

携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計の空間解像度からみたトリップデータ取得精度に関する研究

新階 寛恭¹・池田 大造²・永田 智大²・
森尾 淳³・石井 良治⁴・今井 龍一⁵

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 都市施設研究室 (〒305-0802 茨城県つくば市立原1)
E-mail: shingai-h86ax@mlit.go.jp

²非会員 株式会社NTTドコモ 先進技術研究所 (〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘3-6)
E-mail: ikedad@nttdocomo.com, nagatatom@nttdocomo.com

³正会員 一般財団法人計量計画研究所 道路・経済社会研究室 (〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9)
E-mail: jmorio@ibs.or.jp

⁴正会員 一般財団法人計量計画研究所 都市・地域計画研究室 (〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9)
E-mail: rishii@ibs.or.jp

⁵正会員 東京都市大学 工学部 都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)
E-mail: imair@tcu.ac.jp

筆者らは、携帯電話網の運用データを元にした人の流動を把握できる交通関連ビッグデータである人口流動統計の仕様や有用性に関する研究を行っている。この人口流動統計により、大量かつ回答バイアスのない、全国かつ交通手段を問わない24時間365日の人々の移動情報を比較的速やかに捉えることができる。これらの信頼性、不偏性、網羅性、継続性や即時性等の特長は、パーソントリップ調査等に代表される従来のアンケート方式を中心としたデータ収集分析手法の課題解決に寄与する可能性がある。一方、現在の人口流動統計は、エリアの集計単位を狭小にするとトリップの取得精度が低下する等の課題も存在する。

本研究の目的は、高度な調査計画手法の構築を図る観点から、様々な都市計画シーンに求められる比較的小規模エリアでも信頼性のあるトリップデータの取得を可能とする改善手法の提案とした。具体的には、試験端末を用いた実測による統計値の検証を通じてトリップデータの取得精度の低下要因を明らかにし、その結果を基にトリップ抽出手法の代替手法を提案し、ケーススタディを通じて改善の方向性を考察する。

Key Words : *urban transportation planning, mobile base station, mobile spatial dynamics, person trip survey, spatial resolution, accuracy of data acquisition*

1. はじめに

近年、情報通信技術 (ICT) の進展により、情報通信網を通じて各種活動の結果がデータとして取得されている。これら交通関連ビッグデータと呼ばれるデータから、人の活動や移動の実態を捉え、都市交通に関わる各種施策検討に活用する取り組みが活発化している^{1,2)}。

筆者らは、交通関連ビッグデータのうち、携帯電話保有者約7,500万人への情報通信サービスの提供に伴う運用データ (法人名義のデータ等を除去) から、人の流動を把握できる人口流動統計を推計する手法の研究に取り組んできた³⁾。人口流動統計は、24時間365日の全国の人の流動を捉えることが可能となるため、都市交通調査・

分析・予測・計画への活用が期待される。

既存研究⁴⁾では、人口流動統計のトリップデータ取得精度を検証し、市区町村間レベルでは比較的精度が高くトリップを捉えられていることを確認する一方、小ゾーンレベルでは取得精度が低いことを確認し、その不確実要因として、①1時間未満滞在をはさむトリップ連結、②ゾーンへの按分処理におけるトリップ分散等の要因の可能性を確認した。これに基づき、人口流動統計のトリップ抽出手法のうち、移動・滞留判定手法の改善案を提案した。端末の位置推定精度すなわち統計の空間解像度の観点では、東京都市圏において典型的な地区を対象に500mメッシュを設定し、複数の端末を用いて複数の経路を実際に移動して得た統計値から、市街地における携

帯電話基地局の電波到達範囲の大きさは概ね500~600m以下であることを確認した⁴⁾。また、トリップデータを時間帯別やトリップ長区分別等の観点から検証することにより、前述の不確実要因①、②のほか、③通信基地局の変更による実態とは異なる移動判定、④トリップの秘匿処置の影響等の可能性を確認した⁵⁾。

都市交通に関する政策は、幹線道路網や鉄道網等の大規模な交通施設整備から、まちづくりと連動して、バス、自転車や徒歩等の身近な交通手段にシフトしている。都市交通分野で人口流動統計の適用を促進するためには、より詳細な空間解像度および時間解像度が求められる。

そこで、本稿では、既往研究の空間解像度における分析結果を踏まえ、今回さらに詳細な250mメッシュを設定し、複数の端末を用いて得られる統計値から、市街地における携帯電話の基地局ごとの実際の電波到達範囲の大きさを確認するとともに、端末と基地局との位置関係も考察し、これにより、前述の不確実要因②および③の存在を実証する。この結果を踏まえ、不確実要因を再考したうえで、前述の移動・滞留判定手法の改善案に基づくトリップデータをもとに、捕捉性（データ取得精度）に関する既往研究の検証結果^{4) 5)}を追加検証する。これにより、データ取得の不確実要因のそれぞれの影響の大きさを考察する。

2. 人口流動統計の概要及び推計手法

音声電話・データ通信サービスを提供する携帯電話網では、ある基地局の電波到達範囲（以下、「セル」という。）内に所在する端末の存在確認を位置登録と呼ばれる手順（以下、「位置登録」という。）により基地局側で周期的に（概ね1時間に一度）把握している。この位置登録により把握している運用データを元に、統計に不要な個人識別性を運用データから除去する「非識別化処理」、流動人口を推計する「集計処理」、推計人口のうちある一定の値以下の少数を除去する「秘匿処理」の

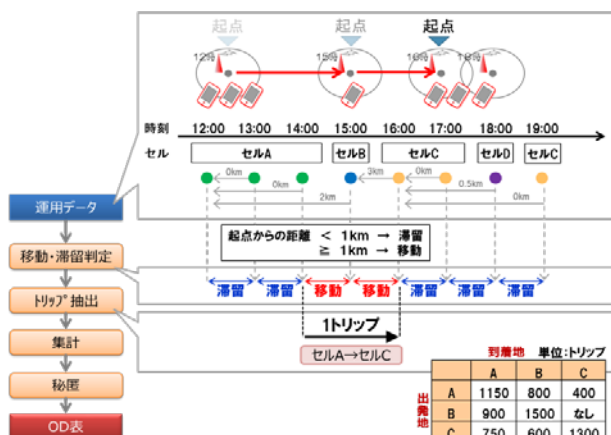


図-1 移動・滞留判定およびトリップ抽出の手法

3段階処理を経て端末保有者の個人情報およびプライバシーを保護した人口流動統計が生成される⁶⁾。

基地局と端末間で行われている位置登録はあくまで端末の定期的な存在確認のためであり、GPSを用いて取得した人の移動履歴とは用途や特性が異なることから、限られた位置登録から移動・滞留の判定が必要となる。

移動・滞留の判定手法は次のとおりである⁴⁾（図-1）。ある時点（集計対象とする期間の最初の時点）で端末から位置登録が行われた基地局のカバーするセルの図心位置を起点に設定する。その後、位置登録が行われた基地局のカバーするセル図心位置と起点との距離が一定の条件（この図では1kmとしている）を満たす場合に、その一つ前に位置登録が行われた時点から今回位置登録が行われた時点までを「移動」と判定する。その際、条件を満たすこととなったセル図心位置を次の起点とする。その後も同様の判定を続け、条件を満たさなくなった場合に「滞留」と判定する。その際、起点は移らないものとする。移動・滞留の判定からOD量を集計する際には、滞留から移動へと切り替わる際のものとの起点を出発地、移動から滞留へと切り替わる際の起点を到着地としてトリップを抽出する。抽出されたトリップをゾーンやメッシュ等の集計単位に応じてOD毎に集計し推計したものをOD量とする。

3. 位置推定精度を検証するための調査手法

(1) 既往研究の調査手法⁴⁾

人口流動統計は、個人が保有する端末の数値が統計的に集計されて算出される。そのため、調査結果を正確に把握するためには、調査に用いる端末だけから人口流動統計の値が現れるようにする必要がある。本研究では、既往研究⁴⁾の調査手法に準じて、起点または終点を特殊な箇所（既往研究では晝ふ頭）に設定し、通常発生しないODの調査端末を人口流動統計に固有の対応関係をもたせることを試みた。

端末は同一の経路を同一の手順で移動することが求められる。このため、一人の調査員が複数の端末を同時に持って移動することとした。用意できる端末の台数が40台に限られていたため、調査員が同じルートを複数回繰り返し移動することにより、実質的に多数のサンプル数を確保するパターンも設けた。

また、電波伝搬環境等の影響を分析することを意図し、市街地の様相の異なる業務地区と住宅地区とを区分した上で、業務地区は建物の高さ、密度等が異なる複数地区を対象として選定した。

(2) 調査対象地区および調査地点の選定

a) 調査対象地区の選定

一般の市街地における動向を把握するため、既往研究の調査対象地区から 3~5 階程度の建築物が商店街の両側に立ち並ぶ業務地区以外の駅前地区とした。具体的には、①京浜急行電鉄北品川駅周辺、同様の傾向のある地区として同じ京浜急行電鉄沿線の駅前周辺でメッシュ内に旧東海道が横切る②鮫洲駅周辺を選定した。また、トリップを抽出するための起終点用の特殊な調査地区として、既往研究と同様に③暁ふ頭を選定した(図-2)。

この起終点用の暁ふ頭は物流倉庫等が立地し、地区の北側にはテレコムセンター等が立地している。上述の北品川や鮫洲と当地区間のトリップは通常ではほとんどなく、本調査の端末のみが統計値に現れると考えられる。また今回、既往研究を踏まえ、秘匿の影響をより少なくする観点から、500m メッシュ 5×5 の範囲を一つのメッシュとして集計する(図-3、図-4)。



図-2 調査対象地区

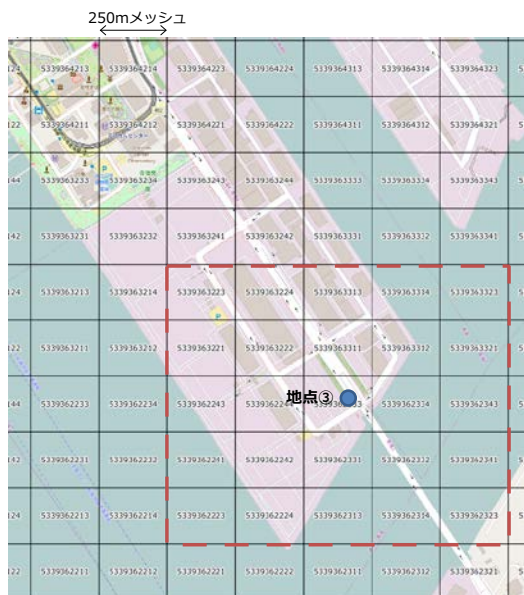


図-3 暁ふ頭周辺の調査地点の位置

b) 調査対象地区内の調査地点の選定

メッシュ内の位置関係による影響、セルの想定サイズとの関係を加味して調査対象地区内の調査地点を選定した。具体的には、以下の観点から選定した。

1) 同一メッシュ内の中心付近、境界付近の観点

2) 調査対象地区で調査地点間の距離の観点

各調査地区の調査地点の選定方針と、具体的な調査地点は以下のとおりである。

【地区① 北品川駅周辺】

既往研究で調査した地点である 3~5 階程度の建築物が商店街の両側に立ち並ぶ旧東海道沿いの地点① a に加えて、150m 程度ずつ各調査地点を離すとともに、メッシュ中心、隣接メッシュとの境界等の観点から地点① b, 地点① c を選定した(図-5、図-6)。

【地区② 鮫洲駅周辺】

同じ京浜急行電鉄沿線の駅前周辺でメッシュ内に旧東海道が横切る鮫洲駅周辺を選定し、調査地点間の距離が調査地点①より若干長い 180m 程度ずつ各調査地点を離す観点から地点② a, 地点② b, 地点② c を選定した(図-7、図-8)。

【地区③ 暁ふ頭】

秘匿を避けるため調査地点はメッシュ中央とした。

(3) 人口流動統計の集計方法

人口流動統計の空間解像度には、携帯電話の基地局密度、建物等による電波の遮蔽、回折等による影響が含まれており、これは、人口流動統計の集計結果から確認するしか方法がない。そのため、電波の到達する①距離、②方向・方角、③分布範囲の観点から人口流動統計の集計結果を分析することが考えられる。

既往研究では、発着地、経由地の位置情報の精度として、現段階において少なくとも市街地において 2 分の 1 地域メッシュ (500m メッシュ) 程度以上の地域区分において概ね信頼性が確認されている。さらなる空間解像度の向上に関する検討に資するため、秘匿による影響も考慮しながら、できるだけ詳細な区分として、4 分の 1 地域メッシュ (250 メッシュ) で調査することとした。



図-4 暁ふ頭周辺の調査地点



図-5 北品川駅周辺の調査地点の位置



図-7 鮫洲駅周辺の調査地点の位置



図-6 北品川駅周辺の調査地点



図-8 鮫洲駅周辺の調査地点

(4) 調査方法

秘匿の影響を考慮すると、できるだけ多くの端末が同時に移動することが求められる。このため、本研究は、既往研究と同様に、調査員が複数の端末を持参して移動することとした。今回、調査員が 80 台の端末を持参して、多数のサンプルを確保することとした。なお、取得データの数値は、人口流動統計の対象である約 7,500 万台を考慮した拡大係数が付与されたものとなる。

人口流動統計の現在の運用では、端末ごとに任意の時刻で概ね 1 時間ごとに位置登録（位置の把握）が行われており、その前後でのセル間距離が 1km 未満の場合に滞留と判定される。そのため、出発地、到着地では、位置登録の時刻が異なる全ての端末が同位置で 2 回以上位置登録が行われて確実に滞留判定がなされるよう、2 時間滞在することとした。

地区①北品川駅周辺の 3 種類の地点、地区②鮫洲駅周辺で 3 種類の地点、地区③暁ふ頭（1 種類）を組み合わせ、調査ルートを設定した。具体的には、調査日を 3 日間として、各日ともに、地区②鮫洲駅周辺→地区③暁ふ頭、地区③暁ふ頭→地区①北品川駅周辺、地区①北品川駅周辺→地区③暁ふ頭の順に 3 地区を移動して 3 種類の移動データを確保した。これに、3 つの地区内調査地点を組み合わせ、3 日間で計 9 種類の移動データを確保した。なお、調査 3 日目のみ地区③暁ふ頭→地区①北品川周辺の移動を追加して、3 日間の合計で 9 種類、10 トリップの移動データを取得した（図-9、図-10）。

	出発エリア (1時間以上滞在) ^{*1}	現在エリア(経由地) (毎正時) ^{*2}	到着エリア (1時間以上滞在) ^{*1}
必要となる滞在時間例	13:30~14:30	17:00	18:30~19:30
スケジュール例	13:00~15:00	16:05~17:00	18:00~20:00

(^{*1}) 正時の前後30分は同一エリアに滞在する必要あり
 (^{*2}) 正時の時点で最後に滞在した場所になるため、正時の1時間前には到着して滞在を開始する

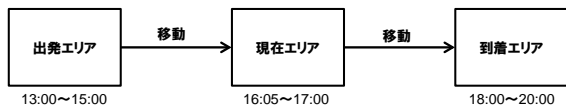


図-9 出発地・到着地の滞在条件およびスケジュール

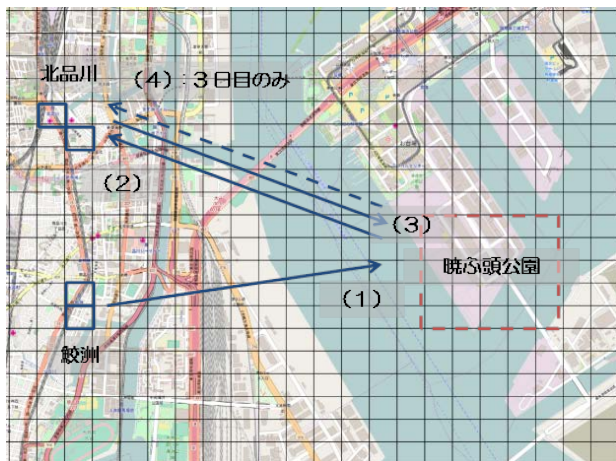


図-10 調査ルートの概要

4. 人口流動統計の空間解像度の特性分析

(1) 調査結果

3 日間のデータ取得結果をみると、調査地点のあるメッシュまたはそれに隣接するメッシュのみから取得されており、概ね 500m 程度の範囲内であった（図-11~図-19）。これは、既往研究⁴⁾の結果とも整合している。

a) 地区① 北品川駅周辺

地区①a はメッシュ内の東側端に寄っていたが、いずれのトリップも東側に隣接するメッシュの他、商店街沿いに伸びる北側に隣接するメッシュで取得された。

地点①b はメッシュ内の南西の角の近くであったが、調査地点があるメッシュでのみ取得された。

地点①c は暁ふ頭→地点①c のトリップを 2 回行い、地点①c→暁ふ頭のトリップを 1 回だけ行った。地点①c はメッシュのほぼ中心であったが、いずれも西側または南側のメッシュでの取得結果が多い傾向にあり、ほぼ同様のメッシュで取得された。なお、前者の数値は後者の約二倍となっていたが、取得されたメッシュ以外への広がりには少ないことが確認できた。

b) 地区② 鮫洲駅周辺

地点②a は、メッシュ内の東側端に寄っていたが、調査地点のあるメッシュでの取得が最も多くなった。そのほか、東側に隣接するメッシュ、商店街沿いに伸びる北側、南側に隣接するメッシュでも取得された。

地点②b は、メッシュ内の北側端に寄っており、調査地点があるメッシュと商店街沿いの北側に隣接するメッシュで取得された。また、地点②c は、地点②b と同じメッシュ内の南側に寄った位置にあったが、地点②b とほぼ同じ取得結果となった。

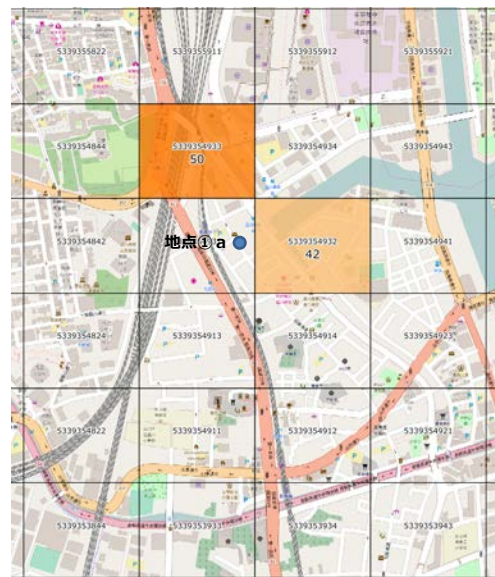


図-11 人口流動統計の取得状況
 (調査地点①a 暁ふ頭→①a)

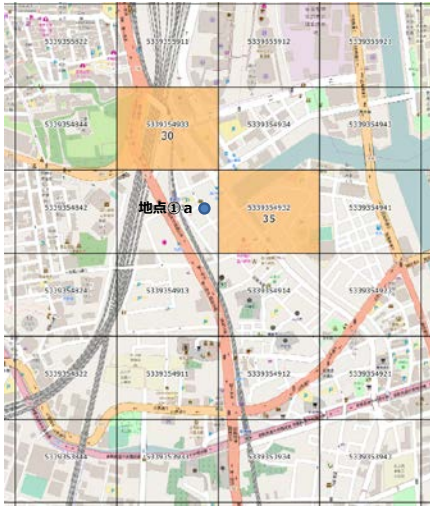


図-12 人口流動統計の取得状況
(調査地点①a ①a→暁ふ頭)

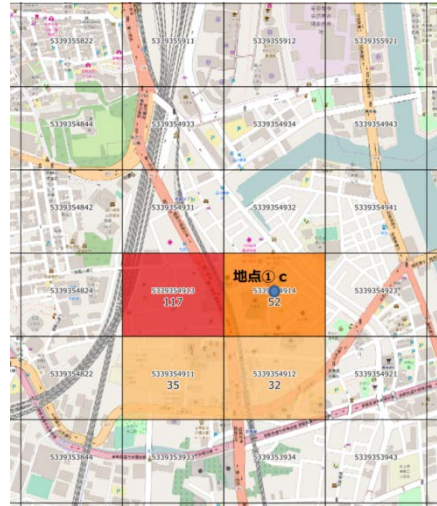


図-15 人口流動統計の取得状況
(調査地点①c 暁ふ頭→①c)



図-13 人口流動統計の取得状況
(調査地点①b 暁ふ頭→①b)

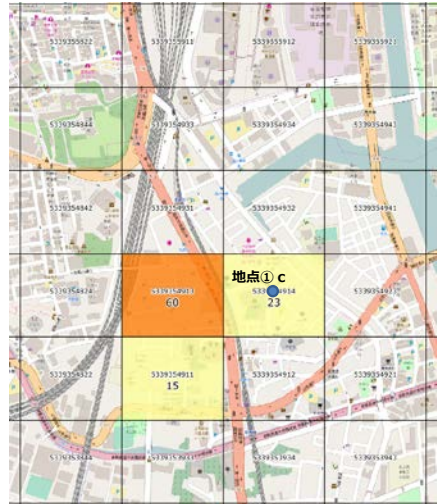


図-16 人口流動統計の取得状況
(調査地点①c ①c→暁ふ頭)



図-14 人口流動統計の取得状況
(調査地点①b ①b→暁ふ頭)

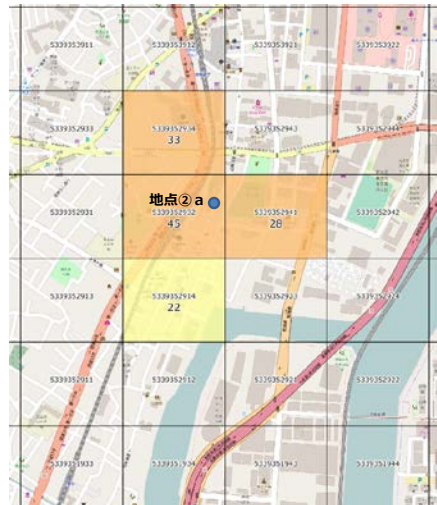


図-17 人口流動統計の取得状況
(調査地点②a ②a→暁ふ頭)

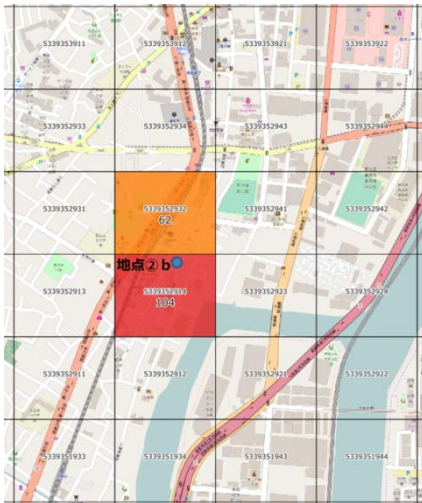


図-18 人口流動統計の取得状況
(調査地点②b ②b→暁ふ頭)

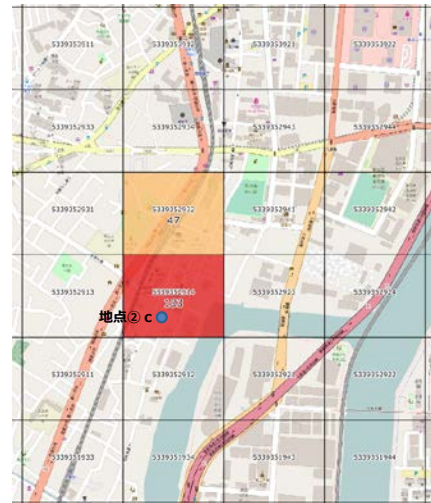


図-19 人口流動統計の取得状況
(調査地点②c ②c→暁ふ頭)

(2) 結果の考察

a) セルの重複

①a で、取得のあった 2 つのメッシュが隣接していないことから、セルの形状が円や扇形であると考えた場合、ほぼ明らかに 2 つのセルで取得されていると読み取れる。この結果に基づくと、建物等の遮蔽物がある場合にもすまなく通信サービスを提供することを目的とした携帯電話のエリア設計に照らし合わせても、特に都心部においてセル同士の一部が重なっているエリアが存在する。

今回、80 台の端末が複数の基地局のいずれかによって位置登録が行われ、各々の基地局がカバーするセルの範囲に従って、メッシュに配分されている。

②b および②c で取得された 2 つのメッシュの値のそれぞれを比較すると、両メッシュ間の値の比率が異なっていて、調査地点に近い側が多くなっている。これは、位置の移動のない単一の基地局だけでは起きない現象であり、複数の基地局のセルが重複、かつ基地局と端末との距離に応じて電波伝搬状況が異なり、位置登録が行われる基地局が影響を受けることを示唆している。

②a でも、4 つのメッシュで取得されており、中央のメッシュの値が通常多くなる 1 つのセルの可能性のほか、複数すなわち 2 つまたは 3 つのセルの重複部分に調査地点があり、面積按分の影響を受けていた可能性がある。

なお、①b は、取得されているメッシュが一つであり、この地点に関しては 1 つのセル (かつメッシュ) に収まっていると読み取れる。①c は、取得のあった 4 メッシュの中央左上付近にセルがあり、面積按分の影響を受けていた可能性がある。

b) 運用データの登録される基地局の変更

80 台の端末が同一地点にあるにも関わらずそれぞれ異なる基地局によって運用データ (位置) が登録され、異なるセルに分配されるということは、ある端末が固有の基地局に関連付けられていない (系統分けされていない) と言える。これに基づくと、1 つの端末が長時間ある狭い範囲に滞在している時に、運用データ (位置) が登録される基地局が変わる可能性があることを意味している。

c) セルの概ねの大きさ

既往研究⁴⁾では 500m メッシュで調査し、今回のような市街地でのセルの大きさを概ね 500~600m 程度と推察されていた。今回の調査結果から、複数セルの集合であって、一つのセルのサイズは今回の市街地の場合、300m 前後であることが分かった。すなわち、2 つないし 3 つのセルが多少重なると、ちょうど 500~600m になることと整合している。

なお、郊外になるにつれて、人口密度の低下に伴いセルの大きさは比較的大きくなると考えられる。

以上から、セルと集計ゾーンとの位置関係や大小関係によっては端末が実際に位置するゾーンとは異なるゾーンに配分されるだけでない要因がある。具体的には、基地局間距離と移動・滞留判定距離との関係によっては、狭い範囲に滞在している時に、より良好な電波環境を探索して基地局が変更されて移動判定される。ただし、完全に静止している時は携帯電話網の仕組み上、電波を遮蔽する物体が横断するような電波伝搬環境に影響を与える要素が少ない環境下では、基地局が変更される可能性は少ないと考えられる。

5. 人口流動統計の捕捉性に関する検証の手法

(1) 人口流動統計の捕捉性に関する不確実要因

既往研究⁴⁾において、熊本都市圏および東京都市圏でのPT調査によるトリップデータ（以下、「PTデータ」という。）と人口流動統計との比較等により、PT調査側の不確実性のほかに、人口流動統計側に以下の4つの不確実要因の可能性があると把握している。

①連結：トリップ間の滞在時間が1時間未満の複数のトリップがある場合、人口流動統計では途中の滞留判定が発生せず連続する1つのトリップとして連結して抽出され、起点または終点が異なる別のトリップや内々トリップとして集計されることがありうる（図-20）。

②隣接配分：セルの大きさに対して集計ゾーンの大きさが十分に大きくない場合、本来の発着地ゾーンに隣接する別ゾーンに近いまたは別ゾーン側にある基地局と通信が行われる割合が多くなり、本来は内々となるトリップが別ゾーンを発地または着地とする内々以外のトリップとなることや、逆に内々以外トリップが内々トリップになるようなことがありうる（図-21）。既往研究⁴⁾および前章において、東京都市圏内の複数地区で複数の携帯端末を用いて人口流動統計の位置推定精度を検証した結果、実際に端末の位置したメッシュの隣接メッシュにもODが配分される現象が確認されており、基地局セルからメッシュやゾーン等の集計単位にODを按分する際に上記の現象が生じることが分かる。

③基地局変更：携帯電話網の安定的な運用のため、セルすなわち各基地局の電波到達範囲は一定の重なりが設けられることが想定される。携帯電話網は電波状況がある所定の条件下になった場合に通信の品質確保・継続を目的に、より電波状況が良好な基地局に変更される場合がある。その結果、携帯端末が狭い範囲で滞在していた状態にあっても通信される基地局が変更されることにより、実態と異なる移動判定が生じる可能性がある（図-22）。前章第2節において、この現象を確認している。

④秘匿：出力値が少なくなる場合の秘匿処理の影響も想定される。

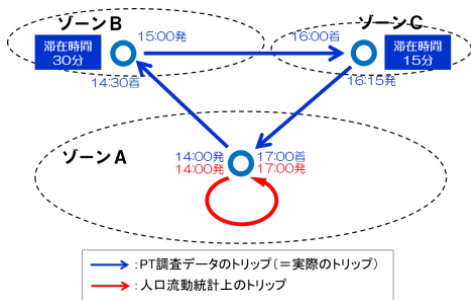


図-20 短時間滞在によるPT調査と人口流動統計の集計の違い

本研究では、これらの人口流動統計の課題を踏まえ、人口流動統計の生成手法に2通りの改良を加えた計4パターンの統計を生成し、PTデータとの比較を通じて、トリップデータ取得精度（捕捉性）の不確実要因とその影響度をより詳細に解明する。

(2) 不確実要因による影響特性の検証のための代替案

各々の不確実要因が人口流動統計のどのようなトリップにどの程度影響しているかを把握するため、既往研究⁴⁾も踏まえ、本研究では人口流動統計の生成手法として、以下の2通りの代替案を試みる。

a) Cゾーン内々トリップの分割（「内々分割」）

本手法は、要因①「連結」の一部解消を主眼とする。あるCゾーンの内々トリップに関して、トリップの途中（移動判定がなされている間）で通信の行われる基地局（以下、「フラグ」という。）の中で当該ゾーンと異なるゾーンに位置するものがある場合に、それらのうち起点のセル図心から最も離れたフラグを終点および起点とみなして、内々トリップを内外・外内トリップに2分割する（図-23）。

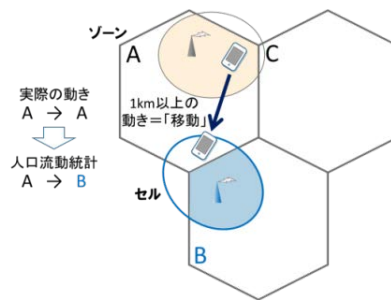


図-21 隣接する別ゾーンに配分される場合

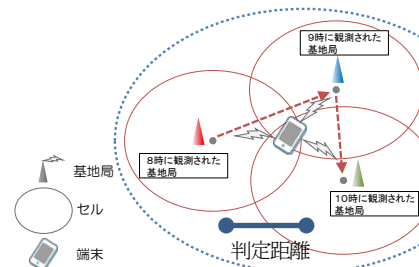


図-22 通信される基地局の変更による移動判定

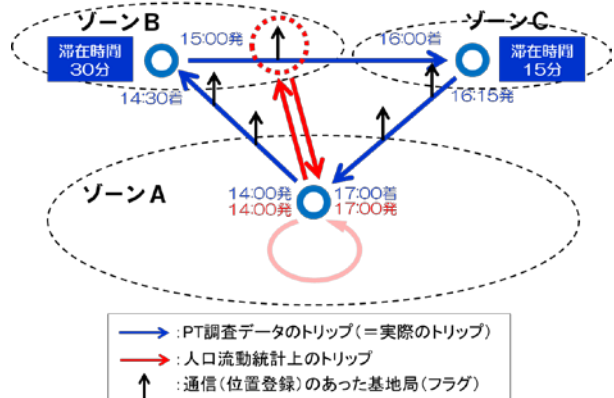


図-23 内々トリップの内内外・外内トリップへの分割

b) 移動・滞留判定距離の変更（「判定距離変更」）

本手法は、要因③「基地局変更」の解消および都心部等に多い短トリップをより抽出する。基地局密度の実態にあわせて移動・滞留判定距離を決定する。ただし、基地局密度そのものは分からないため、ゾーンごとの滞留人口から大きく基地局密度を推定する。

表-1 に示すように、基地局密度が高いと思われる都心中心部にあるゾーン（以下、「都心中心ゾーン」という。）の移動・滞留判定距離を 500m とするとともに、その周辺の一定の距離帯（以下、「都心ゾーン」という。）の外側（以下、「その他」という。）のエリアの判定距離を今回 2km とする。

(3) 人口流動統計の捕捉性検証の方法

前節の2通りの手法の組み合わせにより以下の4パターンの人口流動統計を生成する。

- 1) 従来の生成手法
- 2) 内々分割
- 3) 判定距離変更
- 4) 内々分割および判定距離変更

PTデータは、人口流動統計データの集計条件に整合させ表-2に示すように集計する。そして以下の視点から、人口流動統計の捕捉性を比較検証する。

- ・ゾーン中心間距離（概ねのトリップの特徴）
- ・空間スケール（ゾーンサイズ）
- ・ODパターン（都心、周辺等の地域特性）
- ・時間帯およびトリップ長

表-1 地域特性に応じた移動・滞留判定距離の変更

地域区分	特性	移動・滞留判定距離
都心中心	中心的な商業・業務地区等、通勤・買い物等のトリップの代表的な目的地となると考えられるエリア。今回の熊本都市圏の場合、最も中心部に位置するCゾーン。	500m
都心関連	都心中心ゾーンを囲むように概ね接している幅 2km 程度以上の C ゾーン帯。	1km
その他	上記以外のエリア。	2km

表-2 PT調査の集計条件

項目	集計条件
集計対象年齢	・ 15 歳～74 歳に限定
抽出するトリップ距離の下限	・ 人口流動統計の移動・滞留判定距離に対応させる。 ・ 手段別の平均速度・所要時間から区分 500m: 徒歩 5 分, 自転車 2.5 分, 自動車 1 分 1km: 徒歩 10 分, 自転車 5 分, 自動車 2 分 2km: 徒歩 20 分, 自転車 10 分, 自動車 4 分 (手段・所要時間が不明のトリップは 1km 以上に含める)
トリップパターン	・ 都市圏外々トリップは除外

6. 人口流動統計の捕捉性の検証

(1) ゾーン中心間距離からみた捕捉性検証

熊本都市圏PTデータにおいては、移動距離は調査されていないため、トリップの基本的な特性を表すトリップ長はCゾーン中心間距離で計算されている。

まずは都市圏におけるトリップ全体のおおまかな傾向と捕捉性との関係を確認するため、ゾーン中心間距離に着目し、内々トリップとそれ以外とに区分したうえで、4つのパターンごとにCゾーン中心間距離帯別のトリップ数を、対応するPTデータと比較する（図-24～図-27）。

「1)従来の生成手法」では、内々以外トリップはどの距離帯でも比較的整合している一方で、内々では著しくPTデータと比較して過大となっている（図-24）。4km 以上の中長距離のトリップがやや過少であることから、要因①連結が生じている可能性が示唆される。そのほか、全距離帯での②隣接配分（総量としては相殺される）、内々および短距離帯での③基地局変更、中距離以上での④秘匿、による影響が考えられる。

これに対し「2)内々分割」を行うと、中距離帯では極めて高い整合を示すようになり、内々でもほぼ一致するようになった（図-25）。このことから、短時間滞在を挟むトリップの連結が一部あったことが推察される。

一方、4km未満は逆にPTデータと比べて過大となっている。また、わずかでも内々（起終点）ゾーンの外でフラグがあった場合に内外・外内のトリップとみなすが、要因③基地局変更等によって生じたトリップがわずかにゾーンをまたぐ可能性もあることを考慮すると、これが4km未満での過大の原因となっている可能性がある。

隣接ゾーン間に限った距離帯別のODペア数分布（図-28）は図-25で過大となっている部分と比べると分布形状が整合している（図-25では1kmと2kmの間を2距離帯に分けている）。狭い範囲で滞在したときに発生しうる③基地局変更により生じた1km以上のトリップがさらに一定の割合で内外・外内トリップになり、短距離トリップが含まれる4km程度までの各距離帯で発生している可能性があることが推察される。

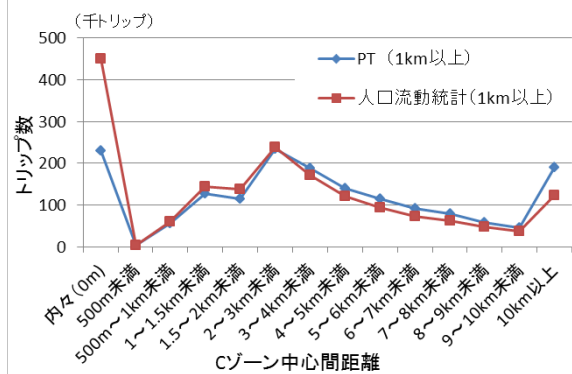


図-24 1)従来の生成手法の人口流動統計とPTデータとの比較

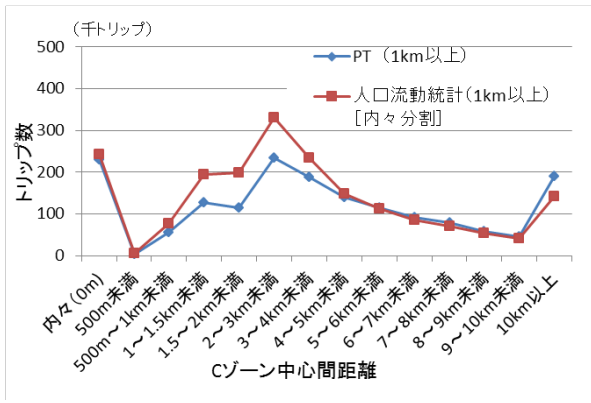


図-25 2)内々分割の人口流動統計とPTデータとの比較

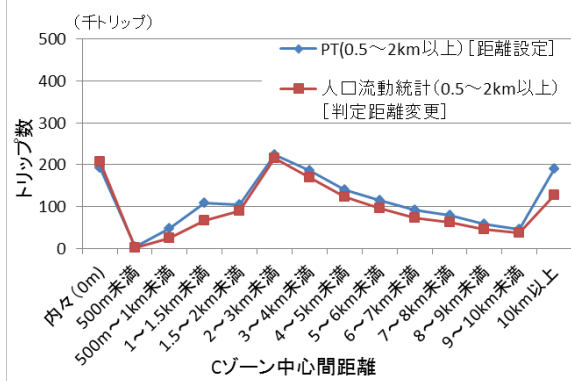


図-26 3)判定距離変更の人口流動統計とPTデータとの比較

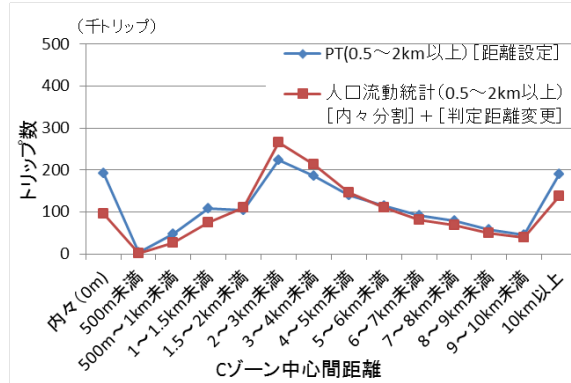


図-27 4)内々分割および判定距離変更の人口流動統計とPTデータとの比較

次に、3) 移動・滞留判定距離変更を行った場合、内々で概ね整合を示すようになった (図-26)。ただし、1.5km未満ではやや過少となった。2km以上では傾向は変わらない。要因③基地局変更による実態とは異なるトリップを生じさせないことが可能となったと推察される。しかし、逆に本来存在したトリップを対象外にしている影響がややあることが分かる。

次に、4) 内々分割と判定距離変更を同時に行った場合、2)と3)の特性を併せ持ったグラフとなった (図-27)。内々トリップがさらに過少であり、2kmから4kmの距離帯で2)と同様の傾向が見られる。これらのことから、連立方程式の要領で、内々トリップにおける各要因の概ねの影響度合いを、他の距離帯の状況もみながらある程度

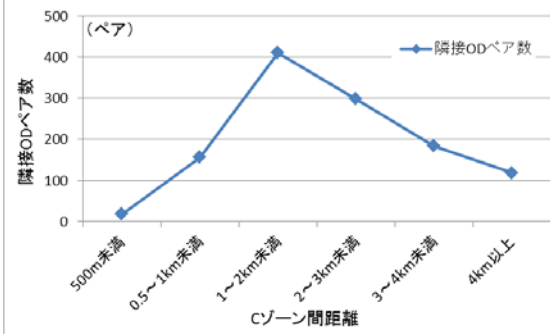


図-28 隣接Cゾーン間の距離帯別のODペア数分布

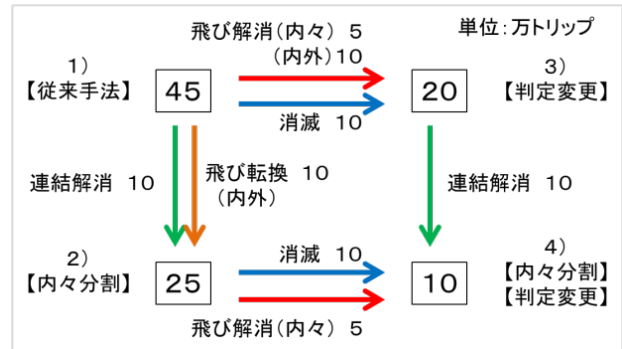


図-29 内々トリップでの各要因の概ねの影響程度 (推定)

推定することができると思われる (図-29参照)。

(2) 空間スケールからみた捕捉性検証

次に、空間スケールに着目し、2つのゾーンサイズ、すなわち市区町村間レベルとCゾーンレベルで前項の4手法によりODごとのトリップ数を比較した結果を図-30～図-37に示す。前節からさらに、ODごとのトリップ数のばらつきを確認することにより、要因②隣接配分等の影響も確認する。

a) 市区町村間レベルのOD量の比較検証

ODをCゾーン内々とそれを除く市区町村内々、市区町村間の3つに区分したうえで比較する。

「1)従来の生成手法」で、市区町村内々トリップからCゾーン内々トリップを分離すると、Cゾーン内々トリップを除く市区町村内々トリップは、PTデータと人口流動統計の散布図の対角線上に沿う傾向にある (図-30)。

「2)内々分割」を行った人口流動統計は、Cゾーン内々の値が小さくなり、その他の市区町村内々、市区町村間の値が大きくなる傾向にあり、特に市区町村間の値はより対角線上に沿う傾向にある (図-31)。

「3)判定距離変更」を行った場合は、Cゾーン内々の値が小さくなるが、その他の市区町村内々、市区町村間の値とも対角線上に沿う傾向にある (図-32)。

「4)内々分割および判定距離変更」を行った場合、人口流動統計のCゾーン内々の値がさらに小さくなり、対角線上からかなり離れる傾向にある (図-33)。

以上の結果は、前節の傾向と概ね合致している。

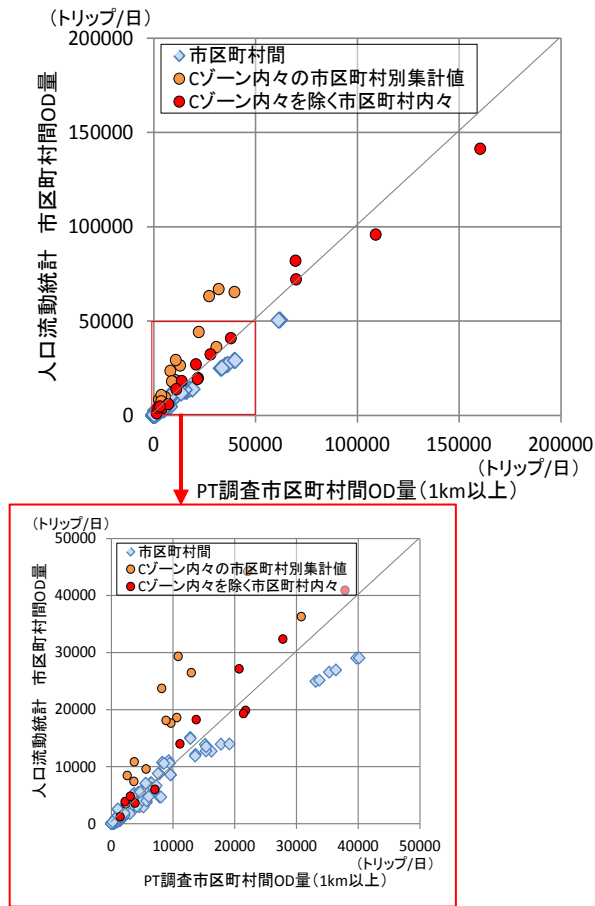


図-30 市区町村間OD量の比較

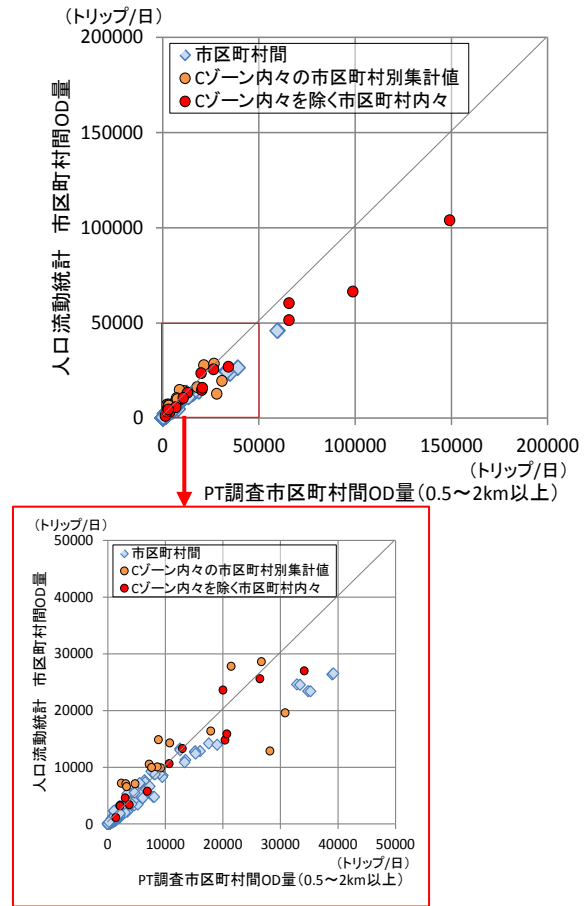


図-32 市区町村間OD量の比較 (判定距離変更)

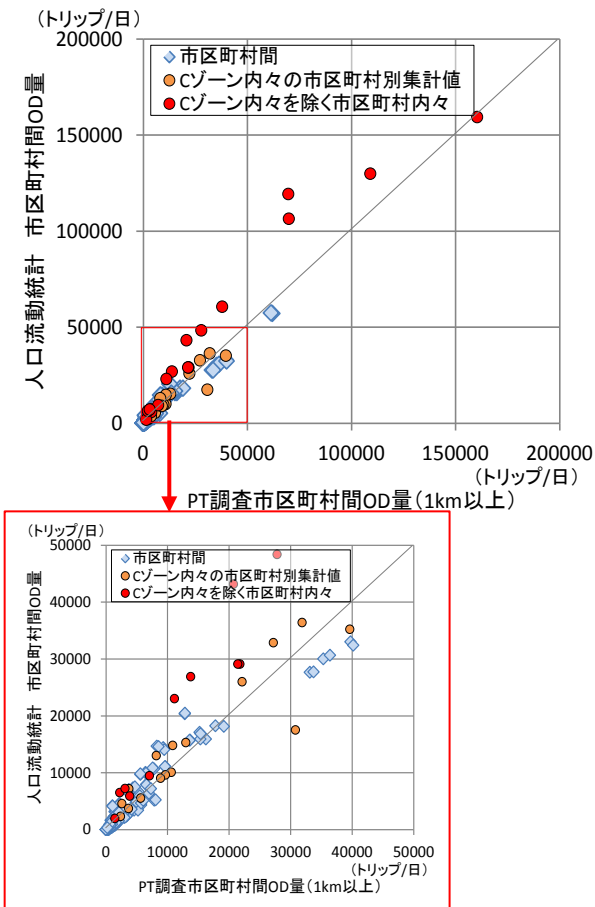


図-31 市区町村間OD量の比較 (内々分割)

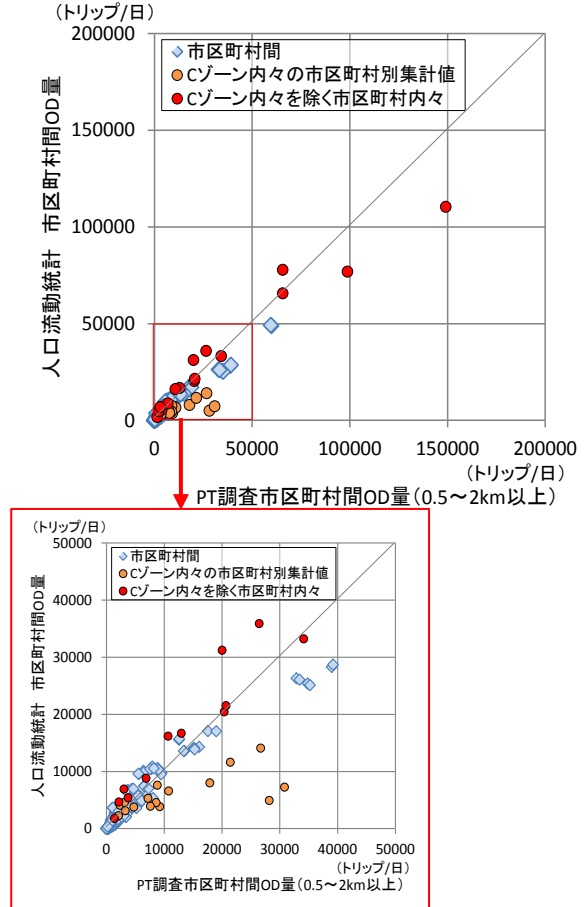


図-33 市区町村間OD量の比較 (内々分割+判定距離変更)

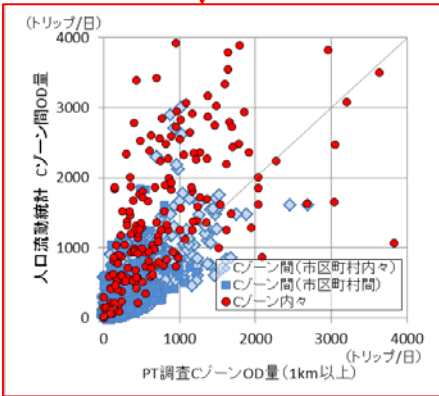
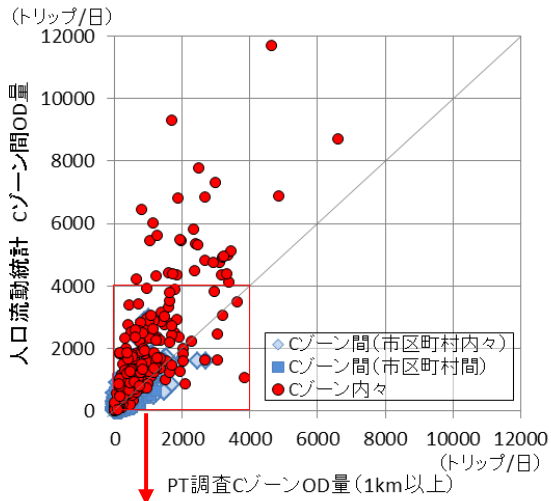


図-34 Cゾーン間OD量の比較

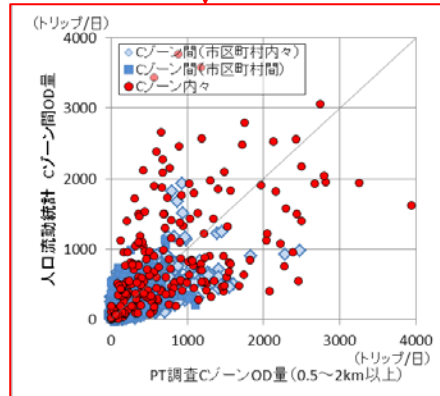
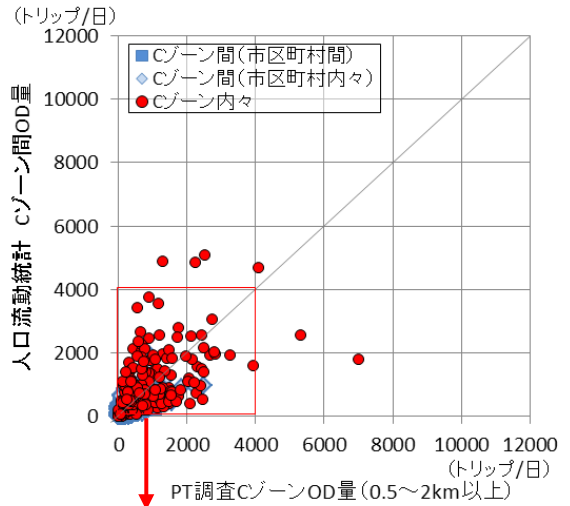


図-36 Cゾーン OD 量の比較 (判定距離変更)

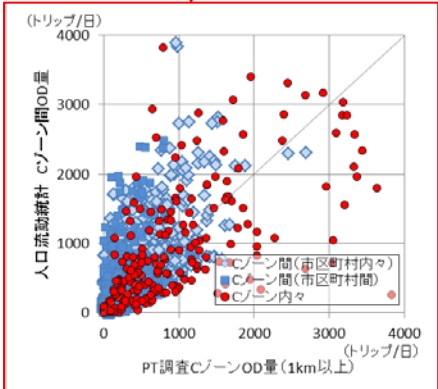
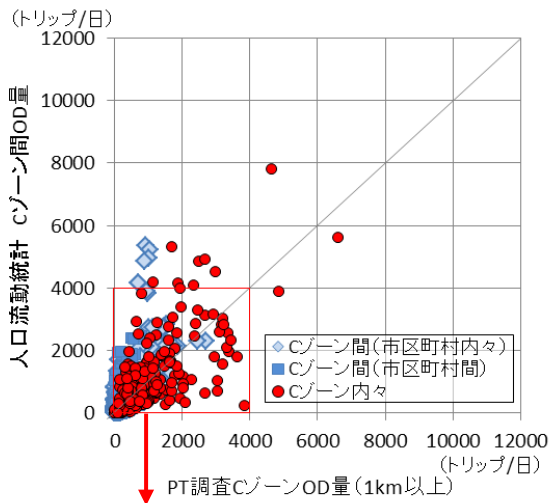


図-35 CゾーンOD量の比較 (内々分割)

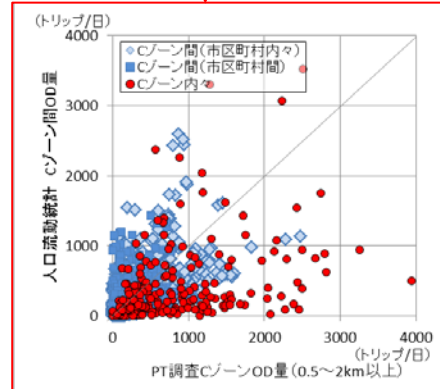
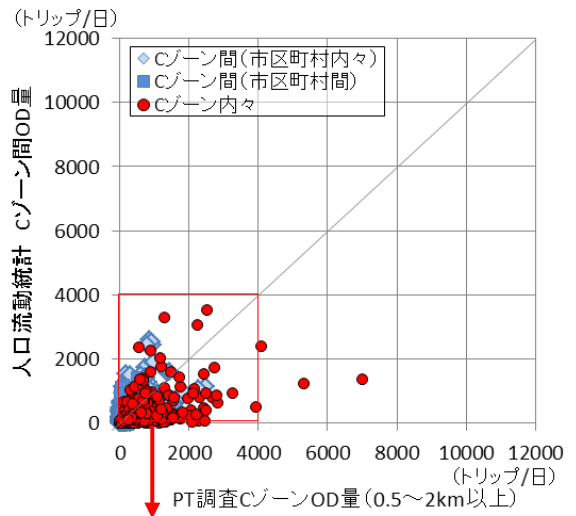


図-37 CゾーンOD量の比較 (内々分割+判定距離変更)

b) 小ゾーンレベルのOD量の比較検証

OD を C ゾーン内々、C ゾーン間（市区町村内々に属する）、C ゾーン間（市区町村間に属する）の 3 つに区分して比較する。

「1)従来の生成手法」では、C ゾーン内々の人口流動統計が比較的大きい（図-34）。「2)内々分割」および「3)判定距離変更」では、比較的对角線上に乗っている（図-35、図-36）。「4)内々分割および判定距離変更」では、前 3 者に比べ人口流動統計の C ゾーン内々の数値が小さくなり、対角線上から相当下側に離れる傾向にある（図-37）。

またいずれも、散らばりに大きな違いは現れなかった。このことから、要因②隣接配分は、要因①や③との相互影響、また 2 つの手法による作用はそれほどなく、独立した要因であると推察される。

(3) 時間帯別・トリップ長区別にに基づく検証

人口流動統計では要因①連結に対応して「2)内々分割」を行っている。このため、PT データにおいても発地側で滞在時間が 1 時間未満の場合に直前のトリップと結合したトリップ（以下、「結合あり PT データ」という。）を作成する。そのうえで、1 時間未満滞在があっても結合をしない従来のトリップを結合なしトリップ（以下、「結合なし PT データ」という。）とし、前節までの対象距離変更を行った PT データとあわせて、各種処理を施した人口流動統計と対応させて、時間帯別およびトリップ長別に比較する（図-38、図-39）。なお熊本都市圏 PT では、トリップ長は C ゾーン中心間距離で計算されている。この場合に内々トリップのトリップ長は全て 0 になってしまうため、今回の検証の内々トリップは手段別の平均速度に移動時間を乗じてトリップ長を算出する。

a) 時間帯別のトリップ数の比較

「1)従来の生成手法」による人口流動統計と結合あり PT データとを比較すると、朝は PT データと整合性は高いものの、早朝や夜間・深夜は PT データと著しく乖離している。「2)内々分割」の人口流動統計と結合なし PT データとを比較すると、「1)従来の生成手法」の場合に比べて乖離の程度は小さくなっている。連結の解消による影響が日中（朝から夕方）に現れていると推察される。また、「3)判定距離変更」の人口流動統計と対象距離変更を行った結合ありデータとを比較すると、朝以外では概ね同程度となっている。特に夜の時間帯（夜間～早朝）では、PT データとの整合性が高い。「4)内々分割および判定距離変更」の場合も同様である。このことから、3)および 4)で移動判定距離の変更による要因③基地局変更の解消は特に夜間に顕著に表れていると推察される。

b) トリップ長区別のトリップ数の比較

本項は、結合ありトリップ、結合なしトリップおよび対応する人口流動統計のトリップ数をトリップ長区別に比較する（図-39）。「2)内々分割」の場合、第 1 節で述べたとおり、特に 4km 未満で PT データと比べて過大となっているが、結合なしトリップと比較すると乖離は小さくなる。また、「3)判定距離変更」の場合は、対象距離を変更した PT データと概ね同様の傾向となる。

なお、10km 以上の距離帯は、いずれの人口流動統計および PT データも傾向が変わらず、また人口流動統計が一定して PT データと比べて過少となっている。長距離の OD 別トリップ数は少ないことから、①②③とは別の要因④が独立して存在することが確認できる。

c) 時間帯別・トリップ長区別のトリップ数の比較

本項は、結合なしトリップ、結合ありトリップと人口流動統計との時間帯別・トリップ長区別トリップ数を比較する（図-40～図-45）。「C ゾーン内々分割」を考慮することにより、いずれの時間帯も処理前と比較して C ゾーン内々のトリップ数の減少が著しい。特に、朝、昼間、夕方では概ね同程度となっており PT データとの整合性が高いことが分かる。また、いずれの時間帯も、4km 以上 10km 未満の 3 グループでは、「2)内々分割」、「3)判定距離変更」、「4)内々分割および判定距離変更」のいずれの処理をしても、人口流動統計に対する変化量は小さい傾向にある。

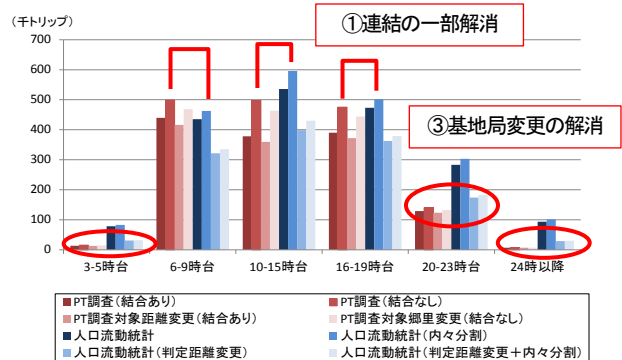


図-38 時間帯別トリップ数の比較

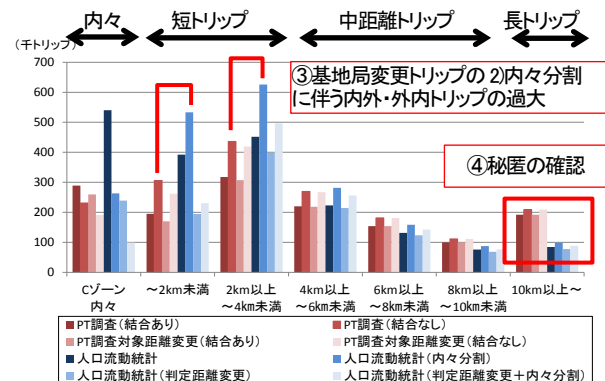


図-39 トリップ長区別トリップ数の比較

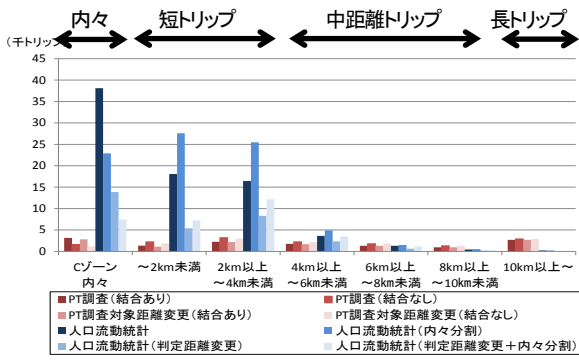


図-40 早朝 (3～5時台) のトリップ長区分別トリップ数の比較

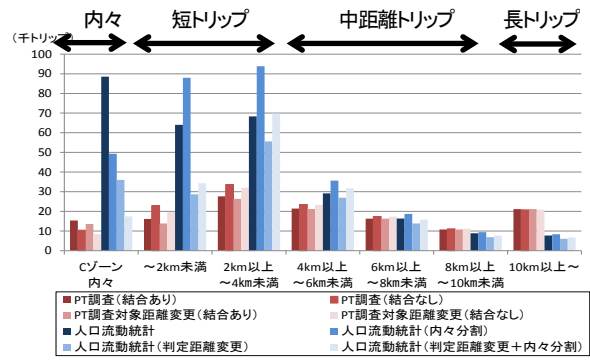


図-44 夜 (20～23時台) のトリップ長区分別トリップ数の比較

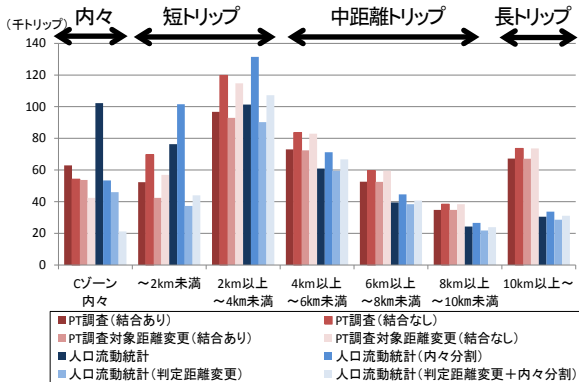


図-41 朝 (6～9時台) のトリップ長区分別トリップ数の比較

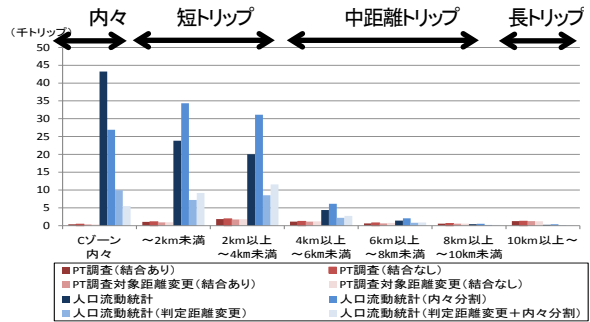


図-45 深夜 (24～2時台) のトリップ長区分別トリップ数の比較

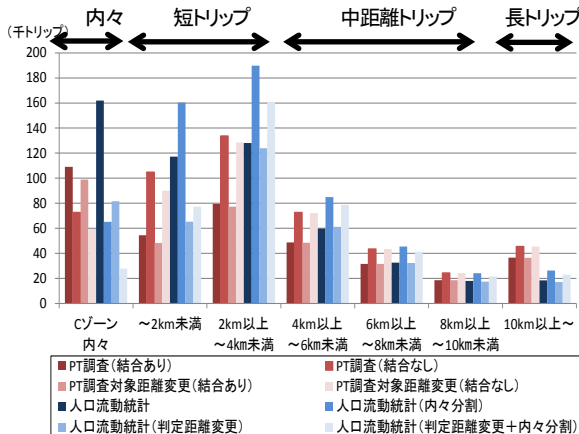


図-42 昼間 (10～15時台) のトリップ長区分別トリップ数の比較

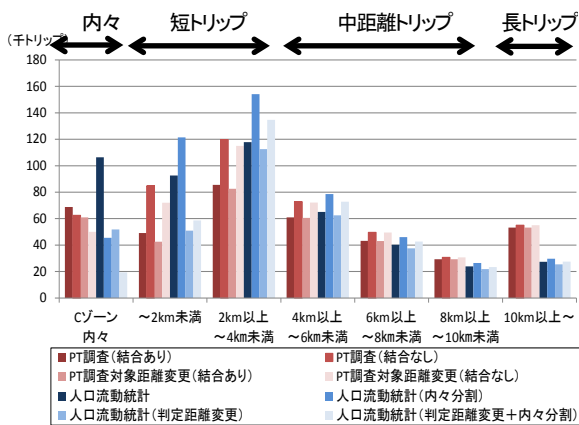


図-43 夕方 (16～19時台) のトリップ長区分別トリップ数の比較

(4) ODパターン別的小ゾーンレベルの捕捉性の検証

ミクروسケールでの交通計画検討のニーズが多い都心部に着目し、既往研究⁴⁾も踏まえ、4.(2)の「都心中心」「都心」「その他」の3区分を以下のとおりとする(図-46)。この3区分をもとに、表-3に示すとおり、ODパターンを「都心中心内々」「都心関連」「その他関連」の3パターンとする。なお今回、「3)判定距離変更」と対応させて、「都心」および「その他」エリアでの移動・滞留判定距離をそれぞれ500m、2kmとしている。

「その他」エリアから2kmの範囲内では実際にはトリップの起終点があっても滞留とみなされ続ける場合が生ずる。なお、「都心中心」では移動・滞留判定距離が短くなるため、短距離トリップがどの程度抽出されるかを確認することを意図している。そのため、「都心中心」ゾーンが「その他」エリアからの2kmの範囲内に含まれないよう、今回「都心」エリアを「都心中心」から概ね2km程度の距離にあるゾーンと設定する。この3つのODパターンごとの4手法での人口流動統計の集計結果を表-4に示す。

都心中心内々では、判定距離変更を行った場合にトリップ数が多くなり、PT全数に対する人口流動統計のトリップ数の割合(以下、「捕捉率」という。)は一定程度上昇したが、顕著な増加は見られなかった。

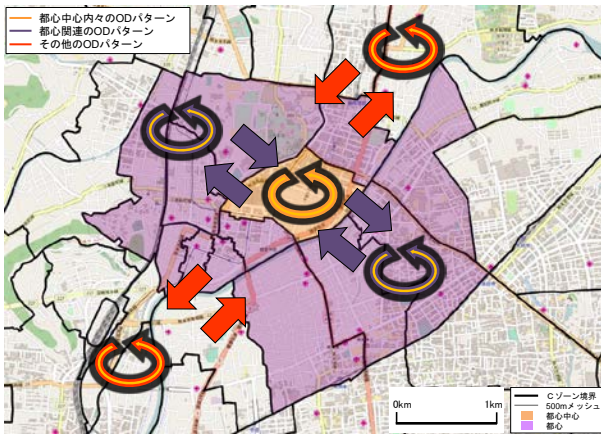


図-46 熊本市圏の都心ゾーンの設定

表-3 ODパターンの設定

区分		到着地		
		都心中心	都心	その他
出発地	都心中心	都心中心内々	都心関連	その他関連
	都心			
	その他			

都心関連では、移動判定距離2kmの影響圏下にあるためトリップ数の低下が懸念されたが、これも大きな影響は見られなかった。

人口流動統計の生成手法の定義に対応するPTデータと比較すると、3)移動判定距離変更の場合が最も整合性が高かった。

(5) 結果の考察

総量レベルでの捕捉性は中心ゾーン間距離帯別トリップ数比較により、短距離帯も含めて概ね整合している状況を確認したが、市区町村間レベルでのOD別にトリップ量を見ても内々・内外トリップともに一定の相関があることが確認できた。

内々トリップの属するゾーンの外で位置登録が行われる基地局（フラグ）がある場合に内々トリップを分割する手法により、短時間滞在を挟むトリップの連結を一定程度解消できることが分かった。しかし、わずかにゾーンの外にあるフラグも全て対象にしたことで逆に短距離帯で人口流動統計がPTデータと比べて過大になった。これは隣接ゾーンにまたがる配分や基地局変更による影響が考えられるが、このような影響を緩和するため、例えば当該ゾーン境界からフラグまでの距離に閾値を設け、それを超えるものだけを対象にトリップを分割する等、もう一步踏み込んだ改良により、捕捉性がさらに向上する可能性があるかと推察される。

小ゾーンレベルでは特に散らばりが大きいのが、PTデータ側でのサンプル数の限界によるばらつきとあわせて、隣接ゾーンにまたがる配分による異なるODとなる影響も相当程度あると推察される。これは、人口流動統計の生成過程における面積按分処理に起因する。このため、ODペア一つずつで論じるのではなく、O側とD側で一定範囲の近隣のゾーンどうしをまとめて（必要に応じずらしつつ）確認し、ばらつきが45度線の上下で均衡しているかを見ると、一定の信頼性を確保できると考えられる。

表-4 ODパターン別、改善手法別のトリップ数の比較（捕捉性）

発地	着地	滞在時間	トリップ距離	トリップ時間	熊本PT調査		1) 従来方法			2) 内々分割			3) 判定距離変更			4) 内々分割+判定距離変更				
					トリップ	構成比	人口流動統計	人口流動統計/PT①(固定値)	人口流動統計/PT②(全体)	人口流動統計	人口流動統計/PT①(固定値)	人口流動統計/PT②(全体)	人口流動統計	人口流動統計/PT①(固定値)	人口流動統計/PT②(全体)	人口流動統計	人口流動統計/PT①(固定値)	人口流動統計/PT②(全体)		
都心中心内々	合計	500m未満		1時間未満	11,684	100.0%														
		1km未満		1時間未満	2,432	20.8%														
		1km以上		1時間未満	1,612	13.8%														
		500m未満		1時間以上	1,531	13.1%														
		1km未満		1時間以上	52	0.4%														
		1km以上		1時間以上	2,237	19.1%														
都心関連	合計	500m未満		1時間未満	1,573	13.5%														
		1km未満		1時間未満	1,597	13.7%	1,063	47.3%	257	11.4%	1,797	47.0%	1,366	35.8%						
		1km以上		1時間未満	650	5.6%														
		500m未満		1時間以上	60,191	100.0%														
		1km未満		1時間以上	3,920	6.5%														
		1km以上		1時間以上	3,059	5.1%														
その他関連	合計	1km以上		1時間未満	2,920	4.9%														
		2km未満		1時間以上	0	0.0%														
		2km以上		1時間以上	6,376	10.6%														
		500m未満		1時間以上	58	0.1%														
		1km未満		1時間以上	5,871	9.8%														
		1km以上		1時間以上	5,665	9.4%														
総合計	合計	1km以上		1時間以上	8,901	14.8%														
		2km未満		1時間以上	0	0.0%														
		2km以上		1時間以上	19,218	31.9%	39,390	121.9%	37,814	117.0%	30,443	94.2%	30,253	93.6%						
		500m未満		1時間以上	4,203	7.0%														
		1km未満		1時間以上	1,757,644	100.0%														
		1km以上		1時間以上	22,612	1.3%														
総合計	合計	1km未満		1時間以上	22,574	1.3%														
		1km以上		1時間以上	30,258	1.7%														
		2km未満		1時間以上	0	0.0%														
		2km以上		1時間以上	347,431	19.8%														
		500m未満		1時間以上	7,173	0.4%														
		1km未満		1時間以上	40,156	2.3%														
総合計	合計	1km未満		1時間以上	42,819	2.4%														
		1km以上		1時間以上	67,613	3.8%														
		2km未満		1時間以上	0	0.0%														
		2km以上		1時間以上	1,012,919	57.6%	1,720,541	138.2%	1,897,079	152.4%	1,303,184	110.7%	1,390,795	118.2%						
		500m未満		1時間以上	164,089	9.3%														
		1km未満		1時間以上	164,089	9.3%														
総合計		合計			1,829,519	100%	1,760,994	137.7%	1,935,150	151.3%	1,335,424	110.1%	1,422,414	117.2%						

内々分割関係 (緑色) 判定距離変更関係 (都心中心: 1km→500m) (その他: 1km→2km) (黄色)

移動・滞留判定距離の変更により、判定距離を 500m とした都心中心ゾーンでは捕捉性が一部向上した。しかし、2km としたその他エリアでは、トリップ長が 2km 未満の人口流動統計が PT データと比べて過少となった。基地局の変更による実態と異なるトリップを減らすことには貢献したものの、一方で本来存在した日中に多い短距離トリップを対象外としてしまう影響もあることが分かった。ただし、時間帯別に見ると夜間等の、端末の多くが狭い範囲で滞在しているような状況において前者の現象が起こっていることが分かった。この改善方策として、例えば判定距離を大きくする時間帯を夜間に限定する等、ある時刻で閾値を切り替えることが一案となる。

7. おわりに

本研究では、都市交通分野での人口流動統計のさらなる活用にむけ、実地調査に基づく人口流動統計の詳細な位置推定精度を検証した。その結果、基地局のカバー範囲であるセルの大きさを踏まえて、トリップデータの取得精度の不確実要因の一つである基地局変更による実態とは異なるトリップの存在を明らかにした。そして、短時間滞在を挟むトリップの連結現象や基地局変更に伴うトリップの過大生成現象の解消を意図して、内々トリップの分割と移動・滞留判定距離の段階的変更という 2 つの改善手法を提案した。これらに基づき人口流動統計を再計算し、異なるゾーンレベルや OD パターン別のほか時間帯別やトリップ距離帯別に PT データの OD 量との比較検証を行った。この検証結果に基づいて、人口流動統計の捕捉性（トリップデータの取得精度）に関する不確実要因の特性把握とともに改善に向けて提案・考察した。

人口流動統計の活用ニーズがますます高まっている中、様々な都市計画シーンに求められる比較的小さなスケールでの信頼性のあるデータ取得も可能とし高度な調査計画手法の構築を図る必要がある。この観点から、各要因を解消するためさらなる改善が望まれるとともに、現時点での活用可能な範囲や各種データとの

組み合わせ方を明らかにしつつ、その活用の手順や留意点をとりまとめることが今後喫緊に必要となる。

本研究および今後の研究の進展により、都市交通分野における効率的で効果的な調査・分析・予測・計画手法への改善、ひいては持続可能な社会の実現に寄与することを期待する。

謝辞：本研究の遂行にあたり、(株)NTTドコモの福手亜弥氏ならびに(株)ドコモ・インサイトマーケティングの渋谷大介氏には人口流動統計の生成・分析等の作業にて多大な協力を賜った。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 今井龍一、深田雅之、重高浩一、矢部努、牧村和彦、足立龍太郎：多様な動線データの組合せ分析による都市交通計画への適用可能性に関する考察、土木計画学研究・講演集、Vol.48, 2013.
- 2) 今井龍一、田嶋聡司、矢部努、塚田幸広、重高浩一、橋本浩良、山王一郎、石田東生：動線データを活用した都市活動のモニタリングの持続的な運用に向けた取り組み、土木計画学研究・講演集、Vol.51, 土木学会, 2015.
- 3) 今井龍一、藤岡啓太郎、新階寛恭、池田大造、永田智大、矢部努、重高浩一、橋本浩良、柴崎亮介、関本義秀：携帯電話網の運用データを用いた人口流動統計の都市交通分野への適用に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.52, 2015.
- 4) 新階寛恭、今井龍一、池田大造、永田智大、森尾淳、矢部努、重高浩一、橋本浩良、柴崎亮介、関本義秀：携帯電話網運用データに基づく人口流動統計とパーソントリップ調査手法との比較による活用可能性に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.53, 2016.
- 5) 石井良治、新階寛恭、関谷浩孝、池田大造、永田智大、森尾淳、柴崎亮介、関本義秀、今井龍一：携帯電話網の運用データに基づく人口流動統計におけるトリップデータ取得精度の向上に関する研究、土木計画学研究・講演集、Vol.55, 2017.
- 6) (株)NTTドコモ：モバイル空間統計ガイドライン、<https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/guideline/>, (入手2017.7)

(2017.7.31 受付)

A STUDY ABOUT THE ACCURACY OF TRIP DATA ACQUISITION BY VERIFICATION OF SPATIAL RESOLUTION OF MOBILE SPATIAL DYNAMICS

Hiroyasu SHINGAI, Daizo IKEDA, Tomohiro NAGATA,
Jun MORIO, Ryoji ISHII and Ryuichi IMAI