

相互作用の促進を目指した協調学習支援システム

A System for Supporting Group Learning That Enhances Interactions

研究代表者 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 基盤情報学専攻 助教授 杉本 雅則

Associate Professor, Department of Frontier Informatics, Graduate School of Frontier Sciences,
University of Tokyo, Masanori SUGIMOTO

和文アブストラクト

本研究では、環境問題を対象とし、まず物理世界と仮想世界とを融合した対面型のグループ学習支援システムを構築した。評価実験により、コンピュータの使用が苦手な学習者でも容易に学習に参加できる点、教科書等を通して得た知識を物理世界で試せる点、などを示せた。しかし、発言の場においてリーダーへの依存が強くなる、より本物性の高い設定での学習支援が必要、ということも分かった。そこで、システムの機能を拡張し、学習者グループが互いに対面で話し合えないよう、複数のセンシングボードを別の場所に配置した。そして、各ボード上での操作が互いに影響を及ぼし合うよう、それらをネットワークで繋いだ。グループ内の学習者はボードを囲みながら対面で問題を解決するとともに、別のグループの学習者とは、チャットシステムを介して交渉を行う。小学校の授業の中で、都市設計と環境問題の学習を学習者に行ってもらい、提案システムの有効性を検証した。

英文アブストラクト

We have so far devised a sensing board and constructed a system for supporting group learning about environmental problems in face-to-face situations. In order to support constructive discussions, we propose a system with multiple boards, each of which is linked through computer network. In this system, each board where learners design a town with physical pieces is located in different places but is virtually connected with other boards: design of a town on a board influences upon its neighboring boards. Learners not only have to construct a town on their own board through face-to-face discussions, but also negotiate with other groups through chat systems for their sustainability. Evaluations of the system were carried out in an elementary school.

1. 研究目的

近年、小学校においては、教師から学習者へ知識を伝達するという従来の授業スタイルとは違った、新しい授業の試みがなされている。コンピュータやインターネットを積極的に活用することにより、学習者が主体的に課題に取り組み、教師がfacilitatorとなって学習者の活動を支援する授業は、その1例であると言える。

一方、コンピュータを用いた協調学習支援 (CSCL: Computer Supported Collaborative Learning) の研究は、「コミュニティに参加し、他者との相互作用を通して学び合う」という学習理論を1つの背景としている。インターネットやWWWをはじめとする情報通信技術の進展によって、このような従来の学習理論をシステムとして実現、評価することが容易になってきた。著者らは、「学習者自身の積極的な実践に基づく」、「他者との相互作用を通じた」問題の発見と学習、つまり社会構成主義の立場に立ち、学習者同士による学習環境のデザイン(Learner Centered Design)を実現するシステムをこれまで構築してきた。著者らは、独自に設計したセンシングボードを用い、都市設計と環境問題の学習を学習者が対面でを行うのを支援するシステムを、まず構築した。評価実験の結果、(1)学習者が教科書を通して学んだ知識を物理的なボード上で実際に試すことができ、それに対して学習者がコンピュータシミュレーションからのフィードバックを得られる点、(2)マウスやキーボードの利用に不慣れな学習者にとっても、容易に学習に参加できる点、(3)住宅や工場などのコマを物理的に他者と共有することによって、言語的、非言語的コミュニケーションを促進し、協調的な学習における学習者同士の意見の外化を支援できる点、を示せた。

その反面、対面でのグループ学習では、日頃からリーダー格になっている学習者の意見に他の学習者が同調しがちになる、という問題点があることも分かった。このことは、各学習者が考えつつ徹底的に議論するよりは、むしろ表層的な議論に終始することによる「疑似的協調学習」に陥る可能性があることを意味する。

また、現実の都市設計や環境問題においては、利害を共有する1つのグループやコミュニティが、問題に関する全ての要因を決定、制御できることは稀である。むしろ自分たちだけでは制御できない要因を、利害の異なる他のグループとの交渉を通して、解決するというプロセスを含むことが多い。

そこで、筆者らは対面でのグループ学習支援システムの機能を拡張した。新たなシステムでは、複数のセンシングボードが異なる場所に配置される。各センシングボード上では、学習者のグループが自分たちの知識を用いながら対面で都市を構築する。各センシングボードをコンピュータネットワークを介して連携させることにより、本システムは、物理的には個別に構築される都市を、仮想的に隣接させる。本システムが行うシミュレーションでは、複数の都市が互いに影響を与え合い、その結果が可視化されて各グループに提示される。シミュレーションの結果を見ながら、各学習者グループは、チャットシステムを通して他のグループと議論を行うことができる。物理的に離れた場所にいるグループ同士では、誰がどのセンシングボード上で都市計画を行っているかを知ることはできないようになっている。本研究の狙いおよびシステム設計指針は、以下の通りである。

(a) 各学習者の積極的な参加による議論を促進する
本システムでは、グループ内での学習者の対面での発言に加え、

他グループからのチャットシステムを通しての発言が、各グループの議論への入力となる。発言者によって発言の価値が判断されないようチャットでの発言は匿名で行い、異なるグループ間では誰が発言しているかは分からないようになっている。また、各グループは、それぞれ別個に目標を決めて都市計画を行うため、グループ内では一致していた利害や要求が、グループ間では必ずしも一致しなくなる。そのため、これまでリーダーに任せ切りで解決できた問題が、リーダーに依存するだけでは解決できない可能性が生じる。その場合は、リーダーとは異なる意見を持つ他の学習者の意見も考慮しつつ、グループ内で議論を行うことになる。対面での議論およびネットワークを介した議論の両方を組み合わせたシステム設計により、各学習者の積極的な参加による議論を促進する。

(b) グループ間での論理的な議論の展開を促進する

提案システムでは、仮想的に隣接する都市が互いに影響を与え合い、グループ間で利害や要求が異なる場合は、チャットシステムを用いて交渉するようになっている。チャットによるグループ間での交渉では、各グループの対面での議論の文脈は、相手のグループに対しては維持されない。そのため、相手のグループとの交渉においては、自分のグループの利害や要求を主張しながらも、論理的かつ説得力のある議論を進めつつ、互いに受け入れられる妥協点を探る必要があると考える。

(c) ゲーム性と本物性(authenticity)を備えた学習支援を行える

ゲーム感覚は、学習に対する動機付けを高めるといって有効な手段である。しかし、ゲーム性を高め楽しさを追求するだけでは、本来の目的である「学習」という活動に結びつかない危険性がある。そこで本研究では、ゲーム性と本物性の両立および強化を目指した。本論文では、本物性のある学習を「取り組んでいる課題と実世界とのつながり、およびその課題の学習がどのように役立つのかを、学習者自身が実感できる学習」と捉える。本研究では、物理的なコマを用いて実際に都市計画を行っている感覚を学習者に持たせるだけでなく、グループ間での合意形成や問題解決を目指した議論および交渉を行うための学習環境を構築することによって、実世界とのつながりを学習者が実感できることを狙っている。また、学習者にとって身近でかつ重要な学習課題であるという意識を高めるため、(1)学習対象となる地域に関する条件容易に反映できるシミュレーションソフトウェアを設計し(2)フィールドワークや調べ学習を通して、学習の文脈を学習者自身が意識できるような授業カリキュラムを構成した。このようなシステムおよび授業カリキュラムにより、ゲーム感覚と取り入れつつも本物性の高い学習を支援することを目指した。

2. 研究経過

2.1 センシングボードの開発と性能向上

物理世界で学習者が住宅や工場などの物体を配置した際、その物体の種類および認識を可能にするため、RFID (Radio Frequency Identification) 技術を応用したセンシングボード

を構築した。本研究グループでは、プロトタイプ版のセンシングボードを改良し、その機能(認識速度、認識誤差)を向上させるため、RFID用基板の回路設計を行った。その結果、約500個の物体の位置と種類を0.05秒以内に認識することが可能になり、複数の学習者が同時に物体を配置した際でも、瞬時のフィードバックを与えることができるようになった。

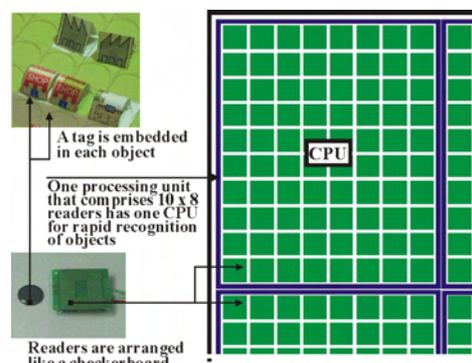


図1 センシングボードの構成

2.2 シミュレーションソフトウェアの設計と開発

センシングボード上の物体の配置情報を基に、環境シミュレーションを行うソフトウェアの設計を設計した。本システムは、小学校高学年を対象としているため、小学校の教師と協調しつつ、どのような概念、パラメータをシミュレーションに盛り込むべきかについて議論した。その決定に基づき、シミュレーションモデルを構築した。また、各種パラメータの計算を高速に行うためのアルゴリズムについても検討を行い、実装した。

2.3 サーバクライアントモデルに基づくシステムのアーキテクチャの実装

本システムは、ネットワークを介して複数のサイトを結んで利用される。シミュレーションを行うためには、各サイトに配置されている全てのセンシングボードに関する仮想世界でのトポロジ(どのボードとどのボードがどのように隣接しているか)および各センシングボードの物体配置情報を、管理しなければならない。そこで、本研究では、シミュレーションを行うためのサーバ、および物体位置情報の送信とシミュレーション結果の受信を行うクライアント間のプロトコルを確定するとともに、クライアントの追加、削除を容易に行うことができるアーキテクチャを実現した。

2.4 シミュレーション結果視覚化インターフェイスの設計と開発

シミュレーション結果を、学習者にとって分かりやすく提示するための情報視覚化手法についての検討を行った。小学校の教師の協力を仰ぎつつ、学習者にとってどの部分が難しいと考えられるかについて、コメントをもらった。それを基に複数の都市の環境状況を容易に把握するための視覚化インターフェイスの開発を行った。

2.5 シミュレーションパラメータ設定用インターフェイスの設計と開発

本システムの利用者は 現場の教師や児童が主となる よって、教師が授業でシステムを使用する際、シミュレーション設定を自由かつ容易に行えるようにするための設定用ユーザインターフェイスを設計した。また、本システムが利用される学校の地域性を反映させるため、シミュレーションの対象となる都市の地理、気候的な条件（例えば、河川や風向）を、複数のセンシングボードに渡って設定出来るようにした。これにより、学習者にとって本物性の高い設定での学習を行うことが可能になった。

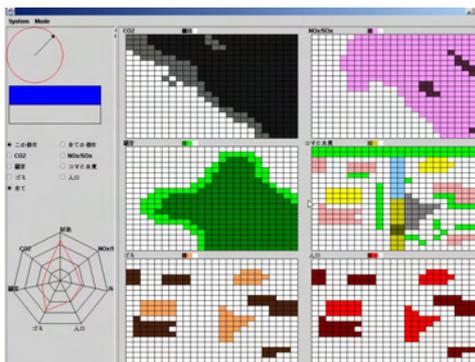


図2 シミュレーション結果視覚化インターフェイス

2.6 システムを用いたカリキュラムおよび授業設計

これまでの学習支援システムでは、極めて短時間でシステムの効果を議論することが多く、学習者自身が学習の文脈を意識しながら学習を行うことができなかった。そこで、本研究では、学習の文脈を明確にし、本物性を高めるために、教師との議論を通してカリキュラムの設計を行った。表1は、本システムを用いた約2ヶ月間にわたる学習カリキュラムの例である。ここで重要なことは、学習者自身が気居住する都市の実情を知り、そこで発生している問題を解決する、という意識を学習者が明確に持てるようにするため、学校周辺のフィールドワークを組み合わせている点である。

2.7 ユーザスタディに基づいた再設計

本研究では、合計3度にわたり、それぞれ異なる学習者グループ（約210人）を対象とした評価実験を行った。そこで得られた知見を基に、システムの変更した。特に、学習者からのインタビューや他者との会話から得られる情報（学習者にとって分かりにくい視覚化、システムの操作性）に注目して問題点を洗い出し、それを基に、システム改良を行った。

授業（時間数）	内容
導入(3時間)	授業の概要説明, 学習者同士による議論
フィールドワーク(14時間)	近隣地区における産業開発の現状や生活および自然環境への影響についての野外調査
都市設計1(4時間)	紙の上での都市設計
都市設計2(2時間)	システムを用いた都市設計
総括(3時間)	グループ毎での議論と全体のまとめ

表1 本システムを利用した授業

3. 研究成果

3.1 システムとしての成果

本システムは、センシングボードを用いることで、人工物を介した直感的な操作が可能なインターフェイスを学習者に提供している。学習支援の分野で、このようなインターフェイスを活用した例はあるが、それをネットワークを介した協調学習支援に応用している点、および教育現場の協力を得て、よりリアリティの高い設定で実践を行った例は見当たらない。よって、本研究を通して協調学習支援の新しいアプローチを示すことが出来たと考える。また、教師、学習者とともに、システム設計を行ったことで、彼らの要求を反映したシステムが構築され、システムの利用法に関して、戸惑うこともなかった。



図3. 実験の様子：上流側(上)と下流側(下)．下流側のグループはチャットを行っている。

3.2 学習支援の効果

(a) 各学習者の積極的な参加による議論を促進する効果について

実験時に撮影したビデオの解析の結果 本システムにより、各々の学習者が、ボード上のコマを操作しつつ自分の意見を積極的に述べ、都市設計を行っていることが分かった。また、別グループとのチャットによって与えられる設計変更要求（川の上流の工場を減らしてほしい、など）がトリガとなり、それへの対応をめぐる意見が戦わせている様子も観察された。以上の点から、本システムを用いることで、「各学習者の積極的な参加による議論の促進」の効果が現れていることが確認できた。

(b) グループ間での論理的な議論の展開を促進する効果について

今回の実験では、各グループが互いに自分の利益のみを主張することが多く、相手の利益も考慮しつつお互いにとってより良い解決策を見つけるための議論を進める様子は、あまり観察されなかった。このことは、「論理的な議論の展開を促進」し互いに「妥協点を探る」という効果が、期待していたほどは得られなかったことを意味している。また、学習者達は「自然環境保護」を「善」、「産業」を「悪」として捉えられる傾向がある。そのため、経済効果を考慮した上で、どの程度の汚染なら許容できるのか、といった議論ができなかったと言える。したがって、大気汚染など負の側面だけでなく、経済的な依存、協力関係を学習者に意識させる仕掛けをシステムに組み込む必要があると考える。そこで、自分の都市および隣接する都市が、各々のパラメータの値にどれだけ影響あるいは貢献しているかを視覚的に示すことにより、学習者に正負両面の影響を考えつつ交渉を行えるよう、システムの改良を進めた。

(c) ゲーム性と本物性を備えた学習支援の効果について

実験後のアンケートやインタビューでは、「楽しいけど難しかった（あるいは、難しいけどもう一度やってみたい）」という学習者の意見が多かった。これは、システムの使い方が難しかったということではなく、自分の都市の環境や財政が隣接する都市からの影響を受けるために、思った通りの設計を進めることが容易ではない、という意味での「難しさ」であった。また、学習者からは「環境保護と産業発展の両方を目指すだけではうまくいかない」、「互いに協力することが重要」といった意見が出された。上記の意見は、本システムが提供する学習環境において、学習者はゲーム的な感覚で都市計画を行いつつも、(フィールドワークや調べ学習だけでは得られない)他者との交渉とその難しさという、実世界で行われる問題解決の過程を体験することができた、と考えることができる。その意味では、本システムの目指した「ゲーム性と本物性」は部分的にはあるが、実現されていると言える。ただし、これらの意見からだけでは、ゲーム性と本物性のそれぞれが、どのような効果を学習者に与えたのかを必ずしも明確にできていない。結果的には、学習者の学習に対する参加意欲や動機付けを高めるのに寄与したと推定できるが、より客観的な検証が必要であると考えている。

4. 今後の課題と発展

今後の展開としては、実験結果の詳細な分析を行うとともに、さらなる評価実験を通して、本システムの効果を検証していくことを考えている。また、本研究の狙いの1つである「グループ間での論理的な議論の促進」は、グループ間での協調学習の側面を持っていると考えられる。提案システムのフレームワーク(対面とネットワークとを組み合わせた学習支援環境)において、グループ内およびグループ間でどのような相互作用が生じ、個々の学習者およびグループが他者にどのような影響を与え合うのかを検証することは、興味深いテーマであると考えられる。

のために要求されるシステム設計および評価実験を検討することも、今後の課題である。

本システムでは、グループ間のコミュニケーションシステムとして、テキストをメディアとするチャットシステムを用いた。チャットシステム以外にも、映像、音声をメディアとするコミュニケーションシステムを提案システムに組み込むことも可能であり、また全くコミュニケーションシステムを使わないという設定も考えられる。コミュニケーションのためのメディアが変わると、学習や協調の仕方がどのように変化するのかわくについては、遠隔教育やCSCWの研究とも関連する興味深いテーマであり、検討すべき課題であると考えられる。

さらに技術的な展開としては、拡張現実感技術を応用し、没入感を高めた協調作業支援環境を構築する方向も考えられる。本研究では、そのプロトタイプ部分を構築した。詳細な評価、分析およびシステムの改良はまだ十分行っていないが、今後の研究において検討を進めていく予定である。



図4 拡張現実感技術を応用した協調学習支援環境。プロジェクトを介して、仮想世界のシミュレーション結果をセンシングボード上の物理世界に重ね合わせる。

5. 発表論文リスト(主な論文誌および国際学会発表)

1. Sugimoto, et al. Epro2: Design of a System and a Curriculum to Support Group Learning for School Children, In *Proc. of CSCL2003*, Bergen, Norway, 2003 (to appear).
2. Sugimoto: How Sensing and Mobile Technologies Can Enhance Collaborative Learning in Classrooms and Museums?, In *Proc. of CSCL2003*, Bergen, Norway, 2003 (keynote address, to appear)
3. 杉本ほか: ネットワーク型センシングボードを用いることによる協調学習支援システムの構築, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J85-D-1, No.12, pp. 1152-1163, 2002.
4. Sugimoto, et al. A System for Supporting Group Learning in Face-to-face and Networked Environments, In *Proc. of ACM CSCW2002*, New Orleans, LA, Nov. 2002.
5. Sugimoto, et al. Design of an Interactive System for Group Learning Support, In *Proc. of ACM DIS2002*, pp.50-55, London, UK, Jun. 2002.
6. 楠,杉本ほか:知識の物理世界での実践を通して他者との議論を促進するグループ学習支援システム, *科学教育研究*, Vol. 26, No. 1, pp. 34-41, 2002.