

プロンプト提示による協同プロセスの促進：ICAP に着目した実験的 検討

Facilitating collaborative learning process by prompting: Focusing on ICAP

下條 志巖[†], 林 勇吾[‡]
Shigen Shimojo, Yugo Hayashi

[†] 立命館大学大学院人間科学研究科, [‡] 立命館大学総合心理学部

[†] Graduate School of Human Science, Ritsumeikan university, [‡] College of Comprehensive Psychology,
Ritsumeikan University
cp0013kr@ed.ritsumei.ac.jp

概要

本研究の目的は、学習者の状態に基づかないプロンプトの提示によって Interactive, Constructive, Active が促進されるのか実験的に検討することである。そこで、それぞれの会話活動に関するコーディング基準に基づいてプロンプトを作成し、ランダムにプロンプトを提示した。その結果、プロンプトを提示された学習者は提示されなかった学習者よりも Interactive, Constructive に関する発話をより多く行うことが分かった。ただし、プロンプトを提示された条件における Interactive, Constructive, Active に関する発話数に差は確認されなかった。

キーワード：ICAP framework, ファシリテーション, 協同学習, 発話分析

1. はじめに

協同学習プロセスにはさまざまな活動があり、学習支援を行うためには、そうした活動の分類を行わなければならない。そのため、ICAP (Interactive-Constructive-Active-Passive) フレームワーク [1, 2] では、協同において重要な活動である建設的なインタラクション [3, 4, 5] をはじめとした協同学習プロセスを分類している。しかし、どのような支援が有効であるのかは明らかになっていない。近年、協同学習では、学習者の状態に基づいた適応的な支援が検討されているが、ランダムにプロンプトを提示することによる効果も同様に明らかにされている [6, 7]。プロンプトとは、ある特定の学習活動を生じさせることを目的とし、質問といったことを行うことで誘発することである [8]。そこで、本研究では、プロンプトを提示することによって、ICAP フレームワークの Interactive, Constructive, Active をそれぞれ促進できるのか検討を行う。以下、1.1 節では協同学習プロセスの分類と

協同学習を支援する際の問題点を述べ、1.2 節では協同学習の支援を紹介し、プロンプトの有効性を説明した後、それらを踏まえて 1.3 節において本研究の目的と仮説を述べる。

1.1 協同学習プロセスの分類とその支援方法の問題点

協同学習における重要な活動には、個人レベルや協同レベルでさまざまな活動がある。まず、個人レベルで生じる活動では、繰り返し読んだり [9, 10]、言い換えたり単純に要約すること [11] が学習にとって有効な活動であることが分かっている。次に、協同では、自分に対して説明を行う自己説明活動 [12, 13, 14, 15] や自分の考えを外化し、お互いの異なる考えに基づいて自分の理解を再構築する建設的なインタラクション [3, 4, 5] の有効性が知られている。つまり、協同では、個人において生じる活動だけではなく、協同に特有の活動を行うことが可能であるということである。ただし、異なる視点を錯視の原理を用いて作り出した [16, 17] では、建設的なインタラクションを行うことが難しいことが分かっている。したがって、個人で行うことが可能な活動に加えて、協同ではお互いの貢献に基づいて、掘り下げていく深いインタラクションを行うことによって、より学習効果が得られると考えられるが、そうしたインタラクションを行うことは容易ではない。そのため、協同学習において学習支援を行うためには、こうしたインタラクションを理論的に整理することが重要である。

協同学習では、会話活動を分類し、分析するといった試みが多く行われている。たとえば、[18] では、協同学習プロセスを大きく 5 つに分類し、9 つの側面から捉えた。具体的には、(1)Communication は、

共通理解を構築し、ターンテイキングを行う会話活動、(2)Joint information processing は、知識を外化し批判的に意見を交換し、合意形成を行う会話活動、(3)Coordination は、時間の調整や分業を行う会話活動、(4)Interpersonal relationship は、同等に貢献するための会話活動、(5)Motivation は、課題への取り組みに関する会話活動である。こうした協同学習プロセスは、CSCL(Computer-Supported Collaborative Learning) 状況におけるコミュニケーションを成功に導く協調的なプロセスを捉えていた。また、[19] では、協同学習プロセスを大きく2つに分類し、11の側面から捉えた。具体的には、(1)Nonargumentative moves は、葛藤を引きおこさず、情報の提供や要求精緻化などの会話活動、(2)Argumentative moves は、葛藤を引き起こしたり、自分の認知的地位を高めたりする会話活動である。こうした協同学習プロセスは、考えの精緻化や賛成も含めた批判的な検討を行う論争のプロセスを捉えていた。その中で協同における学習活動を分類した ICAP (Interactive-Constructive-Active-Passive) フレームワーク [1, 2] がある。このフレームワークでは、協同学習プロセスを Interactive, Constructive, Active, Passive に分類している。Passive から Interactive にいくにつれて深いインタラクションになり、階層構造になっている。つまり、Interactive は、その他の下位の活動を含み、より学習教材の内容を深めた活動を行い、知識変容をもたらす。以下でそれぞれ具体的にみていく。Passive は、学習教材の内容を受動的に受け取るだけの活動である。Active は、学習教材に対する観察可能である明らかな活動であり、明らかな活動でなければ Passive になる。明らかな活動とは、言い換えといった発話活動や下線を引くといった運動的な活動を伴うものである。Constructive は、学習教材の内容を深め、その内容を外化する活動であり、学習教材の内容をそのまま繰り返すだけのものは Active になる。Interactive は、学習教材の内容を深め、その内容を外化し、その内容に基づいて意見を構築したり、質問したり、お互いに意見を交換し、実質的な貢献をする活動である。また、一方の学習者が貢献していたとしても、もう一方の学習者が単純に同意したりする発言である場合は、Interactive ではない。したがって、上記の2つと同様に、協同学習において重要な活動を分類することが可能であり、どのような活動をファシリテーションする必要があるのか提供することができるフレームワークであるといえる。

上記の内容を踏まえると、協同学習における活動を Interactive, Constructive, Active, Passive に分類

することができ、認知科学において重要とされる建設的なインタラクションを捉えているといえる。また、協同学習において支援するには、Interactive だけではなく、Interactive な活動を行うのに不可欠な活動である Constructive, Active を含めた3つに関して支援を行う必要がある。ただし、どのような支援が有効であるのかは分かっていないといえる。そして、協同学習において支援がない場合は、階層構造であるため、Interactive に関する発話が少なく、続いて Constructive, Active になると考えられる。Interactive, Constructive, Active に関する会話活動を行うことは容易なことではなく、教師をはじめとするファシリテーターが学習者をファシリテートすることが重要になる。たとえば、Interactive では、相手の視点を理解しなければならないが、他者視点の理解が難しいことが分かっている [16]。さらに、Interactive に関する発話である反論を行うこと自体が難しいことも分かっている [20]。実際にメタ分析を行った研究では、コンピューターを用いた協同学習において学習パフォーマンスの促進が必ずしも生じないことが分かっている [21]。つまり、協同学習を単純に行えばいいわけではない。以下では、協同学習における支援を紹介し、どのような支援を行うべきであるのか検討する。

1.2 協同学習におけるファシリテーション：プロンプト提示の有効性

CSCL の分野では、コミュニケーションを行う環境や知識を共有するツールを提供し、協同学習の支援を行ってきた。たとえば、[22] では、Reflective Collaboration Note(ReCoNote) を用いて自分の知識や考えを外化し、より容易にお互いの考えが共有できる場を提供している。たとえば、個人用のノートを設け自分の考えを好きなように書きことができ、自分の知識や考えを外化することができる。また、他者のノートにリンクを作成することができ、よりお互いの外化した内容を吟味することが可能である。[23] では、ReCoNote と異なる知識を学習しそれを持ち寄り統合する活動を行うジグソー法、そして、初期理解を助ける Question-Answer Tool が用いられている。これらの支援ツールを用いることによって、建設的なインタラクションが促進されることが明らかにされている。そうした中で、1.1 節で述べたように、協同学習では教師をはじめとするファシリテーションの必要性が明らかにされている。たとえば、CSCL 環境下では、予めどのような手順で学習し、プロンプトを提示するの

か決め構造化するスクリプトと呼ばれる学習支援が取られている。たとえば、[24]では、認知的スクリプトと社会的スクリプトを用いて検討を行った。その結果社会的スクリプトは学習に有効なことが分かった。前者は、どのように知識を再構築するのかという活動であり、後者は、どのようにインタラクションを協同相手と行うのかという活動である。しかし、こうしたスクリプトには構造化しすぎることによって、モチベーションの低下が生じるという Over-scripting という問題があることが分かっている [25]。そのため、完全に構造化せず、学習者の状態に基づいて適切な支援を提供する試みが行われている。

近年では、Intelligent Tutoring System (ITS) の分野において協同学習における学習者の状態に基づいた支援の検討が行われている。これまで ITS の分野では、ACT-R モデルを搭載し、学習者の状態に基づいた支援を行った Cognitive Tutor[26]をはじめとさまざまな支援が個人学習において研究されてきた。協同学習の支援の1つには Pedagogical Conversational Agent (PCA) を用いた支援の検討がある。[27]では、協同において、事前知識に基づいて意見を構築することを促進させる PCA が推論を引き出し、学習パフォーマンスが向上するのか検討している。その結果、PCA の介入による効果がみられた。また、[28]では、PCA を用いて効果的なインタラクションのデザインを実験的に検討している。そこでは、説明活動とコミュニケーションをうまくいかせるファシリテーションプロンプトが用いられている。PCA は用いていないが、学習者の状態に基づいた支援を行う研究もでてきている。[6]では、適応的なプロンプト提示条件、ランダム条件、偽の適応的なプロンプト提示条件を比較することによって適応的な支援の有効性を検討している。その結果、適応的なプロンプト提示の効果がみられた。また、ランダムにプロンプトを提示することにおいても条件内のプレ・ポストの差分であるが、差はみられることが分かった。そこでのプロンプトは、説明活動を主に促進させるプロンプトであった。ただし、説明活動は ICAP の一部であり、1.1 節でみたように全ての活動 (Passive を除いて) を促進させる必要がある。具体的には、注意を向け、テキストの内容を深め、お互いの考えに基づいて自分の考えを再構築することを行わせることが重要である。以上より、学習者の状態に基づいてフィードバックを行う適応的な支援は有効であるが、適応的な支援でなくても効果はみられると考えられる。また、現状では、特定の活動を促進させている支援が多いといえる。つまり、ある程度

学習者の状態、特定の活動でだけでなく、協同プロセスを考慮する必要があると考えられる。

これまでの研究を概観すると協同学習の支援では、このようにプロンプトの提示効果の有用性が検討されてきた。そこで、[7]では、協同学習において重要な性質の異なるプロセスである協調的プロセスと論争的プロセスを促進させるプロンプトの提示効果を実験的に検討した。その結果、2つのプロセスは文脈を考慮していない (ランダムな) 提示によっても効果があることが示唆された。以上のことから、協同プロセスを考慮し、ランダムにプロンプトを提示する効果がみられたといえる。このランダムに提示したプロンプトは、学習者の状態に基づいていないため、進行の妨げや学習者に無視されるケースがあった可能性があるが、プロンプト提示の有効性には影響していなかった。ただし、上記の研究 [6] の通り、学習者に状態に基づいた支援を行うことによってよりプロンプトの提示効果があると考えられる。また、この [7] においても協調的プロセスと論争的プロセスは ICAP と関連するものはあるが一部であるため、Interactive, Constructive, Active を捉えることができない。以上より、本研究では、まず ICAP に着目して、協同学習においてランダムにプロンプトを提示することの有効性を検討する。ただし強い効果はないと考えられる。そして、今後はその知見をもとに学習者の状態に基づいた適応的な支援を行う。

1.3 目的と仮説

本研究では、協同学習プロセスを分類した ICAP フレームワークに着目し、Interactive だけではなく、Interactive な活動を行うのに不可欠な活動である Constructive, Active を含めた3つを促進させる方法としてプロンプトの提示が有効であるのか検討する。また、先行研究からも明らかになっている通り、簡易なプロンプトによっても促進効果がみられている。これを踏まえて、本研究の目的は、ランダムにプロンプトを提示することによって協同学習プロセスである Interactive, Constructive, Active を促進させることができるのか検討することとする。それに加えて、ICAP の階層性を確かめるために、条件内の Interactive, Constructive, Active の関係を見ていく。従属変数として ICAP フレームワークの Interactive, Constructive, Active を用いて次の仮説を実験的に検証していく。

H1: プロンプトを提示した条件では、提示しない条件に比べて Interactive, Constructive, Active に関する発話数が多くなる。

H2-1: プロンプトを提示しない条件では、発話数がそれぞれ Interactive, Constructive, Active の順に多くなる。

H2-2: プロンプトを提示した条件では、統制条件と同様に Interactive, Constructive, Active の順に多くなる。

2. 方法

2.1 実験参加者と実験環境

実験に参加した大学生は、計 20 人 (男性 11 名, 女性 9 名) であり、平均年齢は、19.20 (SD = 1.21) であった。それぞれの参加者は、ペアに分けられ参加した。実験には、パソコンとモニターをそれぞれ用意し、会話を記録するために、ビデオカメラ (Sony, HDR-CX680) を用意した。また、本研究の課題で用いられるコンセプトマップは、CmapTools (<https://cmap.ihmc.us/>) を用いて参加者は作成した。このツールを用いることによってお互いのコンセプトマップを可視化でき、より他者の知識を吟味できる状況を作り出した。

2.2 実験手続きとシステム

本実験では、[29] において用いられている心理学の専門用語である帰属理論を使って、原因を推論するという課題を用いている。具体的には、「あなたは、教育実習生としてマイケル・ピーターという子と一緒に学校カウンセリングに参加しています。」ということ想定して、その人が抱える心的な現象を推論することを実験参加者は求められた。先行研究と異なる点は、そうした推論は、コンセプトマップを用いて行われたことであった。まず、個別にコンセプトマップを作成した後、お互いのコンセプトマップを参照しながら、協同でコンセプトマップを作成した。詳しくは、[30, 31] を参照されたい。

本研究では仮説を検証するために、2つの条件を設けた、具体的には、プロンプトを提示しない統制条件とプロンプトを提示するプロンプト条件である。プロンプト提示システムの構築方法は、[7] を踏襲し、その実験における統制条件のデータは ICAP を用いて再分析した。手順としては、ICAP 観点でコーディングを行い、最も発話が生じていたペアを基準とし、プロンプトの提示回数を定めた。次に、コーディングスキーマをもとにプロンプトのフレーズを作成した。

2.3 従属変数

本研究では、協同でコンセプトマップを作成している時の発話を収集し、書き起こしを行い、コーディングを行った。そのコーディング基準は、[1, 2, 32] を参考に本研究の課題にあうように共著者と話し合い作成した。表 1 は、Active, Constructive, Interactive に関する発話を分類するためのコーディング基準の一部を抜粋したものである。それぞれ Active は 3 項目、Constructive は 4 項目、Interactive は 8 項目であった。Passive は、発話を伴わない活動であるため、本研究では扱わなかった。また、表 1 に示したコーディング基準に基づき、発話のコーディングを行った。ただし、第 2 コーダーを立てて、検討していなかったため、それは今後の課題である。

3. 結果

ここでは、本課題において Interactive, Constructive, Active の観点から、どのような発話が生じていたのか、プロンプト提示によってそれらの発話が促進されていたのか検討した。図 1 は、統制条件とプロンプト提示条件におけるその 3 つに関する発話数を記したものである。まず、プロンプトの提示効果があったのか確かめるために 2 要因の混合分散分析を行った。その結果、交互作用がみられた ($F(2, 36) = 3.63, p < .05, \eta_p^2 = 0.17$)。続いて、単純主効果の検定を行った結果、Constructive と Interactive においてプロンプト条件が統制条件と比較して多いことが確認された ($F(1, 18) = 8.5, p < .01, \eta_p^2 = 0.32$; $F(1, 18) = 6.22, p < .05, \eta_p^2 = 0.26$)。したがって、H1 は Constructive と Interactive に関する発話が促進されていたため、H1 を概ね支持したといえる。

次に、それぞれの条件において Active, Constructive, Interactive の発話数に差異があるのか確かめるために、単純主効果の検定を行い、統制条件において有意な差が確認されたが、プロンプト条件においては確認されなかった ($F(2, 18) = 21.01, p < .001, \eta_p^2 = 0.70$; $F(2, 18) = 1.40, p = 0.27, \eta_p^2 = 0.13$)。そこで、統制条件において多重比較を行ったところ、Active が一番多く、続いて Constructive, Interactive であることが分かった ($p < .01, p < .05$)。以上のことから、統制条件においては Interactive になるにつれて発話数が減ったため、H2-1 を支持し、プロンプト提示条件においてはそれぞれに関する発話数に差はなかったため、H2-2 は支持されなかったといえる。

表1 Active, Constructive, Interactive におけるコーディング基準と発話例 (一部抜粋). ※は注釈である.

項目と定義	発話例
Active A-1:繰り返し/言い換え 学習者が単純に学習テキストの内容を繰り返すまたは言い換える発言	A:「安定・不安定は、時間間隔が短いと安定、長いと不安定になると書いていました。」 ※ A は、テキストの内容を自分の言葉で言い換えて述べている。
Constructive C-1:根拠の提示を含めた独自の意見や考え 学習者が自分自身の考えや仮説を提案する発言	A:「努力は、自己の要因なので内的であり自分で変えることができるので統制可能のカテゴリーに入ります。」 ※ 拠を含めた自分の考えを提示している。
Interactive I-6:協同相手の縮約や貢献に基づいた意見の構築 学習者が協同相手の考えに基づいて自分自身の考えを述べる発言	A:「統制不可能にした理由としては、たとえば、他者によって努力したら報酬がもらえたら少しでも努力は行えるようになります。」 B:「確かにあなたの言う通り、他者によって報酬が与えられたら変えられると思います。その考えに基づくとやる気など内的要因はほとんど変えられるのかなと思いました。」 ※ A の発言に基づいて自分の意見を構築している

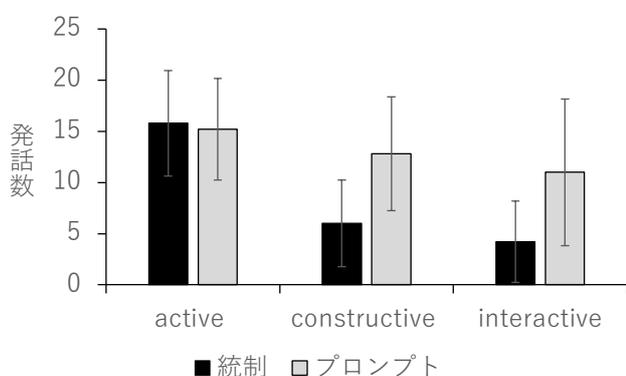


図1 統制条件とプロンプト提示条件における Active, Constructive, Interactive に関する発話数. エラーバーは標準偏差である.

4. 考察

H1 はプロンプトを提示することによって Active, Constructive, Interactive に関する発話が多くなる, H2-1 は統制条件において Interactive になるにつれて発話数が少なくなる, H2-2 はプロンプト提示条件では、統制条件と同様に Interactive になるにつれて発話数が少なくなる. プロンプト提示条件は、統制条件に比べて Active に関する発話は向上しなかったが、Constructive と Interactive に関する発話は向上していた. また、統制条件においては、Active に関する発話数が一番多く、続いて Constructive, Interactive の順に発話数が少なく、プロンプト提示条件では、3つのプロセスに関する発話数に差はなかった. 以上の結果から、H1 は概ね支持され、H2-1 は支持され、H2-2 は支持されなかったということが分かった.

本研究においてランダムに提示するプロンプトの効果が見られたことから、本研究において作成したプロンプトが有用であることが分かった. こうしたランダムにプロンプトを提示する効果に関する知見は [7] においても明らかにされた. しかし、本研究では先行研究においてあまり考慮されていなかった Interactive な活動に相当すると考えられる建設的な相互作用を考慮していた点が異なっていた. また、Active は、繰り返したりする発言であるため、本課題では理解の難しい学習テキストではないため、支援する必要がなかった可能性が考えられる. 次に、実験の結果から、ICAP フレームワーク [1, 2] が示した通り、Interactive となるほど深いインタラクションであるため、プロンプトが提示されていない状況下では、Interactive になるにつれて発話数が少なくなることを示唆したといえる. ただし、プロンプト提示条件では、Interactive, Constructive, Active に関する発話が同程度であった. これは、プロンプトの提示によって、学習者にとって難しい発言になるにつれて促進された可能性が考えられる. また、ランダムにプロンプトを提示することによって相対的には増加し、一定のプロンプト提示の効果がみられた. しかし、今後はより Interactive の発話数を促進させる支援の検討やより詳細な分析を行う必要がある.

今後は、ITS の分野において検討されているように適応的なフィードバックが求められる. たとえば、[6] では、学習者の入力情報に基づいて適応的にプロンプトを提示し、[28] では、学習者の入力したキーワードに基づいて適応的にプロンプトを提示している. そのため、学習者の会話情報、本研究では口頭における発

話に基づいた支援を行うことによって、さらにプロンプトの提示効果があるのか検討することが今後の課題である。また、他にも ITS では、センシング技術を用いて表情から学習者の状態を推定する取り組みがなされている [33] ため、今後センシング技術と発話に基づいた適応的な支援を行うことが求められる。

5. まとめ

本研究の目的は、学習者の状態に基づかないプロンプトの提示によって Interactive, Constructive, Active が促進されるのか実験的に検討することであった。そのため、それぞれに関するコーディング基準に基づいてプロンプトを作成し、ランダムにプロンプトを提示した。その結果、プロンプトを提示された学習者は提示されなかった学習者よりも Interactive, Constructive に関する発話をより多く行うことが分かった。ただし、プロンプトを提示された学習者は 3 つのプロセスにおいて差は見られなかった。仮説として次の 3 つの点を検討した。(1) プロンプトを提示することによって Interactive, Constructive, Active に関する発話が促進される、(2) プロンプトが提示されていない条件では、Active に関する発話が一番多く、続いて Constructive, Interactive である、(3) プロンプトが提示された条件においても (2) と同様に Active に関する発話が一番多く、続いて Constructive, Interactive である。結果は、プロンプトを提示することによって Interactive, Constructive が促進され、プロンプトが提示されなかった条件では、Active に関する発話が一番多く、続いて Constructive, Interactive であった。また、プロンプトが提示された条件では、Interactive, Constructive, Active に差はみられなかった。学習者の状態に基づいた適応的なプロンプトではなく、ランダムなプロンプトの提示によっても Constructive, Interactive に関する発話が促進されることが分かった。今後は、適応的なプロンプトによってさらに本研究で検討したプロンプトの提示効果が向上するのか検討する。

文献

- [1] Chi, M. T. H., (2009) "Active-Constructive-Interactive: A Conceptual Framework for Differentiating Learning Activities", *Topics in Cognitive Science*, Vol. 1, No. 1, pp. 73-105.
- [2] Chi, M. T. H. & Wylie, R., (2014) "The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes", *Educational Psychologist*, Vol. 49, No. 4, pp. 219-243.
- [3] Miyake, N., (1986) "Constructive Interaction and the Iterative Process of Understanding", *Cognitive Science*, Vol. 10, No. 2, pp. 151-177.
- [4] Okada, T., & Simon, H. A., (1997) "Collaborative discovery in a scientific domain", *Cognitive Science*, Vol. 21, No. 2, pp. 109-146.
- [5] Shirouzu, H., Miyake, N., & Masukawa, H. (2002) "Cognitively active externalization for situated reflection", *Cognitive Science*, Vol. 26, No. 4, pp. 469-501.
- [6] Walker, E., Rummel, N., & Koedinger, K. R., (2014) "Adaptive intelligent support to improve peer tutoring in algebra", *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 24, No.1, pp. 33-61.
- [7] 下條 志蔵・林 勇吾, (投稿中) .
- [8] Schworm, S. & Renkl, A., (2007) "Learning Argumentation Skills Through the Use of Prompts for Self-Explaining Examples Silke", *Journal of Educational Psychology*, Vol. 99, No. 2, pp. 285-296.
- [9] Griffin, T. D., Wiley, J., & Thiede, K. W., (2008) "Individual differences, rereading, and self-explanation: Concurrent processing and cue validity as constraints on metacomprehension accuracy", *Memory & Cognition*, Vol. 36, No. 1, pp. 93-103.
- [10] VanLehn, K., Graesser, A. C., Jackson, G. T., Jordan, P., Olney, A., & Rose, C. P., (2007) "When Are Tutorial Dialogues More Effective Than Reading?", *Cognitive Science*, Vol. 31, No. 1, pp. 3-62.
- [11] Brown, A. L. & Day, J. D., (1983) "Macrorules for Summarizing Texts: The Development of Expertise", *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol. 22, No. 1, pp. 1-14.
- [12] Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P., & Glaser, R., (1989) "Self-Explanations: How Students Study and Use Examples in Learning to Solve Problems", *Cognitive Science*, Vol. 13, No. 2, pp. 145-182.
- [13] Chi, M. T. H., Leeuw, N., Chiu, M., & Lavancher, C., (1994) "Eliciting self-explanations improves understanding", *Cognitive Science*, Vol. 18, No. 3, pp. 439-477.
- [14] Haussmann, R. G. M. & Chi, M. T. H., (2002) "Can a computer interface support self-explaining", *Cognitive Technology*, Vol. 7, No. 1, pp. 4-14.
- [15] Renkl, A., (1997) "Learning from worked-out examples: A study on individual differences", *Cognitive Science*, Vol. 21, No. 1, pp. 1-29.
- [16] 林 勇吾・三輪 和久・森田 純哉, (2007) "異なる視点に基づく協同問題解決に関する実験的検討", *認知科学*, Vol. 14, No4, pp. 604-619.
- [17] 林 勇吾・三輪 和久, (2011) "コミュニケーション齟齬における他者視点の理解", *認知科学*, Vol. 18, No. 4, pp. 569-584.
- [18] Meier, A., Spada, H., & Rummel, N., (2007) "A rating scheme for assessing the quality of computer-supported collaboration processes", *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, Vol. 2, No. 1, pp. 63-86.
- [19] Asterhan, C. S. C. & Schwarz, B. B. (2009) "Argumentation and Explanation in Conceptual Change: Indications From Protocol Analyses of Peer-to-Peer Dialog", *Cognitive Science*, Vol. 33, No. 3, pp. 374-400.
- [20] Rourke, L. & Kanuka, H., (2007) "Barriers to online critical discourse", *International Journal of Computer-*

- Supported Collaborative Learning, Vol. 2, No. 1, pp. 105-126.
- [21] Lou, Y., Abrami, P. C., & d'Appollonia, S., (2001) "Small group and individual learning with technology: A meta-analysis", *Review of Educational Research*, Vol. 71, No. 3, pp. 449-521.
- [22] 益川弘如, (1999). "協調学習支援ノートシステム「Re-CoNote」が持つ相互リンク機能の効果" *日本教育工学雑誌*, Vol. 23, No. 2, pp. 89-98.
- [23] 遠山 紗矢香, (2013) "初期理解の構築支援による建設的相互作用の促進" *認知科学*, Vol. 20, No. 2, pp. 177-203.
- [24] Weinberger, A., Ertl, B., Fischer, F., & Mandl, H. (2005) "Epistemic and social scripts in computer-supported collaborative learning", *Instructional Science*, Vol. 33, No. 1, pp. 1-30.
- [25] Dillenbourg, P., (2002) "Over-scripting CSCL: The risks of blending collaborative learning with instructional design", In P. A. Kirschner (Ed.), *Three worlds of CSCL. Can we support CSCL?* (pp. 61-91), Open Universiteit Nederland.
- [26] Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Pelletier, R., (1995) "Cognitive tutors: Lessons learned", *Journal of the Learning Science*, Vol. 4, No. 2, pp. 167-207.
- [27] Tegos, S. & Demetriadis, S., (2017) "Conversational Agents Improve Peer Learning through Building on Prior Knowledge", *Educational Technology & Society*, Vol. 20, No. 1, pp. 99-111.
- [28] Hayashi, Y., (2019) "Multiple pedagogical conversational agents to support learner-learner collaborative learning: Effects of splitting suggestion types", *Cognitive Systems Research*, Vol. 54, pp. 246-257.
- [29] Weinberger, A. & Fischer, F. (2006). "A framework to analyze argumentative knowledge construction in computer-supported collaborative learning", *Computers and Education*, Vol. 46, No. 1, pp. 71-95.
- [30] 下條 志巖・林 勇吾, (2019) "他者の知識を可視化した協同学習における会話活動と学習パフォーマンスの関係性：ターンテイキングと知識の収束に着目して", *日本認知科学会第36回大会発表論文集*, pp. 748-752.
- [31] Shimojo, S. & Hayashi, Y. (2019) "How shared concept mapping facilitates explanation activities in collaborative learning: An experimental investigation into learning performance in the context of different perspectives", *Proceedings of the 27th International Conference on Computers in Education(ICCE2019)*, pp. 172-177.
- [32] Wang, X., Yang, D., Wen, M., Koedinger, K., & Rosé, C. P., (2015) "Investigating How Student's Cognitive Behavior in MOOC Discussion Forums Affect Learning Gains", *Proceeding of the 8th International Conference on Educational Data Mining*, pp. 226-133.
- [33] Woolf, B. P., (2010) "Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning", *Morgan Kaufmann*.