

大規模交通ターミナルにおける 歩行者OD交通量と リンク交通量の推定に関する研究

渡辺 希美¹・塚口 博司²・安 隆浩³・平田 秀樹⁴・花井 伸治朗⁵

¹学生会員 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 草津市野路東一丁目1-1)
E-mail:rd010072@ed.ritsumei.ac.jp

²フェロー会員 立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 草津市野路東一丁目1-1)
E-mail:tsukaguc@se.ritsumei.ac.jp

³正会員 立命館大学研究員 立命館大学グローバル・イノベーション研究機構 (〒525-8577 草津市野路東一丁目1-1)
E-mail:ahnyh@fc.ritsumei.ac.jp

⁴学生会員 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 草津市野路東一丁目1-1)
E-mail:rd006063@ed.ritsumei.ac.jp

⁵学生会員 立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 草津市野路東一丁目1-1)
E-mail:ra007071@ed.ritsumei.ac.jp

大規模交通ターミナルは、歩行者が鉄道を乗り継ぐための空間として機能しているだけでなく、多数の商業施設が存在することから商業機能も充実している。中でもJR大阪駅は目的地へのルートが多層的な構造になっており、今後急速に進む大規模開発により人の流れが大きく変化することが予想される。歩行者の快適な移動を確保するとともに空間整備を行うにあたっては、まず歩行者の流動状況を再現することが必要と考える。そこで本研究では断面交通量調査より求まる、観測リンク交通量からOD交通量を推定し、さらに既往研究で提案されている経路選択モデルを用いることによってリンク交通量を再現する。

Key Words : large public transport terminal, OD estimation, pedestrian route choice behaviour

1. はじめに

今日の大規模交通ターミナルは、歩行者が鉄道を乗り継ぐための空間として機能しているだけでなく、集客力を高める多数の商業施設が存在することから商業機能も充実している。このため交通ターミナルでは、鉄道乗り換えや買い物等、人々の多種多様な交通行動がみられる。しかし多様な行動ができる一方で、構造が複雑になり歩行者にとっては移動上の目印を頼りに行動せざるを得ない状況も発生している。そのため来街者は一見あらかじめ決められたようにスムーズな往来をしているようにも思える。

しかし3大都市圏を代表とする大規模地下街の中でもJR大阪駅周辺には半径400m圏に6つの鉄道駅が存在し、その改札が地下、地上、階上に分布している。また周辺には百貨店をはじめとした商業施設や業務ビルが立ち並

ぶため、目的地へのルートが多層的でわかりにくい構造になっているのが現状である。

さらに、JR大阪駅周辺では現在、新たな商業施設の開店、フロアの増築など、一層魅力ある交通ターミナルを目指し、大規模な開発が行われている。急速に進む大規模開発により、人の流れが地上、地下ともに大きく変化することが予想される。このような状況において歩行者通路の整備、改良の方針を検討する際には、歩行者流動状況を推定することが必要不可欠である。

歩行者空間の整備を検討するにあたっては、まず当該地区の歩行者流動の実態を把握するためには歩行者ODを把握するための調査を行う必要がある。このような場合、ミニパーソントリップ調査等を実施する方法も考えられるが、容易ではない。また、対象範囲が狭ければセンサー等の利用も考えられるが、大規模交通ターミナル全体を対象とする場合には困難である。

そこで本研究では、地上および地下において観測した断面交通量をベースとし、これに本研究で提案している経路選択モデルから得られる情報を付け加えて OD 交通量を再現することにした。なお OD 交通量を推定する方法には飯田¹⁾によって提案されている OD 交通量推定法を準用することにした。

具体的には、JR大阪駅からディアモール大阪に至る地区において歩行者交通量のデータを取得した。この観測リンク交通量からOD交通量を推定するとともに、経路選択モデルによってリンク交通量を推定することで一連の交通量推定手法の有用性を検証する。

2. 断面交通量調査

(1) 調査地区および調査日時

調査対象地区は、JR大阪駅からディアモール大阪に至る地区とし、その地上部分および地下部分を一体的に捉えている。

調査は2010年11月9日（火）、10日（水）に実施した。本研究では、通勤・通学目的利用者の多いと思われる午前8時～9時30分、自由目的の利用者が多いと思われる午後12時45分～14時15分の間の各20分間の測定を行った。この観測交通量を3倍し、1時間交通量とした。

今回の調査では実測する日時が異なるため、それぞれ流動状況が変化し、交通量に差が生じてしまう。そこで予め調査日と時刻帯が異なる境界地点においては複数回実測し、交通量を比較して調整した。

(2) 調査方法

調査にあたり、調査対象地区をゾーン分割した。ゾーニングは各ゾーンに一つのノードが存在するようにした。このため、全てのノードはセントロイドとなっている。

本研究では対象地区内のゾーン境界において断面交通量を実測した。図-1、2に地上および地下における各ゾーンの境界と観測地点を示す。

調査員はゾーン境界に配置されており、歩行者通過人数を20分間測定した。また歩行者の人数を正確に把握するため、昇降施設の通過人数、建物の出入り人数も同時にカウントした。

9日は午前8時～9時30分、午後12時45分～14時15分の最初の20分間は青色☆印地点で実測し、その後15分間で茶色☆印地点まで移動し、そして同様に茶色☆印地点で20分間実測した。10日の調査も同様の方法で実施した。

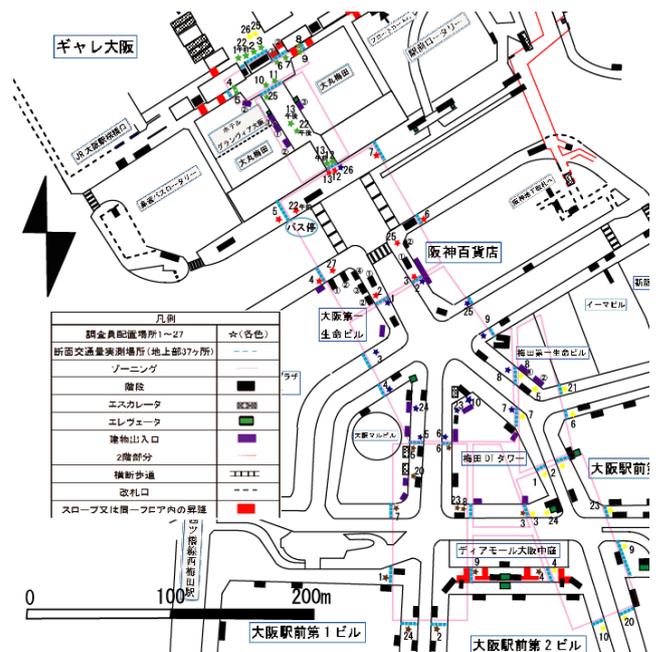


図-1 ゾーン分割および観測地点（地上）

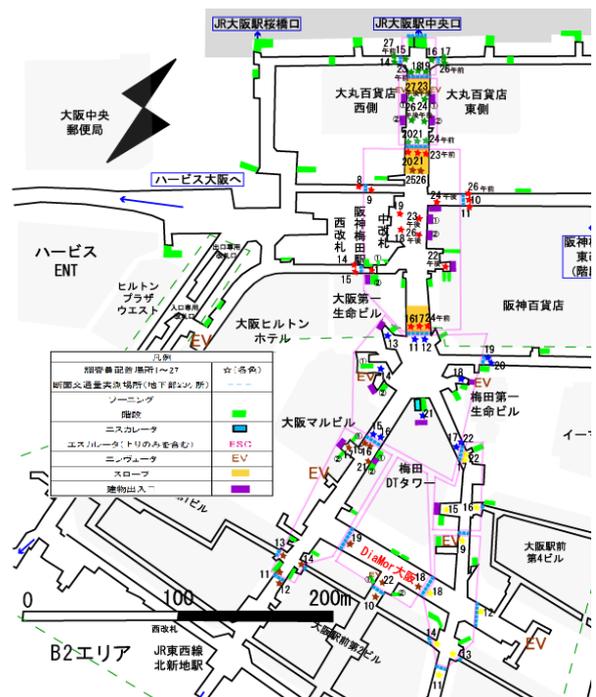


図-2 ゾーン分割および観測地点（地下）

(3) ネットワークの構築

分析に使用するネットワークは、前述のゾーニングを前提としたものであり、すべてのノードはセントロイドとなっている。ノードとリンクは実際の通路と整合している。

(4) 観測リンク交通量

午前、午後ともに1時間交通量（人時）に換算した交通量を図-3、図-4に示す。黒字は午前の交通量、赤字

は午後の交通量を表している。

発生・集中交通量については建物に入る歩行者は当該ゾーンに集中していると仮定し、建物から出る歩行者は当該ゾーンから発生したと仮定している。

午前においては、圧倒的に地下を利用する歩行者が多いことがわかった。また地下では多くの人々が北新地駅方面、阪神梅田駅に流れ、駅間を移動する歩行者の動きが明確に現われている。また午後においては、地上、地下ともに各通路における歩行者交通量が平準化され、様々な目的をもった歩行者が存在していることがうかがわれる。

3. OD交通量推定手法

(1) OD交通量推定手法の考え方

ここでは飯田¹⁾が提案している、観測リンク交通量からOD交通量を推定する手法について述べる。

観測リンク交通量からOD交通量を推定する方法では、リンク交通量の推定値が観測交通量に適合するようにOD交通量が求められる。この場合、条件式の数を決める交通量の観測リンク数は、未知変数であるODペアの数より少ないことが多い。また各ODペアの経路選択確率も変数としなければならない。このためリンクの観測交通量のみではOD交通量を一意的に求めることができない。そこで、いくつかの仮定を追加する必要がある。域内のOD交通量を重力モデルで表現されると仮定することなどである。

ゾーン内に存在するノードを域内ノード、ゾーン外に存在するノードを域外ノードとすると、OD交通量は以下の式で表わされる。

a) 内内OD交通量

$$X_{ij} = G_i^I m_{ij} = \tau G_i m_{ij}$$

$$G_i^I = \tau G_i$$

X_{ij} : 内部ノード*i*から内部ノード*j*へのOD交通量

G_i^I : 内内OD交通に対する内部ノード*i*からの発生交通量

τ : 域内発生交通の域内集中確率

m_{ij} : 内部ノード*j*への選択確率

b) 内外OD交通量

$$Y_{ii} = G_i^E n_{ii} = (1 - \tau) G_i n_{ii}$$

$$G_i^E = (1 - \tau) G_i$$

$$G_i^I + G_i^E = \tau G_i + (1 - \tau) G_i = G_i$$

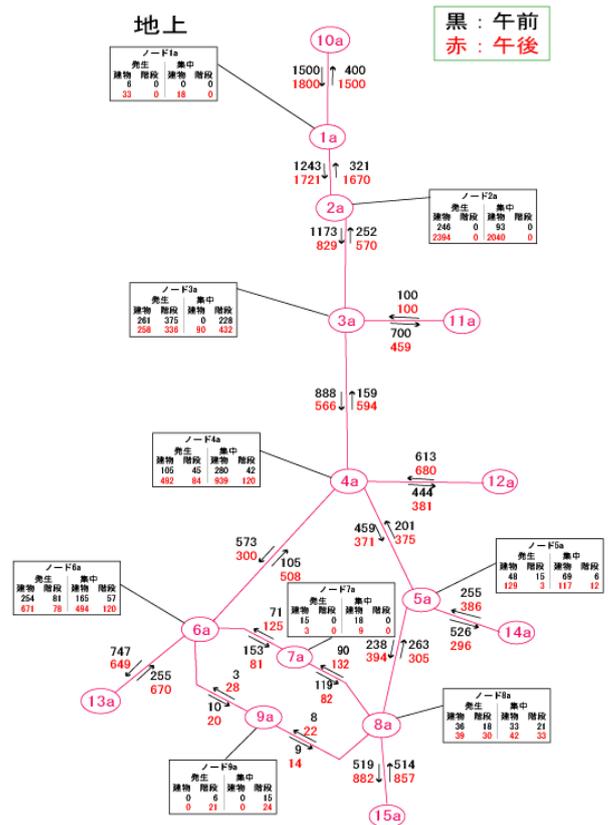


図3 地上における観測リンク交通量 (人時)

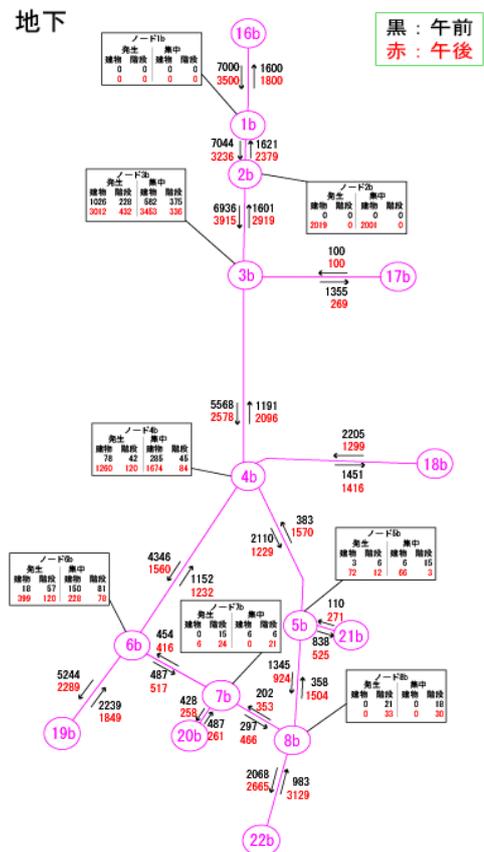


図4 地下における観測リンク交通量

Y_{il} : 内部ノード*i*から外部ノード*l*への内外OD交通量
 G_i^E : 内外OD交通に対する内部ノード*i*からの発生交通量
 $1-\tau$: 域内ノード発生交通の域内通過確率
 n_{il} : 外部ノード*l*への選択確率

c) 外内 OD 交通量

$$U_{kj} = S_k^I q_{kj} = \lambda S_k q_{kj}$$

$$S_k^I = \lambda S_k$$

U_{kj} : 外部ノード*k*から内部ノード*j*へのOD交通量
 S_k : 外部ノード*k*からの発生交通量
 S_k^I : 外内OD交通に対する外部ノード*k*からの発生交通量
 λ : 域外発生交通の域内集中確率
 q_{kj} : 内部ノード*j*への選択確率

d) 外外 OD 交通量

$$W_{kl} = S_k^E r_{kl} = (1-\lambda) S_k r_{kl}$$

$$S_k^E = (1-\lambda) S_k$$

U_{kj} : 外部ノード*k*から外部ノード*l*への外外OD交通量
 S_k^E : 外外OD交通に対する外部ノード*k*からの発生交通量
 $1-\lambda$: 域外発生交通の域外通過確率
 r_{kl} : 外部ノード*l*への選択確率

以上4つのゾーン種類別OD交通量は、発生交通量に目的地選択確率および対象域内における発生交通量の域内と域外への集中確率 τ 、または域外における発生交通の域内と域外への集中確率 λ を乗じることによって同時推定される。

具体的には、リンク交通量は次式で表わされる残差平方和を最小化することで求められる。

$$\Phi = \sum_a [(\sum_i \sum_j X_{ij} P_{ij}^a + \sum_i \sum_j Y_{il} P_{il}^a + \sum_k \sum_j U_{kj} P_{kj}^a + \sum_i \sum_l W_{il} P_{il}^a) - v_a^*]^2$$

$$= \sum_a [(\sum_i \sum_j \tau G_{ij} P_{ij}^a + \sum_i \sum_j (1-\tau) G_{ij} P_{ij}^a + \sum_i \sum_j \lambda S_i q_{ij} P_{ij}^a + \sum_i \sum_l (1-\lambda) S_i r_{il} P_{il}^a) - v_a^*]^2$$

P_{ij}^a : ゾーン*ij*間のOD交通量がリンク*a*を使用する割合
 v_a^* : リンク*a*の観測交通量

(2) 歩行者交通量におけるOD交通量推定手法の簡略化

上記のOD交通量推定手法は、自動車のOD交通量推定を前提とした方法である。本研究では歩行者に適用しているため、ビルからの出入りは対象域内におけるゾーンの発生交通量および集中交通量と考えることができるので、発生交通量と集中交通量は調査により既知となり得る。そこで、残差平方和の計算によって域内での発生交通量を求める過程を省略することができる。

もっとも、域内発生交通の域内集中確率 (τ) 及び域外発生交通の域内集中確率 (λ) を予め与える必要があ

る。今回はゾーン境界において観測を行っているので域外からの発生交通量、域外への集中交通量は調査で得られている。また階段・ビルでの出入りも観測を行っているため域内ゾーンにおける発生・集中交通量も分かる。よって域外発生交通の域内集中確率 (λ) は以下のように定義することとした。

$$\lambda = \frac{\sum(\text{域内ノードへの集中交通量})}{\sum(\text{域外ノードからの発生交通量})}$$

また域内発生交通の域内集中確率 (τ) は域内での集中交通量が発生交通量を上回っているため、上で述べた方法では値が 1.0 を超えてしまう。そこで、まず外内OD交通量を全て推定し、この結果を用いる。例えば、ゾーン 1a の場合には以下のように表す。

(ノード 1a 集中交通量) - Σ (ノード 1a への外内 OD 交通量) = 全域内ノードで発生し域内ノード 1a に集中する交通量

他の域内ノードに関しても同様に行う。そこで域内ノードで発生し域内ノードに集中する内々交通量が求められるので、 τ は次式で表わされる。

$$\tau = \frac{\sum(\text{内々交通量})}{\sum(\text{域内ノードからの発生交通量})}$$

以上のようにして、域内発生交通の域内集中確率 (τ) と域外発生交通の域内集中確率 (λ) を求め、推定手法を簡略化し、OD交通量を推定した。

4. 推定リンク交通量の再現

3章で推定したOD交通量と以下で述べるモデルを用いて、リンク交通量を推定する。そして2章で求めた観測リンク交通量との比較を行う。

観測によって得られたリンク交通量とモデルによって推定するリンク交通量を比較することで現実に歩行者がどの経路を選択し、行動しているのかを確認する。この過程を図-5に示す。

(1) リンク交通量推定手法

本研究では、筆者らが提案している経路選択モデル²⁾を用いて、3次元空間ネットワークにおけるリンク交通量を推定する。このモデルは、上下移動場所の選択行動および平面ネットワークにおける経路選択行動に関する2つのサブモデル⁴⁾から構成されている。

例えば歩行者が図-6, 7のような昇降施設を含む空間で経路選択を行う際、経路1、経路2、および経路3の選択確率は以下の通り算出される。

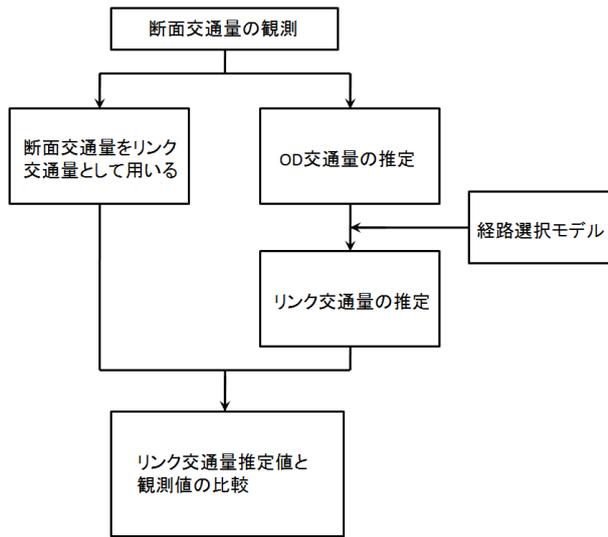


図5 断面交通量調査からリンク交通量比較までの過程

a) 上下移動 地上→地下モデル (図-6)

経路1 $V_1 = (-2.19E-02) A_1 + (-5.65E-03) B_1$

経路2 $V_2 = (-2.19E-02) A_2 + (-5.65E-03) B_2$

経路3 $V_3 = (-2.19E-02) A_3 + (-5.65E-03) B_3$

経路1 選択確率 = $\frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}}$

経路2 選択確率 = $\frac{e^{V_2}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}}$

経路3 選択確率 = $\frac{e^{V_3}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}}$

b) 上下移動 地下→地上モデル (図-7)

経路1 $V_1 = (-4.95E-02) A_1 + (-7.21E-03) B_1$

経路2 $V_2 = (-4.95E-02) A_2 + (-7.21E-03) B_2$

経路3 $V_3 = (-4.95E-02) A_3 + (-7.21E-03) B_3$

経路1 選択確率 = $\frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}}$

経路2 選択確率 = $\frac{e^{V_2}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}}$

経路3 選択確率 = $\frac{e^{V_3}}{e^{V_1} + e^{V_2} + e^{V_3}}$

A_1, A_2, A_3 は全行程距離長 (m)、 B_1, B_2, B_3 は選択経路における地上距離 (m) を示している。

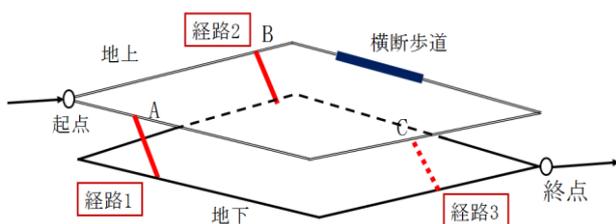


図6 3次元経路選択行動のイメージ (地上→地下)

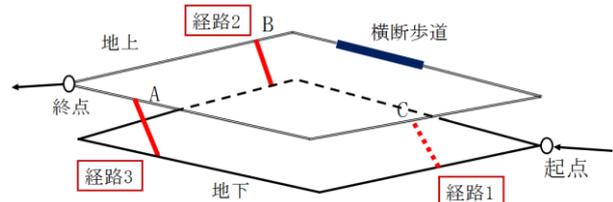


図7 3次元経路選択行動のイメージ (地下→地上)

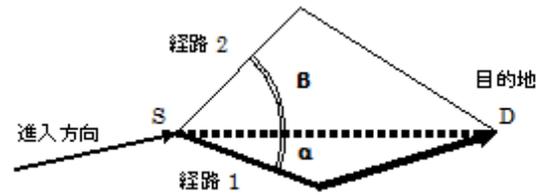


図8 目的地方向角度の測定

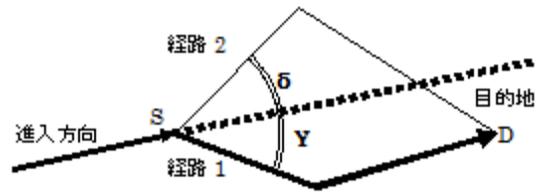


図9 進入方向角度の測定

次に、平面空間において、例えば歩行者が図-8, 9のような交差点で経路選択を行う場合、右経路 (経路1) および左経路 (経路2) の選択確率は以下の通り算出される。

c) 地上行動モデル (図-8、図-9)

右経路効用 $V_1 = (-1.5304 \times 10^{-2}) \alpha + (-9.5872 \times 10^{-3}) \gamma$

左経路効用 $V_2 = (-1.5304 \times 10^{-2}) \beta + (-9.5872 \times 10^{-3}) \delta$

右経路方向選択確率 = $\frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}}$

左経路方向選択確率 = $\frac{e^{V_2}}{e^{V_1} + e^{V_2}}$

d) 地下行動モデル (図-8、図-9)

右経路効用 $V_1 = (-9.570640 \times 10^{-3}) \alpha + (-1.304576 \times 10^{-2}) \gamma$

左経路効用 $V_2 = (-9.570640 \times 10^{-3}) \beta + (-1.304576 \times 10^{-2}) \delta$

右経路方向選択確率 = $\frac{e^{V_1}}{e^{V_1} + e^{V_2}}$

左経路方向選択確率 = $\frac{e^{V_2}}{e^{V_1} + e^{V_2}}$

α は右経路の目的地方向角度(°)、 β は左経路の目的地方向角度(°)、 γ は右経路の進入方向角度(°)、 δ は左経路の進入方向角度(°)を示している。

(2) リンク交通量推定結果

上で述べたように3章で推定したOD交通量を用いて全てのODパターンにおける歩行者流動量を算出し、図

-10および図-11に午前の交通量推定値、図-12および図-13に午後の交通量推定値を示す。さらに、リンク交通量の推定値と観測値との関係を図-14および図-15に示す。

図-14および図-15からわかるように、リンク交通量はある程度再現されているが誤差が大きいリンクも見られるから、今後、OD交通量を簡略化して推定した方法の見直し等を行って、制度を高める必要がある。

5. おわりに

本研究では、地上と地下を一体的に捉えて3次元空間における歩行者OD交通量を推定するとともに、各リンクの交通量を推定する方法について検討した。

筆者らは地下空間を対象として同様の研究をすでに行っており、当該手法の実用性を確認している⁵⁾。しかし、4章の結果が示すように、推定リンク交通量と観測リンク交通量にかなり大きな差が生じている場合がある。このため、今後、3次元空間ネットワークの特徴を十分に考慮した上で、推定方法の精緻化に取り組むことにしたい。

謝辞

本研究を実施するに当たっては、飯田恭敬京大名誉教授に種々の御示唆をいただいた。記して深謝する次第である。また、本研究の一部は、JR西日本あんしん社会財団からの研究助成によって実施したことを記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 飯田恭敬：ゾーン別発生・集中交通量とOD交通量の高精度推定法
- 2) 柴田裕基，塚口博司：大規模交通ターミナル地区における歩行者の3次元経路選択行動分析，土木計画学研究・講演集 Vol.41，2010年6月
- 3) 竹上直也，塚口博司：空間的定位置に基づいた歩行者の経路選択行動モデルの構築，土木学会論文集 No.807，77-86，2006年1月
- 4) 大橋祐貴，塚口博司：大規模地下街における歩行者の経路選択行動分析，土木計画学研究・論文集 Vol.25 No.3，615-621，2008年9月
- 5) Hiroshi Tsukaguchi and Yuki Ohashi: Modelling pedestrian route choice behaviour and its application to the planning of underground shopping streets, 11th ACUUS International Conference, Underground Space: Expanding the Frontiers, pp.527-532, 2007.

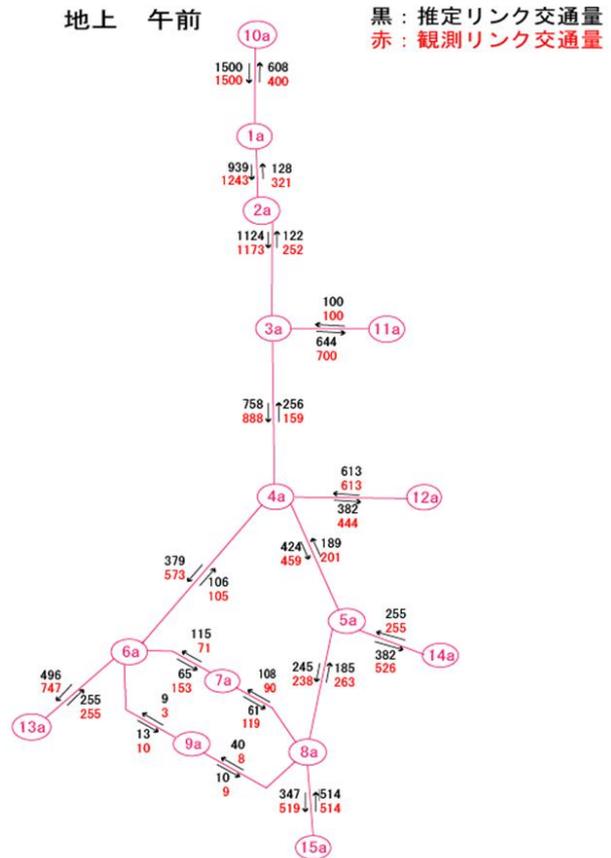


図-10 推定リンク交通量と観測リンク交通量 (午前/地上)

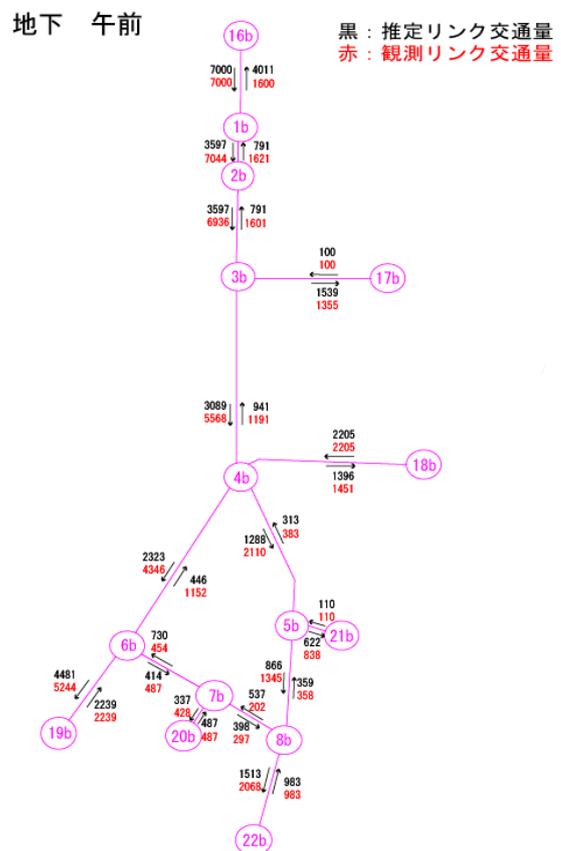


図-11 推定リンク交通量と観測リンク交通量 (午前/地下)

地上 午後

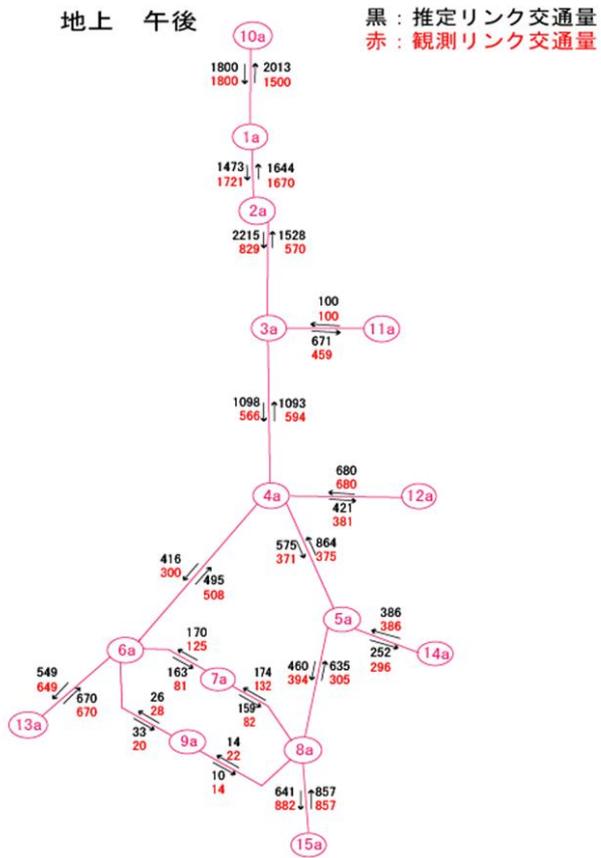


図-12 推定リンク交通量と観測リンク交通量 (午後/地上)

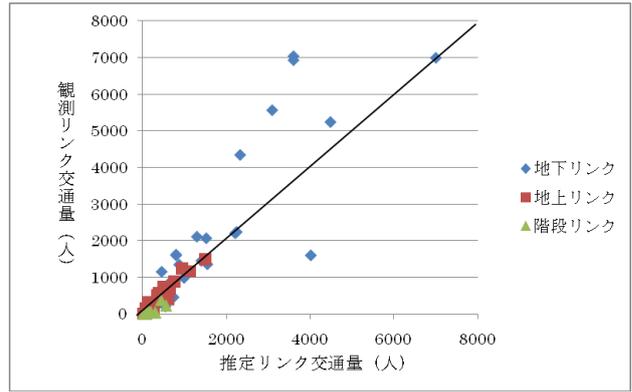


図-14 推定リンク交通量と観測リンク交通量 (午前)

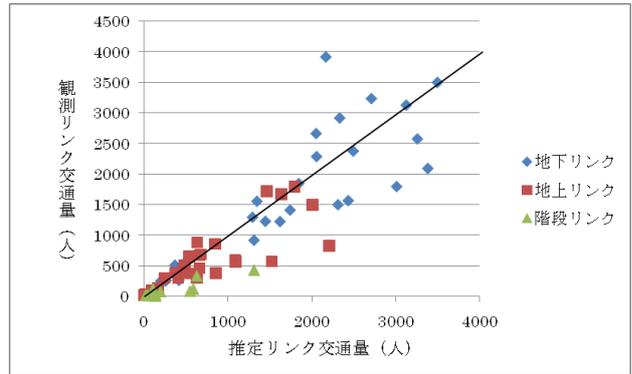


図-15 推定リンク交通量と観測リンク交通量 (午前)

地下 午後

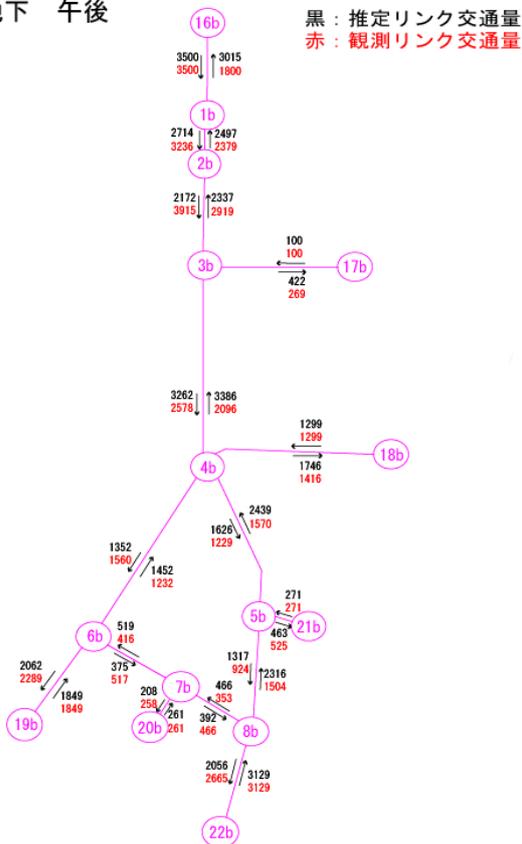


図-13 推定リンク交通量と観測リンク交通量 (午後/地下)