

- 特定の範囲における人口の時間変化

任意の範囲を選択することで、その範囲における人の流れを把握することができる。また、人の流れデータセットに含まれる属性情報を用いて、様々な観点からの把握が可能である。例えば、選択した範囲内にいる人口を性別、年齢、職業、交通機関、トリップの目的別に把握することができる。また、検索する時間と何分区切りかも選択できる。その例を以下に示す。

Cairo と Hanoi で以下の場所を選択し、そこでの人口を取得した。なお、人口は午前5時から午後6時を10分区切りで取得した。Cairo では全人口、Hanoi では男女別に人口を取得した。

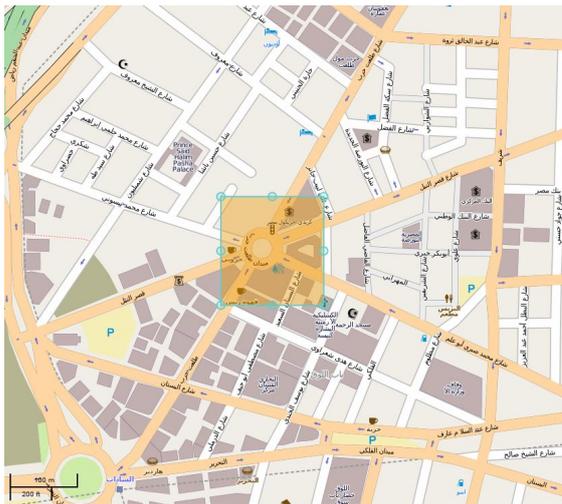


図 5.18: 選択した場所 (Cairo)

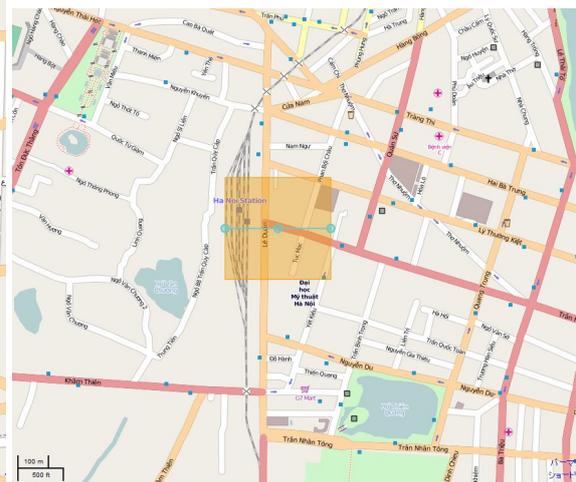


図 5.19: 選択した場所 (Hanoi)

上の選択した場所での人口の時間変化を10分区切りのヒストグラムで表すと以下のようになる。

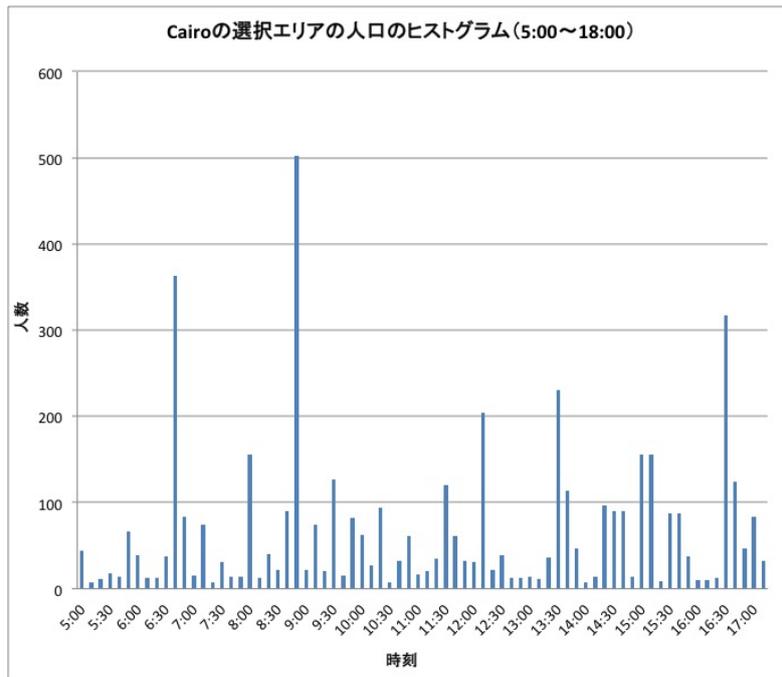


図 5.20: 選択された場所での人数の時間変化 (Cairo)

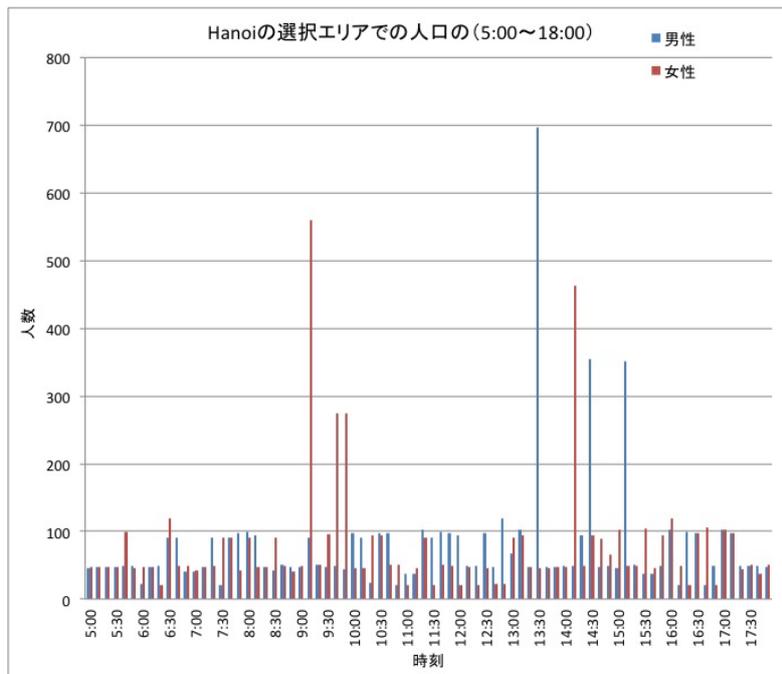


図 5.21: 選択された場所での人数の時間変化 (Hanoi)

5.4.4 まとめ

本研究では、日本国内のように信頼性の高い人口データが存在しなかったため、全球で整備されている人口グリッドデータ LandScan データとの比較により、データセットの検証を試みた。しかし、東京での国勢調査を用いた LandScan の精度評価からもわかるように、LandScan データの精度は必ずしも良いとは言えない。また、本研究で構築しているデータセットは 24 時間を 1 分区切りであり、時間的に詳細なデータセットであるのに対して、LandScan データは 24 時間平均の人口の値が与えられおり、時間的に詳細ではなく全球で統一された定義のメッシュで集計されている、という点に価値があるデータであると考えられる。さらに、人の流れデータセットの対象となる人口と、対象地域内の LandScan から得られる人口に大きな差が見られる都市がある。表 5.9 の「拡大済み人口」は、トリップデータに含まれる拡大係数を用いて算出された人口で、人の流れデータセットから集計され得る人口の総計である。「JICA-PT 調査対象人口」は、JICA-PT 調査の事前調査によって集計された人口である。(Jakarta, Hanoi の報告書には、記述なし)「LandScan 人口」は、対象地域内に含まれる LandScan メッシュ全てを合計したものである。

から、JICA-PT 調査で算出している対象調査エリア内の人口と、LandScan の人口に差があることがわかる。また、都市によってこの 2 つの人口の差は異なっている。例えば、Ho Chi Minh と Hanoi では、これら二つの値はほぼ同等であるが、他の都市では「拡大済み人口」が「LandScan 人口」の半数程度かそれ以下である。この原因としては、次の 2 点が考えられる。一つは、JICA-PT データ内の無効なデータが人の流れデータセットに反映されていないため、「拡大済み人口」が目減りしていること。もう一点は、LandScan データが実際よりも人口を過大に推計してしまっている。

このような問題点があるため、LandScan データが本研究の検証用のデータとして適していないと考えられ、LandScan データとの比較による人の流れデータセットの検証をすることは難しいと考えられる。また、LandScan データの精度評価は、第 3 章で行った評価だけでは十分ではなく、別途研究を行う必要もある。

ここでは、以下の 2 点のことがわかった。

- 人の流れデータセットから人口をメッシュ集計することが容易に行えること。
- 精度の保証されている人口グリッドデータと比較を行うことで、データ検証がすぐに行える。

つまり、詳細で正確な集計人口データがあれば、直ちに人の流れデータセットの検証を行うことができる状態である。

表 5.9: トリップデータに含まれる人口

都市	トリップ数	サンプル数	拡大済み人口	JICA-PT 調査対象人口	LandScan 人口
Manila	468,644	176,025	10,200,000	9,454,040	19,294,745
Cairo	268,213	132,882	7,531,493	約 10,776,000	16,625,888
Jakarta	1,083,071	430,846	14,854,299	–	23,323,111
Ho Chi Minh	262,330	94,564	6,401,684	7,653,000	6,680,573
Hanoi	3,415,860	63,341	3,415,860	–	3,472,143

第6章 結論と今後の展望

6.1 本研究の成果

本研究では、既存の人の流れデータセット構築手法を発展途上国諸都市における交通統計に適用する際に、発生する課題を解決する新しい人の流れデータセット構築手法を提案した。

従来の人流れデータセット構築手法を JICA-PT に適用すると、時間的偏り、空間的偏り、道路ネットワークデータの品質低さ、という3つの課題があった。時間的平滑化によって時間的偏りを、空間的平滑化によって空間的偏りを、道路ネットワークデータ補正処理によって道路ネットワークデータの品質の低さをそれぞれ解決した。アンケート回答者の実際の出発・到着時刻を未知であるため、理論的に1分区切りという特性を持つデータを平滑化することができる手法であること、様々な都市に適用する汎用性を持っていること、の二つの条件を満たす手法を採用した。

本研究で扱っているようなアンケート調査では出発・到着時刻に偏りがあり、カーネル密度推定を行うことで、偏りのある時刻の平滑化を行った。また、カーネル密度推定のバンド幅を選定する際に、設定が必要なパラメータを使うことなく、自動的にバンド幅を選定する手法を提案した。このような自動的にバンド幅を選定する手法は少なく、時刻の平滑化の研究に適用した事例はほとんどない。本研究で扱ったようなアンケート調査に含まれる時刻には、ほぼ誤差が存在するため、アンケート調査の時刻を対象とする研究に貢献できる。

従来手法では、PT 調査エリアのジオコーディングを行う時、調査エリアの代表点の座標に変換を行っているだけであった。人の流れデータセット構築は、今まで日本国内を中心に行われてきた日本国内では、調査エリアが詳細に定義されているため、空間的な偏りはあまり存在していなかった。しかし、本研究で使用した JICA-PT データの調査エリアは、都市の中心部以外は比較的大きいことが多く、そのような調査エリアで空間的偏りが存在していた。空間的平滑化を行うことで、この空間的偏りを解消することができた。空間的平滑化は、全球で整備されている土地被覆データと人口グリッドデータを用いて行われており、グローバルに利用可能なデータを使い、より尤もらしい人口分布を反映した空間的

平滑化をすることができたと考えられる。急速な都市化・人口増大により、都市の人の流れの把握のニーズが急増している発展途上国の諸都市では、詳細な人口分布データを入手することは難しいことが多く、このような都市での人の流れを把握する研究に貢献できるだろう。

本研究で道路ネットワークデータとして利用した OSM には接続されるべきリンクが接続されていない、交差点にノードが存在していない、などトポロジー構造が保持されていないなどの品質の問題があり、OSM を使った経路探索に課題があった。ノードマッチング処理を行うことで、トポロジー構造を再構築し、経路探索が行えるようになった。また、本研究で定義した迂回率という指標などを用いて、道路ネットワークデータの品質の評価も行った。トポロジー構造が保持されていないが、OSM は世界中で急速に整備が進んでいる貴重な道路ネットワークデータであり、この道路ネットワークデータの補正により、OSM を経路探索に使用することができる。

このようにして構築された人の流れデータセットは、都市における様々な側面からの人の流れの把握することができるデータセットである。人の流れを詳細に把握するためのデータとして、GPS や携帯のログデータなどが先行し、PT データのようなアンケート調査は OD 分析や交通機関分担率の分析程度にしか使われていなかったが、本研究で提案している人の流れデータセットの構築手法を用いることで、より活用の幅が広がる。また、この人の流れデータセットは豊富な属性情報が含まれており、様々な側面からの人の流れの把握が可能である。また、確立されたサンプリング手法から算出された拡大係数が含まれており、理論的には対象地域の人口を全てカバーすることができる。都市での全人口の 1 分おきの行動に関するデータは入手がほぼ不可能であるため、このデータセットの完全な検証を行うこともほぼ不可能であるといえる。そこで、利用の際はこのデータセットが JICA-PT データから構築されたものであり、データセットの精度等も JICA-PT データに依存していることに留意しておく必要がある。

6.2 今後の課題

6.2.1 時間的平滑化手法の改良

本研究で提案した時間的平滑化手法は、本研究で対象としたデータの特性と汎用性のみを考慮したものであった。しかし、本手法で平滑化された時刻が実際の出発・到着時刻であるとは限らない。より再現性の高い時間的平滑化を行うためには、アンケート調査において回答者がどのように時刻を丸めるかを考慮した時間的平滑化を行う必要がある。アン

ケート調査の時刻の丸め方に関する既存の研究はほとんど存在しないため、実際に調査を行うなどの必要があると考えられる。また、バンド幅選定や密度推定自体のアルゴリズムなども改善する必要がある。

6.2.2 空間的平滑化手法の改良

本研究で提案した手法は土地被覆データ、人口グリッドデータから人口分布を推定して行う手法であった。住宅地図やそれに居住者の情報が付加されているデータが既に存在する、または今後入手が可能である場合、そのデータをもとに行う空間的平滑化へと改善する必要がある。

6.2.3 道路ネットワーク補正手法の改良

本研究の提案手法により、経路探索ができるように OSM を補正する際に、迂回率や経路探索成功率を基準に道路ネットワークデータの品質の評価を行ったが、より詳細な評価が必要である。提案手法では、ノードマッチング処理のみを一様に行っており、接続すべきでないネットワークが接続されてしまっている可能性があるからだ。道路ネットワークデータ構築に関する既存の取り組みからもわかるように、最終的には地道なマッピング作業が、高品質な道路ネットワークデータに不可欠であることも事実である。OSM に関しては、マッパーに対するマッピングのルールの周知などが重要である。

6.2.4 時空間内挿処理手法の改良

本研究の提案手法では、最短経路を最適な経路として時空間内挿を行い、人の流れデータセットを構築している。しかし、実際の都市内のトリップは最短経路ではないこともある。この点を考慮した経路探索を行う必要がある。また、本研究では道路ネットワークデータのみを使用しているが、鉄道、水路などもネットワークデータに追加する必要がある。また、提案手法では経路をトリップ時間で等分して内挿を行っているが、トリップ中の滞留も考慮する必要がある。

6.2.5 人の流れデータセットの精度検証

本研究では、構築された人の流れデータセットと LandScan データの比較を行ったが、LandScan 自体の精度やデータ構成（24 時間平均の人口のみ）などが検証用データとして

適していないため、検証を行うことはできなかった。しかし、人の流れデータセットの精度向上のためには検証を行う必要がある。そのためには、検証用のデータとしているデータの入手、または実地調査などが必要となるだろう。

6.3 今後の展望

6.3.1 他都市への展開

本研究では、JICA-PT 調査が行われた都市のうち 5 都市を対象地域として人の流れデータセットの構築を行った。提案した手法は、グローバルに利用可能な手法であり、他都市への展開が可能である。また、JICA-PT 調査に限らず、類似している調査、データにも適用が可能であり、今後の展開が期待される。

6.3.2 他データとの統合

本研究では、PT データのみを利用して人の流れデータセットを構築する手法を提案した。PT データのようなアンケート調査から得られるデータは、人口の拡大をしているため理論的には全人口をカバーしたデータとなっているが、データが出発・到着に関してのみであるうえに、詳細な位置情報を含んでいないという欠点もある。一方、携帯や GPS ロガーのログデータを使った人の流れデータセット構築の取り組みも既に行われている。これらのログデータは、詳細な位置情報を絶えず、リアルタイムで取得することができる一方、サンプル数が限られてしまったり、個人情報のため利用が限られてしまうことなどに欠点がある。これらの二つのデータを統合し、互いの欠点を補間し合うことで、より高精度で詳細な人の流れデータセットの構築が期待される。

6.3.3 活用範囲の拡大

このようにして構築された人の流れデータセットは、様々な側面から利用することができる。すでに提供が開始されている日本国内の人の流れデータセットを用いて様々な研究が行われている。例としては、鳥インフルエンザの感染シミュレーションなどがある。本研究で対象としている発展途上国の諸都市では、急速な都市化・人口増大が進み、都市のインフラの整備のために人の流れの把握が急務となっており、人の流れデータセットの活用が期待される。このような都市計画等の分野に限らず、上の伝染病の感染シミュレーション等の他分野への活用も期待される。

謝辞

指導教官である柴崎亮介教授に厚く御礼申し上げます。常に研究の方向性を導いてくださり、ここに一遍の修士論文を書き上げることができました。また、4回の国外学会の参加や海外でのプロジェクトのミーティングに同行させていただくなど、大変充実した環境を提供していただきました。自分の取り組んでいる研究は、何の役に立っているのかということ意識できるように心がけるようになり、今後どこに行っても大切なことも教えていただきました。心より感謝しております。副指導教官として指導して下さった丸山祐造准教授には、研究全体的なアドバイスの他、豊富な経験・知識から、理論的な細かいアドバイスもしていただきました。

関本義秀特任准教授には、同じプロジェクトに参加させて頂き、粘り強く熱心に指導していただき、私のためを思ったご指導のおかげで本論文を書き上げることができました。厚く御礼申し上げます。

柴崎研究室の博士課程2年の中村敏和氏には、本研究を行う上で幾度となく力をお借りしました。私が経験したことのないプログラミングや研究の進め方、論文の書き方など様々なことをご指導してくださいました。時には明け方までご指導していただいたり、私のためたくさんの時間を割き、熱心に助言・ご指導をして下さったことに心から感謝しております。

また、薄井智貴特任助教をはじめとする人の流れプロジェクトに参加されていた他の方々にも幾度となく力をお借りしました。

柴崎研究室秘書の秋枝久美子氏、本間理恵子氏、西根祐子氏には、普段の研究室の生活のサポート、学会参加や各種申請など複雑な手続きに関する的確なご指示を頂きました。自分の至らないところから、ご迷惑をおかけすることも多い中、2年間大変お世話になりました。

研究室内外を問わず、ここに挙げた方以外にも、たくさんの方々の力添えがあつてこそ、本論文を書き上げることができました。この場をお借りして、謹んで御礼申し上げます。

また最後に、大学院進学後の生活を支えてくれた両親に感謝します。

参考文献

- [1] Budhendra Bhaduri, Edward Bright, Phillip Coleman, and Marie L. Urban. LandScan USA: a high-resolution geospatial and temporal modeling approach for population distribution and dynamics. *GeoJournal*, 69(1-2):103–117, September 2007.
- [2] Adrian W Bowman. An alternative method of cross-validation for the smoothing of density estimates. *Biometrika Trust*, 71(2):353–360, 1984.
- [3] LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIVE CENTER. Land processes distributed active archive center. <https://lpdaac.usgs.gov/>.
- [4] Jerome E Dobson, Edward A Bright, Phillip R Coleman, and Brian A Worley. LandScan: A Global Population Database for Estimating Populations at Risk. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 66(7):849–857, 2000.
- [5] Google. Googlemaps. [urlhttp://maps.google.com/](http://maps.google.com/).
- [6] PostgreSQL Global Development Group. Postgresql official web site. [urlhttp://www.postgresql.org/](http://www.postgresql.org/).
- [7] Mordechai Haklay. How good is volunteered geographical information? comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(4):682–703, 2010.
- [8] Xavier Sala i Martin. The world distribution of income (estimated from individual country distributions). *Working Paper Series*, 1(8933), May 2002.
- [9] Oak Ridge National Laboratory. Landscan web site. [urlhttp://www.ornl.gov/sci/landscan/](http://www.ornl.gov/sci/landscan/).
- [10] NASA. Modis web page. <http://modis.gsfc.nasa.gov/gallery/showall.php>.
- [11] NAVTEQ. Navteq hp. [urlhttp://www.navteq.com/](http://www.navteq.com/).
- [12] U.S. Department of Energy. Oak ridge national laboratory. <http://www.ornl.gov/>.

- [13] OpenStreetMap. Openstreetmap wiki. [urlhttp://wiki.openstreetmap.org/wiki/](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/).
- [14] M. Rudemo. Empirical choice of histograms and kernel density estimation. *Scandinavian Journal of Statistics*, 9(2):65–78, 1982.
- [15] LP SAAC. Mcd12q1 web page. https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/land_cover/yearly_l3_global_500_m/mcd12q1.
- [16] Yoshihide Sekimoto, Atsuto Watanabe, Toshikazu Nakamura, Tomotaka Usui, and Hiroshi Kanasugi. Digital archiving of people flow using person trip data of developing cities. *The First Workshop on Pervasive Urban Applications (PURBA)*, June 2011.
- [17] Hideaki Shimazaki and Shigeru Shinomoto. Kernel bandwidth optimization in spike rate estimation. *Journal of computational neuroscience*, 29(1-2):171–82, August 2010.
- [18] B.W. Silverman. *Density estimation for statistics and data analysis*. Monographs on statistics and applied probability. Chapman and Hall, 1986.
- [19] TomTom. Tomtom hp. [urlhttp://www.tomtom.com/](http://www.tomtom.com/).
- [20] ゼンリン. ゼンリン hp. [urlhttp://www.zenrin.co.jp/](http://www.zenrin.co.jp/).
- [21] 関本 義秀, 菊地 英一, 佐藤 圭一. 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. *交通工学研究発表会論文報告集*, 28:197–200, 2008.
- [22] 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 (特集 現代交通インフラ産業における危機管理). *運輸と経済*, 70(1):54–62, 2010-01.
- [23] 島崎 康信, 関本 義秀, 柴崎 亮介, 秋山 祐樹. 人の流れによる時間帯別人口と店舗数との相関関係についての研究: パーソントリップ調査の時空間内挿データと国勢調査データとの比較分析. *都市計画. 別冊, 都市計画論文集 = City planning review. Special issue, Papers on city planning*, 44(3):781–786, 2009-10-25.
- [24] 正木和明. Gis を用いた災害リスク調査. [urlhttps://joras.csis.u-tokyo.ac.jp/project/show/id/261](https://joras.csis.u-tokyo.ac.jp/project/show/id/261).
- [25] 東京大学空間情報科学センター. 人の流れプロジェクト. <http://pflow.csis.u-tokyo.ac.jp/>.

- [26] 財団法人 日本デジタル道路地図協会. 財団法人 日本デジタル道路地図協会 hp. url-
<http://www.drm.jp/index.html>.
- [27] 中島 亮一, 貞広 幸雄. 点分布の空間的平滑化が地図利用者の点の位置推定に与える影響の評価. *GIS : 理論と応用 = Theory and applications of GIS*, 15(2):71–80, 2007-12-30.