

教育における VR 利用のシミュレーション

真 田 克 彦

(2000年10月13日 受理)

Simulation Using Virtual Reality in Education

SANADA Katsuhiko

1. はじめに

近年バーチャルリアリティ (VR: Virtual Reality) の発展は目覚ましいものがあり, 非常に興味をひかれるものがある。VR は, コンピュータの世界として作り出される人工物や人工環境であり, 実物と本質的に等価な代替人工物や人工環境を意味する。

コンピュータは思考のための道具であると言われるが, VR はまさに創造のための道具であるといえる。人間の頭の中にしかない世界を具現化し, 思考が実体化するわけである。自分のアイデアを文字や絵で表すことに加えて, バーチャルリアリティとして表現する時代もそう遠くはないと思われる。^[5]

特に医療関係の VR 利用には目を見張らされるものがある。例えばバーチャル手術などは既に実用化の域に入っているようであるが, これは医療教育にも利用され成果をあげているようである。教育関係には, まだこれに匹敵するような VR の利用は見あたらない。本論文では, 教育において VR を利用したシミュレーションを行うことが有効であることについて論じた。

第2章では, バーチャルリアリティについて, 説明すると共に, シミュレーションの VR 化について述べた。第3章では, バーチャルスペースの概要と, バーチャルコミュニティの形成について述べた。第4章では, バーチャルスペースにおける協調作業・協調学習の有効性について述べた。第5章では, マイクロワールドの概要と教材シミュレーションの可能性について述べた。

2. バーチャルリアリティ (VR: Virtual Reality) とは

最近, 様々な場面でバーチャルという言葉を見たり聞いたりすることがある。例えば, 「バーチャルバッティングスタジアム」という施設を見る機会があった。バッティングスタジアムは, 野球の打撃の練習をさせる娯楽施設であり, 機械がボールを投げてきて客がそれをバットで打つ仕組

みになっている。機械とボールは実物であるが、機械の前にスクリーンを設置し実際のピッチャーが投球をする映像を映し出し、あたかもピッチャーが投球したボールが飛んでくるように見せている。これがバーチャルである。実際にはピッチャーは居ないが、居るのと同じかそれに近い効果をあげるのがバーチャルリアリティである。これはかなり素朴な VR ではあるが、更に発展させるとすると、コンピュータにより 3 次元空間を構築しその中で 3 次元映像のピッチャーが投球することにより現実感が増してくる。そしてボールもバーチャルにすることも可能である。この場合、ボールがバットに当たったときの感触と音に現実感を持たせるのが難しく、現在の研究課題である。さらに 3 次元空間を野球場にし、野球場の中で打撃をしているような現実感を創ることもできる。

バーチャルリアリティとは、実物と本質的に等価な代替人工物や人工環境を意味する。バーチャルリアリティは人工物や人工環境をコンピュータの世界として作り出すことを可能にする。

「バーチャル」という言葉は、日本語ではしばしば「仮想」、「虚構」あるいは「擬似」と訳されているが、これは上述の意味とは相容れないものである。バーチャルの意味は「みかけや形は原物そのものではないが、本質的あるいは効果としては現実であり原物であること」であり、これはそのままバーチャルリアリティの定義を与えている。

最近のインターネットの普及とともに「バーチャルカンパニー」という言葉が使われるようになってきているが、それを「仮想会社」と訳してしまうと、困ったことになる。バーチャルカンパニーは、いわゆる見かけ上は従来の会社の体裁はなしていないが、ネットワークで結ばれて、従来の会社と同じ機能を有するものであるから、取り引きしたりその会社を利用することができるのである。

そのため VR は、日本語に訳さずにバーチャルリアリティとそのままカタカナで表記することが推奨されている。VR の日本語訳として最も近い用語は人工現実感だとされている。^[5]

2.1 VR 技術

バーチャルリアリティの技術は、次の 3 要素の全部または一部を満足している必要がある。^[6]

① Presence (存在のリアリティ)

空間の中に自分が存在していることを確信できること。

② Interaction (対話性のリアリティ)

現実世界と同様に、眼前に存在する物体に接触することができ、頭部を動かすと網膜像も、それと共に変化する。

③ Autonomy (自律性のリアリティ)

現実世界と同様に、観察者のあるなしにかかわらず自律的に存在し続けるということである。

例えば、テレビゲームなどでは、② Interaction の要素が強い。しかしシミュレーションゲームでは、ある種のシナリオに拘束された物語の展開があるわけで、③ Autonomy の要素も必要となる。しかし、① Presence の要素は少なく、3 要素のすべてが満足されるわけではない。

2.2 VR 環境

次の3要素すべてを兼ね備えたものが理想的なバーチャルリアリティ環境と考えられる。^[6]

①三次元の空間性

コンピュータが生成した、立体的な聴覚空間が人間の周りに広がることである。

②実時間の相互作用性

人間がそのなかで、環境との実時間の相互作用をしながら自由に行動できる。

③自己投射性

自分とコンピュータの生成した環境とが深さや方向においても矛盾無くシームレスにつながって、自分が環境に入りこんだ状態を実現する。

2.3 VR システム

バーチャルリアリティの世界を生成するためには、2.1および2.2で示した要素を人工的に合成してやるシステムが必要である。

現在のシステムの標準構成を図-1に示す。システムは3つの部分に大別できる。^{[6],[13]}

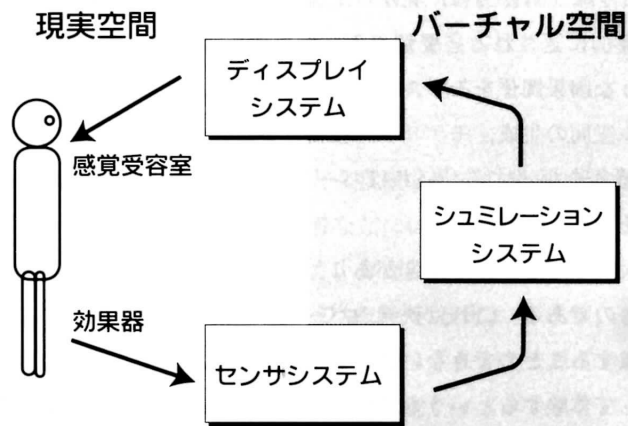


図-1 VR システム

(1) ディスプレイシステム

高度なディスプレイシステムであり、眼前に現実が展開していると錯覚させるほどの高い臨場感で情報を提示するための仕掛けである。人間の感覚には、視覚、聴覚、触覚等があるが、これらの感覚器に、現実にある刺激と同様かそれに近い物理的的刺激を与える必要がある。ある水準以上の品質を有して、現実に近い刺激を与えることができれば、**Presence（存在のリアリティ）**が得られることになる。特に、視覚ディスプレイは重要であり、人間にとって自然な三次元空間を構成して

提示する必要がある。すなわち「**三次元の空間性**」が満たされる必要がある。さらに、聴覚ディスプレイ、触覚ディスプレイ、力覚ディスプレイ、平衡感覚ディスプレイ、歩行感覚ディスプレイなどが開発されている。

(2) センサシステム

ディスプレイがシステムから人間に対する情報の流れに関連するのに対して、センサは人間からシステムへの情報の流れを制御する部分である。人間がある環境の中で自由な行動をするためには、人間の状態を実時間にシステムが正確に捉えて、反応する必要がある。すなわち「**実時間の相互作用性**」が満たされる必要がある。このように人間の各種状態を測定、把握するのがセンサシステムの役割である。また、その精度が高いほど、バーチャル空間と人間の境界が無くなって、その世界に没入することができることになる。すなわち「**自己投射性**」が満たされる。このように人間が現実空間と同じように、バーチャル空間の中で自由に振る舞えるのが、Interaction（対話性のリアリティ）である。具体的には、3次元空間内の人間の位置を計測するシステム、データグローブや3次元マウスなどによる入力システム、生体信号による入力システムなどがある。

(3) シミュレーションシステム

人間が環境に何らかの操作を与えた場合に、センサシステムがその状態を正確に把握して知らせてくる。それに対してシステムからは、見かけ上現実世界と同じ振る舞い（または、システムが決めた振る舞い）が自律的に返される必要がある。すなわち Autonomy（自律性のリアリティ）が満たされる。そのような因果関係をモデル化したものがシミュレーションシステムである。具体的には対象のバーチャル空間の生成、モデリング技術、シミュレーション技術、物体の操作技術、通信技術など、多くの機能を担当する。いわばバーチャル空間そのものであり、バーチャルリアリティシステムの中核をなすものである。

このシステムには大別して2つの考え方があり、第一は、シミュレーションをすべてコンピュータ上で行ってしまうものである。これは狭義のバーチャルリアリティを指す。第二は、人間の感覚器の限界によって認識することのできない世界をコンピュータの中に電子的手段で取り込み、バーチャルリアリティとして体験するというものである。例えば、ネットワークを介して自分自身を遠隔の地に瞬時に運び、そこであたかも存在するような臨場感を持って行動する技術である。これをテレプレゼンスあるいはトレイグジスタンスという。

2.4 シミュレーションのVR化

シミュレーションには2種類ある。1つは「シミュレータ」のような、例えば航空機などの訓練用に使われてきたものがある。もう1つは、「コンピュータ・シミュレーション」という分野である。^[5]

「シミュレータ」とは、航空機の操縦席であり、その窓の外の景色は、あたかも実際に航空機を操縦しているように変化して見える。それにより航空機の操縦を訓練することができるのであるが、

以前はその操縦席は本物であったが、1980年代にはその操縦席までもバーチャルにした。

■ そうすれば“これから作ろうとする飛行機”の操縦訓練などもできるようになる。すなわち、こういう操縦席だと人間は誤りを起こしやすいとか、設計中の操縦席や装置で人間が様々な状況に対応できるかとかを、全部試してみることができるから。そういうことができるシミュレータを、「スーパーコックピット」という名前で呼び研究されてきた。

■ もう1つの「コンピュータ・シミュレーション」という分野は、たとえば飛行機や船の設計に際して、昔は実際に模型をつくり、それを風の流れや水の流れの中に置いていわゆる模型実験を行っていたのを、コンピュータでの実験に置き換えたものである。船や飛行機の形も風や水の流れも数式化してモデルをつくり、スーパーコンピュータで計算することによって、模型実験に比べて非常に精密に、かつ様々な条件で試すことができるようになった。

■ シミュレーションと類似の概念として**モデル**という用語がある。シミュレーションとモデルとの違いは、あまりはっきりしない。システムを動かしたり統一している原理を用いたり、原理そのものを新しく推定して作るのがモデルである。ところがシミュレーションは、このような統一原理を考慮せず、1つのシステム、たとえば船や飛行機の形をコンピュータのプログラムで表現し、風や水の流れも数式化してモデルをつくり、条件をいろいろ変えて実験する。またある工場の生産工程などと各ユニットの関係をコンピュータプログラムで表現し、部分的に適当な法則を用い、1つの生産工程全部の流れを模擬的に表現し、インプットに量を当てはめてその動作を実現し、実際のデータと適合するかどうかを確かめるというようなものである。したがってシミュレーションの基礎となる数学的理論というものは存在しない。

■ 以前はコンピュータによる実験により、どんどん数値は出てくるが、それが何を意味しているのが直感的にわかり難かった。非専門家の関係者などにはほとんどわからず、そういう人たちの意見を反映することもできないという問題があった。専門家にとっても、もう少しわかりやすく見たいという希望があり、そこで**ビジュアライゼーション（可視化）**、つまり、コンピュータで計算したことを実際の絵のように目に見える形にして表すという手法が生まれてきた。そのビジュアライゼーションという手法を突き詰めた究極の方法が、三次元ディスプレイでバーチャルな模型をつくり、実験結果などもそのバーチャルな模型の変化として示すというやり方である。

■ ビジュアライゼーションによって、コンピュータでやっていることが非常にわかりやすく、多くの人に直感的に理解できるようになった。するとそのコンピュータの出した結果を見て新しいことを発想するというような、人間の創造性を刺激するということがわかってきている。そのため今では、スーパーコンピュータとビジュアライゼーションが、様々な分野で用いられるようになっている。ビジュアライズするのは、模型のような物理的なものとは限らない。例えば、コンピュータの中で起きている抽象的な論理的演算のプロセス（過程）を立体的に映像化し、その論理プロセスのどこでどういう事象が生じているかを映し出すというようなこともできる。そしてプロセスの構成をこう変えたらどうかというような、そのVR空間に働きかけて結果を見ることもできる。さらに

抽象的な、人間の思考過程や数学的な世界なども具象化して可視化することも可能である。シミュレーションのVR化は、シミュレーションと同時にコンピュータ自体の応用可能性も大きく拡大した。

2.5 VR技術の医療への応用

例えば、バーチャルリアリティの医療分野への応用では、次のような目覚ましい進展が見られる。^{[17],[18]}

仮想内視鏡システム・・・必要な情報はすべてCTやMRIの断層画像から得られる。それらを3次元画像に構成し、内視鏡をインサクションしたときに食道や胃などの内腔がどのように見えるかを合成することができる。

人体のモデリング・・・人体内部のデジタルデータの充実により、人体の内部の表示が可能となり、各臓器や筋肉だけとか骨だけなどの表示が可能となった。

バーチャル手術と医療教育・・・患部のCTやMRIの断層画像から3D映像に復元し、バーチャル手術を行い、実際の手術の予備知識を得る。これはまた医療教育にもそのまま応用できる。

ネットワーク医療・・・遠隔地にいる医師が、通信衛星のバーチャルの映像を見ながらデータグローブで手術をすると、それに従ってロボットが患者を手術する。

3 バーチャルコミュニティの形成

3.1 バーチャルスペース

バーチャルリアリティが普及して来るに従って、バーチャルスペースにおけるコミュニケーションが問題になってくる。ここでは、先ず現実空間と電脳空間を対比して考えてみる。^[4]

現実空間 (real space) においては、対面コミュニケーションによって、言語による会話だけでなく、表情や視線、身振り手振り、場所の雰囲気などのさまざまな要素を活用してコミュニケーションを行うことができる。しかし遠隔地では簡単にはできないなど、時間や場所を自由に選ぶことが難しい。

電脳空間 (cyber space) とは、人間のバーチャルな活動の場としてコンピュータ上に構築された3次元空間のことであり、コンピュータ、ネットワーク、空間の3つの要素から構成される。インターネット上に構築された電脳空間では、離れた場所にいる複数のユーザ間で、コンピュータの作り出す空間や物体を自由に用いてコミュニケーションをとることができる。しかし対面コミュニケーションのような細やかなコミュニケーションは難しい。

電脳空間における人間の存在を分析すると、次のようである。

・電脳空間のみに生息する人間・・・エージェント、A-Life

- ・現実空間に生息し、電腦空間を体感する人間・・・電腦空間における身体と現実空間における身体という2つの身体をひとつの主体が同時に有する。主体の知覚する世界が電腦空間に移った瞬間に現実世界における身体は主体のない抜け殻となる。

時代の流れは、現実空間と電腦空間を統合する方向に動いており、大きく分けて二つの方向からのアプローチがある。一つは現実空間をベースとするアプローチであり、拡張現実を指向するものである。もう一つは電腦空間をベースとするアプローチであり、拡張電腦を指向する。

拡張現実空間 (AR: augmented reality) は、現実空間をベースとし、現実空間をコンピュータによって拡張するものである。すなわち、モバイルコンピューティング (mobile computing) という形態で日常の中で急速に普及している。さらに最近の研究では、

ウェアラブルコンピューティング (wearable computing) ・・・・コンピュータを身にまとい
利用する

ユビキタスコンピューティング (ubiquitous computing) ・・・・身の回りのありとあらゆるものが単機能のコンピュータであり、無線通信を用いて互いに有機的に結合され、複雑な機能を果たするようなコンピューティング環境

などがあげられる。

拡張電腦空間 (AV: augmented virtuality) は、電腦空間をベースとし、電腦空間に現実空間のコンテキストを導入する。ユーザは現実空間の状況を踏まえた電腦空間での活動が可能になる。架空の電腦空間を用いて離れた場所にいる人間がコミュニケーションを行う

現実・電腦融合空間 (fusion of real and cyber spaces) は、両者の統合をさらに押し進めた段階のアプローチであり、ユーザはすべてのアプローチの利便性を享受できるようになる。現実空間と同じ電腦空間を構築することで、つまり、現実空間の制約を電腦空間に押しつけることによって、中間的な快適な空間ができる

複合現実空間 (MR: mixed reality) は、現実とバーチャルをさまざまなレベルで統合するアプローチの全体である。

バーチャルスペース (virtual space) は、電腦空間と複合現実のアプローチの両者を含み、現実空間に対峙する概念である。

3.2 組織のバーチャル化と生活のバーチャル化

コミュニケーションが、紙による郵便から電子文書による、距離や時間に左右されないコンピュータネットワークを用いたコミュニケーションに移行することによって、これまでの定常的で階層的な組織から動的で臨機応変に変化する水平的な組織へと、組織自体もバーチャル化されていくようになってきている。

バーチャルコミュニティ (virtual community) では、人間社会で地域や血縁あるいは興味や関心と同じであることにより互いに結びつけられたコミュニティがあるのと同じように、共通の意識をもつ個人の集団がコンピュータネットワークを用いて互いにコミュニケーションする。したがって、個人や協力者と連携するためのコミュニティやテレワーキングなど個人生活に与える影響についての十分な考察が必要である。

電子行政システムでは、事務処理が効率化できるだけでなく、市民にとっても時間や場所と無関係にワンストップサービスが受けられるという利便性の向上が重要である。

医療分野における情報流通ネットワークでは、カルテの電子化や医療情報の共有システムなど病院内、病院間、遠隔医療相談などのサービスを統合的に提供する必要がある。

バーチャルユニバーシティ／バーチャルクラスルームの構想が進められている。学校そのものをバーチャル空間に実現しようとする試みである。これは近年のインターネット技術の急速な発展に伴い、現実的な構想と認識され実現化の動きが活発になっている。

3.3 3次元バーチャルスペース内のコミュニティ形成過程とコミュニケーションメディアの利用推移

[11] では、3次元バーチャルスペースシステム InterSpace を開発し、インターネット上で公開実験を行った。そして公開実験のログデータの分析を行い、バーチャルスペース内のコミュニティ形成過程とコミュニケーションメディアの利用形態の変化を調査している。また、バーチャルスペースにおけるエージェントインタフェースの有用性について考えている。

3次元サイバースペースとは、アバタと呼ばれるユーザの分身を3次元のバーチャルスペース内に登場させ、ポインティングデバイスで操作するとともに、他のユーザが操るアバタと対峙してコミュニケーションを行うシステムである。コミュニケーションメディアとしては、文字、音声、顔映像などを用いることができる。しかし同期的なコミュニケーションではユーザ相互がバーチャルスペースの中で出会えずコミュニティを形成できない「すれ違い」現象が起こっていた。そこで非同期的なコミュニティ形成を支援するために、バーチャルスペース内で使うことのできる掲示板や電子メール機能などの非同期コミュニケーション機能を、犬型エージェントを介して提供した。

これによりユーザは、多様なコミュニケーションメディアを複合的に利用し、コミュニティを形成していくものと考えられる。3次元サイバースペースを利用したコミュニティ形成支援の可能性を採るため、コミュニケーションメディア利用がコミュニティ形成に与える影響について着目し検討している。

分析の結果、成熟したコミュニティが形成された後に新規ユーザの参入が困難となる現象が見られた。また、非同期コミュニケーションやエージェントはコミュニティの維持に効果があることが分かった。さらに、エージェントインタフェースは電子メール読み出し時に有効であることが分

かった。

4 バーチャルスペースにおける協調作業・協調学習

4.1 グループウェア, CSCW

グループウェア (groupware) とは、共通の作業や目的をもった利用者のグループを支援し、共有作業環境へのインタフェースを提供するコンピュータベースのシステムである。^{[7],[8]}

グループウェアが協調作業を支援するシステムを指すのに対して、CSCW (Computer Supported Collaborative Working) は技術的な側面だけではなく、コンピュータ支援 (CS) と協同作業 (CW) の2つの異なる視点を合わせ持った概念である。協同作業に関する組織的、社会的な事柄を包含した上位概念である。

グループウェアの基本機能としては、情報共有空間 (Shared Space) を提供することが必須であり、その空間において、コミュニケーション (Communication) 支援機能、メンバー間の作業調整を行うコーディネーション (Coordination) 支援機能、共有データの管理や保護を行うデータ管理 (Data Management) 支援機能を提供することが求められる。

4.2 グループウェアの分類

(1) 時間・空間軸による分類

時間軸では、

リアルタイム型 (同期型) : ユーザが作業を同時に行うグループウェア

非リアルタイム型 (非同期型) : ユーザがそれぞれ独立した時間に作業を行うグループウェア
空間軸では、

対面型 : ユーザが全員同じ場所で作業を行うグループウェア

分散型 : ユーザが地理的に分散して作業を行うグループウェア

① 同期対面型の例 : 電子会議室 (ルームウェア) がある。

同じ場所に集まった人達の協調作業 (例えば、ディスカッション) をコンピュータによって支援するという試みである。

② 同期分散型の例 : 分散会議システムがある。

CUSeeMe や SCS (Space Collaboration System) もこれに含まれる。

③ 非同期対面型の例 : グループ共有メモリがある。

協調作業の結果を蓄積しておき、同じ場所で他のグループが引き続いて作業を行う場合が考えられる。

④ 非同期分散型の例 : 協同執筆, ワークフロー管理, 議論支援,

組織メモリ (Organizational Memory) 蓄積支援など様々なものがある。

(2) 協調プロセスによる分類

その基となる協調プロセスの階層モデルとして、

- ① コプレゼンス (copresence) : 物理的に離れたユーザが同じ空間、または情報を共有している状態である。
- ② アウェアネス (awareness) : 他のユーザの周囲の状況や行動などを認識して、コミュニケーションを始めるきっかけをつかむ過程である。
- ③ コミュニケーション (communication) : お互いに情報交換を行う過程である。
- ④ コラボレーション (collaboration) : コミュニケーションが成立後、1つのタスクを複数のユーザで遂行する過程である。

②のアウェアネスは、グループウェアでは重要な概念であり、ネットワークでつながれた相手が何をしているのか、何に興味を持っているのか、話しかけてもいいのか、などに気づかせるものである。例えば、遠隔サイトのビデオ映像を流すことにより、いつでもどこでも会話を始めることができるシステムがある。

③のコミュニケーションの支援では、E-mail, NetNewsなどが普及しているが、これらを拡張してアクティブメール、情報フィルタリングシステムなどが構築されている。ここで提案された半構造化メッセージ処理は、グループウェアの要素技術の一つである。

④のコラボレーションの支援では、発想支援など特定のタスクを対象としたシステムが多い。

(3) バーチャルスペースでの協調作業支援システム

現実世界とバーチャル世界とをうまく融合し、協調作業をどのように支援するかが問題となる。ヘッドマウントディスプレイやデータグローブを用いてバーチャルスペース内で行われる協調作業を支援するアプローチがある。

ユーザのアバタを用いて仮想オフィスや仮想コミュニティを形成し、コプレゼンス、アウェアネスの支援によって、協調作業へと進展する前段階を支援するアプローチもある。

拡張現実感 (Augmented Reality) 指向のアプローチもある。これは遠隔地にいる作業相手やオブジェクトを現実空間に重ね合わせて表現し、協調作業を可能とするものである。

(4) 協調活動のシミュレーション環境

グループの協調活動をモデル化し、それを計算機上にシミュレーションして、グループウェアの評価に役立てようとする試みもある。

4.3 遠隔教育・CSCL への応用

近年、グループウェアや CSCW の研究成果は、遠隔教育 (Distance Education) や CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) にも応用され、盛んに研究されている。例えば、テレビ会議などの分散型在席会議システムは遠隔教育にも応用されている。しかし、教師と学習者 (聴衆) という役割が明確に二分化されている点で通常の在席会議とは利用状況が異なる。

CSCW と CSCL を比較すると次のような項目を挙げることができる。^[9]

CSCW (Computer Supported Cooperative Work) では、

- ・問題を副問題に分割し、個人はそのうちのいずれかを担当するような活動形態 (cooperation) が想定される。
- ・個人のプロダクトを統合・合成したものがグループのプロダクトとして生成される。
- ・この環境では、作業の効率化・単純化のために、データ共有の容易性が重要視される。個人の作業環境とグループでの作業環境とでデータが共有できなければ、分業した結果を統合することは困難である。
- ・CSCW においては、共有環境のための利用しやすいインタフェースを提供することに主眼が置かれ、コミュニケーションのための技術そのものに焦点を当てた研究が多い。
- ・分業を想定する CSCW 環境では、個人の作成したプロダクトに複数の人間が手を加え、最終的なプロダクトへと至る場合もある。データ共有に加え、処理の流れを定式化し、そのマネジメントを計算機に行わせることによって業務遂行状態を明確にし、効率化を図ろうとする試みも行われている (ワークフローシステム)

CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) では、

- ・同一の課題について参加者が意見交換、競合、交渉、合意形成等を繰り返し、グループの合意としてのプロダクト生成 (collaboration) が想定される。その過程では、個々の意見の調整、修正などが行われる (coordination)。
- ・最終的なプロダクトに至るまでのプロセスや、他者との相互作用自体の質が重要視される。最終的に問題が解決されたとしても、そこに至るまでのプロセスによって参加者が獲得する知識やスキルが異なるため、より効果的なプロセスを参加者に提供することを目的として設計される。
- ・コンピュータ・ネットワークを介して学習を行うことにより、プロダクトを作り上げるプロセスを全ての学習者が共有することが可能になった。さらにプロセスや学習者同士の相互作用を記録することも可能になり、それらの分析に基づく効果的な支援が期待される。
- ・CSCL においては、Passive support system に加えて、環境において“何が”コミュニケーションされているのかに焦点をあて、人工知能技術を用いて積極的に参加者間の活動をコントロールしようとする試みも行われている。この“積極的な”コントロールを果たすシステムは、active support system あるいは Software - Mediated Collaboration (SMC) system とも呼ばれる。

4.4 学習理論的背景

CSCL は、個別学習との比較における協調学習の優位性に基礎をおく。1990年代に入って盛んに研究が行われた領域であるが、この学習形態自体は新しいものではなく、教育の現場では古くから実践されてきている。本節では、協調学習が重要視されるようになった経緯を根底にある学習理論の変遷に基づいて紹介し、その後、協調学習の有効性を示唆する学習理論をいくつか紹介する。^[9]

(1) CSCL と社会的構成主義

行動主義

学習は外部からの刺激に対する人間の観察可能な行動変容としてとらえられていた。初期のCAI システムは、行動主義的知見に基づき、学習者への入力と出力との因果関係に着目して彼らの行動を望ましい方向へ導こうとしていたと見ることができる。行動主義においては、入力から出力に至る内的な情報処理過程はブラックボックスのまま残されていた。

認知主義

内的な情報処理過程を明らかにしようとした試みである。そこでは、学習を認知構造の変化としてとらえ、認知構造のモデルを仮定してさまざまな研究が行われた。この理論を背景として行われたのがIntelligent Tutoring System (ITS) 研究である。

行動主義から認知主義への変遷は、学習のとらえ方としては大きな変化をもたらしたが、知識に関する認識は変わらなかった。すなわち、知識は絶対的・固定的であり、伝達が可能であった。したがって、教育システム研究は、正しい知識を「どのように伝達するか」という教授方法の解明に主眼が置かれていた。

構成主義

知識を伝達される受動的な学習者としての見方を否定し、主体的で能動的な活動主体としての学習者を主張した。

構成主義が、従来の行動主義、認知主義との最も大きな差異は、知識に対する見方である。知識の正しさや価値は相対的であり、文脈依存であるとされ、伝達過程としての教授よりも獲得過程としての学習が重視された。教師が持つ絶対的に「正しい知識構造」を学習者に伝達するのではなく、学習者が外界に働きかけフィードバックを得ることによって独自の知識構造を構築していくことが、実際に使える知識を獲得するために重要であると指摘された。学習者の主体的活動を重視したこの主張は認知的構成主義と呼ばれ、Lego - Logo や ILE、マイクロワールドなどがこの主張を反映した教育システムであると言える。

社会的構成主義

認知的構成主義に対して、学習の社会的側面を重要視する。これはNeo - Piagetian, Vygotskyan とも呼ばれる。知識に対する見方は認知的構成主義同様であるが、獲得過程における他者の存在を

重視する。学習者の知識や認知的機能は、まず、学習者と外的世界・他者との相互作用の中で達成された後、学習者に内化されることによって獲得されるとする。ここでは、他者とともに行う実世界での問題解決過程が重視され、知識の状況依存性が強調される。この社会的構成主義の立場に基礎を置くのが CSCL である。

(2) 協調学習の有効性を示唆する学習理論

協調学習の有効性を示唆する理論的背景や現象は多岐に渡る。本節では、例として Peer Tutoring を紹介する。^{[9],[14]}

Peer Tutoring

Peer Tutoring は、学習者が相互に助け合い、教えることによって学習する教授体系である。Peer とは、当該領域において専門家でない集団に属するメンバである。教えられる側の学習者には、知識の増加や、個別化された教授を得ることができるなどの利益の他に、仲間とともに学習することによる動機づけも期待される。また、教える側の学習者には、自己の知識を外化することによる知識の強化、理解の深化が期待される。また、ある学習者の抱える問題を題材として Peer Tutoring を行うことは、現実的文脈での問題解決であり、問題点の分析や診断を伴う。これは、Anchored Instruction の一種であると考えられ、上述の外化による学習効果に加えて、他者モニタリング、診断スキルの向上などが期待される。

4.5 講義・教室型の非同期バーチャルクラスルーム

[12] では、バーチャルクラスルームの試作を報告している。ネットワーク及びコンピュータを媒介としたサイバースペースを利用して、仮想コミュニティ形成が比較的容易になってきた。このような CMC (Computer Mediated Communication) の教育・学習分野における利用は、生涯学習、グループ学習、協調学習など多岐に渡り、従来の個人学習の枠組みを超えた学習空間が広がりつつある。バーチャル学習空間において重視すべきは、いつでも、どこでも、だれでも参加できることであり、SCS (Space Collaboradon System) を利用したシステムに代表されるように、実践的な試みも数多く行われている。中でも遠隔講義支援、特に以下に要約される特徴を有するバーチャルクラスルームの研究は注目されており、実用化が期待されている。

- ① 参加者間の協調的な学習環境を有する。
- ② 参加者間のコミュニケーションにより、共有知識 (Social Knowledge) が構成できる
- ③ 協調学習と共に学習者自身のペースに合わせた個人学習環境としても利用できる。
- ④ 講師 (Instructor) は学習機会を与え、学習リソースを提供し、学習者間の協調学習を助長する。

バーチャルクラスルーム内で遠隔講義を受けることができ、その講義に関する学習者間のコミュニケーションにより共有知識を構成していく講義・教室型バーチャルクラスルームに関心がある。

講義・教室型バーチャルクラスルームは、ユーザ（講師および学習者）の参加時間に関する制約から、同期参加型と非同期参加型に大別できる。同期参加型バーチャルクラスルームとしては、ビデオ会議システムを用いたものが多い。一方、いつでも参加可能な非同期参加型バーチャルクラスルームには、講師の教材作成や学習者の個人学習の支援を目的としており、参加者間のコミュニケーションの機会が少ないという課題がある。

このような問題に対するアプローチとして、個人参加によるバーチャルクラスルームの中で、非同期参加者間のコミュニケーションを支援する講義・教室型非同期バーチャルクラスルーム（Asynchronous Virtual Classroom,）の枠組みを提案し、そのプロトタイプについて述べている。コミュニケーション誘発のために、非同期学習者に対する情報通知と、過去のユーザ間のコミュニケーションを共有知識として再利用する枠組みを持たせる提案をしている。

4.6 Peer Agents による知的協調学習環境の提案

[14] では、Peer Agents についての提案を行っている。学習者に協調学習環境を提供することによって期待できる学習効果は、大きく二つに分類することができる。仲間学習者に説明する際に促進されるリフレクションによる知識の定着と（Learning by Teaching）、仲間学習者が問題解決や説明しているのを観察することによる知識の獲得（Learning by Observing）の二つである。Poor Agent と Rich Agent の二つの Peer Agent を組み込むことによって、これら二つの学習効果の向上を目的とした知的協調学習環境を提案している。Poor Agent は人間学習者に Learning by Teaching を促進させることを目標とし、Rich Agent は Learning by Observing を促進させることを目標とする。これら二つの Agent の行動を制御するのが Facilitator Agent である。Facilitator Agent は、協調学習環境における人間学習者の学習者モデルと他者認識モデルを基に、より学習効果が期待できる Peer Agent の戦略を採用する。さらに、採用した行動に対して人間学習者の他者認識能力の向上を目的とした修正を行ない、Peer Agent に行動させる。

5. マイクロワールドと教材のシミュレーション

5.1 教育システムの展開

1950 年代から教育システムの主流を占めていたのは CAI である。CAI は行動主義に基づき、システム主導（Machine initiative）であった。

1970 年代を通して研究が進められたのは、ITS（Intelligent Tutoring System）である。これは CAI の欠点であったシステム主導（Machine initiative）を是正する目的で、知識処理を導入して双方主導（Mixed Initiative）の設計思想で構成されたパラダイムである。

システムの基本設計として、教師の役割を果たすソフトウェアエージェントが学習者を個別指導

するという形態は CAI も ITS も同じである。ITS の方が知識処理を導入した結果、はるかに柔軟に教師の役割を模擬することが出来たという点に違いがあった。

1985 年以降、ILE (Interactive Learning Environment) が急成長し、1960 年ごろに発表されたハイパーテキストの思想を実現した。直接操作 (direct manipulation) によるナビゲーションと、これに伴う学習者主導の実現である。

1990 年頃、教材システムの新しいパラダイムマイクロワールドは、当時の教材システム研究に新しい風を起した。学習者主導 (Learner Initiative) が提唱され、その思想を実現するパラダイムとして ILE (Interactive Learning Environment) が急成長していた時期である。

マイクロワールドは ILE の流れを汲むシステムとして位置付けられているが、画面に構成した物理的小世界に対して直接操作を行い、操作の結果引き起こされる物理的な状態変化をシミュレーションによって画面上に表現しようという、ハイパーテキストの思想を超えた設計思想を含んでいた。したがって、情報科学の立場から見ると、バーチャルリアリティに繋がるものであり、教育的な立場から見ると構成主義に基づいて自然現象を教育的に再現することを可能にするものである。^[10]

協調学習の場をネットワーク上で実現し、支援しようとする試みが前述の CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) と呼ばれる研究領域であり、1990 年以降盛んに研究が行われている。CSCL は、他者とともに行う実世界での問題解決過程が重視され、知識の状況依存性が強調される。すなわち社会的構成主義の立場に基礎を置くのが CSCL である。

5.2 マイクロワールドの特徴

マルチメディアで表現した VR 環境の中の部品を直接操作することによって、それに伴って環境の状態遷移をシミュレーション、アニメーションまたはリンク先へのナビゲーションによって、画面上に表現する。したがって、直接操作型学習環境が構築され、学習者主導という優れた性質が保たれ、CAI や ITS と区別されている。

マイクロワールドは発見支援型教材とも呼ばれ、次のような特徴を持った小世界を VR 環境に創ることができ、それ以前の教材では得られなかった新しい質の学習を実現する可能性を持っていると言われている。^[10]

(1) 2.4 (シミュレーションの VR 化) でも述べたように、通常は目に見えない光、音、力、熱、速度のような自然現象などを目に見えるような VR 環境を創り、シミュレーションを可視化することができる。これは対象を直接操作して、条件を変えたシミュレーションを行いながら、直感的な判断が可能になる。これもマイクロワールドである。

さらに抽象的な数学的概念など、現実世界では見ることはできなかった対象も、AV 化した VR 環境を実現することで、マイクロワールドを創ることができる。これにより抽象的概念の理解の助けになる場合もある。

(2) マイクロワールドでは、対象を直接操作することによって、引き起こされる状態変化を観察す

ることができる。したがって、図-2に示すように、仮説・予想・実験・検証を繰り返す試行錯誤を通して、学習者が主体的に、対象に対する自分のメンタルモデルを正しい方向に再構成することを支援する可能性を持っている。

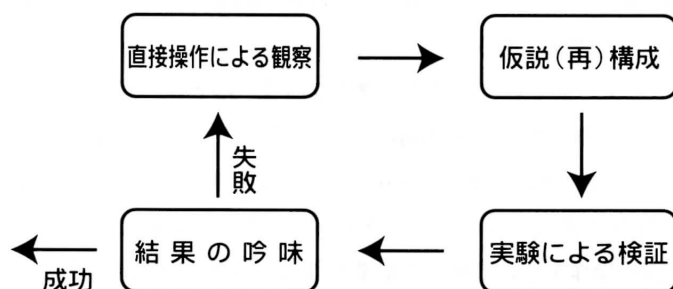


図-2 マイクロワールドの学習サイクル

- (3) 自由に対象を操作し、試行錯誤によって対象世界の振る舞いから法則を見つけ出すという行為は、学習者の興味を高め、主体性を助長し、発見的学習を含む深い理解を支援するという、教育的に非常に好ましい環境を提供することができる。

しかし、このパラダイムを実際に用いた際に問題となるのは、学習者がでたらめに操作ボタンを押した結果、たまたま成功する場合や、試行錯誤の結果、迷路に入り込んでしまった場合に学習者を支援する方略が用意されていないことである。このような場合には学習目的を達成することはできない。これを防ぐには、協調学習における協調学習者であるエージェントが有効である。意見交換しながら実験を進めることが試行の結果を見逃さないで良い方向に導くであろう。^[10]

6. おわりに

バーチャルリアリティの研究は、今後ますます重要になると思われる。教育におけるVR利用は、非常に有効である。教育の問題をコンピュータの中でシミュレーションして、十分に検討した上で実地の教育を行うことは、これまでほとんど人間の勘だけに頼ってきた教育を少しは科学的な方向に向けることができるであろう。

参 考 文 献

- [1] (マルチメディア情報学9), 安西祐一郎他:「情報の創出とデザイン」, 岩波書店, 2000
- [2] (マルチメディア情報学10), 安西祐一郎他:「自己の表現」, 岩波書店, 2000
- [3] (マルチメディア情報学11), 安西祐一郎他:「自己の啓発」, 岩波書店, 2000
- [4] (マルチメディア情報学12), 西尾章二郎他:「相互理解」, 岩波書店, 2000
- [5] 館璋:「ロボットから人間を読み解く」, 日本放送出版協会
- [6] 廣瀬通孝:バーチャルリアリティ, オーム社, 1995
- [7] 岡田謙一:グループウェアはどう進化するのか?, 情報処理, Vol. 39, No. 6, pp. 540-544, 1998
- [8] 緒方広明:グループウェア・CSCW の研究動向, 教育システム情報学会誌, Vol. 15 No. 2 Jul. 1998
- [9] 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 Oct. 1999
- [10] 大槻説乎:マイクロワールドによる学習支援, 教育システム情報学会誌 Vol. 16 No. 4 (冬号)・1999
- [11] 井上雅之, 宇佐美潔忠, 清末悌之, 石橋聡, 長谷雅彦:3次元仮想社会 InterSpace におけるコミュニティ形成過程とコミュニケーションメディア利用推移に関する考察, 情報処理学会論文誌, Vol. 41 No. 10 Oct. 2000
- [12] 松浦健二, 緒方広明, 矢野米雄:講義・教室型の非同期バーチャルクラスルームの試作, 教育システム情報学会誌 Vol. 17 No. 3 (秋号), 2000
- [13] 松原行宏,「VR 技術と教育システム」, 教育システム情報学会誌, vol. 17, No. 1
- [14] 笠井俊信, 岡本敏雄:PeerAgents による知的協調学習環境の提案, 人工知能学会研究会資料, SIG-IES-9801-6
- [15] 月成裕一郎, 松原行宏, 長町三生:協調学習のための VR 知的学習環境の基礎的研究, 人工知能学会, 知的教育システム研究会第17回資料 SIG-IEC-9603
- [16] 広中平祐:数理学事典, 大阪書籍
- [17] 特集「コンピューター支援医療」, bit, vol. 32, No. 6, 2000
- [18] 日高俊明:VR革命, オーム社, 2000
- [19] 真田克彦:デジタルスクール構想, 鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要, vol. 10, 2000