

コミュニケーションツールとしてのCG CG as a communication tool

宮田一乗* 伊藤貴之**
Kazunori MIYATA Takayuki ITOH
miyata@acm.org itot@computer.org

* 北陸先端科学技術大学院大学知識科学教育研究センター

* Center for Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

** 日本アイ・ピー・エム(株) 東京基礎研究所

** IBM Research, Tokyo Research Laboratory

概要

CG技術の進歩とネットワーク速度の高速化にともない、地理的に離れた空間をコンピュータとネットワークで構成される仮想空間内で統合する、テレイマージョン(Tele-Immersion)の研究が現実味を帯びてきた。一方で、大量の画像データの中から意味のあるデータを発掘するビジュアルデータマイニングの研究は、バイオサイエンスや気象学などにおける多元解析のツールとして、今後重要度が増すと考えられる。本論文では、これらの技術動向に加えて、テレイマージョンの環境下で、協調しながらビジュアルデータマイニングを行う手法なども紹介し、コミュニケーションツールとしてのCGのあり方を探る。

Abstract

Tele-Immersion realizes the combination of physically separated worlds in a virtual world created by computers and networks. It is an active research topic due to the reach of CG technology and fast computer network infrastructure. At the same time, visual data mining is focused as analysis tools of bioscience and weather, because it helps the exploration of semantics from enormous number of image data. This paper introduces the trend of such technologies and recent collaborated visual data mining technologies under tele-immersion environments. The paper also discusses about the future of CG technologies as communication tools.

キーワード: テレイマージョン、アウェアネス、コミュニケーション、ビジュアライゼーション、ビジュアルデータマイニング

Keywords: Tele-immersion, Awareness, Communication, Visualization, Visual Data Mining

1. はじめに

コンピュータネットワークの普及により、日々のコミュニケーション形態が、急速に電子化、仮想化されてきた。CG技術の進歩は、このコミュニケーションの仮想化を更に加速させている。将来的には、地理的に離れた空間をコンピュータとネットワークで構成される仮想空間内で統合する、テレイマージョン(Tele-Immersion)技術が確立される

と言える。

一方で、仮想空間において、データ量の指数関数的な増大傾向は否めない。従って、大量データから意味のあるデータを発掘するデータマイニング、特に視覚的なデータマイニング(ビジュアルデータマイニング)が、今後重要度を増すと考えられる。

本論文では、これらの技術動向に加えて、テレ

イメージの環境下で、協調しながらビジュアルデータをマイニングする手法なども紹介し、コミュニケーションツールとしてのCGのあり方を探る。

2. マルチメディアとビジュアルコミュニケーション

人は五感を通じてコミュニケーションを行い、互いの知識や経験などのシェアリングをしている。マルチメディアと総称されている視聴覚情報のデジタル技術の発展に伴い、コミュニケーションの形態は変容しつつある。本章では、ビジュアルコミュニケーションを中心に、コミュニケーションとアウェアネスの関係について述べる。

2.1 コミュニケーションの形態

人のコミュニケーションは、電子機器の発展により、図1に示すようにその形態を変化させてきた。図1(1)、(2)のような対面・リアルタイムでのコミュニケーション形態は、電話の発明により地理的に離れた者どうしの1対1の会話を可能にした(図1(3))。その後、コンピュータとネットワークの発展により、図1(4)に示すような多人数の非対面・非リアルタイムでのグループ作業が可能になった。すなわち、グループウェアや電子メールによる、地理的制約や時間的制約の壁が取り払われたコミュニケーションが実現したことになる。

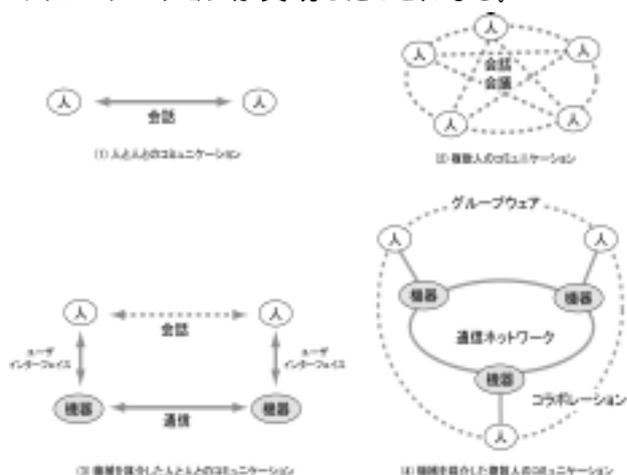


図1 コミュニケーションの形態

しかし、機器を媒介したコミュニケーションには、

従来の対面リアルタイムのコミュニケーションから重要な要素である、アウェアネス情報が欠落している。デジタル化されたコミュニケーションにおいて、喪失したアウェアネスを補完しようとした一例が、図2に示すような電子メールにおける顔文字である。顔文字は、ブレインな文章では伝えきれない書き手の喜怒哀楽や照れなどの感情や、受け取り手の誤解を招かないような自己防衛的な手段として用いられることが多い。最近では、顔文字の発展形として、電子掲示板におけるアスキーアートのように、感情を漫画的な図形として表現することもある。

(*_*) (+_+) (-.-) (-_-) (-_-;) (..)
 (._.) (;_;) (>_<) (@_@) (T_T) (^.^)
 (^0_0^) (^0^) (^^) (^^ゞ (^_^) (^_^)
 (^_^;) (^_^x) (^o^) (^ ^) (^.^)
 (_) (~_~) (~_~;) (~_~x) (~o~)
 (°_°) (°o°) (°o;) (--;) (°-°) (°.^°)
 (°o°) (°))^o^(>^_< ^/^ ^^; ^_^;
 (..)_ m(__)m §^.^§ *(T_T)*

図2 顔文字によるアウェアネスの補完

2.2 テレビ電話とアウェアネス

遠隔地にいる人たちがリアルタイムで映像と音声でコミュニケーションをとるインフラとしては、テレビ電話の歴史が古い。コンピュータの普及により、テレビ電話はその形態を変えて、ISDN回線を用いたテレビ会議システムや、PCとCCDカメラによるインターネットを介した動画チャット、さらには小型CCDカメラ搭載の移動通信端末によるモバイルコミュニケーションへとダウンサイジング、およびカジュアル化してきている。

これらのテレビ電話(とその発展形)のインフラは、どちらかという音声によるコミュニケーションが主で、映像はコミュニケーションの補助として用いられることが多い。ただし、映像は多くを語るの、情報の付加価値は大きく、伝わる感情(好き嫌いの感情など)のダイナミックレンジは拡大される。その一方で、会話に付随するノンバーバルな

情報は、正確に伝えることが出来ない。その一つの例として、視線の不一致が挙げられる。すなわち、カメラとディスプレイを同一の場所に設置することが困難であるために互いの視線が微妙にずれることになり、正確なアイコンタクトを取ることが出来ず、意思の疎通が難しいものになっている。また、空間的な位置関係を感じ取ることが困難であるため、アウェアネスを共有できないことも問題点として挙げられる。例えば、会議に積極的に参加しているのは誰か、審議事項に難色を示しているのは誰かといった情報は、空間を共有していないと伝えることが困難な事柄である。

テレイメーション (Tele-immersion) とは、地理的に離れた空間にいる人々が、あたかも同室にいるかのように自然に対話できるように、コンピュータとネットワークで構成される仮想空間を提供する仕組みである。テレビ電話の枠組みと大きく異なるのは空間を共有するという点にあり、これを可能にしたのが、ネットワークとメディア技術である。なお、テレイメーションは、米国における次世代ネットワークのコンソーシアムであるインターネット2 (<http://www.internet2.edu/>) での重要なアプリケーションのひとつとして考えられている。

テレイメーションの前身となるテレコミュニケーションに関する研究としては、Bellcore の VideoWindow[Video] や、トロント大学の Hydra[Hydra]、NTTの ClearBoard[NTT]などが挙げられる。ClearBoard では、透明なガラス板の上に描画しガラス板を通して会話するメタファーに基づき、視線の一致を伴う2地点の遠隔共同作業を実現した。ClearBoardでは、アイコンタクトが取れるだけでなく、より上位概念のゲイズアウェアネス、すなわち、協同作業面(この場合はハーフミラーのスクリーン)における相手の注視箇所が把握できるようになった。一方、Hydraでは、自分が対話する相手の数だけカメラとモニタを机上に並べ、遠隔地の相手と机を取り囲んでいるような状況を再現し、アウェアネスの補完を試みた。

2.3 ビジュアルコミュニケーションと情報デザイン

人と人とのコミュニケーションにおいて、図3に示すように、互いが伝えようとするメンタルイメージの共通理解が重要である。

情報の発信側は、受信側が発信側のメンタルイメージをよりよく理解できるように、言語情報に加えて、身振りや図などの視覚的な情報を交えながら伝えるビジュアルコミュニケーションの形態を取ることが多い。共通のメディア基盤上での各メディアを媒介したビジュアルコミュニケーションは、高度なデジタルコミュニケーションが可能になった現在では当然のように行われている。

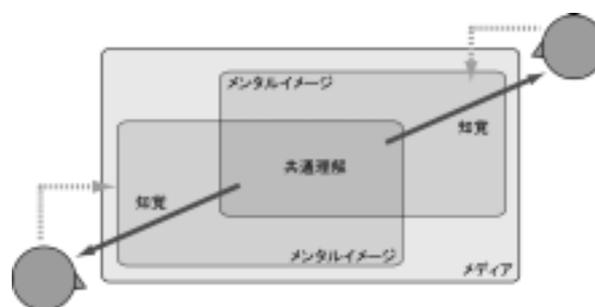


図3 コミュニケーションとメンタルイメージ

ここで重要となるのが、伝えるべき情報をいかにしてメディアに載せるか、という情報デザインの発想である。我々は、膨大な情報デザインに取り囲まれて生活している。TVのリモコンスイッチ、駅や食堂での券売機、地下鉄やバスの路線図、WEBサイトなど、情報の発信側は受け取り側の情報の理解を考慮しながら、伝えるべき情報(コンテンツ)を分析・整理し、情報をデザインしている。メディアを介して、互いの理解をより深めるような情報デザインが、今後一層重要度を増すと考えられる。

3. テレイメーションとメディア技術

テレイメーションを支えるメディア技術の主たるものとしては、バーチャルリアリティ(VR)技術とコンピュータビジョンが挙げられる。

3.1 VR 技術

VR 技術は、CG の父と呼ばれる I. Sutherland が 1968 年に試作したヘッドマウントディスプレイ (HMD) を発端としており、臨場感のある視覚情報の表示法や、触覚や力覚のフィードバックの手法など、人間の五感へ作用するデバイスの開発を中心に研究がなされている。

体験者を取り囲む多面投影による没入型ディスプレイである CAVE が 1991 年にイリノイ大学にて開発された。これは、体験者の周囲に 3m x 3m の平面スクリーンを正面、左右面、床面の 4 面に配置し、ステレオ液晶プロジェクタでそれらの投影面に映像を表示する広視野角の表示システムである。日本では、CAVE はまず 1996 年には東工大に導入された。また、イリノイ大学で開発されシステムを拡張した 5 面投影の CABIN (CAVE に加えて天井に投影)、6 面投影の COSMOS が東大で開発された。HMD や CAVE は、もともとスタンドアロンの VR 空間の表示用デバイスとして利用されてきたが、これらを高速ネットワークで結合し、1つの共有空間を実現しようというのがテレレイマージョンの大きな目標である。(図 4 参照)

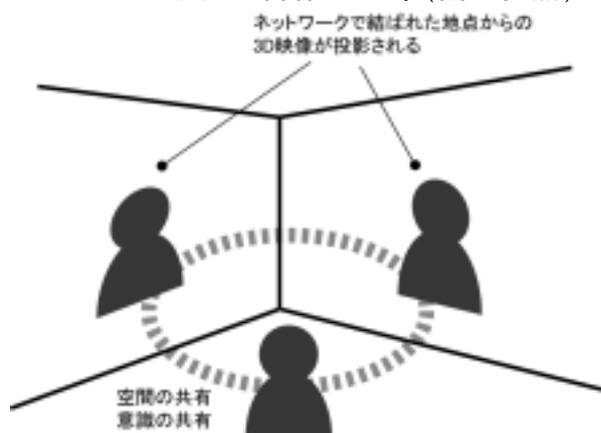


図4 テレイマージョンの概念図

高速ネットワークで結合された仮想空間により、空間の共有、および意識の共有を行い、遠隔地間の自然なコミュニティを実現する。

人間の両眼での水平視野角は 240° ほどであるが、この視野をどれだけ映像でカバーできるかが臨場感の要因となる。HMD や CAVE などは、体験者の眼や身体を物理的に映像空間

で取り囲むことで、視野角の広い映像を表示しているが、一方で、大型のスクリーンを前面に設置し、視野角の広い映像を表示する試みもなされている。

ボストン大学の Scientific Computing and Visualization グループでは、Deep Vision Display Wall (DVDW: <http://scv.bu.edu/Wall/>) と呼ぶ、複数の PC と液晶プロジェクタによる大型高精細ディスプレイを開発している。図 5, 6 で用いられている液晶プロジェクタの解像度は 1024x768 であり、2x2 枚の投影面を持つ場合、DVDW 全体としては 2048x1536 の解像度を持つ。DVDW の 1 つの特長に、スケーラブルな解像度の向上があり、現在では 4x3 枚の投影面で 4096x2304 の解像度を持ち、4.6m x 2.4m の大きさのスクリーンが開発中である。なお、各プロジェクタは 1 台の LINUX PC でドライブされている。



図5 Deep Vision Display Wall

複数の液晶プロジェクタ (2x2) により、大型で高精細な画像を表示できる。
(画面はサメの遊泳の CG アニメーション)



図6 Deep Vision Display Wall の映像投影部
2台の液晶プロジェクタが対になり、Deep Vision Display Wall のスクリーン上における1ブロックの映像を投影する。

ステレオ画像生成の生成には、従来のような高価なグラフィックワークステーションを用いておらず、LINUX PC のクラスタを用いることで廉価なシステムを実現していることも特筆すべきことである。この場合、PC 間の描画のシンクロを取らないとバラバラな画像になってしまう。DVDW では、FrameLock と呼ばれるソフトウェアによるシンクロを取っており、また、PC クラスタ内の分散レンダリングのプラットフォームには、WireGL を用いている。

なお、現時点で世界最大と思われるシステムは、16 スクリーン(中央の 8 スクリーンがステレオ)で構成されており、合計 24 台の PC クラスタにより動作している[Hash]。

3.2 コンピュータビジョン

カーネギー・メロン大学 (Carnegie Mellon University) の金出武雄教授の研究グループでは、1993 年以來、Virtualized Reality と呼ばれるコンピュータビジョンの技術を開発している (http://www.ri.cmu.edu/labs/lab_62.html)。この技術では、スポーツのような時系列で変化する動きのある場面を同時に複数台のカメラで取り囲むように撮影し、撮影されたデジタル映像に「見え方」の情報を付加して、時間的および空間的に自由な位置からの再生を可能にした。これは、複

数のカメラで撮影された画像から、三角測量の原理で 3 次元データを求め、それらのデータをマージして、撮影されたシーンの 3 次元モデルを復元するものである。データのマージングの際には、3 次元空間をボクセル (Voxel: サイコロのような小立方体) に分割し、そのうちのどこに表面があるか(どこが見えているか)を求めている。この技術は、アメリカンフットボールの試合に適用され、タッチダウンの瞬間の多視点からのシーン再現などを可能にした[Kanade]。

図7, 8は、3D Room と呼ばれる CMU 内の施設で、部屋の4面の側面の壁にそれぞれ10台、天井に9台、合計49台の CCD カメラが、図中の丸い穴を通して室内に向けられて設置されている。この施設内で、Virtualized Reality の研究が進められており、ダンスのシーンやバスケットボールを楽しむシーンなどを取り込んで実験を進めている。



図7 Virtualized Reality の 3D Room の壁面

4面の側面の壁にそれぞれ10台、天井に9台、合計49台の CCD カメラが、図中の丸い穴を通して室内に向けられて設置されている。3D Room の大きさは、20 feet x 20 feet x 9 feet。



図8 Virtualized Realityの3D Roomの裏側
壁の裏側に CCD カメラが設置されている。CCD カメラは PC に接続され、リアルタイムで動画を取り込める。また、音も同時に取り込めるようになっている。

ノースカロライナ大学チャペルヒル校 (The University of North Carolina at Chapel Hill) のフックス(Henry Fuchs)教授の研究グループは、多視点カメラと特殊な光 (Imperceptible Structured Light: ISL) の組み合わせで、物体表面の3次元の凹凸形状を計測するシステムを開発した [Fuchs]。このシステムで用いられている ISL とは、人間の眼に知覚出来ない速さで明滅する光 (高速に明滅するので連続した光に見える) である。

3次元形状を計測するには、複数のカメラで撮影された画像間の対応点を求め、カメラからの距離を求める必要がある。物体表面になんらかの目印 (例えばチェッカーパターンや、ゼブラパターンなど) が付いていると、対応点が比較的簡単に求められる。フックスらは、この目印となるパターンを対象物体に ISL で投影し、リアルタイムで距離画像を求めた。ISL は人間の眼に知覚出来ない光の明滅なので、視覚的に非浸襲である。このシステムを用いて部屋の中を測定することで、壁面の凹凸をリアルタイムで計測し、柱やパイプなどの出っ張りがある壁に対しても、歪みのない映像を投影できるようになった。すなわち、部屋の壁全体を大きな平面ディスプレイとして扱うことが出来るのである。

3.3 イメージベースレンダリング

実世界をコンピュータ内に取り込む技術であるイメージベースレンダリング (Image Based Rendering : IBR) やイメージベースライティング

(Image Based Lighting : IBL) の技術を用いて、仮想空間を構築する研究が進められている。

IBR および IBL の研究成果は、Paul Debevec (<http://www.debevec.org>) を中心にした研究グループのものが有名である。Debevec らは、多数の写真を元に撮影時の照明条件を仮想空間内に再構築して、CG 物体のリアルな合成を試みた。また、2002 年の SIGGRAPH においては、仮想空間での照明条件をコンピュータ制御の LED 光源で再現して実世界での照明に用いる、LightStage3 と呼ばれるシステムを発表した [Debevec]。このシステムにより、現状のクロマキー合成にとって変わる、新たな実世界と仮想世界とのシームレスな統合が可能になると考えられる。これらの研究も、テレマージョンを支える技術となる可能性を秘めている。

IBR, IBL では、撮影された風景を光源と仮定して、仮想空間内の CG モデルの照明を行うが、そのためにはダイナミックレンジの広い画像フォーマットが必要である。そこで、HDR image (High-Dynamic Range image) と呼ばれる、各ピクセル値を小数値で表す画像フォーマットが提案されている。

IBL の手法は、最新の RenderMan (CG 映像を生成するためのソフトウェア : RenderMan Release11, <https://renderman.pixar.com/>) に採用されており、また、一部のグラフィックカード上では、リアルタイムに IBR の画像を表現できる。

4. ビジュアリゼーションとビジュアルデータマイニング

“seeing is believing” - 「百聞は一見にしかず」。人の視覚情報による理解力を示すことわざである。コンピュータを用いて大量のデータを画像に変換し (ビジュアリゼーション)、視覚化されたデータから意味のある情報を探り出す (ビジュアルデータマイニング) 技術は、多次元情報からの確に必要情報を抽出し、人間の判断を補助するものとして重要な技術であると考えられる。

4.1 コンピュータによるデータの視覚化

コンピュータによる大量データの高速度処理は可能であるが、人間がそのような膨大なデータを瞬時に的確に理解することは困難である。一方、画像化されたデータに対する人間の理解力は、きわめて高い。例えば、天気図から明日の天気を予想したり、CT 画像から病巣を見つけ出したりすることができる。

コンピュータを用いて、複雑な現象や大量のデータ、目に見えないデータを人間に理解しやすい形に視覚化する技術が、コンピュータ・ビジュアリゼーション(computer visualization)である。コンピュータ・ビジュアリゼーションは、その目的に応じて、以下のような分類ができる[Viz]。

- サイエンティフィック・ビジュアリゼーション：
気象情報や流体解析の結果などの複雑な数値データの可視化など
- エンジニアリング・ビジュアリゼーション：
振動解析や応力解析のような、設計に関わる測定・解析データの可視化など
- メディカル・ビジュアリゼーション：
CT 画像の表示や器官の視覚化のような医療診断のための情報の可視化など
- ビジネス・ビジュアリゼーション：
プレゼンテーション支援を主とした統計結果などの可視化など
- エデュケーション・ビジュアリゼーション：
わかりやすい教材の提供のための可視化など

コンピュータ・ビジュアリゼーションは、対象の時間空間のスケールに依存せず、好きな見方で、対象を壊さずに、高い再現性で繰り返し探ることが可能である。したがって、理想的には、コンピュータ上で理論と実験を対置することが可能になる。

4.2 ビジュアルデータマイニング

大量のデータが与えられたときに、この中から人間にとって意味のある情報を得るためには、単にデータを画像化するだけでは不十分である。人

間データがデータの性質を認識しやすいように画像化する技術や、画像からさらに情報を探索するための技術、またそれらの技術のためには人間・データ・可視化画像間のインタラクションの技術が必要になる。このような技術を兼ね備えた、「一歩進んだビジュアリゼーション」こそが、ビジュアルデータマイニングである。

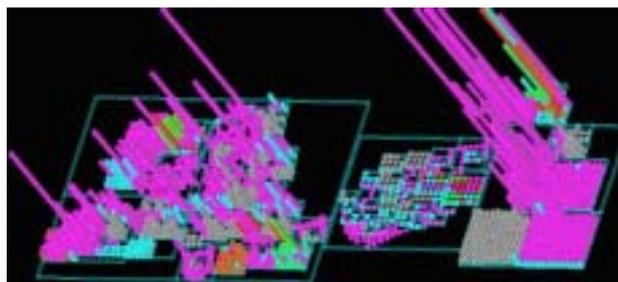


図9 ウェブサイトの全体像を表現した例

個々の棒グラフが個々のウェブページに相当する。アクセス数を棒グラフの高さで表現し、更新日時で棒グラフが色分けされている。

図 9,10 にビジュアルデータマイニングの例を挙げる。これらの例は、ウェブサイトへのアクセス数や更新日時を視覚的に表したものである。このような膨大なデータも視覚化することで、ビジュアルに大局を把握することが可能になり、また、全体での特殊なケースも浮き彫りになってくる。例えば、図 10 の右上にある緑丸は、あるディレクトリ内部の 100 個以上のウェブページが、ある一定時間内(1 時間以内)にすべてアクセスされたことを示している。その後、該当するウェブページ群は、すべてオープンソースの API マニュアルのページであることが判明した。このような熱心な潜在的閲覧者によるアクセスは、従来のアクセス分析ツールによる棒グラフ表示やランキング表示で発見することは困難であるが、視覚的にデータマイニングすることで容易に発見できる[Itoh]。

このように、複雑なデータをビジュアル化することにより、潜在化した情報や大局的な情報を直感的に把握することが可能になる。



図10 ウェブサイトへのアクセス分布の表現例

灰色のドットは、該当する時間帯にアクセスがなかったウェブページを表している。赤色の棒は、該当する時間帯にアクセスがあったウェブページを表しており、その高さがアクセス数を表現している。灰色や赤色のドットを囲む長方形の境界線は、ディレクトリ階層を表わす。

4.3 遠隔コラボレーション

以上で述べたテレマージョン技術とビジュアルデータマイニング技術を有機的に結合することで、有効な遠隔コラボレーションが実現可能になる。すなわち、地理的な制約条件を取り払い、コンピュータの補助による知的で効率的な協同作業の環境が提供できるのである。

遠隔コラボレーションに関しては、既にいくつかの実証実験が進められている。例えば、GM では、車のデザインにあたり、Detroit, Brazil, Germany (Opel)の3拠点を結んで、バーチャルプロトタイプングを行っている。

遠隔コラボレーションを発展させることで、新たな遠隔教育のプラットフォームを提供できるかもしれない。例えば、GeoWall Consortium (www.geowall.org)では、VR技術を教育分野に応用し、地球科学の体験的学習環境の実現を目指している。この環境をネットワークで結合すれば、地球環境に対して全世界で考える「学びの場」を提供できるであろう。

4.4 アウェアネス情報のビジュアル化

アウェアネス情報のビジュアル化の研究例とし

て、スポーツにおける勢力範囲のビジュアリゼーションが挙げられる[Taki]。

サッカーやオリンピックなどのテレビの解説番組において、競技内容を分かりやすく、かつ、面白く見せるための映像表現の手法が工夫されてきている。例えば、サッカーのゴールシーンを3次元CGアニメーションで表現したり、陸上のトラック競技などで現在の映像に過去の選手の映像を重ね合わせて、両者を比較することもデジタル画像処理の技術により可能である。また、3.2 で述べた、Virtualized Reality の技術もその一つである。

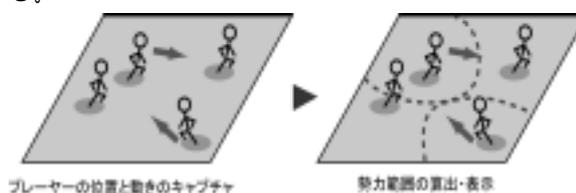


図11 勢力範囲のビジュアリゼーション

一方、目に見える現象の再現・再生の手法だけではなく、サッカーに代表されるチーム競技における戦術や複雑な競技ルールを分かりやすく示すことも重要であると考えられる。

チーム競技では、攻守において「スペース」を奪い合うことが最も基本的で重要な戦術の一つである。すなわち、いかに敵陣内に有利なスペースを築き活用するか、もしくは、いかに自陣内で相手にスペースを築かせないかが、勝利の重要なポイントとなる。このスペースはビジュアルに存在しているものではなく、プレーヤがリアルタイムで肌で感じる「勢い」のウェアネス情報である。瀧らは実際の競技を複数台のカメラで撮影し、その各映像から各選手領域を抽出し、各選手の画像上での位置を実際のグラウンド上での位置に変換して移動速度や加速度情報を用いて優勢領域を算出し、勢力範囲のビジュアリゼーションを試みた(図11参照)。

5. おわりに

テレマージョン技術の発展により、地理的に

バリアフリーな環境が実現できるといえる。すなわち、それは物流以外の物理的な交通量(人の移動量)の削減につながり、安全性や、環境問題、地域格差などの問題を解決する手段の一つになる可能性がある。また、ビジュアルデータマイニングは、可視化技術に様々な「知識」を付加することにより、人間のソフト面でのバリアフリーを実現してくれるかもしれない。画像や映像は言語と違って、世界共通である。テレマージョン技術とビジュアルデータマイニング技術の有機的な結合により、次世代のビジュアルコミュニケーション環境の実現が期待される。

参考文献

[Video] Fish,R. et. al, "The VideoWindow in informal communication," Proc. of ACM CSCW '90, pp.1-11

[Hydra] Sellen,A.J., "Speech Pattern in Video-Mediated Conversations," Proc. ACM CHI'92, pp.49-59

[NTT] Ishii, H., et. al, "Iterative Design of Seamless Collaboration Media," Communications of the ACM (CACM), Vol. 37, No. 8. pp. 83-97.

[Hash] 橋本, 長谷川, 佐藤, Hybrid 型スクリーンを用いたマルチプロジェクションディスプレイ, 第 18 回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp. 27-30, 2002.

[Kanade]

<http://www.ri.cmu.edu/events/sb35/tksuperbowl.html>

[Fuchs] Raskar, R., et.al., "The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays," Computer Graphics Proceedings (SIGGRAPH 98), pp.179-188

[Debevec] Debevec, P., et. al, "A Lighting Reproduction Approach to Live-Action Compositing," ACM TOG (SIGGRAPH2002), Vol.21, No.3, pp.547-556

[Viz] 中嶋、藤代編著, "コンピュータビジュアライゼーション", 共立出版

[Itoh]

<http://www.trl.ibm.com/projects/webvis/index.htm>

[Taki] 瀧、長谷川, "勢力範囲に基づいたチームスポーツ解析", 情報処理学会誌, Vol.42, No.6, pp.582-586