



# ユビキタス情報処理による社会支援

公立はこだて未来大学／産業技術総合研究所／CREST, JST

中島 秀之

[h.nakashima@fun.ac.jp](mailto:h.nakashima@fun.ac.jp)

産業技術総合研究所／CREST, JST

車谷 浩一

[k.kurumatani@aist.go.jp](mailto:k.kurumatani@aist.go.jp)

産業技術総合研究所／CREST, JST

伊藤 日出男

[hideo.itoh@aist.go.jp](mailto:hideo.itoh@aist.go.jp)

情報処理技術は社会の仕組みを根本から変える能力を持っているが、そのことは一般にはあまり認識されていないように思う。一般的には、現在人間が行っていることの一部をコンピュータに肩代りさせたり、人間がわざわざ出向いていたことをインターネットですませることなどが情報処理の恩恵として受け取られている。これらの現在行われている情報化は、以前の社会の仕組みをそのままに、その一部をコンピュータやネットワークで置き換えたにすぎず、情報処理の可能性を十分に使っているとは言い難い。本稿では情報処理の仕組みを十分に活かした、新しい社会の仕組みそのものを提案する。具体的には、社会に通信インフラやセンサーネットワークが存在するユビキタス情報環境を前提として、生活者や集団・コミュニティを支援する情報処理技術（群ユーザ支援）について述べる。屋内・街角やテーマパークにおける情報支援、協調カーナビ・デマンドバスなどの交通支援、さらには非常時の通信支援などの具体的構想を交えて、必要とされる技術とインフラを概観する。

## ● はじめに ●

情報処理技術は社会の仕組みを根本から変える能力を持っているが、そのことは一般にはあまり認識されていないように思う。一般的には、現在人間が行っていることの一部をコンピュータに肩代りさせたり（たとえば列車や飛行機の座席予約）、人間がわざわざ出向いていたことをインターネットですませること（たとえば買物や情報検索）などが情報処理の恩恵として受け取られている。

しかしながら、これらの現在行われている情報化は、以前の社会の仕組みをそのままに、その一部をコンピュータやネットワークで置き換えたにすぎず、情報処理の可能性を十分に使っているとは言い難い。特にインターネットは検索機能などの一部例外を除けば、情報を無加工で通信することが主となっており、情報を効率的に処理するという段階には達していない。

たとえば住民票をインターネットで申し込んだり配信したりする行政サービスが考案されているが、そもそもなぜ住民票が必要であるかを考えた場合、ネットワークによる認証で十分な場合が多い。すなわち住民票そのものを不要にすることが可能かもしれない。

本稿では情報処理の仕組みを十分に活かした、新しい社会の仕組みそのものを提案する。従来技術では達成できなかった条件を情報処理技術で実現することにより、

高効率かつ安全な社会を構築する可能性があることを示したい。ただし本稿の内容はまだアイデア段階であり、その実現には現状の社会システムとの擦り合わせなど多くの問題があり、社会学者や行政等を巻き込んだ再設計が必要である。つまり、本稿の目的は具体的な社会システムの提案ではなく、そのような方向への可能性の示唆である。

なお、医療分野におけるCT、郵便番号自動読み取り、航空機のフライバイワイヤ等、すでに社会生活に深く入り込んでいる情報処理技術も多く存在する。しかしながら、それらは個々の応用にとどまり社会の仕組みを変えるところまではいっていない。本稿は社会の仕組み（アーキテクチャ）そのものを変える話題に限定する。

## ● 交通制御 ●

最初の話題は交通制御である。交通流をより効率よくすることによりエネルギーや時間資源の節約になり、また公害や事故の抑制効果も期待できる。

## ● 協調カーナビ

大都市部（たとえば東京周辺全域）を走行するすべての車にカーナビが搭載され、それらがネットワークで接続されていたら、車どうしでルートを折衝し交通集中による渋滞が緩和されるかもしれない。個々のカーナビは

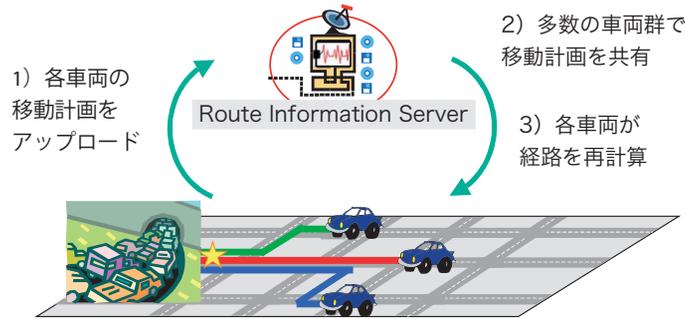


図-1 協調カーナビ<sup>1)</sup>

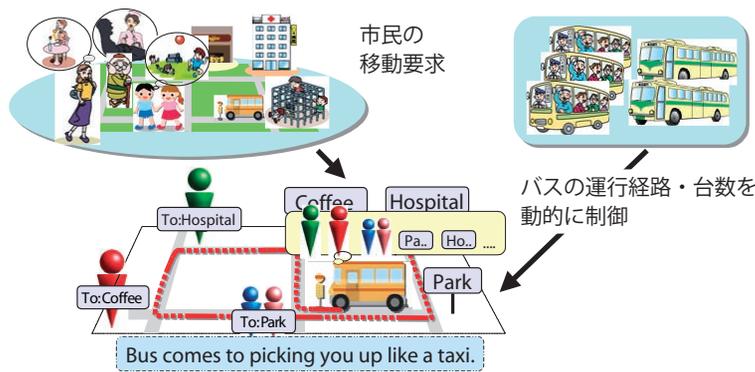


図-2 フルデマンドバス<sup>3)</sup>

GPS等で取得した現在位置と、ユーザが入力した目標位置の情報とを持っている。特定の都市内にある全車の現在位置、目標位置の情報が入手できれば大域的な最適経路を計算することが可能となる。

実際、通信型カーナビでは、サーバにおいてルートの検索を行い、各車両へとルートを示すようなシステムがすでに登場している。つまりこのシステムをさらに大規模化して、全車両対象にルート最適化を図るような「協調カーナビ」を作ればよい<sup>1)</sup>(図-1)。この場合解決すべきいくつかの問題がある。

1. 個々のすべての車両に対して、従来より少しでも効率が良くなる必要がある。「10回走れば8回は必ず効率が良い」でもいいだろう。つまり「協調カーナビを使わないより使った方が、いつも少しでも効率が良い」という状況を作り出す必要がある。
2. ユーザの現在位置・移動経路情報は匿名で扱うことが望ましい。

いずれの問題も解決の方向性は見え始めている。マルチエージェントシミュレーションならびにゲーム理論での解析の結果によると、経路情報の共有と再プランニングだけで、各ドライバーの効率を落とすことなく、社会

システムの効率向上が可能になり始めている。また匿名性は、匿名オークション<sup>2)</sup>が応用できるだろう。

### ● フルデマンドバス

フルデマンドバスとは、路線を固定せず、乗客の要求に応じて呼び出しがあった地点から目的地まで自在に運行する形態のバスサービスのことである(図-2)。固定路線を走っていて呼び出しに応じて回り道をする通常のデマンドバスとは区別する必要がある。

現在このフルデマンドバスが運行されているのは、人口10万人程度の高知県中村市のみであり、一般に大都市でフルデマンドバスの運行は難しいといわれている。しかしながら、マルチエージェントシミュレーションによってフルデマンドバスの可能性を検証してみると<sup>3)</sup>、大都市でフルデマンドバスが実用化できるかもしれない可能性が見え始めている。

具体的には、需要の増大に従ってバスを増便する(バス1台あたりの平均乗客数一定)という方針でバス台数を増やした場合、乗客の平均待ち時間の減少が見られる。最初のうちは固定路線、固定ダイヤ方式の方が有利であるが、デマンドの増大に伴い、次第にフルデマンド方式



の優位性が高くなる（平均待ち時間が減少する）。したがって、ある程度の乗客数が見込める大都市においてこそフルデマンドバス方式が有利であるといえる。

フルデマンドバスはその利便性においてはタクシーに劣るが、料金においてタクシーより安く、固定路線バスよりは高額になるがより良いサービスを提供できるという意味でタクシーとバスの中間に位置するサービスとなる。我々は京都のような観光都市がその規模と性格においてこのフルデマンドバスサービスに適していると考えている。観光客が市内に散在している観光スポットをまわるにはバス路線は不便であり、タクシーは高額である。また観光客の流れは不定形であり、そのデマンドも変動が大きいためバスの固定路線を最適化することが困難である（逆にいうと、ベッドタウンのような、朝夕の通勤交通が主となる都市では固定路線、固定ダイヤのバスが有効である）。

### ● 航空管制

航空機の空中衝突事故の減少や、単位時間に離着陸できる航空機数の増加のためには、管制官の言語誘導を基本とするシステムを置き換える必要がある。航空管制においては航空機関の優先度を考慮して衝突回避をしながら空港まで誘導することが課題である。協調カーナビの場合と同様にマルチエージェントシステム技術を応用した航空機関の折衝が必要となる。

管制業務そのものをコンピュータ化すること（たとえば文献4）まで実現できなくても、言語伝達の部分のみをコンピュータ化することでも、言い間違いや聞き間違いによる事故を減らせる。

### ● 政策討論システム

従来より、社会組織は階層型木構造に構成されることが多い。会社や軍隊組織がその典型であるが、市町村や国のレベルにおいても同様の階層がみられる。三権分立など、若干の変形はみられるものの立法機能も国会を頂点とする木構造になっている。

木構造の利点は、大きな組織であっても各階層が比較的小数の人間から構成できることである。たとえば数万人が参加した議論というのは実施不能であるが数十人なら実りある議論が可能である。

しかしながら情報処理技術を用いれば事情は変わるかもしれない。たとえばインターネット上で適切に設計された議論支援システムを使えば数万人参加の議論が可能になるかもしれない。従来人手のみで行ってきた議論に、情報処理技術を取り入れ、論点整理や要約の作成、議事録の作成と検索などが（半）自動化されれば、多人数で

の議論が効率化される。さらに自動翻訳や、インターネットの距離や時間を越える機能をうまく利用すれば時差問題も克服でき、世界規模での議論も可能になるかもしれない。ただし、ここでも重要なのは現在のかたちの議会をそのまま規模拡大してはならないということである。立法システムそのものを新しい情報処理に合わせて更新していくことが前提である。

### ● 日常時から災害時へのシームレスな情報支援

ユビキタス情報環境が実現すれば、日常時においてさまざまな個人への情報支援が可能になるだろう。コンテキスト・ウェアと呼ばれる人間の置かれた状況やその人の好みに応じた情報サービスが自動的に提供されたり、個人専用のエージェントがその場で利用可能なサービス群を自動的に合成してより適切なサービスを提供することが可能となるようなサービス連携アーキテクチャ<sup>5)</sup>の提案も行われている（図-3）。このようなシステムは従来のインターネットを単に拡張するだけでは実現できず、人間や社会を見守るセンサー群が存在し、個人のプライバシーを守りながらセンサー情報を流通させるネットワークの存在が前提となる。また、人間の作業を単にコンピュータシステムに肩代わりさせるだけでなく、本稿で紹介しているような、多数の人々を連携させるようなサービス（群ユーザ支援、たとえば文献6）を実現することが必要だろう。

また別の視点として、災害や事故などの非常時の情報支援システムの設計の問題がある。非常時の情報支援システムは、非常時専用のシステムとして設計してしまうといざというときに稼働しないおそれがある。充電力が弱っていたり、非常電源では動作しなかったりという平常時に点検しにくいさまざまな要因があり得る。非常システムは平常時から稼働していること、つまり平常時は別目的に使われているものが非常用に転用できることが望ましい。そういった目で、日常時と非常時のデュアルな通信インフラ・ソフトウェアの設計を進める必要がある。

大規模な災害時の救援活動支援と、平常時の救援計画立案や訓練にはマルチエージェントシミュレーションが役立つ<sup>7)</sup>。大規模災害というのはいつくるか分からないし、決してやってこないかもしれない。さまざまな場合を想定し、それに備えるにはシミュレーションがほぼ唯一の手段であろう。そしてこの同じシミュレーションが万一の場合に救援支援となる。火災の延焼や交通混雑を予測し、それに従った救援計画立案を行う。そして実際に得られるデータをフィードバックしながらシミュレーションを継続する仕組みも重要である。

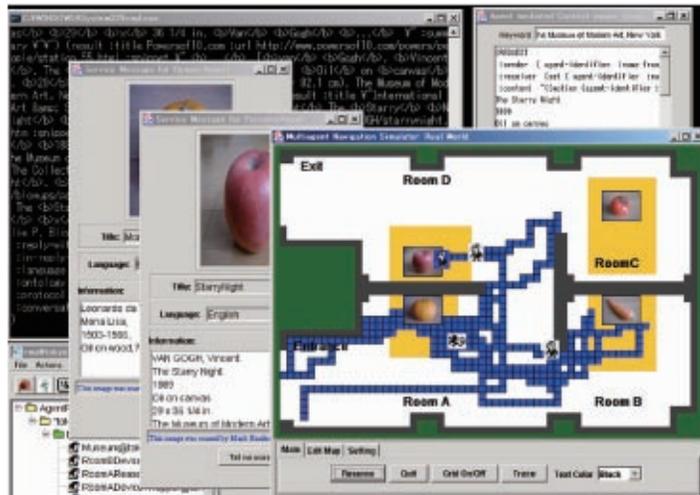


図-3 サービス連携アーキテクチャ CONSORTS のデモ画面<sup>6)</sup>

### ● 必要となる情報インフラストラクチャ ●

ユビキタス情報環境では、社会の中でのユーザ情報の取得・通信環境・センサーネットなどの情報インフラの存在が前提となる<sup>8)</sup>。認識する対象がオブジェクトなのか、環境の情報なのかで、認識方法や認識する情報は異なる。インフラとしては、RFID タグ、無線 LAN、携帯電話などさまざまなものが考えられる。また、センサなどの機器のネットワークの構築が、アドホックか固定的かも重要である。本章では、室内のような近距離閉空間におけるアドホックなセンサネットワークによる情報インフラストラクチャを中心に述べる。

ユビキタスネットワークでは、ネットワークノードが多数配置されることになり、ノードの位置の測定を含む設置のコストは無視できないほどに大きい。施設内部に恒久的に設置する場合は別として、展示会や災害時など一時的なネットワークの構築が必要な場合には、各ノードが自律的にネットワークを構築していくアドホックネットワークの有用性はきわめて高い。

米国 Millennial Net 社の i-Bean は、硬貨大の低消費電力センサノード Endpoint、アドホックネットを構築する Router、そして有線ネットワークとの接続を行う Gateway から構成されるシステムである。通信には 2.4GHz 帯または 916MHz 帯を用い、Endpoint には、4ch の A/D コンバータや 4bit のパラレル入出力ポートを有し、センサと接続できる。図-4 にセンサネットワークノードの例として、i-Bean エンドポイントを示す。

米国 Sencisat 社のワイヤレスセンサーネットワークを構築するソフトウェアおよび通信ノード Sensimesh

Software が発表されている。これはセンサを装着するインタフェースを装備する Star Node、アドホックネットを構築する MeshNode、無線ネットワークと有線ネットワークとのゲートウェイを行う Bridge Node の 3 種類のノードにより構成される。

UC Barkley 大学の SmartDust は、1997～2001 年に開発した環境モニタ用センサである。センサの寸法が 1mm 四方と微細でバッテリーを必要とせず、振動・太陽光・気圧により充電し、明度や温度を測定することができる。

PDA やウェアラブルデバイスが Bluetooth 等の近距離無線で通信し、ロケーションウェアサービスを提供する研究や、pod と呼ばれるセンサつき機器が相互荷通信して、Sensor Web を形成し、情報を収集する研究も進められている。

このほかにも、ユビキタスネットワークミドルウェア STONE、Wi-Fi アクセスポイントによる測位と通信の実現、ActiveBAT による超音波センサーアレイなどがある。

センサーインフラの構築には、以下の技術的な課題が存在する。センサとしては、測位、特に屋内や建物の密集した領域での精度向上、各種の情報を収集するセンサの開発、小型かつ低消費電力・安価なセンサノードの開発が必要である。また、ネットワークとしては、アドホックなネットワークの構築、センサーネットに適した無線の方式や通信プロトコルの標準化が重要である。室内におけるセンサノードでは SmartDust のような無電源で動作し、かつ数 m を超える長距離での高精度な測位が可能であることが望ましい。そのためには、数年後に日

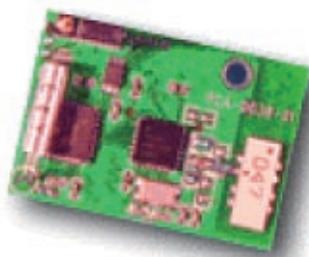


図-4 センサーネットワークノードの例  
i-Bean Endpoint (25mm × 15mm)

本でも利用が可能になると思われる UHF 帯の RFID タグ技術や、光反射率変調通信による低消費電力通信技術の利用はその解となる技術の1つになると考えられる。

### ● 終わりに—導入のための諸問題 ●

たとえば駐車場の案内システムを考えてみよう。カーナビに連動して最寄りの空き駐車場を案内してくれるシステムは大変有用であると考えられるが、いざ現地に到着してみるとすでに別の車で埋まっていたというのでは困る。しかしながら駐車スペースをあらかじめ予約してしまうという方式はビジネス的にはうまくいかないようである。駐車場を運営する立場では、到着まで時間のかかる、しかもこないかもしれない車のためにスペースを確保しておくよりも、先にやってきた車に貸す方が有利である。特に、このような駐車場予約システムがドライバー側に重宝されると思われる、駐車場が不足気味の(つまり売り手市場である)都市部でその傾向が強いという問題がある。

つまり、便利なサービスが必ずしも利益に直結していないため実現されないということが起こる。これは経済原則が万能でない例である。

もう1つの顕著な例が、情報処理の導入による作業の効率化によって生じた時間が、個人の余暇に振り向けられるのではなく、反対に個人の労働強化と余剰人員の削減につながっているという点である。これも経済原理に従うと自然な帰結であるが、我々の求める解ではないだろう。

つまり、よりよい情報技術というのは、その技術が導入された場合にもたらされる恩恵を、関係する各個人や社会全体などのさまざまな視点からみて設計されるべきである。また、技術の観点から設計された情報処理技術のみで社会の仕掛けを変えることはできず、立法・行政・地域コミュニティとの綿密な連携が必要であろう。

**謝辞** 本稿のアイディアは、産総研サイバーアシスト研究センターや共同研究における議論の中から生まれた。本稿の内容には筆者以外に多くのメンバの考え方が反映されている。特に山下倫央、野田五十樹、橋田浩一、幸島明男、和泉憲明、和泉潔(産総研)、大内東、川村秀憲(北海道大学)の各氏に感謝したい。

#### 参考文献

- 1) Yamashita, T. et al.: Car Navigation with Route Information Sharing for Improvement of Traffic Efficiency, 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2004).
- 2) 桜井祐子, 横尾 真: 平均的に予算非負なダブルオークションプロトコル, 人工知能学会論文誌, Vol.18, No.1, pp.15-23 (2003).
- 3) Noda, I. et al.: Evaluation of Usability of Dial-a-Ride Systems by Social Simulation, Fourth International Workshop on Multi-Agent-Based Simulation, pp.139-152 (2003).
- 4) Sastry, S. et al.: Hybrid Control in Air Traffic Management Systems, IEEE Conference on Decision and Control, pp.1478-1483 (1995).
- 5) Sashima, A. et al.: Location-Mediated Web Services Coordination in Ubiquitous Computing, In Proceedings of The 2004 IEEE International Conference on Services Computing (SCC 2004).
- 6) Kurumatani, K., Chen, S.-H. and Ohuchi, A. (Eds.): Multi-Agent for Mass User Support, Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI) 3012, Springer (2004).
- 7) Tadokoro, S. et al.: RoboCup-Rescue Project: An Approach of AI and Robotics to the Emergency Response Problem in Disaster, Workshop Working Notes on RoboCup Rescue (ICMAS-2000 Workshop), pp.87-96 (2000).
- 8) デジタル・サイバー・リアル人間中心の情報技術—, 産業技術総合研究所, 丸善 (2002).

(平成 16 年 7 月 13 日受付)