

(30) 都市空間における効率的な動線解析の共通基盤のあり方について

Study of Information Platform for People Flow Analysis in Urban Area

関本義秀¹・薄井智貴²・金杉洋³・増田祐介⁴

Sekimoto Yoshihide, Usui Tomotaka, Kanasugi Hiroshi, Masuda Yusuke

抄録：本研究では、ビジネスレベルでの利活用を念頭に置いた都市空間における多数の人々の位置データの品質の確保とその処理のための共通基盤のあり方をまとめ、人の動きに関して様々なところで行われる調査データの処理負担を軽減し、調査の迅速化・リアルタイム化や、より本質的な問題の分析への注力を目指すものである。具体的には、人の流れデータについてのニーズ・シーズを概観し、それらを踏まえ実用レベルでの利活用を念頭においた上で、効率的なデータの処理を行えるような動線解析プラットフォームの WebAPI を定義・実装し、実際のパフォーマンス計測等を行い、概ね実用上問題ないことを確認した。

キーワード：動線解析技術、共通基盤、人の流れ、WebAPI

Keywords: flow analysis, common platform, people flow, WebAPI

1. はじめに

近年、都市内において、地震や火災発生あるいは大規模イベント開催における混乱に伴う二次的災害や、ターミナル駅等の交通結節点における混雑などを解消する必要性から、ダイナミックに時々刻々と変動する多くの人々の流動を日常的に把握する必要が出てきている。たとえば公共施設管理者のような、より安全、快適な空間を構築し、適切な交通政策を立案する立場からは、ダイナミックに変化する人々の動きを総合的すなわち面的に把握することが必要不可欠である(例えば医療分野ではOhkusa¹⁾、江島²⁾、防災分野では八木³⁾など)。また、民間分野においてもたとえば屋外広告では個別空間ごとに見られる頻度が異なるため、人の通行量に応じた場所ごとの価格体系等が存在し、無駄のない広告活動を支える重要な情報源となっている。

一方で技術的には、従来のパーソントリップ調査のような統計調査による静的データに加え、各種計測技術の発展により、GPS・PHS等を用いた個人の移動経路(例えば羽藤⁴⁾、Gonzalez⁵⁾など)、CCTVカメラを用いた面的な人数、ICタグを用いた自動改札による駅の乗降客数、携帯電話基地局等への端末登録数(例えばRatti⁶⁾など)、あるいはデパートの時間帯別来場者数など、様々な切り口で人の移動について計測できるようになってきている。また表示手法についてもCG、GIS、CAD技術の進展により、都市圏全体のような広域の二次元空間で多数の人の集中状

況を俯瞰したり、ターミナル駅内部のような狭域の三次元空間での局所の人の動きの特性を分析するといった、よりリアリティを持たせつつ全体を視覚化することも可能になってきている。

しかし、上記のような人々の流れに関する調査・計測の実データをビジネスレベルで流通可能にするには、大量のデータの品質をある程度そろえることが必要であり、調査・計測からデータの加工・蓄積、表示・提供に至るまで一連の流れをバランスよく効率的に処理することが重要である。しかし実際に、そのような処理プロセスは、非常に重要であり、かつ労力を要する部分であるにもかかわらず、個々のノウハウに依存してその場しのぎ的かつブラックボックス的に行われていることが多く、その結果として、時間的にも費用的にも長期、高コストとなり、最終的なビジネスレベルの利活用までに行き着くことはなくあまり議論されていないのが現状である。

従って本研究では、ビジネスレベルでの利活用を念頭に置いた大量の人々の位置データの品質の確保とその処理のための共通基盤のあり方について概観し、現状のニーズ等をある程度想定し、効率的なデータの処理を行えるような動線解析プラットフォームの基本的な考え方や基本的な構成を説明し(2章)、その後、パフォーマンスの妥当性やその利用例を説明した(3章)。また、最後に結論や今後の課題を整理した(4章)。実際にこれらは東京大学空間情報科学研究センターにおける「人の流れプロジェクト」⁷⁾サイトでWebAPIサービスとして2008年から提供し

1：正会員 工博 東京大学空間情報科学研究センター 特任准教授

(〒277-8568 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, Tel :04-7136-4308, E-mail : sekimoto@csis.u-tokyo.ac.jp)

2：正会員 工博 東京大学空間情報科学研究センター

3：非会員 環修 東京大学空間情報科学研究センター

4：非会員 工修 (株)長大 社会事業本部

ているものである。

2. プラットフォームの基本的な考え方

ここでは、1章で述べた人の流れに関するニーズ、シーズを踏まえ、プラットフォームでの基本的な考え方を述べる。

(1) データ定義と仕様

具体的には、ベースとなるデータの仕様は各固定時間単位で、時空間位置を緯度経度で表現することとした。実際の調査や計測データでは、固定時間単位で必ずしもデータを取得できる訳ではなく、実際に一定の時間解像度でデータベース化しようとする、内挿等が必要となる。しかしユーザーサイドに立てばタイムスライスでの検索ニーズも高いと思われ、予め内挿を行っておく意義が高いと判断してそのようにしている。実際に筆者らは、断片的な時空間データである数十万人レベルのパーソントリップ調査データを用いて、1分間隔の時空間位置を求められるように、時空間内挿を行っている^{8), 9)}。

また、実用的にも、それらのデータは多量であり、円滑な検索ができるようにするには、適切なデータベース設計なども必要となる。時空間データベースそのものの研究も多数あるものの、ここでは、単純な構造で高速な検索を実現するために、該当オブジェクトを時空間検索で特定するための検索用テーブルと、実際にオブジェクト単位で時空間位置のデータを保持したテーブルの2層構造とした(表-1)。とくに、検索用テーブルは時間ごとにテーブルを作成することとし

た。

(2) WebAPI の仕様

次に、そのデータベースに基づいてユーザーにサービス提供を行う WebAPI の仕様である。大きく分けると、マップマッチングや経路探索のような、ユーザーが何らか提供したデータを処理するクリーニング機能と、すでに蓄積している人の流れに関するデータを検索する機能になる。具体的な WebAPI は表-2に示した通りだが、検索関係についても、時空間検索により該当するオブジェクト ID を取得する GetPIDList や、オブジェクト ID に対応する時空間データ列等を取得する GetFlowData、指定した一つのタイムスライスからある空間内に存在する人々の時空間位置をを取得する GetDistributionData を用意している。

また、紙面の都合上、ここでは割愛するが、こうしたサービスを全国ベースで行う際には、経路探索を行う際に鉄道や道路のネットワーク(位相データ)や、鉄道の所要時間データベースが必要であるし、1分間隔等、短時間での詳細な時空間内挿を行う場合は詳細なネットワークの形状データが必要となる。

表-1 人の流れデータを格納するテーブル構造

オブジェクトテーブル
(全オブジェクトID分を1つのテーブルに格納)

カラム項目	データ型 (桁数)	データ例
オブジェクトID	VC(10)	34748
性別	C(1)	1
年齢	VC(3)	9
住居地(ゾーンコード)	VC(10)	10701301
職業	C(2)	1
拡大係数	N(6,0)	12
拡大係数その2	N(6,0)	12
時刻T0000のデータ	VC(255)	
トリップ番号, サブトリップ番号, 移動目的コード, 交通手段コード, 経度, 緯度(カンマ区切り)(※1)		1,1,99,97,1 30.732647, 33.833945
時刻T0001のデータ	VC(255)	...
同上		
...		
時刻T2359(※2)	VC(255)	...
同上		

(※1) 交通手段変化点で2点ある場合は/で区切るものとする

(※2) 実際には、DBソフトの制約上、午前と午後でテーブルを分けている

(※3) VC: 可変長文字列, C: 固定長文字列,
N: 数値(桁数, 小数点以下桁数), DATE: 日付と時刻

(※4) 下線のカラム項目は主キー

時空間検索用テーブル
(時間ごとにテーブルを作成)

カラム項目	データ型 (桁数)	データ例
オブジェクトID	VC(10)	63333
トリップNO	N(8)	2
サブトリップNO	N(8)	5
日時	DATE	00-10-02
経度	N(15,10)	141.583566
緯度	N(15,10)	42.909082
時間間隔	N(2)	1
メッシュ番号	VC(15)	5235-57-62-1711
オリジナルフラグ	C(1)	1
性別	C(1)	1
年齢	VC(2)	15
住所	VC(10)	21711601
職業	C(2)	11
目的	C(2)	99
拡大係数	N(6)	29
拡大係数その2	N(6)	29
交通手段	C(2)	97
出発日時	DATE	00-10-02
到着日時	DATE	00-10-02
登録日時	DATE	10-01-13
調査ID	VC(5)	98TKY

表-2 WebAPI の仕様概略

API	機能	入力／出力		
		入力		出力
マップマッチング	任意点の道路近傍点取得 【GetNearestRoadPoint】	任意の点座標より、道路ネットワークにおけるその位置の近傍座標を、ネットワークの補間点レベルで取得する。	- 点座標 [必須] - 道路種別 [オプション] - 路線番号 [オプション]	- 近傍点座標 - 道路種別 - 路線番号 2 次メッシュコード
経路探索	道路の経路探索 (点座標指定) 【GetRoadRoute】	任意の点座標 (起点、終点、経由点) より、それら地点を結ぶ道路上の最短経路を取得する。	- 起点座標 [必須] - 終点座標 [必須] - 経由点座標 [オプション] - 道路種別 [オプション] - 路線番号 [オプション] - 出力経路数 [オプション]	- 経路座標リスト - 経路延長
	鉄道の経路探索 (駅指定、点座標指定) 【GetRailRoute】	任意の駅 (起点、終点、経由点) より、それら地点を結ぶ鉄道上の最短経路を取得する。	- 起点駅 (駅名または座標) [必須] - 終点駅 (駅名または座標) [必須] - 位置単位指定 (駅名または座標) [必須] - 経由駅 (駅名または座標) [オプション] - 出発／到着日時 [オプション]	- 経路座標リスト - 通過駅 - 駅出発／到着日時
	鉄道の経路探索 (鉄道駅までの道路の経路探索含む) 【GetMixedRoute】	任意の点座標 (起点、終点、経由点) より、それら地点を結ぶ道路及び鉄道経路を取得する。	- 起点座標 [必須] - 終点座標 [必須] - 経由点座標 [オプション]	- 経路座標リスト - 通過駅
時空間内挿	時空間内挿の実施 【GetSTInterpolatedPoint】	任意の時空間位置 (起点、終点の時空間位置) より、それらを内挿する時空間位置を取得する。	- 起点日時 [必須] - 終点日時 [必須] - 起点座標 [必須] - 終点座標 [必須] - 内挿時間間隔 [オプション]	時空間位置座標リスト
データ検索	時空間検索に該当する PID リストの取得 【GetPIDList】	時空間内挿済みの登録 PT データ、検索条件に一致する PID リストを取得する	- 調査 ID [必須] - 時空間範囲 [必須] - 属性 [オプション] - オブジェクトの選択 [オプション] [全数かランダムサンプル] - 指定条件 通過または滞在 [オプション]	PID リスト (区切り文字つき)
	PID に該当するオブジェクトデータの取得 【GetFlowData】	時空間内挿済みの登録 PT データから、PID を指定し、該当する PID の指定時間範囲分のデータセットを取得する。	- 調査 ID [必須] - PID [必須] - 開始日時 [必須] - 終了日時 [必須]	時空間位置座標リスト (指定時間範囲分)
	時空間位置情報の取得 【GetDistributionData】	時空間内挿済みの登録 PT データから、指定した検索条件と一致する人々の時空間位置に関する情報を取得する。	- 調査 ID [オプション] - 検索条件 (*1) [オプション]	- 時空間位置座標リスト - レスポンスリスト
	時空間位置画像の取得 【GetDistributionImage】	時空間内挿済みの登録 PT データから、指定した検索条件と一致する人々の時空間位置に関する情報について、ネットワークデータを背景とした画像として取得する。	- 調査 ID [オプション] - 検索条件 (*1) [オプション] [必須] [必須]	出力画像
その他	座標変換 【TransformCoordinate】	平面直角座標、経緯度、日本測地系、世界測地系の各種座標変換を行う。 *2	- 座標 [必須] - 変換内容 [必須]	変換後座標

*1 検索条件は、以下の通りである。実際に指定する値等詳細については動線解析プラットフォーム WebAPI 仕様書を参照のこと。

【空間指定 (任意)】中心座標 (経度、緯度)、距離単位指定、縦距離、横距離 【日付指定 (必須)】日付、時刻 【属性指定 (任意)】交通手段、性別、年齢

*2 国土地理院提供の計算式を利用。

3. ケーススタディ

ここでは、これらの WebAPI が実際にどのようなレスポンスであるかを検索を行った結果を示す。具体的には Web やデータベースソフトとしては、Oracle10g と Apache Tomcat を使い、HTTP リクエストベースで取得を行った際の処理速度計測を行った。表-3 が基

本的な API のテスト結果である。いくつかの API では 1000 回繰り返すなど、平均的な値をとるように努め、実用上概ね問題ないであろうレスポンスを得ることができた。とくに時空間検索時のキーとなる GetPIDList のレスポンスが時空間範囲の広さに対して、どうなるかをまとめたのが表-4 であり、時間は 2 分、1 時間、24 時間というケース、空間は 1 次メッシュ、2 次メッ

表-3 基本機能の処理速度

各WebAPI	テスト内容	秒数	備考
GetNearestRoadPoint	一次メッシュ内(6441:札幌近辺)にランダムに1000回の点を取り実施	2.0s	1km以内に近傍点が見つからないケースがある。
GetRoadRoute	一次メッシュ内(5339:関東)でランダムに1000回の点を取り実施	3.0s	ルートが見つからないものがある
GetRailRoute	一次メッシュ内(5235:大阪)でランダムに1000回の点を取り実施	0.67s	ルートが見つからないものはなかった
GetSTInterpolatedPoints	二次メッシュ内(503033:福岡)でランダムに1000回の点を取り実施	14.1s	一次メッシュ内の検索値
GetPIDList	(駅の通過人数を想定するようなもの) ・時間検索(10分) ・空間検索(駅周辺など)	※	※詳細は表-4を参照
GetFlowData	PIDを指定して24時間分のトリップを取得する	0.80s	インデクス作成時の値

表-4 時空間検索(GetPIDList)に関する処理速度と時空間範囲の関係

		上段:検索結果の人数(人), 下段:検索秒数(秒)					
時間範囲		2分(0800-0801)		1時間(0800-0859)		24時間(0000-2359)	
空間範囲		通過	滞在	通過	滞在	通過	滞在
メ ッ シ ユ	一次メッシュ (5339)	551,956 / 15.438	551,518 / 14.688	561,935 / 267.25	546,619 / 273.937	タイムアウト	
	二次メッシュ (533945)	36,609 / 1.250	35,577 / 2.953	64,942 / 29.703	27,625 / 28.297	タイムアウト	
	三次メッシュ (53394525)	763 / 1.047	574 / 0.375	7212 / 5.625	371 / 5.281	23,818 / 145.00	19 / 135.484
緯 度 経 度	中心座標(35.666669, 139.500001) 矩形範囲(縦 74271m×横 91143m)	553,045 / 14.485	552,590 / 17.250	562,903 / 189.109	547,659 / 192.453	タイムアウト	
	中心座標(35.708335, 139.687549) 矩形範囲(縦 9279m×横 11314m)	36,651 / 1.172	35,592 / 1.000	64,945 / 25.859	27,645 / 23.906	タイムアウト	
	中心座標(35.687503, 139.69375) 矩形範囲(縦 928m×横 1134m)	759 / 0.063	575 / 0.031	7174 / 2.500	371 / 0.969	23,692 / 103.015	19 / 101.781

シュ, 3 次メッシュのケースの組み合わせで計測している。この結果として, 時間範囲として 24 時間や, 空間範囲として 1 次メッシュを, 一回の WebAPI で一度に取得することを避け, 複数回利用にわけて取得する形にすれば, 実用上はおそらく問題ないであろうことがわかった。

4. まとめ

本研究では, 都市空間における効率的な動線解析の共通基盤のあり方について, 動線解析プラットフォームを構築し, 共用性が高いと思われる処理関数を WebAPI として定義・実装を行い, パフォーマンステストを行い, 実用上問題ないことを確認した。実際にこれらは 2008 年から使われ改良等も重ねられているが, 今後, ユーザーの利用状況等の分析も行ってみることとしたい。

参考文献

- 1) Ohkusa Y., & Sunagawa, T. : Application of an individual-based model with real data for transportation mode and location to pandemic influenza, Journal of Infect Chemother, Vol.13, 380-389, 2007.

- 2) 江島啓介, 鈴木秀幸, 合原一幸: 東京都市圏パーソントリップ調査データに基づく新型インフルエンザ感染伝播の数理モデリング, 運輸と経済, Vol.70, No.1, 54-62, 2010.
- 3) 八木浩一: 広域災害時の交通状況監視を目的とした 4 帯電話基地局情報の解析手法の開発, 第5回 ITS シンポジウム 2006, 2006.
- 4) 羽藤英二, 朝倉康夫: 時空間アクティビティデータ収集のための移動体通信システムの有効性に関する基礎的研究, 交通工学, Vol.35, No.4, pp.19-28, 2000.
- 5) Gonzalez, M., Hidalgo, C., & Barabasi, A.: Understanding individual human mobility patterns, Nature, 453, 779-782, 2008.
- 6) Ratti, C., et al: Mobile Landscapes: using location data from cell phones for urban analysis, Environment and Planning B: Planning and Design, Vol. 33, No. 5, pp.727-748, 2006.
- 7) 東京大学空間情報科学研究センター: 人の流れプロジェクト, <http://pflow.csis.u-tokyo.ac.jp> (確認: 2011.7.28)
- 8) 関本義秀, 菊地英一, 佐藤圭一, 秋山祐樹: パーソントリップデータを活用した人の流れの時空間的な詳細化, 第 28 回交通工学研究発表会論文集, pp.197-200, 2008.
- 9) Sekimoto, Y., et al : Reconstruction of people flow by recycling large-scale fragmentary social survey data, IEEE Pervasive Computing, 2011 (Accepted).