

# 7 携帯電話を用いたセンシングの可能性と課題

小林 亜令<sup>1</sup> 木實 新一<sup>2</sup>

1 (株) KDDI 研究所 2 東京電機大学

## ■はじめに

多くの携帯電話にGPSやセンサが統合され、人々の日常生活に密着した、新たなネットワークセンシングの形態が出現しつつある。ネットワーク化された多数のセンサを実世界に埋めこんでデータを取得する技術は、森や湖のような自然環境において利用されることが多いが、個人や組織の所有する空間が複雑に入り組んだ都市に同じ方法でセンサを遍く設置することは、プライバシー等の問題もあり一般に困難である。しかしながら、すでに市民の日常生活空間に浸透したネットワークデバイス、すなわち携帯電話がセンシング機能を備えることによって、これまで取得困難であったさまざまなデータを取得し「見えない物を見えるようにする」可能性が芽生えつつある<sup>1)</sup>。このようなセンサデータを大規模に集約していくことで、集合知的な価値を創生することができる<sup>2)</sup>。

携帯電話のセンサから取得したデータを用いて、車両通行量や大気中の有害物質、人の移動、喘息等の疾患に関する詳細な時空間パターンが把握できれば、これらの相関を分析して公衆衛生の向上に役立てることができるであろう<sup>3)</sup>。また、都市を網羅する騒音データは、都市計画において重要な意味を持っている。さらに、拡張現実等の技術を用いてセンサデータを可視化する表示システムやパブリックアートによって、都市の環境問題に関する市民の Awareness を高めることもできるであろう。頻繁にすれ違う人を「よく会う他人 (Familiar Stranger)<sup>4)</sup>」としてセン

シングすることで、都会の孤独と疎外感を緩和することもできるかもしれない。人々の移動や(他人およびさまざまな都市空間との) 出会いの詳細な時空間パターンが明らかになれば、社会科学的な都市の分析に役立つだけでなく、ウィルスや噂の伝搬についての高精度な予測や事後分析も可能になるかもしれない。

しかしながら、多数の携帯電話に各種センサを取り付けるだけすべてがうまくいくわけではない。まず、正確な位置情報と対応づけて高品質のセンサデータを街中からくまなく収集することはそれほど容易でない。また、市民のプライバシーは重要かつ解決の難しい問題である。さらに、大量のセンサデータを賢く利用するためには、新しいコラボレーション文化や情報活用のスキルが必要となるであろう。本稿では、携帯電話を用いたセンシングの可能性と課題を整理し、「実空間透視ケータイ」の事例に基づいて将来的な展望を示す。携帯電話により収集されていくデータは、マイニング技術の成長とともに、さまざまなレベルで市民生活に影響を及ぼす可能性がある。

## ■携帯電話を用いたセンシングのモデル

センサで実世界のデータを収集すると聞いてまず思い浮かぶのは、集中管理のイメージかもしれない。ここで言う集中管理とは、管理者がセンサの設置場所を好きに決定したり、データの収集・処理を一元的に行ったりすることである。無人環境のデータを取得する場合には、集中管理が効率的かもしれないが、

特徴	研究プロジェクト/システムの名称
さまざまな分野への応用	PeopleTones, NoiseTube, LiveCompare, GarbageWatch, What's Bloomin, AssetLog, Micro-Blogs, 実空間透視ケータイ
プラットフォームの提供	PEIR, PRISM, AnonySense, SoundSense, MobGeoSen
大規模なセンシング	Reality Mining, Real Time Rome, Sensonomy, HASC
共有と協調の支援	Common Sense, CenceMe, inAir, Bubble Sensing, Darwin Phones
人とセンサの密結合	Ubifit Garden, Jog Falls, iCalm

表-1 携帯電話を用いたセンシング環境の例

一般に都市のような場では無許可で他人の所有地にセンサを設置したりプライベートなデータを収集したりすることは問題があるので、多くの場合、集中管理によって都市空間を網羅的にセンシングすることは現実的でないであろう。

代替手法として注目されているのが、市民の手による分散型の実世界センシングであり、参加型センシング (Participatory Sensing)<sup>3)</sup>とも呼ばれる。参加型と集中管理型の実世界センシングでは、データの収集法だけでなく、収集されたデータの質も異なっている。素人が携帯電話等を用いて日常生活の中で収集したデータは、キャリブレーション等の問題もあるため、概して玉石混交である。客観的な観測を心がけていない者は、自分の気になるデータばかりを偏って収集してしまうリスクがあるし、観測の対象が人間である場合は、観測者の存在が被観測者の行動に影響を及ぼしてしまう点にも注意しなければならない。このような場合、データの品質保証やフィルタリングの仕組みを整備することが重要である。

表-1に示すように、携帯電話によるセンシングをさまざまな分野に応用するための試みやプラットフォームの開発が行われ、大規模なモバイルセンシング環境を実現することが可能になりつつある。ここに示す研究プロジェクト/システムの多くが、参加型センシングの概念を考慮した分散型の管理モデルを採用している。

ユーザが携帯型のセンサを持ち歩いて地域の環境問題にかかわる情報を収集・共有するというのが、典型的な参加型センシングのシナリオの1つである。こ

ユーザとセンサの結びつき

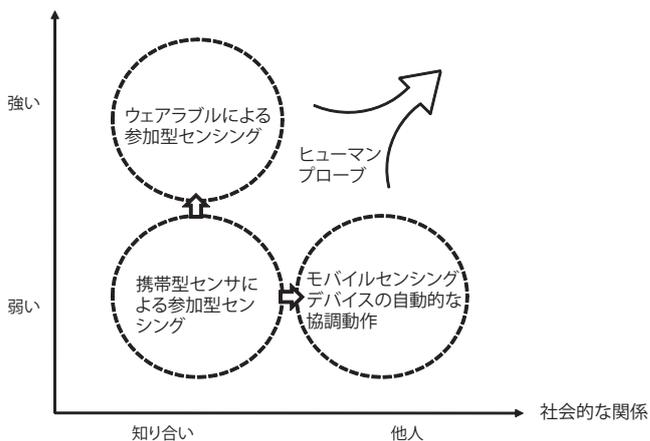
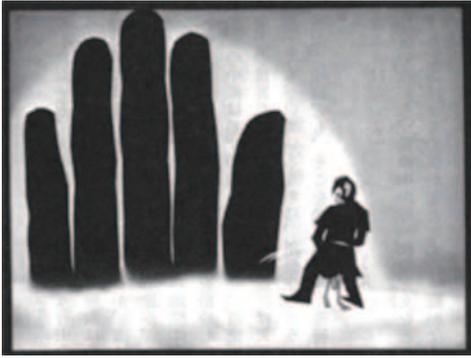


図-1 携帯電話を用いたセンシングの広がり

のシナリオでは、地域コミュニティの一員として、ユーザ同士が社会的なつながりを持っていることが前提になっている。一方、近隣のモバイル端末同士が通信を行い、バッテリー消費を削減し、また測位やセンシングの精度を高める技術の開発が行われているが、このような技術を利用すれば、見ず知らずの他人同士(の端末)が自動的に協調動作を行うことになる。図-1の右向き矢印に示すように、これは参加型センシングの概念の1つの広がりの方角を示唆している。このような方向性を持ったセンシング環境の例を、表-1では「共有と協調の支援」を特徴とする研究プロジェクト/システムとして示している。

一方、生体情報等を常時センシングすることのできるウェアラブルセンシングデバイスの発達によって、ユーザとセンサを密に連結させて環境や人間に関するデータを取得し、携帯電話を介して送信・共有することが可能になりつつある。たとえば、坂道や階段の存在を心拍数の上昇を計測して推定する場合のように、環境の変化に伴う人間の反応をセンサで監視することで、環境についての情報を得ることができる。また、携帯電話上でもTwitter等のマイクロブログが利用されるようになり、センサで自動検知することの難しい情報を人が検知して手入力で情報を発信するという実践も非常に身近なものと感じられるようになってきた。このように、ユーザとセンサが密に連携するデータ取得過程においては、ユーザとセンサは一体

## 7. 携帯電話を用いたセンシングの可能性と課題



出典) 毎日読む小説「西遊記」(邱永漢・著/藤城清治・影絵)

図-2 釈迦の手のひら

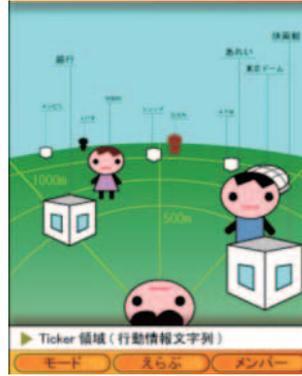


図-3 実空間透視ケータイの画面イメージ



図-4 かざすインタフェースのイメージ図

化して実空間とデジタルシステムを仲介していると見なすことが可能であり、参加型センシングはこの方向にも概念的な広がりを見せつつあるといえる(図-1の上向きの矢印)。このような方向性を持ったセンシング環境の例を、表-1では「人とセンサの密結合」を特徴とする研究プロジェクト/システムとして示している。なお、本稿では参加型センシングの枠を超えて広がる包括的な概念を議論するために、ヒューマンプローブ<sup>5)</sup>という言葉を用いるものとする。

### ■ 携帯電話を用いたセンシングの実例

本章では、ケータイに搭載されたセンサを活用したアプリケーションの1つである「実空間透視ケータイ・セカイカメラ ZOOM」を実例に挙げ、携帯電話を用いたセンシングの可能性と課題を整理する。

#### ■ 実空間透視ケータイの概要

実空間透視ケータイの理想像は、中国古典小説「西遊記」に登場する“釈迦の手のひら”である。図-2に示すシーンでは、釈迦如来と孫悟空が賭けをし、孫悟空が釈迦の手のひらの上で踊らされてしまう。これは、釈迦から見ると、孫悟空が世界のどこにいて、何をしているのか、つぶさに理解できている。それも手のひらという直感的なインタフェースを用いている。実空間透視ケータイは、最終目標を釈迦の手のひらとし、図-3に示すとおり、ユーザがケータイを用いることにより、実空間上に存在するモノや人の状態を

把握することを目的として研究開発を行っている。

次に、釈迦の手のひらに必要な、2つのセンサ活用技術について紹介する。

#### ■ 「かざす」インタフェース

この方式は、実空間上に存在するモノや人の位置関係を直感的に把握することを目的としている。本方式では、端末の位置を測位し、端末の姿勢(yaw, pitch, roll)を3軸地磁気センサと3軸加速度センサを組み合わせて算出する。その結果、液晶画面の向こう側(端末をかざしている方向)の空間(緯度経度高度)を算出できるため、その空間に表示すべきエアタグ(Webコンテンツ)をダウンロードして、表示する。表示結果の例を図-4に示す。表示の際には、OpenGL ES APIを用いて、GPUにてレンダリング処理を行うことにより、既存の携帯電話でも20fps以上のフレームレートを実現できている。

この方式を実現する上で、解決が必要だった技術的課題とアプローチを以下に列挙する。

#### → 地磁気センサのキャリブレーション

地磁気センサにとって、最大の誤差要因は、携帯電話内部の磁石や磁性体金属で生ずる磁気オフセットである。このオフセットは、温度やモータ、鉄筋等の外部発生磁場の影響によって、携帯電話を使っている間でも時々刻々と変化している。このため、磁場環境に応じた地磁気センサのキャリブレーションを実施する必要がある。本課題については、旭化成エレクトロニクス社のDOE(Dynamic Offset

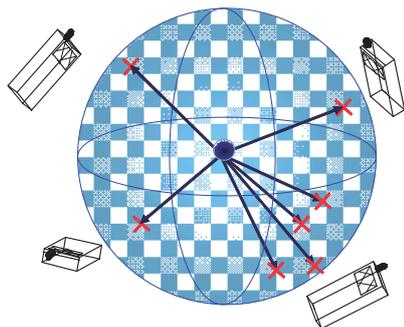


図-5 地磁気センサのキャリブレーション

Estimation) と呼ぶ方式により解決を図っている。この方式は、携帯電話を持つユーザの自然な動きをもとに、常に妨害磁場の大きさを測り、地磁気センサを調整し続ける動的オフセット補正技術である。具体的には、図-5に示すとおり、短時間の3軸地磁気測定データが、オフセットを中心に、地磁気サイズを半径とした球の表面に分布するという性質を用い、蓄積した3軸地磁気測定データからオフセットを逆算し続ける方式となっている。この技術により、端末が移動することによる磁場環境の変化に対しては、解消が見込まれるが、定常的に磁場が乱れている環境においては、正しく姿勢を算出できないケースがある。これは未解決の課題であり、地磁気センサ以外のアプローチによる解決が必要と考えられる。

### → センサデータの不安定性

人間は端末を完全に静止させることが困難であることと、センサデータには常にノイズや揺らぎが発生するため、センサデータをそのまま用いてレンダリングを行っても、手振れのように、描画結果が、びくつく(不安定な)状態となる。従来、このような課題には、複数の連続したセンサデータの平均値を用いて解消を図るが、びくつきを抑えられる一方、速い動き(端末姿勢変化)に対する運動性が低下する。そこで、実空間透視ケータイでは、端末の動きの激しさを用いて、平均値を求めるための、センサデータのデータ数(時間幅)を可変長にすることによって、課題解消を図っている。

### → 位置測位誤差

GPS衛星が数多く見えるオープンスカイ環境下では、数mの測位誤差で端末位置を測位することがで

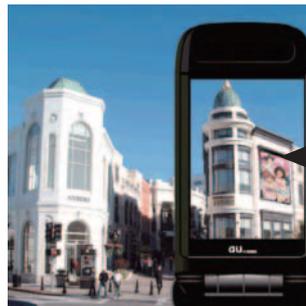


図-6 看板認識のイメージ © 窪岡俊之 ©NBGI

きるが、市街地などGPS衛星が十分見えない場所や屋内においては、位置測位誤差が数十m～数百mと大きくなる。そこで、実空間透視ケータイでは、図-6のとおり、カメラキャプチャデータを用いて、実空間上に存在する看板やポスターなどの矩形オブジェクトを画像処理により認識することにより端末位置補正が見込める方式を検討中である。本方式では、従来のマーカ認識エンジンであるARToolkitをベースとし、一般的な携帯電話でも高速動作するよう高速化を図るとともに、任意の矩形オブジェクトを認識できるよう方式改良を行っている。その結果、看板やポスターといったオブジェクトを10fps以上のフレームレートで認識することが可能となっている。

### → 描画対象オブジェクトの前後関係

実空間透視ケータイのようなモバイルARの応用例の1つにゲームが挙げられるが、カメラキャプチャイメージを背景として利用し、重ね合わせ表示する情報(エアタグなど)を、その手前に表示するか、完全に非表示とするか、どちらかであった。つまり、オブジェクトの一部を手前のビルで隠すという表現ができないという課題があった。そこで実空間透視ケータイでは、図-7に示すようなカメラキャプチャデータを用いた背景領域抽出方式を検討中である。本方式では、昼と夜の違いなどの環境特性を考慮した背景領域抽出法であり、一般的な携帯電話であっても20fps以上のフレームレートを可能としている。その結果、以下の図のように、空と手前のビル群の間にオブジェクトを描画し、オブジェクトの一部だけ隠すことにより、オブジェクトの臨場感向上につながるができる。

## 7. 携帯電話を用いたセンシングの可能性と課題



図-7 背景領域抽出方式 © 窪岡俊之 ©NBGI

移動状態	走行	歩行	自転車	停止	自動車	バス	電車
推定精度	97.8%	95.2%	96.6%	95.7%	85.0%	80.8%	87.6%

表-2 移動状態推定精度

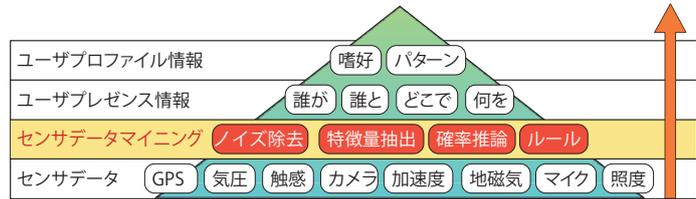


図-9 センサデータマイニング



図-8 セカイカメラ ZOOM の画面イメージ

イメージのとおり、本アプリは、頓智ドット社のセカイカメラとの相互接続を可能としており、エアタグの閲覧や投稿が可能となっている。また、2010年7月現在、au 端末45機種に対応しており、このようなモバイルARプラットフォームの登場、普及により、ケータイへのセンサ搭載が促進され、大規模にさまざまなデータを収集・利用できる環境が整備されていくことが期待される。

### ■ ユーザの移動状態推定方式

この方式は、実空間上に存在する人の現在の状態を自動的に把握することを目的としている。本方式では、人間の状態（ユーザプレゼンス情報）の1つである移動状態に着目し、携帯電話に搭載された加速度、マイク、GPSを複合的に利用した確率推論による推定を行っている。表-2に示すとおり、推定対象の移動状態は、走行、歩行、自転車、停止、自動車、バス、電車の7種類であり、200人強の実験結果から、80%以上の精度で推定できることが分かっている。

### ■ セカイカメラ ZOOM

実空間透視ケータイエンジンをベースとしたモバイルARプラットフォームとして、2010年7月1日に、セカイカメラ ZOOM をβ版公開した。図-8の画面

### ■ 将来展望

今後、モバイルARの普及等に伴い、携帯電話を用いて大規模にさまざまなデータを収集・利用できる環境が整備された場合、キーとなる技術はセンサデータマイニングであると考えられる。センサデータマイニングとは、図-9の通り、センサデータ（ローデータ）を加工し、ユーザプレゼンス情報（5W1Hパラメータ）に変換する技術を指している。実空間透視ケータイ・セカイカメラ ZOOM の実例も、このセンサデータマイニングの1つのアプローチであると言える。

このセンサデータマイニング技術は、短期、中期、長期にわたり、携帯電話に影響を与えていくと考える。以下に3つにフェーズを分けて考察する。

#### ■ 短期：

短期的には、図-10のように、センサが個人と実空間をつなぎ、ユーザプレゼンス情報を取得することに

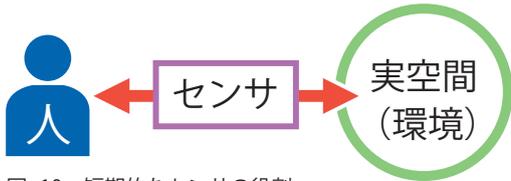


図-10 短期的なセンサの役割



図-11 短期的なサービスの例

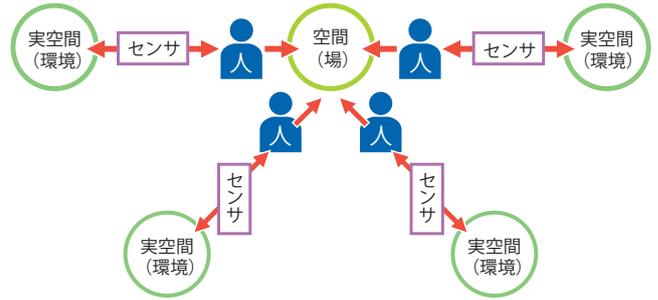


図-12 中期的なセンサの役割

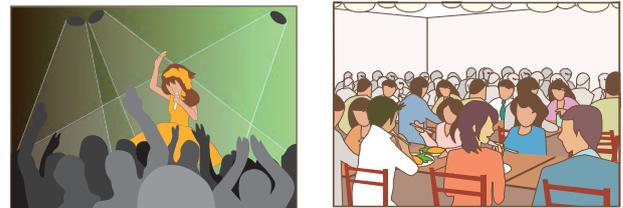


図-13 中期的なサービスの例

より、さまざまなサービスを提供でき、人間に利便性や安心感をもたらすことが可能となると考えられる。

たとえば、図-11のように、実空間透視ケータイのようなサービス以外にも、電車乗車時に自動的にマナーモードになるサービスや、ジョギングを始めると自動的にスポーツサポート機能が実行されるといったサービスは、短期的に実現可能であると考えられる。また、ドコモのiコンシェルやKDDIのau Smart Sportsといったサービスは一例といえる。

■ 中期：

そして、数年後には、図-12のように、前記の短期的なサービスで取得できたユーザプレゼンス情報を、同一空間内で収集することにより、空間のプレゼンス情報を取得することが可能になると考える。この環境では、個人ではなく、集団と実空間の間をセンサ群がつなぐイメージとなる。

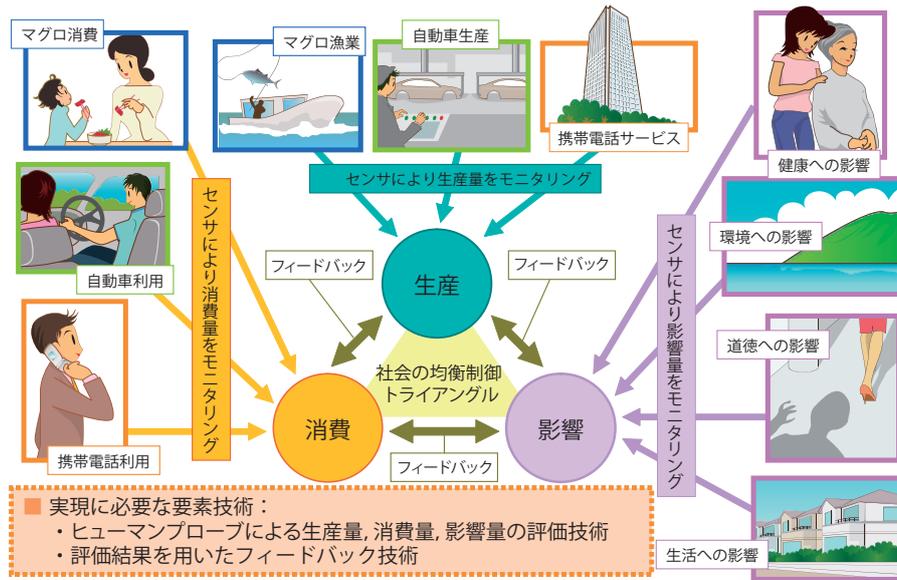
たとえば、図-13のように、場が盛り上がっているかどうかや、レストランが混雑しているか、道路が渋滞しているかなどは、推定可能と考えられる。このようなサービスは、同一空間内に一定量以上のセンサプロブ対応携帯電話が存在する必要があるため、実現には数年必要と思われるが、さまざまな空間のプレ

ゼンスを取得し、場が集団に対してリアクションを返すようなサービスが中期的に提供されると考えられる。

■ 長期：

長期的には、センサデータマイニングが、社会の均衡を維持する基盤技術に成長するのではないかと期待している。従来の市場原理主義社会では、需要量と供給量のバランスを重視し、環境や社会生活への影響量を軽視したため、社会均衡が十分維持できない問題に直面していると解釈できる。そこで将来、図-14のように、すべての人やモノにプロブ環境が整備されると、人間社会におけるさまざまな供給量(生産活動)、需要量(消費活動)、影響量をモニタリングすることが可能になる。そして、収集されたセンサデータをマイニングすることにより、需要・供給・影響の均衡を維持するようなフィードバック機能を提供することが可能になるのではないだろうか。たとえば、物価や税率といった数値で制御可能なパラメータの運用は、センサデータマイニングによる自動化が可能ではないかと考えている。実現は数十年後になるかもしれないが、長期的には、人間社会と実空間の間を、大量のセンサ群がつなぎ、社会のプレゼンスを取得し、リアクションを返すようなサービスが提供され

## 7. 携帯電話を用いたセンシングの可能性と課題



るのではないかと期待している。

### 参考文献

- 1) Cuff, D., Hansen, M., and Kang, J. : Urban Sensing : Out of the Woods, Communications of the ACM, Vol.51, No.3, pp.24-33 (2008).
- 2) 味八木崇, 暦本純一 : 集合知センシングによる実世界インタフェース, 情報処理, Vol.51, No.7, pp.775-781 (July 2010).
- 3) Burke, J., Estrin, D., Hansen, M., Parker, A., Ramanathan, N., Reddy, S. and Srivastava, M. B. : Participatory Sensing, Proceedings of the SenSys '06 Workshop on World Sensor Web (2006).
- 4) Paulos, E. and Goodman, E. : The Familiar Stranger : Anxiety, Comfort, and Play in Public Spaces, Proceedings of ACM CHI 2004, pp.223-230 (2004).
- 5) ヒューマンプロブ研究会Webページ, <http://hpb.osoite.jp/>

(平成22年7月16日受付)

小林 亜令 (正会員) [kobayasi@kddilabs.jp](mailto:kobayasi@kddilabs.jp)

1998年北海道大学大学院工学研究科修士課程修了。同年KDD(現KDDI)入社。現在、KDDI研究所主任研究員。モバイルコンピューティングの研究開発に従事。本会代表会員。電子情報通信学会 MoMuC 研究会専門委員。

木實 新一 (正会員) [konomi@u-netlab.jp](mailto:konomi@u-netlab.jp)

1991年九大大学院・工・情報修士課程修了。1994年京大大学院・工・情報助手。1996年工博。以後、GMD-IPSI, コロラド大学 L3D, 東大 CSIS, 東京電大 OSOITE にて、HCI, モバイル CSCW, センサ応用の研究に従事。