

Nomos: 移動エージェント機構を用いる協調仮想環境の設計

久保裕也

慶應義塾大学 政策・メディア研究科

Nomos システム は、移動エージェントをアバターとして、エージェントが移動可能なサーバを協調仮想環境内の地理的領域として表現する。また、エージェントが利用可能なリソースを、空間内に置かれたオブジェクトや、アバターが持ち運ぶオブジェクトとして表現する。他ユーザが操作する移動エージェントは、自分以外のアバターとして空間内でリアルタイムに表現される。ユーザ＝アバター同士は、テキストによるチャット、持ち物の交換、周囲のオブジェクトへの操作などによって交流が可能である。本稿では、このユーザ＝アバター＝エージェントによる多層的コミュニケーションチャンネルを備えたシステムを、分散・リアルタイム型のグループウェアの新しいモデルとして提案する。

Nomos: A Design of Collaborative Virtual Environments with Mobile-Agent Architecture

HIROYA KUBO

Keio University Graduate School of Media and Governance

This paper describes the Nomos System which represents mobile-agents as an avatars, agent-servers as an environmental spaces, agent usable resources as objects in the world. The other mobile-agents generated by the other person are represented by the other avatars which can communicate with chat, trading and action to surrounding objects. This paper proposes a new model of distributed real-time groupware system which has user-avatar-agent multi layer communication channel.

1. はじめに

1.1 協調仮想環境による移動エージェントのメタファー

移動エージェントのツールキット⁴⁾⁵⁾の多くには、エージェントランチャなどと呼ばれるツールが添付されている。これは、それぞれのエージェントシステムにおける任意のエージェントを、別のエージェントサーバに送り込んだり、その結果を受け取ったりするために使われる。

筆者は、こうしたツールを拡張するものとして、移動エージェントをアバターとし、エージェント実行環境を共有仮想環境として表現する手法を開発中である。エージェントシステムの利用環境を、分散・リアルタイム型のグループウェアとしての拡張することで、ユーザ＝アバター＝エージェント間のコミュニケーション支援を可能とする。また、このエージェントサーバとランチャの関係は、ハイパーリンクで相互に接続された Web サーバと、そのネットワークを閲覧・利用する Web ブラウザの関係に擬して捉えることができる。

1.2 協調仮想環境のグループウェアとしての再検討

筆者は、協調仮想環境¹⁾²⁾と呼ばれるグループウェア分野で、ユーザの化身としてのアバターを用いる手法や、作業環境を仮想的に空間化するメタファーに着目し、その適用範囲を広げることに研究している。

ところで、グループウェアの利用を有益なものとするには、そのグループウェアのユーザを一定の人数以上集めること、すなわちクリティカルマス (critical mass) を確保することが重要となる。しかし、協調仮想環境の研究では、ヘッドマウントディスプレイやデータグローブに象徴されるような特殊デバイスや、広帯域・低遅延の通信環境というような、極めてメディアリッチな基盤が要求されるものが多い。このような場面では、クリティカルマスの問題は度外視されがちである³⁾。メディアリッチな協調仮想環境を設計する際には特に、それを利用した体験の豊かさと、計算機に対する要求の程度との、トレードオフの関係について、慎重な配慮を行うべきである。

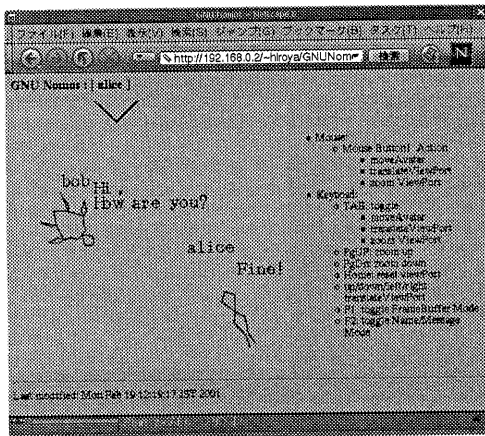


図1 開発中のクライアント画面
Fig.1 Underdeveloping Nomos Client

2. Nomos

2.1 協調仮想環境の構築用ツールキットの開発

本稿により、(1) 協調仮想環境の構築手段とその表現内容として移動エージェント技術を応用すること (2) 協調仮想環境をごく軽量のクライアント上で利用可能とすることという、2つの着想からデザインされたグループウェアのモデル、Nomos^{*}を提案する。著者は現在、このモデルを適用して、WYSIWIS⁶⁾ (What You See Is What I See) アプリケーションを開発するためのツールキットと、そうしたアプリケーションを横断的に利用するブラウザを作成中である。本稿により、Nomosのデザインの抽象的な仕様について示しつつ、ツールキットとして開発者に示された拡張の方向性を説明する。

2.2 メタファー間マッピング

Nomosは、移動エージェントをアバターとして表現し、移動エージェントサーバを協調仮想環境内の地理的領域の一種として表現する。また、エージェントが利用可能なリソースを、空間内に置かれたオブジェクトや、アバターが持ち運ぶオブジェクトとして表現する。他ユーザが操作する移動エージェントは、自分以外のアバターとして空間内でリアルタイムに表現される。ユーザ＝アバター同士は、テキストによるチャット、持ち物の交換、周囲のオブジェクトへの操作などによって交流が可能とする(図1)。

ここでは、ユーザ＝アバター＝エージェントという3つのメタファーが動的にマッピングされた形で用いら

* 「人為」等の意味を表すギリシャ語

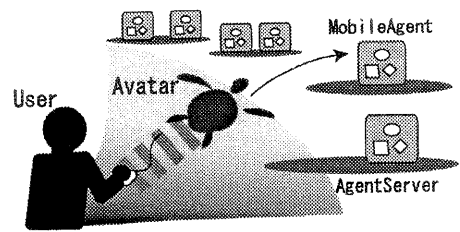


図2 ユーザ＝アバター＝エージェントの関係
Fig.2 User-Avatar-Agent Relations

れる。これにより、システム内におけるコミュニケーションのチャンネルとモードを多層的・多層的に作り出すことができる(図2)。

2.3 Nomosの設計を用いることでの利点

Nomosの設計を用いることで、協調仮想環境の設計において、移動エージェント技術を用いたアプリケーション内のメタファー間の動的マッピング機構が導入される。これにより、クライアントの動作に必要なメモリ等の計算機資源を低く抑ええることができ、また、狭帯域・高遅延・断続的な通信がなされるネットワークにおいてシステムを安定的に運用するための基盤を利用できる。

3. ユーザインターフェイス

3.1 アウェアネス支援

WYSIWISを実現するためには、他のユーザがシステム内に同時で作業を行っていること、その作業内容がどのようなものか等を視覚的に表すことが重要である。こうしたアウェアネス支援を行う基本的な部品として、テレポインタが知られている。これは、他者のマウスポインタの位置を自分の画面上に表示させることで、お互いの編集作業を認識できるようにするためのものである。

一方、協調仮想環境のシステムにおいては、3次元画像技術などでリアルな空間表現がなされた中に、ユーザ自身が入り込んだ状態を模したアバターが利用される。多くのシステムでは、アバターを、視覚的・非言語的なコミュニケーションやエンターテイメントを目的として応用している。こうしたシステムをグループウェアとして利用するならば、アバターは、WYSIWISシステムにおけるテレポインタの発想を進化させたものと理解することができる。そこで、Nomosにおいては、知的生産活動を支援するテレポインタ的なアバターのデザインが模索される。

この一例として、Nomosのブラウザ内・GUIの画面上で、カーソル操作されるマウスカーソルを追い掛ける

て動き回るキャラクターのアニメーションとして、アバター＝テレポインタのデザインを行った。このアバターを用いて、空間内の移動や、他アバターとのテキストによる会話を可能とした。これにより、テレポインタよりはメディアリッチで、アバターよりも軽量のユーザエージェントを実現することができる。

開発者は、Nomos ツールキットによって、こうした例の他にも様々なアバターの姿を表現する実装を追加できる。

3.2 空間内のオブジェクト

アバターの機能として、空間内のオブジェクトに働き掛けたり、自ら新しいオブジェクトを作成する仕組みを持たせることができる。以下にその例を示す。

- 付箋オブジェクト (空間上に添付しておけるタグ)
- 投票オブジェクト (特定のアバターにしか動かせない)
- アンカーオブジェクト (触ると Web ブラウザ上で URL が開かれる)
- グループ化用オブジェクト (KJ 法的用途)
- 重なり・衝突判定オブジェクト (アバターが範囲内に入るとイベントを発生)

このようなオブジェクトが、エージェントサーバ上のリソースに対するインターフェイスや、エージェント自身のインターフェイスとして、利用可能となる。

開発者は、Nomos ツールキットによって、このように様々なオブジェクトの実装を追加できる。このとき、移動エージェントシステムが提供するエージェントやリソースと、Nomos が提供するインタラクティブな操作性を持つオブジェクト群との関連は、サーバ上の実装によって定義される。

3.3 複数の環境の同時・横断的な表示

Nomos では、3次元データやビットマップ画像と比べて処理の軽い、2次元ベクトルデータを利用した画面構成を基本とする点に特色がある。これは、画面サイズや描画機能の制約の大きい環境での利用を可能とするためである。2次元ベクトルデータを利用することにより、表示される情報の自由な縮小表示が可能となり、視野の俯瞰性と詳細性を連続的に切り替えるインターフェイスが実現される。また、このインターフェイスは、複数の空間を移動しながら作業を行う場合の認知性にも優れる。なお、類似の目的について実装・検証した先行研究に⁷⁾がある。

Nomos ツールキットでは、ローエンドの表示デバイスにまで対応したインターフェイスの開発が可能である。

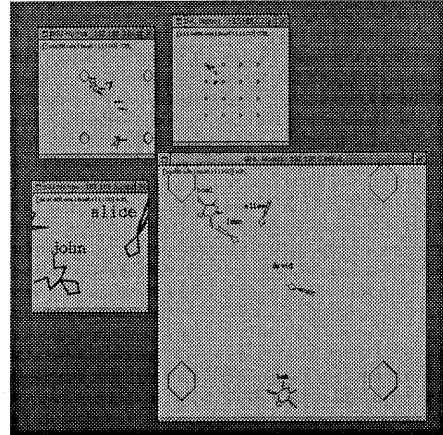


図3 複数の環境の同時・横断的な表示
Fig. 3 Multiple view of Multiple Environments

3.4 空間の構成

Nomos は、仮想空間の中で、ある空間の範囲を表現し、またその空間の範囲を管理をサーバごとに分散処理する単位として、静的に設定された地理的境界を用いている。以下、この範囲をゾーンと呼ぶ。ゾーンは、その空間内のアバターやオブジェクトを保持する器として機能する。仮想空間上の移動により、あるゾーンの境界を越えたアバターやオブジェクトは、エージェントサーバのメモリ上でも別のゾーンへと移動される。ゾーンは、ネットワーク分散的に配置することができるので、仮想空間上の移動が、エージェントサーバ間の移動に対応することもある。このとき、ゾーンを利用して、アバター群を地理的にグループ化することで、Benford⁸⁾らの aura の交わりによるイベント送受信関係の最適化方式を単純化して適用することができる。

一般に、先行研究のシステムがメモリ上で扱う空間の粒度は粗い¹⁾⁹⁾ (それぞれのクライアントがシーン情報の完全なコピーを保持する)。Nomos では、ゾーンを単位として空間を細粒度にキャッシュする機能を備えることで、メモリ制約の大きなデバイス上でクライアントを実行できるようにしている。また、先行研究にの多くは、空間を部屋のメタファーとするなど⁷⁾して、管理権限を分割しており、各部屋ごとに不連続な座標系を用いているのに対し、Nomos では、複数の管理主体によって提供される空間範囲を連続的な座標系の中にマッピングして提示することで、シームレスな視野の移動性・連続性が実現される。

4. 実装の詳細

4.1 動作基盤

現在開発に使用している言語は Sun Microsystems 社の Java2 SDK 1.2.2 である。利用するエージェントシステムは、本研究で独自に開発中のものと、ObjectSpace 社の Voyager3.0¹⁰⁾ とを併用している。このとき、抽象化されたインターフェイスを介することで、将来に異なるエージェント基盤にも対応可能となるよう配慮している¹¹⁾。エージェントやエージェントサーバ上のオブジェクトの永続化は、Java 言語組み込みのシリアライザによって実現されている。また、通信の際のオブジェクトの外部表現形式としても、シリアライザを利用している。これらについては、XML などの言語中立な表現方式への変更を予定している。

4.2 ネットワーク構成

Nomos を構成するネットワークを、図 4 で示す。

まず、クライアントについて述べる。クライアントは、Web ブラウザなどの中で JavaApplet として実装される。通信方式としては、プライベート IP 上からも利用可能なように、クライアント発呼による TCP のソケット通信のみを用いる (RMI callback などの機構は用いない)。この Applet クライアントが直接に通信するサーバをホームサーバと呼ぶ。ホームサーバは複数のクライアントによってローカルに共有される。

次にサーバについて述べる。サーバでは、ユーザ認証、アプレットやエージェントのアーカイブのダウンロードサービスを行うための、JavaServlet が実行可能な Web サーバと、移動エージェントサーバの 2 つのデーモンが起動されている。サーバには、初期設定として近傍のサーバへのリンクが設定される。通信相手のサーバに設定された自分以外へのリンクを検索して、新しいサーバのアドレスを得ることで、リンクを増やすこともできる。エージェントは、このリンクを通じて移動させることができる。こうしたリンクのネットワークによって、Nomos の世界が構成されことになる。この Nomos のサーバはインターネット上で公開されるべきものであるため、グローバル IP を持つホストで運用する必要がある。

以上のようにして構成されたネットワークの上に、位

表 1 実装状況 (開発中の値)
Table 1 Implementation Status

	ソースコード	クラス数	jar サイズ
クライアント部	2256 行	10	28 KB
サーバ部	1308 行	11	21 KB
共用部	7807 行	76	123 KB

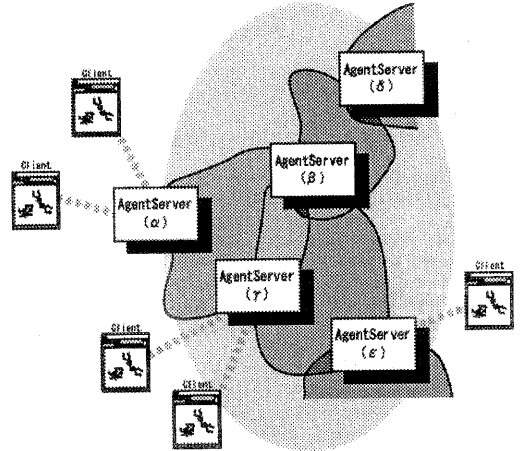


図 4 ネットワーク構成図
Fig. 4 Network Architecture

置透明・移動透明可能なオブジェクトリポジトリサービスのインターフェイスが実現される。クライアントは、自分のホームサーバの仲介によって、各地のサーバに間接的にアクセスし、そのリポジトリ内のオブジェクトを利用することができる。Nomos システムの基幹的部分は、こうしたオブジェクトリポジトリのインターフェイスレイヤ上で動作することになる。

4.3 通信方式

Nomos のエージェント間通信は、非同期で全順序性の保証された通信イベントの列である。クライアント・サーバ間では、以下のようなやりとりがなされる (このとき、実際にイベントの情報を転送する下位層の実装手法は問わない)。

- (1) ユーザは、通常は複数のゾーン (協調仮想環境内の地理的区分) の状況を subscribe しており、そのゾーンの中のオブジェクトを表示用にキャッシュしている。
- (2) ユーザがマウス等の操作を行うことにより、アバタから何らかの行動予定イベントが作成される。このイベントは、アバタが現在所属しているゾーンを管理するサーバに送られる。
- (3) サーバは、各クライアントからのイベントを受けて、処理を行う。このとき、ゾーン上での複数のアバタが互いに矛盾した行動を取ろうとしていた場合には、単純に早い者勝ち方式で競合の調整を行い、実現された行動内容をゾーンごとのイベントキューに積み込む。
- (4) サーバ上のクライアントのスタブは、subscribe しているゾーンのキューに新しいイベントを見つ

- けた場合には、それをクライアントに送信する。
- (5) それぞれのクライアントが、ゾーン内に起こったイベントを受信し、その内容に応じてオブジェクトのキャッシュを更新する。

このほか、クライアントが視点・視野を変更した場合には、新しいゾーンの subscribe, 古いゾーンの unsubscribe のイベントが発生する。また、アバターがゾーンの境界を越えて移動した場合には、アバターの管理権限の委譲に関して、2 相コミットを用いたやり取りがなされ、その変更結果がゾーンの subscriber に通知される。

Nomos ツールキットによって、開発者は、新しいイベントのクラスを定義することができる。ちなみに、イベントの内容は、それぞれの受信主体ごとに解釈され、受信主体にとって未知のイベントは無視されるものとする。

4.4 参照解決機構

表現を、オブジェクトの実体を参照するためのタグとして定義する。また、分散透明・移動透明な参照を実現するためには、代理オブジェクトによって表現をメタ表現する手法が用いられる。

このとき、Nomos におけるアバターやゾーンという表現は、移動エージェントやエージェントサーバを参照するためのものとして説明できる。また、アバターやゾーンという表現を、分散透明・移動透明とするためには、代理オブジェクトを用いることで、アバターやゾーンを表現する必要がある。このとき、アバターやゾーンは、移動エージェントやエージェントサーバに対して 2 度の参照解決によってアドレスされる実体ということになる。

このように、メタ化された参照解決の機構を採用していることには、エージェント間通信における通信の遅延を削減するために、参照元のソフトウェアの複雑性を維持したまま、参照先を自由に移動できるようにする意図がある。これは、たとえば、あるゾーン上でのイベントを処理する機能が、特定のサーバ上で提供される必要は必ずしもないということを提示することで説明できる。あるゾーン上でのイベントを処理する代理オブジェクトを移動エージェントとして実装することで、そのコンポーネントを利用頻度の高いクライアントの近くに移動することができる。また、複数のユーザがゾーンを同時に利用する状況では、それぞれのクライアントとの遅延時間の平均の値が低く、分散の値が小さいノードを探して、代理オブジェクトを移動することができる。

また、サーバへの負荷の集中に応じて、サーバ間のイベント送信をレプリケーションするサービスを動的に起

動する仕組みを提供するために、参照オブジェクトを発展して複数の参照オブジェクトを代表する代表オブジェクトの利用を導入することもできよう。

このように、Nomos では、クライアントが速く離れたホスト上に位置するエージェントサーバと通信する際のパフォーマンスを改善するための、技術的基盤を備えている。Nomos ツールキットによって、開発者は、上に述べたようなエージェントの移動戦略を実装することができる。

5. 今後の課題

5.1 WYSIWIG ツールキットとして

ツールキットの抽象化が不完全であり、現状ではまだクラス構造やインターフェイスが安定化していない。そのため、ツールキットのサンプルとして提供されるクラスのセットについても、質量共に不十分である。開発を継続してこれらを堅牢化・充実させる必要がある。

5.2 エージェントシステムとして

通信を可能とするための、通信環境のモニタリングとエージェント移動に関する方式について、検討を行う必要がある。特に、代理オブジェクトの移動戦略の基本的なセットの開発と評価が求められる。

5.3 利用性の拡充について

クリティカルマス問題への対応として、現在利用中の動作基盤である Voyager から、再配布自由な移動エージェントの実装に切り替えるべきことを予定している。これにより、運用と普及がより自由な形で支援できるようになる。

また、クライアントの実装として、現在の Applet クライアントの表示部分を代替するものとして、Web ブラウザの通常の画面上に、直接的にアバターをオーバーレイ表示するという方式を検討中である。これは、HTTP Proxy によって、HTML を中継する際に HTML 内に JavaScript イベントのトリガを埋め込み、これを用いて CSS(Cascading Style Sheet) や SVG(Scalable Vector Graphics) のノード内容を動的に書き換えることにより、アニメーションを表示するというものである。

また、Palm Pilot もしくは SHARP Zaurus などの携帯情報端末上でクライアントを動作させることを予定している。このとき、GPS を利用して、現実の地理情報を Nomos の仮想的地理空間と対応させることでの、拡張現実システムとしての応用アプリケーションの実現を予定している。

6. おわりに

本稿では、(1) 協調仮想環境の構築手段とその表現内容として移動エージェント技術を応用すること、(2) 協調仮想環境をごく軽量のクライアント上で利用可能とすること、という、2つの着想からデザインされたグループウェアのモデルとして、Nomos を提案した。

一般の開発者がこのデザインを利用するために、本研究では協調仮想環境のツールキットを提供している。このツールキットは、移動エージェント技術を用いたアプリケーション内のメタファー間の動的なマッピングの機構を持つ。この機構の支援により、クライアントの動作に必要なメモリ等の計算機資源の要求は低く押さえられ、また、狭帯域・高遅延・断続的な通信がなされるネットワークにおいてシステムを安定的に運用することができる。

本稿は、Nomos のモデルを適用したアプリケーションを開発するためのツールキットの構成と、その仕組みについて説明した。説明中で、先行研究との比較を適宜行うことで、本システムの設計の合理性について論じた。

参 考 文 献

- 1) Carlsson, Christer, and Hagsand, Olof: DIVE - a Multi-User Virtual Reality System, *Proceedings of VRAIS 1993*, Seattle, Washington, September 1993.
- 2) Greenhalgh, C. and Benford, S.: MASSIVE: A Collaborative Virtual Environment for Telecomputing, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol.2, No.3, pp.239-261, 1995.
- 3) Churchill, E. and Bly, S.: It's all in the words: Supporting work activities with lightweight tools. *Proceedings of GROUP '99*, ACM Press.
- 4) IBM, Agrels, <http://www.tr.ibm.co.jp/aglets/>
- 5) 東芝, Plangent, <http://www2.toshiba.co.jp/plangent/>
- 6) Stefik, M., Foster, G., Bobrow, D. G., Kahn, K., Lannings, S., and Suchman, L.: Beyond the Chalkboard: Computer Support For Collaboration and Problem Solving in Meetings, *Communications of the ACM*, Vol.30, No.1, pp.32-47, 1987.
- 7) Roseman, M. and Greenberg, S.: Team-Rooms: Network Place for Collaboration, *Processing of the ACM 1996 Conference on Computer Supported Collaborative Work(CSCW'96)*, ACM, pp.325-333, 1996.
- 8) Benford, Steve, and Fahlen, Lennart: Aware-

ness, Focus and Aura - A Spatial Model of Interaction in Virtual Worlds, *Proceedings of HCI International '93*, Orlando, Florida, August 1993.

- 9) Hagsand, Olof: Consistency and Concurrency Control in Virtual Worlds, *Proceedings of the 2nd MultiG Workshop, Stockholm*, 1991.
- 10) ObjectSpace, Inc. Voyager
<http://www.objectspace.com/products/voyager/>
- 11) MASIF (Mobile Agent System Interoperability Facility), Object Management Group.
<http://www.fokus.gmd.de/research/cc/ecco/masif/>