

研究概要書：四次元 GIS データを活用した都市空間における動線解析技術

プロジェクトリーダー名：高度情報化研究センター 情報研究官 川口真司
技術政策課題：(15) 安心・安全で活力ある社会の構築のための IT の活用
サブテーマ：
関係研究部：高度情報化研究センター 情報基盤研究室
研究期間（予定）：平成17年度～平成19年度
総研究費（予定）：約135百万円

1. 研究の背景と概要

近年、就業・集客施設の高層化、地下化が進み、複雑な都市空間への人の集中が進んでいる。それにより、例えば高層ビルを標的としたテロや地下街への浸水災害など従来の災害と異なる突発事象が増加しており、適切な避難路の確保と安全な誘導が必要である。また、マーケティング的な観点からは人の集中によって、六本木ヒルズや新丸の内ビルなどの魅力的な都市空間創出による経済活性化が期待されるため安全かつ円滑な移動の確保が必要となる。

一方で、IT 技術の進展により、GPS やデジカメ、レーザースキャナなど現状のモニタリングを行い、それらのデータを GIS で集計、視覚化する技術はある程度普及している。

しかし複雑な都市空間、多数の群集を対象にした場合、システムには X, Y, Z 方向に人の動線や災害事象の広がりや四次元的に表現し、時々刻々と変動する状況に対応、支援し、事後分析に円滑に活用する、といった一連の流れをスムーズに行うことは難しく結局実運用に結びつかないデモレベルで終わってしまうことが多い。

これらは、主に土木・建築・都市計画のような実世界を対象としている分野では、そもそも実世界の複雑かつ大量な情報を扱い全体を俯瞰してマクロな意思決定をする必要があるのに対して、既存の IT 技術のみでは処理して切れていないという現状がある。しかし今後社会がより迅速な意思決定を行っていくためには、既存の IT 技術を有効に組み合わせ、標準化を実用レベルにチューニングし、実運用のステージまで高めることが重要である

従って本研究では都市空間における人の動きにターゲットをあて、高さや時間情報を含んだデータを効果的に活用するための既存の IT 技術の組み合わせや標準化の適切なチューニングとそのための共通なマルチプラットフォームの構築を行い実証実験を行う。また今後の交通調査のより効果的な実施を目指す。

2. 研究の成果目標と活用方針

本研究の成果については2つの側面を持つ。一つはアプリケーションの視点から防災計画、マーケティング、都市計画、交通政策などの分野で適用事例の効率的な作成例を示すことにより、国土交通省の責務である安全・安心の確保が行われる。

もう一つは、共用性の高い四次元 GIS プログラムライブラリの作成、公開を行うことにより、民間がコンテンツ作成の基礎部分に費やしていた時間、コストをよりオリジナリティのあるデータ作成の方に振り分けることが可能となり民間市場の活性化が期待できる。

3. 研究内容

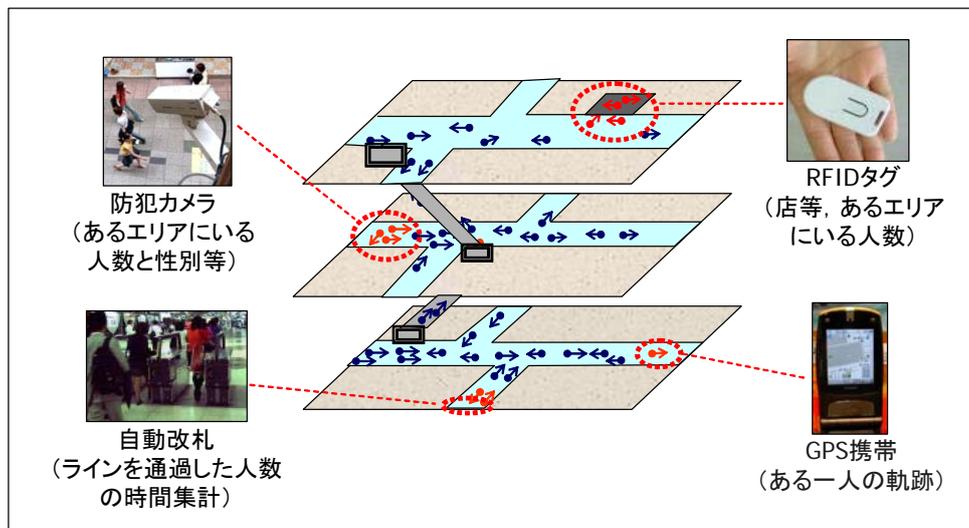
(1) 人の動線解析技術に関する研究

人の流れのモニタリング技術開発

人の流れをモニタリング（観測）する技術として、カメラやタグ、自動改札、GPS 携帯など様々なものがある。これらについて、個々の技術がどの程度の精度やコストであるかを整理するとともに、コンピュータ上で再現するには観測形態についてモデル化を行う。

中心的なモニタリング手法となるカメラについては、画像から顔らしきものを抽出し人数を計測するのは基本的には可能となっているものの、ラッシュ時のような非常に混雑した場合やカメラの角度から必ずしも顔が映らない場合はどの程度精度よく把握できるかについては不明であり検討が必要である。また、ある人の経路を追う場合には顔や服装、歩行方向などから特徴を抽出し、ある人をトラッキングし続ける必要が生じるがこれについてもどの程度の精度が得られるか検討を行う。

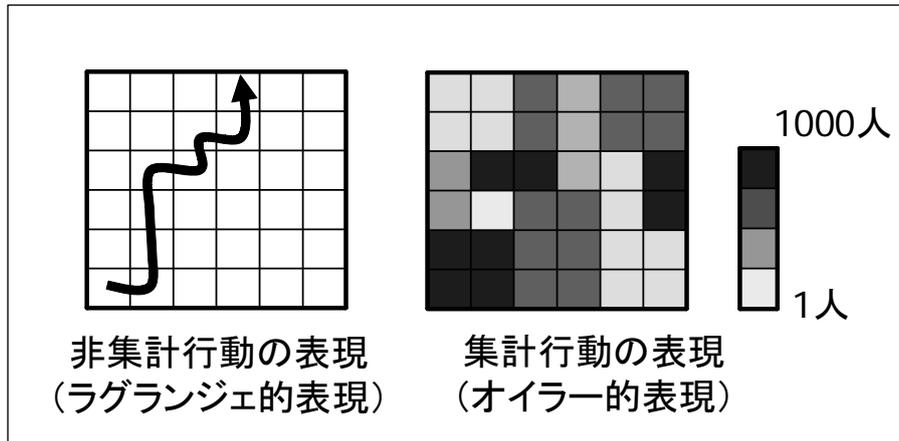
具体的なモデリング方法は、関本・柴崎（2000）の研究成果を参考とし、観測者は誰で（例：防犯カメラ）、何を対象に観測し（例：人の数あるいはある一人の位置）、どのような時空間範囲を対象にしている（例：カメラの可視範囲20m四方で常に撮影）、どの程度の誤差を保有しているか（例：3%程度の確率で抽出に失敗する）について整理し、カメラに限らず様々なモニタリング情報を蓄積・活用しやすい環境を構築する。



図：様々なモニタリング技術とそのモデリング

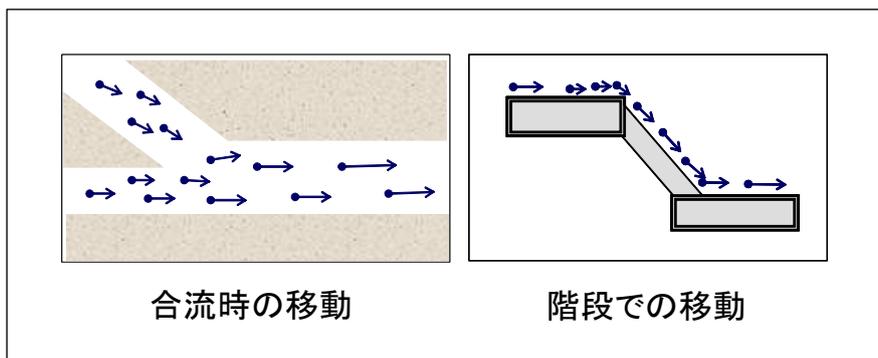
人の移動再現モデルの開発

モニタリング技術で得られた観測データから人の移動を再現する時には、いくつかの検討が必要になる。一つはそもそも人の位置に関する時間的変化をどのように表現するかである。基本的には非集計行動（ラグランジェ的表現）が得られるのが理想であるが、非集計データを得るのに非常にコストがかかることなどから全体を概観するには集計的な変化がわかればよいことも多く、集計行動の表現（オイラー的表現）についても検討する。



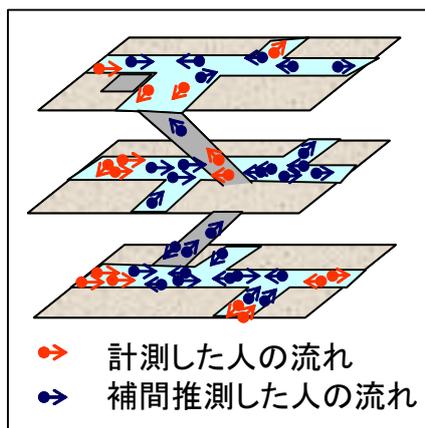
図：人の位置に関する時間的変化の表現

また、ある程度詳細に動きを再現する場合には、施設空間形状に応じた固有な動きをモデル化する必要がある。例えば、合流時の移動状況や階段での移動、混雑時・パニック時の移動がある。これらは主に建築分野などに研究の蓄積があると思われるので適宜参考にしつつ実装を行う。



図：様々な移動のモデル

さらに、配置されている観測だけでは全体が概観できない場合があり何らかの補間・推定技術が必要となる。例えば、カメラからカバーできないエリアの人の動きの推定や、GPS端末を保持した数%のサンプルから全体を推定する技術（クローニング技術）、あるいは10分に1回しか観測できないデータのその間の動きを推定する技術（時間的内挿）などが必要である。理論的なバックグラウンドの一つとして、観測データが尤もらしく（最尤推定）かつ、行動モデルに極力整合性が取れるように（ベイズ推定）という意味で、関本・柴崎（2003）の以下の式によって、時空間位置を推定している方法などがある。



図：計測データからの推定・補完技術

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} p(\theta | d) \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta \equiv (x, y, z, t)^t \\ d \\ p(\theta) \\ l(d | \theta) \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{地物の時空間位置シーケンス} \\ \text{地物の観測データ} \\ \text{知識に基づく地物の生起確率} \\ \text{尤度関数} \end{array} \right.$$

(最尤推定)

ただし $p(\theta | d) \propto p(\theta) l(d | \theta)$ (ベイズの定理)

図：ベースとなる推定式の例

対象規模のレベル分け

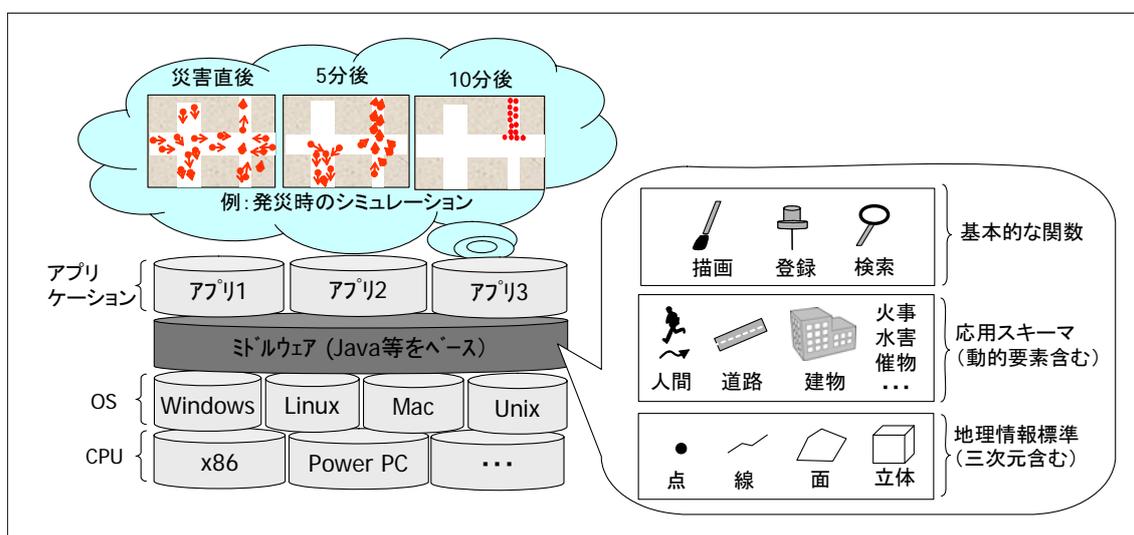
これらの再現技術においても、実際の実装方法は対象となる規模によってかなり変わってくるのが予想され、本研究では、大規模（都市圏全域レベル）・中規模（ターミナル駅周辺レベル）・小規模（1建物レベル）に分け、それぞれで検討・実証実験を行うものとする。とくに大規模レベルについては以下のような既存の全国データも活用することを想定している。

表：行政主体で整備している関連データ

データ名	調査主体	調査内容
パーソントリップデータ	大都市圏（国，都道府県，市町村）	サンプル（1割程度）の人々の一日の移動データ
大都市交通センサス	大都市圏（国，都道府県，市町村）	サンプルの人々の一日の鉄道利用データ
国勢調査	総務省	全数調査
道路交通センサス	国（道路局）	要所の車両交通量データ
デジタル道路地図データ	国（道路局）	1 / 2 5 0 0 0 レベルの道路ネットワークデータ
鉄道ネットワークデータ	調査中	調査中

(2) 解析・表示のプラットフォーム構築

GIS の分野においては、1990 年代から ISO/TC211 において国際的な地理情報の標準化が進んできている。日本においても TC211 をマッピングした地理情報標準を 1999 年に国土地理院が策定し現在第 2 版まで来ている。しかし、ソフトウェアの対応状況も芳しくない点と、単体のプログラムパッケージではないため大規模なシミュレーション等の科学技術計算はできないため、本研究で Java 等オープンでマルチプラットフォームな環境をミドルウェアとして構築し、地理情報の計算において広く活用することを目指す。ミドルウェアは、地理情報標準で定義されている基本要素（幾何形状要素や位相要素、時間要素）をベースとし実装し、道路（例えば路線名、中心線形状などを保持）・建物・人といった応用スキーマを準備し、登録、検索、描画といったいくつかの基本的関数を用意する。とくに人間という移動体については、実用性も考慮しアニメーション化や三次元的移動についても検討を行う。



図：四次元 GIS プラットフォームイメージ

(3) 交通調査の高度化検討

(1), (2) までの成果をもとに、今後の交通調査のあり方を検討する。具体的には、パーソントリップで現在では 1 割程度（東京都市圏では 88 万人）調査しているサンプル調査から全国調査への検討や、現在は調査原票データを集計し配布しているものに対し、プライバシーを保護しつつより詳細な経路データを活用可能とする検討を行う。さらに民間側データ（民間施設の入場者数など）も活用することを視野に協働的調査、データ整備なども検討し、双方のマーケティングに役立つ方向性を考慮する。また現在では調査から電子化、集計までそれぞれ年度を要しているのに対し、公表までの期間を短縮化、リアルタイム化することを検討する。

また、これらがバリアフリー、ユニバーサルデザイン、災害、交通結節点事業、建築基準法等の施策にどのように反映できるかについても検討を行っていく。

4. 年度計画

区分	17年度	18年度	19年度
1. 既存研究の整理			
2. 人の動線解析技術に関する研究			
3. 四次元 GIS のプラットフォームの開発			
4. 効率的なデータ取得手法の開発			

5. 実施体制

本研究は本省と国総研（都市，建築，災害等に関わる部局）を中心として研究会を開催し，地方自治体，鉄道事業者，ゼネコン，ディベロッパー，マーケティング等の民間企業を募り，共同的に実証実験を行う予定である。

研究会（案）

柴崎委員長（東京大学），羽藤助教授（愛媛大学），運政研，JR 東日本，鉄建公団，鹿島建設，都市施設研，情報基盤研，事務局（IBS）など

6. 関連研究の状況（主要なものの抜粋）

動線解析に関わるような人間行動モデルに関しては，位置特定分野全般で歩行者 ITS 等で多少蓄積があるものの，とくに避難行動モデルについては，散見される程度である。建物や都市の三次元モデリングについては，CAD，CG の製品レベルでは民間から出ているものとともに人間行動に関わる分析のためのシミュレーションや，ネットワーク解析のための三次元モデルはない。

一方，GIS データについては，地理情報に関する国際的な標準である ISO/TC211 を受けた国内の地理情報標準（国土地理院）が 1999 年に第一版が出ており，バージョンアップも進んでいる。一方で道路，河川等，各部局では標準化を活用する形で 1/500～1/1000 の大縮尺の基盤データ整備の検討が進んでいる。また，それらの効率的なデータ作成方法を検討した高精度 GIS（国総研：2002-2004 年度）の研究も行われている。CALS/EC の側面からはデータ更新の元となる工事の図面情報を CAD 形式で電子化するという意味で電子納品が直轄では 2004 年度からは全面的に導入されており GIS との連携も研究されている。

しかし，高さを含んだ三次元化や時間属性を加えた時空間化の側面からはまだアプリケーションの形が見えないことから検討がそれほど進んでいない。民間でもそのようなデータを扱えるアプリケーションが先行的にいくつか最近出つつあるところであるが，個別アプリケーションソフトとしてそれぞれ一体化されているために共用性は低く，あまり普及している状況ではない。

建築分野

片山恒雄，山崎文雄，目黒公郎，永田茂，大槻明，横山秀史．地震火災時の人間の避難行動に関する実験およびシミュレーション研究．Technical report，東京大学生産技術研究所耐震防災工学研究室，1994.

海老原学, 掛川秀史. オブジェクト指向に基づく避難・介助行動シミュレーションモデル. 日本建築学会計画系論文集, No. 467, pp. 1-12, 1995.

都市交通分野

大森宣暁. 詳細な時空間データを用いた活動交通シミュレーションに関する研究. PhD thesis, 2000.

内山, 星. 首都圏鉄道計画分析評価のための GIS の構築, 土木計画学研究・論文集, No. 15, pp. 705-712, 1998.

井口典夫, 渋谷・青山まちづくり研究会, <http://www.machiken.com/>

中野敦, 森田哲夫, 柴谷大輔, 原田昇, 山川修. 全国の都市における人の交通と生活に関する基礎的分析第 30 回土木計画学研究発表会・講演集, CD-ROM, 2004.

データ取得・計測

喜村祐二, 朝倉康夫, 羽藤英二. PHS による位置特定データを用いたイベント観客の行動分析. 土木計画学研究・講演集, 第23 巻, pp. 279-282, 2000.

山根高志, 小松喜一郎, 眞鍋信太郎. 本厚木駅前広場における歩行者の流動について-ビデオ撮影調査による歩行者流動パターンの把握-. 日本建築学会大会, 2000.

Zhao, H., R. Shibasaki, "A Novel System for Tracking Pedestrians using Multiple Single-row Laser Range Scanners", to appear at IEEE Trans. SMC Part A, 2004.

再現手法

関本義秀, 柴崎亮介, 多様な観測データや知識を用いた地物の時空間変化の再構成手法, GIS-理論と応用, Vol.11(2), pp.123-132, 2003.

地理情報の標準化

Temporal schema, ISO/TC211, 1998.

Spatial schema, ISO/TC211, 1999.

柴崎亮介, 村上広史, 村尾吉章, 三宅敏和, 太田守重, 黒岩昇, 山本謙, 大野武士, 笹川正, 渡辺誠, 津留宏介. わが国におけるGIS 標準化の現状と課題. 写真測量とリモートセンシング, Vol. 38, 1999.

太田守重. GIS のための時空間スキーマ. GIS ー理論と応用, Vol. 7, No. 1, 1999.

大沢裕, 金景月. 離散的な時系列管理方式の一提案. 地理情報システム学会講演論文集, pp.107-112, 1998.

関本義秀, 柴崎亮介, 時空間データベースのダイナミックな更新を目指した概念データモデルの提案, GIS ー理論と応用, Vol.8(1), pp.63-73, 2000.

建設情報の標準化

青山憲明, 成果品の電子納品要領(案)・基準(案)の策定および改定, 建設マネジメント技術, 2003. 11, pp. 29-32, 2003.

滝本悦郎, 国土交通省における電子入札・電子納品の取り組み, 建設オピニオン, Vol. 11, No. 6, pp. 8-12, 2004.

「四次元GISデータを活用した都市空間における動線解析技術の開発」研究マップ

課題① 高精度GISの利活用アプリケーション及びデータ整備に関する研究

課題② 歩行者ITSに関する研究

課題③ リアルタイム災害情報システムに関する開発

課題④ 電子国土(国土地理院)

分野・対象	研究項目	ニーズ・課題の整理	技術開発			政策化	
			概念レベル	実装レベル	共通基盤レベル	検討	展開
人間行動のモデリング, データ取得	データ取得	①					
	行動モデリング						
	取得データからの推定モデリング						
都市・建物の三次元化	CADの三次元化						
	交通行動用の三次元ネットワークモデル						
災害への活用	公共空間の設計	②					
	避難誘導等, 防災計画	③					
都市交通への活用	都市計画への活用						
	交通調査への活用						
プラットフォーム		④					

かなり研究が進んでいる領域
 いくらか研究が進んでいる領域
 ほとんど研究が進んでいない領域
 国総研が過去に取り組んできた研究領域