

ソーシャライズド・コンピュータと協調学習

Socialized Computers and Collaborative Learning

森 幹彦*¹ 池田 心*¹ 萩原 学*² 嵯峨 正規*² 上原 哲太郎*¹ 喜多 一*¹
 Mikihiko Mori Kokolo Ikeda Gaku Hagiwara Masaki Saga Tetsutaro Uehara Hajime Kita

*¹京都大学 学術情報メディアセンター *²京都大学 大学院情報学研究所
 Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University Graduate School of Informatics, Kyoto University

In this paper, we propose the concept of Socialized Computer (SC), instead of Personal Computer (PC). SC is one of Single Display Groupware (SDG), but SC aims all computers to present platform of social communication. We also implement some SC applications, and evaluate them.

1. はじめに

高度情報化社会を迎えて日常生活の至る所でコンピュータが使われている。利用者がコンピュータと認識して扱う機会も多く、家庭から職場や学校でも広く利用されている。家庭でのコンピュータ所有率やインターネット接続率は年々増加していることから、幅広い年齢層が利用していることが伺える。就業環境での ICT 利用の普及はもちろんのこと、学校でも ICT を活用した教育が行われている。高等学校では、教科情報の必修化によって情報技術に必ず触れる時間ができており、多くの場合は実際にコンピュータに触れる授業内容になっている。また、初中等教育における総合的な学習の時間では、調べ学習としての調査、野外活動によって得られた資料の整理、成果発表のための情報編纂にコンピュータが用いられている。特にこの教育課程では、グループ学習などの協調学習にコンピュータが利用されることも多く、この場合には児童・生徒が複数で 1 台の PC を操作することになる。しかし、作業する人と傍観する人たちに分かれてしまい [5]、効果的、効率的な学習機会を提供しているとは言い難い。

このような問題は、パーソナル・コンピュータ（以降では PC と略す）と呼ばれる、GUI による作業空間が個人に特化したユーザインタフェースしか提供されていないためと考えられる。そこで本研究では、ソーシャライズド・コンピュータ（以降では SC と略す）と呼ぶ、これまで PC にあった個人と多人数の間にあった壁を取り除き、個人作業と協調作業を人数を意識せずに使用できるコンピュータの概念を提案し、その実現と普及を目指している。本研究はまた、協調作業の中でも多くの実践がなされていて教育の情報化も進んでいる協調学習に焦点をあてる。SC は、複数人が同時に操作入力ができ、それらの操作は適切に重ねあわさってひとつの画面として表示する環境を提供する。したがって、学習者たちが共同で絵を完成させるといった教育現場では頻繁に行われている協調学習の過程を SC 上で実現できる。また、学習者の作業を教授者が傍らで補助することや、学習者に操作方法を学習者の見ている環境上で実演することなど、教授者と学習者の間での協調作業も可能となる。

本稿では、協調学習に適した SC という観点から、協調学習を概観した後に SC の概念を説明する。さらに、SC をもとにした教授ツール、ペイントツール、クイズシステムをそれぞれ紹介する。

2. 協調学習

協調学習とは、同じもしくは異なるレベルの知識や経験をもった複数人がひとつの目標に向かって協調作業し、それぞれが新しい知識を獲得する過程を指す。従来の学習論では、学習とは、個人の知識の蓄積であると考えられており、教授者の頭の中の知識を、学習者の頭の中に伝達することが学習であり教育であると考えられていた。しかし、1990 年代初頭より認知科学において主張され始めた状況的学習論 [3] では、知識を頭の中だけではなく他者や道具との関係で注目し学習を人々の実践や談話や活動、いわゆる学習共同体そのものに参加していくことであると捉えるようになった。このように、学習者が活動に参加してその文脈の中で新しい知識を獲得しながら成長する営みを学習とする新しい学習観もと、協調学習が注目されるようになった。協調学習は個別学習に比べて以下のような 4 つの効果が期待されている。

- 他者の存在による学習者の動機付け：他の学習者の存在を意識した上での反発的・同調的、あるいは競争心のような内部状態から学習が動機付けられる。
- 学習形態の多様化：他の学習者とのコミュニケーションの中で発生するさまざまな学習形態の実現可能性がある。個別学習環境における学習範囲が、自らの自学能力や与えられた学習環境に依存するのに対して、協調学習環境は他者の持つ知識や学習方法を利用する事ができる。
- 社会的相互作用（役割分担や位置づけ）に関する学習：集団の中で個々の役割分担・位置づけについて実践を通して獲得できる。
- 理解状況の外化（教え合うこと）による知識の洗練化：自己の内部の理解状況を他者への説明の際に外化させることによって、それがフィードバックされ内部の理解状況が強化される。

このような効果が協調学習にはあるため、学習者の共同体への参加と、他の学習者との相互作用をコンピュータが支援することは学習において効果的であると考えられている。

3. ソーシャライズド・コンピュータ

利用者が意識して使うコンピュータとしては、PC を指すことが多い。PC の原型である PARC の Alto は、個人の創造的な活動や知的作業を支援する目的で開発された [2]。Alto は、マウスやキーボードなどの入力デバイスを利用して情報を編纂して結果をグラフィカルに表示できた。現在でも PC は Alto の設計思想を引き継ぎ、個人作業を想定した環境を提供している。

PCでは個人の知的作業と複数人の協調を暗黙的に分離していたが、CSCW (Computer Supported Cooperative Work) や CSCL (Computer Supported Cooperative Learning) の普及に見られるように、複数人が関与する知的作業から個人的な作業を分離することは難しい。CSCW や CSCL のシステムでは、情報が存在する空間の共有に重きをおき、作業は個人を基本としていることが多い。したがって、遠隔地との協調作業は仕方ないとしても物理空間を共有する利用者間であっても異なるコンピュータを利用することになる。

一方、本研究で提案する SC は、複数人の協調を基本とした知的作業のための空間を提供するコンピュータという概念である。すなわち、作業空間に対し、これまでの物理空間を共有する複数人が手作業で行っていた協調作業をできるだけ違和感なくコンピュータ上で実現しようとするものである。ここでソーシャライズドとは、協調作業空間としての社会化を表して、個人的な作業空間としてのパーソナルに対応する語として位置づけている。

CSCW では、CS にあたるグループウェアを時間と空間の 2 つの観点で分類する。時間的な観点では、同期すなわちリアルタイムであるか (同期型)、非同期すなわち蓄積した情報をリアルタイムでなく取り出すか (非同期型) の 2 グループに分けられる。また、空間の観点では、対面であるか (対面型)、遠隔または分散であるか (遠隔分散型) の 2 グループに分けられる。SC をグループウェアの中で捉えるならば、SC は同期型/対面型を強く意識していることになる。ただし前述のとおり、グループウェアが情報共有を志向するのに対し、SC は空間共有の結果としての情報共有を目指す点で異なっている。

ひとつのディスプレイに対して複数の入力機器を持つグループウェア、Single Display Groupware (SDG) が Stewart らによって提案されている [4]。SDG は、同期型/対面型の協調作業を対象にして作業の委譲や参入も視野に入れた概念である。SC は、システム設計において SDG のひとつと言える。実際、筆者らは教育現場の要求に応える方法として SDG に注目している。ただし、SC は購入や維持、利用法が特殊な環境を個別に構築するのではない。PC という概念を見直し、どのコンピュータもが協調作業の場になり得るという視点から協調作業を初めから想定したコンピュータとして SC を提案する。

4. ソーシャライズド・コンピュータの実現

現在広く利用されている Windows や Mac OS のようなウィンドウシステムは、同時に一人の利用者が操作することを想定した実装になっている。したがって、例えばマウスを PC に単純に複数繋いだとしても画面上に表示されるマウスカーソルはひとつであって、このマウスカーソルを複数のマウスデバイスが競合して操作を取り合うことになる。また、ウィンドウシステムがデバイスを判別してクリックなどのイベントを認識できない。この問題を解決するには次に述べる 3 種類の類型がある。

システム再実装型 ウィンドウシステムが入力デバイスを個別に認識できるように既存のシステムを改造するか新規に開発する。ウィンドウシステムを改造する場合の多くは、システム上のアプリケーションの改造しなければならない。

アプリケーション実装型 例えばマウスであれば、個々のマウスを識別できるようにドライバを書き、そのドライバを利用できるアプリケーションで擬似的にマウスカーソルを複数表示して対応するマウスの操作内容を反映させる。アプリケーションの改造または新規開発が求められる。

擬似表示型 例えばマウスであれば、ウィンドウシステムがマウスであると認識するのは 1 つのみであっても、何らかの方法で 2 つ目以降のマウスカーソルのみを表示できてそれを 1 つ目とは別に操作が反映する方法である。2 つ目以降

のクリックの操作を 1 つ目のクリックイベントとしてウィンドウシステムに与えることは可能であるが、あくまでの利用者が一見だけではシステムの制約が見えないだけに過ぎない。

ウィンドウシステム再実装型として、Hutterer らは Groupware Windowing System (GWWS) を提唱し [1]、その実装として X Window System を改造した MPX を公開している*1。MPX は、従来の X Window アプリケーションも利用可能である。アプリケーション実装型として、上田による MMTk Multi-mouse middleware*2 や Tse らによる SDG Toolkit [6] がある。これらは Windows XP 上で動作するアプリケーションを実装するためのライブラリとして提供されている。擬似表示型として、ダミーマウスと呼ぶクライアント・サーバ型のシステムを筆者らは開発した。

5. ソーシャライズド・コンピュータの実装と実験

本章では、筆者らが SC を模索して開発してきたアプリケーションとその評価を述べる。これらのアプリケーションが現在のところマウス操作のみを対象としている。

本章ではまず、擬似表示型による Web ブラウザの操作教授実験を紹介する。次に、アプリケーション実装型として SDG Toolkit を用いたアプリケーションを 2 つ紹介する。ひとつは、マルチマウスペイントツールと呼ぶ複数人が同時にキャンパスに描けるペイントツールであり、描画の協調作業の実験も紹介する。もうひとつは、協調学習の過程の一部として利用を想定したマルチマウスクイズである。

5.1 擬似表示型による操作教授実験

擬似表示型としてダミーマウスと呼ぶシステムを実装した。ダミーマウスは、クライアント側 PC のマウスの移動操作をサーバ側 PC に伝え、サーバ側 PC の画面上でマウスカーソルのように見える絵を移動させられる単純なアプリケーションである。今回の実装では、マウスカーソルを送る側になるクライアントのクリック操作はサーバ側に伝えなかった。したがって、クライアント側のマウスにできることは移動のみであるという、かなり限定した環境を用意した。ネットワークを介してポインティングデバイスを共有するシステムとしては、Virtual Network Computing (VNC) がある。VNC は表示画面も共有できるため利用範囲は広いが、画面情報も伝達するためネットワーク負荷はダミーマウスに比べて大きい。

複数のマウスが表示されるときに、利用者同士がどのように対話しマウスを用いて協調するかを調べるため、ダミーマウスを用いて Firefox の操作法や設定方法を教えるという実験を行った。利用者を教授者と学習者に分け、教授者に移動操作のみができるクライアント側を割り当て、すべての操作が可能なサーバ側に学習者を割り当てた。教授者と学習者の 2 人 1 組として、学部学生と大学院生からなる 3 組を用意した。実験過程はビデオで記録し、実験後にはインタビューおよびアンケートを行った。

実験中のビデオから次のような行動が見られた。

- 会話の中で指示代名詞の使用頻度：例えば、「これをこうしてここにしたらいい」というように会話の大部分が指示代名詞で構成されているものが教授者が学習者に対して動作を教える場合に、「ここはこうしてどうしたらいい?」というように学習者が教授者に質問する場合に頻りに観察さ

*1 <http://wearables.unisa.edu.au/mpx/>

*2 <http://ne.cs.uec.ac.jp/masa-u/mmtk/>

れた。これはインタビューの結果も併せて、マウスカーソルの動きを使い他者に指示を出していることがわかる。

- 指示代名詞を使う際のマウスカーソルの動き：例えば教授者が重要な点を強調したいとき、「ここ！」という声と共にマウスカーソルを重要な点の周囲で円を描くあるいは画面に水平に線を何度も描くといった行動が全ての被験者に対して観察された。マウスカーソルの動きを通して強調や提示などのメッセージを送っている。
- マウスカーソル同士の距離が近くなったときのマウスカーソルの動き：マウスカーソル同士が重なったり近くにいる場合、小刻みにマウスを動かしたり、突然マウスカーソル間の距離をとろうと画面を大きく移動するといった動きが観察された。これは、利用者ごとのマウスカーソルが識別しにくいこと原因で、複数ユーザが画面を共有する際にはユーザの識別をできるようにしなければならない。

これらのことから、マルチマウス環境においてユーザはマウスカーソルの動きを通して言葉を発する代わりに様々なメッセージをおくっているということが分かる。メッセージは、「強調」、「提示」、「例示」、「質問」などに分類できた。インタビューとアンケートの結果からも言葉だけではなくマウスなどの動作からも様々なコミュニケーションが発生していることがわかった。

5.2 マルチマウスペイントツールによる協調作業実験

初等教育の現場では、複数のグループになって1枚の絵を描くというような場面が多くある。しかし従来のPCではこのような実空間での協調作業を支援することは難しい。そこで、複数の利用者が1つの画面上で同時にかつ協調しながら絵を描く支援のため、マルチマウスペイントツールと呼ぶアプリケーションをSDG Toolkitを用いて実現した。マルチマウスペイントツールによって、ひとつの画面を共有することにより利用者間の対話が促進され、教え合いや協力などの様々な利用者間の協調がマルチマウスペイントツールを利用することによって発生することを期待する。

マルチマウスペイントツール小学生を利用者と想定しているため、インタフェースは単純かつ直感的であること、機能も可能な限り現実世界のお絵かきのメタファーに準じたものである必要がある。

マルチマウスペイントツールの表示例を図1に示す。画面下部に、ペイントに用いるペンと消しゴムを配置した。ペンや消しゴムの返す場所が分からなくならないように、ペンと消しゴムの入る箱にラベルを付けてある。

マルチマウスペイントツールを用いた協調作業実験は、複数人の利用者からなるグループで作業できる環境が単独利用者しか作業できない環境に比べ、利用者たちにとどのような効果を及ぼすか比較する。そのため、マルチマウスペイントツールに後述する3種のモードを用意し、各モードごとに特定のテーマに沿った3枚の絵を協力して描かせた。実験後には、利用者に対してアンケートとインタビューを実施した。実験中の様子はビデオ映像で記録し、利用者がどのようにインタラクションを行っているかを観察・分析を行った。

5.2.1 実験モードの説明

アプリケーションに一定のインタフェースの制限を行うことによる利用者間のインタラクションの比較のため、3つの異なるモードを用意した。

単独モード 本モードは、マルチマウスペイントツールを用いて利用者のうち1人だけ絵を描くことができ、他の利用者は周りで見守るか絵を描く人間をマウスを渡すことで交替する。

非制限モード 本モードは、複数人の利用者が同時にかつそれぞれが自由にペンの色を変えるまた消しゴム使い絵を描

くことができる。以降では、

制限モード 本モードは、複数人の利用者が同時にマウスを用いることができる。ただし、現実のクレヨンやペンを用いて絵を描くのと同様に、ある利用者がある色のペンや消しゴムを選択した場合は、他の利用者がそのペンや消しゴムを使用できない。

5.2.2 実験結果と考察

実験に参加した被験者は、小学4年生から6年生の男女計11名で、2人または3人で1グループとして学年が近い被験者をグループの単位とし、4グループを作った。男女が混じったのは1グループのみであり、学年が混じったのは別のグループで1グループであった。実験では、1グループにつき3モードを試すため、順序効果を防ぐように適用するモードの順番をグループごとに変えた。絵のテーマに関しては、あまりにも複雑なものをテーマにすると小学生にとって難しくなり絵を描く動機付けを失ってしまう恐れがある。そのため、小学生にとって理解がしやすいものとして、干支にちなんだネズミや正月をテーマに選択した。また、参考資料としてあらかじめ6枚の干支と正月に関する絵を提示した。また、描きやすさを考慮してマウスの代わりにペンタブレットを使用した。

実験モード別に描きやすい/描きにくい2択で尋ねたアンケートの設定では、制限モード以外のモードは描きやすいと答えた被験者の数が描きにくいを上回った。インタビューによると「制限モードはみんながペンタブレットを持っているのに、使いたいペンが限られているのが使いづらい」とのコメントがあり、入力機器の制限はないが画面の中で使用できる資源に制限があることが描きにくい描きやすいを上回った原因であることが分かった。つぎに、モード中で一番描きやすいもの、一番描きにくいもの、一番協力できたものを尋ねたアンケートの設定の回答を集計したものを図2に示す。単独モードが一番協力できたとの評価を得られたが、アンケートの自由記述欄やインタビューからその原因を読み取ると次のようなことが分かった。単独モードは「1つのペン(タブレット)を渡し合いながら描けた」とのコメントがあり、物理的な資源の受け渡しが一番協力できたという印象を受けた理由であることが分かった。一方で、単独モードは「ペン(タブレット)の順番待たなければいけない」「待っている間は何もできない」といった点に不満があることが分かった。最も描きやすいとの評価を得た非制限モードは、「別々に描ける」ことが一番描きやすいという評価につながった理由であることが分かった。物理空間でのペンの使用法に近いにもかかわらず制限モードが最も使いにくいとされたのは、ペンタブレットのペンと画面上でのペンは物理的な対応がなかったために物理空間と対応しないことによって心理的混乱が生じた可能性がある。

実験中の行動記録から、単独モードと制限モードでは、他者の絵の模倣が観察できた。非制限モードで起きなかったのは、コンピュータ上の資源に制限がないことから、個人の作業に没頭する傾向があるためである。単独モードや制限モードは資源の交換などの際に、他の被験者の絵を見る機会があることから模倣が発生する。一方、制限モードと非制限モードでは妨害が観察できた。作業の妨害は、被験者が偶然か故意に関わらず他の被験者の作業領域に侵入することにより発生した。また、他の被験者の絵を見て否定的な評価をすることがきっかけで発生した。一度作業の妨害が発生すると、協調的な状態にするのが難しく終了まで作業の妨害が続く場合が多く見られた。

実験の結果、使いやすさと協調作業の成功とはトレードオフの関係にある可能性が示唆された。使いやすさは、他者の制限を受けずに作業ができたかに関係が深く、協調作業の成功は、制限されたことによって生まれる余剰の時間がきっかけを生むことから制限の度合いと関係が深い。Stewartらが「利用者間

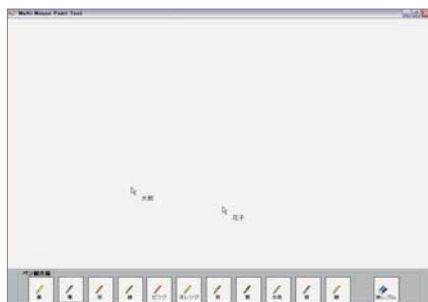


図1 マルチマウスペイントツールの表示例

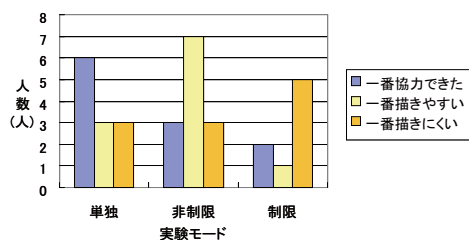


図2 実験モードの描きやすさや協力度合いに対する評価



図3 マルチマウスクイズの設問表示画面

で同時に起こす相容れない行為が競争と不満を起こす」[4]と示唆するように、SCにおいても模倣のような協調的な現象を生みやすくする一方で、「相容れない行為」をきっかけとした妨害に発展することが本実験でも起きた。作業領域の重なりはコンピュータ上だけでなくマウスを動かすための机などの物理的な部分でも現れる。協調的な行動は個人の作業領域が重なり合う領域で起こるため、画面の大きさが黒板と同程度になった場合でも発生すると考えられる。従って、作業領域の重なりは協調的・非協調的の両者の行動のきっかけになりうるため、個人の作業領域の重なりや共有の作業領域をどのように定義・設計するか慎重に考える必要がある。

5.3 マルチマウスクイズ

知的好奇心を生み出す動機づけとなるだけでなく、学習意欲を高め維持することによって学習効果を高めることが可能である協調学習環境が望まれている。そこで、クイズを児童・生徒たちに出題させることで対象になる問題の多面的な知識を獲得するきっかけになると考えた。クイズを作成する知識獲得の過程で協調学習は有効である。また、複数人で同一の問題を解くことによって学習効果が高められると考えている。

そこで初中等教育を対象に、マルチマウスクイズと呼ぶSDG Toolkitを用いたクイズシステムを構築した。マルチマウスクイズの設問表示画面を図3に示す。初期画面で参加者を募り、

それぞれの参加者に色が割り当てられる。設問表示画面では、各参加者が回答欄をクリックして回答を選択したり変更したりできる。一定時間が経つと解答画面で正誤判定と解説が表示される。

6. まとめと今後の予定

本稿では、SCの概念を提案した。SCは、PCに対比されるものであり、SDGの概念の一部とも言える。ただし、すべてのコンピュータが社会的な、すなわち利用者が交流できる場を提供できる能力と実際にその場を提供することを追求しようとする点で異なる。PCにおける従来のウィンドウシステムでは、複数の利用者が同時にひとつの画面を共有できるように設計されていない。実装法としてSDGの関連研究から、システム再実装型、アプリケーション実装型、擬似表示型に類型化した。後者に行くほど制約は多くなるが必ずしもそれが意味のないものではなく、対象によることは本稿のダミーマウスの実験からもわかる。また、マルチマウスペイントツールを用いた実験から、利用者に無制限な独立性を提供することが必ずしも円滑な「社会性」を提供できるとは限らないことがわかった。

今後は、さまざまな協調作業が可能なシステムを実装し、SCの総合的な評価を行う。社会的な活動はコンピュータシステム内で完結するものではなく、活動の一部としてコンピュータが関わることとなる。協調学習におけるマルチマウスクイズの位置づけも同様で、クイズを作成するための学習も含めた学習の設計が必要である。SCではこのようなことを踏まえて、協調学習の支援を中心に研究を進めたい。

参考文献

- [1] Hutterer, P. and Thomas, B. H.: Groupware Support in the Windowing System In 8th Australasian User Interface Conference (AUIC2007), Balarat, Vic, Australia, W. Piekarski and B. Plimmer, Eds., Jan (2007).
- [2] Kay, A. and Goldberg A.: Personal Dynamic Media. IEEE Computer, pp. 31-41, March (1977).
- [3] Lave, J. and Wegner, E.: Situated Learning, Legitimate Peripheral Participation, Cambridge University Press (1991).
- [4] Stewart, J., Bederson, B., and Druin, A.: Single Display Groupware: A model for co-present collaboration, Human Factors in Computing Systems (CHI 99), pp. 286-293, ACM Press (1999).
- [5] Takada, H. and Kita, H.: Creativity Education by Distance Learning Connecting Kyoto University and UCLA Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications, Jul. (2005).
- [6] Tse, E. and Greenberg, S.: Rapidly Prototyping Single Display Groupware through the SDGToolkit, Proc Fifth Australasian User Interface Conference, Volume 28 in the CRPIT Conferences in Research and Practice in Information Technology Series, (Dunedin, NZ January), Australian Computer Society Inc., p101-110, (2004).