

携帯電話を活用した人々の流動解析技術の潮流

解説

関本義秀^{*1} Teerayut Horanont^{*2} 柴崎亮介^{*1}

^{*1} 東京大学空間情報科学研究センター

^{*2} 東京大学生産技術研究所

人々の流動に関するニーズ

2000年頃にナビタイム (<http://www.navitime.co.jp>) のような携帯電話のGPSを用いて個人をナビゲートする技術が世の中に出て10年近く経ち、すっかり浸透したと言えるだろう。

その一方で、メールに代表される1対1のコミュニケーション技術がFacebookのようなソーシャルネットワーク技術へと深化しているように、位置情報技術も大規模化への対応や社会インフラへの組込みに向けた新しいステージに入りつつあるように思われる。

特に特定の個人というよりは、ある空間やまち全体で時々刻々と変化する人々全体の流動をどう捉えるか、ということについては、商業的なマーケティング分野に限らず、防災・医療・交通・観光・まちづくりといった人間の活動を中心とした社会の公益的な側面からの必要性も大変高くなっている。

しかし、たとえば道路交通のように流動を把握することを目的としてセンサ等を新たにインフラ側に埋め込むのは、今の財政難の時代に投資に関する合意形成の観点からは難しい可能性が高い。そこで位置をセンシングするツールとして広く普及している携帯電話に着目し、それを何とか集約して社会の公益のために有効利用できないか? という流れになるのはある意味、必然であろう。

とはいえ、携帯電話を用いるとしても、個人情報にも最大限の配慮を行いつつ、利便性の高いデータを蓄積することはさまざまなバランス感を要し、社会的受容性の観点を含んだ重要な研究事項である。

そこで本稿は、携帯電話を活用した人々の流動解析技術の潮流ということで、携帯電話をベースとしたさまざまな位置情報の取得と集約に関する方法を俯瞰するとともに、さらに推定・統合を行い、必要なデータセットを構築するための手法を紹介する。

携帯電話による位置の取得

● GPSチップや基地局測位によるもの

まず、携帯電話を利用したさまざまな位置の取得方法について説明をする。携帯電話の場合、一般のGPS専用端末に比べ、消費電力やコスト等の制約が強く、GPSチップが本格的に導入されたのは2000年に入ってからである。2001年に米クアルコム社により「gpsOne」という測位技術が開発されKDDI社の携帯電話に搭載された。これはそれまで、携帯電話がGPS衛星の軌道情報を取得するのに時間がかかっていたことに対し、基地局経由で軌道情報を高速で取得することにより、数mから数十mという高精度な測位が実用的な時間で実現できるようになったことによる。このような方式は基地局によってサポートされるという意味で、Assisted GPS (AGPS) と呼ばれている(図-1)。詳細は後述するが2007年から緊急位置情報通報サービス、いわゆる日本版e911が導入され、GPS機能を搭載した携帯電話がかなり増えた。

その一方で、建物内や地下等、GPS衛星からの信号がまったく入らない場合も依然として存在する。そのような場合は複数の携帯電話基地局のそれぞれの位置から三角測量をもとに概略を求めることでも

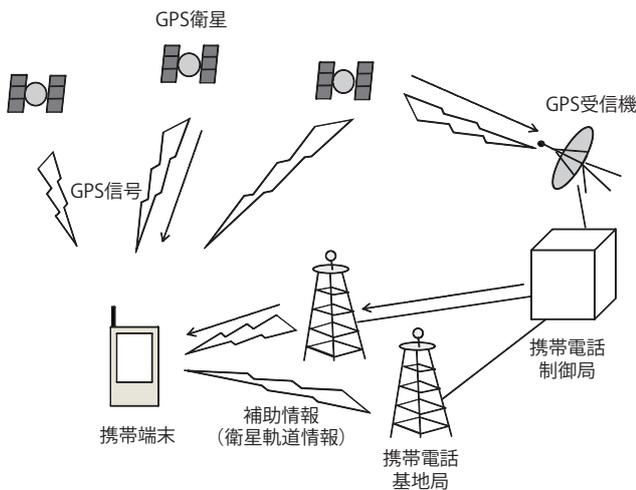


図-1 Assisted GPS の仕組み

きる。これは複数基地局測位と呼び、基地局の密度にも依存するが、数十～数百 m 程度の誤差と言われている。また、複数の基地局の同期が難しく、単独の基地局から求める場合はセルベース測位と呼ぶが、数百 m ～十 km 程度の誤差と言われている。

● Wi-Fi 基地局を用いたもの

それ以外の携帯電話の基地局を用いない方式としては、無線 LAN (Wi-Fi) の基地局を用いる測位が存在する。これらは Wi-Fi 基地局の位置情報を事前に把握していることが必要であるが、アメリカの Skyhook 社や日本のクウジット社などがサービスを行っている。スマートフォンでも Wi-Fi による測位は基本機能として含まれているが、2010 年に Google 社のストリートビュー計測車両が位置情報取得 API のために収集している Wi-Fi 基地局情報 (SSID や Mac アドレス) 以外に Wi-Fi を通じてやりとりされる情報 (暗号化されていないメールやパスワード等も含む) まで誤って収集していたことが明らかになり、Google 社は計測車両での Wi-Fi 基地局情報の収集を止めることとしている。

スマートフォン (特に iPhone, Android 端末) 上では、GPS と Wi-Fi のハイブリッド測位ができるようになっており、1 分間隔、約 12 時間測位したものが図-2 である (端末は Galaxy S/Android2.2)。屋

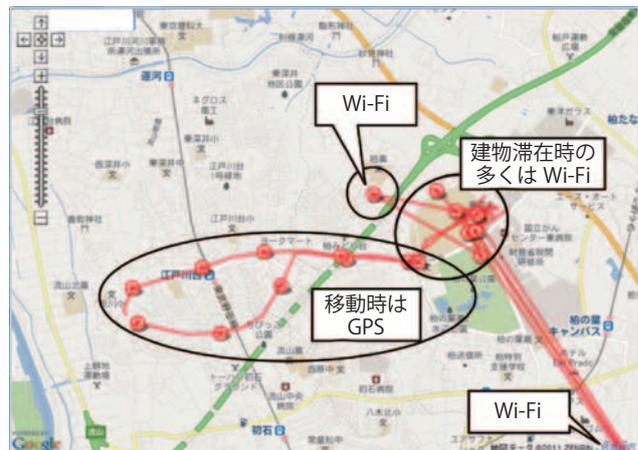


図-2 スマートフォンの GPS と Wi-Fi のハイブリッド方式により測位したもの (図中の矢印は座標の変化方向であり、各測位点の中心に記載している: 東京大学空間情報科学研究センター (以下, CSIS) 金杉研究員提供)

外移動時は GPS はおおむね問題なく位置が取得できるが、建物滞在時は時々取得できる程度であり、多くは付近の Wi-Fi となるが、かなり離れた Wi-Fi に飛ぶこともある。

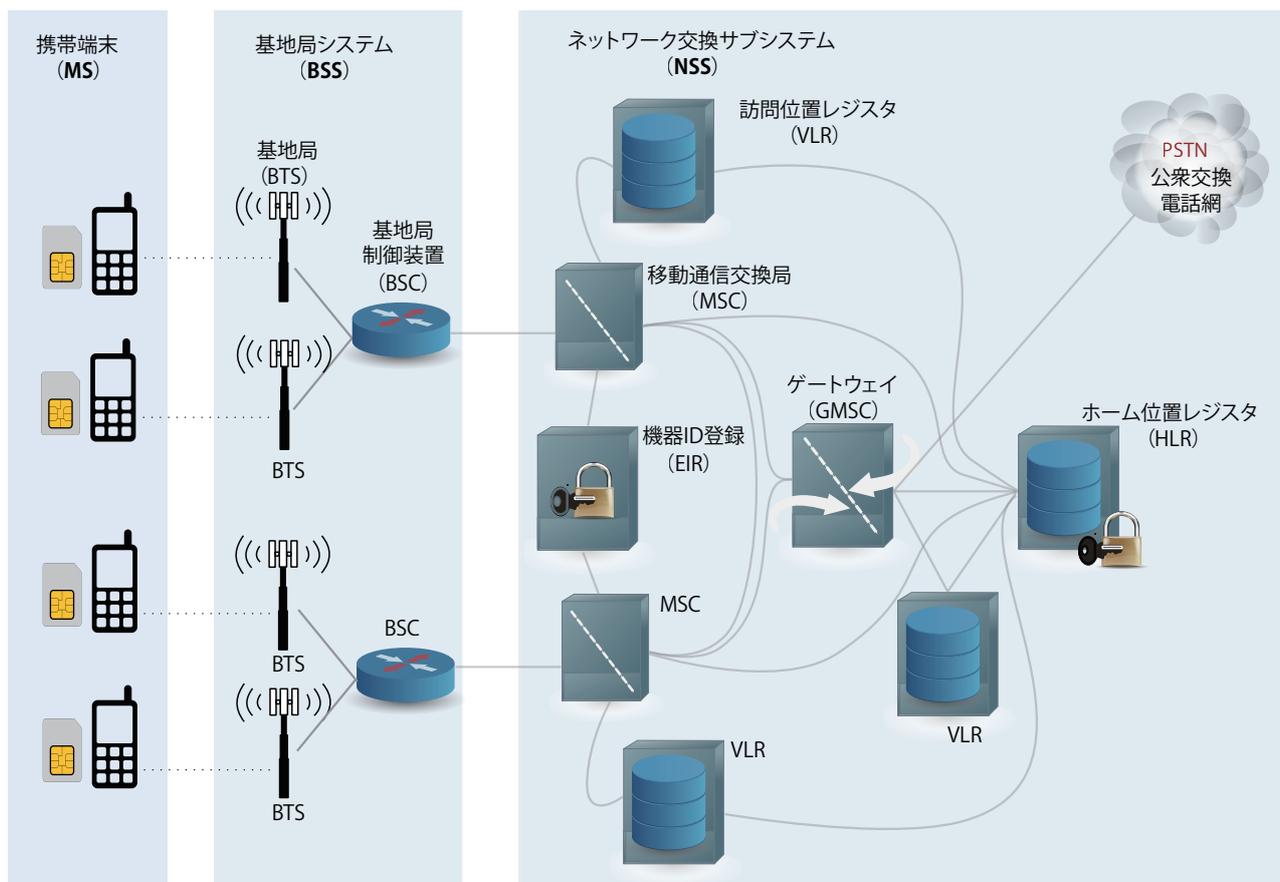
なお、余談ではあるが、Android OS が 2.3 になり、ジャイロや気圧・重力センサ等、センサデータ取得の API が増え、今後、カーナビのように自律測位が進めやすくなる可能性がある。

● 網側に登録される情報を用いるもの

一方で、時々刻々と変化する基地局に登録される各携帯電話の情報を直接使うことも考えられる。携帯電話そのものの仕組みは図-3 の通りだが、大きく分けると、SIM を格納した携帯端末 (MS) と基地局システム (BSS) とネットワーク交換サブシステム (NSS) の 3 つから構成される。

具体的には、ネットワーク交換サブシステムは基地局と基地局をつなぐ移動通信交換局 (MSC) や、加入者の基本的な情報 (位置や課金情報) を記録するホーム位置レジスタ (HLR) や HLR が当該 MSC 内に存在しない MS の情報を一時的に管理する訪問位置レジスタ (VLR) などから構成される。また、基地局システムは基地局制御装置 (BSC) と基地局 (BTS) から構成される。

これらの通信過程で記録される情報を利用する研



MS : Mobile Station, BSS : Base Station System, NSS : Network Switching Subsystem
 BTS : Base Transceiver Station, BSC : Base Station Controller, VLR : Visitor Location Register
 HLR : Home Location Register, MSC : Mobile Services Switching Center
 EIR : Equipment ID Register, PSTN : Public Switched Telephone Network

図-3 携帯電話の仕組み (http://www.truteq.co.za/tips/ を参考に作成)

究も始まっている。たとえば、表-1は、タイのキャリア (Advanced Info Service : AIS 社) の各基地局に設置されたアンテナの Cell ID ごとの利用状況を集約した BSC のデータ例である。利用状況として、1 時間あたりの平均資源利用率である Erlang (アーラン) が用いられており、この場合は基地局に登録されている平均の携帯端末数を意味し、人のおおよその集積度合いが分かる。

こうした取り組みは世界的にも AT&T 社を始めとして始まりつつあるが、日本でも NTT ドコモ社による「モバイル空間統計」の取り組みがある (http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/)。これは基地局単位の人数を定期的に記録している HLR の情報を用いていると思われる (処理の詳細は後ほど述べる)。

Cell ID ^{**1}	Latitude	Longitude	Start time	Erlang
BKCC1	13.75697	100.5594	2008/03/01 9:00	33.98
BKCC2	13.75697	100.5594	2008/03/01 9:00	18.93
BKCC3	13.75697	100.5594	2008/03/01 9:00	33.17
PTWA1	13.75138	100.5402	2008/03/01 9:00	20.75
PTWA2	13.75138	100.5402	2008/03/01 9:00	17.93
PTWA3	13.75138	100.5402	2008/03/01 9:00	33.07

^{**1} Cell ID は各基地局ごとに設置しているアンテナの ID を指し、BKCC1, BKCC2, BKCC3 は 1 つの基地局に設置しているそれぞれ指向性を持った 3 つのアンテナの ID を表す。

表-1 基地局制御装置に集約された各基地局 (セル) の位置や当該時間帯のアーラン値 (文献 1) をもとに作成

また、こうした把握の仕組みは定期的・連続であるため、既存の通話を主体にしたシステムに対し、負担となる可能性もあるが、もう少しシンプルに、通話料請求の元となる通話の詳細情報 (Call Detail Record : CDR) を用いることもある。

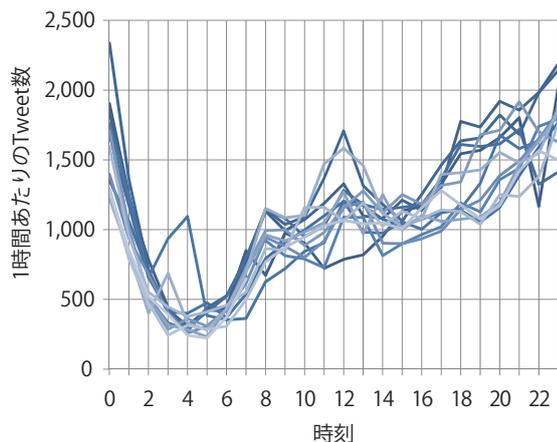


図-4 Tweet数の時間変化（各折線は2011年7/25～8/8の2週間の各日で、有楽町駅付近を中心とした2km四方をSearch APIで取り出したもの：CSIS 藤田助教提供）

● Twitter等を用いたもの

また、最近では、携帯電話経由とは限らないが、Twitterを通じてユーザが明示的に位置情報を発信したり、Foursquareのようにチェックイン系サービスを通じて発信するものもある。前者は位置情報通知機能をオンにすることにより、その携帯電話のGPS等を通じて緯度経度情報を発信することができ、また、Twitterの各種APIによりそれらの情報を取得することができるが、今のところ利用率はあまり高くないようである（1～2%程度という話を聞いたことがある）。その一方で、Search APIを通じて中心座標と半径を入力することにより該当するTweetを取得できることから、何らかの方法で取得した概略の位置情報を保持していると思われる。図-4は、2011年7/25～8/8に有楽町駅付近を中心とした2km四方をSearch APIで取り出して、時間変化を見たものである。有楽町は住宅街ではないので、夜の方が人数は少ないはずであるが、Tweetする人自体は多く、コミュニケーションは夜間の方が多ことが分かる。

後者のチェックイン系サービスはやや普及途上ではあるものの、チェックインという行為を通じて、簡単に正確な位置を知らせることができる。チェックイン行為自体は特定の場所のMayor（市長）になることなどで動機付けがされ、やや趣味的要素

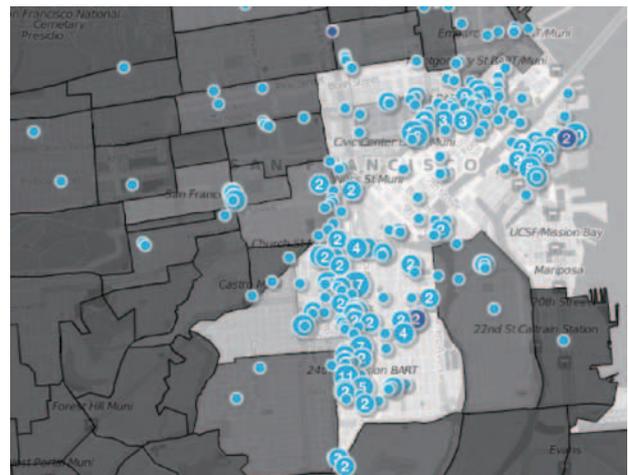


図-5 2年間にわたる、1人のFoursquareデータをマッピングしたもの。丸の中の数値は同じ場所の訪問回数を表している。（<http://www.weeplaces.com>で公開されているサンフランシスコにおけるサンプル）

が強いが、ピンポイントで店舗等を指定できるので位置精度は高い。図-5は2年間にわたる、1人のFoursquareデータをマッピングしたもので、丸の中の数値は同じ場所の訪問回数を表している。

データ利用にかかわるユーザの承諾

こうした携帯電話の位置情報は、法令的には、「電気通信事業における個人情報保護に関するガイドライン（最終改正平成22年総務省告示第276号：以下、ガイドラインと呼ぶ）の解説」の26条（位置情報）の項に、「電気通信事業者が保有する位置情報は、個々の通話に関係する場合は通信の構成要素であるから電気通信事業法第4条第1項の通信の秘密として保護されると解される。これに対し、通話時以外に移動体端末の所持者がエリアを移動するごとに基地局に送られる位置登録情報は通話を成立させる前提として電気通信事業者に機械的に送られる情報に過ぎないことから、サービス制御局に蓄積されたこれらの情報は通信の秘密ではなく、プライバシーとして保護されるべき事項と考えられる。」とあり、通話時とそれ以外のときの保護根拠が区別されるとの認識のようである。

また、ここで言う「位置情報」は、ガイドラインの解説によると、「移動体端末の所持者の所在を表す

場所を示す情報（基地局エリア若しくは位置登録エリア程度又はそれらより狭い範囲を示すものをいい、利用明細に記載される着信地域(単位料金区域等)のようなものは含まない。)をいい」とあるので、課金上の料金区域は含まれていない。

さらに、ガイドライン 26 条では、「電気通信事業者は、利用者の同意がある場合、裁判官の発付した令状に従う場合その他の違法性阻却事由がある場合を除いては、位置情報を他人に提供しないものとする。」および、第 2 項「電気通信事業者が、位置情報を加入者又はその指示する者に通知するサービスを提供し、又は第三者に提供させる場合には、利用者の権利が不当に侵害されることを防止するため必要な措置を講ずるものとする。」と、同意取得（オプトイン）の条件を満たすことや適切な取り扱い等の必要なことを明記している。

なお、ガイドラインの解説では、「GPS による位置情報など、電気通信サービスの提供に必要な位置情報は、原則として利用者の意思に基づかずに取得してはならない。」ともあり、電気通信事業とは直接関連のないところで取得する位置情報についてもオプトインが必要なことが記載されている。これまで説明してきた各測位技術の中では、Twitter は公開情報なので承諾済みと考え、Tweet を集約・分析した研究したものも見られるようになってきているが、その一方で、たとえば NTT ドコモ社では、2008 年からオート GPS 機能を利用した i コンシェルサービスを開始しており、同サービスを契約する際は、オート GPS 機能により取得した位置情報については、利用を承諾する必要がある。

ところで、緊急時の位置通報は、欧米の緊急位置通報サービス（e911 等）を受け、上記ガイドラインよりは一足先に、総務省が情報通信審議会内の「緊急通報機能等高度化委員会」の報告（2004 年 5 月）に基づき、2007 年 4 月より、警察機関（110）、消防機関（119）、海上保安機関（118）に対し、緊急位置通報サービスを行うこととなった。これは携帯電話の第三世代を対象として、GPS 測位を基本としつつも代替手段として複数基地局測位やセルベース測位

も認め、位置情報提供を義務化している。

しかし、もう一步踏み込むと、大規模災害時はどうだろうか？ 今回の東日本大震災では救助・不明者捜索のための個人情報をどう扱うかという点が曖昧になっていたように思われる。今回の例で言えば、個人が特定され過ぎない範囲で位置の情報が発災時にリアルタイムでキャリアと関係機関である程度共有できれば重点的に救助・捜索すべき個所などが分かり、迅速な対応ができたかもしれない。個人情報保護法第 23 条第 1 項第 2 号では、個人情報保護の第三者提供にかかわる例外事項として、「人の生命、身体又は財産の保護のために必要がある場合であって、本人の同意を得ることが困難であるとき」が挙げられている。こうした大規模災害時の個人情報の積極的な提供の対応は今回の震災を契機に個別自治体でも始まっていると聞くと、たとえば携帯電話の購入時の条項に盛り込むことは十分可能であるように思える。

データセット構築のための補間・統合の方法

今まで説明してきた位置情報を、同意を得た上で実際にさまざまな分野で人々の流動を解析するソースデータとして利用する際には、得られたサンプルからどう推定するかや、時空間的に断片的な取得になったときにどう補間するかなど、多くのケースではデータの事前処理が必要となる。ここでは、データ利用者サイドの観点から既存の技術を概観した上で、位置情報の補間・統合に触れる。

●流動を把握する技術の俯瞰

携帯電話が普及する以前にも当然、人々の流動に関する解析は行われてきた。たとえば、国勢調査は 1920 年から始まり、5 年に一度は全数調査を行い、ラフにはあるが町丁目やメッシュレベルで、昼間・夜間人口を把握している。

また、1960 年頃からは、全国のさまざまな都市圏で、国の出先機関や地方自治体等が主体となる交通計画協議会が、パーソントリップ調査を行って

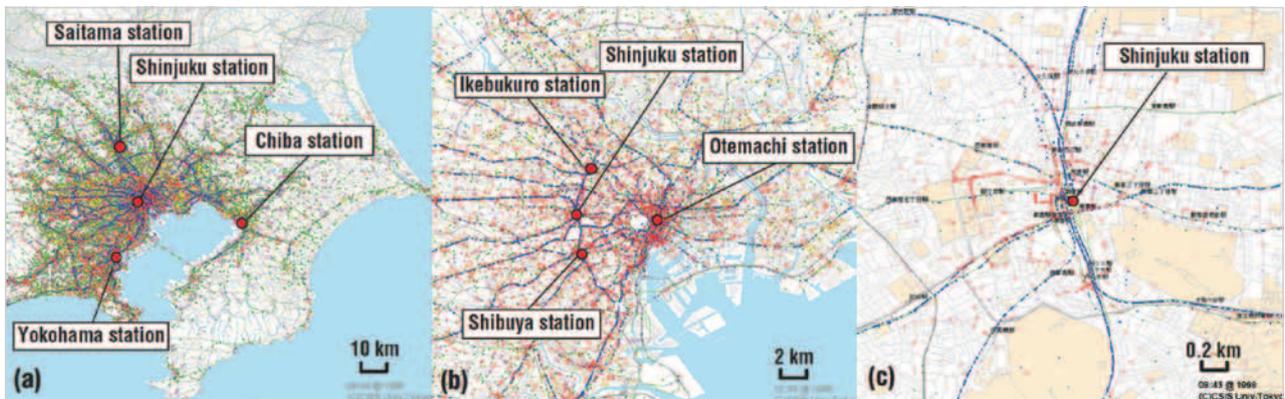


図-6 パーソントリップデータを用いた流動再現(文献5)をもとに作成。青は鉄道、赤は徒歩、黄緑は自家用車、黄色が自転車による移動)

る。これは交通計画やまちづくりのようなかなり広域かつ長期的なレベルのための調査であるが、実際に数%程度のサンプルで、通勤や買い物その他の移動(トリップ)にかかわる場所や時間の情報を、A4用紙1枚程度の調査票に記入する形で収集している。実際に、パーソントリップ調査データについては、各トリップの起終点だけなので断片的ではあるものの各都市圏で数万人~数十万人あり、記入されたデータはある程度時空間的にも細かいため、筆者らのグループで2008年から、各調査元の承諾の上でプライバシーには十分配慮した上で、最短経路ベースで1分間隔で時空間内挿を行い、CSISの人の流れプロジェクト(<http://pflow.csis.u-tokyo.ac.jp>)でアニメーションの公開や、公益に資する範囲での申請ベースのデータ提供を行っており、かなり詳細な都市の流動状況は分かる(図-6)²⁾。

もちろんITを使ったものとしても、詳細なレベルでは、2000年前後くらいからGPS機器やWeb等を用いて、プローブパーソン調査やアクティビティダイアリーといった形で、行動意識調査なども行われているし(たとえば、プローブパーソン研究会:<http://probe-data.jp>)、鉄道駅では自動改札化なども進み、鉄道事業者は鉄道ネットワーク全体でのリアルタイムな流動変化などをきちんと捉えているのではないだろうか。また、携帯電話のセルIDをもとに災害時の車両の移動状況を把握する研究などもある(災害時交通流監視システム研究会:<http://traffic-hazard.ddo.jp>)。さらに10万人を6カ月調

	連続的	断片的
非集計	GPS等	PT調査、IC乗車券、CDRデータ等
集計	自動改札による乗降客数把握、基地局のHLRデータ等	国勢調査等

表-2 さまざまな時空間位置の把握技術の分類(時間解像度を数分程度と想定)

査し、人の行動のバリエーションを調べたものもある³⁾。

これらから見ても分かるように、データ利用者側のニーズによって調査や補間・統合する技術も多様であるため、多くの人が解析可能な使いやすいデータセットを構築する点を重視するなら、データの要求仕様を明確にする必要がある。たとえば、詳細に個別の人ごとに(以下「非集計」と呼ぶ)1分ごとの位置を知りたいとか、集団レベル(以下「集計」と呼ぶ)でいいので、1時間ごとの変化を知りたいなどである。

これらのデータ要求仕様に対して、先ほど挙げたような把握技術がどのような位置づけになるかを整理した例が表-2である。要求仕様の特に時間解像度が数分程度と設定した場合、GPSや自動改札あるいは、基地局のHLRデータ等は連続的・稠密的にデータを得られており、一方の調査データ、IC乗車券データ、あるいはCDRデータ等は断片的なため、何らかの補間技術が必要となる。もちろん時空間解像度が詳細であるに越したことはないが、当然コストがかかるので、利用者側とのデータ要求仕様上での調整となる。

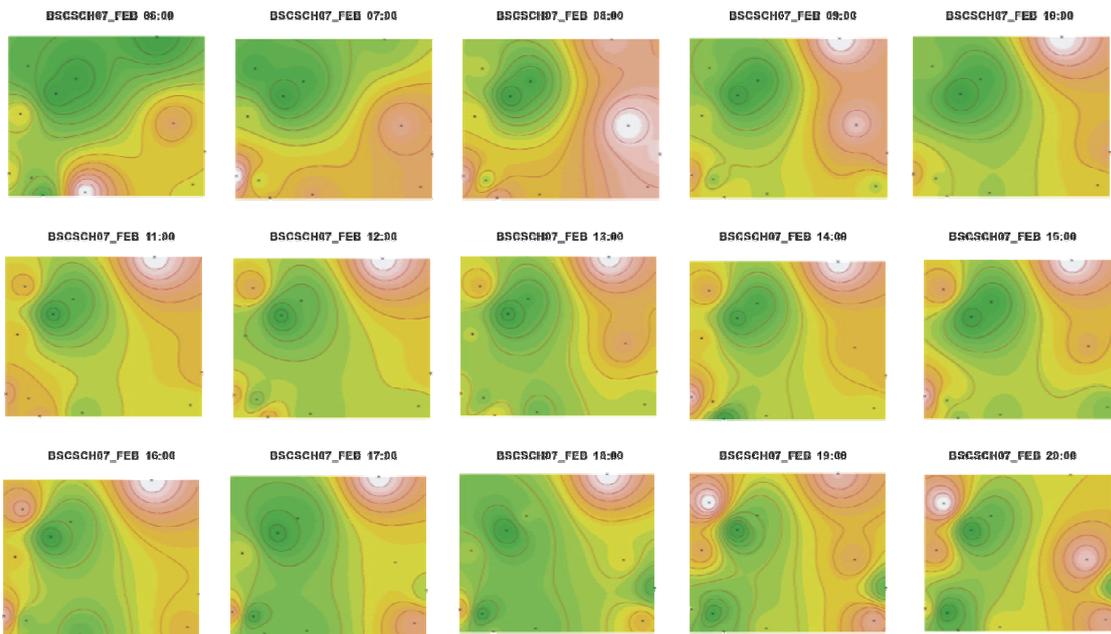


図-7 バンコクの基地局データから面的補間により人々の分布の時間変化を推定したもの（文献1）を引用

●補間・推定の方法

ここでは、実際に得られたデータに対して行う補間・推定の説明を行う。たとえば、集計的に得られた携帯基地局の人数データは、あくまで基地局ベースで断片的に得られるものなので、空間的補間（面的補間）を行うことになる。図-7は実際にバンコクの基地局のデータをもとにクリギング手法という面的補間を行う手法で求めたものである¹⁾。

また、携帯電話の場合は多かれ少なかれサンプルデータであるため、全数の流動を知りたいと思うと、何らかの拡大計算が必要である。ゼンリンデータコム社では、前述のオートGPSのデータに基づき、300m程度のメッシュ単位／1時間単位での流動人口の分布を統計化し、独自の拡大推計を行い「混雑度」として、人口分布の変化を出し、Web上で公表している（図-8、データそのものは、500mメッシュに再集計して市販）。

前述の「モバイル空間統計」でもHLRのような集計データがベースであるが、個人が特定できないよう「非識別化処理」を施した上で、いくつかの属性ごとに存在人数等を求め、携帯電話の普及率を加味して拡大推定する「集計処理」を行った上で少人数の除去を行う「秘匿処理」を行い算出している。

さらに、同様のデータでは、ソフトバンク系列のAgoop社の「流動人口推定データ」が市販されている。これは、同社の紹介資料によると、総務省の社会生活基本調査や国土交通省の航空輸送統計調査などの各種統計データや、各施設の定員等と突き合わせ、推定を行うことにより、日本全国を、500m/250mメッシュ、かつ、「月別」「曜日別」「時間帯別」の単位で人口変動を記録している。

一方、最近では、携帯関係のデータだけではなく、非集計ベースでの高精度な推定を試み、他の観測データや人の行動モデルと組み合わせて、より説得力のある推定・再現を行うやり方もある。具体的には、文献4)では、携帯電話を用いた発話行動のモデルを組み込み、基地局の観測データやパーソントリップデータを用いて、データ同化手法というアプローチで非集計ベースでの推定を行っている。

●総合的な比較

最後に、これまでの説明に沿って、総合的な比較を行ったものが表-3である。特にデータの収集の仕方はこれまで議論してこなかったが、何らかの同意があった場合にどのように提供するかについては、GPSチップ等、端末側での測位後に、データをア



図-8 混雑度マップ ((株)ゼンリンデータコム Web サイトより引用 <http://lab.its-mo.com/densitymap/>)

アップロードする手法が必要であり、前述のオートGPS サービスなどはそうした機能が含まれている。

一方でCDRのような網側で把握している情報を用いる場合は、特にアップロードそのものは不要であり、ユーザ側の手間はそれほどかからない。

幅広い利用に向けて

本稿では、今後さまざまな分野で利用が増えるであろう人々の流動データに対して、リアルタイム性、大規模性、継続性という意味で、最も有効な手段の1つと思われる携帯端末を用いた把握技術の紹介を行った。携帯端末は個人情報の塊であり、技術的には匿名化処理等により厳重に扱われ、制度的にはオプトインの原則が遵守される必要がある。その一方で、集約したデータは、経済活性化のための情報という側面もあると同時に、防災や社会統計等、公益に資する社会基盤情報でもあるため、国民生活にも大きくかわるものであり、ある一定の利用目的に

ついては、円滑なオプトインの実現を図っていきけるよう努力も必要である。

たとえば、アメリカのダートマス大学のグループでは、Opportunistic Sensing という研究がある⁵⁾。"opportunistic" というのは「相乗りした」「日和見主義的な」などのニュアンスがあるが、なるべくそのためだけに個別ばらばらと調査するというよりは、携帯電話の利用という行為に対してなるべくそこから分かることを使っていった方が無駄がないという趣旨であろう。

あるいは、CSIS では情報銀行 (<http://ibank.csis.u-tokyo.ac.jp>) というプロジェクトにも取り組んでおり、大事な個々人の位置情報等を預けてもらって、有効活用したサービスを提供していくというものである。

また、社会統計という意味では、少し分野は異なるが、道路交通センサスという車両の動態統計の中で旅行速度については、一般のプローブカーデータを使っていく検討も始まっている⁶⁾。

位置取得のタイプ	事例	ユーザの承諾	ユーザの手間	位置精度	
非集計 (※ 1)	GPS 測位によるもの (※ 2)	実用機で多数あり	必要 (※ 3)	何らかのアップロード必要	屋外は高精度, 屋内は取得できないことが多い
	携帯基地局測位によるもの (※ 4)	実用機で多数あり	必要	何らかのアップロード必要 (ただし基地局側で把握している可能性あり)	全体的に精度が粗いが通信が確保されれば取得可能
	Wi-Fi 測位によるもの	展開企業あり (※ 5) スマートフォンでは搭載	必要	左記ソフトの契約や何らかのアップロード必要	Wi-Fi がある程度, 設置・登録されていれば高精度 (20 ~ 40m)
	通話詳細記録 (CDR) を用いたもの	研究レベル	必要	不要	通信時のみの取得になるため不連続なことで, 基地局ベースの位置情報となるため粗い
	Twitter 等, ユーザからの意識的な情報発信によるもの	Twitter	承諾済み	ジオタグの場合は位置を意識した発信が必要	ジオタグの場合はピンポイント, 何も無いときは粗い
Foursquare (※ 6) 等, チェックイン系サービス		承諾済み	チェックイン行為が必要	チェックインする場所はピンポイントで位置が分かる	
集計	承諾の得られた GPS 測位データを集計し, 他データと合わせて推定したもの	「混雑統計」データ (図-8) (※ 7)	必要	不要	他のデータと合わせた何らかの面的補間や拡大手法が必要
	基地局に登録される人数の情報を利用	モバイル空間統計 (※ 8)	試行レベル	不要	他のデータと合わせた何らかの面的補間や拡大手法が必要
	基地局設計データ等からの推計によるもの	流動性人口推定データ (※ 9)	不要 (ログデータ等を用いていないため)	不要	他のデータと合わせた何らかの面的補間や拡大手法が必要. ログデータを用いていないのでリアルタイムな利用状況ではない

※ 1 非集計データの場合は集計することにより, 集計データとして扱うことも可能.

※ 2 AGPS も含む ※ 3 複数基地局測位やセルベース測位から構成.

※ 4 一部のサービス (たとえば (株) NTT ドコモのオート GPS を用いた i コンシェルサービスなど) は, 契約時にユーザの位置情報の提供承諾が必要.

※ 5 日本ではクウジツ (株), アメリカでは Skyhook, Inc. 等.

※ 6 日本では Foursquare や (株) ライブドアによるロケタチなどが存在. ※ 7 (株) ゼンリンデータコムによるもの (500m メッシュに再集計して市販)

※ 8 (株) NTT ドコモによるもの (未販売) ※ 9 (株) Agoop によるもの (市販)

表-3 携帯電話を通じて位置情報を集約する場合のさまざまなタイプ

このように, これらはまさに今, 動き始めている社会的にも重要な分野であり, 引き続き注視していきたい.

参考文献

- Horanont, T. and Shibasaki, R. : An Implementation of Mobile Sensing For Large-Scale Urban Monitoring, UrbanSense08 (Nov. 2008).
- Sekimoto, Y., Shibasaki, R., Kanasugi, H., Usui, T. and Shimazaki, Y. : PFLOW : Reconstruction of People Flow by Recycling Large-scale Social Survey Data, IEEE Pervasive Computing (Oct.-Dec. 2011).
- Gonzalez, M., Hidalgo, C. and Barabasi, A. : Understanding Individual Human Mobility Patterns, Nature, No.453, pp.779-782 (2008).
- Horanont, T. and Shibasaki, R. : Nowcast of Urban Population Distribution using Mobile Phone Call Detail Records and Person Trip Data, 12th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM 2011), Canada (July 2011).
- Lane, N. D., Eisenman, S. B., Musolesi, M., Miluzzo, E. and Campbell, A. T. : Urban Sensing Systems : Opportunistic or Participatory? In Proc. of Ninth Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (HotMobile 2008), USA

(Feb. 2008).

- 上坂克巳, 門間俊幸, 橋本浩良, 松本俊輔, 大脇鉄也 : 道路交通調査の新たな展開 ~ 5年に1度から365日24時間へ~, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, CD-ROM (2011).

(2011年9月2日受付)

関本義秀 (正会員) sekimoto@csis.u-tokyo.ac.jp

2002年より国土交通省国土技術政策総合研究所情報基盤研究室研究官. 2007年より東京大学空間情報科学研究センターで「人の流れプロジェクト」等を主宰. 現在, 「次世代社会基盤情報」寄付研究部門特任准教授. 工学博士.

Teerayut Horanont teerayut@iis.u-tokyo.ac.jp

2002年にアジア工科大学で修士, (株) オークニー等を経て2010年に東京大学工学系研究科で工学博士を取得し, 現在, 特任研究員. コンテクストアウェア, アーバンモビリティ.

柴崎亮介 (正会員) shiba@csis.u-tokyo.ac.jp

1988年より東京大学工学部助教授, 1998年同大空間情報科学研究センター教授, 2005~10年同センター長. 都市モデリング, 人や車両等移動体の計測等, 空間情報工学を開拓. 工学博士.