

## 協調学習支援のモデル

## - Opportunistic Group Formation -

池田 満<sup>†</sup> 吳 昌豪<sup>†</sup> 溝口 理一郎<sup>†</sup>

A Model of Computer Supported Collaborative Learning

- Opportunistic Group Formation -

Mitsuru IKEDA<sup>†</sup>, Shogo GO and Riichiro MIZOGUCHI<sup>†</sup>

あらまし 本研究は複数の学習者とそれぞれの学習者を担当する教授システムが一つの通信路に接続された環境を前提として、学習グループの形成と消滅を繰り返す協調学習の動的制御モデルを構築することを目的としている。このような環境において様々な形態の協調学習を背後で支えるシステムを構築するためには、協調学習のコミュニケーションに関わる幾つかの知識レベルモデルを設定し、どのような協調学習がどのようなタイミングで適切であるか？ということを確認する必要がある。本稿では、基本となる協調学習支援のモデルを提案し、システム構成と知識モデルの基本設計を示しながら協調学習の支援に関して一般的見地から考察する。

キーワード 協調学習、知的教育システム、学習グループの形成

## 1. はじめに

知識を人から人へ伝達するための「もの」としてではなく、社会的な相互作用の結果として形成されるものと認識する立場から協調学習の重要性を重視した研究への取り組みが増えてきている。そこでは個対個ではとらえきれなかった、学習プロセスを計算機システムによって支援することを目指して、様々なアプローチで研究が進められている。(1)-(7)

分散学習環境での学習の支援を対象とした場合に、教育システムによって新たに提供されるべき機能は、大きく次の2つに分けることができる。

- A 分散環境での教具に必要な機能：ネットワーク技術、マルチメディア教材のグループ共有モデル、教具を構成する知的部品
- B 学習者間の交流を支援する機能：コミュニケーションモデル、グループ学習の促進管理モデル

Aの区分については既に様々な研究が進められ興味深い成果が示されている。例えば、教師と学生がいる通常の教室での活用を考えてAの機能の実現を目指す研究としてはHoppeらによるCOSOF(3)がある。COSOFではlive boardと呼ばれる教師用の電子黒板と学習者用のワークステーションからなるマルチメディ

ア分散学習環境が、そのオーサリングツールと共に提供されている。本研究はBの区分、即ち協調学習の知的支援機能を対象としている。複数の学習者とそれぞれの学習者を担当するシステムが一つの通信路に接続された環境を前提として、学習グループの形成と消滅を繰り返す協調学習の動的制御モデルを構築することを最終的な目的としている。我々は、この学習グループ形成の枠組みをOpportunistic Group Formation Modelと呼んでいる。このモデルでは、協調学習を開始するトリガ、協調学習において構成員が果たす役割、協調学習の目的、学習環境の設定基準が明示的に知識モデルとして表現され、「いつ、誰が、何のために、どのように、協調学習を行うべきか？」という基準を知識モデルとして捉えることが目的となっている。

協調学習の支援システムにOpportunistic Group Formationモデルを実装するためには、協調学習のコミュニケーションに関わる幾つかの知識レベルモデルを設定し、どのような協調学習がどのようなタイミングで適切であるか？ということを確認して記述する必要がある。例えば、教材を表すための表現プリミティブとして何が必要か？、その意味は何か？、そして他のプリミティブとの関係は？ということがらが協調学習のトリガとなるか？といったことを検討し、知的支援システムの基盤となる知識モデルの体系を確立する必要がある。この点について筆者らは基本となるシス

<sup>†</sup> 大阪大学産業科学研究所、茨木市  
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University,  
Ibaraki, 567, Japan

テム構成と知識モデルの基本設計を別稿(4),(5)で報告している。本稿では、知識モデルの技術的詳細は割愛し、Opportunistic Group Formationモデルのアイデアを示すことを主題としながら、それを支えるアーキテクチャの概要を報告する。以下、2.では協調学習支援の基本的な概念を整理する。3.では、協調学習支援システムが備えるべき機能について関連研究を含めて包括的に分析する。この議論をふまえ、4.においてOpportunistic Group Formationのモデルを提案し、そのモデルに基づいたシステム構成の概要を5.で紹介する。さらに今後の課題を6.に、関連研究について7.にまとめている。

## 2. 協調学習支援の基本概念

最初に、用語の混乱を避けるために、本研究でのグループ学習と協調学習の用語法を明確にする。

一般には「グループ学習」は個別学習との対比を目的とした議論で用いられる用語である。また、伝統的に学校教育で行なわれているような固定的なグループ構成での学習を「グループ学習」と呼ぶことが多い。これに対して「協調学習」という用語は、グループの構成員が、自分にとって有益な学習目的と役割を学習者相互の関係から自然発生的に認識し、それをさらに学習の局面に適応させていくような、相対的に質の高い社会的学習行動を限定的にさせていることが多い。

このような用語法の延長上で暗黙に議論を展開すると混乱を招くことが多いので、ここで本研究での用語を明確にしておきたい。本研究では、学習者は、それぞれが何らかの学習目標をもちながら、集団での学習行動に参画しているものとし、集団での学習行動は区別なく「協調学習」と呼ぶことにする。「グループ」という用語は学習集団の構成を議論したり、集団自体をさす必要がある場合に限定的に用いることにする。

さて、協調学習のための学習グループを動的に形成する一般的枠組みを構成することが本研究の目的である。以下では、協調学習を特長づけるための基本的な用語を導入し、その用語を用いて本研究が対象としている協調学習のイメージを記述する。

一つのトピック（課題）に関する学習単位をセッションと呼ぶ。セッションには独習モードと協調モードがある。学習者が作業をする場をワークスペースと呼び、各学習者が独自の作業を行うワークスペースを個別ワークスペース、協調学習でグループメンバから共通のアクセスできるワークスペースを共有ワークスペースと呼ぶ。

複数の学習者間でトピックが同時に進行する場合はトピック進行が同期していると呼ぶ。また、学習グループの構成員が複数のセッションで固定的な場合を静的グループ構成、学習者の状況に応じセッション毎にグループ構成員が動的に変化する場合を動的グループ構成と呼ぶことにする。

これらの用語を用いると、本研究で前提としている協調学習の形態を以下のように記述できる。

独習モードと協調学習モードの混合形で、非同期トピック進行の独習モードを基本としている。すなわち、通常は、学習者は個別に独習し、自分の能力に応じてカリキュラムを進行させる。協調モードセッションへの移行を示す状況（後述）が検出されると、その状況に応じて学習グループが形成され、そのセッションの間だけ共有ワークスペースが設定され、トピック進行が一時的に同期する。協調セッションが終了すると学習グループは解散して独習モードに復帰する。

## 3. 協調学習支援機能の概要

前節で導入した用語のもとで協調学習を支援する機能を整理すると以下ようになる。

独習モード：学習者モデル、学習環境、教授戦略、教材知識といったITS, ILEで提供された機能と同等のものが必要となる。独習モードで構築される学習者モデルがシステムの基本的な振る舞いを明確にする。

独習モードから協調モードへの移行時：

協調モードへの移行トリガの検出：個々の学習者のセッションをモニタし、協調学習によって何らかの効果が期待できる状況を検出する。例えば、ある学習者の犯した誤りが、他の学習者にとって、理解を深めるうえで貴重な資源と考えられるような場合には、その誤りを分析し誤りを修正する学習過程を他の学習者と共有する目的で協調モードに移行することが考えられる。また、学習者自らが協調学習を希望した場合も移行のトリガとなる。

学習グループの形成：どの学習者がどのような役割で協調学習に参加することが有益であるかを判定して適切な学習グループを形成する。各学習者の役割としては、例えば、Helper（教える側）とLearner（学ぶ側）の間での強い協調関係を設定するものから、Observer（傍観者）、あるいはParticipant（第三者的な立場での討論参加者）といった弱い協調関係を設定するものまで多様なものが考えられる。

協調学習目的の設定：協調学習の目的はグループ

全体としての目的と、参加者個々の目的からなる。グループ全体の目的は、グループとして発見的学習を行う場合など参加者個々の役割に関する制約が弱い場合に特に意義のある目的となる。参加者個々の目的と各参加者は相互に依存しており、多様なものが考えられる。例えば、ある学習者の、ある誤りをトリガとして始まる協調学習モードのセッションでは、その学習者は「誤りを修正する」という学習目的でLearnerとしての役割を持ち、「教えることによって学ぶ」といった目的を持ったHelperと学習グループを形成する。このとき、学習者に対して、学習目的や役割を明示する場合と明示しない場合を想定することができる。自由度の高い自発的な協調学習を指向する場合は目的を明示しないであろう。逆に、設定した目的の達成を重視し、セッションを支配するコンテキストを固定化したい場合にはそれぞれの学習者に対して目的を明示的に提示することが有効である。Ayala(1)は、外国人むけの日本語教育を題材にして、行き詰まりに直面した学習者の要求に基づいてHelperを設定する協調学習支援システムについて報告している。

**協調学習環境の設定：**セッションの対象となるトピックに関連する共有ワークスペースを設定する。例えば、物理実験を行うためのワークスペースでは、全ての操作とその操作の作用、観測できる現象を学習者間で同期する必要がある。

**協調モード：**協調モードでの機能は大きく協調学習での対話プロセスに直接関与するものと、対話プロセスには関与せず、協調学習目的レベルで限定的に関与するものに分けることができる。この機能分類は工学的見地から、どういう協調学習を課し、実装可能な能力の限界をどこに設定するかというシステムの設計指針を明確にするという観点での分類となっている。

**協調学習プロセスのモニタとナビゲーション：**協調モードのセッションで行なわれる討論をモニタしセッションに対して設定された協調学習目的に準じた方向にナビゲートする。上述のトレードオフを考慮すると、システム設計指針として、きめ細かなモニタリングによる積極的なナビゲーションを指向したアプローチと、モニタを最小限にとどめ、セッションの自由度を重視したアプローチが考えられる。以下では、典型的な2つのアプローチを説明する。

**討論の活性化・適正化：**討論の内容の正しさとは別に、討論としての質に関する処方を与える。例えば、討論が活性化していない状態では、発言を促したり、討論の進行方向を示唆したりする。この機能については、実装レベルの区別がシステムを特長づけるうえで重要で、大きく表層レベルのナビゲーションと内容レベルのナビゲーションと

に分けられる。表層レベルでは（討論の内容に立ち入らずに）討論に現れる表層文から発話の表層的意図（提案、反論など）を抽出して討論の推移を把握し、それが好ましくないと判断される場合には状況を改善する処方（提案発言を促すなど）を与える。このタイプの研究としては、稲葉ら(6)の研究がある。この処方では討論内容の適正さについては関与しないため、内容に関する協調学習目的（例えば、誤りの修正）の達成度について推定できる範囲は相対的に限定される。これに対して内容レベルでの発話文の意味内容を把握することによって、次に述べる討論内容の適正化、および高度化によって、よりの確かなナビゲーションが可能になる。中村ら(7)は内容レベルの議論過程のナビゲーションをめざし、学習グループの学習者モデルの構成と、局面に応じた役割を担う擬似学習者を導入したシステムを研究している。稲葉(6)らの研究と中村ら(7)の研究では、静的な構成の学習グループが行う協調学習の経緯をきめ細かくモニタし、ナビゲートするという点で共通している。

**協調学習目的レベルでのナビゲーション：**討論プロセスには立ち入らずに、システムの関与を学習グループの形成と協調学習目的と環境の設定に限定したナビゲーション機能である。協調学習目的を学習グループの各学習者に明示し、環境を設定することがナビゲーションとしての主な処方である。例えば、Helperに対してLearnerが犯している誤りを（学習者モデルに基づいて）説明し、その誤りをデータ駆動の帰納的な学習で解消するように導くことを協調学習の目的として明示的に与えたうえで、その学習に最適な協調学習環境を設定することによって、討論が円滑に進行することを間接的に期待することになる。本研究は、この分類に対応している。

#### 4. 協調学習のためのグループ形成

本研究で対象とする協調学習の概念をより明確にするために、関連する諸概念を整理したい。最初に、本研究で想定している協調学習の形態を、システムが提供する機能を明示しながら再度書き下すと次のようになる。

基本的に独習モードの機能が提供され、学習者は個別の能力に応じた学習を行う。独習モードで構築された学習者モデルにおいて協調モードへの移行トリガが検出されると、システム間でのネゴシエーションプロセスが起動され学習グループが形成される。これと同時に協調学習の目的が設定される。各学習者に対して

協調学習の目的が明示的に示され、その目的を達成する上で適切な学習環境が設定される。討論プロセスはモニタせず、設定された目的の範囲内で自由な討論が可能なコミュニケーションチャンネルが学習者間に確立される。システムは協調セッションの終了が学習者によって宣言されるのを待ち、目的の達成度の判断を学習者自身に求め、その結果に応じて引き続いての協調学習目的を設定する。基本的に協調学習はセッション単位で終了し、学習グループも解散する。

さらに、本研究の中心的課題であるグループ形成の概念を以下のように定義する。

**Opportunistic Group Formation** : 協調学習支援システムが、各学習者の学習プロセスをモニタし、協調学習が適切であると考えられる状況を検知し、その状況に対して合理的な学習目的と役割を持つ学習者を構成員とする学習グループを形成する枠組み。

この定義では、実際の協調学習セッションでのグループ内での学習者の役割の変化を禁じていない。システムが設定する役割は、学習者が一単位の協調セッションにわたって果たす大まかな役割である。セッションの中で学習者の役割が一時的に変動することがあっても、この定義には抵触しない。また、仮に変動したとしても、その協調学習セッションによって、それぞれの学習者が学習目的を達成することができれば実質的には問題とはならない。つまり Opportunistic Group Formationにとって大切なのは、協調学習が必要な状況を検知し、検知された状況に対して合理的な協調学習グループを設定するまでの部分である。グループ設定後の学習セッションの状態を捉えることは基本的に本研究の対象外になる。

以下では、Opportunistic Group Formationを実現するための基本概念を整理し、協調学習を支援するシステムの基本構成を提示することを主題とする。なお、以下では、表記を簡便にするために Opportunistic Group Formationを単にグループ形成と呼ぶことにする。

本研究で考えているグループ形成メカニズムは分散系である。ひとりの学習者をひとつのシステムが担当してネットワーク上に分散環境を形成する。通常は、個別システムが、担当している学習者の学習支援を行い、学習者はその支援のもとで各人の状態にあったトピック進行で学習を進めている。協調学習への移行は、個別システムによって発せられるリクエストに基づいたネゴシエーションによって決定される。個別システムがリクエストを発する際に根拠となるイベント

をグループ形成のトリガと呼ぶことにする。トリガは移行の必要条件であり、実際に移行するかどうかはシステム間のネゴシエーションの結論に依存する。ネゴシエーション過程には学習者は関与せず、各システムが必要に応じてそれぞれが持つ情報を分散環境に提示しながら、各学習者の利益とグループ全体の利益を考慮した分散意思決定を行なう。以下では、グループ学習への移行トリガとネゴシエーション過程について、より詳細に説明する。

#### 4.1 協調学習への移行トリガ

現状でトリガとしては以下の3種類を考えている。  
**インパス** : 学習者が与えられた課題について何らかの行き詰まり状態(インパス)にあることをシステムが検出した時点で、そのインパスの解消を目的とした協調学習への移行が学習者にとって有効かどうか判断される。その有効性が確認された場合にインパストリガが発生する。

**レビュー** : 学習者が与えられた課題を達成した段階で、その学習者にとって問題解決の過程を復習することを目的とした協調学習への移行が有効かどうか判断され、その有効性が確認された場合にトリガが発生する。

**プログラム** ; 予め教材オーサによって埋めこまれたトリガであり、教材オーサが意図した移行条件に達したときにトリガが発生する。例えば、科学教材での共同実験の場合は、学習者が実験の遂行に必要な先行知識を習得した段階でトリガが発生する。

トリガの検出は、学習者の理解状態と教材内容に関する条件記述によって、比較的単純なメカニズムで行なわれるが、トリガ検出からリクエストの発信までの意思決定プロセスには、包括的な知識が関与する。以下では、このプロセスの概要をネゴシエーションプロセスと関連づけて説明する。

トリガを検出したシステムは協調学習への移行が必要であると判断するとリクエストを構成する。リクエストには、学習目的、学習形態、協調学習における役割、ジャスティフィケーションが含まれる。学習目的は、「(ある特定の)インパスの解消」、「(ある特定の)トピックのレビュー」など、トリガに応じたリクエストの内容を端的に表すものである。学習形態は、ITSの教授戦略に相当し、発見的学習、演繹的学習といった学習の様態を表すものであり、その学習者にとっての理想的な形態が設定される。協調学習における役割は、グループの中で学習者に担わせたい役割を表す。詳細は後述するが、例えばインパスが検出された学習者については、理解力や議論するなどの能力に

応じて、グループの議論において積極的に学ぶ役割を演じる場合と、議論を傍聴し間接的に学ぶ役割を演じる場合を選択的に設定することができる。ジャスティフィケーションは、学習目的に関連する知識に関する学習者の理解状態、学習履歴などの、リクエストの根拠を表す情報群である。ジャスティフィケーションの開示によって、ネゴシエーションに参加するシステムはお互いの信念を部分的に共有し、共通の判断基準とすることができる。ネゴシエーションプロセスの実現にあたっては知的エージェントのコミュニケーション言語のKQML(8)を採用している。システムに実装したネゴシエーションプロセスについては、5.3で具体例を用いて説明する。現状では単純なメカニズムを採用しているが、グループ形成によって質の高い協調学習を実現するうえで非常に重要な技術要素である。この点については現在、慎重に検討を進めている段階にあるが、6.において、これまでに得られた知見としてネゴシエーションメカニズムに求められる機能について考察する。

#### 4.2 協調学習における学習者の役割

協調学習のなかで各学習者が担う役割によって学習グループの性質が特長づけられる。本研究では以下の5種類の役割を設定している。

**Learner:** 課題の解決が困難な状況（インパス）の解消を目的として、協調学習を通じてそれに必要な事例や知識を獲得する。

**Helper:** 自己の理解を深める(Learning by Diagnosing/Teaching)ことを目的としながら他の学習者のインパスの解消を支援する。

**Presentator:** 自己の理解に関するサマライゼーションやリフレクションを目的として、課題に対する回答を協調学習の場で説明する。

**Observer:** 自己の理解を深めることを目的として、他の学習者の協調学習の過程を客観的に観察する。

**Participant:** 自己の理解を深めることを主目的として、他の学習者の協調学習の過程を観察しながら、必要に応じて議論に参加する。

**Collaborator:** 個別に特化した目的を持たず、グループ構成員が様な役割を担いながらグループ全体の学習目的を達成する。集団実験、オープンな議論の場合に設定される。

学習グループの形態は、構成員の役割によって特徴づけられる。例として、インパストリガとレピュートリガから形成される典型的なグループ構成を示すと以下ようになる。

#### インパス駆動のLH型グループ構成

構成員：Learner, Helper, Participant, Observer

構成例：インパスをトリガとしてリクエストを出した学習者がLearnerに、そのインパスを解消する能力を持つと推定される学習者がHelperになる。既に同質のインパスを解消した経験のある学習者を、そのインパスに関する復習を目的としてParticipantに加えることもできる。また、インパスを未経験の学習者をParticipantとして加えることによって、違った立場からの質問や意見が協調学習の場に現れることも期待することができる。Observerは協調学習の過程を客観的に観察しながら自己の理解を深めることを目指す。

#### レピュートリガ駆動のパネル型グループ構成

構成員：Presentator, Participant, Observer

構成例：レピュートリガによるリクエストを出した学習者が、Presentatorとして自己の課題の解法を説明し、自己の理解のリフレクションを試みる。Participantはその説明を受けて、自己の経験に基づいてコメントしたり、疑問点をただしたりする。Observerは協調学習の過程を観察し、より深い理解に達することを目指す。

#### プログラム駆動のディスカッション型グループ構成

構成員：Participant, Observer

構成例：Participantとして同程度の理解状態にある学習者を中心に構成する。議論の健全性よりもむしろ議論の活性化を重視する場合と、Participantとして様々な異なった理解状態にある学習者を設定し、原則として対象トピックについて正しい理解のある学習者を少なくとも一人含めたグループ構成で、議論の健全性を重視する場合がある。

#### 4.3 グループ形成メカニズム

前節で述べた協調学習への移行トリガを検出するための重要な情報源である学習者モデルは、現状で教材モデルと各学習者の学習履歴から推定する方式を採用している。各学習者が既にとりくんだトピックの系列から学習プロセスの列を再構成し、その学習の作用として期待される学習者の知識状態を推定するというのが基本的な考え方である。つまり、学習プロセスの列をトレースすれば、それが訪問した知識ユニットの集合として学習者が理解したと期待される知識の広がりや推定することができる。ここで、ある知識ユニットの習得に際して、その理解に至る学習プロセスには複数のパスがあり、それぞれが知識ユニットの違った見方を現している可能性があることに注意する必要がある。例えば、ある知識を（内包的な）説明をうけて習得した場合と、（外延的なデータから）つまり帰納的

に習得した場合は、異なった見方が学習者の内部に形成されていることを想定することができる。また、学習プロセスにおいてインパスを経験し、そのインパスを解消するにあたって十分な考察を経験した学習者と、説明を単純に受け入れて理解にいたった学習者では、同じ知識ユニットに対する理解の深さに違いが現れる。

グループ形成においてある学習者に指導的な役割(例えばHelper)を期待する場合には、その学習者の理解状態について、従来の「何を知っているか?」ということよりも広い「何をどのように知ったか?」という考え方で捉え、役割に対する適性を議論できるような枠組みが必要になる。筆者らは、学習プロセスの履歴に基づくモデルは、その表現レベルを適切に設計すれば、グループ形成において各学習者の役割を適当に設定するうえで適切な枠組みを提供すると考えている。グループ形成は複数のシステム間のネゴシエーションによってなされる。各システムは、担当する学習者の学習者モデルと教材モデルを参照し前章で示したトリガを検出すると、ネットワーク上にリクエストを発する。ネゴシエーション過程はトリガの種類に依存して異なった形態をとる。インパス駆動の場合は速やかなインパスの解消が目的となるので即時的なグループ形成が必要である。プログラム駆動は、教材オーサが想定するサイズのグループが成立するような状況を検出しなければならない。また、レビュー駆動は、演示できる学習者と演示の観察を希望する学習者の両方が存在する状況を検出しなければならない。本稿では立ち入らないが、本研究ではこのようなグループ形成のネゴシエーションプロセスを実現するための知識レベルプロトコルについて研究を進めている。基本的には、各システムがグループ学習へ移行するためのローカルな必要条件が満たされた段階で、その状況をブロードキャストし、他のシステムがそれに呼応する形でグローバルなグループ学習への移行条件を判定する形態になっている。

## 5. FITS/CLの概要

ここで現在開発を進めている協調学習知的支援システムFITS/CLの全体像を簡単に説明する(4),(5)。全体像を図1に示している。

### 5.1 FITS/CLの知識モデル

システムに実装される主な知識は、コミュニケーション目的、コミュニケーション戦略、学習プロセス

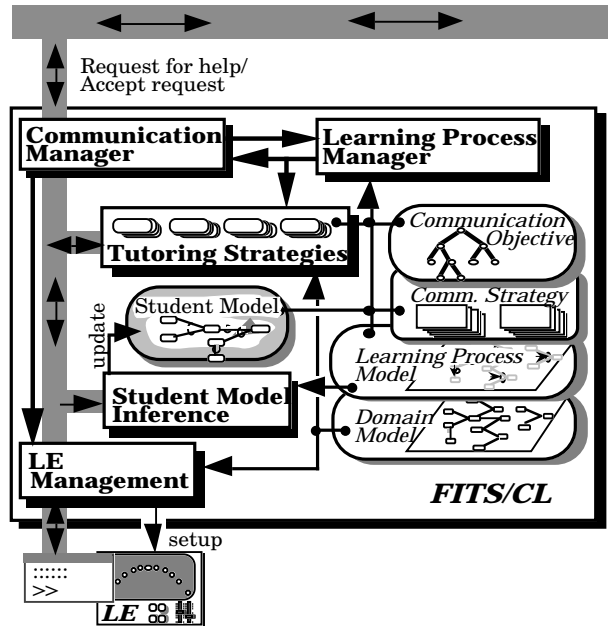


図1 協調学習支援システムFITS/CLの概要  
Fig.1 An overview of FITS/CL

モデル、教材モデルの4つである。

目的と戦略の階層構造をモデルとして明示することによって、どういう局面で、どういう学習を目的として、どのように学習者に働きかけるのか、というシステムの振る舞いの合理性を正当化することが可能になる。この分類階層には、発見的、自発的に学習するのか、演繹的な説明を受けて、受動的に学習するのかといった、学習形態を内包した目的と戦略が配置されることになるがここでは紙面の都合で立ち入らない。

学習プロセスモデルは教材オーサが学習者が辿るであろうと期待している標準的な学習プロセスを表現している。このモデルは教材モデル上で定義される。教材モデルは、知識ユニットを表すノードとノード間の is-a, is-instance-of などの関係を表すリンクからなっている。各知識ユニットは教材に含まれている一つの概念に相当しており、関連する知識をその内部に持っている。学習プロセスモデルは教材モデルのノード間の有向リンクで表される、学習過程から見たノード間の関係(例えば、導入、詳細化、一般化、弁別)をあらわす。学習プロセスモデルは教材オーサによって記述される。教材オーサは、教育的観点から見て好ましい効果が期待できる学習プロセスを教材モデル上に設定する。現状で、具体的な教材はカードシステム(HyperCard)で実現し、教材オーサは様々なメディア機

表1 教材カードの内容  
Table 1 The content of teaching material

能を容易に導入できるようにしている。カードの内容は学習プロセスモデルによって記述（後述）され、システムはその記述の範囲でカードを知識レベルで操作する（例えば学習者モデルに基づいて適切なカードを選択する）ことが可能である。

5.2 FITS/CLの機能モジュール

FITS/CLの機能モジュールは4つからなり、学習環境マネージャ、学習者モデル推論モジュール、学習プロセスマネージャ、コミュニケーションマネージャである。ここでは、各機能モジュールのシステムにおける役割を、他のモジュールと知識の関連で簡単に説明する。

学習者モデル推論モジュール：学習者モデルは、学習プロセスモデルとの学習履歴を参照して、学習プロセスモデルと同等の粒度でモデル化する方式と知識レベルで実行可能（学習者の振る舞いを予測できる）なモデリング方式を選択的に利用する。現状では前者の形態での実装を進めている。

学習プロセスマネージャ：学習プロセスを管理する役割を担う。独習モードでは学習プロセスモデルを参照しながら、学習者に提示するのに適当な課題カードを教材モデルに基づいて選択するサイクルを繰り返す。学習者モデルモジュールから、学習者が行き詰まり状態にあることが検出されると、その状況に適したコミュニケーションゴールを設定する。システムが自身の内部タスクとして学習を支援する場合と、分散環境に協調学習のリクエストを発する場合の、どちらが適当かという意志決定もここでなされる。また、コミュニケーションマネージャを介して他のシステムからのリクエストを受け取った場合には、そのリクエストを受理することの意義を担当する学習者の状態を参照して判断し、その結果を応答する。協調学習の最終的な形態はコミュニケーションマネージャを介した他のシステムとのネゴシエーションを経て決定され、それに基づいて学習者間のコミュニケーションの確立を試みる。

学習環境マネージャ：学習プロセスマネージャの指示に従って学習環境を設定する。学習環境の主な役割は課題の解決を助ける対話的環境を提供することにある。グループ学習モードにおいては、グループ構成員全てに対して同期した同質の学習環境を設定する必要がある。このために学習環境マネージャは通信路を介してメッセージを交換することによって、ある学習者の学習環境で生じた変化がグループ内の学習者の環境に反映する。

コミュニケーションマネージャ：学習プロセスマネージャの委託に応じて、他のシステムとの通信を管理する。外部システムからのメッセージは、学習者間

カード番号	内容
0 1	重力の法則を例示するカード
0 2	重力の法則・重力質量を概念化する説明カード
0 3	静止摩擦の法則を例示する演習カード
0 4	静止摩擦の法則における静止摩擦力と質量（重力質量）の関係を例示する実験カード
0 5	重力が摩擦力に内包されていることを明示しながら、静止摩擦の法則を概念化する説明カード
0 6	慣性の法則の質量と加速度の関係を例示する演習カード
0 7	質量において特に慣性質量に焦点を集中させた慣性の法則を例示する演習カード

の通信と、システムの学習プロセスマネージャ間の通信に大別される。一部学習環境マネージャを介して学習環境に反映されるが、大部分は、そのままインタフェースを介して学習者に伝達される。学習プロセスマネージャ間の通信は、コミュニケーションゴール、戦略の設定を主目的としてなされる。コミュニケーションマネージャの役割はメッセージを含むプロトコルを解析し通信路を適正に保つことにあ

5.3 グループ形成のシナリオ

これまでに述べてきたグループ学習の形態のうち、インバス駆動のLH型協調学習について、質量概念に関する教材を用いた想定シナリオを例示しながら、グループ形成メカニズムを説明する。教材カード群の内容を表1に示している。学習者Aはカード1から7を修了しており、学習者Bはカード1から5を修了した状況を想定する。この状況から、「重力質量と慣性質量に関して一定の理解に達している」というのが、システムの学習者Aに関する理解状態の推定結果である。ここで学習者Bは図2に示すカード6において「加速度は同じである」という回答を選択し、インバスに直面したことが検出された状況を想定する。図3にカード6の内容記述を示している。

カード6は慣性の法則の質量と加速度の関係を例示するカードで、「慣性の法則を例を用いて導入する (introduce-example)」あるいは「学んだルールを例にあてはめる (apply-rule-to-example)」ことを目的とした学習プロセスで利用可能なカードであることが記述されている。また誤りの原因となる誤概念が回答に関連づけて記述されている。学習者Bは「 $A=B$ 」を選択する

という誤りを犯すことで、慣性質量と重力質量が未分化であるという診断をうけたことになる。現時点で知識表現レベルで実装されていないが、より具体的には学習者Bの誤りとして「重力質量は垂直方向にしか働かない。しかも、摩擦がないのなら水平方向の運動に重さは関係ない」が想定されたという状況である。学習者Bを担当するシステム（システムB）はこのインパスを解消する学習目的を設定する。このとき、診断結果に基づいて、重力質量に誘導された誤答を排除し慣性質量へ

焦点を集中させるために慣性質量のみをコンテキストとする教材を検索する。図2のカード7は慣性質量の導入を目的として教材オーサが作成したカードであり、これが条件を満足する（該当するカードがない場合には、インパスが検出されたカード6をそのまま利用する）。結果として「カード7で慣性質量へコンテキストを限定した後で、カード6へ復帰して重力質量の誤適用の誤りを修正する」という学習プランが得られたことになる。

ここで、システムBは個別指導モードで修正教育を起動するか、グループ学習モードへ移行するかを判定する。判定に際してはインパスの重要性（教材オーサによる指定）と学習者Bのグループ学習への適性（説明の理解力、グループ学習が過度に頻繁ではないか？）といったことを考慮にいれる。ここでは学習者Bはグループ学習に参加した頻度が少なく、オーサによって

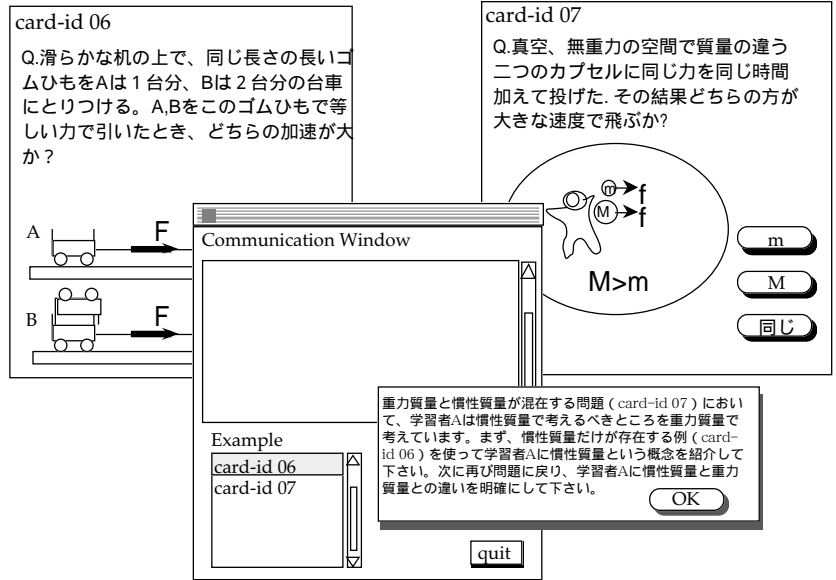


図2 協調学習セッションの例  
Fig. 2 An example of CSCL session

インパスの重要性が指定されているという前提でグループ学習に移行すると判定し、学習目的と学習プラン、グループ学習のリクエストをネットワーク上に流しグループ学習への参加の表明を待つ。システムAはこのリクエストを受け取ると、学習者Aは学習者Bが直面したインパスを経験していないが、カード6のタスクを適切に修了しているという状況を踏まえ、提案されたグループ学習へHelperとしての参加希望を表明する。この表明をうけて、システムBは学習者AをHelper、学習者BをLearnerとするインパス駆動クローズ型のグループ学習を実施することを決定しシステムAに通知する。システムA以外から同様の表明があった場合には、システムBはより適切にグループ学習をガイドすることを期待できる学習者をHelperとして選択し、

```
(define-card-contents 慣性の法則の導入
:card-type (provide-example 慣性の法則:質量と加速度の関係)
:learning-process (
  (introduce-with-example 慣性の法則:質量と加速度の関係)
  (apply-rule-to-example 慣性の法則:質量と加速度の関係))
:domain-context (重力質量 垂直抗力 摩擦なし)
:card-contents (
  :target-knowledge-unit 慣性の法則
  :question 加速度と質量の関係)
:diagnosis (
  (?answer=1 correct)
  (?answer=2 ((impasse (lp-differentiate 慣性質量 重力質量)
    (fail-to (apply 慣性質量)))
  (incorrect (applied 重力質量))))))
```

図3 教材内容の知識表現  
Fig.3 An example of representation of teaching material.

他の学習者にはObserverあるいはParticipantとしての参加を求めることになる。

グループが確定すると、各システムは学習者が担う役割に応じてグループ学習開始メッセージを学習者にむけて提示する。図2に、学習者Aに対するメッセージを含むグループ学習開始時の想定画面イメージを示している。学習者Bに対しては学習者Aが学習過程をガイドしてくれることを説明し、学習者Aに対しては、学習者が直面しているインパスとそれを解消するための学習プランを説明する。グループ学習の環境が設定されると、システムは学習者間のコミュニケーションに関与せず、学習目的の達成が学習者によって表明される（図2中のセッション終了(quit)ボタンが押される)のを待つ。

## 6. ネゴシエーションプロセスに関する考察

本稿では、グループ形成の概念を明確にする目的で作成したプロトタイプをもとに、簡易版のネゴシエーション機能を示した。本研究が目的とする質の高いグループ形成を実現するためには、より慎重な考察に基づいた高度なメカニズムの開発が必要になる。ここでは本研究の現状を紹介しながら、ネゴシエーションメカニズムについて考察を深めたい。

個別システムによって発信されるリクエストは、ある学習者からみた協調学習への移行に対するニーズを表しており基本的に利己的な利益に基づいている。一方で、実際に協調学習へ移行する際には、グループ全体としての利益を考慮しなければならないことは言うまでもない。ネゴシエーションの目的は、学習者個々の利己的利益とグループ全体の社会的利益を調和することにある。この段階の意思決定は利己的要素が強いが、社会的利益が認められないリクエストの乱発をさけるために、そのトピックが他の学習者にとって有意義な可能性があるかという社会的な側面からの弱い必要条件も判定される。

あるシステムからリクエストが分散環境に発せられた段階で、ネゴシエーションプロセスが起動する。グループ形成に至るまでの多様な経緯を体系的に説明するのは困難であるが、概要を示すために大きく4つの段階に区分して説明する。

A) リクエストの発信：上で述べたように、あるシステムからリクエストが発せられた時点でネゴシエーションがはじまる。原則として、ネゴシエーションの結論は、このリクエストを充足しなければならないが、リクエストを発したシステムが許容すればあ

る程度の妥協も許される。例えば、学習目的と役割のリクエストが充足されている状況で、社会的利益を維持するために学習形態を変更することが、リクエストを発したシステムにとって許容の範囲におさまることが容易に想像できる。

- B) 利己的オピニオンの提示段階：リクエストを受け取った各システムは、そのリクエストで提案された協調学習に参加することが、担当している学習者にとって有益であるかどうか判定し、もし有益であればオピニオンを形成する。このときのオピニオンは受け取ったリクエストと担当学習者に関する情報に基づいて、リクエストを充足しながら担当学習者の利益を追求するように形成される。オピニオンはリクエストと内容的に同形であるが、ネゴシエーションで必ずしも充足されなくてもよいという点で取り扱いが異なる。
- C) 社会的調整段階：リクエストと利己的オピニオンに基づいてグループを形成する。複数のオピニオンを統合し協調学習が成立するグループを形成する。複数の可能性がある場合は社会的な利益がより見込まれるグループを選択する。協調学習が成立するための基準を満たすグループが形成できない場合は、リクエストを発したシステム、あるいは主導的オピニオンを発したシステムが中心となり妥協案形成を行う。ここで主導的オピニオンとは、担当学習者に積極的な役割（HelperやPresentator）を担わせることを含むものである。
- D) グループ構成への合意：グループ構成が確定した段階でネゴシエーションを終了する。

現状は、Cの社会的意志決定において考慮すべき観点を整理し、判断基準を知識表現として具体化する作業を進めている段階にある。さらに、その結果を分散制御型の意志決定メカニズムのうえで実装するために、ネゴシエーションプロセスの状態遷移モデルの構成とコミュニケーションプロトコルの開発を進めている。

## 7. 関連研究

協調学習の知的支援システムに関する研究は始まったばかりであり、システム設計論的にもその教育学的評価に関しても、様々な目的のもとで多様なアプローチで解答を模索している段階にある。したがって現時点で既存研究の系統的な比較 / 検討は非常に難しい。ここでは、筆者らの立場から本研究と稲葉ら(6)、中村ら(7)の研究の特徴的な差異をとりあげて検討する。

稲葉らの研究(6)、中村らの研究(7)と本研究とを比較すると、協調学習セッションのモニタリング機能の有無が対照的である。前者二つではセッションで交わされる対話を積極的にモニタし、協調学習への直接的な

関与を考慮しているのに対して、我々はセッションの内容の解釈に極力立ち入らずOpportunistice Group Formationによって学習者間の協調学習過程の間接的な関与を指向している。ここで、どのアプローチが適切に協調学習を支援しうるかという問題は、協調学習において重視される学習者間の討論の自由度を追求することと、セッションのモニタリングメカニズムの精度を同時に追求するとき生じるトレードオフを考慮に入れなければ議論できない。つまり、モニタリングの精度を求めると協調学習の自由度が失われ、逆に自由度を重視しモニタリングを放棄すると適切なガイドが実現できないという状況を考慮にいれ、そのバランスをとることが重要である。稲葉らは、モニタリングに際して対話行動の表層的な側面に限定することによって対話を制約しない方向で研究を進めている。中村らは、対話テンプレートを導入して対話を制約しながらも自由度を損なわないような工夫に努めている。これらの方法によって、どの程度のモニタリングとガイドが可能になり、自由な討論をどの程度制約し、それが学習の質にどう影響するかという実証的検討が今後必要である。一方、本研究では特定の学習目的に制約された一時的な学習グループによる協調学習が、協調学習本来の自由が学習と比べてどの程度の制約になっているのかという点を実証的に検討する必要がある。これらの点については今後の研究成果を相互に系統的に追跡しながら再整理する必要があると考えている。

## 8. むすび

本稿では、Opportunistice Group Formationというアイデアを中心に、筆者らが想定している協調学習の基本的モデルを提示した。我々は、この基本モデルは、我々が開発中のシステムに限らず、様々な形態の支援システムを比較・分析し、知見を蓄積するための理論的枠組みとして有用であると考えている。また、協調学習の教育的意義について分析し、考察を深める土台としても活用できるものと考えている。

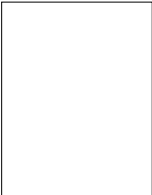
協調学習の意義についての教育学的議論は、その観点が多岐にわたるために非常に複雑なものになっている。協調学習の特徴的な効果は何か？、どのような教材に対して有効なのか？学習として意味のある協調を成立させる条件は何か？、といった問いについて抽象的な議論は可能にしても、支援システムの構築方法論と具体的に関連づけた議論は非常に難しい。本稿では、Opportunistice Group Formationという協調学習支援の「枠組み」を提示することを主眼においた。我々は

グループ形成メカニズムに対するアプローチによって以下の2点で協調学習の意義に関する議論に貢献したいと考えている。第一に協調学習のオントロジーを構築し、協調学習の目的と適用範囲を明らかにしたいと考えている。第二に、グループ形成の意志決定基準とネゴシエーションプロセスを知識モデルとして明示化することを通じて、協調学習の成立条件を明らかにしたいと考えている。

協調学習の目的、戦略、グループ形成の意志決定基準、ネゴシエーションプロセスモデルとプロトコルといった概念は、質の高い協調学習を実現するうえで、一つ一つが重要な技術的課題である。基本モデルをプロトタイプとして実現するにあたっては様々な近似を行っており現状では我々が目的とするモデルの実現には至っていない。現在、それぞれの問題で検討をすすめ段階的に実装を進めている。特に、教育的分析に基づいたネゴシエーションのモデルの構成が最優先の課題になっている。

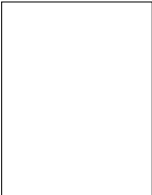
## 文 献

- (1) Ayala, G., Yano, Y. (1994) Design Issues in a Collaborative Intelligent Learning Environment for Japanese Language Patterns, Proc. of ED-MEDIA94, Vancouver, pp.67-72.
- (2) Chan, T.W., Chung, I.L., Ho, R.G., Hou, W.J., and Lin, G.L. (1992). Distributed Learning Companion System: WEST Revisited., Proc. of. ITS392, Montreal, Canada, pp.645-650.
- (3) Hoppe, H.U., Baloiian, N. Zhao, J., Computer Support for Teacher-centered Classroom Interaction, Proc. of ICCE193, Taipei, Taiwan, pp.211-217, 1993
- (4) Ikeda, M. Hoppe, H.U., Mizoguchi, R. : Ontological issues of CSCL systems design, Proc. of AIED195. pp.242-249, Washington, DC, 1995
- (5) 池田, 楠, 溝口, : 協調学習支援のための知識モデル, 人工知能学会知的教育システム研究会資料, SIG-IES 9501, pp.33-40, 1995
- (6) 稲葉, 岡本, 知的グループ学習支援のための対話モデルの研究, 信学技報, Vol.A195-22, pp. 1 - 8, 1995
- (7) 中村, 竹内, 大槻, グループ学習支援システムにおける知的エージェントに関する研究, 信学技報, Vol.ET95-11, pp. 79 - 86, 1995
- (8) Neches, R., et.al, (1991) Enabling Technology for Knowledge Sharing, AI Magazine, 12, 3, pp.25-56.



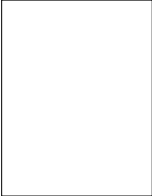
**池田 満 (正会員)**

1984年宇都宮大学工学部情報工学科卒業。  
1986年同大学院修士課程修了。1989年大阪大学大学院博士課程修了。同年、宇都宮大学助手。1991年大阪大学産業科学研究所助手、現在に至る。工学博士。形式言語の構文解析、仮説推論、帰納的推論、知的CAI、オントロジーの研究に従事。1994年人工知能学会研究奨励賞受賞。1996年人工知能学会10周年記念論文賞受賞。電子情報通信学会、情報処理学会、教育システム情報学会、IEEE、AAAI、ACM、AAACE各会員。



**呉 昌豪 (学生会員)**

1996年大阪大学工学部電子工学科卒業。現在、同大学院工学研究科前期課程在学中。知的教育システム、オントロジーに興味を持つ。人工知能学会、教育システム情報学会会員。



**溝口 理一郎 (正会員)**

1972年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。1977年同大学院基礎工学研究科博士課程修了。同年、大阪電気通信大学工学部講師、1978年大阪大学産業科学研究所助手、1987年同研究所助教授、1990年同教授。現在に至る。工学博士。パターン認識関数の学習、クラスト解析、音声の認識・理解、エキスパートシステム、知的CAIシステムの研究に従事。1985年Pattern Recognition Society論文賞、1988年電子情報通信学会論文賞、1990、1991、1994年人工知能学会研究奨励賞、1989、1990、1991年人工知能学会全国大会優秀論文賞、1996年人工知能学会10周年記念論文賞受賞。IEEE Expert,J.of AI in Education,J.of AI in Engineering, J.of User Modeling and User Adaptive Interface編集委員、教育システム情報学会誌編集委員長。電子情報通信学会、教育システム情報学会、日本認知科学会、日本音響学会、IEEE,AAAI,AAACE各会員。