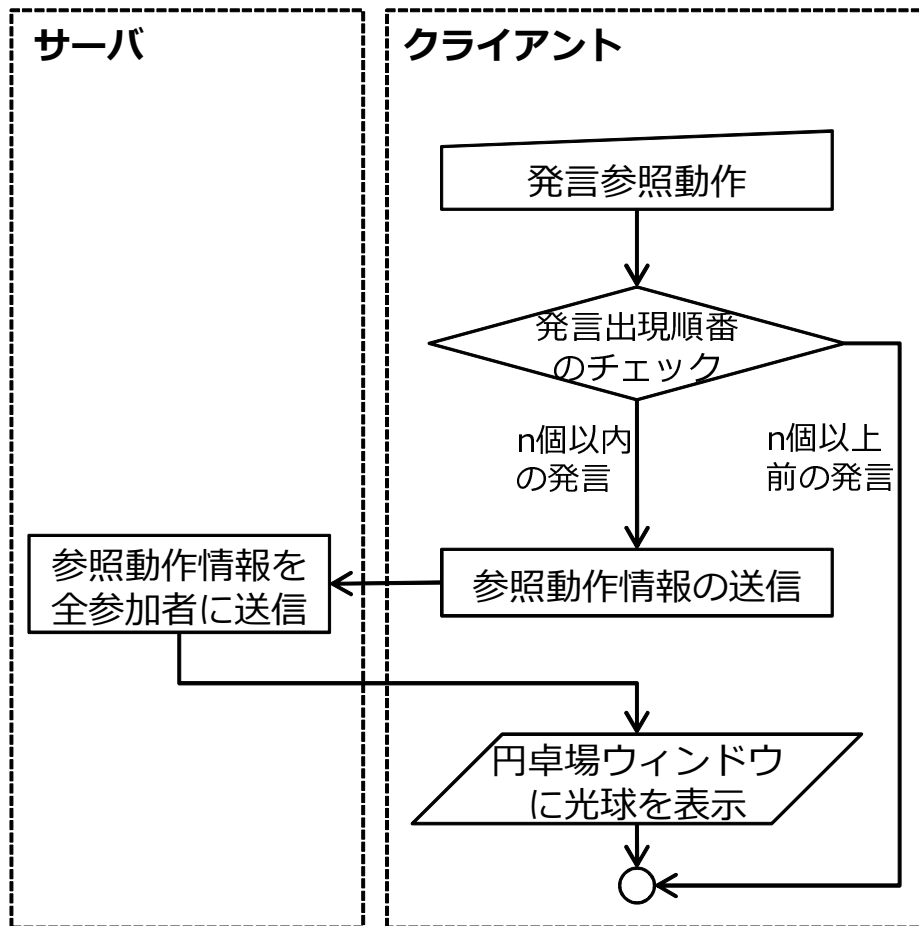


図 6.4 発言参照動作の処理フローチャート

れ，異なるノードに同じ語が含まれる場合はノード間がエッジで結ばれる．編集元となった発言内容は各ノードを右クリックすることで閲覧できる．

6.5 評価実験

6.5.1 実験内容

発言参照動作の反映，貢献発言の可視化手法の妥当性及び，有効性を検証するために評価実験を実施した．本実験では，4人の大学生から構成されるグループ1，グループ2に，それぞれ2つの日本史の学習課題（学習課題1：平安時代，学習課題2：鎌倉時代）について学習させた．実験前日に各被験者に Wikipedia の該当する箇所を印刷した資料を配布し，予習させた．また，実験前にシステムの操作方法及び，貢献発言可視化ウィンドウに表示される情報について被験者に説明し，実際に操作させた．その後，構築したシステム

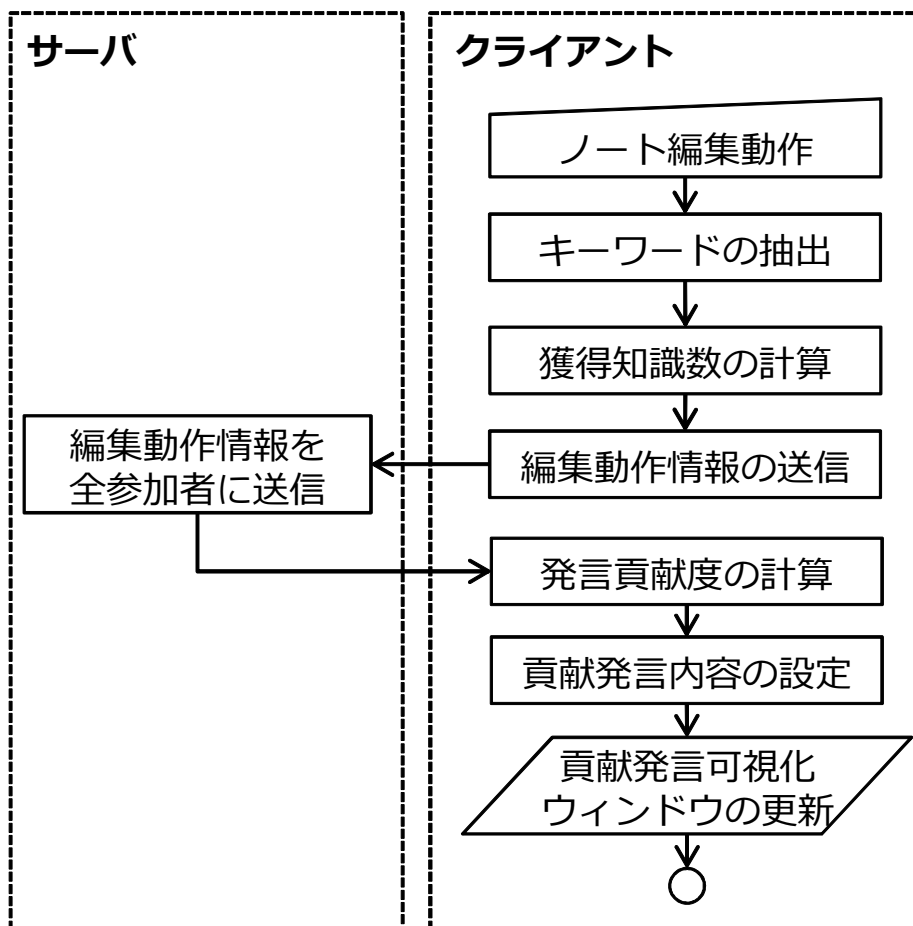
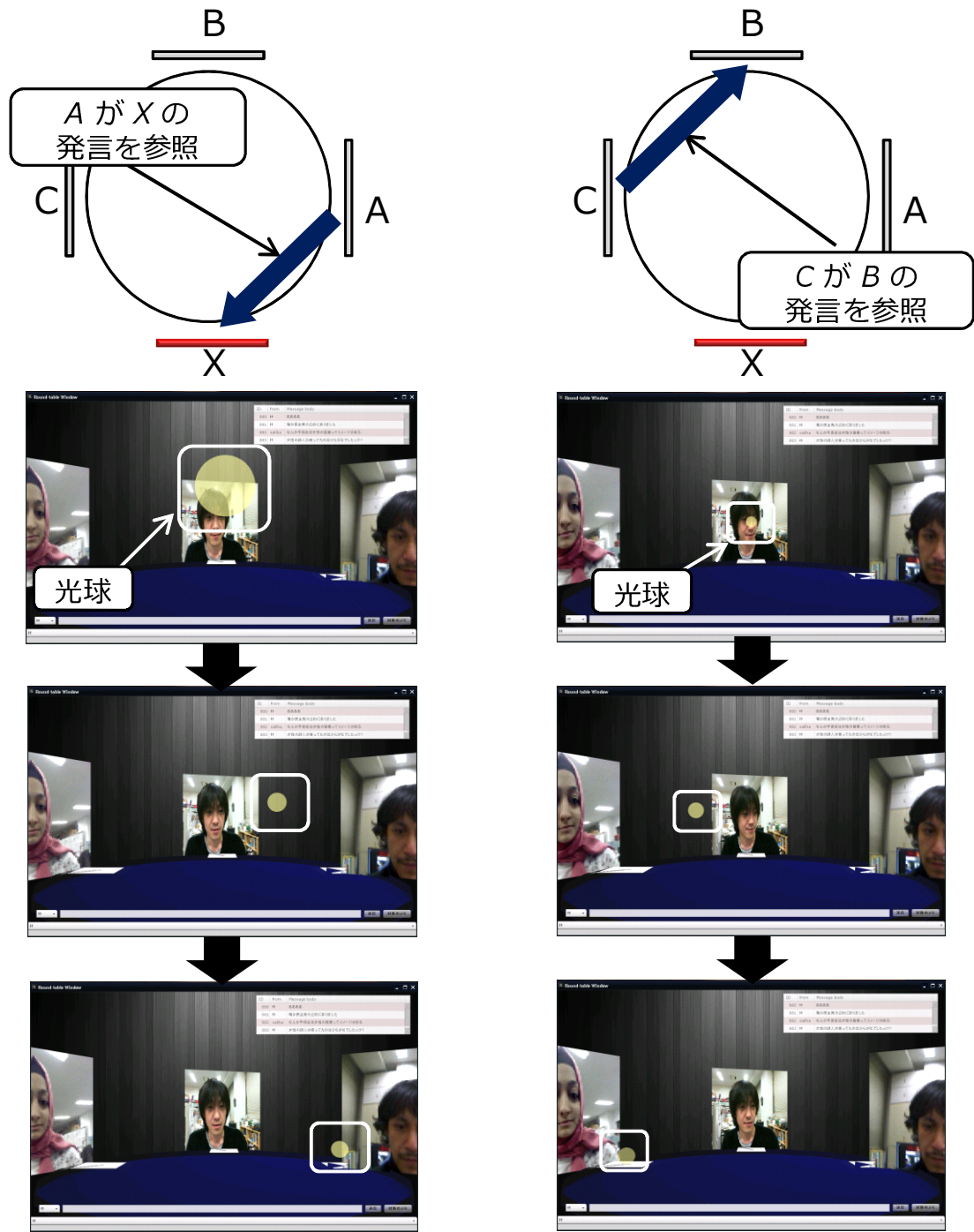


図 6.5 貢献発言可視化の処理フローチャート

を用いて学習させた。学習時には話題を提案するためにウェブ・ブラウザを検索・閲覧することを許可し、発言の対象者を選択してから発言するように指示した。

一回目の学習では、円卓場ウィンドウに表示される発言参照動作のみの効果を調べるために貢献発言可視化ウィンドウを非表示にして実施した。ここで、グループ 1 は学習課題 2 について、グループ 2 は学習課題 1 について議論させ、学習終了後に発言参照動作に関するアンケートに回答させた。回答は 1 が最も悪く、5 が最も良いという 5 段階尺度による評価形式を採用した。その後、貢献発言可視化ウィンドウを用いて二回目の学習を実施し、貢献発言可視化ウィンドウに関するアンケートに回答させた。ここでは、グループ 1 は学習課題 1 について、グループ 2 は学習課題 2 について議論させた。回答時には議論後の可視化ウィンドウを操作させることを許可した。また、発言参照動作のみが反映された状況と比べて、可視化ウィンドウ情報のなかで自身の発言に影響を与えたものがあれば利



(a) 参加者自身の発言に対する参照動作

(b) 他者間の参照動作

図 6.6 円卓場ウィンドウにおける発言参照動作の表示例

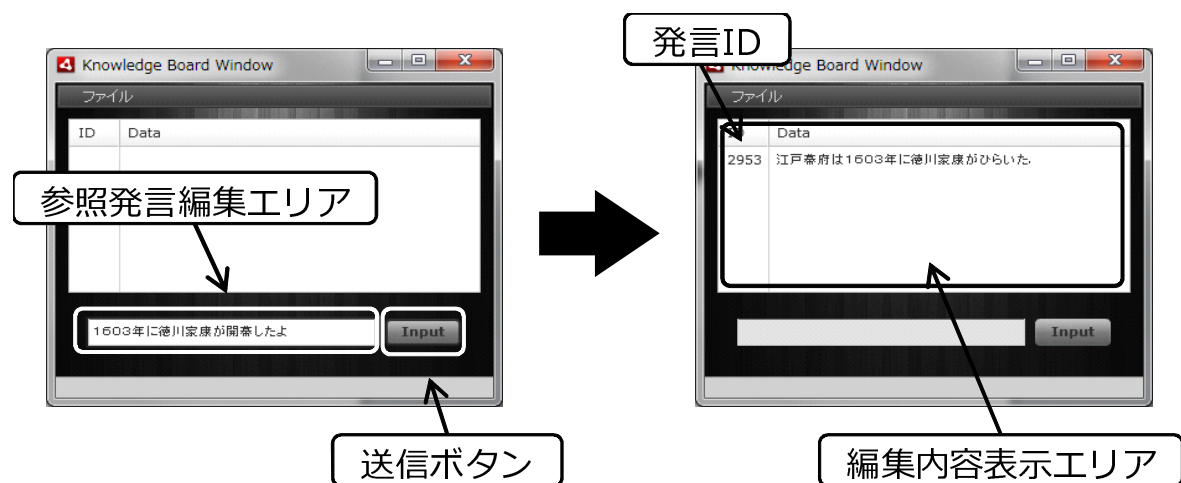


図 6.7 ノート・ウィンドウにおける参照発言の編集例

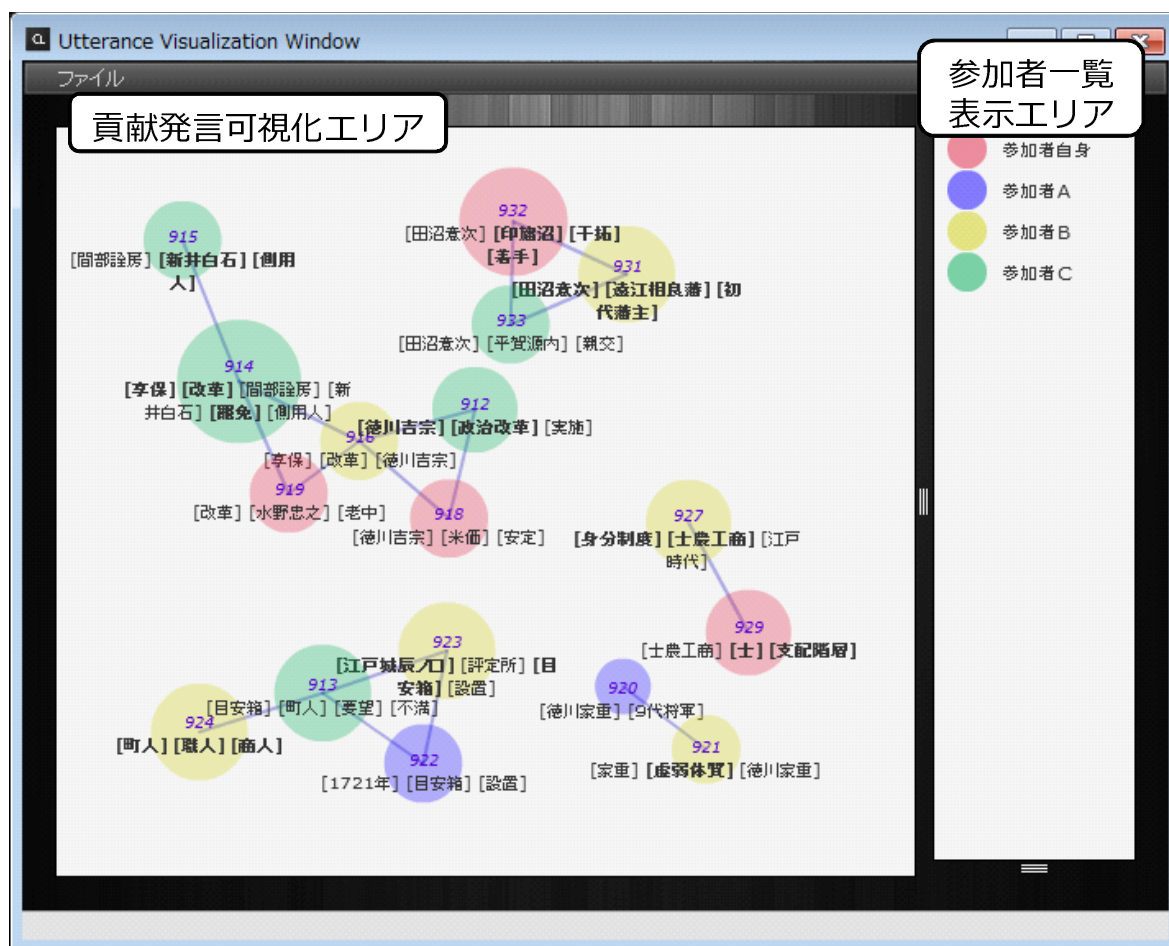


図 6.8 貢献発言可視化ウィンドウ

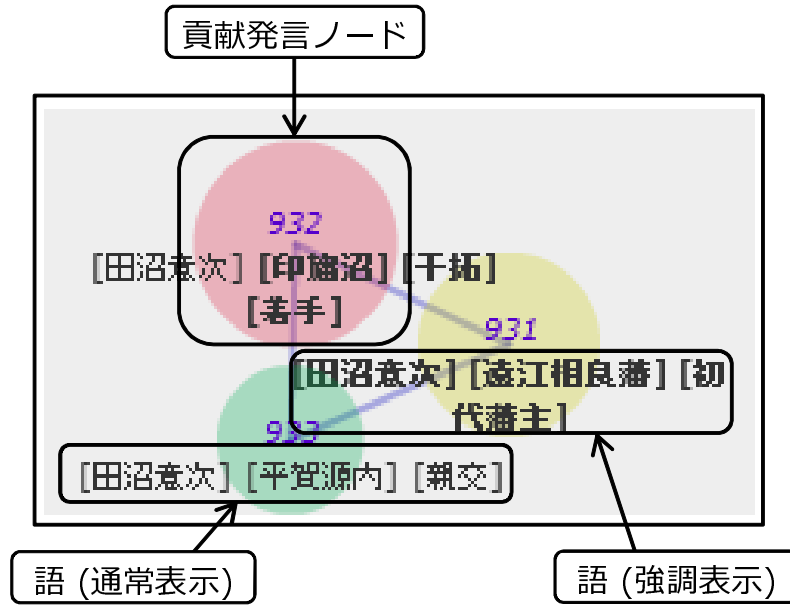


図 6.9 貢献発言ノードの表示例

用した情報を，またどのような発言をすることを意識したかを記述させた。

6.5.2 発言参照動作反映手法の結果

表 6.2 に各グループの議論構成における発言数，生成されたノード数，エッジ数及び，ノード半径の平均を示す．議論環境の違いでは，発言総数，ノード総数，ノード半径の平均に明確な差は見られなかった．一方，エッジ総数は発言参照動作の反映機能のみと比べて貢献発言の可視化機能を加えた方が少ないという結果が得られた．議論内容に関して持つ知識は個々の被験者により異なり，参加者構成により対話状況も変化すると考えられるため，現段階でこのような結果が導かれた原因を特定することは難しい．

表 6.3 に発言参照動作に関するアンケート項目と平均結果を示す．1-1(a),(b) は発言参照動作表示の妥当性に関する項目である．光球を移動させることで，誰が誰の発言を参照したかを直感的に観察できていたことが示された．1-2(a), (b), (c) は自身の発言参照動作の有効性に関する項目である．多くの被験者が各項目に高い評点を付けていた．被験者からは，発言参照動作に気づくことで即時的に他者に役立っているという印象を強く受け，関連する発言や質問に対する返答などその場の話題に積極的に参加する気持ちになったという好意的な意見が得られた．したがって，自身の発言参照動作への気づきは，参照

表 6.2 2 グループの実験結果

	グループ 1		グループ 2	
学習環境	URA	URA+CUV	URA	URA + CUV
学習課題	室町時代	平安時代	平安時代	室町時代
発言総数	112	107	90	92
ノード総数	33	34	31	27
ノード半径の平均	25.1	23.9	26.8	26.7
エッジ総数	53	33	55	33

URA：発言参照動作の反映機能，CUV：貢献発言の可視化機能

表 6.3 発言参照動作に関するアンケート項目

No.	質問内容		平均
1-1(a)	誰が誰の発言を参照したかを把握できたか		4.125
1-1(b)	どの発言が参照されたかを把握できたか		3.750
1-2(a)	自身への発言	他者の役に立つという実感が得られたか	4.375
1-2(b)	参照動作	役立つ発言とは何か考えたか	4.000
1-2(c)		他者に役立つ発言をしようと思ったか	4.250
1-3(a)	他者間の発言	他者の役立つ発言に気づくことができたか	4.375
1-3(b)	参照動作	役立つ発言とは何かを考えたか	3.125
1-3(c)		他者に役立つ発言をしようと思ったか	3.500

時点の話題に関する発言への内発的な動機付けに役立つことが明らかとなった。

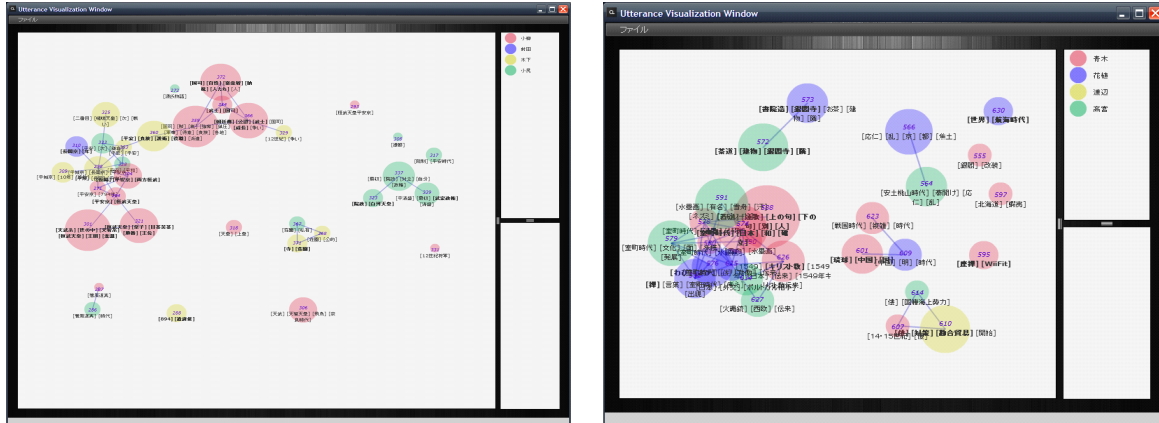
1-3(a), (b), (c) は他者間の発言参照動作に関する項目である。被験者からは、他者間の光球移動から自分にも役立つ発言かもしれないということに気づいた、よく参照される他者に負けずに役立つ発言をしようという気持ちになった、という意見が挙げられた。一方、役立つ発言をしようという刺激をそれほど受けなかったという理由から、1-2(b), (c) の項目に低い評点を付けた被験者が数名いた。他者間の発言参照動作への気づきは、自身への発言参照動作ほど役立つ発言への動機付けにならないことが示された。

6.5.3 貢献発言可視化手法の結果

表 6.4 に貢献発言の可視化手法の妥当性に関するアンケート項目と平均結果を示す。また、図 6.10 に可視化ウィンドウを利用した状況の議論終了時のグループ 1, グループ 2 の

表 6.4 貢献発言可視化ウィンドウに関するアンケート項目

No.	質問内容	平均
2(a)	ノードの色から参加者の貢献度合いを把握できたか	4.250
2(b)	ノードの大きさから役に立った発言の度合いを把握できたか	4.250
2(c)	キーワードとエッジから発言間の話題の違いを把握できたか	3.750



(a) グループ 1 の可視化ウィンドウ

(b) グループ 2 の可視化ウィンドウ

図 6.10 実験終了時の貢献発言可視化ウィンドウ

貢献発言可視化ウィンドウを示す。2(a)の結果より、誰が貢献しているかという被験者の印象を、貢献発言ノードの色情報で反映できたことがわかる。また、2(b)の結果より、被験者はノードの大きさを観察することで貢献発言の貢献の度合いを把握できたことがわかる。したがって、式 6.1, 式 6.2 から導かれるノード半径の算出手法は、ある程度妥当であることが示された。一方、2(c)の項目について数人の被験者が低い評点を付けていた。被験者からは、同じ内容はある程度まとまっていてわかりやすいが、多くのノードが存在する状況ではノード上のキーワードが把握しにくくなるという問題点が指摘された。図 6.10(b)のグループ 2 の可視化ウィンドウのように、複数のノードが接続された場合でも話題の違いを読み取り易くするために、ノード間の代表的なキーワードを推定・表示する手法 [64] などを検討する必要がある。

議論時に自身の発言に影響を受けた可視化ウィンドウ上の情報について被験者に回答させたところ、ノードの色と大きさ、または、ノードの集合とノード上のキーワードを複合的に参照したというコメントが得られた。表 6.5 に各情報の組合せにおいて参照した被験者の割合及び、発言の種類を示す。ノードの色と大きさの情報を参照することで、「貢献

表 6.5 可視化ウィンドウの利用情報に基づく発言の種類

利用した情報	人数の割合	発言の種類
ノードの色	75.0% (6/8)	<ul style="list-style-type: none"> ・ ノードが多い参加者に負けられないような発言 ・ 貢献発言が少ない人に問いかけるような発言 ・ ノードの半径が大きくなることを狙った発言
ノードの大小	62.5% (5/8)	
ノードの集合	50.0% (4/8)	<ul style="list-style-type: none"> ・ これまでの話題に沿った発言 ・ 新たな話題を出すきっかけとなる発言 ・ 今まで出ていないキーワードに関する発言
キーワード	37.5% (3/8)	

発言が少ない参加者に問いかけるような発言」や、「ノード数や半径が大きい他者に負けられないような発言」など、その場に集う参加者を意識した発言への動機付けができた。また、ノード集合とキーワードの情報から、「これまでになされた話題を意識した発言」が一部の被験者によりなされていたことがわかる。

図 6.11, 図 6.12 にグループ 1, グループ 2 の可視化ウィンドウ情報を用いた発言例を示す。グループ 1 では、議論全体を通して被験者 A の多くの発言が貢献発言ノードとして可視化ウィンドウに表示されていた。被験者 B によると、A に負けられないようなノードが大きくなる発言とは何かを考え、参加者に役立つと考えられる詳細な説明を加えた発言 (91: 「国司に関する説明」, 104: 「土地争いに関する説明」) がなされていた (図 6.11)。グループ 2 の被験者 F によると、貢献発言ノードのキーワード情報を見ることで、それまでに現れていない「キリスト教」が新たに盛り上がる話題と考え、発言 (79) がなされていた (図 6.12)。この発言を受けた発言 (80) は他の被験者全員に参照されており、これまでに出ていないキーワードに関する発言 (79) がその後の議論に役立っていることがわかる。一方、被験者 E はその時点の可視化ウィンドウ情報から被験者 H の貢献発言数が非常に少ないことに気づき、発言 (86) に問いかける発言 (89) をすることで H からの発言を求めていた。このように、議論全体を通じた包括的な貢献に参加者が気づくことで、議論における参加者や話題を考慮した発言への動機付けができたことが被験者の意見により示された。

一方、議論時に可視化ウィンドウの情報を参照している被験者の割合はそれほど多くない。参加者からは議論が盛り上がるにつれて円卓場ウィンドウに集中してしまい、話題が一段落した状況しか可視化ウィンドウを観察できなかったという問題点が挙げられた。項目 2(c) で指摘された内容も踏まえて、参加者の認知的な負荷とならない貢献発言表示に

番号	発言者	対象者：発言内容
90	A	全体：ちがった．それは地頭かぁ．
91	B	A：賊による税の強奪とかを鎮圧するために，軍事を得意とする貴族を各地へ派遣したやつのです．
...
103	C	A：寺とかも荘園を持っていたらしいですね
104	B	A：国司の前に，百姓の富豪層が既において，納税を取り締まる人たちもいたそうですね．

図 6.11 貢献発言可視化ウィンドウ情報に基づく発言例 (グループ 1)

番号	発言者	対象者：発言内容
78	E	G：宗教が暴動の原因になることは確かにありましたね．
79	F	全体：宗教といえばキリスト教が伝わってきたのは室町時代なの？
80	E	F： <u>1549</u> いごよくひろまるキリスト教
...
86	H	全体： <u>フランシスコ・ザビエル</u> とかいましたね
...
89	E	H：ザビエルが日本に来た目的って，キリスト教を伝えるためだけでしたっけ？

図 6.12 貢献発言可視化ウィンドウ情報に基づく発言例 (グループ 2)

改良していく必要がある．また，本実験では，他の参加者と比べて極端に貢献発言数が少ない被験者が存在した．本研究では貢献への気づきを可視化することに焦点を当てており，その情報をどのように参照するかは個々の参加者の判断に任せている．協調的な議論を達成するためには，どの参加者からも有益な発言がなされることが望ましい．この場合，貢献発言情報からシステムが同定した議論時の参加者構成や状況をアウェアネス情報として表出することで，参加者を意識した対話を積極的に支援できると考えられる．

6.6 本章のまとめ

本章では，協調学習時の議論における即時的・包括的な貢献への気づきを表現する手法を提案した．議論時の貢献に参加者が気づくことで，自己の存在感を自覚し，効果的な議

論に繋がる発言への意識を高めることを狙いとした．他者への影響を感じる動作としてノートによる発言の参照動作に着目し，即時的な貢献への気づきとして発言の参照動作に基づき被参照者から参照者の位置まで光球を移動させる機能を実現した．また，包括的な貢献として，参照された発言の編集内容に応じて貢献発言を貢献発言可視化ウィンドウ上に表示した．編集テキストに含まれるキーワードの組合せからノードの半径を計算し，関連するノードをエッジで結ぶことで，各話題について誰がどれほど有益な発言をしてきたかを表現した．

評価実験より，自身の発言参照動作に気づくことで，参照時点の話題に関する発言意識の向上に役立つことが明らかとなった．一方，他者間の発言参照動作への気づきは，自身への発言参照動作ほど発言意識は向上しないことが示された．また，貢献発言の可視化ウィンドウから議論全体を通した参加者の貢献に気づくことで，参加者やこれまでになされた話題を考慮した発言を誘発できたことを確認した．

現在の貢献発言可視化ウィンドウでは，出現するキーワードの関係に重点をおき，貢献発言ノード間を結合することで話題を表現している．ここでは，発言の出現順番を考慮せず，議論全体を通した参加者の貢献度合いが表示される．一方，発現順番情報を用いることで，特定の時点に焦点を当てた参加者の貢献度合いを表現できる．例えば，過去になされた貢献発言ほど小さくなるように算出されたノード半径に重みをつけることで，現時点の参加者の貢献状況を反映した可視化が実現できる．

第7章

結論

7.1 本論文のまとめ

本論文では、遠隔分散環境で展開される協調学習時の同期的なコミュニケーションを支援するための対話インタフェースを提案した。仮想学習空間を情報ネットワーク上に構成し、協調学習のコミュニケーションに必要なアウェアネス情報を表現することで、他者との共存感、自己の存在感を個々の参加者が意識しながら学習に臨むことのできる学習空間を構築した。効果的な協調学習を達成するためには、その議論過程が重要であり、仲間と円滑にコミュニケーションできる環境が必要である。参加者同士の学びあいの中で対話が活性化することで、学習成果として現れる理解の深化や知識構築の機会が促進される。本研究成果は、協調学習活動の核となる参加者の相互作用そのものを高めるための対話基盤を実現したことであり、学習課題を意識した知識レベルを扱う協調学習支援システムの土台として、本インタフェースが応用されることを期待する。

以下、本研究の成果を要約する。

2章では協調学習の対話空間構成について、参加者が他者と同一の空間を共有していると実感でき、協調学習の情報を等しく観察できる参加者配置を検討した。本研究では、座順による優劣がなく対等な関係で対話できる円卓の概念に着目し、3次元仮想学習環境で展開される対話の窓口となる円卓場インタフェースを提案した。円卓場インタフェースにおける円卓場ウィンドウは参加者自身の視野に対応し、参加者の意識、振舞いが学習環境に反映される。ここでは、他者との共存感、自己の存在感を参加者に自覚させるために、「他者への気づき」、「発言への気づき」、そして「貢献への気づき」が表出され、場の共有

を達成できる協調学習の対話基盤を実現した。

3章では、協調学習に参加する仲間に対する注目意識を円卓場ウィンドウに表現し、注目している他者が傍にいて、その他者に関する情報を適宜取得できる視線・視野の移動機能を提案した。参加者の注目対象となる他者情報とその注目度の値に応じて、円卓の中心と参加者との距離を変えた位置から注目対象を視線方向としたときの視野を表現した。また、他者を表すカメラ画像をその注目対象に向けることで他者の注目対象情報を表現した。評価実験では、円卓場ウィンドウと、全ての参加者を観察できる視線固定ウィンドウを比較した。その結果、視線・視野が動的に変化する方が意見を交わしやすく、より自然に他者の表情や動作情報を観察できたことが示された。また、同一空間内で他者と共存しながら学習しているという意識が高まることを明らかにした。

4章では、3章で提案した視線・視野の移動機能を、協調学習における参加者の行為に基づき変化させる手法に拡張した。同手法では、協調学習空間に存在する参加者とそのノートに対する行為をトリガとして注目変化対象を定め、その注目変化対象の注目度の値が大きくなるように全参加者の注目度が算出される。注目度が最も高い他者を、参加者が観察したい注目対象として特定し、参加者自身の注目度も含めた視線・視野移動を円卓場ウィンドウで実現した。注目対象の推定に関する評価実験では、被験者の実際の行為対象と本手法で推定された注目対象が約7割の精度で一致しており、個々の被験者の注目対象をある程度推定し、表示できていたという結果が得られた。提案手法は、特定の学習内容に特化したものではなく、学習時に起こる参加者の行為に基づいて注目対象を推測する。したがって、本実験で扱ったノートに解を記述する協調学習だけでなく、5章、6章で実施した時事問題や歴史単元の理解を深める協調学習にも適用することが可能である。

5章では、協調学習時の対話における発言のやり取りを円卓場ウィンドウに表現することで、仲間と共に対話しているという実感を参加者に与えた。ここでは、コミュニケーション手段としてテキスト・チャットに焦点を当て、誰が、誰に対して発言しているかを表現するために、発言テキストを発言者と発言の対象者情報に応じて円卓場ウィンドウ上で移動させた。そして、対話時に参加者が知識を獲得することのできる発言を注目発言と捉え、手掛かり語に基づく発言意図と発言に含まれるキーワード情報から注目発言を検出する手法を提案した。検出された注目発言は、他の発言と比べて強調して表示される。評価実験では、被験者の注目発言の6割強を正しく検出することができた。また、発言テキストの遷移から対話の流れや重要な発言への気づきを直感的に表現し、他者の表情や動作

情報の取得に弊害とならない表示ができたことを示した．視線・視野が注目対象に応じて変化する円卓場ウィンドウにおいて，参加者同士の「言葉のキャッチボール」をその言葉が示す通り学習空間内で実現した本研究成果により，他者との共存感を高められる協調学習の対話基盤に一步近づいたと言える．

6章では，効果的な議論に繋がる発言への意識を高めるために，貢献への気づきを表現するための手法を提案した．ここでは，他者が参加者の発言をノートに参照する動作を学習に貢献している動作として捉え，学習空間でなされる発言参照動作を「即時的な貢献への気づき」として表現した．円卓場ウィンドウでは，発言の被参照者から参照者の位置まで光球オブジェクトを移動させることで自己の存在感を意識させた．また，各話題について誰がどれほど貢献しているかという「包括的な貢献への気づき」を参加者に認知させるために，貢献発言可視化ウィンドウを円卓場インタフェースのコンポーネントとして追加し，参照された発言の編集内容に応じた貢献発言を可視化した．貢献発言ノードは編集内容に含まれるキーワードの組合せ数に対数比例して大きくなり，同じキーワードを含むノードがエッジで結ばれて表現される．評価実験では，参加者が発言参照動作に気づくことで，参照時点の話題に関する発言への意識が高まることを示した．また，議論全体を通じた参加者の貢献度合いを貢献発言可視化ウィンドウに表示することで，議論における参加者や話題を考慮した発言への意識が高まり，一部の参加者により実際に発言されていたことを確認した．現在の貢献発言の可視化手法では，発言された順番を考慮していないが，発言順番情報などを用いることで，リアルタイムな参加者の貢献度合いや，特定の他者に着目した貢献発言表示を可視化ウィンドウに実現できると考える．

7.2 今後の課題

本節では、円卓場インタフェース全体に関わる今後の課題について述べる。

円卓場インタフェースがもたらす学習効果に対する有効性の検証

本研究では、提案手法の効果を評価実験により確認し、分散環境で参加者が仲間と学習を進めていることを実感しながら能動的に学習に臨むことのできる仕組みを明らかにした。コミュニケーションが促進され、知識のやり取りが活発になることで、学習課題に関する知識の強化や理解の深化といった協調学習の学習効果に繋がる機会が増強する。一方で、参加者の学習効果そのものに提案手法がどの程度有効であるかまでは評価できていない。学習内容や参加者の年齢層の違いによる適用可能性も含め、円卓場インタフェースが学習効果そのものを実際に高めることを評価実験を通して検証していくことが重要な課題として挙げられる。

参加者に伝達するアウェアネス情報の検討

本研究で提案した円卓場インタフェースでは、参加者のコミュニケーションを円滑にする目的のもとで3つの気づきを視覚的に表現している。しかし、表出したアウェアネス情報が参加者のコミュニケーションを十分に支援できているかは検討の余地がある。一般的なテキスト・チャットでは、発言入力時のアウェアネスを支援するために、発言テキストを現在誰が入力中であるかを表示する機能がある。このようなアウェアネスをインタフェースに表現する機能を導入することで、より円滑なコミュニケーションを達成できる対話基盤へと発展できる可能性がある。

一方で、アウェアネス情報を参加者に与えすぎた場合、協調的な活動の妨げになるという指摘もされている [12]。6章で示した貢献発言可視化ウィンドウを付加したシステムを用いた評価実験では、議論に集中してしまい話題が一段落した状況しか可視化ウィンドウを観察できなかったという意見を被験者が挙げた。今後の課題として、協調学習のコミュニケーションに適切なアウェアネス情報をさらに検討していくと同時に、参加者の認知的負荷とならない表現手法を考えていく必要がある。

統合されたアウェアネス情報が参加者に与える効果の検証

本研究では、学習状況に関わる複数のアウェアネス情報が組み合わさって円卓場インタフェースに表出される。5章の評価実験では、視線・視野が変化する学習空間で発言テキストを移動させることで、リアルタイムに交わされる発言内容を他者が読み取る様子を観察できたという結果が得られた。一方、参加者の行為に基づき推定される注目対象が適切でない場合は、移動する発言テキスト表示が不自然になってしまう恐れもある。今後、個々の機能が表出するアウェアネス情報が組み合わさる状況でも、参加者のコミュニケーションを問題なく支援できているかを調査していく必要がある。

音声チャットを導入した対話支援

本研究では、参加者の対話手段としてテキスト・チャットを用いる状況を支援対象とした。5章では、発言テキスト情報を言語処理することで、参加者の注目発言をリアルタイムに特定した。また、6章では、発言履歴の編集テキスト情報に基づき、貢献動作情報を可視化する手法を実現した。一方、同期的な環境では、より自然な対話手段として音声チャットを利用できる。音声情報を言語処理する場合、音声認識の精度に大きく依存する。本手法をそのまま音声チャットに導入することは十分に検討する必要があるが、テキスト・チャットに加えて音声チャットを本システムに導入することで、参加者の対話をより円滑にできると考えられる。その第一歩として、現在のシステムでは、4章で提案した注目対象の推定手法を音声チャットにも適用している。参加者が選択した発言対象情報と、個々の参加者のマイク音量から検知できる発言者情報を検出することで、円卓場ウィンドウで視線・視野が変化する機能を実現している。

複数回に渡る協調学習に向けた対話基盤への拡張

本システムを特定の学習課題に応用したシステムへの展開として、我々の研究室では協調学習を通じた論文読解を支援するシステム [65] を構築している。同システムでは、読解対象となる論文の各章に対する議論の広がりを可視化する機能を円卓場インタフェースの新たなコンポーネントとして追加している。このように、円卓場インタフェースは、分散同期の協調学習システムの対話基盤となる可能性を持つ。

一方、本研究では1回限りの協調学習時のコミュニケーションを支援することを対象としており、参加者が再びシステムを利用する状況を考慮していない。4章の評価実験で

は、参加者が注目する他者の要素として、参加者の行為に加えて問題に関する個々の参加者の知識も重要であることが被験者から指摘されている。参加者の発言履歴やノート記述情報から参加者が持つ知識をシステムが保持することで、問題に関する知識を持つ参加者や、頻繁に発言を交わす参加者などの情報から、より正確に注目対象を推定できる可能性がある。このようにシステムに蓄積された情報を用いることで、複数回に渡る協調学習を支援することが今後の展望として挙げられる。

謝辞

本論文の作成にあたり，多くの方々に御支援をいただき感謝の念に絶えません．

本研究は，名古屋大学大学院 情報科学研究科 社会システム情報学専攻の渡邊豊英教授の御指導のもとで行われました．私が名古屋大学 工学部 電気電子情報工学科 4年生時に研究室に配属されて以来，博士課程後期課程在籍中の今日に至るまで，研究者としての姿勢や考え方だけでなく，私生活における悩みまで親身になり相談に乗って頂きました．懇切丁寧な御指導と格別なる御配慮を賜りました渡邊先生に対し，深く御礼申し上げます．

同時に，本論文をまとめるにあたって，御多忙の中，多くの有益かつ適切な御教示を頂きました名古屋大学大学院 情報科学研究科 社会システム情報学専攻の間瀬健二教授，石川佳治教授，同研究科 メディア科学専攻の長尾確教授に対して心から感謝申し上げます．

関西大学 システム理工学部の小尻智子准教授（平成 23 年度 3 月まで名古屋大学大学院 情報科学研究科 社会システム情報学専攻 助教として勤務）には，本研究の遂行にあたって時に厳しく，時に優しく，心ある御指導を頂きました．常に楽しく真剣に研究に取り組む小尻先生の姿勢は，研究に迷う私を何度奮い立たせたか分かりません．心より感謝します．

同様に，本研究に関して日々熱心に御討議を頂きました渡邊研究室の皆様に感謝いたします．特に，金本真明氏（現在日本 IBM 勤務）には，本研究で構築したシステムの実装において多大なる御協力を頂きました．また，研究室配属当初から現在に至るまで，多くの時間を研究室で共に過ごした同輩の小柳佑介氏には，昼夜を問わない刺激的な議論にお付き合い頂きました．ここに感謝の意を申し上げます．

最後に，私の博士課程後期課程進学を快諾し，常に暖かく見守り，支え続けてくれた家族に心から感謝します．

参考文献

- [1] 教育システム情報学会 (編): “教育システム情報ハンドブック”, 実教出版 (2001).
- [2] H. H. Adelsberger, B. Collis and J. M. Pawlowski: “*Handbook on Information Technologies for Education and Training*”, Springer-Verlag (2002).
- [3] 西之園晴夫, 望月紫帆: “生涯学習社会における協調自律学習開発の基礎研究 2”, 佛教大学教育学部論集, Vol. 18, pp. 69–77 (2007).
- [4] 岡本敏雄, 香山瑞恵: “人工知能と教育工学 - 知識創産指向の新しい教育システム -”, オーム社 (2008).
- [5] 三宅なほみ: “協調的な学習と AI”, 人工知能学会誌, Vol. 23, No. 2, pp. 174–183 (2008).
- [6] 稲葉晶子, 豊田順一: “CSCL の背景と研究動向”, 教育システム情報学会誌, Vol. 16, No. 3, pp. 111–120 (1999).
- [7] 矢野米雄, 金西計英, 越智洋司: “教育・学習システムの動向”, 日本化学会情報科学部会誌, Vol. 20, No. 1, pp. 2–7 (2002).
- [8] J. H. E. Andriessen: “*Working with Groupware*”, Springer-Verlag (2003).
- [9] C. Gutwin, G. Stark and S. Greenberg: “Support for Workspace Awareness in Educational Groupware”, *Proc. of ACM CSCL 1995*, pp. 147–156 (1995).
- [10] 喜多壮太郎: “ひとはなぜジェスチャーをするのか”, *Cognitive Studies*, Vol. 7, No. 1, pp. 9–21 (2000).
- [11] 石井裕: “CSCW とグループウェア - 協創メディアとしてのコンピュータ -”, オーム社 (1994).

- [12] 國藤進: “知的グループウェアによるナレッジマネジメント”, 日科技連出版社 (2001).
- [13] S. E. Hudson and I. Smith: “Techniques for Addressing Fundamental Privacy and Disruption Tradeoffs in Awareness Support Systems”, *Proc. of ACM CSCW 1996*, pp. 248–257 (1996).
- [14] T. Watanabe: “Learning Collaboration in a Round Table”, *Proc. of ED-MEDIA 2007*, pp. 1235–1240 (2007).
- [15] T. Watanabe: “The Next Advanced Framework of Collaborative Interaction Environment”, *Proc. of ED-MEDIA 2008*, pp. 1350–1358 (2008).
- [16] 伊藤泰樹, 小尻智子, 渡邊豊英: “協調学習空間における face-to-face インタフェースの構築”, 電子情報通信学会技術研究報告 102(139), pp. 7–12 (2002).
- [17] T. Kojiri, Y. Ito and T. Watanabe: “User-oriented Interface for Collaborative Learning Environment”, *Proc. of ICCE 2002*, pp. 213–214 (2002).
- [18] C. Ellis, S. Gibbs and G. Rein: “Groupware: Some Issues and Experiences”, *Communications of the ACM*, Vol. 34, No. 1, pp. 38–58 (1991).
- [19] K. Hirata, Y. Harada, T. Takada, S. Aoyagi, Y. Shirai, N. Yamashita and J. Yamato: “The t-Room - Toward the Future Phone”, *NTT Technical Review*, Vol. 4, No. 12, pp. 23–33 (2006).
- [20] 並木育夫, 目黒義隆, 青木茂明, 入江一成, 野村知義, 斉藤一重: “高臨場感マルチメディア通信会議システムの構築と評価”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-B-1, No. 6, pp. 338–347 (1997).
- [21] 岡田謙一, 松下温: “臨場感のある多地点テレビ会議システム:MAJIC”, 情報処理学会論文誌, Vol. 36, No. 3, pp. 775–783 (1995).
- [22] B. Anne(著), 松村剛(監修), 村上伸子(訳): “アーサー王伝説(「知の再発見」双書)”, 創元社 (1997).
- [23] 野口康人, 井上智雄: “複合現実感を用いた分散会議における複数アバタの配置と表現”, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 1, pp. 54–62 (2007).

- [24] Microsoft Co.: “Windows Live Messenger”, <http://messenger.live.com/>.
- [25] Skype Ltd.: “Skype”, <http://www.skype.com/>.
- [26] SOBA-Project Inc.: “SOBA-CITY”, <http://city.soba-project.com/>.
- [27] NTT IT Co.: “MeetingPlaza”, <http://www.meetingplaza.com/>.
- [28] P. Kauff and O. Schreer: “An Immersive 3D Video-Conferencing System Using Shared Virtual Team User Environments”, *Proc. of ACM CVE 2002*, pp. 105–112 (2002).
- [29] 福井健太郎, 喜多野美鈴, 岡田謙一: “仮想空間を使った多地点遠隔会議システム: e-MulCS”, *情報処理学会論文誌*, Vol. 43, No. 11, pp. 3375–3384 (2002).
- [30] R. Vertegaal: “The GAZE Groupware System: Mediating Joint Attention in Multiparty Communication and Collaboration”, *Proc. of ACM CHI 1999*, pp. 294–301 (1999).
- [31] C. K. Looi: “Exploring the Affordances of Online Chat for Learning”, *International Journal of Learning Technology*, Vol. 1, No. 3, pp. 322–338 (2005).
- [32] H. Fuks, M. Pimentel and C. J. P. de Lucena: “R-U-Typing-2-Me? Evolving a Chat Tool to Increase Understanding in Learning Activities”, *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, Vol. 1, No. 1, pp. 117–142 (2006).
- [33] 赤木正人: “カクテルパーティー効果とそのモデル化”, *電子情報通信学会誌*, Vol. 78, No. 5, pp. 450–453 (1995).
- [34] A. Garcia and J. B. Jacobs: “The Interactional Organization of Computer Mediated Communication in the College Classroom”, *Qualitative Sociology*, Vol. 21, No. 3, pp. 299–317 (1998).
- [35] M. Smith, J. Cadiz and B. Burkhalter: “Conversation Trees and Threaded Chats”, *Proc. of ACM CSCW 2000*, pp. 97–105 (2000).
- [36] 山口広樹, 西原陽子, 大澤幸生, 田中祐次: “患者インタビューの解析手法”, 第 23 回

- 人工知能学会全国大会, pp. 1J1-OS2-9 (2009).
- [37] 西田健志, 栗原一貴, 後藤真孝: “On-Air Forum: リアルタイムコンテンツ視聴中のコミュニケーション支援システム”, *WISS 2009*, pp. 95-100 (2009).
- [38] O. Scheuer, F. Loll, N. Pinkwart and B. M. McLaren: “Computer-supported argumentation: A review of the state of the art”, *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, Vol. 5, No. 1, pp. 43-102 (2010).
- [39] M. J. Baker and K. Lund: “Flexibly structuring the interaction in a CSCL environment”, *Proc. of European Conference on Artificial Intelligence in Education*, pp. 401-407 (1996).
- [40] E. de Bono: “*Six Thinking Hats*”, Back Bay Books (1999).
- [41] Y. Tamura and S. Furukawa: “CSCL Environment for “Six Thinking Hats” Discussion”, *Proc. of KES 2007/WIRN 2007*, pp. 583-589 (2007).
- [42] 小谷哲郎, 関一也, 松居辰則, 岡本敏雄: “好意的発言影響度を取り入れた議論支援システムの開発”, *人工知能学会論文誌*, Vol. 19, No. 2, pp. 95-104 (2004).
- [43] 望月俊男, 藤谷哲, 一色裕里, 中原淳, 山内祐平, 久松慎一, 加藤浩: “電子会議室の発言内容分析による協調学習の評価方法の提案”, *日本教育工学会論文誌*, Vol. 28, No. 1, pp. 15-27 (2004).
- [44] 緒方広明, 矢野米雄: “アウェアネスを指向した開放型グループ学習支援システム Sharlok の構築”, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J78-D-II, No. 8, pp. 1-10 (1995).
- [45] H. Ogata and Y. Yano: “Combining Knowledge Awareness and Information Filtering in an Open-ended Collaborative Learning Environment”, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 11, pp. 33-46 (2000).
- [46] 溝上慎一: “大学生の学習意欲”, *京都大学高等教育研究*, Vol. 2, pp. 184-197 (1996).
- [47] Y. Hayashi, T. Kojiri and T. Watanabe: “Focusing Support Interface for Collaborative Learning”, *The Journal of Information and Systems in Education*, Vol. 6, No. 1, pp. 17-25 (2008).

- [48] Y. Hayashi, T. Kojiri and T. Watanabe: “Focus Support Interface Based on Actions for Collaborative Learning”, *International Journal of Neurocomputing*, Vol. 73, pp. 669–675 (2010).
- [49] 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: “発言アウェアネスに基づいた対話インタフェースの構築”, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 14, No. 1 (採録決定).
- [50] 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: “貢献への気づきを反映した議論支援インタフェース”, *情報処理学会論文誌*, Vol. 53, No. 4 (採録決定).
- [51] T. Kojiri, Y. Ogawa and T. Watanabe: “Agent-oriented Support Environment in Web-based Collaborative Learning”, *International Journal of Universal Computer Science*, Vol. 7, No. 3, pp. 226–239 (2001).
- [52] Red5 Media Server: <http://www.red5.org/>.
- [53] BlazeDS: <http://opensource.adobe.com/wiki/display/blazeds/BlazeDS>.
- [54] OpenID Foundation: <http://openid.net/>.
- [55] 米谷昭, 小尻智子, 渡邊豊英: “協調学習経験に基づいた他者の問題理解の推定”, *電子情報通信学会技術研究報告* 106(106), pp. 35–40 (2006).
- [56] T. Kojiri, A. Komedani and T. Watanabe: “Estimation of Collaborator’s Understanding Situations for Support Knowledge Acquisition”, *International Journal of Computational Intelligence Studies*, Vol. 1, No. 2, pp. 124–138 (2010).
- [57] J. Conklin and M.L. Begeman: “gIBIS: A Hypertext Tool for Exploratory Policy Discussion”, *Proc. of ACM CSCW 1988*, pp. 140–152 (1988).
- [58] 由井園隆也, 重信智宏, 榎野晶文, 宗森純: “リアルタイムなコミュニケーション行為であるチャットへの意味タグ付加と電子ゼミナールへの適用”, *情報処理学会論文誌*, Vol. 47, No. 1, pp. 161–171 (2006).
- [59] 稲葉晶子, 岡本敏雄: “知的グループ学習支援システムのための対話モデルの研究”, *電子情報通信学会技術報告*, Vol. 95(265), pp. 1–8 (1995).
- [60] 小島圭一, 岡本敏雄: “CSCW の対話における発言意図の推定に関する研究 (4)”, *情*

- 報処理学会研究報告, Vol. 96(12), pp. 55–62 (1996).
- [61] Sen Project: “Sen”, <https://sen.dev.java.net/>.
- [62] 門馬隆雄, 沢村英治, 福島孝博, 丸山一郎, 江原暉将, 白井克彦: “聴覚障害者向け字幕付きテレビ番組の自動制作システム”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D-II, No. 6, pp. 888–897 (2001).
- [63] 村田匡輝, 大野誠寛, 松原茂樹: “読みやすい字幕生成のための講演テキストへの改行挿入”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-D, No. 9, pp. 1621–1631 (2009).
- [64] O. Maimon and L. Rokach: “*The Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*”, Springer, pp. 417–432 (2005).
- [65] M. Aoki, Y. Hayashi, T. Kojiri and T. Watanabe: “Discussion Support System for Understanding Research Papers Based on Topic Visualization”, *Innovations in Intelligent Machines-2 Studies in Computational Intelligence*, Vol. 376, No. 9, pp. 185–201 (2011).

研究業績

本論文に関連する研究業績

学術雑誌論文

1. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「貢献への気づきを反映した議論支援インタフェース」, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.4 (採録決定).
2. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「発言アウェアネスに基づいた対話インタフェースの構築」, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.14, No.1 (採録決定).
3. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Focus Support Interface Based on Actions for Collaborative Learning", International Journal of Neurocomputing, Vol.73, pp.669-675 (2010).
4. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Focusing Support Interface for Collaborative Learning", The Journal of Information and Systems in Education, Vol.6, No.1, pp.17-25 (2008).

レター論文

1. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「協調学習における没入型円卓場インタフェース」, 第6回情報科学技術フォーラム (FIT 2007), 情報科学技術レターズ, Vol.6, pp.337-338 (2007).

査読付き国際会議

1. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Interaction Based on Contribution Awareness in Collaborative Learning", Proc. of KES 2011, Part II, LNAI 6882, pp.104-113 (2011).
2. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "A Method for Detecting Focusing Utterance through Discussion in Collaborative Learning", Proc. of ICCE 2010, pp.186-190 (2010).
3. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Communication Support Visual Interface for Collaborative Learning", Proc. of IEA/AIE 2010, Part III, LNAI 6098, pp.239-248 (2010).
4. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Focusing-support Interactive Interface in Collaborative Learning Environment", Proc. of ICCE 2009, pp.385-387 (2009).
5. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Focus Support Interface Based on Collaborative Learning Activity", Proc. of KES 2008, Part I, LNAI 5177, pp.322-329 (2008).
6. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Detection of Focusing Target in Collaborative Learning Based on Activity", Proc. of ED-MEDIA 2008, pp.1034-1039 (2008).
7. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Computer-Supported Focusing Interface for Collaborative Learning", Proc. of ICCE 2007, IOSPress, pp.123-130 (2007).
8. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Immersive Round-Table Interface in Collaborative Learning", Proc. of KES 2007, Part III, LNAI 4694, pp.769-776 (2007).

研究会，全国大会等

1. 林佑樹，小尻智子，渡邊豊英：「貢献への気づきを反映した協調学習対話インタフェー

- スの評価」, 第 36 回教育システム情報学会全国大会 講演論文集, TF-4, pp.342-343 (2011).
2. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「貢献アウェアネスに基づく協調学習対話インタフェース」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.85, pp.27-32 (2011).
 3. **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Interaction-oriented CSCL Environment Based on Focusing Intentions of Learners", For the Symposium and Workshop on The Challenge of Demographic Change - Sustainable Life-long Learning and Digital Media (2009).
 4. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「注目意識に基づいた協調学習対話インタフェースの構築」, 人工知能学会研究会, SIG-ALST-A803-10, pp.53-58 (2009).
 5. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「協調学習活動のための注目インタフェース」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.108, No.88, pp.39-44 (2008).
 6. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「注目意識を反映した円卓場協調インタフェース」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.107, No.109, pp.7-12 (2007).

その他の研究業績

書籍

1. Masato Aoki, **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Discussion Support System for Understanding Research Papers Based on Topic Visualization", Innovations in Intelligent Machines-2 Studies in Computational Intelligence, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Vol.376, pp.185-201 (2011).

査読付き国際会議

1. Xicen Zhang, **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Japanese Learning Support for Chinese-Japanese Translation", Proc. of KES 2011, Part III, LNAI 6883, pp.578-586 (2011).
2. Keita Maeda, **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Skill-up Support for Slide Composition through Discussion", Proc. of KES 2011, Part III,

LNAI 6883, pp.637-646 (2011).

3. Masato Aoki, **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: "Topic Visualization for Understanding Research Paper in Collaborative Discussion", Proc. of KES 2010, Part IV, LNAI 6279, pp.153-162 (2010).

研究会，全国大会等

1. Ayse Saliha Sunar, **Yuki Hayashi**, Toyohide Watanabe: 「Management of Student Model in Learning English Grammar Based on TMS」, 平成 23 年度電気関係学会東海支部連合大会, 講演論文集, I4-8 (2011).
2. 青木政人, 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「創造的研究のための論文分類」, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.111, No.85, pp.15-20 (2011).
3. 倉山めぐみ, 遠海友紀, 村松慶一, 林佑樹, 山根和也, 岡田昌也, 大和雄一郎, 井上道哉, 石川里佳子, 山川広人, 村上正行: 「第 21 回教育システム若手の会報告 - 教育システム研究のこれから - 」, 人工知能学会研究会, SIG-ALST-B003, pp.43-48 (2011).
4. 前田啓太, 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「スライド作成スキル向上のためのスライド修正議論支援」, 2011 年春 JSiSE 学生研究発表会, pp137-140 (2011).
5. 張溪岑, 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「中日翻訳を通じた日本語学習支援のための誤り同定手法」, 計測自動制御学会 教育工学論文集, Vol.33, pp.15-17 (2010).
6. 青木政人, 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「論文理解を目的とした議論に基づいた論文評価支援に向けて」, 平成 20 年度電気関係学会東海支部連合大会, 講演論文集, B2-3 (2010).
7. Hong Yan, **Yuki Hayashi**, Tomoko Kojiri, and Toyohide Watanabe: 「Feature Analysis of Learner's Behaviors in e-Learning」, 平成 20 年度電気関係学会東海支部連合大会, 講演論文集, B2-4 (2010).
8. 張溪岑, 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「日中翻訳に基づいた日本語文法学習支援に向けて」, 平成 20 年度電気関係学会東海支部連合大会, 講演論文集, G1-6 (2010).
9. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「協調学習におけるスポットライトを用いた議論誘発インタフェース」, 情報処理学会創立 50 周年記念 (第 72 回) 全国大会, 1H-1, pp.4.53-54 (2010).

10. 青木政人, 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英 : 「論文読解のための協調学習での議論状況の可視化」, 2010年春 JSiSE 学生研究発表会, pp.87-90 (2010).
11. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英 : 「スポットライトを導入した学習膠着状態解消インタフェースの提案」, 第34回教育システム情報学会全国大会 講演論文集, G3-4, pp.480-481 (2009).
12. 太田光一, 稲垣忠, 中村勝一, 今野文子, 倉山めぐみ, 浦尾彰, 林佑樹, 大山牧子, 諸岡由桂 : 「第19回教育システム若手の会報告 - 夢のある教育工学研究のタネを見つけよう - 」, 人工知能学会研究会, SIG-ALST-A803-08, pp41-46 (2009).
13. 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英 : 「学習目的達成のための他者との友好度の特定」, 平成20年度電気関係学会東海支部連合大会, 講演論文集, O-518 (2008).