

特集 「マルチエージェント技術における新しい可能性」

# モバイルエージェントの応用

—マルチエージェントシステムのためのモビリティの利用—

## Building Multiagent Systems Based on Mobile Agents

新谷 虎松  
Toramatsu Shintani

名古屋工業大学知能情報システム学科  
Dept. of Intelligence and Computer Science, Nagoya Institute of Technology.  
tora@ics.nitech.ac.jp, <http://www-toralab.ics.nitech.ac.jp/~tora/>

大園 忠親  
Tadachika Ozono

(同上)  
ozono@ics.nitech.ac.jp, <http://www-toralab.ics.nitech.ac.jp/~ozono/>

福田 直樹  
Naoki Fukuta

(同上)  
fukuta@ics.nitech.ac.jp, <http://www-toralab.ics.nitech.ac.jp/~fukuta/>

**Keywords:** mobile agent, multiagent system.

### 1. はじめに

インターネットの普及に伴い、マルチエージェントと呼ばれる、主にネットワーク上で自律的かつ協調的に振る舞うことにより人間の活動の支援を行うソフトウェアが注目を集めている。マルチエージェントの実装方式の一つとして、モバイルエージェントに関する研究が行われている (Telescript [White 97], Aglets SDK [Lange 98]など)。モバイルエージェントとは、自律的に、ネットワーク (インターネット, 無線ネットワークなど) 上で、複数の計算機間を移動することが可能なプログラムである。モバイルエージェントが計算機間を移動するためには、実行を一時中断し、計算に必要なデータをほかの計算機に転送し、その実行を中断した時点から再開する必要がある。本論文では、便宜上、計算機間を移動しながら計算を継続する能力をモビリティと呼ぶ。

近年、携帯情報端末や無線を用いたネットワークが注目を集めている。従来のネットワークは、その構成 (トポロジなど) が静的である。すなわち、構成は固定的で変化はまれである。一方、無線を用いたネットワークでは、通信主体の移動などに伴い、その構成が動的に変化する。またインターネットの普及に伴い、通信量も増加している。通信技術の進歩により通信は高速化しているが、それでも従来の通信形態 (クライアント/サーバなど) を用いている限り、慢性的な通信帯域不足が続くだろう。そこで、図1に示すように、新しい分散システムの実装方式として、モバイルエージェントが注目を集めており、また、次世代のネットワーク構築技術への適用も有望視されている。モバイルエージェントは、マルチ

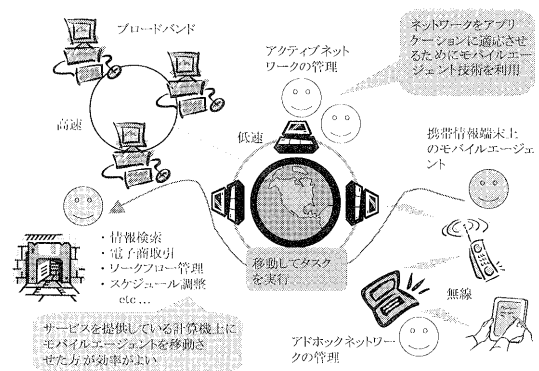


図1 モバイルエージェントの応用

エージェントシステムをネットワークに効果的に適応させるための本質的な技術である。本稿では、マルチエージェントシステムの新たな実装技術という観点から、図1に示したモバイルエージェントの利点とその各種応用の概要を紹介することを主眼とする。モバイルエージェントのその他の詳細な解説は、文献 [本位田 98, 佐藤 99, 田井 99] が参考になる。

以降、2章ではモバイルエージェントの開発に必要なモバイルエージェントフレームワークについて概観する。3章ではモバイルエージェントの利点について概説する。4章ではモバイルエージェントの各種応用について紹介する。5章では現状でのモバイルエージェントの課題について述べる。

### 2. モバイルエージェントフレームワークの概観

モバイルエージェントの実装では、モビリティの実現方法が重要である [Fuggetta 98]。モビリティは、エー

エージェントの移動可能な内部情報に基づき強モビリティと弱モビリティに分類できる。ここでは、モバイルエージェントは、コード領域、データ領域、そして実行状態領域から構成されるとする。コード領域は、エージェントの振舞いを決定するプログラムを格納する。データ領域は、エージェントのもつデータを格納する。実行状態領域は、局所変数やプログラムの呼出し関係を保存するスタックと、プログラムの現在の実行個所を示すプログラムカウンタを格納する。Java 言語などにおけるスレッドは、実行状態領域に格納される。強モビリティでは、これらの領域すべてを移動するが、弱モビリティでは実行状態領域を移動しない。

強モビリティの特徴は、エージェントの移動を含んだプログラムを自然にかつ簡潔に記述可能な点である。一方で、既存のプログラミング言語処理系に適用することが難しく、実行速度を向上させることが難しいという課題がある。弱モビリティの特徴は、プログラムの記述がやや煩雑になるが、機構が単純であるため既存のプログラミング言語処理系上に実現することが容易であり、また実行状態領域を移動しないためエージェントの移動性能の向上、すなわち移動速度の高速化および移動に必要な通信データ量の削減が期待できる点である。

既存のモバイルエージェントフレームワークは以下の四つのカテゴリに分類される。

(a) 独自のエージェント実行環境に基づくフレームワーク 具体的に、Telescript [White 97], D'Agents [Gray 00], Mobidiget [Fujita 99] などがある。これらのフレームワークは、独自のエージェント実行環境を実装している。一般的に、これらのフレームワークでは、強モビリティが実現されている。欠点として、これらのフレームワークは、おのおの、異なるプログラミング言語で実装され、独自のエージェント実行環境をもっているため、実際に実機にインストールして使用するには手間がかかるという点があげられる。

(b) Java VM と弱モビリティに基づくフレームワーク 一般的な Java に基づくモバイルエージェントフレームワークは、このカテゴリに分類される。具体例としては、Aglets SDK [Lange 98], Bee-gent [Kawamura 99], Gossip [Tryllian 99] などがある。これらのモバイルエージェントフレームワークでは、エージェントは Java のクラスとして実装されている。ここでの問題点は、Java VM には、実行状態領域を参照・改変するための API が、性能上やセキュリティ上の理由から用意されていないので、強モビリティの実現が困難であるという点である。そのため、これらのモバイルエージェントフレームワークでは、弱モビリティが実現されている。

(c) 強モビリティと拡張 Java VM 本カテゴリのモバイルエージェントフレームワークでは、Java VM を独自に拡張し、強モビリティを実現している。例えば、NOMADS [Suri 00], MOBA [Shudo 99] などがある。

しかし、Java VM を拡張することによって、オリジナルの Java VM との互換性が失われる。そのため、(a) と同じように、実際に実機にインストールして使用するには手間がかかるという問題がある。

(d) Java によって記述されたエージェント実行環境と強モビリティに基づくフレームワーク 例えば、MiLog [Fukuta 00], Plangent [Ohsuga 97], Jinni [Tarau 99] などは、本カテゴリに分類される。これらのシステムの共通点は、エージェントの実行環境として論理型言語を Java 上に実装し、その実行環境に基づくエージェントを移動させる点である。Plangent は、プランに基づくモバイルエージェントフレームワークである。Plangent と MiLog の相違点は、エージェントが移動するタイミングである。MiLog では、特別なマイグレーション機構により、エージェントは、任意の時間に実行タスクを継続しながら移動することができる。Plangent では、エージェントは、プランニング中は移動せず、プランニングが終了してから移動を行う。Jinni と MiLog の相違点は、モビリティの実装方式である。MiLog のマイグレーションでは、移動後もバックトラックを継続可能であるが、Jinni の live code モビリティと呼ばれるマイグレーション機構では、移動後にはバックトラックは継続できない。

### 3. モバイルエージェントの利点

モバイルエージェントの利点については、[Lange 99] および [Schoder 00] が詳しい。ここでは、モバイルエージェントの利点を簡単にまとめる。

ソフトウェアの保守管理の容易化 計算機には、モバイルエージェントの実行環境だけを事前にインストールすればよく、計算機ごとのソフトウェアのインストールおよびアップグレード作業が不用であるため、保守管理が容易となる。

ソフトウェアの柔軟な運用 計算機の保守や使用環境の変化に合わせて、ソフトウェアを実行させたまま、ほかの計算機上へ移動させることができる。

分散プログラミングの容易化 クライアント/サーバ方式のプログラム設計の場合に必要な通信プロトコルの決定および通信プログラムの記述の必要がないため、プログラミングが容易になる。

通信遅延への対処 エージェントが、通信先との通信遅延が小さい場所へ移動することにより、通信遅延が軽減される。電子商取引のように、通信遅延が結果に大きな影響を与える分野において、効果が期待できる。

通信路の切断への対処 コストや通信路の特性から通信路の切断を余儀なくされる場合がある。このような場合に、エージェントを切断される通信路の向こうに移動させておくことにより、通信路が切断された状態でもエージェントの実行を継続することができる。

[Fuggetta 98] では、モバイルエージェントの利点として、サービスのカスタマイズ、運用における柔軟性向上、耐故障性向上、データ管理の柔軟性向上、プロトコルの内包による通信性能と柔軟性の向上をあげている。モバイルエージェントの応用領域としては、分散情報検索、アクティブドキュメント、遠隔コミュニケーションサービス、遠隔機器制御、ワークフロー管理、アクティブネットワーク、電子商取引をあげている。また、エンターテイメント分野での利用も期待される。

#### 4. モバイルエージェントの応用

##### 4.1 情報検索

遠隔地に存在するデータベースの検索や Web 検索などを行うのに、直接ネットワークを接続するという形態が一般的である。しかし、このような形態は、ネットワーク資源を浪費する。すなわちユーザにとって不要な情報の転送までもネットワーク帯域を消費する。モバイルエージェントを利用すれば、情報源の近くにモバイルエージェントを移動させ、検索・情報の選別を行わせることで、必要な情報だけをネットワークを用いて転送することが可能になる。さらに、ユーザは、検索中にネットワークと接続し続ける必要がなくなるというメリットもある。モバイルエージェントを用いた情報検索の概要に関しては、[Brewington 99] が参考になる。

また今後、ブロードバンドの発達により、局所的なネットワークが十分に高速になっても、大域的な通信速度が飛躍的に向上するわけではない。ネットワーク的に速いホスト間での情報検索は、インターネット上の資源の無駄遣いである。今後、局地的なネットワーク帯域の向上に伴い、モバイルエージェントを利用した検索技術は、本質的に重要な技術となると考えられる。現在は、テキストの検索が主流であるが、マルチメディア検索技術が一般的になるにつれて、モバイルエージェントを利用した検索技術が重要となる。

また情報検索におけるネットワーク資源の有効利用を目的とした、モバイルエージェントの適用だけでなく、情報検索の精度を向上させるためのモバイルエージェントの利用もある。現状では、検索サイトにより情報源とユーザとのマッチメイキング（一方向しかないが）が行われているが、その精度は不十分である。モバイルエージェントにユーザの好みに関する情報をもたせることで、キーワード検索に比べより高い精度の検索が可能になる。多くの情報を用いた情報検索は精度向上という観点で有効ではあるが、その処理時間は長くなる。ネットワーク接続が不安定な環境や通信コストが割高な環境での利用が困難になる。モバイルエージェントを利用することで、ユーザが検索中にネットワーク接続を維持することが不要となるため、接続の不安定さや通信コストの高さなどを心配することなく、より高度な情報検索が可

能になる。例えば、Mobeet [東芝 00] は、モバイルエージェントを利用した情報検索システムであり、ユーザに対して非同期的に情報を収集する能力や、モバイル端末でコンテンツを見やすく表示する機能を提供している。[Kotz 99] では、サービスのカスタマイズの観点から分散情報検索への応用可能性について指摘している。

##### 4.2 アクティブドキュメント

アクティブドキュメントとは、ここではドキュメント自身がコンテンツの内容や表現を自律的に変更可能なドキュメントとする。例えば、PostScript で記述されたドキュメントは、ドキュメント自身がプリンタの能力を考慮し、コンテンツの表現を変更できる。

モバイルエージェントを用いたアクティブドキュメントに関する研究では、ドキュメントをモバイルエージェントとすることで、ドキュメントを扱うユーザに対してドキュメントをカスタマイズするために、ドキュメントの表現形式や内容などを動的に変化可能にする研究 [Konstantas 95] がある。サーバ上でユーザにカスタマイズしたページを動的に生成することに比べて、ユーザに関する情報を少ない遅延でドキュメントに渡せるという特徴により、よりユーザに適したドキュメントを効率的に生成可能である。また、個人情報サーバに送信する必要がないため、プライバシーの保護の観点からも有効である。

複合ドキュメントをモバイルエージェントとして実装することで、ドキュメントを操作するアプリケーションをもたないユーザが、ドキュメントの改変を可能にするシステムなども提案されている [Sato 00b]。

##### 4.3 電子商取引

B2C (Business to Consumer: 企業対消費者) の商取引において、オークションなどのクライアント/サーバ型の電子商取引が盛んである。より柔軟な商取引のための P2P (Peer to Peer: 1対1) 型の電子商取引に関する研究がある。B2B (Business to Business: 企業対企業) においては、要求を単にデータとして渡すのではなく、モバイルエージェントとして渡すことで高い柔軟性を実現できる。

モバイルエージェントを用いることで、分散マーケットプレイスの実現が可能になる。分散マーケットプレイスでは、マーケットプレイスがネットワーク上の複数のサーバに分散しており、買い手はモバイルエージェントを用いてこれらのマーケットプレイス上で商取引を行う。分散マーケットプレイスの形態を取ることで、新しい種類のサービスの追加が容易になり、かつスケラビリティも確保できる。[Schoder 00] では、通信遅延特性の向上という観点から電子商取引への応用にモバイルエージェントが適していることを指摘している。

モバイルエージェントを活用した事例として、電子商

取引支援システム **BiddingBot** [Ito 00]と **MAGNET** [Dasgupta 99] をあげる。 **BiddingBot** では、モバイルエージェントが、希望している商品を実際の複数のオークションサイトから検索し、協調して複数のオークションサイトで入札を行う。ここでは、より安く、かつ、確実に希望する財の入札が成功するように、エージェントが協調して機能する。 **MAGNET** においても、モバイルエージェントを用いて売り手主導型の電子商取引支援を行っているが、モバイルエージェントのフレームワークとして **Aglets SDK** を用いているために、弱モビリティによりエージェントの移動方法が限られている。 **BiddingBot** では、強モビリティを利用することにより、より戦略的な入札支援を実現している。

#### 4.4 グループウェア

モバイル端末を利用したグループウェアの構築にモバイルエージェントを利用する研究 [Tripathi 00] や、モバイルエージェントをワークフローの管理に適用した研究 [Kaiser 99] もある。ほかにも、モバイルエージェントを利用した回覧板システムは、自律的に回覧順序を調整することで、効果的な情報伝達を可能にする [小島 01]。また、スケジューリングシステムの研究 [Sen 95, Tsuruta 00] に関連して、多人数におけるスケジュール調整などにおいて、スケジュールデータを直接やり取りせず、モバイルエージェントにスケジュールデータをもたせてスケジューリングを代行させることにより、プライバシーの保護と、非同期のスケジューリングが可能になる。

モバイルエージェントを用いたコミュニティウェアとして **Gossip** [Tryllian 99] がある。 **Gossip** は、情報検索とコミュニティ形成のためのツールで、モバイルエージェントを用いて実装されている。

#### 4.5 アクティブネットワーク

サービスの多様化とサービスの実現の迅速化が求められている。新しいサービスを実現するための既存のネットワークプロトコルの変更は多くのコストを要する。ネットワークサービスの技術革新は、端末のそれに比較して非常に遅い。このような問題を解決するために、1994～95年にかけて **DARPA** の研究コミュニティにおける次世代ネットワークシステムの議論から、アクティブネットワークというコンセプトが提案された [友部 00]。アクティブネットワークでは、ネットワーク自身が、アプリケーションやネットワークの状況に応じて、ネットワーク上のデータを操作することでネットワーク資源を有効利用する。モバイルエージェントを利用すれば、ネットワークノードへの動的なプログラムの配信が可能になり、状況に応じてネットワークノードのプログラムを交換可能になる。

例えば、文献 [Kon 00] では、 **NASA** の **Mars Pathfinder**

の画像配信のためのネットワークの管理に、モバイルエージェントを利用することで、 **availability**, **configurability**, **scalability** のバランスの取れたネットワークが構築可能であることを報告している。また、 [Willmott 00] では、動画配信のための **QoS** ルーティングへのモバイルエージェントの適用について議論しており、 **QoS** ルーティングへのモバイルエージェントの利用により、状態データを伝播するための資源の節約、ルーティングの決定における反応時間の短縮、そしてシステムの頑健化のような利点が得られると報告している。

#### 4.6 アドホックネットワーク

アドホックネットワークとは、モバイル端末を構成要素とする自律分散型のネットワークである。アドホックネットワークは、1970年代に **ARPA** プロジェクトの一環として研究が開発された [間瀬 01]。

アドホックネットワークでは、ネットワークのトポロジが動的に変化するため、効果的に通信を行うための新たな技術が必要となる。アドホックネットワークのネットワークトポロジの検出に、モバイルエージェントを用いたルーティング情報の伝播を適用することで、ルーティング情報の伝播に必要な通信帯域を節約できたという報告もある [Choudhury 00]。

### 5. モバイルエージェントの課題

#### 5.1 セキュリティ対策

セキュリティ対策は、モバイルエージェント普及のための重要な課題である。モバイルエージェントのためのセキュリティ機構は、数多く提案されているが、実行速度の低下を招くという欠点もある。モバイルエージェントを難読化することでセキュリティを向上させる研究 [岩井 99] や、エージェントの資源へのアクセスなどに対する権限に関する研究 [Jansen 01] などがある。

電子商取引へのモバイルエージェントの適用において、セキュリティは無視できない問題である。特に悪意あるホストからのモバイルエージェントへの攻撃は、大きな問題である。文献 [Karjoth 00] では、悪意あるホストからのモバイルエージェントの攻撃に対して、安価なハードウェアの利用で解決可能な手法を提案している。またネットワークのセキュリティ維持にモバイルエージェントが活用される例もある。例えば、モバイルエージェントを利用した、ネットワークの侵入検知に関する研究 [Asaka 00] がある。 **IDA** [Asaka 00] は、モバイルエージェントを利用して侵入検知と侵入経路の追跡を行う。モバイルエージェントの利用により、分析のためのオーバーヘッドの減少と、通信帯域の節約が可能になる。

#### 5.2 実行効率の改善

既存のソフトウェアでは、ソフトウェアが移動すると

いう点を考慮していないため、ソフトウェア自身が本来必要としない過剰な機能を含んでいたり、あるいは動作速度を高速化するための最適化が施されて実行形式（バイトコード）の大きさが肥大化している場合がある。これらのソフトウェアをそのまま移動させると、移動にかかるオーバーヘッドが移動の利点を相殺してしまう。モバイルエージェントは、従来のソフトウェアとは異なり、必要最低限な機能のみを含み、移動時のオーバーヘッドと実行速度のバランスをとった最適化が施される。また、動的にエージェントを構成する手法 [Sato 00a]、無駄な移動を抑えるための移動スケジューリング手法 [Brewington 99] も提案されている。

### 5.3 新しいサービス

エージェント間の平等な情報交換を実現するために、モバイルエージェントを利用した研究 [Pagnia 00] などがある。本方式は、モバイルエージェントの特徴を有効利用した方式として興味深い。

分散制約解消問題をモバイルエージェント間の交渉プロトコルとすることで、旅行支援アプリケーションを実現した例もある [Merlat 99]。モバイルエージェントを利用することで、顧客の旅行中に予定の変更があっても、顧客とは非同期にモバイルエージェントが、新しいプランの計算や航空券などの予約などを実行できる。さらに、このような柔軟なシステムであるにもかかわらず、高いスケラビリティを実現可能である。

## 6. ま と め

本稿ではモバイルエージェントのフレームワークと応用について概観した。モバイルエージェントは、マルチエージェントシステムをネットワークに適應させるための本質的な技術であり、今後のネットワークの有効利用のためにも必要な技術である。今後は、実装技術だけでなく理論面での議論も必要である。また、モバイルエージェントの必要性と関連して、多くのマルチエージェントシステムの構築においてモバイルエージェントを用いなくても十分に効率的なシステムが実現可能であるという指摘もある。しかしながら、モバイルエージェントを用いることで、より簡潔な表現でマルチエージェントシステムを記述でき、かつ良いパフォーマンスを得ることが可能である。すなわち、モバイルエージェントは、マルチエージェントシステムを構築する際にプログラミングの本質を飛躍的に変化させる技術であり、コンピュータシステムの大きな発展をもたらすものとして期待されている。

### ◇ 参 考 文 献 ◇

[Asaka 00] Asaka, M., et al.: The Use of Mobile Agents in

- Tracing an Intruder in a Local Area Network, in *Proc. of PRI-CAI 2000, LNAI 1886*, pp. 373-382, Springer (2000)
- [Brewington 99] Brewington, B., Gray, R., Moizumi, K., Kotz, D., Cybenko, G., and Rus, D.: Mobile Agents for Distributed Information Retrieval, in Klusch, M. ed., *Intelligent Information Agents*, chapter 15, pp. 355-395, Springer-Verlag (1999)
- [Choudhury 00] Choudhury, R., Bandyopadhyay, S., and Paul, K.: Topology Discovery in ad hoc Wireless Networks Using Mobile Agents, in *Proc. of Second International Workshop, MATA2000, LNCS 1931*, pp. 1-16 (2000)
- [Dasgupta 99] Dasgupta, P., Narasimhan, N., Moser, L., and Smith, P. M.: MAGNET: Mobile Agents for Networked Electronic Trading, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Special Issue on Web Technologies*, Vol. 24, No. 6, pp. 509-525 (1999)
- [Fuggetta 98] Fuggetta, A., Picco, G. P., and Vigna, G.: Understanding Code Mobility, *IEEE Trans. of Software Engineering*, Vol. 24, No. 5, pp. 342-361 (1998)
- [Fujita 99] Fujita, S., Koyama, K., Yamanouchi, T., Jagannathan, S., Kelsey, R., and Philbin, J.: Mobile and Distributed Agents in Mobidget, in *Proceedings of the First International Symposium on Agent Systems and Applications and Third International Symposium on Mobile Agents* (1999)
- [Fukuta 00] Fukuta, N., Ito, T., and Shintani, T.: MiLog: A Mobile Agent Framework for Implementing Intelligent Information Agents with Logic Programming, in *Proc. of the First Pacific Rim International Workshop on Intelligent Information Agents (PRIIA'2000)*, pp. 113-123 (2000)
- [Gray 00] Gray, R. S., Kotz, D., Cybenko, G., and Rus, D.: Mobile Agents: Motivations and State-of-the-Art Systems, in Bradshaw, J. M. ed., *Handbook of Agent Technology*, AAAI/MIT Press (2000)
- [本位田 98] 本位田真一: 動きはじめたモバイルエージェント, 情報処理, Vol. 39, No. 8, pp. 812-815 (1998)
- [Ito 00] Ito, T., Fukuta, N., Shintani, T., and Sycara, K.: Bidding Bot A Multiagent Support System for Cooperative Bidding in Multiple Auctions, in *Proceedings of the Fourth International Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS-2000)*, pp. 399-400 (2000)
- [岩井 99] 岩井, 栗山, 文, 溝口: 耐タンパ・移動エージェントの実現に関する調査報告書, <http://www.isdnet.co.jp/IPA/> (1999)
- [Jansen 01] Jansen, W. A.: A Privilege Management Scheme for Mobile Agent System, in Autonomous Agents Conference, <http://csrc.nist.gov/mobileagents/publication/pp-scheme-final.pdf> (2001)
- [Kaiser 99] Kaiser, G., Stone, A., and Dossick, S.: A Mobile Agent Approach to Lightweight Process Workflows, *Technical Report CU-CS-021-99, Columbia University* (1999)
- [Karjoth 00] Karjoth, G.: Secure Mobile Agent-Based Merchant Brokering in Distributed Marketplaces, in *Proc. of the Second International Symposium on Agent Systems and Applications and Fourth International Symposium on Mobile Agents, ASA/MA 2000, LNCS 1882*, pp. 44-56 (2000)
- [Kawamura 99] Kawamura, T., Yoshioka, N., Hasegawa, T., Ohsuga, A., and Honiden, S.: Bee-gent: Bonding and Encapsulation Enhancement Agent Framework for Development of Distributed Systems, in *Proceedings of the 6th Asia-Pacific Software Engineering Conference* (1999)
- [小島 01] 小島, 福田, 大園, 新谷: モバイルエージェントに基づく研究室情報管理システムについて, 第 62 回情報処理学会全国大会論文集 (2), pp. 33-34 (2001)
- [Kon 00] Kon, F., et al.: Secure Dynamic Reconfiguration of Scalable CORBA Systems, in *Proc. of the Second International Symposium on Agent Systems and Applications and Fourth International Symposium on Mobile Agents, ASA/MA 2000, LNCS 1882*, pp. 86-98 (2000)
- [Konstantas 95] Konstantas, D.: MEDIA — Mobile Electronic Documents with Interacting Agents —, <http://cui.unige.ch/OSG/projects/media/media.html>

- (1995)
- [Kotz 99] Kotz, D. and Gray, R.: Mobile Code: The Future of the Internet, in *Mobile Agents in the Context of Competition and Co-operation (MAC3)* (1999)
- [Lange 98] Lange, D. B. and Oshima, M.: *Programming and Deploying Java Mobile Agents with Aglets*, Addison-Wesley (1998)
- [Lange 99] Lange, D. and Oshima, M.: Seven Good Reasons for Mobile Agents, *Comm. of ACM*, Vol. 42, No. 3, pp. 88-89 (1999)
- [間瀬 01] 間瀬 ほか: アドホックネットワーク, 電子情報通信学会誌, Vol. 84, No. 2, pp. 127-134 (2001)
- [Merlat 99] Merlat, W.: An agent-based multiservice negotiation for eCommerce, *BT Technical Journal*, Vol. 17, No. 4, pp. 168-175 (1999)
- [Ohsuga 97] Ohsuga, A., Nagai, Y., Irie, Y., Hattori, M., and Honiden, S.: PLANGENT: An Approach to Making Mobile Agents Intelligent, *IEEE Internet Computing*, Vol. 1, No. 4, pp. 50-57 (1997)
- [Pagnia 00] Pagnia, H., Vogt, H., Gätner, F., and Wilhelm, U.: Solving Fair Exchange with Mobile Agents, in *Proc. of the Second International Symposium on Agent Systems and Applications and Fourth International Symposium on Mobile Agents, ASA/MA 2000, LNCS 1882*, pp. 57-72 (2000)
- [佐藤 99] 佐藤 一郎: モバイルエージェントの動向, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 4, pp. 598-605 (1999)
- [Sato 00a] Satoh, I.: Mobile Spaces: A Framework for Building Adaptive Distributed Applications using a Hierarchical Mobile Agent System, in *Proc. of IEEE International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2000)*, pp. 161-168 (2000)
- [Sato 00b] Satoh, I.: MobiDoc: A Framework for Building Mobile Compound Documents from Hierarchical Mobile Agents, in *Proc. of the Second International Symposium on Agent Systems and Applications and Fourth International Symposium on Mobile Agents, ASA/MA 2000, LNCS 1882*, pp. 113-125 (2000)
- [Schoder 00] Schoder, D. and Eymann, T.: The Real Challenges of Mobile Agents, *Comm. of ACM*, Vol. 43, No. 6, pp. 111-112 (2000)
- [Sen 95] Sen, S. and Durfee, E. H.: Unsupervised Surrogate Agents and Search Bias Change in Flexible Distributed Scheduling, in *The First International Conference on Multiagent Systems*, pp. 12-14 (1995)
- [Shudo 99] Shudo, K. and Muraoka, Y.: Noncooperative Migration of Execution Context in Java Virtual Machines, in *Proceedings of First Annual Workshop on Java for High-Performance Computing*, pp.49-57 (1999)
- [Suri 00] Suri, N., Bradshaw, J. M., Breedy, M. R., Groth, P. T., Hill, G. A., Jeffers, R., Mitrovich, T. S., Pouliot, B. R., and Smith, D. S.: NOMADS: Toward a Strong and Safe Mobile Agent System, in *Proceedings of the Fourth International Conference on Autonomous Agents (Agents' 2000)*, pp. 163-164 (2000)
- [田井 99] 田井, 山本: 移動エージェント技術の現状と今後の課題, コンピュータソフトウェア, Vol. 16, No. 5, pp. 2-13 (1999)
- [Tarau 99] Tarau, P.: Jinni: Intelligent Mobile Agent Programming at the Intersection of Java and Prolog, in *Proceedings of The Fourth International Conference on The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agents (PAAM-99)* (1999)
- [友部 00] 友部 実: アクティブネットワークと移動コード技術, コンピュータソフトウェア, Vol. 17, No. 3, pp. 278-284 (2000)
- [東芝 00] 東芝研究開発センター ほか: パーソナル検索エージェント Mobeet, <http://mobeet.exrd.nacsis.ac.jp/> (2000)
- [Tripathi 00] Tripathi, A., et al.: Distributed Collaborations Using Network Mobile Agents, in *Proc. of the Second International Symposium on Agent Systems and Applications and Fourth International Symposium on Mobile Agents, ASA/MA 2000, LNCS 1882*, pp. 126-137 (2000)
- [Tryllian 99] Tryllian: Gossip, <http://www.tryllian.com/> (1999)
- [Tsuruta 00] Tsuruta, T. and Shintani, T.: Scheduling Meetings Using Distributed Valued Constraint Satisfaction Algorithm, in *Proceedings of the 14th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI-2000)*, pp.383-387 (2000)
- [White 97] White, J. E.: Mobile Agents, in Bradshaw, J. M., eds., *Software Agents*, chapter 19, pp. 437-472, AAAI Press/The MIT Press (1997)
- [Willmott 00] Willmott, S. and Faltings, B.: Using Adaptation and Organizational Knowledge to Coordinate Mobile Agents, in *Proc. of the Second International Symposium on Agent Systems and Applications and Fourth International Symposium on Mobile Agents, ASA/MA 2000, LNCS 1882*, pp. 138-150 (2000)

2001年5月11日 受理

## 著者紹介

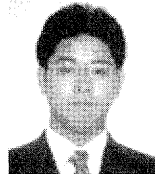
新谷 虎松 (正会員) は, 前掲 (Vol. 16, No. 4, p. 475) 参照.

大園 忠親 (正会員)



1995年名古屋工業大学工学部知能情報システム学科卒業。2000年同大学大学院工学研究科電気情報工学専攻博士後期課程修了。同年より同大学工学部知能情報システム学科助手。現在に至る。博士(工学)。マルチエージェントシステムの研究に従事。AAAI, ACM, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本ソフトウェア科学会各会員。

福田 直樹 (学生会員)



1997年名古屋工業大学工学部知能情報システム学科卒業。1999年同大学大学院博士前期課程修了。現在同大学院工学研究科電気情報工学専攻博士後期課程3年在学中。並行論理プログラミングと知的エージェントに興味をもつ。ACM, 電子情報通信学会, 日本ソフトウェア科学会, 情報処理学会各学生会員。